

DECLARACIÓN LEGAL

EDITORES:

Cristina E. Solano Sosa
María Eugenia Sánchez Morales
Gloria Verónica Vázquez García
Amalia Martínez García
Eva Liliana Ramos Guerrero

Publicación electrónica
ISBN GENERAL 978-607-8358-86-1
Tomo VI: Ingeniería
ISBN 978-607-8358-92-2

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores.

Temacilli EDITORIAL
Lagos de Moreno, Jalisco
<http://temacilli-editorial.com>

D. R. Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.
Loma del Bosque 115, Col. Lomas del Campestre
C. P. 37150 León, Guanajuato
México
Hecho en México
Octubre de 2020



Miscelánea Científica en México

Tomo VI:

Ingeniería

PREFACIO

El presente compendio reúne trabajos de investigación realizados en diversas áreas de la ciencia, cuyo objetivo principal es contribuir a la difusión del trabajo científico que se realiza en México. Con este compendio también se pretende promover el trabajo interdisciplinario entre miembros de diferentes disciplinas científicas.

Este trabajo está organizado en siete tomos los cuales corresponden a las siguientes áreas científicas: I) Biología y química, II) Biotecnología y ciencias agropecuarias, III) Ciencias sociales, IV) Físico matemáticas y ciencias de la tierra, V) Humanidades, ciencias de la conducta y divulgación científica, VI) Ingeniería, así como VII) Medicina y ciencias de la salud.

Octubre de 2020
León, Gto., México

Cristina E. Solano Sosa
María Eugenia Sánchez Morales
Gloria Verónica Vázquez García
Amalia Martínez García
Eva Liliana Ramos Guerrero

Contenido

CRECIMIENTO HIDROTHERMAL DE NANOESTRUCTURAS UNIDIMENSIONALES (1D) DE ÓXIDO DE ZINC (ZNO).....	6
ESTACIÓN DE MONITOREO I-GAMMA.....	11
DESARROLLO Y MANUFACTURA DE FIBRA ÓPTICA ADELGAZADA SMF-28 MONOMODO... 26	
EFEECTO DE LA CALCINACIÓN DEL FIELTRO DE FIBRA DE CARBÓN ACTIVADO (FFCA) PARA SU REUTILIZACIÓN EN LA ADSORCIÓN DEL COLORANTE VIOETA DE METILO (VM)	34
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA INSPECCIÓN ÓPTICA DE ALTA RESOLUCIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA LWIR (7-14 μm).....	40
MEJORA DEL FLUJO DE VALOR DEL SISTEMA DE MANUFACTURA UTILIZANDO HERRAMIENTAS LEAN EN LA LÍNEA ARMREST LOWER DE UNA EMPRESA DE INTERIORES AUTOMOTRICES.....	48
COMPARACIÓN DE LA VARIABLE DE TEMPERATURA EN UN BIORREACTOR: PID Y LÓGICA DIFUSA	54
COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS PARÁMETROS PRESENTES EN BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO UTILIZANDO INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL	61
GONIOFOTÓMETRO COMPACTO PARA APLICACIONES DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ. . 68	
ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DEL LSA EN LA AGRUPACIÓN DE DOCUMENTOS DE TEXTO EN ESPAÑOL DE UNA COLECCIÓN, EN FUNCIÓN DE LA DIMENSIÓN DEL ESPACIO REDUCIDO	79
CREACIÓN DE UN CORPUS DE FRASES PARA MINERÍA DE DATOS EDUCATIVA VALIDADO POR EXPERTOS	86
OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PROTEÍNA HIDROLIZADA A PARTIR DE LA RASPA RESIDUAL DEL PROCESO DE CURTIDO DE PIELS	95
REMOCIÓN DE COLORANTES UTILIZANDO BIOMASA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARA DE COCO COMO MATERIAL ADSORBENTE	109
DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL MODELO DE LABERINTO DE BRAZOS ELEVADOS PARA SU EMPLEO EN EL ESTUDIO DE ANSIEDAD EN RATAS	113
INTERFAZ GRÁFICA PARA EL ANÁLISIS Y LA COMPRESIÓN DE LOS CONCEPTOS DE INTEGRAL DEFINIDA, SUMA DE RIEMANN Y TEOREMA FUNDAMENTAL DEL CÁLCULO....	119
EXPERIMENTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN MULTIRESPUESTA EN LA CARACTERIZACIÓN DE HULE PARA SUELA DE CALZADO	128
REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE: MININET PARA EL ESTUDIO DE REDES PROGRAMABLES	135
CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL SOMBRERO	144
EFEECTO DEL CAMPO MAGNÉTICO EN PELÍCULA DE POLIPIRROL SINTETIZADA ELECTROQUÍMICAMENTE Y DOPADA POR PLASMA DE DESCARGA LUMINISCENTE.....	151
MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DEL MONITOREO CON SENSORES HIDROLÓGICOS.....	158
DESPLAZAMIENTO DEL CÁTODO EN UN REACTOR DE DESCARGA DE ARCO ELÉCTRICO PARA LA FORMACIÓN DE NANOESTRUCTURAS DE CARBONO	173

DESARROLLO DE BIOCOMPUESTOS A PARTIR DE RESIDUOS PROVENIENTES DEL SECTOR AUTOMOTRIZ Y DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL	181
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE LUCES DIRECCIONALES E INTERMITENTES EN LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES AUTOMOVILÍSTICOS	188
ANÁLISIS SÍSMICO CON VECTORES COMPLEJOS APLICADO A UNA ESTRUCTURA DE 4 NIVELES	193
SINTESIS DEL PROCESO PARA LA PRODUCCION DE UNA SUSPENSION CONCETRADA DE EXTRACTO DE VAINILLA LIBRE DE ALCOHOL	209
SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA DETECCIÓN DEL TIPO Y CALIDAD EN MANZANAS UTILIZANDO APRENDIZAJE DE MAQUINA	217
INFLUENCIA DE LA MODIFICACIÓN QUÍMICA SUPERFICIAL SOBRE LA MICROESTRUCTURA, DUREZA Y RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN UN ACERO 8620	221
DISEÑO DE MÁQUINA PARA LA COLOCACIÓN Y RECOLECCIÓN DE MALLA TÉRMICA EN EL SECTOR AGRÍCOLA	227
INTERPRETACION DE SEÑALES CEREBRALES MEDIANTE LA DIADEMA EMOTIV EPOC ...	234
DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ILUMINACIÓN RESIDENCIAL.....	243
DETECTOR DE FASE DE BAJO COSTO CONTROLADO CON RASPBERRY PI	248
PROPUESTA DE PARALELIZACIÓN DEL MÉTODO HÍBRIDO DE ESTIMACIÓN DE ESTADO USANDO CÓMPUTO EN PARALELO BASADO EN UNIDADES DE PROCESAMIENTO GRÁFICO	263
ESTUDIO DE LAS TRANSFORMACIONES DE FASE DE UN ACERO AVANZADO LIGERO DE ALTA RESISTENCIA Fe-30Mn-9Al-0.15C.....	271
DETECCIÓN DE DEFECTOS EN CUEROS TERMINADOS USANDO VISIÓN ARTIFICIAL Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES.....	285
EFFECTO DEL PORCENTAJE EN PESO DE LAS PARTÍCULAS METÁLICAS DE TITANIO (TI) SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MATRIZ CERÁMICA (AL ₂ O ₃).....	297
ANALISIS DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN BEBIDAS CON SUERO DE QUESO FRESCO (SQF) CON EXTRACTO DE FRESA, GUAYABA O ARANDANO	303
CRESTO: UNA HERRAMIENTA PARA SINTETIZAR PRIORIDADES DE ESTADO.....	313
ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RIGIDEZ DE BLOQUES DE CONCRETO BASADO EN LA TÉCNICA DE IMPACTO ACÚSTICO Y LA ENTROPÍA DE SHANNON	324
EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ALÚMINA-TITANIO EN UNA SOLUCIÓN FISIOLÓGICA DE HANK.....	328
MATERIAL DE CÁSCARA DE NUEZ DE MACADAMIA Y POLIURETANO CON ACTIVIDAD BACTERICIDA CONFERIDA POR NANOPARTÍCULAS DE PLATA	336
EVALUACION DEL IMPACTO DE LAS AUDITORAS DE PROCESO EN CAPAS LPA'S EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ DEL ESTADO DE TLAXCALA	345
MÓDULO DE ILUMINACIÓN LED PARA LA CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA DE MATERIALES AUTOMOTRICES.....	361
DESARROLLO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL ANÁLISIS DE LA MARCHA HUMANA	374
AUTOMATIZACIÓN ELECTRONEUMÁTICA DE DISPOSITIVO DOSIFICADOR POR GRAVEDAD PARA PRODUCTOS GRANULADOS Y EN POLVO	385

DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO MICROFLUÍDICO PARA ENFOQUE DE MICROPARTÍCULAS CON APLICACIONES HACIA CITOMETRÍA DE FLUJO	393
DINÁMICA DE CONECTIVIDAD Y CENTRALIDAD DE EEG EN LOCOMOCIÓN: COHERENCIA VS CORRELACIÓN	401
CARACTERIZACIÓN COLORIMÉTRICA DE UN OJO ELECTRÓNICO (OE)	409
DIFERENCIA TOPOLOGICA EN CONECTIVIDAD FUNCIONAL EN BAJAS FRECUENCIAS DURANTE PROTOCOLOS DE MOVIMIENTO EN MIEMBRO INFERIOR: ESTUDIO EN COHERENCIA EEG.....	420
SISTEMA INTEGRAL DE RESGUARDO DE DATOS VÍA WIFI.	428
DISEÑO DE UN SISTEMA RECOLECTOR DE DESECHOS SOLIDOS EN CUERPOS DE AGUA	434
DISEÑO EN SOLIDWORKS® 2018 DE UN MECANISMO PARA LA EXTRACTORA DEL SUERO DE LA CUAJADA DE LA LECHE.....	443
IMPORTANCIA DE LA ESTABILIDAD TÉRMICA EN LA CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA Y ALIMENTARIA.....	447
DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA ESTELA DE VÓRTICES EN LA OSCILACIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO POR VORTICIDAD	454
CREACIÓN DE MODELO DE NEGOCIO INNOVADOR BASADO EN ECONOMÍA CIRCULAR. CASO DE ESTUDIO: RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTIZ GUANAJUATENSE.....	467
PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ DE ALUMINIO A356 REFORZADOS CON PARTÍCULAS DE SIC, PREPARADOS MEDIANTE ALEACIÓN MECÁNICA.	476
SÍNTESIS POR SOL-GEL DE RECUBRIMIENTOS HÍBRIDOS DE SiO_2 -PMMA DEPOSITADOS POR ASPERSIÓN SOBRE SUSTRATOS METÁLICOS.....	484
CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y MECÁNICA DE LAS TRANSFORMACIONES DE FASE DE UN ACERO QP	491
PROCESOS DE FABRICACIÓN AUTOMOTRIZ SUSTENTABLES.....	506
REDUCCIÓN DEL KPI DE SCRAP EN LAS KOMAX 488 DEL ÁREA DE CORTE DE UNA EMPRESA DE ARNESES ELÉCTRICOS AUTOMOTRICES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LEANSIX SIGMA	512
PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPUESTOS HIDROXIAPATITA-MAGNESIO COMO TEJIDOS ÓSEOS.....	525
CELDA SOLARES A BASE DE OXIDO DE TUNGSTENO	531
EL USO DE OPTOACOPADORES EN SU REGIÓN ACTIVA COMO UNA ALTERNATIVA DE SENSAZ VOLTAGE Y CORRIENTE DE CA.....	538
SATITL	550
OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS ADMINISTRATIVOS PARA GESTIONAR VISITAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA A TRAVÉS DEL USO DE TIC'S.....	560
CONTROL DE VELOCIDAD DE AGITACIÓN DIFUSO EN UN BIOREACTOR	568
CLASIFICACIÓN INTER-SUJETO E INTRA-SUJETO DE SEÑALES SVEMG UTILIZANDO REDES NEURONALES PARA LA INTENCIÓN DEL HABLA.....	575
INFLUENCIA DE LAS NANOPARTICULAS DE Ni Y Fe_2O_3 SOBRE LA PRODUCCIÓN DE METANO	588

DISEÑO, ANÁLISIS Y MANUFACTURA DE MASA SEPARADORA VEHICULAR PARA AUTO MODIFICADO.....	593
DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL SEMIAUTOMÁTICO PARA UN PIVOT LATERAL DE AVANCE FRONTAL PARA LA EMPRESA PRODUCTORA AGRÍCOLA EL ENCANTO S.P.R. DE R.I.	602
DISPOSITIVO ERGONÓMICO PARA EL MANEJO DE MATERIALES LIGEROS	607
ESTUDIO COMPARATIVO DE SÍNTESIS Y MODIFICACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE MATERIALES ADSORBENTES PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO	621
DISEÑO DE HÉLICES DE AEROGENERADOR DE BAJAS VELOCIDADES DE VIENTO.....	625
USO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA DE SUELOS	635
ANÁLISIS DE PROYECTOS DE VINCULACIÓN PARA SOLUCIONES INDUSTRIALES MEDIANTE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIOS. CASO: ITESI.	646
OBTENCIÓN DE NANOBARRAS DE ZNO EN SÍNTESIS DE BAJA TEMPERATURA	651
SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO DE UNA SECCIÓN TRANSVERSALDE BÓVEDA DE CAÑON BAJO CARGAS GRAVITACIONALES	658
SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA CONTROL DE INVENTARIOS USANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.....	667
EFFECTO DE LA DENSIFICACIÓN SiO_2 /PDMS EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	680
ANÁLISIS NUMÉRICO DE UN SISTEMA DE AGITACIÓN PARA EL ESTUDIO DE CINÉTICA DE EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO	687
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TERMO-ÓPTICO EN LOS TINTES ORGÁNICOS	696
MEJORA DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA CORROSIÓN EN ACEROS FABRICADOS POR FUNDICIÓN Y POR METALURGIA DE POLVOS AL SER SOMETIDOS A TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO.....	701
METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y DESARROLLO DE PLANTILLAS ERGONÓMICAS.....	715
DETECCIÓN DE GAS PROPANO APLICANDO UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO ANALÓGICO Y UN SENSOR QUÍMICO BASADO EN ÓXIDO DE NIQUEL ANTIMONIATO.....	726
SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LOS PARÁMETROS PRESENTES EN BATERÍAS DE LITIO-ION MEDIANTE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL.....	731
ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE PRECIPITACIÓN DE LA ALEACIÓN Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr (%at.) ENVEJECIDA ISOTÉRMICAMENTE	739
SÍNTESIS MECANOQUÍMICA DE ZNO DEPOSITADO EN FORMA DE RECUBRIMIENTO SOBRE VIDRIO POR LA TÉCNICA SCREEN PRINTING.....	751
ANÁLISIS DE LA PRECIPITACION DE FASES EN GRADIENTES COMPOSICIONALES MEDIANTE PARER DIFUSORES FE-10NI-15AL-10CR / FE-10NI-15AL-10CR-17TI (%AT.)	759
LOS CASOS DE USO Y EL MODELO DE DOMINIO PARA GENERAR PRUEBAS TEMPRANAS EN EL DESARROLLO DE SOFTWARE	772
SISTEMA DE CONTROL HÍBRIDO PARA OPTIMIZAR EL MOVIMIENTO DE UNA PRÓTESIS TRANSTIBIAL	778
SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA SOBRE NANOTOTUBOS DE CARBONO MEDIANTE EXTRACTO DE CAFÉ.....	787

USO DE RECURSOS DIGITALES EN LA FORMACIÓN DE LOS INGENIEROS EN EL ÁREA DE CIENCIAS BÁSICAS	792
SISTEMA DE CONTROL PARA CLIMATIZACIÓN CON DISPOSITIVOS TERMOELÉCTRICOS	799
PLAN DE NEGOCIOS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE NOPAL CUMPLIENDO CON EL SELLO ORGÁNICO SAGARPA	808
CONTROL DE POSICIONAMIENTO DE UN PAPALOTE SEMIPROFESIONAL BASADO EN SU MODELO DINÁMICO	822
DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA PORTAMUESTRAS DE UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO	832
CALIDAD ISO 9000	840
ÍNDICE DE AUTORES	847

CRECIMIENTO HIDROTHERMAL DE NANOESTRUCTURAS UNIDIMENSIONALES (1D) DE ÓXIDO DE ZINC (ZNO)

Antonia del Rocío López Guemez, Adrián Cordero García, Hermicenda Pérez Vidal, María Antonia Lunagomez Rocha, Elsa Emilia Uicab Córdova, Laura Lorena Díaz Flores, Fabiola Gómez Torres y Anabel González Díaz

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 1, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

RESUMEN

Las nanoestructuras unidimensionales (1D), han atraído especial atención debido a su potencial aplicación en una variedad de campos incluidos sensores químicos, celdas solares, fotocatalizadores entre otros. Entre las nanoestructuras 1D la nanovarilla de óxido de zinc (ZnO) es uno de los materiales más importantes para la nanotecnología en la actualidad, el cual, se puede sintetizar por diferentes métodos tales como deposición química de vapor, deposición electroquímica y el método hidrotermal. En este trabajo se reporta la síntesis de nanovarillas de ZnO obtenidas por el método hidrotermal. Las nanovarillas fueron crecidas sobre capas semilla de ZnO preparadas por el método sol-gel y depositadas por el método de recubrimiento por rotación en 1, 2 y 3 capas sobre sustratos de vidrio. Se utilizó acetato de zinc dihidratado, alcohol isopropílico y monoetanolamina como precursor, solvente y agente acomplejante respectivamente. Para el crecimiento hidrotermal se usó una disolución acuosa equimolar de acetato de zinc dihidratado y hexametenetetramina 0.02 M con un tiempo de reacción de 3h a 90 °C. Las propiedades morfológicas y estructurales de la capa semilla y de las nanovarillas se obtuvieron por microscopía electrónica de barrido (SEM, del inglés *scanning electron microscope*) y difracción de rayos X (DRX). El estudio morfológico de la capa semilla, a través del análisis elemental (SEM) indicó que a medida que aumentó el número de capas la película sobre el sustrato se hacía más homogénea. El ancho de las nanovarillas estuvo en el rango entre 51-59 nm y el largo entre 4.741- 6.841 μm . En los patrones de difracción obtenidos por difracción de rayos X (DRX) de la capa semilla y de las nanovarillas, se observa que para todos los materiales los picos de difracción corresponden a los planos de reflexión de la fase wurtzita del ZnO y son orientados preferencialmente a lo largo del eje c perpendicular a la superficie del sustrato, los cuales, con el aumento en el número de capas la intensidad del pico en el plano (002) aumenta. La síntesis de nanovarillas de ZnO nos permitirá a futuro utilizarlas como fotocatalizador en la degradación de colorantes bajo irradiación de luz solar simulada.

INTRODUCCIÓN

Recientemente, las investigaciones sobre nanoestructuras de semiconductores han recibido considerable atención debido a sus diversas propiedades físicoquímicas y a sus versátiles aplicaciones en diversos campos de la nanotecnología. Entre los diversos tipos de nanoestructuras de semiconductores, el desarrollo de nanoestructuras unidimensionales (1D) es un área de investigación muy activa debido a sus notables propiedades relacionadas con el confinamiento cuántico de electrones [1]. El tipo de nanoestructura 1D más estudiada son las nanovarillas de ZnO que son semiconductores de banda ancha (3,37 eV) de transmisión directa con una gran energía de excitón de enlace (60 meV) a temperatura ambiente [2]. Uno de los métodos más usados para obtener nanoestructuras 1D es la deposición física en fase vapor (PVD) que es de alto costo y consume mucha energía [3]. Sin embargo, el método hidrotermal es adecuado para producir nanovarillas de ZnO con alta densidad y bien alineadas bajo un procesamiento a baja temperatura [4]. Este método involucra reacciones químicas de sustancias en solución a baja temperatura y presión. Por lo tanto, las ventajas de este método son bajo costo, simplicidad, buena nucleación y control de forma. Además, evita la acumulación y la distribución del tamaño del material obtenido es uniforme. La forma y el tamaño de las nanoestructuras 1D son influenciados por muchos parámetros de procesamiento tales como el tiempo de reacción, la temperatura, la relación molar y la concentración de los reactivos, los espesores de la capa de semillas y la renovación de la disolución [5]. Para el crecimiento de las nanovarillas verticalmente alineadas y con un área de superficie alta la capa semilla debe ser formada primero antes del crecimiento de las nanovarillas. La técnica de

recubrimiento por rotación fue elegida como método de formación de la capa de semillas debido a la facilidad de uso [6]. En este trabajo se reporta la síntesis de nanovarillas sobre capas de semillas de ZnO, para su posterior uso en la mineralización fotocatalítica de colorantes al ser activados con luz solar simulada.

PARTE EXPERIMENTAL

Todos los reactivos utilizados en esta metodología son de la marca Baker® ACS. Para la preparación de la capa semilla se disolvió el acetato de zinc dihidratado (AcZn), 0.94 M en 2-propanol (2-PrOH). Después la monoetanolamina (MEA) fue agregada gota a gota a la disolución bajo agitación magnética. La relación molar de la MEA con el AcZn se mantuvo en 1. La mezcla resultante fue agitada por 1h a 60°C, obteniéndose una disolución clara y homogénea, la cual fue envejecida durante 72 h. Los sustratos de vidrio se limpiaron utilizando una solución piraña, reportada por Tari y col. [7]. Las capas semillas de ZnO se prepararon recubriendo por rotación (4000 rpm durante 30 s) el sustrato de vidrio con la disolución envejecida en condiciones ambientales. Después las películas fueron secadas durante 1h a 80°C para evaporar el solvente y residuos orgánicos remanentes, seguido de un tratamiento térmico a 500°C durante 1h en rampa de calentamiento de 5°C/min. Este mismo procedimiento se realizó dos veces para 2 capas semillas y tres veces para 3 capas semillas. Posteriormente se procedió a realizar el crecimiento hidrotérmico de las nanovarillas, colocando las capas de semillas dentro de un reactor hidrotérmico que contenía una disolución acuosa equimolar (0.02M) de acetato de zinc dihidratado y hexametilenoetramina, durante 3h a 90°C. Una vez transcurrido el tiempo de crecimiento, las muestras fueron lavadas con agua desionizada y secadas durante 10 min a 90 °C. En total se obtuvieron tres tipos de películas de ZnO las cuales fueron identificadas como: CS1 (1 capa semilla), CS2 (2 capas semillas) y CS3 (3 capas semillas). Las propiedades morfológicas fueron obtenidas por SEM en un equipo JEOL JSM-6010LA. La fase cristalina y la orientación del cristal de las películas delgadas de ZnO se analizaron en un difractómetro de rayos X marca Rigaku modelo Smart Lab X-Ray con radiación CuK α (λ = 1.541 Å).

RESULTADOS

En la Figura 1 se presentan los difractogramas de rayos X de la capa semilla de ZnO. Todos los picos de los patrones de difracción obtenidos, coinciden en posición y corresponden a los planos de reflexión de la estructura wurtzita de ZnO [8], lo cual se esperaba debido al tratamiento térmico a 500°C. Sin embargo, con el aumento del espesor de la capa semilla (3 capas) la intensidad del pico (002) aumenta debido a una mayor cristalinidad. El espectro de difracción de las películas de ZnO en una sola capa no se reporta porque los picos de los patrones de difracción no se reflejaron.

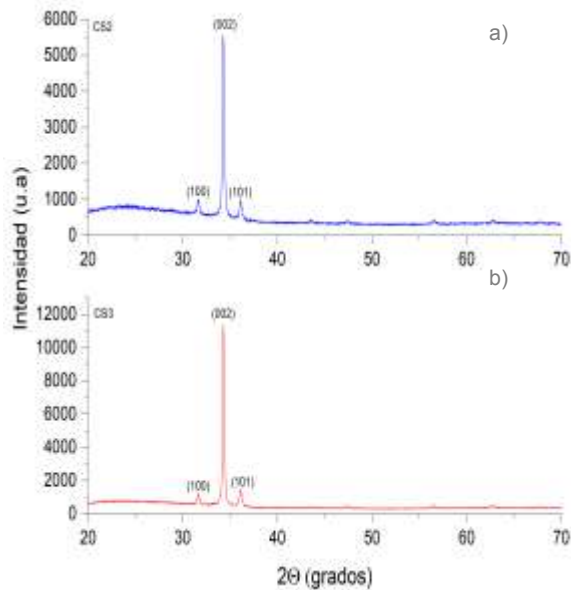


Figura 1. Difractogramas de películas de ZnO, a) CS2, b) CS3 tratadas térmicamente a 500°C.

En la Figura 2 se presenta la imagen de las tres capas semillas (a) CS1, (b) CS2 y (c) CS3 en escala de 10 μm . En todas es posible apreciar una capa irregular que coincide con las que ya han sido reportadas por Tsay y col., debido a que las superficies libres de las películas delgadas de ZnO derivadas del proceso sol-gel tienden a exhibir irregularidades cuando esas películas han sufrido una pérdida sustancial de grupos OR (hidroxi o alcoxi) de precursores de recubrimiento [9].

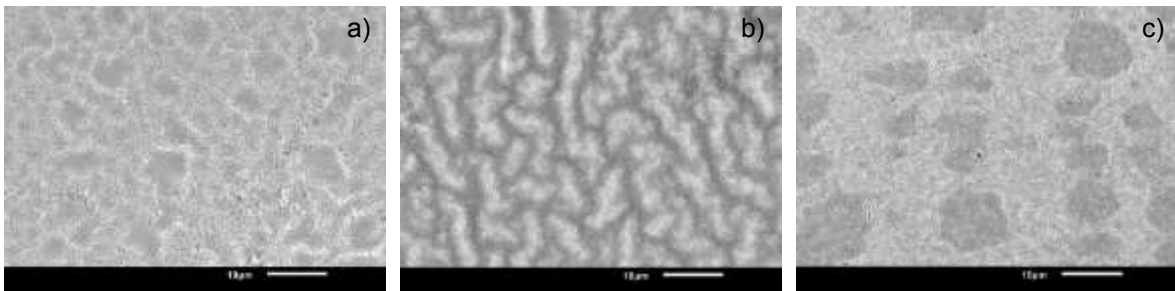


Figura 2. Imagen SEM de películas de (a) CS1, (b) CS2 y (c) CS3 tratadas térmicamente a 500°C.

De acuerdo a la Figura 3, las películas delgadas con crecimiento hidrotérmal están orientadas preferentemente a lo largo del eje "c" debido a la energía libre de superficie mínima del plano (002), esta orientación es la dirección de crecimiento termodinámicamente más favorable de acuerdo al PDF 000650726. Las intensidades de los picos de los difractogramas de las nanovarillas aumentaron en gran medida comparada con los picos de los difractogramas de la capa semilla. En ambos casos los planos (100), (002) y (101) son los más sobresalientes. En este proceso se asume que el hecho de que las películas delgadas estén orientadas preferentemente a lo largo del eje c está relacionado con la naturaleza del ZnO y con las condiciones de preparación de las mismas [10].

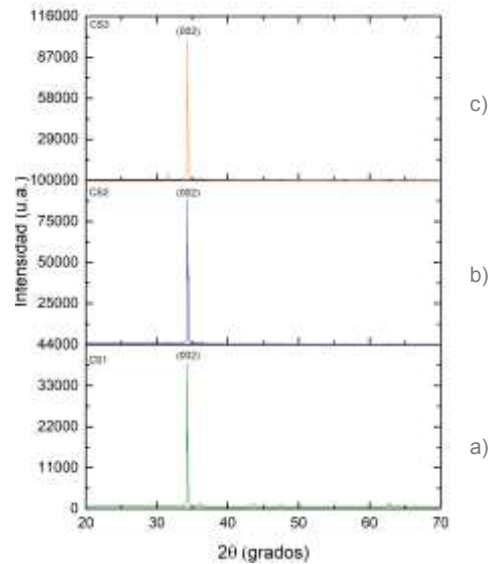


Figura 3. Difractogramas del crecimiento hidrotermal de las nanovarillas sobre a) CS1, b) CS2 y c) CS3.

En la Figura 4 se observa que el ancho de las nanovarillas de ZnO crecidas hidrotermalmente sobre capas semillas, varió entre 51-59 nm, mientras que el largo fue de 4.741- 6.841 μm . Debido al tipo de aplicación que se le dará a las nanovarillas, los valores dimensionales son altos en comparación de las medidas que se esperan obtener que son 50 nm de ancho y alrededor de 3.50 μm de largo, por lo que aún se debe continuar trabajando en el crecimiento de las nanovarillas ajustando el tiempo de reacción, la relación molar y concentración de los precursores.

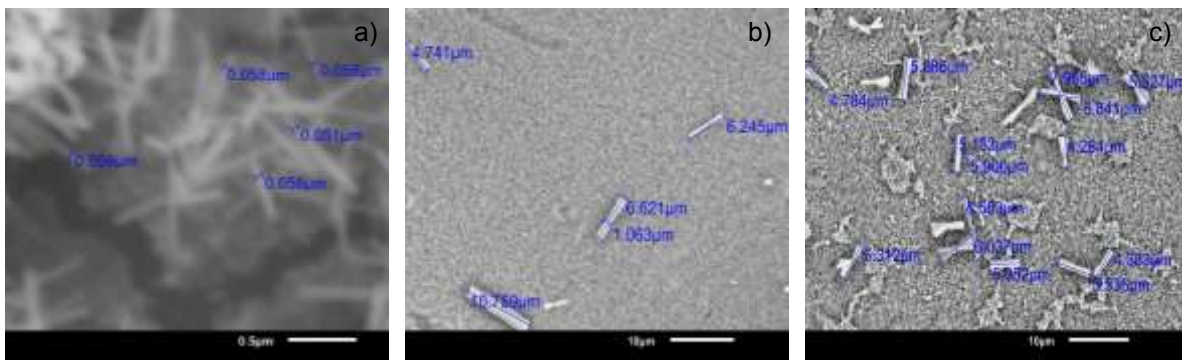


Figura 4. Imagen SEM de nanovarillas crecidas sobre a) CS1, b) CS2 y c) CS3.

CONCLUSIONES

Las condiciones de la preparación de la capa de semilla por el método de sol-gel y el método de crecimiento por el tratamiento hidrotermal, mostraron ser las adecuadas para la obtención de nanovarillas. Sin embargo, el número de capas semillas fueron parámetros críticos que influyeron en la longitud y alineación de las nanovarillas sobre el sustrato. Durante el proceso de crecimiento de las nanovarillas al ser autoatraídas indujeron una orientación altamente del eje "c" del sustrato.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. Umar, C. Ribeiro, Y. Masuda, and Y. B. Hahn, "09 Growth of Highly c-Axis-Oriented ZnO Nanorods on ZnOGlass Substrate Growth.pdf," *J. Phys. Chem. C*, vol. 113, pp. 14715–14720, 2009.
2. K. H. Kim, K. Utashiro, Y. Abe, and M. Kawamura, "Growth of zinc oxide nanorods using various seed layer annealing temperatures and substrate materials," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 9, no. 4, pp. 2080–2089, 2014.
3. L. W. Ji, S. M. Peng, J. S. Wu, W. S. Shih, C. Z. Wu, and I. T. Tang, "Effect of seed layer on the growth of well-aligned ZnO nanowires," *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 70, no. 10, pp. 1359–1362, 2009.
4. M. I. A. Umar, F. Y. Naumar, M. M. Salleh, and A. A. Umar, "Hydrothermally grown of well-aligned ZnONRs: dependence of alignment ordering upon precursor concentration," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 29, no. 8, pp. 6892–6897, 2018.
5. M. Ding *et al.*, "One-Dimensional Zinc Oxide Nanomaterials for Application in High-Performance Advanced Optoelectronic Devices," *Crystals*, vol. 8, no. 5, p. 223, 2018.
6. A. Bramantyo, N. R. Poespawati, and M. Kenji, "Optimization of ZnO seed layer for growth of vertically aligned ZnO nanorods on glass surface," vol. 4, p. 011103, 2016.
7. O. Tari, A. Aronne, M. L. Addonizio, S. Daliento, E. Fanelli, and P. Pernice, "Sol-gel synthesis of ZnO transparent and conductive films: A critical approach," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 105, pp. 179–186, 2012.
8. R. Bekkari, B. Jaber, H. Labrim, M. Ouafi, N. Zayyoun, and L. Laânab, "Effect of solvents and stabilizer molar ratio on the growth orientation of sol-gel-derived ZnO thin films," *Int. J. Photoenergy*, vol. 2019, 2019.
9. C. Y. Tsay, K. S. Fan, Y. W. Wang, C. J. Chang, Y. K. Tseng, and C. K. Lin, "Transparent semiconductor zinc oxide thin films deposited on glass substrates by sol-gel process," *Ceram. Int.*, vol. 36, no. 6, pp. 1791–1795, 2010.
10. L. Xu, X. Li, Y. Chen, and F. Xu, "Structural and optical properties of ZnO thin films prepared by sol-gel method with different thickness," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 257, no. 9, pp. 4031–4037, 2011.

ESTACIÓN DE MONITOREO I-GAMMA

J. Carlos García V., J. Alberto Valdez L., H. René Valadez O., Eduardo Gaona Z., J. Eduardo Frías C.

Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas
jcgarcia@ciatec.mx

RESUMEN

El monitoreo atmosférico, es uno de los indicadores principales de la calidad del aire, además representa una valiosa herramienta de gestión para instrumentar acciones de prevención y control de los contaminantes presentes en la atmósfera, ante condiciones que ponen en riesgo la salud de los ciudadanos. Además, es una fuente de información para la ciudadanía sobre los niveles de contaminación. [1]

Uno de los compromisos de CIATEC es impulsar el desarrollo de la ciencia, promoviendo el bienestar y el progreso de la sociedad. Se busca desarrollar un Sistema de Monitoreo para la Calidad del Aire de costo sensiblemente inferior al de las estaciones de monitoreo actuales, que proporcione la información de las principales contaminantes criterio como son el CO, O₃, SO₂, NO₂, PM_{2.5} y PM₁₀ y variables atmosféricas como Temperatura y Humedad Relativa, para ser transferidas a un servidor que concentre y genere la información (Big Data) para su análisis. El desarrollo se divide en dos partes: el diseño de una estación de monitoreo que se encargará de medir los contaminantes criterio del aire y del desarrollo de un sistema de transmisión de la información capturada por la estación de monitoreo y mandarla a la plataforma Big Data. Actualmente las estaciones convencionales de monitoreo son costosas, además de que requieren de un gran espacio para su instalación y también su costo de mantenimiento es alto. Debido a esto, se tiene la necesidad de incrementar la capacidad de medir los contaminantes criterio con un costo menor.

Modelo Conceptual del Sistema de Medición de los Contaminantes Criterio del Aire.

Estación de Monitoreo. Es la encargada de estar midiendo la concentración de los contaminantes contenidos en el aire.

Sistema de Transferencia de Información. Es el encargado de recabar la información, procesársela y transmitirla a la plataforma Big Data de i-GAMMA.

El sistema tiene un costo sensiblemente menor tanto en la inversión inicial como en la operación y mantenimiento, este no pretende sustituir a las estaciones de monitoreo convencionales, si no, incrementar la capacidad de medición de los contaminantes criterio del aire para obtener mayor información para la toma de decisiones.

INTRODUCCIÓN

En el contexto del uso de la tecnología para la administración de las economías ambientalmente sostenibles, los gobiernos modernos enfrentan la necesidad de obtener información confiable (y de manera permanente) del estado actual que guardan los elementos del ambiente. Ello para diseñar las políticas, sus mecanismos e instrumentos, que salvaguarden el patrimonio natural de sus ciudades y comunidades, y preserven los servicios ambientales con que cuentan; y para optimizar la toma de decisiones (inmediatas, de corto, mediano y largo plazos), a partir de información precisa y oportuna.

La medición automática y en tiempo real de las características del ambiente es factible mediante estaciones de monitoreo sofisticadas que toman información del ambiente, la almacenan y la comunican a un centro de control donde la procesan, analizan e interpretan para generar conocimiento.

Con esta visión, en el ámbito de la contaminación atmosférica, el Instituto de Ecología (INECOL) emprendió el proyecto "Uso de Big Data para la gestión ambiental del desarrollo sostenible (Integralidad Gamma)", cuyo objetivo es generar información técnica confiable (precisa y oportuna), y articularla de manera estandarizada para proveer nuevos datos ambientales sobre el estado de los ecosistemas, ello a través de cuatro grandes sistemas de monitoreo que operan en México.

Dicho alcance implica la instalación de estaciones de monitoreo complementarias que representan una considerable inversión capital, por lo cual, para optimizar recursos, se tomó la decisión de desarrollar estaciones de monitoreo propias y de bajo costo. Así, el INECOL y CIATEC inician una colaboración con el objeto de diseñar, construir y probar tres prototipos de estaciones de monitoreo de contaminantes atmosféricos con las siguientes características: a) de bajo costo, b) con una fidelidad equiparable a la de las estaciones de monitoreo tradicionales, y c) con apego a la normatividad mexicana. Ello para el estado de Guanajuato.

TEORÍA

Objetivo.

Diseñar un prototipo de bajo costo para el estado de Guanajuato y construir tres prototipos físicos a partir del diseño generado, para el monitoreo de contaminantes criterio del aire, mismos que serán sujetos a la comprobación de la fidelidad de los datos que produzcan mediante la inter-comparación con estaciones de monitoreo tradicionales y apegadas a la normatividad mexicana.

Marco normativo.

La contaminación del aire se define como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que afecten o puedan afectar la vida humana, de los animales, de las plantas o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades. Los contaminantes del aire pueden ser polvo, vapores, niebla, líquidos, humo, otras materias particuladas, vapor, gas, sustancias olorosas, o cualquier combinación de las mismas; este grupo no incluye el vapor de agua no combinado (no se considera contaminante).

Debido a que la contaminación atmosférica afecta la salud humana en forma adversa, los gobiernos de todo el mundo han regulado su concentración en el aire. En México, a través de las Normas Oficiales Mexicanas, se fijan valores máximos permisibles para los contaminantes que representan un riesgo comprobado en la salud humana. En la Tabla 1 se presenta una comparación entre las regulaciones y recomendaciones en materia de contaminación del aire de la Unión Europea (UE), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y México.

Tabla 1. Comparación de estándares nacionales e internacionales para la regulación de la contaminación atmosférica.

Contaminante	Periodo de tiempo para el promedio	UE	OMS	México (NOM)
		Objetivo y naturaleza legal, concentración	Concentración	Estándar
PM _{2.5}	Horaria-Un día		25 mg/m ³	45 mg/m ³
PM _{2.5}	Anual-Año calendario	Valor límite-Valor objetivo, 25 mg/m ³	10 mg/m ³	12 mg/m ³
PM ₁₀	Horaria-Un día	Valor límite, 50 mg/m ³	50 mg/m ³	75 mg/m ³
PM ₁₀	Anual-Año calendario	Valor límite, 40 mg/m ³	20 mg/m ³	40 mg/m ³
O ₃	Máximo diario-Media de 8 horas	Valor objetivo, 120 mg/m ³	100 mg/m ³	0.095 ppm (190 mg/m ³)
NO ₂	Horaria-Una hora	Valor límite, 200 mg/m ³	200 mg/m ³	0.210 ppm (390 mg/m ³)
NO ₂	Anual-Año calendario	Valor límite, 40 mg/m ³	40 mg/m ³	
CO	Máximo diario-Media de 8 horas	-	-	11 ppm (12,590 mg/m ³)
SO ₂	EU 1 hora / MX 24-horas	Valor límite, 350 µg/m ³	-	0.110 ppm (290 mg/m ³)
SO ₂	EU 24 horas / MX anual	Valor límite, 125 µg/m ³	-	0.025 ppm (70 mg/m ³)

[2, 3, 4, 5]

Para definir los contaminantes que serían medidos por los prototipos de estación de monitoreo se tomó como referencia la normatividad mexicana. Esta selección contó con la asesoría y visto bueno de la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato (SMAOT). Así, con el fin de que los prototipos tomaran mediciones apegadas a las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs), se definieron los contaminantes (criterio) y variables meteorológicas que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Contaminantes atmosféricos considerados para su medición en los prototipos de estación de monitoreo.

Contaminante	Norma Oficial Mexicana	Descripción
Partículas con diámetro menor a 10 μm (PM_{10})	NOM 025-SSA1-1993. 26 de septiembre de 2005.	El indicador promedio diario no debe exceder el 2% de las mediciones anuales el valor de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El indicador promedio anual debe ser menor o igual a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Partículas con diámetro menor a 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$)	NOM 025-SSA1-1993. 26 de septiembre de 2005.	El indicador promedio diario no debe exceder el 2% de las mediciones anuales el valor de 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El indicador promedio anual debe ser menor o igual a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Ozono (O_3)	NOM 020-SSA1-1993. 30 de octubre de 2002.	El indicador promedio de una hora no debe exceder una vez al año el valor de 0.110 ppm. El indicador promedio de ocho horas no debe exceder más de cuatro veces al año el valor de 0.080 ppm.
Monóxido de carbono (CO)	NOM 021-SSA1-1993. 23 de diciembre de 1994.	El indicador promedio de ocho horas no debe exceder una vez al año el valor de 11 ppm.
Dióxido de azufre (SO_2)	NOM 022-SSA1-1993. 8 de septiembre de 2010.	El indicador promedio diario no debe exceder una vez al año el valor de 0.110 ppm. El indicador promedio anual debe ser menor o igual 0.025 ppm. El indicador promedio de ocho horas no debe exceder una vez al año el valor de 0.200 ppm.
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	NOM 023-SSA1-1993. 23 de diciembre de 1994.	El indicador promedio de una hora no debe exceder una vez al año el valor de 0.210 ppm.

Las variables meteorológicas que serán medidas por los prototipos de estación de monitoreo son: temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%) y presión atmosférica.

[6, 7, 8, 9, 10, 11]

Requerimientos específicos.

La Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT), en su calidad de usuario final y operador de los prototipos de estación de monitoreo, definió diversas características técnicas y de desempeño que se listan a continuación.

- a. Registro de mediciones cada minuto.
- b. Cálculo de promedios cada hora (promedio de las mediciones tomadas en una hora).
- c. Almacenamiento de mediciones y promedios.
- d. Capacidad de almacenamiento para las mediciones tomadas de 21 días naturales.
- e. Cada estación debe contar con un identificador único.
- f. Información dispuesta en función de la API (*Application Programming Interface*) desarrollada por el INECOL (Instituto de Ecología).
- g. Posibilidad de uso del gestor MySQL (*database management system*)
- h. Manejo de la información (definido por SMAOT):
 - i. Los datos se vaciarán inicialmente a un dispositivo móvil.
 - ii. La secretaría usará los archivos en estructura JSON (formato ligero de intercambio de datos, *JavaScript Object Notation*); los archivos se manejarán en archivo plano.
 - iii. Los tres prototipos se instalarán junto a estaciones de monitoreo convencionales, que estarán ubicadas en la Ciudad de Salamanca, Guanajuato.

DISEÑO DE ESTACIÓN DE MONITOREO

Actividad 1. Desarrollo del modelo conceptual del prototipo de la estación de monitoreo.

El desarrollo del modelo conceptual del prototipo de estación de monitoreo consistió en tres actividades principales: diseño conceptual del soporte, diseño conceptual del sistema de control, y selección de la plataforma microelectrónica. La ejecución de las mismas se describe a continuación.

Actividad 1.1. Diseño conceptual del soporte para el prototipo de monitoreo

Para la conceptualización del soporte para el prototipo de estación de monitoreo se definió que su función básica sería la de: a) sostener los diferentes sensores para la medición de contaminantes, b) sostener el gabinete del sistema electrónico de adquisición y procesamiento de datos, y c) capacidad para instalar un panel solar.

Así, el diseño conceptual definió los siguientes componentes para el soporte del prototipo de estación de monitoreo:

1. Poste
2. Sensores
3. Gabinete (eléctrico)
4. Plataforma electrónica (hardware)

La configuración del concepto de soporte se muestra en el boceto de la Figura 1.

El modelo conceptual del prototipo de monitoreo incluye el proceso de transferencia de la información. Esta ocurrirá una vez que el dispositivo móvil (celular o Tablet) haya recolectado los datos. Es dispositivo móvil transfiere los datos a un servidor (concentrador) que operará y administrará la Secretaría del Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT). Desde el servidor, los datos serán transferidos al servidor (concentrador) Big Data que contendrá la base de datos GAMMA. En la Figura 2 se muestra un esquema del proceso de transferencia de la información.

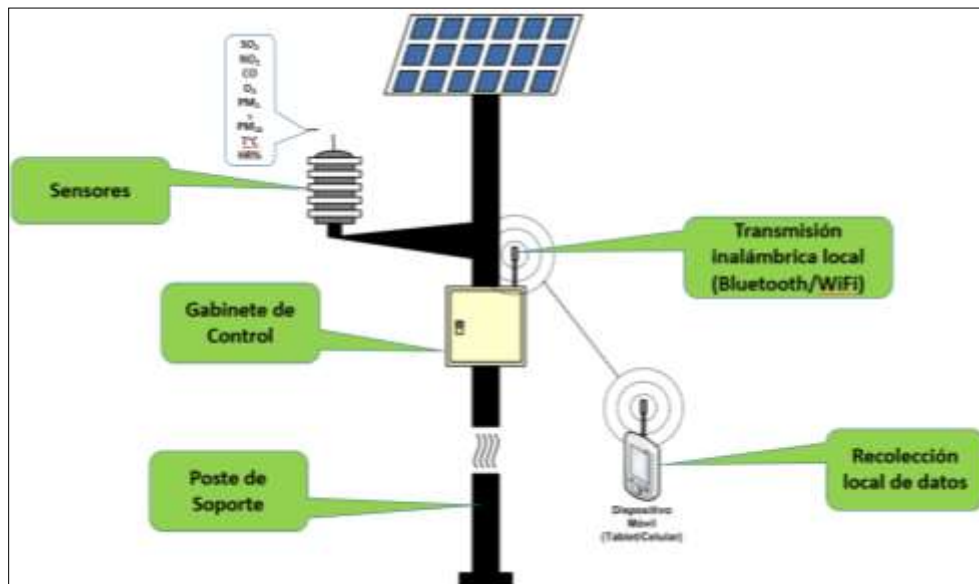


Figura 1. Concepto de soporte para el prototipo de estación de monitoreo, boceto.

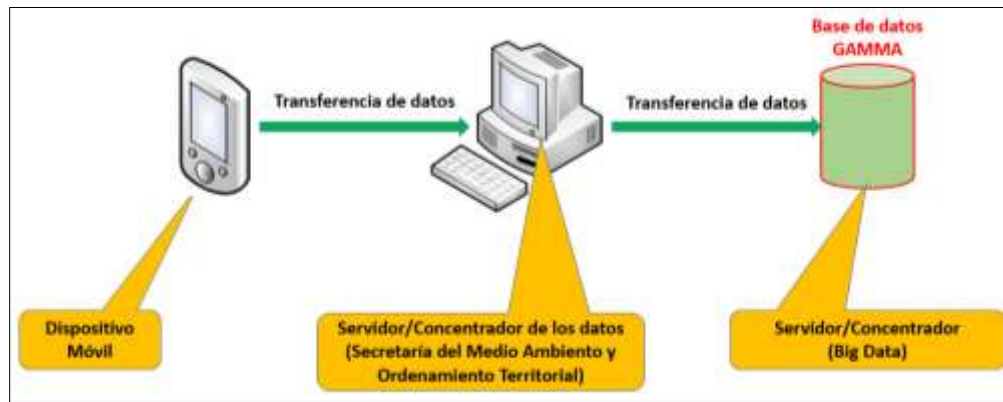


Figura 2. Proceso de transferencia de la información.

Actividad 1.2. Diseño conceptual del sistema de control

El sistema de control electrónico se conceptualizó como aquel capaz de tomar mediciones de los contaminantes criterio y variables climatológicas (especificadas), adquirir datos y almacenarlos, y ser compatible con el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino. Para ello, dicho sistema se configuró conceptualmente con los siguientes componentes: a) sensores, b) módulo para los sensores, c) módulo RTC (Reloj de Tiempo Real), d) módulo de desarrollo, e) dispositivo móvil, y f) terminal HMI (*Human-Machine Interface*) para visualizar los datos (opcional). Con las siguientes características:

1. Sensores: con capacidad de medir los contaminantes criterio
2. Módulo RTC: con capacidad de medir fecha y hora
3. Módulo de desarrollo:
 - a. Almacena la información generada por los sensores y el RTC y la elimina automáticamente una vez que es recolectada por un dispositivo móvil.
 - b. Contiene y controla memoria microSD con almacenamiento temporal de 21 d. Genera base de datos.
 - c. Contiene puerto Bluetooth para la transmisión de los datos almacenados.
4. Dispositivo móvil: teléfono celular o Tablet con la plataforma Big Data.
5. Terminal HMI: pantalla.

El diseño conceptual del sistema de control electrónico se presenta en la Figura 3.

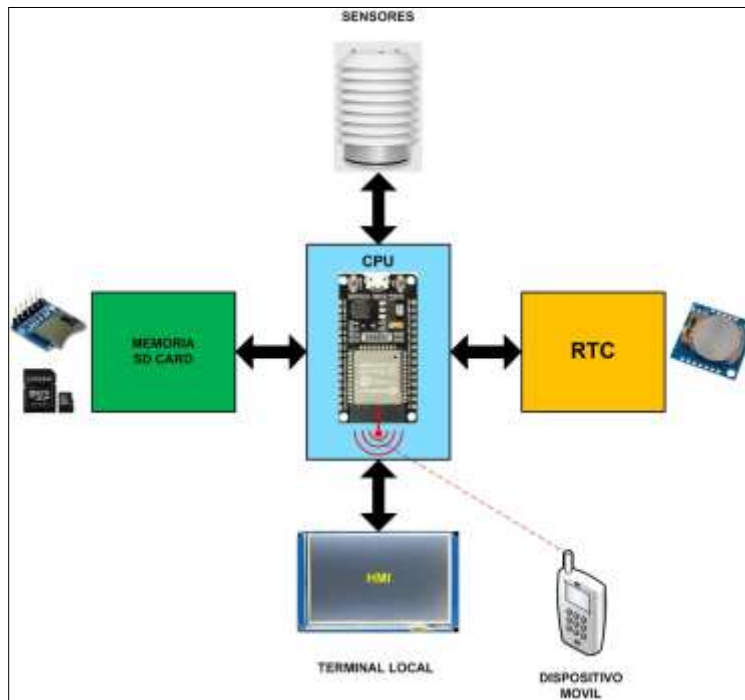


Figura 3. Diseño conceptual del sistema de control electrónico.

Actividad 1.3. Selección de la plataforma de microelectrónica

El criterio para la selección de la plataforma de microelectrónica fue la compatibilidad con el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino, y otras características como la capacidad de almacenamiento de datos y consumo de energía.

Se evaluaron tres plataformas disponibles en el mercado: a) Arduino MEGA 2560, b) Node MCU ESP8266 V1.0, y c) DOIT ESP32. En la Tabla 3 se resumen las características de estas tres plataformas, y en la Tabla 4 sus ventajas y desventajas.

Tabla 3. Características de las plataformas disponibles en el mercado, compatibles con IDE de Arduino.

Características	Arduino MEGA 2560	No de MCU ESP8266 V1.0	DOIT ESP32
Microcontrolador	AVR ATmega 2560 8 bits	Tensilica LX106 32 bits	Tensilica Xtensa LX6 Dual-Core 32 bits
Alimentación	5V	3.0V – 3.6V	2.2V – 3.6V
Terminales E/S	54	13	25
Memoria de Datos	8KB	80KB	520KB
Memoria de Programa	256KB	4MB	16MB
Velocidad	16MHz	80MHz	240MHz
Comunicación	Serial, I2C, SPI, 1-wire	Serial, I2C, SPI, 1-wire, WiFi	Serial, I2C, SPI, 1-wire, WiFi, Bluetooth
Dimensiones	5.3 cm x 10.1 cm	4 cm x 2 cm	5 cm x 2.5 cm
Precio estimado	USD\$20 - \$50	USD\$5 – \$8	USD\$9 - \$20

[12]

Tabla 4. Ventajas y desventajas de las plataformas microelectrónicas.

Plataforma	Ventajas	Desventajas
Arduino MEGA 2560	<ul style="list-style-type: none"> †Económico †Versiones originales y genéricas †De venta en el País †Gran cantidad de librerías para manejo de sensores y dispositivos externos †Es la plataforma de desarrollo más utilizada en el mundo 	<ul style="list-style-type: none"> †Procesador de 8 bits †Requiere de hardware externo para agregar WiFi, Ethernet o Bluetooth †No es recomendable para utilizar con baterías †Baja velocidad de procesamiento y poca memoria de programa
NodeMCU ESP8266 V1.0	<ul style="list-style-type: none"> †Económico †Procesador de 32 bits †Rango de alimentación para bajo consumo †Diferentes versiones de desarrollo †WiFi integrado †De venta en el País †Compatible 100% con la programación de Arduino (agregando un complemento al software) †Gran variedad de librerías para manejo de sensores y dispositivos externos †Posibilidad de programación mediante otros lenguajes (COMANDOS AT y LUA) 	<ul style="list-style-type: none"> †Limitado número de terminales de entrada/salida †Requiere de un complemento para poder manejar este dispositivo en el IDE de Arduino
DOIT ESP32	<ul style="list-style-type: none"> †Económico †Procesador de Doble Núcleo y de 32 bits †Rango de alimentación para bajo consumo de energía †Ideal para alimentar con baterías †Diferentes versiones de desarrollo †WiFi y Bluetooth integrado †De venta en el País †Compatible 100% con Arduino (agregando un complemento al software) †Gran variedad de librerías para manejo de sensores y dispositivos externos †Resolución analógica de 12 bits de entrada y 8 bits de salida †Posibilidad de programación mediante otros lenguajes (ECLIPSE Y LUA) 	<ul style="list-style-type: none"> †Requiere de un complemento para poder manejar este dispositivo en el IDE de Arduino

[13]

La plataforma seleccionada (seleccionada) es la DOIT ESP32 por sus mejores características en capacidad de almacenamiento de datos y consumo de energía, además de cumplir con los estándares de desempeño requeridos para su confiable y permanente funcionamiento en campo.

Actividad 2. Investigación comercial de tecnología.

La investigación comercial de tecnología consistió en dos actividades principales: investigación de oferta comercial de sensores y evaluación de tecnología disponible. La ejecución de las mismas se describe a continuación.

Actividad 2.1 Investigación de oferta comercial de sensores.

Se realizó una búsqueda exhaustiva de sensores comerciales para la medición de los contaminantes atmosféricos seleccionados para los prototipos de estación de monitoreo (contaminantes criterio). Los criterios para la búsqueda de sensores fueron la máxima satisfacción de los requerimientos establecidos por el usuario final (SMAOT) y el cumplimiento de la normatividad mexicana.

Actividad 2.2 Evaluación de tecnología disponible.

Con base en la investigación comercial de sensores y con apego a los requerimientos establecidos por el usuario final (SMAOT), así como del cumplimiento de la normatividad mexicana, se seleccionaron dos sensores candidatos: a) Vaisala y b) Sensovant. Sus características se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de los sensores comerciales para la medición de contaminantes criterio en aire (ambos cumplen requerimientos y normativa).

x	VAISALA				SENSOVANT			
	Rngo.*	S*	Rs.*	U*	R*	S*	R*	U*
SO ₂	0 - 2	0.005	0.001	ppm	0 - 100	0.001	0.002	ppm
NO ₂	0 - 2	0.005	0.001		0 - 20	0.001	0.001	
CO	0 - 10	0.1	0.01		0 - 1000	0.001	0.03	
O ₃	0 - 2	0.005	0.01		0 - 20	0.001	0.5	
NO	-	-	-	-	0 - 20	0.001	0.001	
H ₂ S	-	-	-	-	0 - 100	0.0005	0.004	
VOC	-	-	-	-	0 - 100	0.2	5%	
PM _{2.5}	0 - 2000	0.3 - 20	0.1	µg/m ³	0 - 1000	0.3	10	µg/m ³
PM ₁₀	0 - 5000	µm*						

*Rgo.: rango, S: sensibilidad, Rs.: resolución, U: unidades

[14, 15]

El resultado de la comparación de los sensores comerciales fue la selección del módulo de sensores AQT-420 de la marca Vaisala. Estos sensores presentan una mejor oferta comercial, la marca cuenta con representante en México, se ajustan a los requerimientos del usuario final (SMAOT), y cumplen con la normatividad mexicana. En la Figura 4 se presenta el sensor Vaisala AQT-420 y en la Tabla 6 sus características más importantes.



Figura 4. Sensor Vaisala AQT-420

Tabla 6. Especificaciones del sensor Vaisala AQT-420.

Gas	Rango	Detección mín.	Resolución	Precisión	Linealidad	Unidad
S02	0 – 2	0.005	±0.001	<±1%	<±1%	ppm
N02	0 – 2	0.005	±0.001	<±1%	<±1%	ppm
CO	0 – 10	0.01	±0.01	<±2%	<±2%	ppm
O3	0 - 2	0.005	±0.01	<±3%	<±2%	ppm

[15]

Así, la información generada por los sensores de la calidad del aire contenidos en el módulo Vaisala AQT-420 será entregada al sistema electrónico. Luego, mediante el módulo de desarrollo seleccionado (CPU), se generará una base de datos interna a partir de lecturas realizadas en tiempo real, promediadas de manera minutal, para cada contaminante criterio (variable de medición). La información será almacenada de manera temporal por 30 días en la memoria microSD (controlada por el CPU) junto con los datos de fecha y hora comunicados por el módulo RTC (Reloj de Tiempo Real); también, a petición del usuario, los datos almacenados serán transmitidos mediante el puerto Bluetooth (integrado en el CPU) a un dispositivo móvil, Tablet o Celular, para su tratamiento y envío a la plataforma de Big Data. Opcionalmente, los valores de las variables de calidad del aire podrán ser visualizados en el sitio mediante una terminal HMI (Interface Hombre – Máquina), pantalla.

Actividad 3. Diseño y desarrollo de la interface de comunicación (Arquitectura de la API y del Software).

Nivel de la API y versión del sistema operativo Android.

La interfaz de programas de aplicación (API: *Application Programming Interface*), que representa las funciones y funcionalidades que podrán ser utilizadas en el dispositivo, se busca que sea robusta; en la medida que la API sea de mayor nivel, más y mayores funcionalidades podrán ser utilizadas. Por ello, la arquitectura de la API para la interface de comunicación de los prototipos de monitoreo, se define con un nivel de al menos 24, esto es, Android Nivel de API 24. Consecuentemente, las versiones compatibles para el sistema operativo se listan en la Tabla 7.

Tabla 7. Versiones compatibles del sistema operativo para una API nivel 24

Android Versión	Released	API Level Name
Android 9.0	August 2018	Pie
Android 8.1.0	December 2017	Oreo
Android 8.0.0	August 2017	Oreo
Android 7.1	August 2016	Nougat
Android 7.0	June 2016	Nougat

Conjunto de instrucciones (isa: *instruction set architecture*), unidad central de procesamiento (cpu: *central process unit*) y unidad de procesamiento gráfico (gpu: *graphics processing unit*)

Para el conjunto de instrucciones (isa) se utilizará la arquitectura arm; la cual es una arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) que significa “ordenador con conjunto reducido de instrucciones”. La arquitectura ARM se eligió por la relativa simplicidad de sus procesadores, lo que los hace ideales para aplicaciones de baja potencia. Su evaluación iniciará con la versión 7 de la ARM, ARMv7, y a partir de ésta se buscará la compatibilidad con los diferentes niveles de la API. Como parte de la arquitectura de programación, la ISA incluye diferentes tipos de datos, instrucciones, registros, modos de direccionamiento, arquitectura de memoria, interrupciones y manejo de excepciones y entradas/salidas externas.

Resolución de pantalla

Las resoluciones de pantalla que serán utilizadas para los simuladores de las aplicaciones de codificación, con fines de depuración, funcionalidad y presentación de la aplicación serán principalmente:

- QHD (2560 x 1440)
- HD 720 (1280 x 720)
- FULL HD (1920 x 1080)
- 1440 x 2560

Ambiente de desarrollo

El ambiente de desarrollo (conjunto de procedimientos y herramientas que se utilizan para desarrollar el programa) será el de programación en un modelo de N-Capas de informática distribuida. Este ambiente de desarrollo es uno de los que ha emergido como arquitectura predominante para la construcción de aplicaciones multiplataforma, por su sencillez y facilidad de uso.

Las principales ventajas de este estilo de programación son el agrupamiento y priorización de los principales elementos involucrados en función de su objetivo final dentro del software. Además, se requiere mantenimiento sencillo, y presenta flexibilidad y alta escalabilidad. La arquitectura en capas consiste en un estilo de programación donde el objetivo principal es separar los diferentes aspectos del desarrollo, tales como las cuestiones de presentación, lógica de negocio, mecanismos de almacenamiento y demás elementos principales. Estas capas, dentro de una arquitectura, formarán un conjunto de servicios especializados que serán accesibles para múltiples clientes y, al mismo tiempo, serán fácilmente reutilizables. El proyecto hará uso de tres capas primordiales de componentes: a) capa de presentación, b) capa de lógica de negocio, y c) capa de datos.

Aplicación para android (software de gestión)

Una vista de la aplicación para Android que permitirá la comunicación del operador con el prototipo de estación de monitoreo se puede apreciar en la Figura 5. La aplicación para Android para la gestión de la información realizará las siguientes tareas:

1. Gestiona datos
2. Envía datos
3. Elimina datos

La gestión de datos incluye el registro de datos, la descarga de datos y la descripción de los datos descargados. Los datos son un histórico de registros que la App descargará desde la estación de

monitoreo (prototipo) y almacenará (guardará). Éstos están constituidos principalmente por: a) fecha de descarga, b) número de registros y c) descripción general.

La descarga de datos, que se encontrarán en formato de texto plano del dispositivo de Arduino, se realizará con la secuencia y descripción que se presenta en la Figura 6, y una vista de la interfaz de la App para una nueva descarga se muestra en la Figura 7.

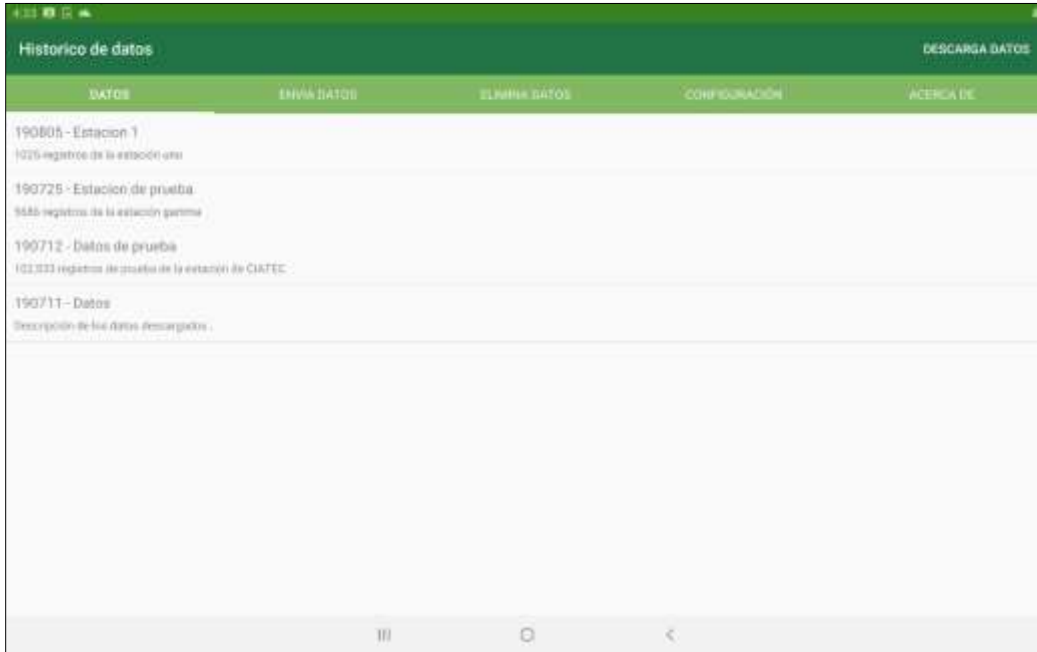


Figura 5. Vista de la aplicación para Android (interfaz de comunicación operador-prototipo de estación de monitoreo).

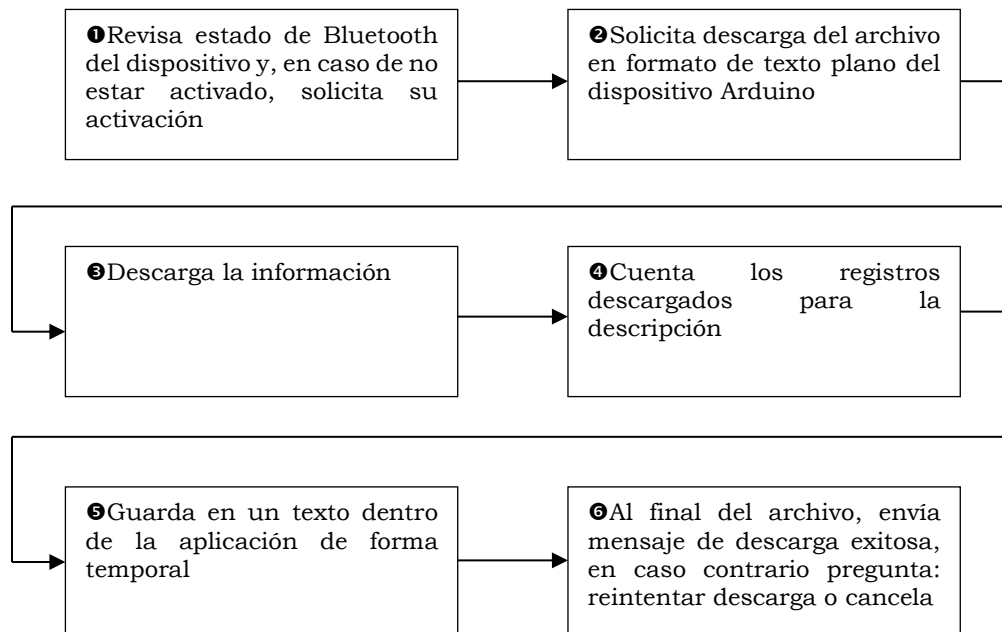


Figura 6. Secuencia para la descarga de datos que realizará la App.

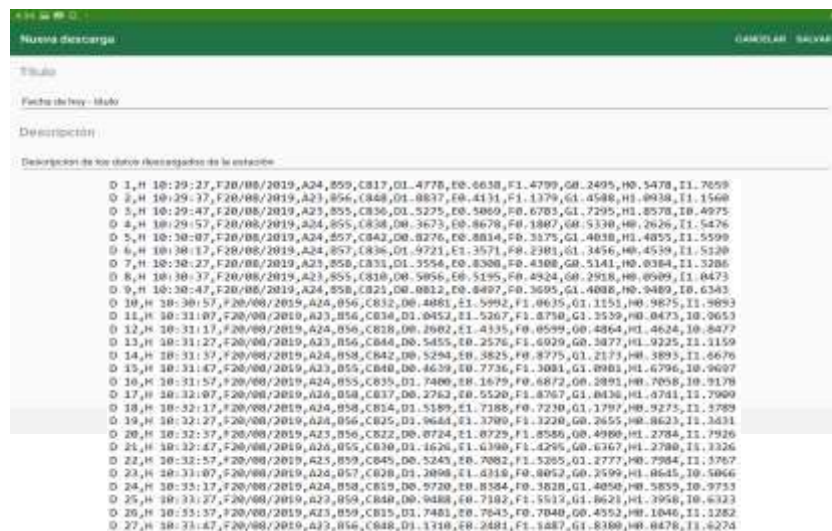


Figura 7. Vista de la App para una nueva descarga de datos (formato en texto plano del dispositivo de Arduino).

La funcionalidad 'Envía Datos' muestra los datos existentes en la App, crea la conectividad con el servidor SMAOT y envía los datos en formato JSON (*JavaScript Object Notation*, notación de objeto de JavaScript; formato de texto sencillo, independiente del lenguaje, para el intercambio de datos). La funcionalidad 'Elimina Datos' elimina el histórico de datos de los registros que ya fueron enviados. La funcionalidad 'Configuración' se encuentra la ruta de comunicación al servidor SMAOT, el usuario y password de acceso a bases de datos y la máxima cantidad de datos guardados en el dispositivo entre otras características y opciones. La funcionalidad 'Acerca de' contiene la información general del proyecto y la aplicación.

RESULTADOS

Los resultados que se han obtenidos hasta el momento con el desarrollo del proyecto son los siguientes:

1. Lista de contaminantes que deberán medir los prototipos de estación de monitoreo.
2. Lista de requerimientos específicos establecidos por el usuario final de los prototipos de estación de monitoreo.
3. Diseño conceptual del soporte para el prototipo de monitoreo
 - a. Conceptualización del soporte
 - b. Lista de componentes
 - c. Boceto del diseño conceptual del soporte para el prototipo de estación de monitoreo.
4. Diseño conceptual del sistema de control electrónico
 - a. Conceptualización del sistema de control
 - b. Lista de componentes y sus características
 - c. Boceto del diseño conceptual del sistema de control electrónico.
5. Plataforma microelectrónica, la mejor disponible en el mercado, que satisface los requerimientos del usuario final (SMAOT).
6. Comparación de sensores comerciales.
7. Tipo y marca del módulo de sensores comerciales seleccionados (Vaisala, AQT-420) que cumplen con los requerimientos del usuario final (SMAOT) y con la normativa mexicana y sus características.
8. Nivel de la API y posibles versiones del sistema operativo Android para la compatibilidad con la API nivel 24 (seleccionada como requerimiento mínimo).
9. Selección de ISA (arquitectura ARM), versión (ARMv7) con potencial para compatibilidad con los diferentes niveles de la API.

10. Resoluciones de pantalla para los simuladores de las aplicaciones de codificación: QHD (2560 x 1440), HD 720 (1280 x 720), FULL HD (1920 x 1080) y 1440 x 2560.
11. Definición del ambiente de desarrollo: Programación en modelo de N-Capas de informática distribuida; para tres capas primordiales de componentes: a) capa de presentación, b) capa de lógica de negocio, y c) capa de datos.
12. Presentación y descripción del desarrollo del software de gestión: Aplicación para Android (gestión, descarga, envío y eliminación de datos y otras funcionalidades).

CONCLUSIONES

El sistema tiene un costo sensiblemente menor tanto en la inversión inicial como en la operación y mantenimiento, este sistema no pretende sustituir a las estaciones de monitoreo convencionales, si no, incrementar la capacidad de medición de los contaminantes criterio del aire para obtener mayor información para la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Secretaría del Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial, <https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/calidad-del-aire>.
2. European Commission (2019). Air quality standards, [ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm]
3. European Environment Agency (2017), Air quality standards. Air pollution. European Environmental Agency, Copenhagen Denmark. p. 5. [eea.europa.eu/enquiries].
4. Wark, K. y Warner, C. (2007), Contaminación del aire. Origen y control. Editorial Limusa, S. A. de C. V., Grupo Noriega Editores. Balderas 95, México, D.F.
5. World Health Organisation (WHO), Air quality standards under the Air Quality Directive, and WHO air quality guidelines. Created 19 Oct 2016, Published 12 Dec 2016, Last modified 12 Dec 2016, Consultada el 12 de junio de 2019 en [https://www.eea.europa.eu/legal/copyright]
6. NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación, DOF: 19/08/2014. Consultado en [dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5356801&fecha=19/08/2014&print=true] el día 04/06/2019.
7. NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO), Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. Consultado en [http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NOM-021-SSA1-1993.pdf] el día 04/06/2019.
8. NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental, Criterio para evaluar la calidad del air ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO2). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO2) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Consultado en [dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5158348&fecha=08/09/2010&print=true] el día 04/06/2019.
9. NORMA Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993, Salud ambiental, Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO2), Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO2) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. Consultado en [http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NOM-023-SSA1-1993.pdf] el día 04/06/2019.
10. NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación, Consultado en

[dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014&print=true] el día 04/06/2019.

11. NORMA Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993, Salud ambiental, Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al plomo (Pb), Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Consultado en [<http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NOM-026-SSA1-1993.pdf>] el día 04/06/2019.
12. www.arduino.cc.
13. <https://www.espressif.com/>.
14. SVT-EMA, Estación para Monitorización de Contaminación Ambiental, Sensovant.
15. User Guide, Air Quality Transmitter, AQT400, Vaisala.

DESARROLLO Y MANUFACTURA DE FIBRA ÓPTICA ADELGAZADA SMF-28 MONOMODO.

Jesús Mauricio Tirado-Medina, Manuel Benjamín Ortiz-Moctezuma, Carlos Adrián Calles-Arriaga.

Universidad Politécnica de Victoria.

ccallesa@upv.edu.mx

RESUMEN.

La fibra óptica adelgazada consiste en la reducción del revestimiento a un rango de 5 a 10 μm , mediante dispositivos comerciales, controlando sus características y dimensiones finales. Se han fabricado “*weak tapers*”, en un rango de 17 a 40 y hasta 79.8 μm . La región adelgazada de la fibra óptica, interactúa con el medio circundante, compensando su índice de refracción, permitiendo que la luz pase a través del revestimiento. Este principio fundamental, es la base del desarrollo de sensores de humedad, temperatura, índice de refracción, agentes químicos, bacterias y gases entre otros. Otra aplicación, son los Interferómetros de Mach Zehnder en línea, utilizando dos *tapers*.

Para esta modificación, existen diferentes técnicas: Desbaste mecánico, ataque químico, estiramiento mecánico horizontal o vertical y diversas fuentes de calentamiento. Los diferentes métodos de calentamiento son: mini flama controlada, láser de CO_2 , calentador resistivo cerámico, arco eléctrico y otros más. Estos métodos pueden aplicarse individualmente o en conjunto para este propósito.

En este trabajo, se utiliza el enfoque de arco eléctrico, como fuente de calentamiento, junto a un estiramiento mecánico horizontal, demostrando que la fibra óptica se puede adelgazar y, al mismo tiempo, obtener las características físicas que definen los conos de fibra óptica o *tapers*.

Se desarrolló manualmente un primer proceso experimental, obteniendo *tapers* definidos. Posteriormente, se diseñó y fabricó un dispositivo mecatrónico en laboratorio para un segundo proceso experimental. El dispositivo consiste en dos guías de 8 mm, un tornillo sin fin con una rosca de un milímetro. El sistema de control cuenta con un driver, un microcontrolador y un motor a pasos NEMA 17 con una resolución de 1.8° por paso. Tiene una pantalla LCD y un teclado, que asigna un determinado número de pasos, de acuerdo a un menú interactivo. De esta manera, se puede controlar la tensión y el calentamiento, mejorando el resultado. Este dispositivo tiene una resolución máxima de 5 μm .

En el primer experimento, se obtuvieron diámetros de cintura de 26.2 a 62.6 μm , una longitud adelgazada de 2206 a 2389 μm y una transición de 124.5 a 125.7 μm . Sin embargo, el segundo experimento, muestra una mejora significativa, ejerciendo control durante el estiramiento mecánico, aplicando una tensión de 3.07 N a la fibra óptica. La temperatura del arco eléctrico miniatura es de 203°C , y se aplica en tres lapsos de 3 segundos. Se observa un diámetro de cintura de 15.87 a 16.85 μm , una longitud adelgazada de 2017 a 2401 μm y finalmente, un perfil de transición de 124.5 a 125.7 μm , que define la forma geométrica final del *taper*.

En conclusión, se ha comprobado que el método de estiramiento mecánico y arco eléctrico utilizado para el desarrollo y manufactura de fibra óptica adelgazada es repetible, ya que se lograron *tapers* con un diámetro de cintura dentro de un rango de 16.3 a 16.8 μm . Esta meta se logró optimizando el método empleado con ayuda de un dispositivo mecatrónico diseñado en laboratorio, cumpliendo con el objetivo principal de este trabajo de investigación.

INTRODUCCIÓN.

El desarrollo de sensores de fibra óptica ha facilitado la resolución de varios problemas, tanto en el campo industrial como en aplicaciones especiales, permitiendo obtener información en tiempo real sobre diversas variables. Existen alternativas poco exploradas en el desarrollo y la fabricación de sensores, que consisten en modificar la fibra óptica, ya sea en su forma de rejillas, interferómetros o *tapers* (nombre asignado a la fibra óptica adelgazada o fibra cónica).

Los *tapers*, se han utilizado para medir [1], el índice de refracción en ambientes húmedos, temperatura, gases, agentes químicos, biomoléculas y patógenos. En otras aplicaciones, se usó este tipo de fibra en la fabricación de osciladores láser, dopados de iterbio cónico monolítico [2], mostrando excelentes resultados, escalando la potencia de salida a un máximo de 1720 watts, que es la potencia de salida promedio más alta en su categoría. Se han fabricado sensores de

deformación y temperatura [3], utilizando la clasificación de “*weak tapers*”, que tienen un cuello adelgazado de 16 a 40 μm y hasta 78.9 μm , según la fibra empleada para su fabricación.

Hay una variedad de métodos y técnicas para desarrollar fibra óptica adelgazada, de las cuales existen: Desbaste mecánico [4], que consiste en eliminar mecánica y gradualmente el recubrimiento de la fibra óptica al adelgazar una región de la misma. El estiramiento mecánico [4], consiste en estirar ambos extremos de la fibra óptica al mismo tiempo para adelgazarla en una sección. Existen diferentes fuentes de calentamiento [4], que se utilizan para suavizar el recubrimiento de la fibra óptica en una pequeña región, obteniendo así un cuello delgado de cierta longitud. Estas fuentes de calor comprenden el láser de CO_2 , flama controlada, arco eléctrico, entre otros. El método de ataque químico [4]-[5]-[6]-[7], requiere especial atención en la cantidad de concentración química que se utilizará para adelgazar una pequeña región de la fibra óptica. Entre algunas opciones, está el ácido fluorhídrico, acompañado de un par de lavados en agua desionizada, durante varios tiempos, según el procedimiento.

Existen metodologías que comprenden más de un método o técnica a utilizar. El calentamiento controlado por flama de hidrógeno-oxígeno [1] [8]-[9], requiere un estiramiento adicional. El barrido térmico [10], consiste en mover un calentador resistivo cerámico de 5 mm de largo a 210 ° C, sobre una fibra, que se estira unidireccionalmente, con el apoyo de un control giratorio de motores a pasos. Finalmente, una fibra óptica se estira, mientras se usa un barrido por arco eléctrico comercial de la marca Fujikura FSM-100P + [11], que define automáticamente las características deseadas de un *taper* específico.

En este trabajo se desarrolló un proceso experimental, que consiste en un estiramiento mecánico horizontal y una técnica de calentamiento por arco eléctrico en miniatura, que demuestran que se puede fabricar y desarrollar fibra óptica adelgazada (*tapers*) de características físicas deseadas.

EXPERIMENTACIÓN.

Existen técnicas y métodos empleados como referencia, en el desarrollo y fabricación de *tapers*, los cuales se aplican por separado o en conjunto. Por ejemplo, el método más simple es el estiramiento mecánico, el cual ofrece un buen resultado, pero las características finales del *taper* pueden ser las no esperadas. En cambio un método mecánico acompañado de una técnica de calentamiento o ataque químico, cambia favorablemente los resultados y características finales de la fibra óptica adelgazada. Cabe mencionar que estas características son un diámetro de cintura adelgazado, una longitud adelgazada (largo del *taper*) y un par de perfiles de transición, definiendo así la forma geométrica final de la fibra adelgazada.

En la figura 1, se muestra el dispositivo mecatrónico construido para el desarrollo y manufactura de fibra óptica adelgazada. Este dispositivo cuenta con dos etapas de traslación montadas en una base metálica. En la parte inferior, se encuentran dos guías de 8 mm y un husillo donde esta empotrado un tornillo sin fin con rosca de 1 mm. Este mecanismo, es manipulado por un motor a pasos NEMA 17. Tiene un soporte donde se coloca el arco eléctrico miniatura para realizar un barrido mientras se estira la fibra óptica. La siguiente lista describe la posición de los elementos del dispositivo mecatrónico.

1. Motor a pasos NEMA 17.
2. Guías de 8 mm.
3. Tornillo sin fin de 1mm.
4. Fuente de 12 vcd.
5. Soportes de traslación.
6. Pantalla & teclado.
7. Arco eléctrico miniatura.
8. Fibra óptica SMF-28.

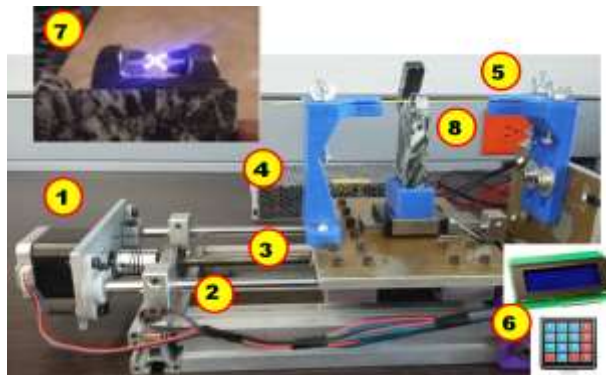


Figura 1.- Dispositivo para la manufactura de fibra óptica adelgazada.

Con lo anterior, se demuestra que pueden emplearse en conjunto, un método de estiramiento mecánico con una técnica de calentamiento establecida, mejorando así el resultado final del proceso de fabricación.

Metodología empleada.

El proceso experimental utilizado para el desarrollo de este trabajo, corresponde a un estiramiento mecánico horizontal y un método de calentamiento por arco eléctrico miniatura. Ambos métodos permitieron la modificación de la fibra óptica en su forma de *taper*, otorgándole las características que la definen correctamente. En la Figura 2, se muestra un diagrama de flujo, mostrando el proceso empleado en este trabajo.



Figura 2. Proceso de desarrollo de fibra óptica adelgazada.

Una vez mostrado el flujo que sigue el proceso de manufactura de esta modificación a la fibra óptica, se dará una breve descripción de la metodología utilizada para este experimento.

Equipo y materiales.

La fibra óptica SMF-28 monomodo THORLABS, se utiliza para hacer muestras durante el proceso experimental. La técnica de calentamiento utilizada, es un arco eléctrico en miniatura TESLA®. Una vez que se obtienen los conos de fibra óptica, se verifican en un microscopio óptico NIKON Eclipse MA200, donde se realizan capturas fotográficas por cada muestra. El software TRACKER (medición de muestra) será necesario para dimensionar las fotos tomadas por el microscopio.

Dispositivo mecatrónico.

Para llevar a cabo el estiramiento mecánico se desarrolló y fabricó en laboratorio, un prototipo mecatrónico que consiste en un mecanismo de dos guías de 8 milímetros cada una, un tornillo sin fin con una rosca de un milímetro, montado en un husillo. El sistema de control consta de un controlador (*driver*), un microcontrolador y un motor pasos NEMA 17, con una resolución de 1.8 grados por paso. El sistema se complementa con una pantalla LCD de 6x20 y un teclado para mover el mecanismo una distancia asignada o un determinado número de pasos.

Preparación de las muestras.

Con una regla graduada, se mide y corta un tramo de 25 cm de fibra óptica SMF-28 monomodo para posteriormente, retirar el revestimiento con ayuda de una pinza des-forradora de fibra óptica especial, en una sección de 18 cm. El proceso se repite capa por capa hasta llegar al revestimiento interno, el cual cubre el núcleo de fibra óptica.

Cabe mencionar que se deben fabricar suficientes muestras para todo el proceso experimental de manufactura de fibra adelgazada o *taper*.

Estiramiento horizontal.

El siguiente paso en el proceso de manufactura de fibra óptica adelgazada, es estirar mecánicamente la muestra de fibra óptica de forma horizontal, ya sea de forma manual o utilizando un dispositivo mecatrónico. En seguida se describirán estos procesos por separado.

Estiramiento horizontal manual.

De forma natural, se toma la fibra óptica en ambos extremos y se aplica una tensión horizontal, utilizando solo la fuerza de ambas manos. Esto causará un estiramiento mecánico en ambas direcciones. Una vez estirada la muestra de fibra óptica, se aplica la técnica de calentamiento por arco eléctrico, durante 3 segundos, reblandeciendo la sección estirada. Este proceso de estirar y calentar la muestra se lleva a cabo al mismo tiempo. Es necesario tener cuidado y no romper la muestra. La posible fractura de la fibra óptica SMF-28, una vez estirada, se debe al material mismo de la fibra óptica y al procedimiento no estándar, empleado en la preparación de las muestras, lo cual, las hace frágiles antes de iniciar el proceso de estiramiento.

Estiramiento horizontal usando un dispositivo mecatrónico.

Recordemos que el dispositivo mecatrónico tiene una etapa de traslación fija y una móvil. El movimiento del mecanismo es realizado por un motor a pasos NEMA 17, con una resolución de 1.8°, que está programado para moverse en pequeños pasos o una determinada distancia, que es determinada por el usuario. Tiene una pantalla LCD y un teclado. El teclado tiene la función de seleccionar un cierto número de pasos o asignar una distancia, de acuerdo con un menú interactivo. Proceso de estiramiento semiautomático (dispositivo mecatrónico).

Se coloca un extremo de la muestra dentro del soporte que se encuentra en cada etapa de traslación. Cada soporte tiene dos tuercas de mariposa que facilitan la sujeción de la muestra. Luego, se configura el dispositivo accediendo al menú interactivo del dispositivo presionando la letra "D" en el teclado.

El teclado tiene los atributos necesarios que nos permiten interactuar y navegar en los diferentes menús del dispositivo. Después de presionar la letra "D", seleccionamos el número 3 (ajuste de pasos), y en la pantalla se visualizarán hasta 8 diferentes tipos de "Cantidad de pasos", luego, se selecciona el número de pasos deseados para realizar la prueba. Para volver al menú principal, presione la tecla regresar "back" (número 1).

Calentamiento: arco eléctrico.

A continuación, se procede con la técnica de calentamiento. Una vez tensionada la fibra óptica en ambos extremos, se calienta una sección de la fibra, colocando el plasma del arco eléctrico miniatura TESLA® sobre la muestra durante 3 segundos, con la finalidad de reblandecer la muestra. La temperatura del arco eléctrico en miniatura alcanza 203°C.

Una vez aplicado el calor del plasma, inmediatamente después se presiona la letra "C" del teclado en dos ocasiones. Así, el motor a pasos se activa y avanza, provocando que la muestra se tense nuevamente. Este procedimiento de tensión y calentamiento se repite dos veces más hasta alcanzar las características y dimensiones de los llamados "weak tapers", recordando que se han fabricado en un rango de 17 a 140 y hasta 79.8 μm .

La tensión final aplicada en este proceso por el dispositivo mecatrónico es de 3.07 N, a una distancia de 0.6 mm. En el siguiente apartado se mostrará el cálculo de la misma.

Calculo de la fuerza de tensión o estiramiento.

De acuerdo con el diseño del dispositivo mecatrónico, la fuerza de estiramiento o tensión se aplica a todo lo largo del cable de fibra óptica.

D	Diametro [μm]	L	Longitud [m]	δ	Deformación total [m]
E	Modulo de Elasticidad [GPa]	A	Área de la fibra [m^2]	P	Fuerza de estiramiento [N]

Conociendo los siguientes datos:

$D = 125 \mu\text{m}$; $L = 0.17 \text{ m}$; $\delta = 0.0006 \text{ m}$; $E = 71 \text{ GPa}$; $\pi = 3.1416$.

La deformación total del cable de fibra óptica viene dado por la ecuación (1).

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (1)$$

De la ecuación (1), podemos despejar la fuerza de estiramiento o tensión dada por P.

$$P = \frac{AE\delta}{L} \quad (2)$$

El área de la sección transversal circular es:

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (3)$$

Sustituyendo en (3), tenemos. $A = 1.2270 \times 10^{-8} \text{ [m}^2\text{]}$.

Finalmente, sustituyendo valores en (2), tenemos:

$$P = \frac{AE\delta}{L} = \frac{(1.2270 \times 10^{-8} \text{ m}^2)(71 \times 10^9 \text{ Pa})(0.0006 \text{ m})}{0.17 \text{ m}} = 3.0747 \text{ m}^2 \cdot \text{Pa}. \text{ Un Pascal} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Por lo tanto, la fuerza de estiramiento $P = 3.0747 \text{ [N]}$.

Revisión en microscopio.

Una vez hechas las muestras de fibra óptica adelgazada, se verifican bajo el microscopio óptico una por una, observando el resultado característico obtenido. Para cada muestra revisada bajo el microscopio, se realiza una captura fotográfica, siempre buscando la mejor resolución del microscopio, ajustando la intensidad de la luz, en un rango de 70-80% de su capacidad.

Antes de la captura, también se puede cambiar el tipo de lente entre 10 y 5x. La lente de 10x nos ayuda a observar la forma característica final de cada cono, comprobando el método cada vez que se lleva a cabo. Por otro lado, la lente 5x es necesaria para las capturas, que se medirán más adelante con ayuda del *software tracker*. Una vez ajustadas las muestras, en intensidad de luz y lente, se procede a capturarlas.

Medición de muestras en tracker.

Una vez que las muestras se han verificado en el microscopio, y se han tomado las capturas fotográficas de cada muestra, se utiliza el software Tracker para dimensionarlas, utilizando un estándar de calibración definido en $1000 \mu\text{m} = 1 \text{ cm}$, para nuestro caso.

Este programa realiza mediciones físicas muy próximas a las reales de cada muestra de fibra óptica adelgazada o cono, obtenida durante el proceso de fabricación.

Hay que recordar, que se está buscando dimensiones que se encuentren dentro del rango de 17 a $40 \mu\text{m}$, y en algunos casos hasta $78.9 \mu\text{m}$, según el tipo de fibra óptica empleada para el proceso. Este tipo de fibra óptica adelgazada o *taper*, se llama "*weak taper*".

RESULTADOS.

En esta sección, se muestra gráficamente el resultado obtenido durante el proceso experimental y el desarrollo de fibra óptica adelgazada. Se utilizó la técnica de estiramiento mecánico horizontal, junto con una fuente de calentamiento por arco eléctrico. La fuente de calor, es un arco eléctrico en miniatura TESLA®. En cada imagen se dará una breve descripción de los parámetros y las características obtenidas, utilizando el software TRACKER. El estándar de calibración para dimensionar y medir las muestras, se define en $1000 \mu\text{m}$ (1 mm) en todos los casos.

Resultados del proceso manual.

A continuación, se mostrarán los resultados gráficos obtenidos durante el primer proceso experimental. Recuerde, que el primer proceso se realizó manualmente, y el estiramiento mecánico se llevó a cabo estirando la fibra con las manos, seguido de un barrido con el arco eléctrico en miniatura.

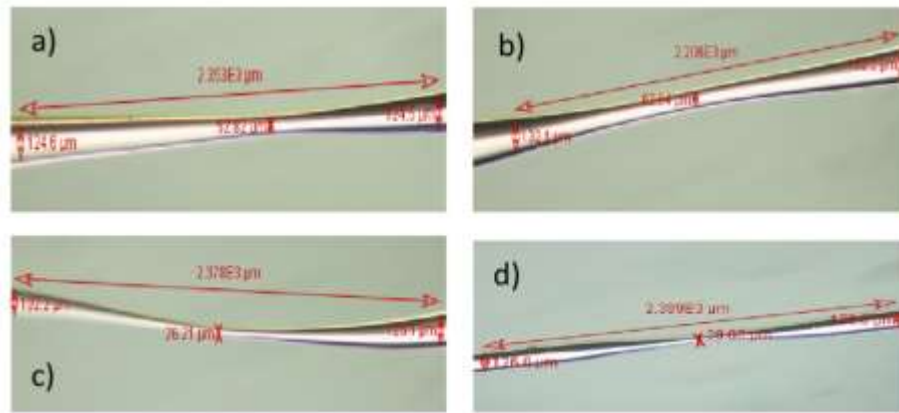


Figura 3. Resultados de fibra óptica adelgazada por muestra. En cada resultado se observan las características geométricas que definen los tapers. a) taper 1.2; b) taper 2.1; c) taper 3.1; d) taper 4.1.

La figura 3.a, muestra un *taper* de fibra óptica SMF-28 monomodo, con las siguientes dimensiones: diámetro de cintura de 52.8 μm , una longitud adelgazada de 2353 μm y una longitud de transición de 124.6 μm . En la Figura 3.b, se puede observar un *taper* con un diámetro de cintura de 62.6 μm , una longitud adelgazada de 2206 μm y una transición (forma de cono) de 132.2 μm . En este caso, el diámetro de la cintura (62.6 μm) es mayor que el diámetro del *taper* 1.2 (52.8 μm).

Otra importante observación, es la longitud adelgazada de 2206 μm , la cual es menor que la longitud adelgazada de la figura 3.a (2353 μm). La comparación final entre estos dos *tapers*, indica que es necesario controlar el estiramiento de la fibra óptica durante el proceso de fabricación. De lo contrario, continuaremos obteniendo características físicas de diferentes dimensiones. Las dimensiones finales del *taper* 3.1 (Figura 3.c), son las siguientes: diámetro de cintura de 26.2 μm , una longitud adelgazada más allá de 2378 μm y una longitud de transición de 125.1 μm , la cual está dentro de especificaciones.

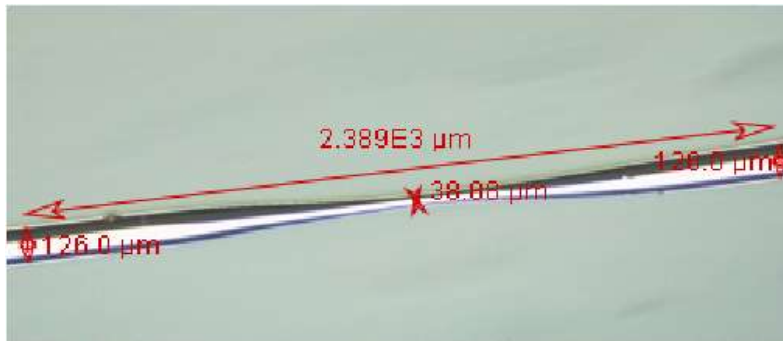


Figura 4. *Taper* 4.1, mostrado en la figura 3.d.

Un diámetro de cintura de 38.8 μm , una longitud adelgazada de 2389 μm y una longitud de transición de 126 μm , son las dimensiones del *taper* de la Figura 3.d. Físicamente, este *taper*, muestra las mejores características que definen la fibra óptica adelgazada. Comparando esta figura, el diámetro obtenido en la cintura, es más grande que el de la Figura 3.c al y mismo tiempo, más pequeño que el *taper* de las figuras 3.a y 3.b.

La longitud del *taper* 4.1 (2389 μm), es similar a la que se muestra en las figuras 3.a y 3.c (2353 μm y 2378 μm , respectivamente). Los resultados finales muestran que el método experimental utilizado es viable en el desarrollo y fabricación de fibra óptica adelgazada.

Los resultados que se muestra en la Figura 4 (*taper* 4.1), pueden mejorarse, y de igual forma el método utilizado para la experimentación. La diferencia con las otras muestras, es que se observa

una mejor característica física, que puede corregirse con un sistema de control mecatrónico, donde las variables de estiramiento, velocidad y calentamiento están más controladas durante el proceso de experimentación.

Resultados del proceso semi-automático: dispositivo mecatrónico.

En esta sección, se discutirán los resultados obtenidos durante el segundo proceso experimental. En este proceso, se utilizó un dispositivo mecatrónico, diseñado y fabricado en laboratorio, el cual facilita el estiramiento mecánico horizontal. Otro elemento importante para este proceso, es el uso de una fuente de calor. En este caso, se utilizó un arco eléctrico en miniatura de TESLA®. El tiempo que la fibra óptica está expuesta a la fuente de calor, se estandarizó a 3 segundos, en tres ocasiones, durante todo el proceso. Con lo anterior se asegura que el proceso sea repetible, llegando a los mismos resultados. La Figura 5 muestra los resultados gráficos del segundo experimento.

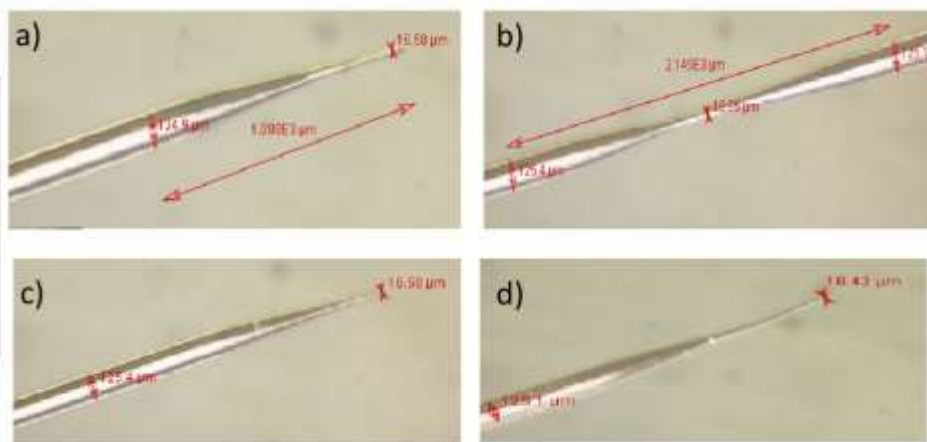


Figura 5. Resultados gráficos del segundo proceso experimental, mostrando las características físicas de un *taper*. a) *taper* 5.2; b) *taper* 6.2; c) *taper* 7.2; d) *taper* 8.2

Tenga en cuenta que las muestras finales en la Figura 5.a, 5.c y 5.d están incompletas. Este resultado se debe a la manipulación manual de las muestras bajo el microscopio y al micro-diámetro obtenido en la cintura, obtenido durante el proceso, que es una importante característica de la fibra óptica cónica.

La figura 5.d muestra el diámetro de cintura más pequeño ($16.4 \mu\text{m}$), en comparación con el diámetro de cintura obtenido en otros *tapers*. En las figuras 5.a y 5.c, se observa un diámetro de cintura igual a $16.5 \mu\text{m}$, en ambos casos. Finalmente, la muestra de la figura 5.b, muestra el diámetro de cintura más grande ($16.8 \mu\text{m}$), el cual a pesar de ello, está dentro del mismo rango de todas las muestras anteriores. Es decir, el rango final de los diámetros de cintura adelgazada en todas las muestras obtenidas, se encuentra entre 16.4 y $16.8 \mu\text{m}$.

Además, una longitud adelgazada de $2145 \mu\text{m}$, se observa en la Figura 5.b. Del mismo modo, el perfil de transición, se observa entre 125.1 a $125.4 \mu\text{m}$, para el mismo *taper*. Esta característica (perfil de transición), define la forma geométrica final del *taper*. La misma, se encuentra en 124.9 , 125.4 y $125.1 \mu\text{m}$, para los *tapers* mostrados en las figuras 5.a, 5.c y 5.d respectivamente.

El perfil de transición geométrica y la longitud adelgazada de la figura 5 (a excepción de la figura 5.b), se muestran incompletos. Esta es la principal razón por la que solo se midió el diámetro de la cintura de todas las muestras (16.4 a $16.8 \mu\text{m}$). No por ello, este resultado, ha demostrado que el proceso utilizando el arco eléctrico en miniatura y el método de estiramiento mecánico, optimizado con un dispositivo mecatrónico, son repetibles, facilitando el desarrollo futuro para algunas aplicaciones con sensores.

Finalmente, las dimensiones del diámetro de la cintura obtenidas se encuentran dentro de la clasificación de "weak tapers", que se han fabricado en un rango de 17 a 40 y hasta $79.8 \mu\text{m}$, dependiendo del tipo de fibra óptica utilizada en el proceso de manufactura.

CONCLUSIONES.

El método de estiramiento mecánico manual y calentamiento por arco eléctrico en miniatura, mostró buenos resultados en el desarrollo y manufactura de fibra óptica adelgazada. Se obtuvieron tapers con un diámetro de cintura que oscila entre 28,4 y 69,3 μm , una longitud cónica entre 1218 y 1905 μm y un perfil de transición de 124,5 a 125,7 μm .

Cabe mencionar, que la fibra adelgazada 4.1, mostrada en la Figura 4, muestra las mejores características de un *taper*. Sin embargo, por ser un proceso manual, no pueden repetirse los resultados, es decir, no pueden ser obtenidos *tapers* de igual dimensión y características físicas. Entonces, es necesario implementar un sistema que pueda ofrecernos las mejoras necesarias para el proceso de manufactura, y tener un mejor control del estiramiento mecánico, la velocidad y el calentamiento de la fibra óptica, por ejemplo.

Una vez implementado el dispositivo mecatrónico, optimizando el estiramiento mecánico y la temperatura del proceso, puede observarse que el diámetro de cintura de las muestras se encuentra en un rango de 16.4 a 16.8 μm . También, se logró un perfil de transición de 124.7 a 125.7 μm y por último, la figura 5.b, muestra una longitud adelgazada de 2145 μm , la cual es más grande que las muestras del proceso manual.

En conclusión, podemos determinar que el proceso de manufactura de fibra óptica adelgazada es repetible y las dimensiones de las muestras, junto a sus características, se encuentran dentro de la clasificación de los llamados "*weak tapers*", que han sido utilizados en aplicaciones de sensores de tensión, medición de gases y de índice de refracción, por ejemplo, los cuales han sido fabricados en un rango de 17 a 40 μm , de acuerdo con el tipo de fibra utilizada para este propósito.

BIBLIOGRAFIA.

1. H. Lin, C. Huang, G. Cheng, N. Chen, and H. Chui, "Tapered optical fiber sensor based on localized surface plasmon resonance," vol. 20, no. 20, pp. 44–48, 2012.
2. B. A. Y. Ang et al., "High power monolithic tapered ytterbium- doped fiber laser oscillator," vol. 27, no. 5, pp. 7585–7592, 2019.
3. C. Zhang et al., "An optical fiber strain sensor by using of taper based TCF structure," *Opt. Laser Technol.*, vol. 120, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.optlastec.2019.105687.
4. "INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIITEC)," 2015.
5. H. Di, Y. Xin, and J. Jian, "Review of optical fiber sensors for deformation measurement," *Optik (Stuttg.)*, vol. 168, pp. 703–713, 2018, doi: 10.1016/j.ijleo.2018.04.131.
6. M. jie Yin, B. Gu, Q. F. An, C. Yang, Y. L. Guan, and K. T. Yong, "Recent development of fiber-optic chemical sensors and biosensors: Mechanisms, materials, micro/nano-fabrications and applications," *Coord. Chem. Rev.*, vol. 376, pp. 348–392, 2018, doi: 10.1016/j.ccr.2018.08.001.
7. H. A. Mohammed, S. A. Rashid, M. H. Abu Bakar, S. B. Ahmad Anas, M. A. Mahdi, and M. H. Yaacob, "Fabrication and Characterizations of a Novel Etched-tapered Single Mode Optical Fiber Ammonia Sensors Integrating PANI/GNF Nanocomposite," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 287, pp. 71–77, 2019, doi: 10.1016/j.snb.2019.01.115.
8. D. Garcia Mina, J. W. Haus, A. Chong, A. Khanolkar, A. Sarangan, and K. Hansen, "Bi-tapered fiber sensor using visible to near infrared light," *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 263, pp. 285–290, 2017, doi: 10.1016/j.sna.2017.06.017.
9. N. Goswami, K. K. Chauhan, and A. Saha, "Analysis of surface plasmon resonance based bimetal coated tapered fiber optic sensor with enhanced sensitivity through radially polarized light," *Opt. Commun.*, vol. 379, pp. 6–12, 2016, doi: 10.1016/j.optcom.2016.05.047.
10. C. Baker and M. Rochette, "A generalized heat-brush approach for precise control of the waist profile in fiber tapers," *Opt. Mater. Express*, vol. 1, no. 6, p. 1065, 2011, doi: 10.1364/ome.1.001065.
11. B. Ibarra-Escamilla et al., "Abrupt-tapered fiber filter arrangement for a switchable multi-wavelength and tunable Tm-doped fiber laser," *Opt. Express*, vol. 26, no. 12, p. 14894, 2018, doi: 10.1364/oe.26.014894.

EFFECTO DE LA CALCINACIÓN DEL FIELTRO DE FIBRA DE CARBÓN ACTIVADO (FFCA) PARA SU REUTILIZACIÓN EN LA ADSORCIÓN DEL COLORANTE VIOETA DE METILO (VM)

Oscar G. Rojas Valencia, Ezequiel Villagarcía Chávez, Javier Hernández Fuentes, Esther Torres Santillán, José Luis Ledezma Martínez, Carmen M. Reza San Germán, Miriam Estrada Flores

Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) - IPN

RESUMEN

En el presente trabajo se estudia la influencia del tratamiento térmico (calcinación) del fieltro de fibra de carbón activado (FFCA) para su reutilización en la remoción del colorante textil catiónico violeta de metileno (VM). Previo a utilizar el FFCA por primera vez, se realizó un lavado con agua destilada para remover el polvo atmosférico que pudiera tener impregnado y posteriormente se secó en una mufla. El FFCA limpio se caracterizó por Microscopía Electrónica de Barrido de Alta Resolución (MEBAR) para conocer sus características estructurales. Las soluciones acuosas del colorante empleado se prepararon a partir de una masa conocida del colorante para obtener una concentración inicial de 70 ppm. De la solución preparada se tomó una muestra y con múltiples diluciones con agua destilada se midió la absorbancia de las nuevas soluciones resultantes, con diferentes concentraciones, en un espectrofotómetro de ultravioleta-visible para conocer su absorbancia y obtener una curva de calibración.

Para el proceso de remoción, se puso en contacto una masa conocida del FFCA con 40 mL de solución y se cuantificó la absorbancia después de cierto tiempo de haber iniciado el proceso. Al finalizar cada periodo de remoción, el trozo de FFCA se calcinó por treinta minutos a 400°C y se volvió a reutilizar en diferentes procesos de remoción.

De los resultados obtenidos se demuestra que en el décimo proceso de reutilización se tuvo colorante presente al finalizar el proceso de remoción, por lo cual la solución estudiada seguía teñida. De acuerdo con los resultados de las isotermas y de la cinética de adsorción, el proceso de eliminación de los colorantes se llevó a cabo mediante la quimisorción entre el grupo carbonilo del FFCA y los grupos catiónicos del colorante.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día existe una creciente preocupación por brindar solución a diversos problemas ambientales con el objetivo de preservar las diferentes formas de vida que coexisten en nuestro planeta, incluyendo la humana. De las diferentes formas de contaminación documentadas, no menos importante una que otra, la contaminación de los ríos, lagos, lagunas, que son fuente de desarrollo para la vida acuática y terrestre, se ve favorecida por los efluentes provenientes de múltiples industrias, sin embargo, aquellas que se dedican a la producción o que de alguna manera utilizan colorantes textiles son las que generan mayor deterioro ecológico al ambiente acuático. Esta contaminación no sólo se da por la presencia de los compuestos tóxicos provenientes del colorante, sino que también colorean las aguas y en consecuencia el paso de la luz a través de estas se ve interrumpido, trayendo consigo una serie de consecuencias, por ejemplo, la interrupción de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, oxigenación del agua, disminución de la actividad biótica, etc. Por lo anteriormente expuesto, en el presente trabajo se presenta una alternativa de descontaminación (remoción) de un colorante textil catiónico (violeta de metileno) de un agua contaminada sintética. El proceso de remoción del colorante es a través de la adsorción de este a través de un medio poroso (FFCA). La novedad de este trabajo se centra en la reutilización de la fibra, posterior a un tratamiento térmico (calcinación).

TEORÍA

El violeta de metilo, también llamado cristal violeta o violeta de geniana, cuyo nombre químico es cloruro de hexametil-p-rosanilina ($C_{25}H_{30}N_3Cl$) con masa molecular de 407.98 g/mol, es un colorante catiónico básico en forma de pequeños cristales color azul verdoso brillantes cuando se encuentra en estado puro. Debido a su composición estructural y a características tales como estabilidad a la luz, fijación y adherencia, es dispuesto ampliamente en diversos fines o áreas como la química analítica, agente dermatológico, medicamento veterinario, aditivo para la alimentación de aves de

corral inhibiendo la propagación de moho, parásitos intestinales y hongos, sin embargo, su principal uso se encuentra en el teñido de algodón, lana, cuero, seda y coloración de papel [1]. El violeta de metilo, tiene dentro de su estructura química un grupo trifenilmetano que es nocivo por inhalación, ingestión y por contacto en la piel. Se estima que anualmente se producen 0.7 millones de toneladas de colorantes y aproximadamente entre el 10 y el 15% de los colorantes de triarilmetano son liberados al medio ambiente, generalmente por descarga a los cuerpos acuáticos, lo que trae como consecuencia problemas ambientales graves y riesgos en la salud debido a su alta toxicidad. En las aguas residuales donde son vertidos pueden generar efectos adversos en la vida acuática ya que estos interactúan fácilmente con las superficies celulares de carga negativa, y concentrarse en el citoplasma [2]. Se ha documentado que la exposición al violeta de metilo puede causar lesiones permanentes en la córnea y la conjuntiva, incluida la ceguera permanente, y en casos graves, puede provocar insuficiencia respiratoria, renal y daños en la membrana mucosa y el tracto gastrointestinal [3]. Por lo tanto, hay preocupaciones respecto a este colorante en específico, ya que presenta elevadas contraindicaciones y es ampliamente utilizado.

Los Filtros de Fibra de carbón activado (FFCA) son un nuevo tipo de carbones altamente eficientes elaborados a partir de la carbonización y activación de fibras de diversos materiales poliméricos, tales como nylon, rayón, celulosa, resina fenólica, poliacrilonitrilo (PAN) y brea de alquitrán [4]. Este adsorbente novedoso se fabrica en dos presentaciones: tela y fieltro. Las características de los FFCA dependen del material polimérico que se utilizó para producirlas, así como de las condiciones en las que el material fue carbonizado y activado. Los FFCA ofrecen varias ventajas en comparación con el carbón activado convencional. La estructura porosa del FFCA está principalmente constituida por microporos (aproximadamente el 90% del volumen total de poros es atribuido a los microporos) [5], mientras que el carbón activado granular (CAG) y carbón activado en polvo (CAP) tienen estructura porosa muy compleja formada por microporos, mesoporos y macroporos

PARTE EXPERIMENTAL

El FFCA se adquirió en KoThmex®, cuando se usó por primera vez se realizó un lavado con agua destilada para remover el polvo atmosférico que pudo haber tenido impregnado y posteriormente se secó en una mufla a 400°C durante 30 minutos. Se preparó una solución para reserva de 70 ppm del colorante, de la cual se tomó una muestra de 10 mL y a través de múltiples diluciones con agua, y con ayuda de un espectrofotómetro de ultravioleta-visible, se elaboró una curva de calibración. Para el proceso de remoción del colorante, se puso en contacto una masa de 0.20 g del FFCA con 40 mL de solución de reserva y agitación vigorosa a temperatura ambiente (27 °C), después de cada 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 y 60 minutos de iniciar la remoción del colorante, se determinó la absorbancia, para posteriormente obtener la concentración remanente y el porcentaje de remoción. Al término de cada proceso de remoción, el trozo de FFCA con el colorante removido se calcinó por treinta minutos a 400°C y se volvió a reutilizar en 10 procesos de remoción.

RESULTADOS

EL FFCA se caracterizó por Microscopía electrónica de barrido de alta resolución (MEBAR) para el análisis de la estructura morfológica de la superficie. La Figura 1 muestra que el FFCA está formado por varios filamentos dispuestos aleatoriamente, cuyo diámetro es variable. Este hecho valida las especificaciones proporcionadas por KoThmex®. De forma general, la imagen por microscopía muestra una superficie limpia, libre de polvo atmosférico e impurezas orgánicas; por lo tanto, existe un área de superficie completa para la remoción del colorante.

La remoción del colorante violeta de metilo se llevó a cabo a partir de una solución acuosa con concentración inicial de 70 ppm, empleando 0.2 gramos de FFCA. Después de cada proceso de remoción se calcinó el material adsorbente para su posterior reutilización. De acuerdo con los datos mostrados con la tabla 1, para el primer proceso de remoción, en los primeros cinco minutos la eliminación alcanzada fue del 88% y después de una hora se alcanzó una remoción del 98%. sin embargo, de acuerdo con el valor de Q_t calculado, se aprecia que se necesita casi cuatro veces

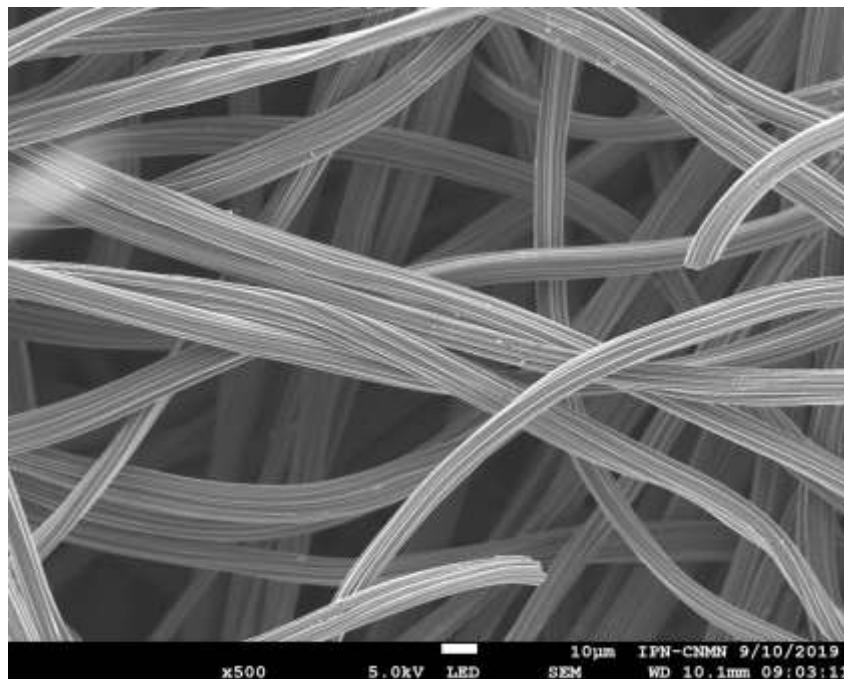


Figura 1. Micrografía por MEBAR del FFCA.

De igual manera en la Tabla 1 se muestran los resultados de absorbancia remanente en el décimo proceso de reúso del FFCA. Se puede apreciar que el porcentaje de remoción disminuyó considerablemente en los primeros cinco minutos del proceso, en donde sólo se removió el 38.56%. Es evidente que el porcentaje de remoción incrementa conforme el tiempo también lo hace, sin embargo, después de los 60 minutos del proceso, se ha alcanzado un porcentaje máximo de remoción del 94%.

Tabla 1. Porcentajes de remoción del colorante a diferentes tiempos en la primera y décima reutilización.

Tiempo/min	Primera remoción		Décima remoción	
	Absorbancia	%Remoción	Absorbancia	%Remoción
5	0.785	88.054	4.000	38.569
10	0.178	96.862	3.688	43.209
15	0.153	97.235	3.347	48.473
20	0.135	97.493	2.971	54.171
30	0.124	97.647	2.041	68.307
40	0.103	97.956	1.124	82.300
50	0.097	98.046	0.628	89.822
60	0.068	98.469	0.308	94.777

En la Figura 2A, se puede apreciar que cuando se usa el FFCA por primera vez la remoción del colorante se lleva a cabo de manera muy efectiva, pues a los diez minutos del proceso, se tiene una eliminación casi total (98.46%), ya que la solución se observa ligeramente coloreada. Sin embargo, en la Figura 1B, cuando el FFCA se reutiliza por diez veces, se observa que en todo momento la solución permanece coloreada finalizar la hora de tratamiento la solución sigue coloreada con gran intensidad (94.77%), lo cual significa que la remoción no fue tan efectiva como cuando se usó el material adsorbente por primera vez.



Figura 2. (A) primer proceso de remoción y (B) décimo proceso de remoción del colorante

En la Figura 3, se observa la tendencia de la remoción del colorante con respecto al tiempo del proceso cuando el FFCA se utilizó por primera vez y se reusó por 2, 4, 6, 8 y 10 veces. Se muestra que cuando el FFCA se usó por primera vez, alcanza la remoción casi completa a los 10 minutos de iniciar el experimento y que cuando se ha reutilizado por décima vez lo hace hasta los 30 minutos, lo cual significa que el FFCA no pierde su capacidad de remoción en el periodo de tiempo analizado (60 minutos), pues alcanza la remoción total del colorante.

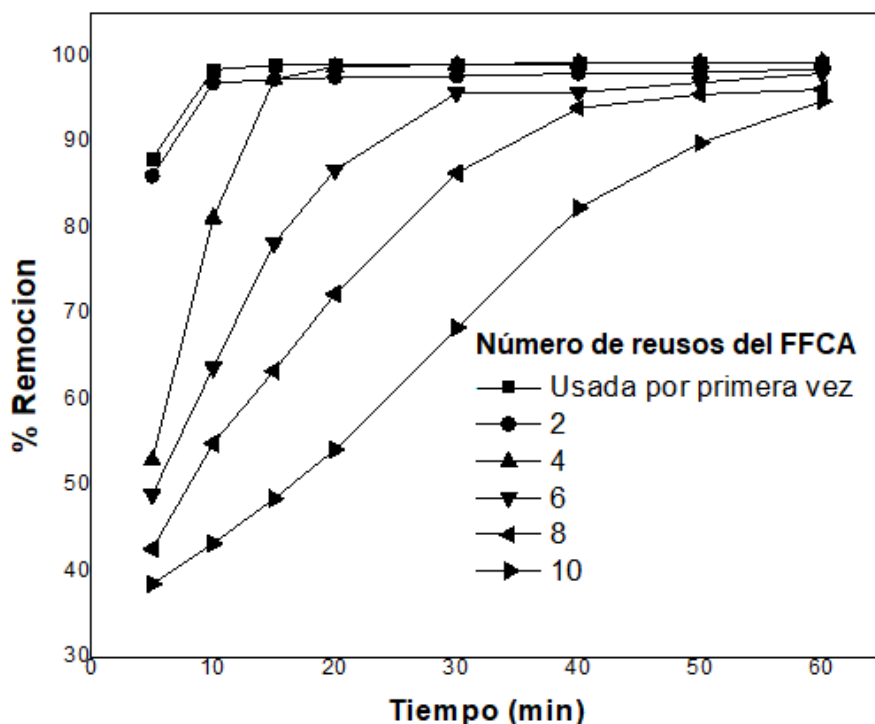


Figura 3. Remoción del violeta de metileno en función del número de veces de reúso del FFCA.

De igual manera, en la Figura 4 se observan las isotermas de Langmuir (A) y Freundlich (B) del FFCA para la remoción del violeta de metilo, cuando el FFCA es utilizado por primera vez y por diez veces (C) y (D). De acuerdo con el factor $(1/n)$ determinado, se puede afirmar que el proceso de remoción, también es descrito por la Isoterma de Langmuir, lo cual es validado por el coeficiente de correlación calculado, que es más cercano a la unidad. De igual manera, se tienen una disminución mínima en la capacidad máxima de adsorción, siendo de 33.55 mg g^{-1} cuando el FFCA se utilizó por primera vez y de 30.33 mg g^{-1} cuando se utilizó por décima vez.

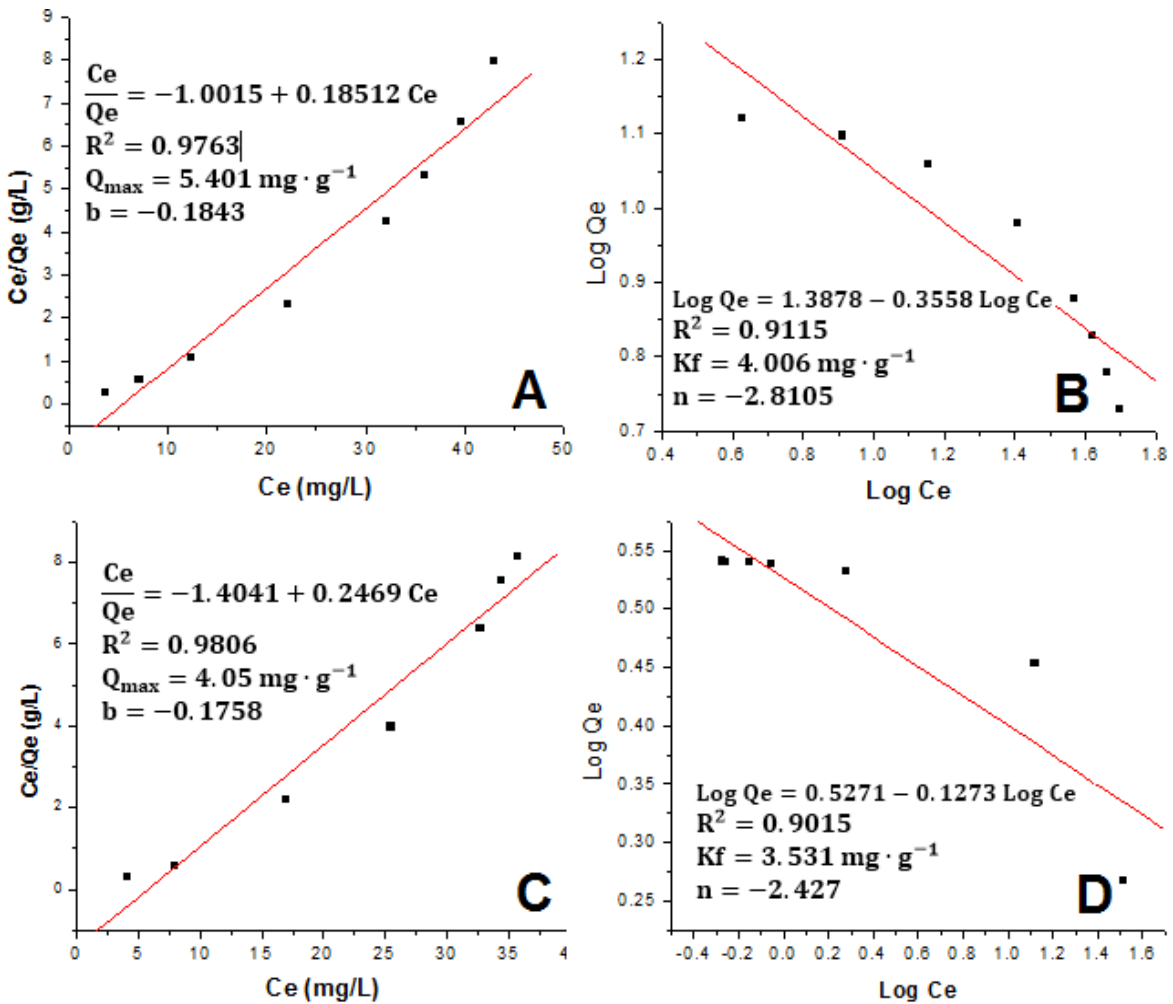


Figura 4. Isoterma de Langmuir (A) y la isoterma de Freundlich (B) para el FFCA, en la remoción del violeta de metilo, utilizado por primera vez. La isoterma de Langmuir (C) y la isoterma de Freundlich (D) para FFCA se reutilizan diez veces.

De acuerdo con la información presentada por las gráficas anteriores, claramente se identifica al fenómeno de remoción como un proceso descrito por la isoterma de Langmuir.

Con la información proporcionada por las isotermas, se determinó un factor de separación (R_L), para la remoción de los colorantes, a partir de la ecuación 1.

$$R_L = \frac{1}{1 + b \cdot C_0} \tag{1}$$

Donde b es constante de Langmuir y C_0 es la concentración inicial del colorante (mg/L). Si $R_L > 0$, la adsorción no es favorable; si $R_L = 1$, el proceso es de naturaleza lineal; si $R_L < 0$, el proceso es favorable; si $R_L = 0$, es un proceso irreversible y de acuerdo con el valor del factor de separación (R_L), el proceso de remoción llevado a cabo se considera como irreversible, es decir, el colorante removido no se desorbe.

CONCLUSIONES

Como conclusión se tiene que de acuerdo con el estudio de las isothermas realizado, el proceso fue descrito por la isoterma de Langmuir, en donde el colorante removido forma una monocapa sobre la superficie del FFCA sin algún tipo de interacción química entre las moléculas de este. La reutilización del FFCA, posterior a su calcinación después de cada proceso de adsorción, presentó altos porcentajes de remoción, inclusive en el décimo proceso; con lo cual se podría reducir los costos de operación en la descontaminación industrial de aguas a partir de este colorante, al usar una mínima cantidad del material adsorbente y reutilizarla múltiples veces.

BIBLIOGRAFÍA

1. Derakhshanfard, F. and A. Mehralizadeh, "Application of artificial neural networks for viscosity of crude oil-based nanofluids containing oxides nanoparticles". Journal of Petroleum Science and Engineering, 2018.
2. Yin, J., et al., "Degradation performance of crystal violet over CuO@AC and CeO₂-CuO@AC catalysts using microwave catalytic oxidation degradation method". Journal of Environmental Chemical Engineering, Vo. 4-1, 2016, pp. 958-964.
3. Nezamzadeh-Ejhieh, A. and Z. Banan, "Sunlight assisted photodecolorization of crystal violet catalyzed by CdS nanoparticles embedded on zeolite", A. Desalination, Vol. 284, 2012, pp. 157-166.
4. Suzuki, M., "Activated Carbon Fiber: Fundamentals and Applications", Carbon, Vol. 32, 1994, pp. 577-586.
5. Rangel-Mendez J. R., Streat, M., "Adsorption of cadmium by activated carbon cloth: influence of surface oxidation and solution pH", Water Research, Vol. 36, 2002, pp.1244-1252.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA INSPECCIÓN ÓPTICA DE ALTA RESOLUCIÓN POR TERMOGRAFÍA INFRARROJA LWIR (7-14 μm)

J. Reyes Luévano¹, J. A. Guerrero Viramontes¹, M. Funes-Gallanzi²

¹ TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Av. Adolfo López Mateos #1801 Ote. Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., 20256 México, ² Ardita México S. A. de C. V. Av. Chapalita #1143, 45040 Guadalajara, Jalisco-México.
juanreyes.luevano@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se presenta la implementación de un sistema para inspección óptica de un objeto de estudio, en la banda espectral LWIR (7-14 μm), a partir de termografía infrarroja 2D y bajo un enfoque de exploración pasivo. Este sistema consiste en un sensor de cámara termográfica Therm-App (384x288) montado sobre un conjunto de actuadores lineales en un arreglo XYZ, que permite tomar distintas escenas del objeto con base en una trayectoria de inspección arbitraria y previamente establecida. Las escenas son procesadas con un algoritmo SIFT y de reconstrucción; lo que permite obtener, una termografía de salida con una resolución espacial cuatro veces mayor (4x) que la termografía 2D primaria. Esto como solución a la no existencia de una cámara termográfica comercial de alta resolución y bajo costo. La interfaz de usuario, el sistema de control y almacenamiento, así como los algoritmos de procesamiento de termografías y calibración LWIR; son ejecutados en un microprocesador Raspberry Pi 3 B+. Pruebas experimentales de inspección fueron conducidas, usando como objeto de estudio una placa sobre la que se generan gradientes de temperatura, a partir de un sistema de celdas Peltier. Los resultados obtenidos indican, que el sistema propuesto permite obtener termografías de salida con una resolución de aproximadamente cuatro veces la resolución de la cámara base. Así mismo, puede ser implementado en tareas de inspección de calidad, diagnóstico y estudio de gradientes de temperatura.

INTRODUCCIÓN

La termografía infrarroja es una técnica de medición y caracterización que permite obtener una imagen 2D (dos dimensiones) de los patrones térmicos que exhibe un cuerpo, dada la radiación infrarroja que emite [1], [2] y [3]. Se basa en el principio de que todo cuerpo con una temperatura por encima del cero absoluto (0 K) emite energía en forma de ondas electromagnéticas dentro de la banda espectral infrarroja (por debajo del rojo), específicamente en el rango de longitud de onda de 0.8-1000 micrómetros [1]. Véase la Figura 1.1. Esta radiación es generada por la vibración y rotación de los átomos, moléculas y enlaces que componen la estructura química de un material.

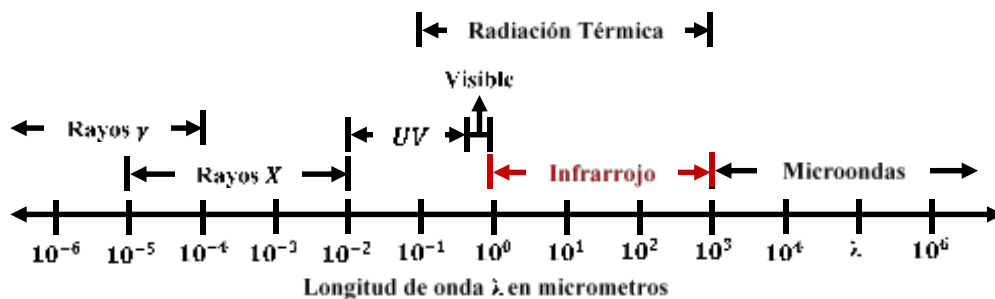


Figura 1.1 Espectro electromagnético.

En la banda espectral infrarroja, existen dos regiones dentro de las cuales las cámaras termográficas actuales son capaces de generar mediciones confiables por termografía infrarroja. Estas son: 1) media longitud de onda (MWIR 2-5 μm , por sus siglas en inglés) y 2) longitud de onda larga del infrarrojo (LWIR 7-14 μm). La razón de esto reside en que corresponden a regiones de longitud de onda donde la atmósfera presenta una alta transmitancia y, por ende, exhibe una mínima interferencia en la radiación que emite un objeto de prueba y que capta una cámara termográfica.

Entre las ventajas que ofrece esta tecnología se encuentran, que es de tipo no invasiva, de no contacto, de ejecución en tiempo real y su implementación no representa efectos secundarios para el objeto de prueba.

En la actualidad, existen diversos proveedores de tecnología para termografía infrarroja; que suministran cámaras termográficas para distintas aplicaciones. Véase la Figura 1.2. Dicho equipo se caracteriza por presentar una resolución de baja a media (260x295, 280x210, 320x240 y 384x288) y generar información de patrones térmicos en 2D. Así mismo, ofrece funciones como medición puntual de temperatura, configuración de emisividad y almacenamiento de información.



Figura 1.2 Tecnología actual de cámaras termográficas. a) Fluke FLK-TiS65 (260X195 pixeles). b) FLIR E6 (320x240). c) Fluke FLK-Ti29 (280x210). d) Therm-App (384x288).

Actualmente, el costo de una cámara termográfica es directamente proporcional a la resolución, y depende en menor medida de la sensibilidad y el rango de medición. El estado actual de esta tecnología muestra, que el desarrollo de la cámara termográfica está enfocado a proveer equipo con mejoras en la resolución, rango de medición y las funciones de procesamiento de termografías. En este contexto, puede afirmarse que dentro de la tecnología actual de termografía infrarroja 2D; no existe una cámara termográfica de alta resolución y bajo costo; que provea información de los patrones térmicos 2D de un objeto de estudio.

Cabe mencionar, que la resolución espacial de una termografía convencional 2D es igual a la resolución de la cámara termográfica. Por ende, para aplicaciones que requieren termografía 2D de alta resolución, el costo del equipo es alto, dado que hoy en día es directamente proporcional a la resolución de la cámara termográfica. Por lo tanto, el uso de algoritmos de reconstrucción y SIFT [4], aunados a la tecnología de termografía infrarroja 2D convencional; promete dar lugar a un sistema de generación de termografías de alta resolución, en un marco de referencia 2D.

METODOLOGÍA

El campo de aplicación de la termografía infrarroja es muy amplio. En el área industrial encuentra lugar en pruebas ópticas no destructivas [5, 6], condición de monitoreo de calidad [7, 8], mantenimiento predictivo, reducción de costos de energía, evaluación de procesos de adherencia, unión y tratamiento de materiales [4, 6].

En el ámbito de servicios la termografía infrarroja se aplica con éxito en el diagnóstico médico. Trabajos recientes descritos en [9, 10], presentan resultados de la implementación de la termografía infrarroja en la detección temprana de cáncer de seno, diagnóstico de pie diabético y desordenes vasculares. En general, los esquemas de diagnóstico y monitoreo basados en la termografía infrarroja (activa o pasiva) son eficientes, seguros y de bajo costo de implementación.

El sistema de inspección que se implementa en este trabajo opera en la banda espectral LWIR (Long-Wavelength Infrared Radiation, por sus siglas en Inglés), en el rango de longitud de onda de 7-14 μm ; a través de un sensor de cámara infrarroja Therm-App (resolución base de 384x288 pixeles) y un lente de 13 mm. La Figura 1.3 presenta el diseño del sistema de inspección óptica por termografía infrarroja que ha sido desarrollado.

A grandes rasgos, el programa de control, procesamiento de termografías y de gestión de resultados del equipo de inspección, está integrado por una interfaz gráfica desarrollada en una librería de lenguaje visual de Python que se ejecuta en un microprocesador Raspberry Pi 3 B+. El software consta de los siguientes módulos: 1) generación de trayectoria de inspección manual y automática, 2) calibración geométrica LWIR, 3) algoritmo para corrección geométrica de termografías y SIFT, 4) módulo de ajuste de parámetros ópticos LWIR y 5) sistema de ejecución de tarea de inspección y almacenamiento de resultados.

Por otra parte, el hardware está integrado por un sistema de posicionamiento XYZ sobre el cual está montada la cámara Therm-App. El arreglo de los actuadores lineales permite ejecutar pruebas en un plano de inspección de 50x50 cm y controlar el ángulo de captura de escena en un rango de 0 a 45 grados. La trayectoria de inspección que es capaz de ejecutar el sistema puede ser de carácter arbitraria o seguir una geometría específica.

Así mismo, un sistema de generación de calor basado en celdas Peltier trabaja en conjunto con el módulo de calibración LWIR. De esta forma, el sistema permite corregir la distorsión radial y tangencial que introduce la lente de la cámara termográfica.

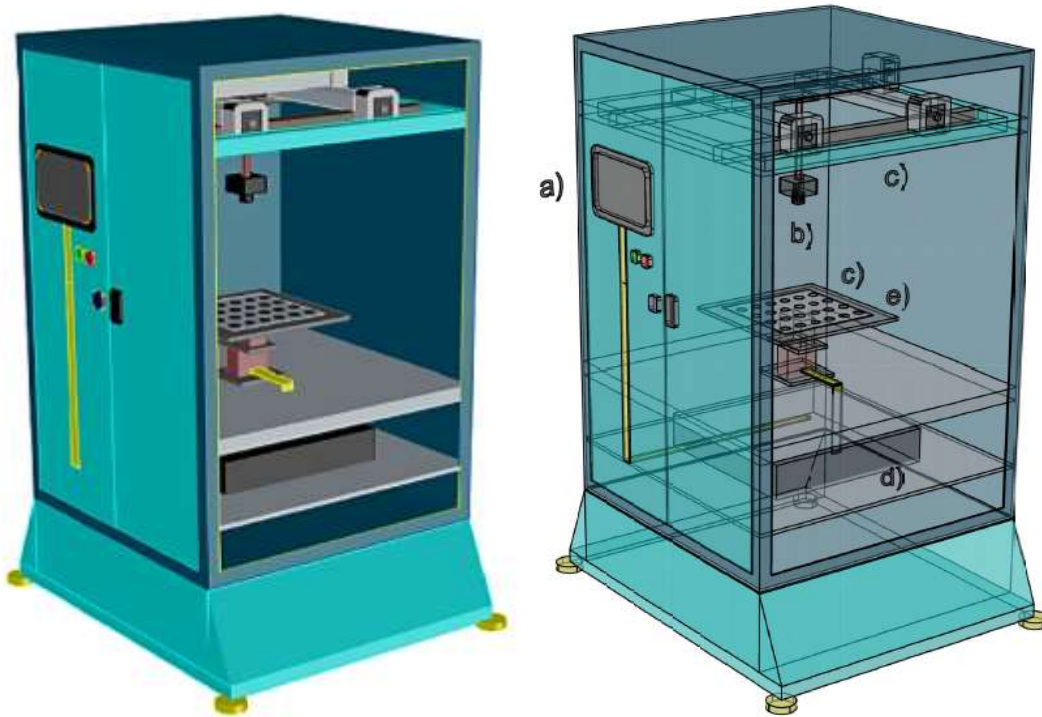


Figura 1.3 Diseño del sistema automatizado para inspección óptica por termografía infrarroja LWIR. a) Módulo de control, b) sensor LWIR, c) sistema de posicionamiento XYZ, d) sistemas electrónicos y e) base para objeto de estudio.

La forma en que trabaja el sistema es la siguiente: el usuario introduce el objeto de estudio y establece una secuencia de inspección ya sea manual o automática, enseguida, el proceso de inspección es iniciado y el sistema almacena una secuencia de termografías con base en cada punto de inspección establecido; posteriormente, el usuario puede ejecutar los algoritmos de calibración LWIR, corrección geométrica, SIFT y procesamiento de imágenes. Esto con base en las termografías de salida. Finalmente, los resultados son almacenados para su análisis.

El diseño del equipo que se presenta en la Figura 1.3, considera como parámetros fundamentales la resolución de la termografía de salida, el ángulo de captura de cada escena, la trayectoria de inspección, la emisividad y la calibración geométrica de la cámara termográfica.

Emisividad

El equipo de medición de temperatura a partir de termografía infrarroja mide la radiación infrarroja emitida por un objeto y convierte la energía E detectada en un patrón térmico 2D (imagen térmica), que contiene información del valor promedio de la energía cinética presente en la superficie del objeto de prueba. De acuerdo con [3], la energía E emitida por un objeto de estudio está dada por (1), donde σ es la constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5.676 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$), T describe la temperatura absoluta de la superficie y ε corresponde a la emisividad del objeto.

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \tag{1}$$

Sin embargo, la energía radiada por un cuerpo y captada por la cámara termográfica, sufre un cambio significativo que está relacionado con el ángulo de captura de la escena y la longitud de onda captada por el sensor de la cámara termográfica. Este fenómeno produce efectos no deseados en la información de temperatura y patrones térmicos de la termografía de salida, y se atribuyen, al cambio aparente de la emisividad en la superficie del objeto.

Pruebas experimentales descritas en [3] han mostrado que el error de estimación de la temperatura T en la superficie de un objeto de estudio, es poco significativo si el ángulo de captura de la escena no excede los 45 grados.

El cambio aparente de la emisividad ε del objeto es función del ángulo ϕ de captura de la escena, la longitud de onda λ de la radiación que emite y la naturaleza del material. La corrección de emisividad dados ϕ y λ , puede ser estimada por (2); como se expone en [3].

$$\varepsilon_{\phi, \lambda} = \left[1 - \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\beta - \cos \phi}{\beta + \cos \phi} \right) \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{\beta - \cos \phi}{\beta + \cos \phi} \right)^2 \right] \tag{2}$$

Por su parte, el factor β se obtiene en base al índice de refracción n_λ del material.

$$\beta = \sqrt{(n_\lambda^2 \sin^2 \phi)} \tag{3}$$

La importancia de controlar el cambio aparente de la emisividad durante el proceso de inspección reside, en que exceder el ángulo de inspección crítico de 45 grados produce un cambio significativo en la información geométrica de los patrones térmicos y la coherencia entre diferentes escenas de la energía radiada en la superficie del objeto de estudio. Así mismo, como se ha mencionado, se presenta una discrepancia entre la temperatura real y la estimada a través de la energía radiada y captada por la cámara.

Calibración geométrica LWIR

Otro efecto no deseado que cobra importancia en aplicaciones de la termografía infrarroja como medio de exploración o sistemas de visión, corresponde a la distorsión que introduce la lente de la cámara en la información geométrica de las termografías de salida.

Para calibrar la cámara termográfica se parte del modelo pinhole. Los parámetros intrínsecos de la cámara por lo general incluyen la longitud focal efectiva f , el factor de escala s y el centro de la imagen (u_0, v_0) . La unidad de la imagen es el píxel y por ende los coeficientes D_u y D_v son necesarios para cambiar las unidades métricas de píxeles. En el modelo pinhole de la cámara, la proyección del punto x_i, y_i, z_i para el plano de una imagen es descrita por (4).

$$\begin{bmatrix} \tilde{u}_i \\ \tilde{v}_i \end{bmatrix} = \frac{f}{z_i} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} \tag{4}$$

Por lo que las coordenadas correspondientes de imagen (u'_i, v'_i) en píxeles, se obtienen a partir de la proyección (u_i, v_i) , aplicando la siguiente transformación:

$$\begin{bmatrix} u'_i \\ v'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_u s_u \tilde{u}_i \\ D_v \tilde{v}_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

La distorsión radial y tangencial de la lente pueden complementar el modelo pinhole para dar lugar a un modelo más preciso de la cámara [11]. La distorsión radial puede ser descrita por la ecuación (6).

$$\begin{bmatrix} \Delta u_i^{(radial)} \\ \Delta v_i^{(radial)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{u}_i(k_1 r_i^2 + k_2 r_i^4) \\ \tilde{v}_i(k_1 r_i^2 + k_2 r_i^4) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Donde k_1 y k_2 son los coeficientes de distorsión radial y $r_i = \sqrt{(x_i^2 + y_i^2)}$.

Por su parte, la distorsión tangencial es descrita por (7), donde p_1 y p_2 son los coeficientes de distorsión tangencial.

$$\begin{bmatrix} \Delta u_i^{(tangencial)} \\ \Delta v_i^{(tangencial)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2p_1 \tilde{u}_i \tilde{v}_i + p_2 (r_i^2 + 2\tilde{u}_i^2) \\ p_1 (r_i^2 + 2\tilde{v}_i^2) + 2p_2 \tilde{u}_i \tilde{v}_i \end{bmatrix} \quad (7)$$

Por lo tanto, un modelo más preciso de calibración de la cámara está dado por (8). Donde el conjunto de parámetros asociados ($f, s, (u_0, v_0)$) crece con los coeficientes de distorsión radial y tangencial (k_1, k_2, p_1 y p_2).

$$\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_u s_u (\tilde{u}_i + \Delta u_i^{(radial)} + \Delta u_i^{(tangencial)}) \\ D_v (\tilde{u}_i + \Delta v_i^{(radial)} + \Delta v_i^{(tangencial)}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Para determinar los coeficientes de distorsión radial y tangencial de la cámara termográfica, se hace uso de un patrón de calibración de dimensiones conocidas y el algoritmo dado por [11]. Para ello, es necesario estimar los parámetros del sistema óptico de la cámara termográfica (distancia focal y tamaño del sensor). Una vez obtenidos los coeficientes de distorsión, se aplica un algoritmo de corrección a cada termografía de salida a un nivel de ajuste de decimas de píxel.

Resolución de Termografía

Con el propósito de generar termografías del objeto de estudio con una resolución de salida mayor que la correspondiente a la cámara base (Therm-App 384x288 píxeles) se implementa el algoritmo SIFT [4] para obtener termografías con una resolución de aproximadamente cuatro veces (4x) la termografía original. Esto considerando captar cuatro termografías por punto de inspección y un parámetro de superposición entre las mismas.

Este algoritmo permite obtener puntos característicos dentro de la escena, que se caracterizan por ser invariantes a cambios de escala y rotación. Una vez detectados, se establece la correspondencia entre termografías a partir de los puntos característicos que tienen en común. Finalmente, se construye la termografía de salida al unir las termografías en torno a los puntos clave.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1.4 se presenta en físico el sistema para inspección óptica por termografía infrarroja LWIR. Pruebas de exploración con objetos de estudio orgánicos e inorgánicos fueron realizadas. La Figura 1.5 muestra la ejecución en parte de los módulos de software del sistema.



Figura 1.4 Equipo desarrollado para inspección óptica por termografía infrarroja LWIR.

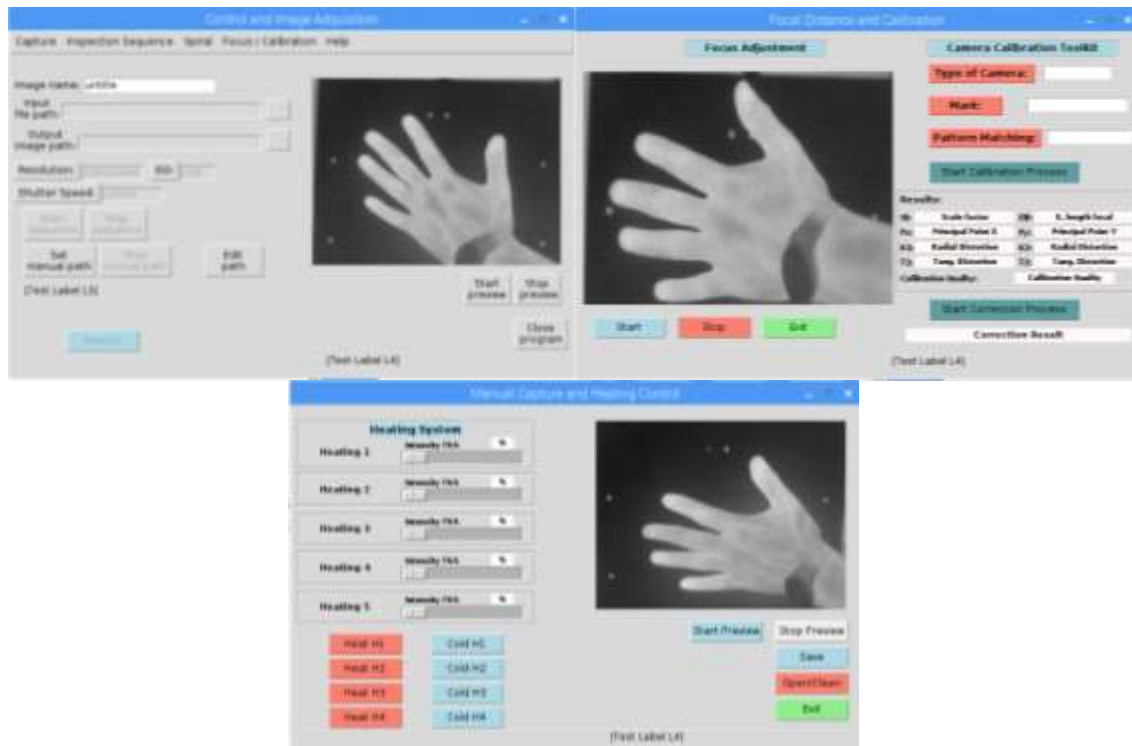


Figura 1.5 Parte de los módulos del software para inspección óptica LWIR: control, calibración LWIR y sistema de generación de calor a base de celdas Peltier; respectivamente.

En la Figura 1.6 se aprecian las termografías de una secuencia de tres puntos de inspección de un objeto de estudio orgánico. Los puntos (píxeles) en blanco señalan los puntos clave (invariantes a escala y rotación) que permiten establecer correspondencias entre las distintas escenas del objeto. Los puntos característicos son derivados del algoritmo SIFT.

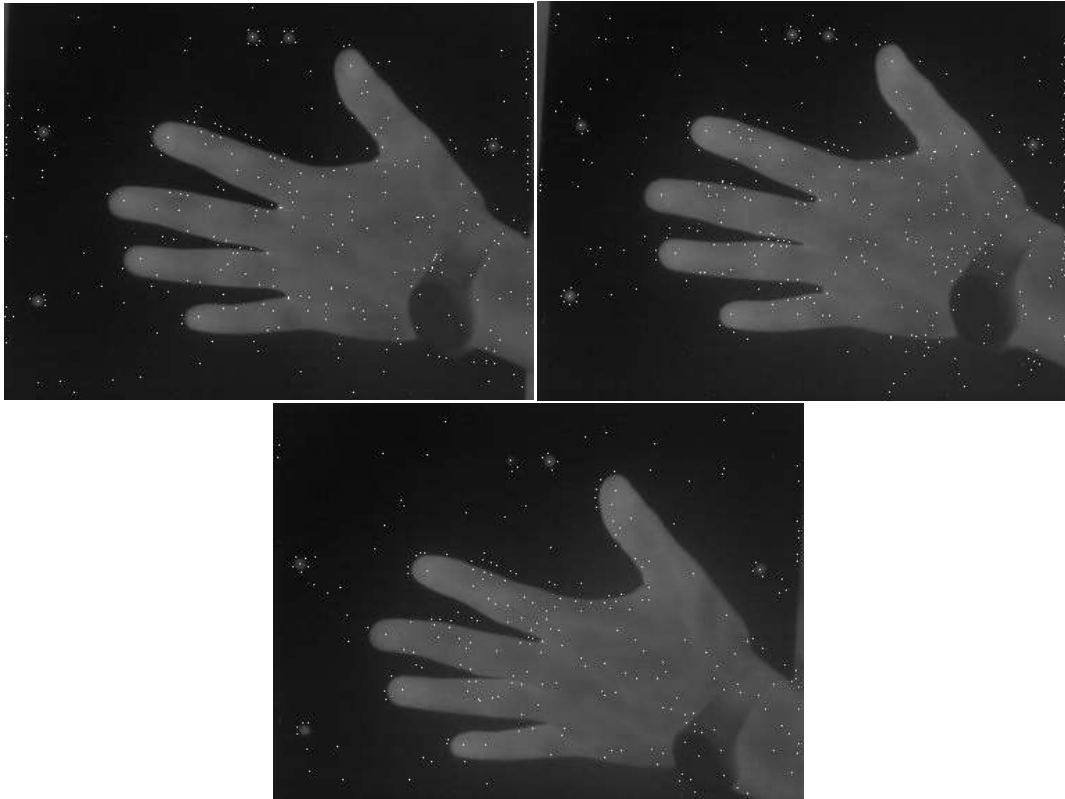


Figura 1.6 Secuencia de inspección LWIR y extracción de puntos clave.

Para cada termografía de la secuencia de inspección, se considera el cambio de emisividad con relación al ángulo de captura de la escena, se hace una corrección geométrica a nivel de decimas de píxel y se procesa digitalmente la imagen para dar lugar a la termografía de salida. La Figura 1.7 a) muestra el resultado del proceso de corrección geométrica y b) procesamiento digital para dar lugar a la termografía de salida.

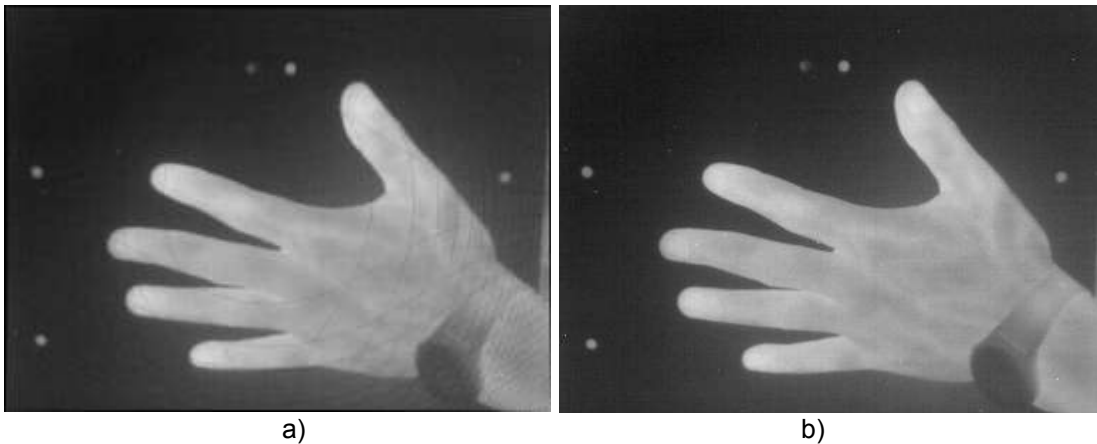


Figura 1.7 Termografía de un punto de inspección. a) Corrección geométrica, b) termografía de salida.

CONCLUSIONES

En este trabajo, un sistema para inspección óptica por termografía infrarroja LWIR ha sido implementado; bajo un enfoque de exploración pasivo. Este equipo de inspección permite explorar un objeto de estudio en la banda espectral de los 7-14 μm , bajo una trayectoria de inspección arbitraria o siguiendo una geometría específica. Tres factores fundamentales del proceso de inspección LWIR pueden ser abordados. Estos son: 1) estimación y ajuste de emisividad en función del ángulo de captura de la escena, 2) corrección geométrica LWIR (calibración de la cámara termográfica) y 3) aumento de la resolución de la termografía de salida, a partir de la extracción de puntos clave y establecimiento de correspondencias entre termografías. Los resultados obtenidos indican, que el sistema propuesto permite obtener termografías de salida con una resolución de aproximadamente cuatro veces la resolución de la cámara base. Así mismo, puede ser implementado en tareas de inspección de calidad, diagnóstico y estudio de gradientes de temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

1. T. Astarita y G. M. Carlomagno, *Infrared Thermography for Thermo-Fluid-Dynamics*, Berlin, Alemania: Springer, 2013.
2. M. Vollmer y K. P. Möllmann, *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*, Weinheim, Alemania: Wiley-Vch, 2010.
3. S. Bagavathiappan, B. B. Lahiri, T. Saravanan, J. Philip y T. Jayakumar, "Infrared thermography for condition monitoring- A review," *Infrared Physics and Technology*, Vol. 60, 1, 2013, pp. 35-55.
4. D. G. Lowe, Distinctive Features from Scale-Invariant Keypoints, *International Journal of Computer Vision (IJCV)*, Vol. 60, 2, 2004, pp. 91-110.
5. R. Usamentiaga, P. Venegas, J. Guerediana, L. Vega, J. Molleda y F. G. Bulnes, "Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing," *Sensors*, Vol. 14, 7, 2014, pp. 12305-12348.
6. S. Deane, N. P. Avdelidis y C. Ibarra-Castanedo, "Application of NDT thermographic imaging of aerospace structures," *Infrared Physics and Technology*, Vol. 97, 1, 2019, pp. 456-466.
7. M. Vollmer y K. P. Möllmann, *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*, Weinheim, Alemania: Wiley-Vch, 2010.
8. S. Bagavathiappan, B. B. Lahiri, T. Saravanan, J. Philip y T. Jayakumar, "Infrared thermography for condition monitoring- A review," *Infrared Physics and Technology*, Vol. 60, 1, 2013, pp. 35-55.
9. A. Lozano y F. Hassanipour, "Infrared imaging for breast cancer detection: An objective review of foundational studies and its proper role in breast cancer screening," *Infrared Physics and Technology*, Vol. 97, 2019, pp. 244-257.
10. B. B. Lahiri, S. Bagavathiappan, T. Jayakumar y J. Philip, "Medical applications of infrared thermography: A review," *Infrared Physics and Technology*, Vol. 55, 4, 2012, pp. 221-235.
11. J. Heikkilä, "Geometric Camera Calibration Using Circular Control Points," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, 10, 2000, pp. 1-29.

MEJORA DEL FLUJO DE VALOR DEL SISTEMA DE MANUFACTURA UTILIZANDO HERRAMIENTAS LEAN EN LA LÍNEA ARMREST LOWER DE UNA EMPRESA DE INTERIORES AUTOMOTRICES

Vicente Onofre Rojo Romo, Beatriz Adriana Esparza Ramírez, Fernando Ricárdez Rueda y Gerardo Alonso Torres Ávalos

Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Lagos de Moreno.
erfono_v@hotmail.com

RESUMEN

El presente proyecto de investigación fue desarrollado en una empresa de interiores automotrices con la finalidad de mejorar el flujo de valor en el sistema de manufactura en la línea Armrest Lower, aplicando mejora en el surtimiento de la celda central de costura hacia las operaciones de pre laminación. Al inicio del proyecto se establecieron cinco KPI's, número de partes defectuosas (SCRAP), tiempos de ciclo de las operaciones, eficacia del entrenamiento, salidas de producción, distancia recorrida al turno. La implementación de herramientas Lean Manufacturing ayudaron al flujo correcto de materiales, flujo de piezas en producción, además de la disminución de recorridos dentro de la línea. Al inicio del desarrollo del proyecto se tenía un registro de 383 piezas de SCRAP presentados por distintos defectos en la pieza, (Desprendimiento de foam, costura desalineada, hundimiento, fallo de la máquina, marca en la pieza), al final del proyecto se obtuvo un registro de un total de 202 piezas de SCRAP por defectos frecuentes presentados en las piezas de Armrest Lower Model 3 Telsa.

INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto de investigación está ideado para mejorar el flujo de valor de una empresa de interiores automotrices, específicamente en la línea de Armrest Lower, Tesla, Model 3, mediante la utilización de herramientas de la metodología Lean Manufacturing, ayudando a la reducción de desperdicios que son generados en la línea ya sea por recorridos innecesarios o sobre producción generada.

La reducción de desperdicios dentro de la línea Armrest Lower Model 3 es uno de los principales enfoques del proyecto, ya que los flujos de la línea no son los adecuados y es generada una sobre producción ocasionando un cuello de botella, principalmente en la operación de pre laminación hacia activación, ha sido propuesto eliminar al operador de la prensa de activación para trabajar y mantener el flujo según el tiempo ciclo de la prensa y en el resto de las operaciones, al mantener el flujo el operador de foldback tendrá tiempo para desplazarse hacia la prensa y descargar las piezas activadas

El proyecto se enfoca a la reducción de desperdicios y el tiempo ciclo de las operaciones, así como a mantener un ritmo de producción y mejora del flujo, reducir el nivel de scrap y la sobre producción en las operaciones involucradas para el procesamiento de la pieza.

TEORÍA

Según Toyota desperdicio es “todo lo que no sea la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas, espacio y tiempo del operario, que resulten esenciales para añadir valor al producto”.

1. Sobreproducción: Se basa en la producción por anticipado sin que el mercado lo requiera e involucra gastos en personal, energía y producción, entre ellos los stocks y los espacios utilizados de manera innecesaria. Siendo este tipo de desperdicio considerado por Toyota como uno de los más frecuentes y más costos en plantas de producción. (Ruíz, 2007)

2. Tiempos de espera: Viene como resultado de una mala planeación del tiempo de las operaciones o la no sincronía entre las mismas, que tiene como consecuencia la espera tanto de operadores, materiales o equipos. Se refiere en palabras sencillas al tiempo que se pierde cuando un operador está esperando a que la máquina termine su trabajo o cuando las máquinas se detienen es espera de que el operador haga algún ajuste.

Todo lo anterior implica un consumo de tiempo que no agrega valor al producto y sus causas pueden derivarse de una mala programación de la producción, falta de programación en cambios de productos, demasiado personal dentro de las líneas u operadores con capacitación de bajo nivel. (Socconini, 2008)

3. Transportes innecesarios de materiales y herramientas: Se consideran todos aquellos traslados de materiales que no están apoyando de manera positiva al sistema de producción de la empresa. Se presentan movimientos innecesarios de un lado a otro de la planta, movimientos que no agregan valor al proceso y que por lo tanto no representan una actividad significativa para el cliente.

Todo lo anterior si involucra directamente costos y pone en peligro la integridad de los productos o materiales que se están transportando. Algunas de las causas de este tipo de desperdicio están dadas por la fabricación de lotes muy grandes de producción, falta de organización en el lugar de trabajo, mala planeación de las instalaciones o inventario excesivo de productos en proceso. (Socconini, 2008).

4. Sobre inventario: Se le conoce así a cualquier material, producto en proceso o producto terminado que sobre pase las cantidades necesarias para satisfacer la demanda del cliente. Se considera un tipo de desperdicio porque si existen, requieren grandes cantidades en almacenes de materias primas, provocando la permanencia de las primeras entradas en lugar de aplicar el FIFO, primeras entradas, primeras salidas. O bien, cantidades grandes esperando a ser procesadas o destinadas al almacén de producto terminado.

5. Procesos innecesarios: En el interior de las empresas, existen un sin número de procesos que involucran a los diferentes departamentos pero que no siempre agregan valor al producto. Muchos de estos procedimientos son consecuencia de las necesidades de taller, pero hay que promover su adecuado manejo, tomando a consideración actividades que van desde su eliminación hasta la combinación con otro proceso que si agregue valor al producto. Una característica importante de este tipo de desperdicio es la presencia de cuellos de botella en el proceso. (Socconini, 2008)

6. Movimientos innecesarios: Esta referido al traslado de personas de un punto a otro contemplando su lugar de trabajo o en cualquier área de la empresa, pero son movimientos que no necesariamente están agregando valor al producto. Entre ellas el buscar, acumular partes, herramientas o caminar más de lo necesario.

7. Productos defectuosos o re trabajos: Contempla la pérdida de los recursos que están siendo utilizados durante la transformación de un producto defectuoso, entre ellos el tiempo del personal, material y tiempo-máquina. Este tipo de desperdicio es causado por procesos ineficientes, variación excesiva en el proceso de producción, altos niveles de inventario o falta de control del proceso. Se define básicamente como la producción de partes defectuosas. (Villaseñor, 2009)

Para llevar a cabo la metodología Lean Manufacturing y lograr los objetivos es necesario apoyarse de algunas herramientas como las siguientes:

- Kanban: es un sistema de reposición de material basado en tarjetas que contienen la información de la orden a solicitar o a retirar. Es un instrumento que permite entregar el pedido correcto en el momento preciso.

El sistema Kanban permite trabajar con inventarios bajos, permite fabricar solo lo que el cliente necesita y evitar una sobreproducción, es un sistema visual que permite comparar lo que se fabrica con lo que el cliente requiere.

- Value Stream Mapping (VSM): cuando se quieren implementar mejoras enfocadas en la filosofía de Lean Manufacturing es necesario primero identificar la situación actual del proceso utilizando gráficos, que sirven para mostrar el flujo de los materiales o la información desde que se hace la orden de pedido hasta que se realiza la entrega al cliente.

Realizar la recolección de datos de la planta es una de las actividades principales para poder plasmar el flujo de información y no es considerada una actividad individual, sino más bien, una actividad donde se verán involucrados todos los departamentos que, en su momento, serán participantes activos dentro del proyecto Lean.

No se puede empezar a trabajar si no se tiene claro por dónde hay que empezar. Realizar un Value Stream Mapping o un mapa de la cadena de valor es una herramienta de análisis que permite llegar a conclusiones sobre las cuáles estará basada la mejora organizativa. (Rajadell, 2010)

- **Manufactura Celular:** es una forma de organizar un proceso para un producto en particular o para productos similares en un grupo o celda en forma de U, en que se incluyen toda la maquinaria, equipo y operadores necesarios.

Se utiliza la manufactura celular para lograr una flexibilidad de la producción, y esto equivale a aumentar la productividad mediante el ajuste y la reprogramación de los recursos humanos. Para lograr esta flexibilidad se requieren tres factores muy importantes: una apropiada disposición de la maquinaria en la planta, empleados polivalentes y una evaluación continua de la distribución de las operaciones a los operarios, que permitan aumentar o disminuir el número necesario de operarios cuando hay cambios en la demanda. (Socconini, 2008)

Los que ponen en práctica la filosofía de trabajo de Lean aseguran que la disposición en forma de U ofrece un gran número de beneficios, incluyendo un incremento en la productividad y mejora la habilidad de manejar las fluctuaciones diarias, en cuanto a asistencia y demanda, de una fábrica típica.

PARTE EXPERIMENTAL

La elaboración del proyecto requiere el seguimiento de una metodología que pueda dar cumplimiento a los objetivos planteados, lo cual debe tener una secuencia lógica y ordenada. En este caso se llevará a cabo la implementación en base a la metodología Lean Manufacturing, agregando algunas actividades necesarias para complementar y así sustentar el proyecto desarrollado.

La metodología que se llevará a cabo se describe enseguida:

Como parte inicial para la realización del proyecto será la ejecución del diagnóstico general de la línea de producción a través del cual se identificará el área de estudio. Para dar cumplimiento al diagnóstico general es necesario realizar las siguientes actividades:

- Realizar diagramas de flujo para identificar la secuencia del proceso en la línea de producción del componente Amrest Lower e identificar con mayor facilidad el área en donde se realizará el proyecto.
- Conocer e identificar de manera general los desperdicios que se tienen, así como las variaciones en la producción. Variables: Scrap generado al turno, producción al turno y tiempo muerto.

En la segunda actividad una vez que se ha identificado el flujo del proceso se deberá establecer y calcular los indicadores que permitan evaluar el estado actual, los indicadores establecidos se describen a continuación:

Número de partes defectuosas (SCRAP). Este indicador nos permitirá monitorear las piezas que son SCRAP durante los turnos A, B, C.

Tiempos de ciclo de las operaciones. Mediante este indicador se medirá el tiempo ciclo de operaciones, permitiendo saber cuáles operaciones están por encima de nuestro tiempo takt siendo las más críticas y además permitirá conocer operaciones que están sobradas de tiempo, en las cuáles se debe trabajar para la disminución de su tiempo ciclo de operación y balanceo de carga de operaciones.

Eficacia del entrenamiento. A través del análisis de este indicador podremos darnos cuenta si el entrenamiento a personal nuevo está siendo efectivo y que tanto es su avance semanal en cuanto al tiempo tomado de la actividad que realiza.

Salidas de producción. En base a este indicador tendremos datos de la cantidad de piezas producidas al turno (A, B, C).

Distancia recorrida al turno. Con este indicador podremos conocer el recorrido que un operador realiza al turno, para la obtención de algún material necesario para llevar a cabo su operación, así mismo, se analizará el recorrido de surtimiento, si es que lo hace el mismo operador hacia otra operación, lo que nos permitirá atacar este punto y dar una solución a minimizar los recorridos de mayor distancia que tiene los operadores para la obtención de sus elementos de trabajo, debido a que algunos de los recorridos que efectúan no agregan valor al proceso.

Como tercera actividad se realizará un estudio de y tiempo el cual permitirá el cálculo de la capacidad de la línea de producción contemplando el máximo requerimiento del cliente. Se deben determinar los ciclos de muestra estos mediante la fórmula estadística del libro de Niebel para la toma de tiempos dentro de las operaciones del componente y así determinar el tiempo takt que es el que el cliente está dispuesto a pagar por la fabricación de la pieza.

La cuarta actividad es la creación de un VSM del estado actual de la línea de producción de Lower, Model 3. Se deberá identificar el flujo de información que se sigue para lograr satisfacer la demanda del cliente, para lo cual se requerirá de la participación de los departamentos de planeación y logística. Se necesitan la siguiente información:

- Obtener datos sobre la demanda del cliente sobre el componente, la forma en la que se realizan los pedidos y la forma de procesar la información del cliente a la planta.
- Requerimientos del cliente por mes, día y frecuencia de entrega.
- La forma de procesar la información de la planta a los proveedores y las cantidades requeridas a proveedor y la frecuencia de entrega.
- Registrar la información sobre la forma en la que se distribuye al cliente, la distribución por parte de proveedores y la manera en que se suministra la información a los procesos.

La quinta actividad es la aplicación de herramientas de la metodología Lean que sean adecuadas al proceso según lo identificado en el diagnóstico. Las variables a medir que deberán ser considerada para la aplicación de las herramientas Lean son: transportes, distancias recorridas, operaciones realizadas en el proceso de producción de la pieza.

Después de elaborar el VSM del estado actual se realizará el análisis para identificar actividades que agregan y agregan valor, así como los puntos críticos que generan pérdidas, después de la aplicación de las herramientas Lean se debe elaborar un VSM del estado futuro donde se deberá proponer ideas de mejora para solucionar las problemáticas presentadas en la línea.

Para medir el impacto del proyecto se deberán monitorear los resultados obtenidos para enseguida realizar un análisis estadístico de hipótesis estadística mediante los datos obtenidos, para dicho análisis se utilizará el software Minitab.

Como parte final se deberá desarrollar un análisis financiero para evaluar el impacto monetario de las mejoras obtenidas durante el desarrollo del proyecto, el cual implicará el análisis costo-beneficio. ROI Y TIR, teniendo en cuenta la inversión, costos y los beneficios generados.

RESULTADOS

Actualmente, la línea de Armrest Lower, Model 3 de Tesla (Figura 1) tiene por cada línea de producción 1 operador para la operación de pre laminación, 1 operador por cada lado (Ft LH y RH, RR RH y LH), en la operación de pre laminación y pre folding, 1 operador para activación, 1 operador para cada lado de la operación de Foldback, para la operación de ensamble y check and pack se cuenta de igual manera un operador por cada lado.



Figura 1: Línea de Armrest Lower, Model 3 de Tesla

Los operadores de pre laminación tienen un tiempo ciclo de 1.10 minutos por pieza producida, lo que nos genera un cuello de botella en la prensa de activación ya que el tiempo de ciclo de la prensa es mayor al de los operadores y sólo se carga de una sola pieza por lado en cada ciclo de la prensa lo que regularmente nos provoca una sobre producción de piezas ya laminadas listas para activación. Mediante los resultados del análisis realizado por el equipo multidisciplinario se sustenta la eliminación del operador de activación y dejar que los pre laminadores sean quienes se desplacen a la prensa y sean los que carguen las piezas al finalizar el ciclo de la prensa, los operadores de foldback deberán caminar hacia la prensa a descargar las piezas, planteando la situación era necesario hacer las pruebas correspondientes para saber con certeza y datos reales si la propuesta era factible.

Al aumentar la eficiencia del flujo de material de las operaciones de la línea Armrest Lower, mejoraremos la utilización de las instalaciones, además se facilitará el proceso de manufactura e incrementará la productividad.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo del proyecto se logró la mejora del flujo de la línea de Armrest Lower Model 3 de Tesla, basada en la metodología Lean Manufacturing, a través de estudios de tiempos ciclo y la determinación del tiempo takt, que sirve como límite de operación para los procesos desarrollados en la empresa, para obtener el comportamiento de la línea y conocer la demanda que involucra al componente producido en la línea de Armrest Lower Model 3.

Después de saber que la prensa de activación generaba un cuello de botella en el flujo de producción se optó por analizar alguna propuesta para mejorar el flujo de las piezas y lograr sacar la producción diaria requerida. Por lo tanto, fue así que se generó la propuesta de quitar a los operadores encargados de activar las piezas en la prensa y manejar el ritmo de producción de pre laminación y activación al ritmo de la prensa que es la que generaba el cuello de botella.

Se realizó la producción de piezas de prueba para contemplar la posibilidad de eliminar al operador de activación, a partir de ahí se corrió un tryout de pruebas para la toma de tiempos y análisis, los distintos departamentos involucrados en el proceso de Armrest Lower Model 3 fueron participes de dichas pruebas, enseguida de la toma de tiempos fue que se realizó el análisis para cada una de las operaciones y ver la factibilidad de la propuesta, además de que se ahorraría 1 persona de cada prensa de activación y la producción mantendría un flujo y se podría obtener la producción requerida. Mediante esta propuesta se pretende disminuir el porcentaje SCRAP generado en Lower Model 3 ya que en la mayoría de las veces la generación de SCRAP es debido al mal manejo que los operadores les dan a las piezas.

Los recorridos largos generados en la máquina de welding se disminuirán a partir de la utilización de tarjetas Kanban para el conocimiento del abastecimiento de material que se tiene que hacer a cada línea y evitar recorridos innecesarios para checar que línea le falta material.

Como propuesta para mejorar el flujo de surtimiento en la celda central de costura se propuso la implementación de bandas transportadoras de material mecanizadas para que se pueda abastecer a la operación de costura funcional, ayudando a disminuir el tiempo de producción eliminando paros innecesarios de la operación de costura funcional.

Durante el desarrollo de las actividades se generó el diseño de un prototipo para el correcto surtimiento de cortes de Armrest Lower a las distintas estaciones de trabajo de la operación de pre laminación, ayudando a evitar el desgaste de los operadores y generar un diseño ergonómico ideal para ellos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Coss, R. (1981). Análisis y evaluación de proyectos de inversión. . Limusa.
2. Leland, B. A. (2004). Ingeniería Económica. México: Mc Graw Hill.
3. Niebel. (2011). Ingeniería Industrial; Métodos, estándares y diseño del trabajo. Alfaomega.
4. Rajadell, M. (2010). Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad. Madrid: Díaz de Santos.
5. Ruíz, P. (2007). La gestión de costes en lean manufacturing: cómo evaluar las mejoras en costes en un sistema lean. La Coruña, Spain: Netbiblo.
6. SHINGO, S. (1985). A Revolution in Manufacturing. Portland. OR: Productivity, Inc.
7. Socconini, L. (2008). Lean Manufacturing. Paso a Paso. Grupo Editorial Norma.
8. Sule, D. R. (2001). Instalaciones de Manufactura. Estado de México: Thomson Editores, S. A. de C. V.
9. Villaseñor, A. (2009). Manual de Lean Manufacturing. Guía básica. México: Limusa. 2da edición.

COMPARACIÓN DE LA VARIABLE DE TEMPERATURA EN UN BIORREACTOR: PID Y LÓGICA DIFUSA

Gilberto Silos Chincoya, Héctor García Estrada, M. Guadalupe Ramírez Sotelo, Agustín I. Cabrera Llanos

Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, CDMX.
chincos.sg12@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño, desarrollo y construcción de un control de la temperatura del medio en un biorreactor de flujo ascendente, mediante el fluido circulante a través de la chaqueta de este. El procedimiento realizado se describe a continuación: primeramente, se adquiere la temperatura del medio, utilizando el transductor LM35, este valor es comparado con el valor de referencia (set point); obteniendo una señal de error; la cual es introducida a un algoritmo de control difuso, que clasifica estos errores en cuatro tipos: negativo, mínimo, intermedio y máximo; este algoritmo cuenta con una señal de salida que determina el tiempo en alto de una resistencia de calefacción, modificando la temperatura del fluido circulante lo cual cambiará la temperatura del medio. La clasificación de la señal de salida está dada por medio de seis funciones etiquetadas de la siguiente manera: apagado, alto, alto-medio, medio, bajo-medio y bajo. Posterior a una serie de repeticiones de este proceso al medir y comparar, llegando a la regulación de la temperatura deseada en el medio. El proceso es verificable mediante la medición de la temperatura del medio usando gráficas en tiempo real proporcionadas por la plataforma de LabVIEW mediante la tarjeta de adquisición NI myRIO-1900, obteniéndose un margen de error de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, así mismo, se compararon los resultados obtenidos por un control de temperatura clásico de los llamados Proporcional-Integral-Derivativo (PID), obteniéndose respuestas que llegan a ser inestables. Además, este sistema se realizó en dos tipos de esquemas: primeramente, en forma "remota" y el segundo esquema mediante una estructura de sistema "dedicado", teniendo opción de monitoreo PC y *Tablet*. Estos resultados demuestran que los sistemas de control de temperatura difusos permiten obtener un mejor desempeño que los sistemas clásicos.

INTRODUCCIÓN

Biorreactor

Los biorreactores constituyen tecnología especializada, equipada y diseñada entre otros para el cultivo de células, tejidos y órganos como una herramienta importante para la propagación de cultivos, producción de metabolitos secundarios (Andi, 2016). Un biorreactor o fermentador se define como aquel dispositivo que proporciona un medio ambiente controlado que permite el crecimiento eficaz de las células y la formación de un producto. El medio ambiente adecuado que proporciona un biorreactor debe tener niveles óptimos de temperatura, pH, sustrato, sales y oxígeno, para así convertir las materias primas en productos específicos (metabolitos) de interés (Rodríguez Arévalo, Cabrera Llanos, & Valencia Flores, 2003).

Controlador proporcional integral derivativo

El controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) es un controlador retroalimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida al sistema, sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral, así mismo, tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene efecto predictivo sobre la salida del proceso. La ecuación de un controlador con esta acción combinada es la siguiente expresión:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Los parámetros del controlador son: la ganancia proporcional K_p , el tiempo integral T_I y el tiempo derivativo T_d (Hazael, 2007).

Lógica Difusa

Un sistema de control difuso está compuesto de tres etapas: Fuzzyficación, etapa donde convierte la señal medida en un conjunto de variables difusas, esto se hace asignando valores difusos a partir de del diseño de funciones de membresía para las señales de entrada y salida. En la segunda etapa, se lleva a cabo la programación de las reglas de inferencia, que asocian la relación entre los datos de entrada con respecto a los datos de salida. En el último paso, desfuzzificación, proceso por el cual los datos se transforman de un valor difuso a un valor numérico el cual puede ser usado posteriormente para generar acciones de control, un diagrama de flujo se presenta en la Figura 5, (Jan, 2007)

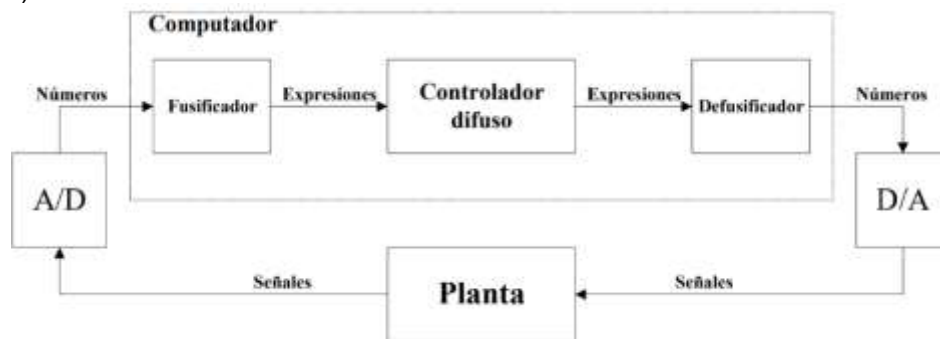


Figura 5 Diagrama de bloques de un control mediante Lógica Difusa.

Tarja de adquisición de datos NI myRIO-1900

La tarjeta de adquisición y control de señales conocida como NI myRIO-1900, es un dispositivo de para estudiantes, el cual con múltiples entradas y salida para la adquisición y envío de datos analógicos y digitales, canales de audio, una alimentación de salida, entre otras cosas. Cuenta con un procesador Type Xilinx X-7010, velocidad de muestreo de 500kS/s, resolución de 12 bits, programación de red Wi-Fi propias y conexión de estas, permitiendo así una integración rápida y fácil en aplicaciones remotas y embebidas (National Instruments, 2018).

LabVIEW

Es una plataforma gráfica de programación que tiene como finalidad la creación de instrumentos virtuales. Debido a que la programación es gráfica, es una plataforma muy intuitiva y sencilla de programar que permite el desarrollo de aplicaciones de muy diversa índole, además de poseer una gran cantidad de cajas de herramientas con funciones muy variadas que facilitan el desarrollo de los instrumentos virtuales. (Pelegri Sebastía & Lajara Vizcaíno, 2017)

PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo de este proyecto se dividió en cuatro etapas: adquisición de la señal, circuito de potencia, control Proporcional-Integral-Derivativo y control mediante lógica difusa.

El actuador del sistema de temperatura se realizó con un intercambiador de calor. Este intercambiador consta de un vaso con un espacio para flujo de agua, un contenedor primario donde se encuentra una bomba para generar el flujo y un contenedor secundario con una resistencia para calefacción de agua. El agua que fluye del contenedor principal al contenedor secundario, y de ahí al vaso del biorreactor, para finalmente regresar al depósito principal.

El diagrama del sistema general se muestra en la Figura 6 Diagrama del Sistema General.

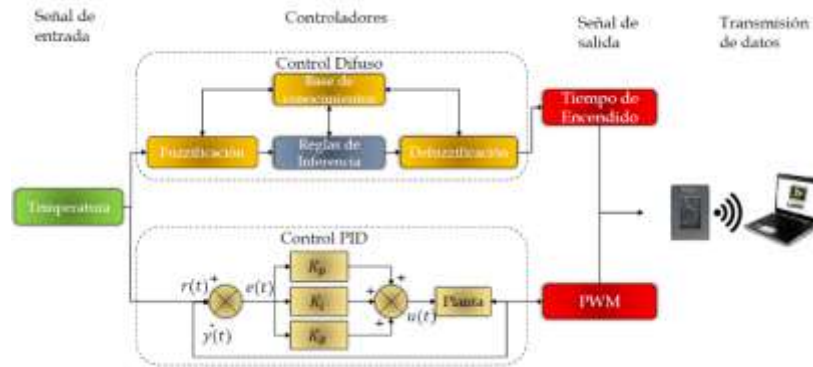


Figura 6 Diagrama del Sistema General.

Adquisición de la señal

Para la medición de temperatura, se utilizó un transductor LM35, que entrega un voltaje de salida linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados, con un factor de escala de 10mV/C° (Texas instruments, 2017) se programó mediante la tarjet NI myRIO 1900 en LabVIEW, utilizando una entrada analógica referenciada a tierra. Una vez la señal es digitalizada por la tarjeta myRIO, esta es adecuada y filtrada para su despliegue y entrada al sistema de control, el diagrama se muestra en la Figura 7. Diagrama de flujo de la adquisición de la señal.

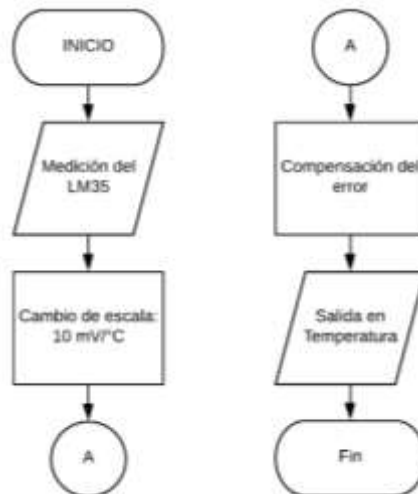


Figura 7. Diagrama de flujo de la adquisición de la señal.

Circuito de potencia

El encendido y apagado de la resistencia dentro del depósito secundario se realizó utilizando un relevador de estado sólido accionado como interruptor sencillo SSR-40DA el cuál es accionado utilizando una salida digital de la myRIO (FOTEK, 2020), se muestra en la Figura 8. Circuito de activación de la resistencia.

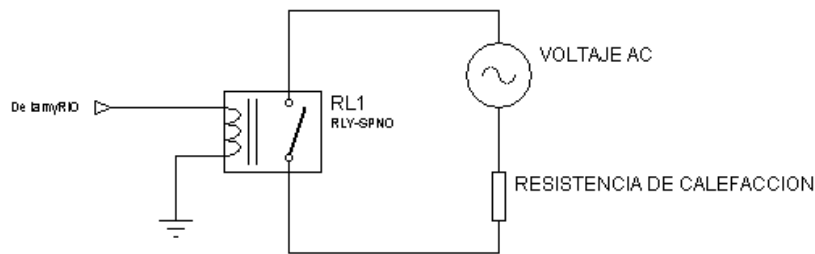


Figura 8. Circuito de activación de la resistencia.

Se realizó el diseño de los controles en la plataforma LabVIEW, esto mediante los módulos que presenta el software, los cuales son conocidos como Toolkits, se realizó la programación en dos partes: primeramente, donde se utilizó PID y la segunda se utilizó Fuzzy Logic.

Diseño del control proporcional integral derivativo (PID)

Para realizar las pruebas necesarias a los controles se desarrolló un instrumento virtual en LabVIEW donde se pueden variar los parámetros mientras el programa está en funcionamiento. Por medio de ensayo y error, se fue ajustando las ganancias. La salida del control del sistema se configuró como una Modulación de Ancho de Pulso por sus siglas en inglés (PWM).

Diseño del control difuso

El control difuso se diseñó a partir de la señal de entrada para el sistema, la variable monitoreada en el biorreactor es temperatura, la cual es integrada al control difuso, y como datos de salida se determinó la implementación de un valor numérico para controlar la temperatura del medio. Al ingresar al módulo despliega una pantalla donde se pide los datos requeridos para el control difuso, como son las variables de entrada y las variables de salida, el tipo de control que se utilizó fue de tipo SISO (Single-input Single-Output). La señal de entrada al sistema es el error calculado entre la señal medida y la temperatura deseada, usando este parámetro se diseñaron cuatro funciones de membresía. (Figura 9)

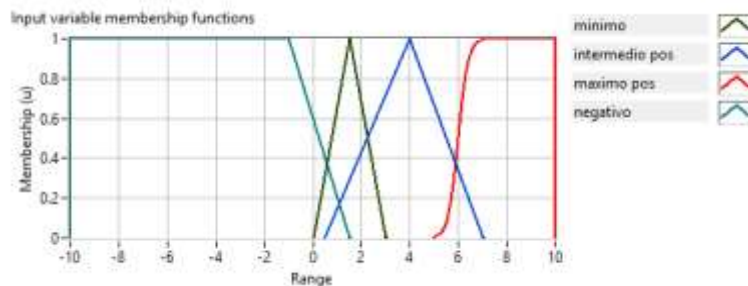


Figura 9. Funciones de membresía de entrada

En lo que corresponde a la salida, se contempla en alto de la resistencia para un intervalo de diez segundos, contando con seis funciones de membresía, se muestra en la Figura 10.

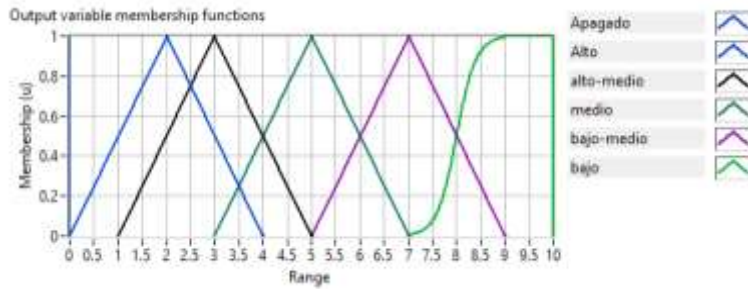


Figura 10. Funciones de membresía de salida

Al determinar las variables de entrada y salida, se realizó las reglas de inferencia que determinan el comportamiento del control difuso. En este caso se realizó un total de siete reglas, las cuales se basan en el tipo Si-Entonces (IF-THEN) mediante la técnica de centro del área. Por mencionar la estructura de las reglas se muestran una serie de estas mismas a continuación:

Regla 1: IF 'error' IS 'negativo' THEN 'encendido' IS 'apagado'

Regla 3: IF 'error' IS 'minimo' THEN 'encendido' IS 'Alto'

Regla 6: IF 'error' IS 'intermedio pos' AND 'error' IS 'máximo pos' THEN 'encendido' IS 'bajo-medio'

La respuesta del sistema con estas reglas se puede observar en la Figura 11.

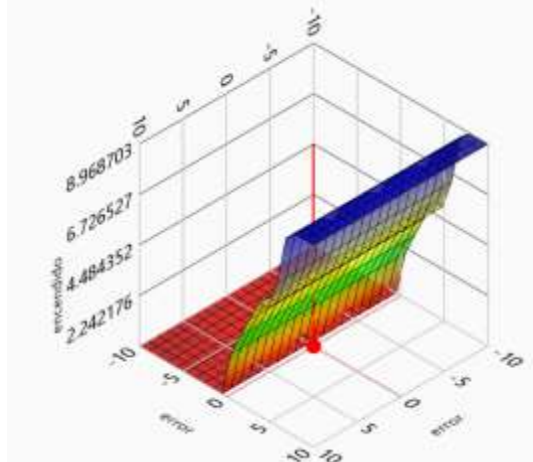


Figura 11. Superficie de respuesta del controlador de temperatura.

RESULTADOS

Se desarrollo un instrumento virtual para el monitoreo de la variable temperatura para el ingreso y el cambio en el *set point*, visualización de la variable y la respuesta de los controles. (Figura 12)



Figura 12. Diseño del instrumento virtual para el controlador de temperatura.

En la Figura 13, se presenta los resultados obtenidos mediante el control PID con valores de las ganancias de $K_p = 10$, $K_i = 0.2$ y $K_d = 0.05$.

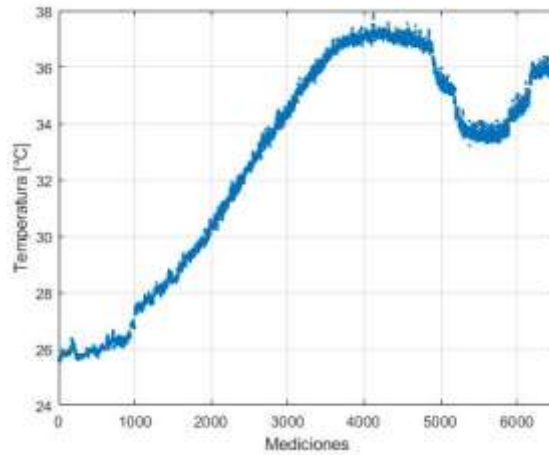


Figura 13. Gráfica de temperatura del Biorreactor (PID)

Los resultados obtenidos mediante el control de lógica difusa, se aprecia en la Figura 14.

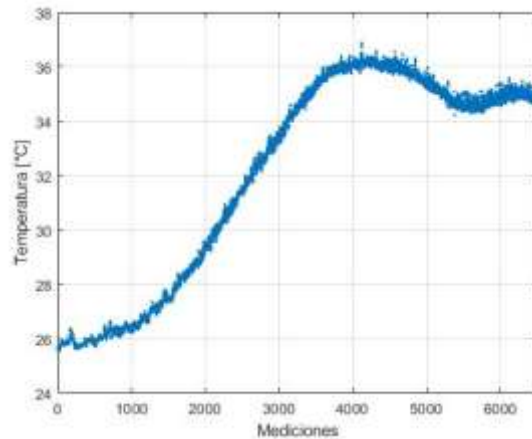


Figura 14. Gráfica de temperatura del Biorreactor (Lógica Difusa)

Se realizó la comparación entre los dos tipos de controles, se obtuvo los errores en estado estacionario para cada uno estableciendo la temperatura a un *set point* de 35°C
Tabla 7.

Tabla 7 Errores en estado estacionario

Control PID	Control Difuso
$\pm 1.7^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Sin embargo, el control PID se detectaba inestabilidad en el sistema llegando a temperatura no deseadas. (Figura 15)

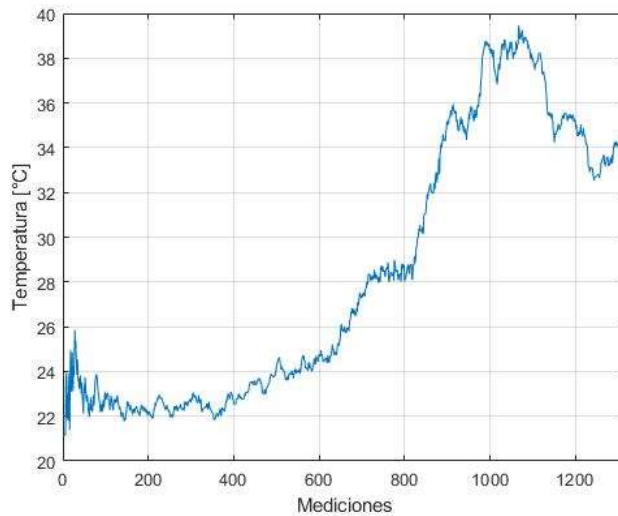


Figura 15. Control PID (Inestabilidad)

CONCLUSIONES

Se desarrolló dos sistemas de control: mediante lógica difusa y de los llamados Proporcional Integral Derivativo (PID) para la variable temperatura, por medio, de la tarjeta de adquisición NI myRIO-1900 se logró transmitir la señal de la temperatura del medio a LabVIEW, se escogió esta tarjeta debido a sus características técnicas como una de ellas su alta velocidad de muestreo, obteniéndose errores en estado estacionario de ± 0.5 °C y ± 1.7 °C. La realización de este proyecto puede abrir paso a los sistemas “dedicado” para obtener una automatización de un conjunto de variables.

BIBLIOGRAFÍA

1. Andi, S. A. (2016). *Diseño y construcción de un sistema de biorreactores de inmersión temporal neumática para la multiplicación de Ananas comosus var.* (Tesis de grado de Maestro en Ciencias). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
2. FOTEK. (Enero de 2020). *SSR-40DA Solid State Relay*. Obtenido de SSR-40DA Solid State Relay: <http://www.datasheet.es/PDF/789332/SSR-40DA-pdf.html>
3. Hazael, R. A. (2007). *Control Difuso vs. Control PID: Análisis y simulación Numérica* (Tesis en ciencias básicas de Ingenierías). Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo, Pachuca Soto.
4. Jan, J. (2007). *Foundations of Fuzzy Control*. England: WILEY.
5. National Instruments. (Junio de 2018). *Guide and Specifications: NI myRIO-1900*. Obtenido de Guide and Specifications: NI myRIO-1900: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047d.pdf>
6. Pelegrí Sebastía, J., & Lajara Vizcaíno, J. R. (2017). *LabVIEW Entorno gráfico de programación*. España: Marcombo.
7. Rodríguez Arévalo, A. C., Cabrera Llanos, A. I., & Valencia Flores, J. I. (2003). Diseño y construcción de los instrumentos de medición para un biorreactor prototipo. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 55-70.
8. Ruíz-Leza, H. A., Rodríguez-Jasso, R. M., Radríguez-Herrera, R., & Contreras-Esquivel, J. C. (2007). Diseño de biorreactores para fermentación en medio sólido. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 33-40.
9. Texas instruments. (Diciembre de 2017). *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Obtenido de LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors: ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf

COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS PARÁMETROS PRESENTES EN BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO UTILIZANDO INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

Daniela María Carrillo Gutiérrez, Herlinda Tututi Guillén, Tizoc López López y Jorge Alfredo Huerta Balcazar

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
danicargu@hotmail.com

RESUMEN

El pionero en materia de almacenamiento energético se remonta al siglo XIX con Alejandro Volta, su aporte ha tenido un impacto social positivo respecto al uso de baterías, casi un siglo después Waldmar Jungner crea la batería de Níquel-Cadmio (Ni-Cd), la cual ha sido mejorada en múltiples ocasiones hasta la fecha. Dichas baterías son utilizadas ampliamente en dispositivos eléctricos, electrónicos inalámbricos y equipos auxiliares de respaldo (UPS), entre otros. Por lo anterior, la presente investigación se basa específicamente en un análisis de las batería de Ni-Cd, las cuales son sometidas a un proceso de carga y descarga mediante un sistema de monitoreo en tiempo real desarrollado en el lenguaje de programación gráfica LabVIEW™, el cual es completamente compatible con la tarjeta Arduino modelo Mega 2560 que funge como control de los diferentes sensores presentes en el sistema de interés. Uno de los objetivos es corroborar el efecto “*memoria*” generado por la cristalización interna de los elementos de la batería¹, además de conocer el comportamiento energético de variables de interés como lo son: voltaje, corriente y temperatura de la batería. Dichas magnitudes se obtienen mediante sensores: de voltaje (FZ0430), corriente (ACS712) y temperatura (LM35). Cabe señalar que la batería utilizada es una Ni-Cd modelo S107, la cual se carga mediante un dispositivo TP4056 y se descarga utilizando una resistencia eléctrica disipadora. Además de la visualización instantánea de las diferentes magnitudes en modo gráfico y numérico, el sistema tiene la capacidad de resguardar de manera automática los valores obtenidos durante el tiempo que dure activado el sistema, con el fin de realizar un análisis detallado de manera posterior. A raíz de la presente investigación se concluye que el efecto “*memoria*” de las baterías Ni-Cd se encuentra presente en su comportamiento, la curvas de corriente, voltaje y temperatura corroboran la hipótesis planteada.

PALABRAS CLAVE

Baterías Ni-Cd, Instrumentación virtual, Adquisición de datos, Arduino, LabVIEW™.

INTRODUCCIÓN

Las baterías de Ni-Cd forman parte del desarrollo tecnológico que impera en los inicios del siglo XXI, ya que aún se cuenta con innumerables aplicaciones para dichas baterías, entre las cuales se pueden encontrar desde fuente principal de herramientas de mano, dispositivos móviles, fuente de poder para automóviles eléctricos, fuente en equipos aeronáuticos, etc. Son consideradas como energías renovables debido a que la vida útil de una batería de Ni-Cd comprende cientos de ciclos de carga y descarga². Debido a su enorme utilización a nivel global es conveniente conocer el comportamiento energético de los parámetros presentes en las baterías de este tipo para saber de qué forma se puede alargar la vida útil de las mismas, por lo tanto, también es recomendable conocer un modelo matemático de la batería³. Para facilitar el monitoreo del voltaje, corriente y temperatura, las cuales son las variables de interés de la batería, se utiliza instrumentación virtual mediante el software LabVIEW™, el cual funge como interfaz de monitoreo y adquisición de datos en tiempo real, así como unidad de resguardo de datos para análisis posterior de los datos adquiridos durante todo el tiempo que dure activo el programa.

Esquema propuesto de instrumentación

Debido a la importancia de los parámetros de interés se propone un esquema de monitoreo continuo y de instrumentación, Figura 1.0, el cual consta básicamente de tres partes; siendo la plataforma de LabVIEW™ la primera, en donde se realiza un programa de instrumentación virtual capaz de lograr una comunicación efectiva en ambos sentidos con la siguiente etapa, la cual consta de una tarjeta

de adquisición de datos Arduino Mega 2560 a donde llegan las señales analógicas de los diferentes sensores utilizados, finalmente, se presentan los elementos que forman la tercera parte del sistema propuesto, en donde se encuentran: la batería Ni-Cd S107, el sensor de voltaje, sensor de corriente, sensor de temperatura, cargador de la batería Ni-Cd, interruptores de tiempo controlados mediante un relé, y la resistencia disipadora R.

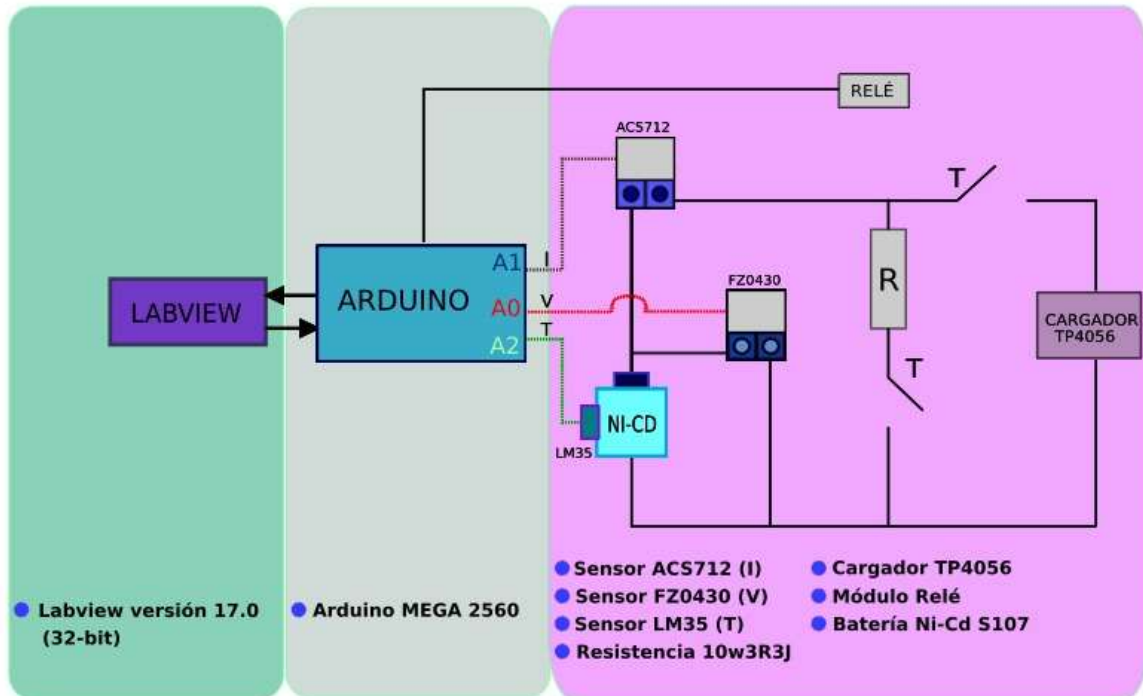


Figura 1.0 Esquema propuesto de instrumentación.

La batería de Ni-Cd utilizada en la presente investigación, Figura 2.0, es una batería comercial de la marca STEREN, la cual tiene un voltaje de 3.6 VCD y puede proporcionar una corriente de 300 mAh, dicha batería consta de 3 celdas de 1.2 VCD y cuyo uso principal es la dotación de energía para equipos telefónicos.



Figura 2.0 Batería Ni-Cd modelo s107.

A continuación se presenta el aspecto de la tarjeta Arduino Mega 2560, Figura 3.0, la cual sirve de mediadora entre la plataforma de LabVIEW™ y el sistema de control propuesto, cabe mencionar la versatilidad de la tarjeta, ya que cuenta con múltiples características que favorecen una rápida interacción entre los elementos inmiscuidos en el sistema. Dicha tarjeta cuenta con una fuente de

poder que funciona a partir de una conexión USB, también consta de un procesador, un oscilador, así como con entradas y salidas tanto digitales como analógicas. Gracias a las características propias de la tarjeta mencionada es posible profundizar en el control y análisis de resultados y no en acondicionamiento de señales como ocurre con otro tipo de esquemas de control y monitoreo.

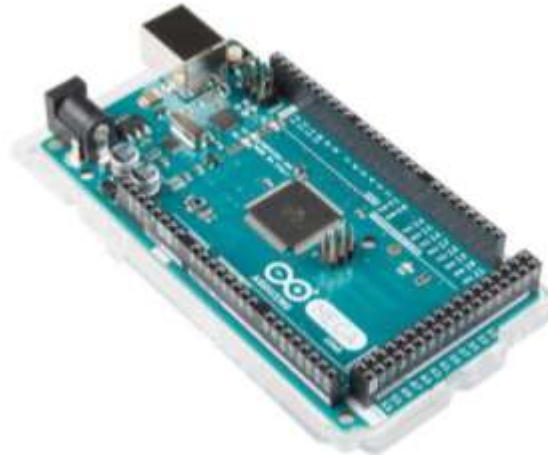


Figura 3.0 Arduino Mega 2560

Al realizar la implementación física del sistema propuesto en la Figura 1.0, se observa la Figura 4.0, en donde se pueden apreciar algunos de los elementos que conforman el sistema; entre los cuales se tiene: tarjeta Arduino Mega 2560, módulo de relé, batería Ni-Cd s107, sensor de corriente, sensor de voltaje, sensor de temperatura, cargador de baterías, etc.

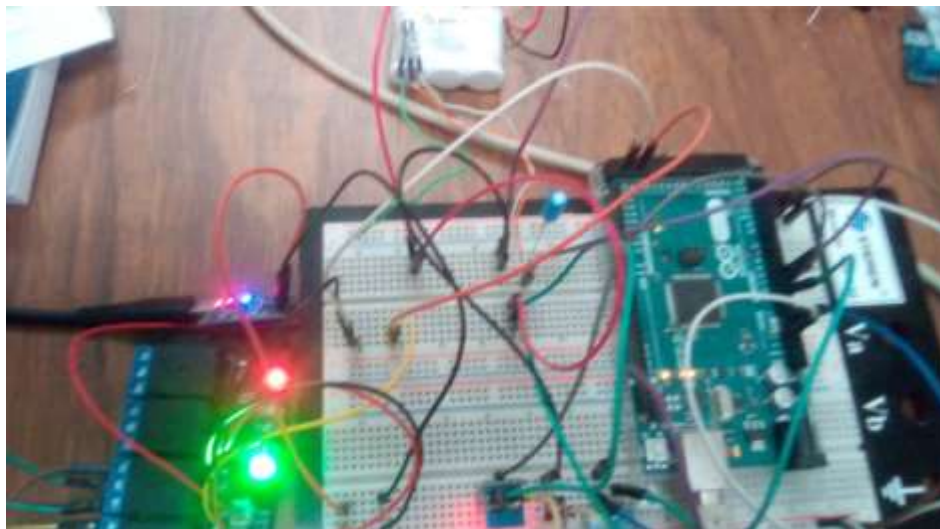


Figura 4.0 Esquema propuesto en operación.

Adquisición de datos

Para la obtención de los datos de interés presentes en el sistema de monitoreo se utiliza como base la plataforma LabVIEW™, Figura 5.0, la cual se puede definir como un lenguaje de programación gráfica, sumamente amigable y con múltiples herramientas que facilitan la adquisición de valores.

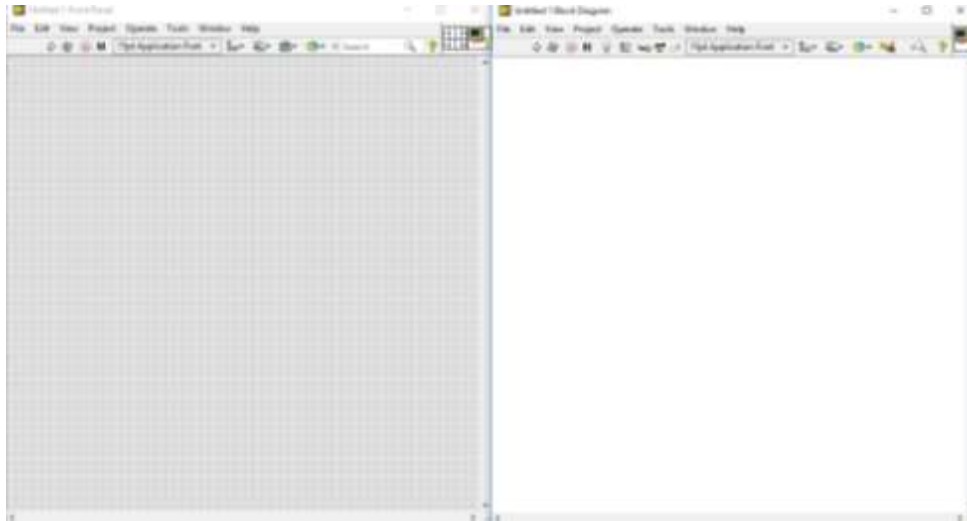


Figura 5.0 Ventanas del software LabVIEW.

En este caso, primeramente se adquiere de manera continua el voltaje de la batería Ni-Cd, para ello se utiliza como sensor de la magnitud de voltaje con el elemento FZ0430, el cual proporciona una salida analógica de voltaje con valores aptos para conectar a la entrada A0 de la tarjeta Arduino Mega 2560 configurada para comunicarse con LabVIEW™, en donde realiza un programa para lograr la adquisición y monitoreo en tiempo real de manera ininterrumpida, Figura 6.0.

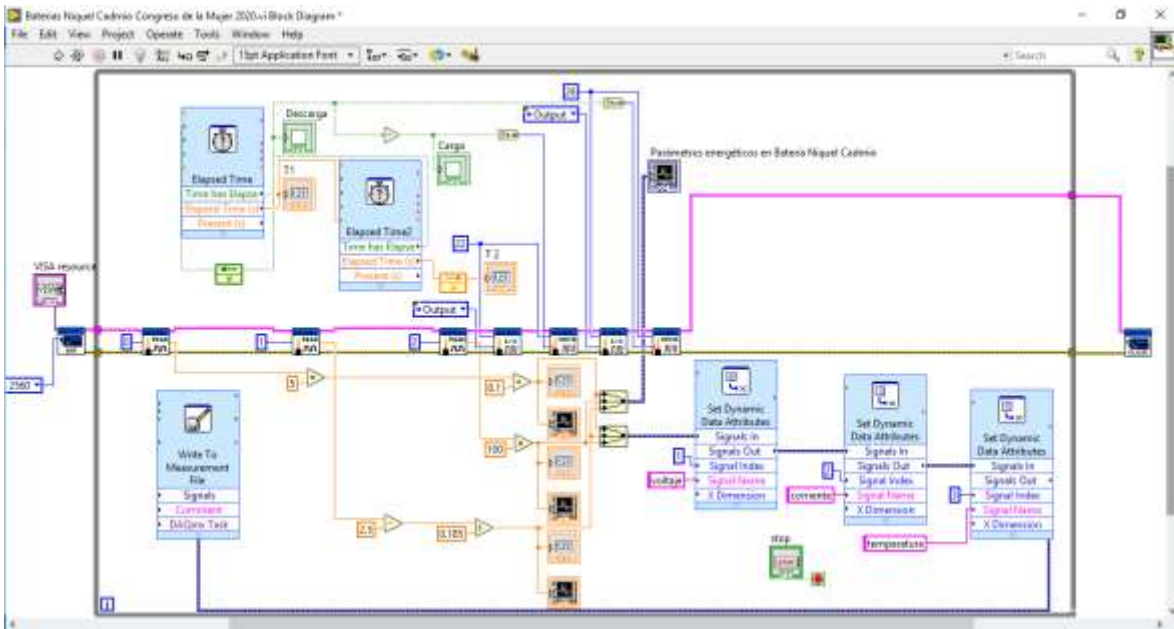


Figura 6.0 Diagrama de bloques del sistema de instrumentación virtual.

Otro de los parámetros por analizar es la corriente de la batería de Ni-Cd, para ello se realiza la adquisición mediante la misma metodología mencionada en la medición de voltaje, sin embargo, para sensar la corriente de la batería se utiliza el elemento ACS712 el cual tiene la capacidad de medir hasta 30 Amperes, para este caso se utiliza un sensor configurado para medir máximo 5 Amperes de CD y se obtiene una salida de voltaje analógica, la cual se conecta a la entrada A1 de la tarjeta Arduino Mega 2560.

Debido a que la batería de Ni-Cd es sometida tanto a carga y descarga es importante medir la temperatura en el cuerpo de la batería para sensar un posible problema de calentamiento excesivo que ponga en riesgo el sistema de monitoreo, para ello se utiliza el sensor LM35, el cual puede soportar un calentamiento máximo de 100 °C, así al incrementar el calor en el cuerpo de la batería se genera un voltaje de 10mV por cada grado centígrado en la salida analógica del sensor, para luego conectarla a la entrada A2 de la tarjeta Arduino Mega.

En el “Panel frontal”, Figura 7.0, del software de monitoreo se muestran las señales de interés de las batería Ni-Cd, cabe mencionar que cada uno de los elementos presentes en el panel, también tienen su equivalente en el “diagrama de bloques” del software. En este caso, se aprecian tres señales: voltaje, corriente y temperatura, además se observan un par de botones de tipo booleano, que representan los dos estados posibles del sistema de monitoreo, uno para la “carga” y otro para la “descarga” de la batería.

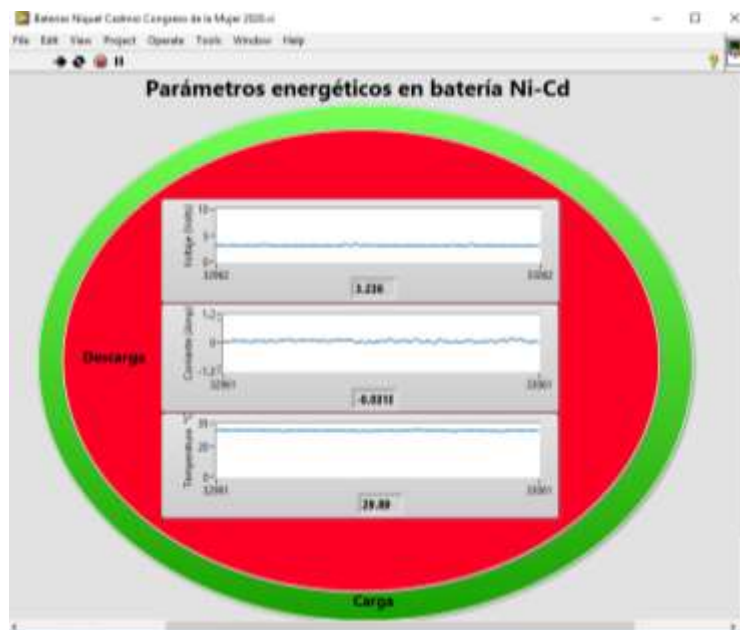


Figura 7.0 Panel frontal del sistema de instrumentación virtual en modo de “Carga”.

En el ciclo de “Carga” que se muestra en la imagen anterior, se observa que la batería tiene en ese instante los siguientes parámetros energéticos: un voltaje de 3.236 VCD, una corriente 0.031 Amperes y una temperatura de 29.89 °C. Cabe mencionar que los ciclos de carga se encuentran programados con un tiempo de 1h, así en el presente ciclo, la batería aún no termina de cargarse, ya que su máxima carga es a 3.6 VCD.

En la Figura 8.0, se aprecia un ciclo de “Descarga” de la batería de Ni-Cd, en donde se tiene en estado “verdadero” el botón relativo a la descarga, por lo cual se tiene un color verde en dicho indicador booleano. Para ese instante de la lectura del sistema, se tienen los siguientes parámetros energéticos en la batería: voltaje de 1.398 VCD, corriente de 0.084 Amperes y una temperatura de 29.89 °C. Además de los valores numéricos de los parámetros energéticos, se percibe el cambio en la trayectoria de las señales de voltaje y de corriente, respecto a la temperatura también afecta, pero su comportamiento no es instantáneo como los parámetros de voltaje y corriente.

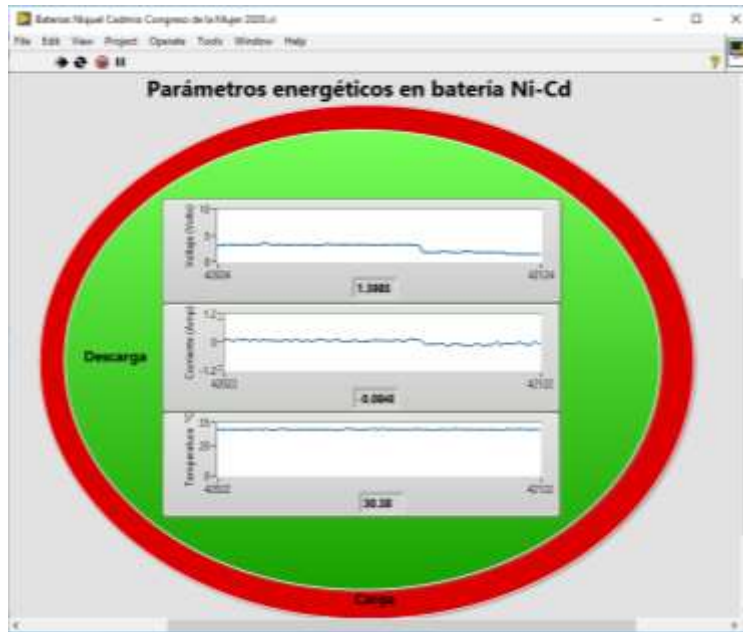


Figura 8.0 Panel frontal del sistema de instrumentación virtual en modo de “Descarga”.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Al analizar la base de datos generada automáticamente por el sistema programado en LabVIEW™, se aprecia la Figura 9.0, en donde se encuentran los parámetros de interés en la actual investigación, el voltaje, corriente y la temperatura de la batería de Ni-Cd. A simple vista, se observa un comportamiento que pierde uniformidad, es decir, si se toma de base la señal de voltaje (azul) se nota que a partir del quinto ciclo de descarga, la batería reduce más el voltaje, incluso al final de los ciclos de prueba, se aprecia que se descarga a 0 VCD, lo que indica un comportamiento inadecuado de la batería y que indica la posible cristalización de algunos de los componentes químicos dentro de la batería y por lo tanto, una degradación de la misma. Cabe mencionar que la prueba realizada consta de 21 horas de adquisición ininterrumpida de datos, lo cual permite un análisis adecuado sobre el comportamiento de los parámetros energéticos de la batería de Ni-Cd.



Figura 9.0 Análisis de la base de datos generada del sistema.

Otro parámetro de interés que permite observar el comportamiento de la batería es la temperatura (señal gris), Figura 9.0, es notorio que a partir de 6 ciclos de carga y 6 de descarga, se puede apreciar la disminución de las crestas positivas y negativas, lo cual indica que la batería no tiene un funcionamiento adecuado, ya que se descarga de más, lo que va degradando la vida útil de la batería de Ni-Cd.

Al analizar las señales de voltaje (azul) y corriente (naranja), se puede apreciar que al iniciar los ciclos de descarga el voltaje cae de manera trepidante a 0.7 VCD aproximadamente, inclusive a casi 0.2 VCD al finalizar el último ciclo de descarga.

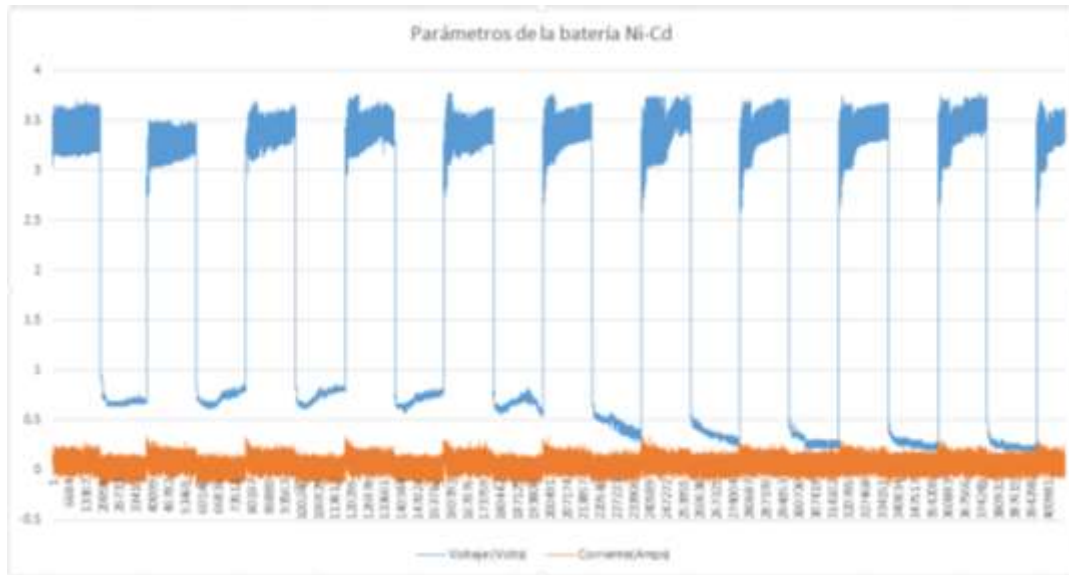


Figura 10.0 Análisis del voltaje y corriente desde la base de datos generada.

Finalmente, se concluye que los parámetros energéticos obtenidos cumplen con el objetivo planteado de conocer más a detalle el comportamiento de los mismos. Además, es notoria la versatilidad de la plataforma LabVIEW™ utilizada, la cual permite el control, monitoreo y adquisición de datos, lo que favorece el análisis de los datos obtenidos. Cabe mencionar que el comportamiento de la batería de Ni-Cd observado en la adquisición de la presente investigación permite la aseveración de un comportamiento de degradación continua con una velocidad rápida, lo cual disminuye la vida útil de las mismas debido a la cristalización de algunos de sus compuestos químicos que la conforman.

REFERENCIAS

1. Silvia G. Real, et al. "Análisis del comportamiento dinámico de electrodos porosos de níquel en soluciones alcalinas", Congreso CONAMET/SAM 2004.
2. Ortiz M, et al. "Monitoreo dinámico de cambios estructurales de electrodos de hidróxido de níquel durante su descarga en baterías". Tercer congreso Nacional-Segundo Congreso Iberoamericano Hidrogeno y fuentes Sustentables de Energía, HYFUSEN, 2009.
3. Deyuan Fan, Ralph E. White, "Mathematical Modeling of a Nickel-Cadmium Battery: Effects of Intercalation and Oxygen Reactions", The Electrochemical Society, Inc. 1991.

GONIOFOTÓMETRO COMPACTO PARA APLICACIONES DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.

Yanier Ojeda Morales, Geminiano Martínez Ponce

Centro de Investigaciones en Óptica A.C.
ojeda@cio.mx**RESUMEN**

El uso de los programas de simulación de apariencia facilita la evaluación virtual de la apariencia que va a tener un producto, bajo condiciones particulares de iluminación, sin necesidad de construir un prototipo físico [1]. Este tipo de herramientas computacionales disminuye los tiempos y costos de producción haciendo más eficientes los procesos industriales y facilitando el proceso de diseño. Para efectuar una simulación de apariencia satisfactoria, algunos programas requieren la medición de un conjunto de parámetros ópticos de la materia prima empleada. La Reflectancia, Transmitancia y Absorbancia son propiedades ópticas que normalmente se miden utilizando los espectrofotómetros. Otro parámetro óptico importante para lograr una correcta simulación de apariencia es la distribución angular de la luz esparcida por la superficie la cual es medida con un escatómetro hemisférico. Un espectrogoniofotómetro es un instrumento que permite obtener todo el conjunto de parámetros ópticos incluyendo la Función de Distribución de Reflectancia Bidireccional pero estos instrumentos resultan costosos. Este trabajo tiene como objetivo diseñar y construir un dispositivo optomecatrónico con la capacidad de realizar un estudio espectroscópico con resolución angular de varios materiales utilizados en productos relacionados con la industria automotriz. El instrumento desarrollado puede clasificarse como un goniofotómetro compacto en el cual pueden ser modificados los ángulos de iluminación y detección a voluntad del usuario. Para ello, el goniofotómetro consta de dos monturas giratorias accionadas por motores a pasos y que son controladas desde una computadora a través de una interfaz de usuario diseñada en el ambiente de programación LabView®. El sistema espectroscópico se completó con una fuente de iluminación cuasi monocromática implementada por la combinación una fuente de Halógeno-Cuarzo-Tungsteno y un monocromador. Así el sistema puede medir parámetros ópticos como la transmitancia, la reflectancia y la absorbancia de los materiales, además de realizar una caracterización de la distribución angular de la luz esparcida en reflexión o transmisión por la muestra. Se verificó el correcto funcionamiento del dispositivo y el cumplimiento de las normas correspondientes evaluando sus propiedades estáticas como exactitud, repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones [2]. Luego las propiedades ópticas de varios materiales empleados en el ensamble de los paneles de instrumentos de automóviles (proporcionados por la empresa Continental Guadalajara) fueron cuantificadas. Los resultados obtenidos se reportaron a la empresa para que sus especialistas los alimentaran a la plataforma de simulación SPEOS® para evaluar la apariencia del tablero de forma virtual. Los resultados de la simulación realizada con los parámetros medidos por el instrumento fueron consistentes con los proporcionados como referencia por el fabricante demostrando la efectividad del dispositivo para esta aplicación.

INTRODUCCIÓN

La incorporación de las nuevas tecnologías y la automatización de procesos en la línea de producción juegan un papel fundamental en el desarrollo de las industrias hoy día. Para los fabricantes de autos este campo representa la posibilidad de elevar la eficiencia y productividad de sus plantas, así como disminuir los costos y el tiempo de producción incrementando el margen de ganancia. Un caso especial de estas tecnologías lo constituye los programas para la simulación por computadora de superficies y acabados automotrices que permitan evaluar la apariencia de un producto final. Este proceso consiste en utilizar un conjunto de propiedades ópticas de una probeta estandarizada obtenidas de un instrumento espectroscópico y, a través de un software, simular la apariencia de las diferentes superficies y materiales del producto. De esta forma se puede evaluar la factibilidad de utilizar o no cierto material antes de ser llevado a la línea de producción.

Por lo anteriormente expuesto, los departamentos de diseño automotriz requieren contar con la información adecuada para modelar correctamente estos materiales y tener acceso a un instrumento espectrofotométrico (o un proveedor de servicios que lo tenga) es el primer paso antes de simular la

aparición final en un automóvil. La calidad y precisión de las medidas espectroscópicas de los materiales determinan la cercanía a la realidad de los acabados simulados.

TEORÍA

Cuando un haz de luz poli cromática interactúa con la materia en su trayectoria de propagación, en la interfaz que forman los medios de incidencia y de transmisión tienen lugar algunos procesos físicos, tales como el de reflexión o el de transmisión que son descritos mediante las Ecuaciones de Fresnel. Otro proceso que forma parte de las respuestas ópticas fundamentales de un medio es la absorción de radiación electromagnética. La condición para que un átomo o molécula que conforma el medio de propagación absorba un cuanto de energía electromagnética está dada por:

$$\Delta E = h * \nu$$

donde $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J*s es la constante de Planck y ν , expresada en hercios ([Hz]), es la frecuencia de la onda electromagnética asociada a ese cuanto de luz. ΔE es la diferencia de energía entre el estado base y un estado excitado del átomo o molécula del medio de propagación. Es por esto que, al analizar la distribución de intensidad de la energía electromagnética absorbida por un cuerpo en función de la frecuencia ν (o longitud de onda λ ya que $\lambda = c/\nu$, siendo c la velocidad de la luz en el vacío), se obtiene información de la naturaleza electrónica de las sustancias que componen ese cuerpo.

Transmitancia y Absorbancia

Las propiedades de transmitancia y absorbancia están fuertemente ligadas. Sea un haz de luz que en su trayectoria de propagación incide y atraviesa un medio dieléctrico no transparente de espesor l . Si la razón entre la disminución de la intensidad del haz de luz y la distancia de propagación dentro del medio es proporcional a la intensidad local, entonces la intensidad o irradiancia del haz de luz transmitida a la salida del medio está descrita por la ley de Beer-Lambert [3]. Esto es,

$$I_{out} = I e^{-A}$$

donde I es la intensidad incidente, I_{out} es la intensidad a la salida y $A = \alpha l$ es la absorbancia del medio, siendo α un coeficiente de proporcionalidad que determina la eficiencia de la absorción de luz (coeficiente de absorción).

Luego, la transmitancia será:

$$T = \frac{I_{out}}{I}$$

De manera que la absorbancia es la capacidad que presenta un medio para absorber luz, mientras que la transmitancia es su capacidad de transmitir esa energía. Son dos aspectos del mismo fenómeno relacionados de forma logarítmica. Un cuerpo con una absorbancia muy alta tiene una transmitancia baja y viceversa.

$$A = \ln\left(\frac{I}{I_{out}}\right) = -\ln(T)$$

Transmisión regular

Ocurre cuando la luz tiene una propagación a través de un objeto sin experimentar difusión, observándose una desviación de su trayectoria, cuando el ángulo de incidencia es oblicuo, que sigue la ley Snell. Este tipo de transmisión es observada en los materiales transparentes con propiedades ópticas homogéneas.

Transmisión difusa

Ocurre cuando la luz que se propaga a través de la muestra experimenta una difusión en múltiples direcciones diferentes a la dirección regular. Describe el comportamiento de los materiales

translúcidos, tales como algunos plásticos, vidrio esmerilado o papel vegetal. La redistribución angular de la luz es referida como esparcimiento.

La transmitancia total se define como:

$$T = \frac{\int_0^{\infty} \int_{\Omega} L_{\lambda t} d\Omega_t d\lambda}{\int_0^{\infty} \int_{\Omega} L_{\lambda i} d\Omega_i d\lambda}$$

donde $L_{\lambda i}$ es la radiancia espectral que incide sobre el medio con una dirección definida por los ángulos polar (θ_i) y acimutal (Φ_i) y $L_{\lambda t}$ es la radiancia espectral que se propaga en transmisión en una dirección definida por los ángulos polar (θ_t) y acimutal (Φ_t). $d\Omega = \sin\theta(\cos\Phi)d\theta d\Phi$ es el ángulo sólido elemental proyectado.

La función de distribución bidireccional de transmitancia (BTDF) relaciona la radiancia transmitida con la radiancia incidente [4].

$$f(\lambda, \theta_i, \Phi_i) = \frac{dL_{\lambda t}}{dL_{\lambda i} d\Omega_i} = \frac{dL_{\lambda t}}{dE_{\lambda i}}$$

donde $dE_{\lambda i}(\theta_i, \Phi_i)$ es la irradiancia incidente.

Reflectancia

Cuando un haz de luz incide sobre la frontera de dos medios con índice de refracción diferentes una parte se transmite al segundo medio y la otra parte se refleja. El ángulo entre la normal de la superficie y el haz reflejado es igual al ángulo de incidencia [5]. El rayo incidente, el reflejado y la normal se encuentran en el mismo plano.

Dependiendo de las irregularidades que presente la superficie pueden existir dos tipos de reflexión: Reflexión especular y reflexión difusa [6].

Reflexión especular

Ocurre cuando la mayor parte de la radiación se refleja en un ángulo igual y opuesto a la radiación incidente. Se presenta en superficies lisas donde del tamaño de las imperfecciones no son comparables con la longitud de onda de la luz.

Reflexión difusa

La luz es esparcida en varias direcciones. Se produce debido a que las rugosidades de la superficie desvían la reflexión en diversos ángulos. Aunque definitivamente se cumple la ley de la reflexión lo que sucede es que la normal en cada punto posee ángulos diferentes.

Dependiendo de qué tipo de reflexión predomina cuando un haz de luz incide sobre una superficie, esta puede clasificarse de Especular o Lambertiana.

Superficie especular

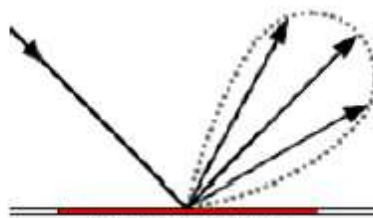


Figura 1: Reflexión Especular

Es una superficie ideal que cumple perfectamente la ley de reflexión. En la práctica la intensidad de la luz reflejada presenta un lóbulo de ancho finito y con el máximo de intensidad en la dirección de la reflexión especular.

Superficie Lambertiana

Es aquella superficie donde la intensidad de la radiación reflejada no depende del ángulo de detección ni del ángulo de iluminación sino tiene un comportamiento isótropo.

O sea, a los ojos de un observador una superficie Lambertiana presenta un brillo uniforme independientemente del ángulo que se mire. La intensidad luminosa obedece a la ley de Lambert del coseno. Esto es.

$$I(\theta) = I_0 \cos(\theta)$$

Donde I_0 es la intensidad reflejada por un elemento de superficie observado de forma normal y θ es el ángulo al cual se requiere conocer la intensidad.

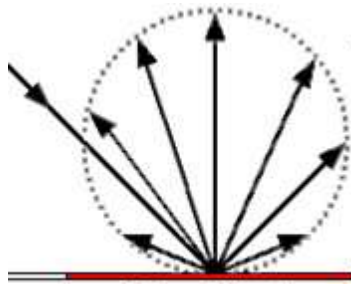


Figura 2: Reflexión difusa.

Apariencia

La apariencia de una superficie está determinada por atributos como: el color, el brillo, la textura y la translucidez, pero es la interrelación de estos elementos la que define la percepción de esa apariencia a los ojos del observador. Por supuesto se trata de un proceso complejo condicionado por la subjetividad. Sin embargo, cuando la luz interactúa con un objeto ocurren fenómenos ópticos que pueden ser medidos. Es por esto que los conceptos del color, el brillo y la opacidad no son más que la interpretación que hacemos a los efectos que provoca el objeto a la luz que incide sobre él. Reconocer la relación entre cada elemento de apariencia y un fenómeno óptico específico es el primer paso antes de diseñar instrumentos que puedan medir lo que vemos [7]. Los cuatro procesos más importantes que pueden ocurrir cuando la luz se encuentra con un objeto son:

Reflexión especular en la primera superficie (asociado con el brillo).

Esparcimiento dentro del material (asociado con la reflexión difusa y a veces con la transmisión difusa).

Absorción dentro del material (directamente asociado al color).

Transmisión regular directamente a través del objeto (asociado con la translucidez).

Para hacer un estudio de apariencia es necesario además de medir la transmitancia, la reflectancia y la absorbancia; caracterizar la dispersión que sufre la luz al interactuar con el objeto, o sea la distribución angular de la luz reflejada y transmitida. Esta distribución angular de la luz esparcida brinda detalles sobre la microestructura del material como por ejemplo rugosidad, inhomogeneidades, etc. El goniofotómetro es el instrumento que mide la cantidad de luz emitida por el objeto en diferentes ángulos o su distribución espacial. De esta forma provee información acerca de atributos geométricos de su apariencia.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El prototipo optomecatrónico implementado para la adquisición de medidas espectroscópicas con resolución angular está conformado por varios elementos que, en conjunto, permiten cuantificar las propiedades ópticas de los materiales en los intervalos espectrales de interés. Este sistema puede clasificarse, considerando la literatura consultada, como un goniómetro compacto. La Fig. (3) muestra, de forma esquemática, la distribución e interconexión de tales componentes en el proceso empleado para validar la prueba de concepto de forma experimental. Las partes contenidas en el cuadro de líneas punteadas fueron diseñadas y realizadas de forma específica para este proyecto. Los elementos fuera del cuadro son equipos comerciales, algunos de los cuales fueron modificados para cumplir una función particular. Los elementos que integran el dispositivo han sido organizados en cuatro sistemas o categorías básicos:

Sistema Óptico
Sistema Mecánico
Sistema Electrónico
Sistema de Control

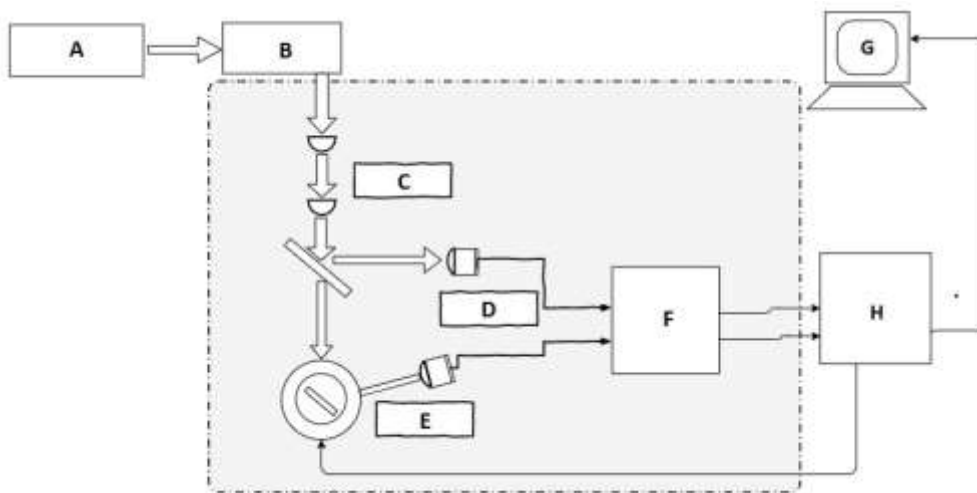


Figura 3: Esquema en bloques del dispositivo, donde A es una fuente de luz blanca, B es un monocromador, C es un sistema óptico de colimación, D es el sistema de fotodetección referenciado, F es un circuito electrónico acondicionador de señal, H es una tarjeta de adquisición entrada/salida y G es una computadora personal.

Dispositivo mecatrónico.

El dispositivo cuenta con un sistema mecánico para adquirir las mediciones con resolución angular. Es decir, puede orientar la fuente de iluminación, la muestra y el receptor según lo requiera el estudio. Para esto se diseñó una montura capaz de rotar la muestra para lograr que la luz incida sobre esta al ángulo necesario. La segunda montura giratoria se encarga de posicionar el sensor a un ángulo específico o de realizar un barrido alrededor de la muestra para analizar el comportamiento de la luz esparcida por esta de forma difusa. La literatura indica algunos requerimientos a tener en cuenta a la hora de diseñar este tipo de instrumentos [8]. Las etapas giratorias deben tener sus ejes alineados de tal forma que la distancia muestra-detector no cambie para los distintos ángulos de trabajo. Además, la parte frontal de la muestra debe coincidir con estos ejes. Atendiendo a lo anterior las dos monturas rotatorias están dispuestas sobre una estructura como se muestra en la figura (4) y son accionadas por sendos motores a pasos.

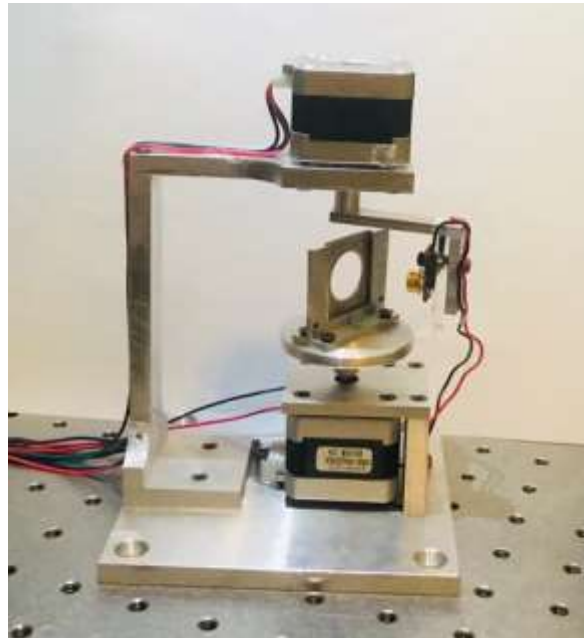


Figura 4: Dispositivo mecatrónico

Sistema de control

El sistema de control está constituido de dos elementos de hardware: una computadora y una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments. Este sistema permite controlar los motores a pasos, así como realizar las lecturas correspondientes para determinar las propiedades ópticas de la muestra.

Interfaz de usuario

La gestión del dispositivo se realiza a través de una interfaz desarrollada en el ambiente de programación LabView® la cual permite al usuario definir los parámetros bajo los cuales se realizan las distintas mediciones, así como graficar y almacenar los datos obtenidos.

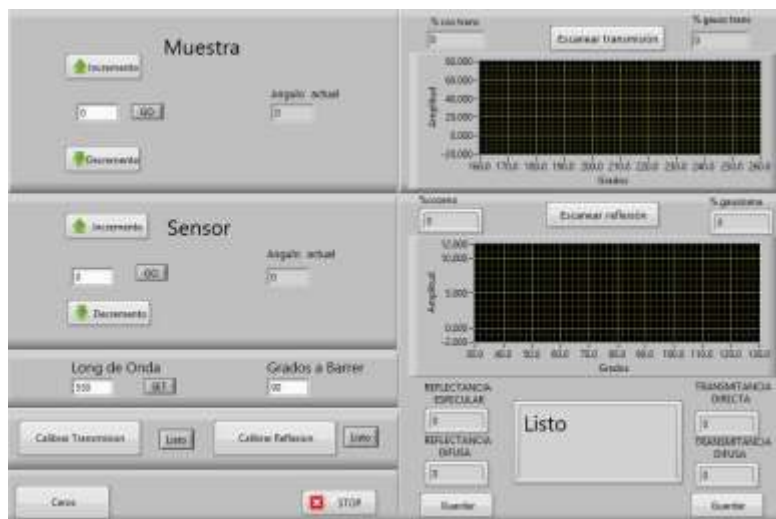


Figura 5: Interfaz de usuario

RESULTADOS

Con el objetivo de comprobar que el dispositivo cumple con las especificaciones indicadas por estándares internacionales para el equipamiento destinado al estudio de apariencia [9]: ASTM (American Society for Testing and Materials) y DIN (Instituto Alemán de Normalización) se realizaron algunas pruebas para determinar sus características estáticas.

Exactitud

Para comprobar la exactitud del instrumento se caracterizó un elemento óptico de referencia y se compararon los resultados obtenidos con los medidos utilizando un espectrofotómetro comercial. La figura 6 se observa la similitud de ambas curvas.



Figura 6: Curva espectral de la transmitancia de un divisor de haz 50/50 medida con el dispositivo y comparada con un instrumento comercial.

Repetibilidad del posicionamiento angular

Para comprobar cuan repetible se comporta el dispositivo a la hora de posicionar la muestra y el sensor a un ángulo determinado se realizaron 10 mediciones. Se utilizó una muestra reflejante y se realizó el barrido para encontrar el ángulo de la reflexión especular. Luego se midió la dispersión angular del máximo de la reflexión. Se comprobó que en este caso el error de posicionamiento coincide con el tamaño del paso con el cual se realiza el barrido (0,33°). Ver figura 7

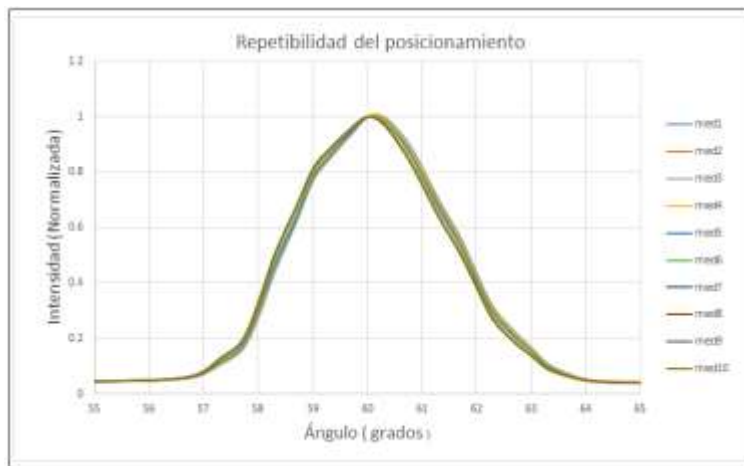


Figura 7: Repetibilidad del posicionamiento de la muestra

Linealidad

Se empleó un juego de filtros de densidad óptica neutra de Newport para comprobar la linealidad de la escala en transmisión. Los resultados obtenidos de forma experimental para una longitud de onda central de la iluminación de 530 nm se muestran en la figura 8 y se comparan con los valores reportados por el fabricante. Podemos notar que la escala tiene un comportamiento básicamente lineal.

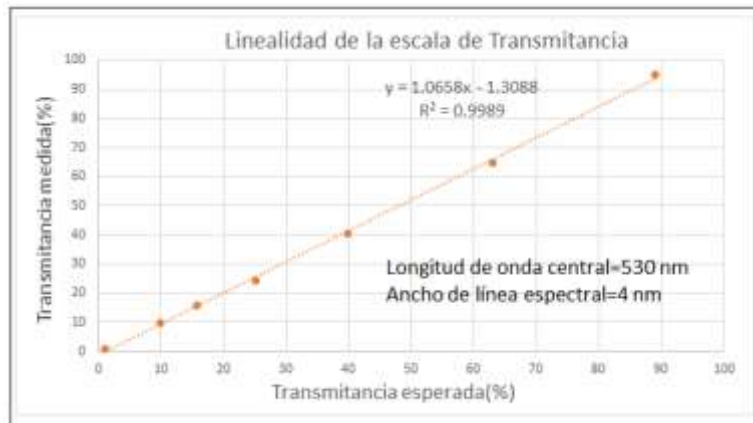


Figura 8: Linealidad de la escala de transmitancia.

Caracterización de superficies automotrices.

Se procedió a caracterizar ópticamente varios materiales que componen el tablero de los vehículos. Para realizar la simulación de apariencia se requería un estudio detallado de sus propiedades.



Figura 9: Máscara del panel de instrumentos de un auto

Reflectancia de los plásticos del encapsulado.

Una parte fundamental del sistema de iluminación de los tableros de los automóviles lo constituye el encapsulado que encierra los LEDs. Este está formado por materiales con una alta reflectancia difusa. En este caso se emplean plásticos a los que se añade (TiO₂) Dióxido de Titanio debido a las propiedades que presenta este material de tener una baja absorción en la región del espectro visible. Se requiere conocer la reflectancia y la absorbancia de este material además del grado de semejanza con un difusor Lambertiano perfecto. En la figura 10 se muestra la forma del perfil de irradiancia reflejado por estos materiales.

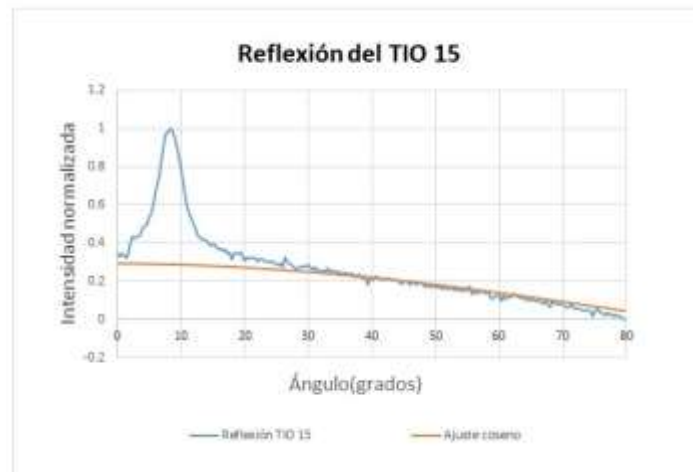


Figura 10: Distribución angular de la luz reflejada por plástico mezclado con TIO al 15%

Se puede observar que en estos plásticos la mayor parte de la energía se refleja de forma difusa lo cual satisface la intención de diseño del fabricante para esta aplicación específica.

Caracterización del direccional.

El panel de instrumentos del vehículo está constituido por una serie de indicadores. La carátula de este posee zonas translúcidas que permiten el paso de la luz de cada uno de los testigos del auto. De ahí la importancia de caracterizar ópticamente este material. Teniendo en cuenta el tamaño del haz de luz del dispositivo se escogió para el estudio la zona del panel que corresponde al indicador direccional debido a que posee mayor área. No obstante, se espera que los resultados obtenidos para esta región se repitan en cualquier otra porción donde se encuentre este material.



Figura 11: Direccional

De este material se analizaron los siguientes parámetros:

Transmitancia directa

Transmitancia difusa.

Reflectancia especular

Reflectancia difusa.

Absorbancia.

Caracterización de la distribución angular de la luz reflejada y transmitida.

Con los parámetros medidos se alimentó la plataforma de simulación SPEOS. Se realizó la simulación de apariencia utilizando los valores medidos y también los entregados por los fabricantes

en la hoja de especificaciones de los materiales. De esta manera se validaría la efectividad del instrumento creado para ejecutar este tipo de estudios.

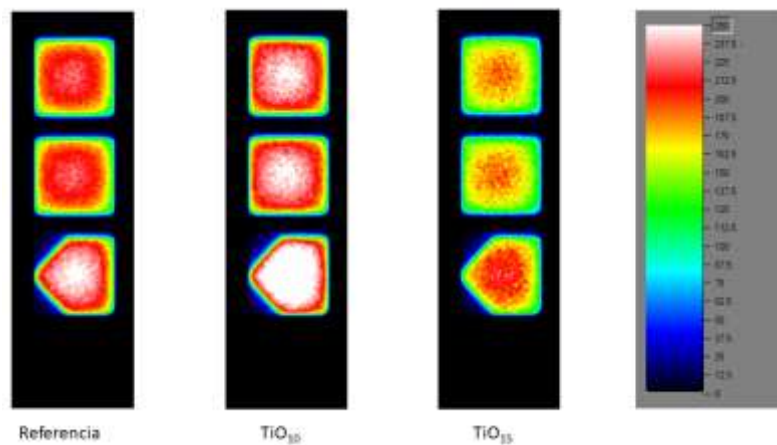


Figura 12: Simulación en SPEOS

CONCLUSIONES

El diseño y desarrollo de un Dispositivo Optomecatrónico para la Adquisición de Medidas Espectroscópicas con resolución angular fue presentado en este documento. El uso de este dispositivo permite caracterizar las propiedades ópticas de materiales utilizados en la fabricación de vehículos. Los datos adquiridos se utilizaron para alimentar un programa de simulación de superficies. El sistema consta de dos monturas giratorias que posibilita cambiar el ángulo de la muestra y el ángulo de sensado de manera independiente y a voluntad del usuario. Esta capacidad facilita poder realizar un análisis detallado de la reflexión y la transmisión de la luz en la muestra, así como conocer su distribución angular. Esto representa una funcionalidad que no posee la mayoría de goniofotómetros comerciales, los cuales realizan el estudio a geometrías preestablecidas.

El usuario puede establecer el ángulo de incidencia, el ángulo de detección, la longitud de onda, Etc. El programa calcula la transmitancia directa y difusa, la reflectancia especular y difusa y ofrece la posibilidad de exportar esos datos.

El número de parámetros que sensa el dispositivo eleva considerablemente la complejidad del sistema, pero garantiza su versatilidad para caracterizar los distintos elementos de apariencia como el brillo, la textura, el color, Etc. Las características del sistema superan los requerimientos del cliente y cumplen las normas que rigen este tipo de estudios.

Se analizaron varias características estáticas del sistema. La precisión, la estabilidad y la repetibilidad de las mediciones obtenidas respaldan el funcionamiento adecuado del dispositivo y ofrecen fiabilidad a los resultados. De manera que a pesar de que se trata de un instrumento de bajo costo, las mediciones realizadas responden a las especificaciones planteadas de forma satisfactoria. Además, se realizó un estudio de varios materiales que son utilizados en la fabricación de los tableros de automóviles. Los datos adquiridos con el instrumento fueron utilizados por dicha empresa para alimentar el software de simulación SPEOS. Esto permitió realizar una valoración a priori del comportamiento que van a tener dichos materiales en el producto final.

BIBLIOGRAFÍA

1. D. B. Kim, K. H. Lee, Computer-aided appearance design based on BRDF measurements, *Comput. Aided Des.* 43 (2011) 1181-1193.
2. R. S. Hunter, R. W. Harold, R. W. Harold, *The measurement of appearance*, John Wiley & Sons, 1987.
3. N. V. Tkachenko, *Optical spectroscopy: methods and instrumentations*, Elsevier, 2006

4. H. Wang, X. Zheng, W. Du, Automatic measurement of spectral bidirectional transmittance distribution function on translucent optical materials, *Measurement* 69 (2015) 126-133.
5. W. Schmidt, *Optical spectroscopy in chemistry and life sciences*, 2005.
6. B. van Ginneken, M. Stavridi, J. J. Koenderink, Diffuse and specular reflectance from rough surfaces, *Applied optics* 37 (1) (1998) 130-139.
7. R. S. Hunter, R. W. Harold, R. W. Harold, *The measurement of appearance*, John Wiley & Sons, 1987.
8. T. A. Germer, J. C. Stover, S. Schröder, Angle-resolved diffuse reflectance and transmittance, in: *Experimental Methods in the Physical Sciences*, vol. 46, Elsevier, 291-331, 2014.
9. ASTM, *Standard Practice for Goniometric Optical Scatter Measurements*, ASTM E2387-05, 2011.

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DEL LSA EN LA AGRUPACIÓN DE DOCUMENTOS DE TEXTO EN ESPAÑOL DE UNA COLECCIÓN, EN FUNCIÓN DE LA DIMENSIÓN DEL ESPACIO REDUCIDO

Juan Carlos Solorio Leyva, María Estela Romero Fuentes, Margarita Torres Figueroa, Rosa Isela Ponce del Campo, Luis Ángel Govea Magaña.

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Piedad.
juancsol@hotmail.com

RESUMEN

El Análisis Semántico Latente (LSA por sus siglas en Inglés) es una técnica del procesamiento de lenguaje natural. Este método ofrece buenos resultados en la recuperación automática de información y la clasificación automática de documentos de texto. En esta técnica, se construye la matriz de frecuencias de términos y documentos de la colección. Luego, se realiza la descomposición de valores singulares de dicha matriz y se reduce la dimensión del espacio, manteniendo un número determinado de valores propios. Con esto se reduce el rango de la matriz. Se ha observado que la eficiencia de los resultados del uso de esta técnica para agrupar documentos de una colección de textos depende de la dimensión del espacio reducido. En este trabajo, se presentan los resultados de las pruebas realizadas para medir la eficiencia del método LSA para una colección de documentos de texto en español en función de la dimensión del espacio reducido, es decir, del número de valores propios que se conservan al hacer la descomposición de valores singulares de la matriz de términos y documentos de la colección. Hemos introducido una mejora al método mediante la creación de documentos guía, que se agregan a la colección. El prototipo que se utilizó para la agrupación de los documentos de la colección fue desarrollado por el equipo de trabajo. Se encontró que el método mejorado tiene muy alta eficiencia al conservar aproximadamente un 22 por ciento de los valores propios.

INTRODUCCIÓN

La existencia de colecciones con un gran número de documentos de texto conlleva a la importante tarea de agrupar esta información en categorías específicas, de tal forma que se facilite el acceso para los usuarios. Contar con herramientas que permitan desarrollar esta actividad de manera automática ha sido un tema de investigación y desarrollo para diversos grupos de investigación. Para colecciones de documentos de texto en el idioma inglés se han presentado diversos trabajos que permiten formar clústeres de manera eficiente. Una herramienta, comúnmente empleada, es el análisis semántico latente (LSA por sus siglas en inglés) [1,2,3,4,5]. Este método utiliza una matriz de frecuencias de términos y documentos, a la cual se le reduce la dimensión, conservando solo un número determinado de valores singulares. Luego, es posible agrupar los documentos de la colección, y los resultados que se obtienen son muy satisfactorios.

En el idioma español, sin embargo, se requiere de hacer algunas adecuaciones al método. Con el equipo de trabajo hemos desarrollado una herramienta que permite llevar a cabo la medida de similitud de documentos de texto en español [6]. En esta herramienta, es posible realizar las tareas de recuperación de información y agrupamiento de documentos en el idioma español utilizando LSA, al igual que otras técnicas como SELSA, que se refiere a un método de análisis semántico latente sintácticamente mejorado, en el cual se consideran aspectos semánticos y sintácticos en la medida de la similitud de los documentos.

La dimensión del espacio de la matriz de términos y documentos, es decir, el número de valores singulares (relacionados de forma directa con los valores propios) que se conservan después de realizar la descomposición de valores singulares (SVD, por sus siglas en inglés) determina la eficiencia del método. En este trabajo, se presenta un estudio de la eficiencia del método LSA para la agrupación de documentos de una colección de textos en el idioma español, en función de la dimensión del espacio reducido. Nuestro corpus lo conforman 128 documentos de texto que corresponden a los resúmenes de trabajos presentados en un congreso de ciencia, tecnología e innovación, en 9 áreas del conocimiento.

En las siguientes secciones, primeramente, se presentan de manera resumida los fundamentos teóricos que explican el funcionamiento del método LSA. Luego, se muestran los resultados de la medida de la eficiencia del método al agrupar los documentos del corpus, en función del número de valores singulares que se conservan después de la SVD. Por último, se listan las conclusiones del estudio.

MARCO TEÓRICO

El método que empleamos es el modelo de análisis semántico latente (LSA por sus siglas en inglés), que emplea la descomposición de valores singulares de una matriz.

Manning [7] presenta en su libro el siguiente teorema relacionado con la matriz de términos-documentos C y la descomposición de valores singulares (SVD),

Dada una matriz C de $m \times n$, sea U la matriz de $m \times m$ cuyas columnas son los vectores ortogonales de CC^T , y sea V la matriz de $n \times n$ cuyas columnas son los vectores ortogonales de C^TC , donde C^T denota la transpuesta de la matriz C .

Teorema: Sea r el rango de la matriz C de $m \times n$. Entonces, existe una descomposición de valores singulares (SVD) de la matriz C de la forma

$$C = U\Sigma V^T \quad (1)$$

Donde,

1.- Los eigenvalores (valores propios) $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r$ de CC^T son los mismos que los eigenvalores (valores propios) de C^TC ;

2.- Para $1 \leq i \leq r$, sea $\sigma_i = \sqrt{\lambda_i}$, con $\lambda_i \geq \lambda_{i+1}$. Entonces la matriz Σ de $m \times n$, se construye haciendo $\Sigma_{ii} = \sigma_i$ para $1 \leq i \leq r$, y ceros en cualquier otro caso.

Los valores σ_i se conocen como los valores singulares de C .

Nótese que CC^T es una matriz cuadrada, donde su elemento (i, j) es una medida de la superposición del término i -ésimo, en base a su co-ocurrencia en los documentos. En nuestro caso, el significado matemático del elemento (i, j) de la matriz CC^T se refiere al número de documentos en los cuales aparecen los términos i -ésimo y j -ésimo.

Cuando se escriben los valores numéricos de la SVD, es común representar a Σ como una matriz de tamaño $r \times r$ con los valores singulares en su diagonal, ya que todos los demás elementos fuera de esta sub-matriz son cero. Por ello, se omiten también las últimas $(m-r)$ columnas de U y las últimas $(n-r)$ columnas de V . Esta forma común de escribir la SVD se le conoce como forma reducida de la SVD.

Para reducir la dimensión del espacio semántico, se toman los primeros k valores singulares de la matriz Σ , haciendo el resto igual a cero. Por ello, solo se conservarán las primeras k columnas de la matriz U reducida y también de la matriz V reducida, por lo que llamaremos a las matrices resultantes Σ_k, U_k y V_k , respectivamente. Luego la matriz de términos-documentos se aproximará mediante $C_k = U_k \Sigma_k V_k^T$, que es de un rango mucho menor que la matriz original C .

Los documentos de la colección entonces pertenecen a un espacio k -dimensional y están representados como vectores con k componentes.

Para agrupar los documentos, se pueden utilizar diversos métodos; en nuestro prototipo, se emplea el método de k -means, en el cual, una vez que se define el número de grupos (clusters), de forma automática se determinan los centroides y se les asocian a cada uno de ellos los vectores (documentos) que se encuentran más cercanos dependiendo de la métrica que se elija. En nuestro caso, podemos elegir como métricas la medida del coseno o la distancia Euclidiana.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El estudio consistió en analizar la eficiencia del método para agrupar documentos utilizando una colección de 128 resúmenes de trabajos presentados en un congreso de ciencia y tecnología, el cual se dividió en 9 áreas temáticas. A esta colección se le agregaron 9 documentos guía, con el propósito de eficientar el método de agrupación; en total, 137 documentos en la colección. Los documentos guía, son documentos que contienen términos asociados a cada una de las áreas temáticas. Por

ejemplo, para el área 1, en temas de ciencias naturales y materiales, el documento guía que se incorporó a la base de datos fue el siguiente:

“brea clarificación maderable aguarrás resinera atributo porcentuales agua resina sostenibles hidrocarburos sinfín pinturas cosmética adhesivos sintéticas diluirla limpio plancha cedazo mechero durómetro corridas statgraphics ocote colofonia barnices fluorados helmintos parásitos dinahelminofauna helmintiasis parasitológicos muestradas atripinnis poecilia sphenops pseudoxiphophorus bimaculatus xiphophorus helleri purhepechus ameca splendens nematodos contraecum strongylides larvario rhabdochona diplostomum larva bothriocephalus acheilognathi parasitosis eustrongylides parasitología hidrográficas hidrografía epicontinentales definitivos parasitado parasitismo unilateral parásito aloja transitoria ontogenia estimador helmintológicas englobado habita chinchorro disección milímetros morgolis helminto shenops parasitados puerhepechus bimaculata nematodo íctica strongylides digeneo larvaria cestodo antiparasitaria acribilia glutamato carboxipeptidasa silenciamiento pleiotrópicos embriogenesis secretoras exacerbada fitohormona inducible estomática intersecciones ainuropoda desinfectadas fluorescente yoduro propidio incuban yodo clarificadas montadas analizarse univarianza radícula sostenido extrapolación microarreglos revertido hidrotatamiento níquel molibdeno tungsteno hidrosulfurización óxidos mesoporosos estrictas desulfurización trimetalicos sintetizó calcinados másico precursoras metatungstato rampa disolución isopropóxido mesoporosidad histéresis cuello desorción sintetizados difractogramas cúmulos reflectancia difusa metal tetraédrica decremento sulfurar octaédrica coordinados moderados desórvido apilamiento cuantificada rana estrellas perturbadas hidrostático autogravitante Poisson gravitacional ecuaciones solución interpolarla cartesiana perturbar resolvidor óptico gravitacional clásica autogravitante diferencial newtoniano potencial edp edos óptica numérica multigríd estacionario esférica simétrico politrópica índice adiabática densireescalar perturbación laplaciano gauss-seidel discreto discretizarse discretizado discretizar iterando convergencia suavizar restringir interpola prolongación reasignar v-ciclo runge-kutta perturbarse armónico perturbada simétrica zoológico caja-nido nidos cúbicos defaunación reproductivas marcado huecos reproducirse escasas descendencia progenitores relevancia ciento circundante anidaciones distanciómetro cinta métrica pasta estudio correlograma pecho eucalipto cardinal chi orientados gatos macollos arbustos loro amazona impenetrable hornero hueso compactos túrbula crisol cuarzo sinterizada densificación microestructural biomédicos porosos cerámicos bioactividad compilación niobio tántalo ortopédicas porosidades oseointegración interconectividad nutren huesos radiografías reconstrucción pulvimetalurgia cuantitativa fabricar refuerzo vertida microtomógrafo computarizado xradia versa proyecciones dilatómetro montar purgado sinterización eutéctico montada filtradas nitidez thresholding grises binarización binarias empaquetamiento tonalidades binarizadas multi-densa interparticular crecimiento reforzado densifica microtomografía ceras concretos puzolánicos humo físico-mecánico cementante suplementario calcinar caolin silicio ferrosilicio amilosa amilopectina cementos adicionado implícitos fabricado andesíticos adicionar acopladores jalea acoplador espesa suavizar lisa yeso fraguado epóxico fuego neogranadina”

De manera similar, se incorporaron documentos guía con una lista importante de términos relacionados con los temas de cada una de las ocho áreas temáticas restantes.

El prototipo desarrollado por el equipo de trabajo permite construir una base de datos de manera muy amigable, ya que por medio de una interfaz gráfica, el usuario puede agregar tantos documentos, en formato PDF, como requiera. Para nuestras pruebas, se agregaron a la base de datos los 128 documentos de las 9 áreas temáticas del congreso, al igual que los 9 documentos guía, que se mencionaron. Después de eliminar las palabras de paro, el número de términos en la colección es de 6421. Así, la matriz de términos y documentos es de tamaño 137x6421, donde los renglones se refieren a los documentos de la colección y las columnas representan el número de términos en el conjunto de documentos. La figura 1 muestra la interfaz del prototipo una vez que fue creada la matriz de términos y documentos.

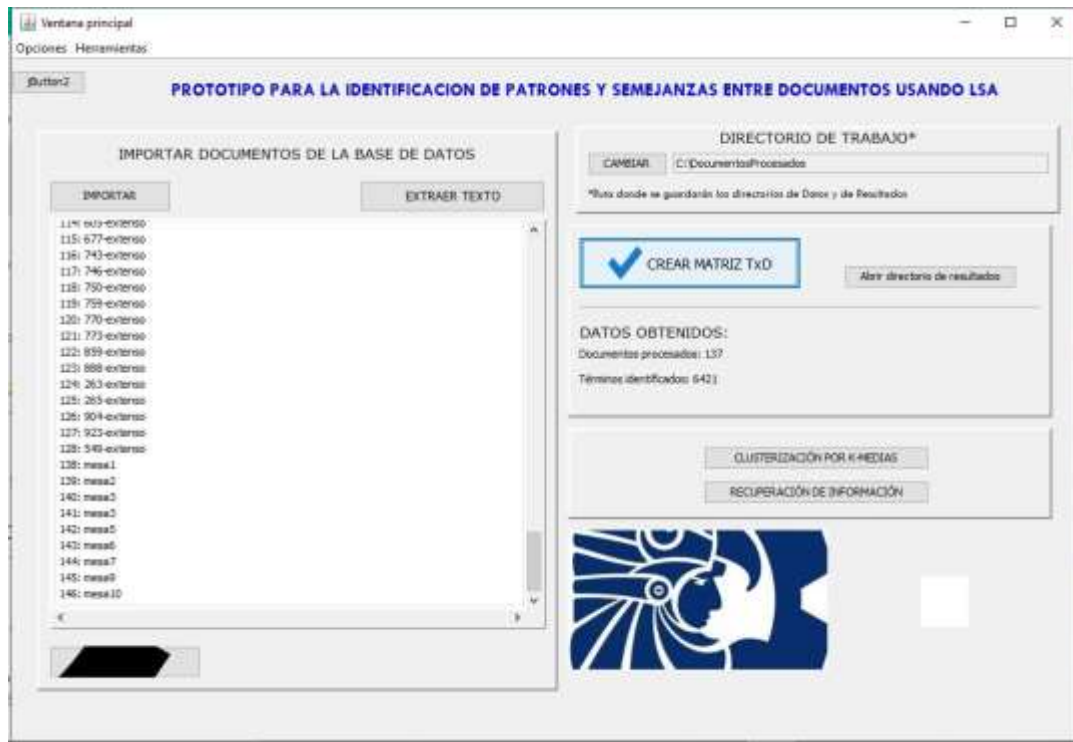


Figura 1. Interfaz del prototipo después de construir la matriz de términos y documentos.

Para llevar a cabo la medida de la eficiencia, será necesario tener como referencia la información que se presenta en la tabla 1, donde se muestra el número de documentos en cada una de las áreas temáticas, enlistadas de la 1 a la 9, de acuerdo a la manera en la que los organizadores del congreso los agruparon.

Tabla 1. Número de documentos por área temática

Área temática	Número de documentos
Área 1	9
Área 2	17
Área 3	27
Área 4	3
Área 5	23
Área 6	24
Área 7	27
Área 8	5
Área 9	1

El número de valores singulares que se obtiene después de realizar la SVD a la matriz de términos documentos de la colección es 135. El método LSA requiere que se reduzca la dimensión del espacio semántico, por lo que se realizan agrupamientos tomando diferentes valores del número k, que se refiere al número de valores singulares que se conservan. Para el estudio, se realizó la construcción de 9 clústeres usando el prototipo desarrollado por el equipo de trabajo, para los siguientes valores de la dimensión reducida del espacio semántico k: 5, 15, 30, 50.

Para medir la eficiencia del método, se compara la coincidencia del número de documentos en un área específica, en base a la agrupación realizada por los organizadores del congreso, con el número de documentos agrupados de forma automática por el prototipo. Por ejemplo, la tabla 2 muestra los resultados del agrupamiento para un valor de $k=5$. En la primera columna se muestra el área temática, en la segunda columna número de documentos determinado por los organizadores del congreso en cada área, en la tercera columna el número de documentos obtenidos de manera automática con el prototipo en el área respectiva, y la cuarta columna la eficiencia del método calculada como la razón de los números de la tercera y segunda columna, y expresada en forma de porcentajes. En el último renglón se han expresado las cantidades totales, obteniéndose una eficiencia promedio de 84.67% para $k=5$.

Tabla 2. Resultados del agrupamiento para $k=5$

Área temática	Número de documentos determinados por los organizadores	Número de documentos obtenidos de forma automática por el prototipo	Eficiencia (%)
Área 1	9	5	55.55
Área 2	17	12	70.58
Área 3	27	27	100.00
Área 4	3	3	100.00
Área 5	23	18	78.26
Área 6	24	20	83.33
Área 7	27	27	100
Área 8	5	2	40
Área 9	2	2	100
TOTAL	137	116	84.67

De forma similar al caso anterior, en la tabla 3, se muestran los resultados del agrupamiento para un valor de $k=15$. Para este valor de k se observa una eficiencia del 94.89%.

Tabla 3. Resultados del agrupamiento para $k=15$

Área temática	Número de documentos determinados por los organizadores	Número de documentos obtenidos de forma automática por el prototipo	Eficiencia (%)
Área 1	9	5	55.55
Área 2	17	17	100.00
Área 3	27	27	100.00
Área 4	3	3	100.00
Área 5	23	22	95.65
Área 6	24	22	91.66
Área 7	27	27	100
Área 8	5	5	100
Área 9	2	2	100
TOTAL	137	130	94.89

Asimismo, los resultados del agrupamiento para $k=30$, se muestran en la tabla 4, obteniéndose una eficiencia del 97.08%.

Tabla 4. Resultados del agrupamiento para k=30

Área temática	Número de documentos determinados por los organizadores	Número de documentos obtenidos de forma automática por el prototipo	Eficiencia (%)
Área 1	9	8	88.88
Área 2	17	17	100.00
Área 3	27	27	100.00
Área 4	3	3	100.00
Área 5	23	22	95.65
Área 6	24	22	91.66
Área 7	27	27	100.00
Área 8	5	5	100.00
Área 9	2	2	100.00
TOTAL	137	133	97.08

Por último, los resultados del agrupamiento para k=50 se muestran en la tabla 5. La eficiencia en este caso es del 91.24%.

Tabla 5. Resultados del agrupamiento para k=50

Área temática	Número de documentos determinados por los organizadores	Número de documentos obtenidos de forma automática por el prototipo	Eficiencia (%)
Área 1	9	8	88.88
Área 2	17	17	100.00
Área 3	27	27	100.00
Área 4	3	3	100.00
Área 5	23	19	82.60
Área 6	24	20	83.33
Área 7	27	24	88.88
Área 8	5	5	100
Área 9	2	2	100
TOTAL	137	125	91.24

Se observa de las tablas 2, 3, 4 y 5, que el máximo valor de un 97.08% de la eficiencia para la agrupación de documentos de forma automática se obtiene con k=30. El valor mínimo se obtiene para k=5, y es de 84.67%.

Una vez cuantificados los aciertos del prototipo para agrupar los documentos de la colección, consideramos importante medir también los desaciertos. Para ello, en cada clúster (área temática) creado automáticamente por el prototipo, se determinó el porcentaje de documentos, que de acuerdo con la clasificación hecha por los organizadores del congreso, no formaban parte del mismo. Los resultados se muestran en la tabla 6. En la primera columna se listan las nueve áreas temáticas; y de la segunda a la quinta columna, los porcentajes de desaciertos correspondientes, en función de los valores k=5, 15, 30, 50, considerados en el estudio.

Se puede observar de la tabla 6 que en los casos de k=5 y k=50, los valores de los porcentajes de desaciertos en cada área temática son, en general, significativos, comparados con los casos de k=15 y k=30.

Tabla 6. Porcentaje de desaciertos en la agrupación de documentos.

Área temática	Desaciertos (%)			
	k=5	k=15	k=30	k=50
Área 1	0.00	0.00	0.00	27.27
Área 2	7.69	5.55	5.55	5.55
Área 3	12.90	0.00	0.00	0.00
Área 4	40.00	0.00	25.00	57.14
Área 5	14.28	4.34	4.34	5.00
Área 6	0.00	0.00	0.00	0.00
Área 7	25.00	0.00	0.00	0.00
Área 8	0.00	0.00	0.00	28.57
Área 9	0.00	0.00	0.00	0.00

CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se ha realizado un estudio de la eficiencia del método LSA en la agrupación automática de un conjunto de documentos de texto en el idioma español en función del tamaño del espacio reducido, es decir, del número de valores singulares que se conservan después de la SVD. En este estudio se contó con una base de datos que involucró 128 documentos, clasificados en 9 áreas temáticas por los organizadores de un congreso de ciencia, tecnología e innovación, a la cual se le agregaron nueve documentos guía, uno por cada área. Al realizar la SVD a la matriz de términos y documentos, el número de valores singulares fue de 135. Al observar los resultados de la agrupación automática de los documentos para valores de $k=5$, 15, 30 y 50, se obtiene un valor máximo de eficiencia de 97.08% para $k=30$, por lo que se podría decir que se ha obtenido una muy alta eficiencia al conservar el 22.22% de los valores singulares.

BIBLIOGRAFÍA

1. G. W. Furnas, S. Deerwester, S. T. Dumais, T. K. Landauer, R. A. Harshman, L. A. Streeter, and K. E. Lochbaum (1998), Information retrieval using a singular value decomposition model of latent semantic structure, in Proceedings of SIGIR, pp. 465-480.
2. D.Kanejiya, A. Kumar, S. Prasad (2003) Automatic Evaluation of students' answers using syntactically enhanced LSA, in Proceedings of the HLT_NAACL 03 workshop on Building educational applications using natural language processing, Vol. 2, (pp. 53-60), Stroudsburg, PA: US Association for Computational Linguistics, retrieved from <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1118902>.
3. D.D. Prasetya, A. Prasetya W. and Tsukasa Hirashima, (2018).The performance of text similarity algorithms, International Journal of Advances in Intelligent Informatics, Vol. 4, No. 1, Pags. 63.69,
4. P. Stone, S. Dennis and P. J. Kwantes, (2011) Comparing Methods for Single Paragraph Similarity Analysis, Topics in Cognitive Science, 3, Pags. 92-122,
5. P.Wierner-Hastings and I. Zipitria (2001) Rules for syntax, vectors for semantics. In Proc. 23rd Annual Conf. of the Cognitive Science Society, Mahwah, NJ.
6. J.C. Solorio Leyva, M. Torres Figueroa, M.E. Romero Fuentes, L. Rodríguez González, J.C. Saldivar Cervantes (2018) Prototipo para la medida de similitud entre documentos de texto de una colección pequeña usando la descomposición de valores singulares, en Memorias del 13º. Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación, (Pags. 530-535) Morelia, Mich., MEXICO, ICTI
7. Manning, Christopher D. and Raghavan, Prabhakar, (2008) "Introduction to information retrieval", New York, N.Y., U.S.A.: Cambridge University Press, Pp. 408-417.

CREACIÓN DE UN CORPUS DE FRASES PARA MINERÍA DE DATOS EDUCATIVA VALIDADO POR EXPERTOS

María Lucia Barrón Estrada, Ramón Zatarain Cabada, Oscar Omar Sánchez Alvarado

Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Culiacán
{lbarron, rzatarain, oscar.sanchez}@itculiacan.edu.mx

RESUMEN

Ante un mundo cada vez más digital e inmerso en la inteligencia artificial se han desarrollado nuevos métodos y tecnologías para apoyar a la educación, los cuales aportan grandes beneficios a los estudiantes en las aulas. Un ejemplo son los ambientes de aprendizaje inteligentes que permiten que los estudiantes reciban una educación más personalizada de acuerdo con sus necesidades cognitivas, elevando así su rendimiento. Los ambientes de aprendizaje inteligentes logran realizar acciones de adaptación utilizando diversas técnicas de inteligencia artificial con el objetivo de tomar decisiones acertadas sobre el flujo y la dosificación de temas, ejercicios y exámenes que se le administran a cada estudiante. La detección de emociones en un ambiente educativo es muy importante porque permite que un sistema se adapte a las necesidades afectivas del usuario. Existen diversas formas de reconocer emociones de forma automática, una de ellas es a través de frases escritas en algún idioma, siendo necesario contar con un corpus de frases etiquetadas. Actualmente existen dos corpus que se crearon a partir de la recopilación de opiniones de alumnos: SentiText, que contiene frases etiquetadas con polaridades (negativa y positiva), y EduSERE, que contiene frases etiquetadas con emociones centradas en el aprendizaje (aburrido, frustrado y comprometido). Dichos corpus sirven para entrenar algoritmos de detección de emociones y polaridades en texto que se usan en ambientes de aprendizaje inteligentes para clasificar las emociones de los estudiantes que usan el sistema. Estos corpus fueron etiquetados por los mismos usuarios y no cuentan con validación por expertos en el área de psicología o pedagogía, por lo cual el resultado de la clasificación no es confiable en su totalidad. Con el fin de generar un corpus validado para mejorar la precisión de la clasificación de frases, se desarrolló una aplicación en Android llamada Label usando el patrón de diseño MVC sobre una arquitectura basada en capas. La aplicación Label implementa técnicas de gamificación (trofeos, tablas de puntuación, etc.) para mejorar el interés de los usuarios y a través de una serie de niveles muestra frases con emociones ya sean polaridades (negativo o positivo) o centradas en el aprendizaje (aburrido, frustrado o comprometido), con el fin de que los expertos del área en emociones (psicólogos), complementando con maestros y alumnos pueden etiquetar dichas frases. A partir de esta aplicación se realizó una recopilación de todas las frases validadas para crear dos nuevos corpus especializados en la educación con los cuales se obtuvieron los siguientes resultados, corpus SentiText que consta de 24,543 frases con polaridades, donde 12,272 son positivas y 12,271 negativas, mientras que el corpus EduSERE cuenta con 12,083 frases con emociones centradas en el aprendizaje de las cuales 5,600 son comprometido, 3,238 aburrido y 3,245 frustrado. La aplicación desarrollada generó dos corpus de frases validadas y será posible desarrollar clasificadores que obtengan un porcentaje de precisión mayor al 90% para reconocer los estados emocionales de los estudiantes y que un ambiente de aprendizaje inteligente adapte su proceso de enseñanza a las necesidades de los estudiantes.

INTRODUCCIÓN

En la última década, los estudiantes han adquirido nuevas formas de desarrollar y mejorar su capacidad de aprender con el uso de herramientas tecnológicas que se adaptan a los diversos estados cognitivos y afectivos, tales como los Sistemas Tutores Inteligentes (ITS, por sus siglas en inglés) y los Ambientes de Aprendizaje Inteligentes (ILE, por sus siglas en inglés) los cuales influyen positivamente en el aprendizaje del estudiante [1]. Estos sistemas y ambientes inteligentes utilizan diversas técnicas de inteligencia artificial como la lógica difusa para tomar decisiones acertadas sobre el flujo y la dosificación de temas, ejercicios y exámenes que se le administran a cada estudiante [2], o el aprendizaje automático para reconocer emociones expresadas en rostro [3]. En los últimos años, la computación afectiva [4] ha cobrado auge en áreas como la mercadotecnia y los

videojuegos para focalizar las acciones a ejecutar con base en las emociones de los usuarios y ésta también es utilizada en la educación.

Existen diversas técnicas para reconocer emociones, algunas utilizan dispositivos especiales para captar señales de los usuarios y otras menos invasivas permiten captar imágenes, posturas o texto, mientras el usuario utiliza un sistema de software. Se ha demostrado que las emociones de los estudiantes son una parte esencial en su vida psicológica y pueden influir profundamente en su rendimiento académico [5], por este motivo, los sistemas y ambientes inteligentes se desarrollan integrando componentes capaces de empatizar con el estudiante e interpretar su estado emocional para mantenerlo motivado e interesado en los temas que se le imparten.

Para poder desarrollar sistemas y ambientes inteligentes que puedan detectar emociones en texto y personalizar la educación para los estudiantes, es necesario entrenar algoritmos de inteligencia artificial con corpus de frases en español etiquetados con emociones que vayan dirigidas al área de la educación. Hoy en día es común que los usuarios de diversas plataformas emitan opiniones sobre los bienes o servicios que se ofrecen, estas opiniones están disponibles para otros usuarios los cuales las usan para tomar decisiones afectando de forma positiva o negativa a una empresa o servicio. Las opiniones generadas por los usuarios en estas plataformas pueden ser usadas para generar corpus de frases y realizar minería de opiniones.

Actualmente no existen suficientes corpus en español enfocados a la educación que hayan sido validados por expertos, por lo cual es sumamente importante crear corpus de frases con emociones centradas en el aprendizaje para poder desarrollar reconocedores de emociones que puedan, en tiempo real, interpretar de forma precisa el estado emocional del estudiante al momento de interactuar con un sistema o ambiente inteligente mientras estudia algún tema de su interés. Anteriormente en el Laboratorio de Tecnologías Inteligentes Aplicadas a la Educación (LTIAE) del posgrado en el Instituto Tecnológico de Culiacán, se crearon dos corpus de frases en español para realizar reconocimiento de emociones en texto: SentiText [6, 7] creado a partir de la extracción de frases en redes sociales (Twitter principalmente) el cual contiene 24,543 frases etiquetadas con polaridad (positiva y negativa) y EduSERE [8] creado con la recopilación de opiniones de alumnos al usar recursos educativos, el cual contiene 12,083 frases etiquetadas con emociones centradas en el aprendizaje (aburrido, frustrado y comprometido). Estos corpus fueron etiquetados manualmente por miembros del LTIAE, por lo que no presentan algún tipo de validación por expertos en el área de reconocimiento de emociones centradas en el aprendizaje y el resultado de la clasificación no es confiable en su totalidad. Por este motivo, el objetivo de esta investigación es lograr validar los corpus SentiText y EduSERE por expertos en el área de psicología y pedagogía, para que en un trabajo futuro se puedan desarrollar clasificadores de emociones más precisos.

Para poder validar los corpus se desarrolló una aplicación en Android llamada Label la cual implementa técnicas de gamificación como son trofeos y tablas de puntuaciones para generar interés en el usuario, así como la integración de niveles que muestran frases con emociones ya sean polaridades (negativo o positivo) o centradas en el aprendizaje (aburrido, frustrado o comprometido), con el fin de que los expertos del área en emociones (psicólogos), complementando con profesores y estudiantes pueden etiquetar dichas frases. A partir de esta aplicación se realizó una recopilación de todas las frases validadas para crear dos nuevos corpus especializados en la educación.

En este artículo, se detalla el proceso diseñado para permitir que los expertos del área de emociones realicen la validación de un corpus de frases en español enfocadas al aprendizaje de temas de computación. Una vez que el corpus haya sido validado por los expertos, éste se utilizará para entrenar un sistema clasificador para reconocer emociones en texto, el cual podrá ser utilizado en los ambientes inteligentes de aprendizaje que deseen adaptar dinámicamente el comportamiento del tutor al estado emocional del usuario.

La principal contribución de este trabajo es la implementación de un sistema de validación, así como la generación de dos corpus de opiniones validados por expertos, uno etiquetado con polaridad y otro con emociones centradas en el aprendizaje.

Este artículo se organiza de la siguiente forma: la sección 2 presenta la metodología para la validación por expertos de los corpus de frases en español, la sección 3 describe la parte experimental donde se distribuyó la app a 36 participantes para generar las etiquetas. La sección 4

muestra los resultados obtenidos hasta la fecha y se finaliza con la sección que presenta las conclusiones alcanzadas en esta investigación.

METODOLOGÍA

En esta sección se detalla la metodología para la validación por expertos de los corpus EduSERE y SentiText. Esta metodología se muestra en la figura 1 y consta de cuatro pasos: analizar y desarrollar un sistema para el etiquetado de frases, seleccionar a los expertos que participarían en el etiquetado, distribuir el sistema entre los expertos para validar los corpus y finalmente integrar los corpus validados por los expertos.

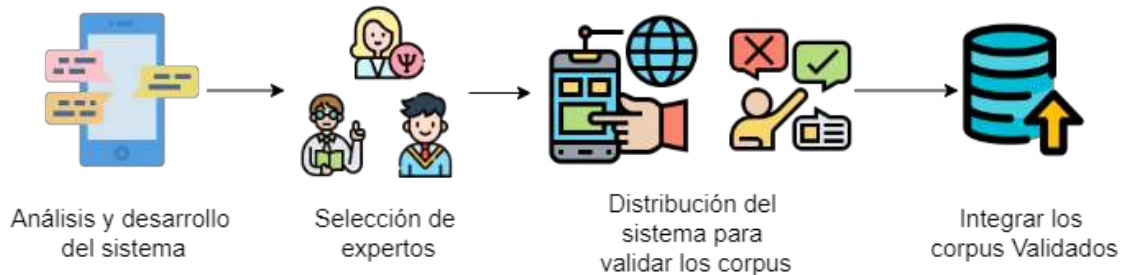


Figura 1. Metodología para validar los corpus EduSERE y SentiText por expertos

Análisis y desarrollo del sistema para el etiquetado de frases

El etiquetado manual de las frases contenidas en los corpus EduSERE y SentiText no es conveniente debido a los problemas generados por este proceso utilizado para la primera versión de ambos corpus; entre los problemas más importantes se pueden mencionar dos: 1) muchas frases fueron etiquetadas erróneamente, y 2) se consumió mucho tiempo asignando etiquetas a cada una de las frases. Para evitar estos problemas y cumplir con el objetivo de que expertos validaran los corpus EduSERE y SentiText, se propuso el desarrollo de un sistema computacional llamado Label, que, a través de una interfaz sencilla, permitiera a los usuarios fácilmente realizar el etiquetado de frases con polaridades y emociones centradas en el aprendizaje. Los usuarios del sistema serían aquellos expertos de psicología, pedagogía o computación que pudieran identificar emociones o polaridad en las frases contenidas en los corpus.

Con el fin de motivar la participación de los expertos, se decidió incluir algunas dinámicas de juegos en el sistema, asignando puntaje por cada frase etiquetada, así como trofeos al alcanzar un número de frases, entre otras. Los usuarios del sistema deberán proporcionar su información personal como son: correo electrónico, ocupación, edad y nombre completo para llevar un registro estadístico de los usuarios. Cada una de las frases etiquetadas a través del sistema queda registrada en el nuevo corpus etiquetado y validado por los expertos en una base de datos.

El sistema Label se diseñó usando la metodología QASAR [9], la cual genera diversos artefactos entre los que se encuentran el diagrama de contexto y el modelo arquitectónico entre otros.

La figura 2 muestra el diagrama de contexto de la aplicación Label. En este diagrama se observan los actores principales (usuarios) interactuar con el sistema de etiquetado de frases con polaridades o emociones centradas en el aprendizaje, con el fin de asignar a cada frase una etiqueta representando polaridad (positiva o negativa) para las frases del corpus SentiText o una emoción centrada en el aprendizaje (aburrido, frustrado o comprometido) para las frases del corpus EduSERE. El sistema obtiene las frases a etiquetar de una base de datos que contiene los corpus SentiText y EduSERE, además, almacena en otra base de datos todas las frases etiquetadas por los expertos.

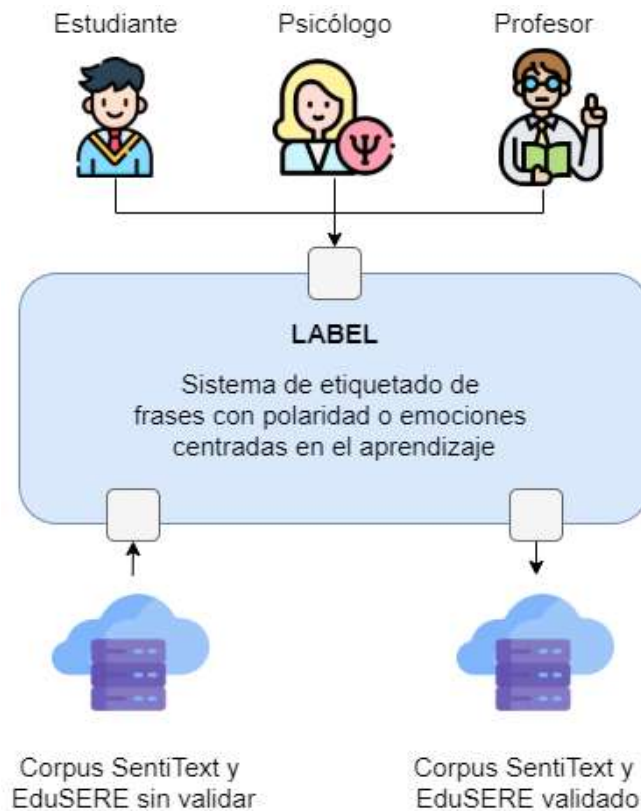


Figura 2. Diagrama de contexto para sistema de etiquetado de frases

La implementación del sistema se basó en los requerimientos funcionales y de calidad establecidos en la definición del problema. Considerando los requisitos del sistema se planeó el desarrollo de la aplicación móvil utilizando el marco de trabajo Scrum [10], siguiendo un proceso iterativo de desarrollo y entregas ágil, realizando pequeñas versiones funcionales e incrementales que fueran validadas y probadas antes de lanzar la versión final.

Para el modelo arquitectónico del sistema se seleccionó la arquitectura MVC equilibrada para desarrollar aplicaciones móviles basadas en servicios [11], adoptando 3 principios arquitectónicos, ser un cliente ligero, realizar el desarrollo en capas con el modelo-vista-controlador (MVC) y equilibrar las interacciones entre el cliente y el servidor. Esta arquitectura permite desarrollar una aplicación ligera y con menos consumo de recursos del dispositivo móvil, ya que se reparten las responsabilidades equilibradamente con el servidor; utilizando MVC es posible realizar una aplicación modular, escalable y con responsabilidades únicas, separando la manipulación de los datos, la lógica de negocios y la interacción del usuario con la interfaz gráfica de la aplicación.

La figura 3 muestra la arquitectura del sistema implementada para la aplicación móvil llamada Label. La arquitectura se divide en dos secciones importantes, el dispositivo móvil y el servidor que están unidas mediante la conexión a internet. La sección del dispositivo móvil se divide en 3 capas, la capa de presentación donde se encuentran todas las interfaces gráficas que se muestran al usuario, la capa de lógica de negocios, que administra el flujo de datos hacia la capa de presentación y las peticiones al servidor, y por último la capa de datos, que guarda en cache la información que se mostrará al usuario y los datos que modifica. En la sección del servidor se muestran los servicios alojados en la nube para el almacenamiento de los corpus no validados y los que serán validados.

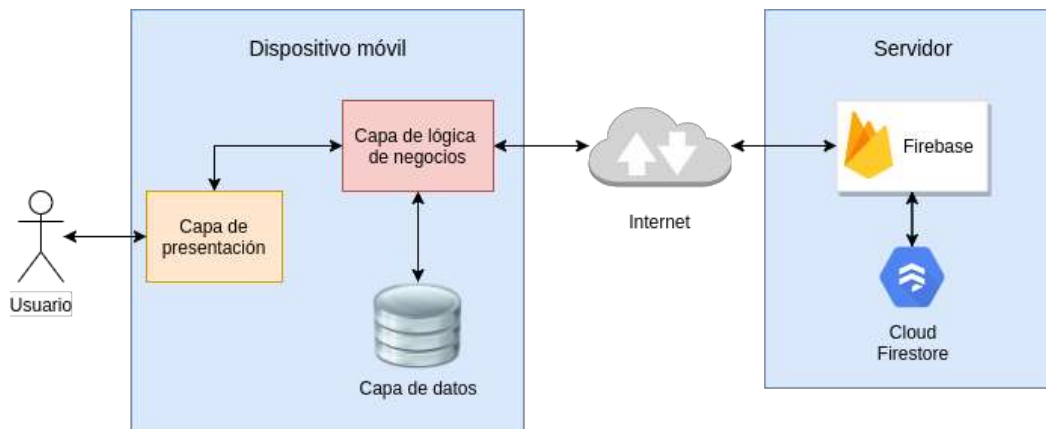


Figura 3. Arquitectura para aplicación móvil basada en servicio

La aplicación Label se desarrolló en pequeñas versiones funcionales que fueron probadas por diferentes usuarios. La primera versión funcional de la aplicación solo obtenía las frases de la base de datos y las mostraba aleatoriamente. Esta versión se distribuyó para prueba con un conjunto de 5 profesores del área de computación que proporcionaron retroalimentación a través de una entrevista directa. Se realizó un análisis cualitativo de la información de las entrevistas concluyendo que el etiquetado de muchas frases se tornaba demasiado tedioso y desmotivaba el uso de la app. Con el fin de incentivar a los usuarios a seguir usando la app, se decidió desarrollar una nueva versión agregando algunas dinámicas de gamificación como son la implementación de niveles y trofeos; consiguiendo de esta manera lograr captar más la atención del usuario y motivarlo a continuar con el etiquetado. Estas dos técnicas de gamificación permitieron que el usuario tenga un objetivo claro, además con el uso de niveles, el usuario se interesa más por terminarlos para alcanzar el objetivo. Otra técnica de gamificación que se integró a la app fue una tabla de puntuaciones donde aparecen los nombres de las personas que han etiquetado un mayor número de frases; esto sirvió como agradecimiento para las 10 personas con más frases etiquetadas y motivó la competitividad de los usuarios intentando sobresalir en la tabla de posiciones.

Selección de expertos para el etiquetado

Para la selección de los expertos para el etiquetado de las frases, se generó un catálogo de personas con antecedentes curriculares en el área de humanidades y pedagogía e interesadas en el tema de detección de emociones, así como profesores del área de computación. El catálogo se integró con psicólogos, así como también profesores que trabajan directamente con estudiantes y son capaces de detectar algunas emociones centradas en el aprendizaje, y por último estudiantes de nivel licenciatura en psicología que ya cuentan con un acercamiento a la detección de emociones. Todos los miembros del catálogo recibieron una invitación a participar en calidad de experto para etiquetar frases a través del sistema Label y 36 respondieron afirmativamente a la invitación proporcionando sus datos.

Distribución del sistema entre expertos para validar los corpus

Una vez terminada la versión final de la aplicación Label, ésta se distribuyó a los participantes mediante el servicio Firebase App Distribution. Este servicio facilita la creación y segmentación de grupos de personas que harán uso de la aplicación. Los participantes fueron agregados mediante su correo electrónico, donde recibieron un enlace para descargar e instalar la aplicación en sus dispositivos móviles. Para realizar la distribución se crearon 3 grupos de usuarios lo cuales se segmentaron de la siguiente forma: 15 Psicólogos, 6 profesores y 15 alumnos.

Integración de los corpus validados

El proceso de etiquetado de frases de los corpus SentiText y EduSERE es independiente para cada usuario. Al ingresar al sistema el usuario encuentra una interfaz que agrupa por niveles las frases

que serán etiquetadas y muestra en un color diferente aquellos niveles que se han completado. Cuando el usuario selecciona el nivel a etiquetar, el sistema presenta una interfaz con las frases y etiquetas que pueden ser usadas para cada una de ellas y que el usuario selecciona con un simple toque en la pantalla. Cada frase etiquetada por un experto es almacenada en una base de datos donde se integran los corpus validados.

PARTE EXPERIMENTAL

Label es una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android, la cual permite el registro y acceso mediante un inicio de sesión, ya sea con correo y contraseña o accediendo con una cuenta Gmail de Google. Una vez dentro, la aplicación presenta una serie de tutoriales para instruir a los usuarios cómo deben usarla. Después de terminar el tutorial la aplicación muestra las pantallas principales que se dividen en dos pestañas, una para ver los niveles en los que se ha avanzado en el etiquetado y otra para mostrar la tabla de puntuaciones de los usuarios con más frases etiquetadas.

Estas dos pestañas se muestran en los extremos de la figura 4. Estas pestañas junto con la acción mostrar remuneraciones por avanzar en el etiquetado de frases mediante trofeos (ver parte central de figura 4), se implementaron usando técnicas de gamificación con el fin de mantener al usuario enfocado y motivado para que no pierda el interés en participar en el etiquetado de frases.

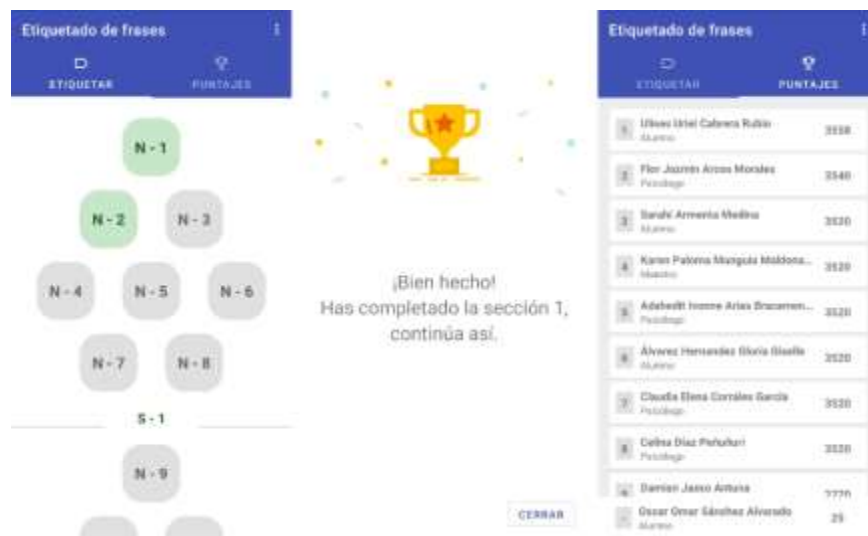


Figura 4. Interfaz gráfica principal de la aplicación Label y trofeo de técnicas de gamificación

Una vez que el usuario hace clic en un nivel, la aplicación muestra un listado de frases para etiquetar con polaridades (positivo y negativo) o emociones centradas en el aprendizaje (aburrido, frustrado y comprometido) donde el usuario debe elegir la etiquetas que, de acuerdo a su criterio, mejor concuerden con las frases del listado. Una vez que el usuario elige la opción finalizar, la aplicación guarda las frases validadas en un servicio de base de datos NoSQL en la nube llamada Cloud Firestore que simplifica el almacenamiento, la sincronización y la consulta de datos para dispositivos móviles [12]. La figura 5 muestra un ejemplo de los dos tipos de etiquetas polaridad o emoción centrada en el aprendizaje disponibles para cada frase que los usuarios etiquetan.



Figura 5. Interfaz gráfica de etiquetado de frases

Cada frase es etiquetada por varios usuarios y puede ser que las etiquetas asignadas no coincidan. Con el fin de que cada frase tenga solamente una etiqueta asignada, se desarrolló un algoritmo para elegir la mejor etiqueta que le corresponda a cada frase con etiquetas múltiples no coincidentes. El algoritmo define un puntaje dependiendo de los usuarios que etiquetaron la frase. Los usuarios con mayores conocimientos en el área de emociones y polaridades en frases como son los psicólogos reciben un mayor puntaje en su etiqueta, seguido de los profesores que tienen experiencia detectando emociones centradas en el aprendizaje y por último dejando con menor puntaje a los estudiantes que apoyaron en el etiquetado, ya que estos no cuentan con suficiente experiencia etiquetando polaridades y emociones. Usando el algoritmo de puntuación, se obtiene la sumatoria de todas las etiquetas asignadas por los expertos a cada frase y selecciona la etiqueta con mayor puntuación y se asigna a la frase de forma única y definitiva. La figura 6 muestra un ejemplo del algoritmo para asignar puntajes a las etiquetas y seleccionar la etiqueta definitiva de la frase.

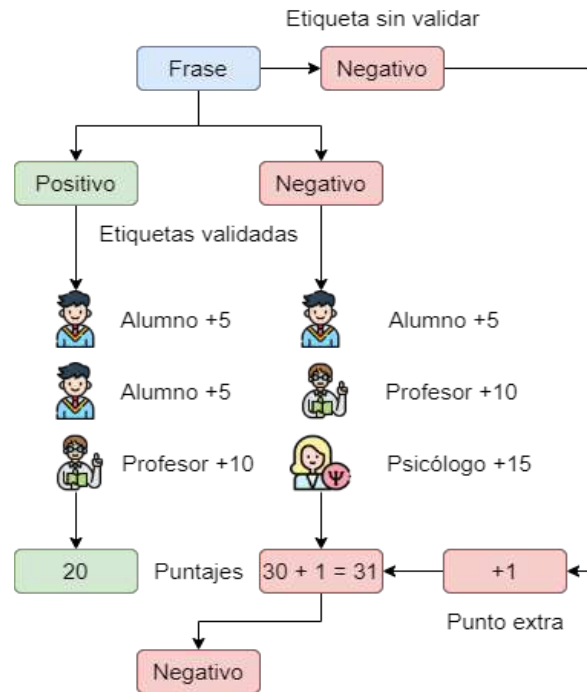


Figura 6. Algoritmo de puntaje para etiquetar frases

RESULTADOS

Una vez etiquetadas las frases con su respectiva polaridad o emoción centrada en el aprendizaje, se generaron dos archivos en formato CSV con los nuevos corpus validados. Para el corpus SentiText que originalmente contiene 24,543 frases, usando la aplicación Label se logró etiquetar un total de 5,290 frases, las cuales contienen una sola etiqueta validada por expertos. Para el corpus EduSERE que en total contiene 12,083 frases, los expertos usando la aplicación Label alcanzaron a etiquetar con emociones centradas en el aprendizaje un total de 4,136 frases. El total de frases etiquetadas por expertos para el corpus SentiText representa un 21.6% del total de frases con polaridad; por otra parte, los expertos etiquetaron un 34.2% de frases con emociones centradas en el aprendizaje contenidas en el corpus EduSERE.

La figura 7 muestra una gráfica con los porcentajes de frases etiquetadas en cada uno de los corpus.

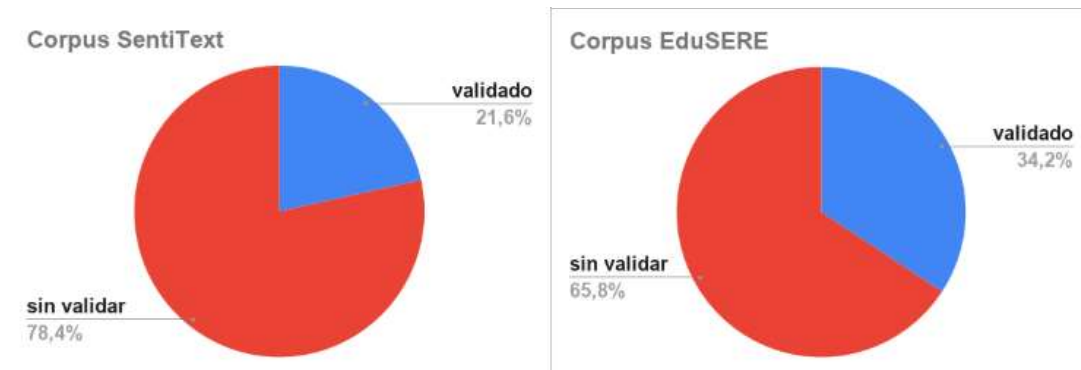


Figura 7. Porcentaje de frases etiquetadas por corpus.

Con el nuevo etiquetado de las 5,290 frases de SentiText, se obtuvieron 441 diferencias respecto al original representando aproximadamente un 8.3% de etiquetas diferentes. Las 4,136 nuevas

etiquetas para EduSERE contienen 972 diferencias representando un 23.5% de etiquetas diferentes con respecto al etiquetado original.

CONCLUSIONES

Los procesos de selección de expertos y distribución de la aplicación Label para etiquetado de frases fueron interrumpido en el mes de marzo 2020 debido a la contingencia sanitaria provocada por el virus SARS-CoV-2 causante de la enfermedad COVID-19, el cual ha afectado mundialmente a la población de todos los países debido a su alto grado de contagio, así mismo este virus ha sido la causa de más de 397,388 muertes a nivel mundial y 13,699 en México hasta el día 9 de junio de 2020.

A partir del desarrollo de la aplicación Label se logró etiquetar y validar un 21.6% del total del corpus SentiText y un 34.2% del corpus EduSERE, donde se obtuvieron diferencias de un 8.3% para SentiText y un 23.5% para EduSERE en las frases etiquetadas con respecto a los corpus originales, lo que significa que han sido cambiados a partir del etiquetado de los expertos y ofrece la posibilidad de que una vez etiquetándolos por completo puedan generar resultados diferentes en el entrenamiento de los clasificadores.

Como trabajo futuro se seguirá trabajando en buscar más expertos para seguir etiquetando y validando el corpus en su totalidad y así poder generar resultados más competitivos con los actuales clasificadores de emociones en texto.

BIBLIOGRAFÍA

1. D'Mello, S., Jackson, T., Craig, S., Morgan, B., Chipman, P., White, H., Person, N., Kort, B., El Kaliouby, R., Picard, R. W., & Graesser, A. (2008). AutoTutor detects and responds to learners affective and cognitive states. *IEEE Transactions on Education*, 48(4), 612-618
2. Zatarain Cabada, R., Barrón Estrada, M.L., Hernández, F.G., & Oramas Bustillos, R. (2015). Ambiente inteligente de aprendizaje con manejo afectivo para Java. *Research in Computer Science*, 92, 111-121.
3. Zatarain Cabada, R., Barrón Estrada, M. L., Ríos Félix, J. M., & Alor Hernández, G. (2018). A virtual environment for learning computer coding using gamification and emotion recognition, *Interactive Learning Environments*, DOI: 10
4. R. W. Picard, *Affective Computing*, MIT Press, 1997
5. Pekrun, R. (1992). The Impact of Emotions on Learning and Achievement: Towards a Theory of Cognitive/Motivational Mediators. *Applied Psychology*, 41(4), 359-376
6. Barrón Estrada, M. L., Zatarain Cabada, R., Oramas Bustillos, R., Graff, M. (2020). Opinion mining and emotion recognition applied to learning environments, *Expert Systems with Applications*, Volume 150
7. Oramas Bustillos, R., Zatarain Cabada, R., Barrón Estrada, M. L., & Hernández Pérez, Y. (2019). Opinion mining and emotion recognition in an intelligent learning environment. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(1), 90-101
8. Ramírez Ávila, S. L. (2018). Generación de un corpus de frases relacionadas con el aprendizaje para el análisis de sentimientos. Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación. Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Culiacán
9. Bosch, J. (2000). *Design and Use of Software Architectures: Adopting and Evolving a Product-Line Approach* (1.a ed.). Addison-Wesley Professional.
10. McKenna, D., & McKenna, D. (2016). The Scrum Framework. *The Art of Scrum*, 27-34.
11. La, H. J., & Kim, S. D. (2010). Balanced MVC architecture for developing Service-based Mobile Applications. *Proceedings - IEEE International Conference on E-Business Engineering, ICEBE 2010*, 292-299
12. Google Cloud. (2020). Obtenido de <https://cloud.google.com/firestore>

OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PROTEÍNA HIDROLIZADA A PARTIR DE LA RASPA RESIDUAL DEL PROCESO DE CURTIDO DE PIELS

Estefany Abigail Garduño Cruces¹, Javier Antonio Arcibar Orozco²

¹Universidad De la Salle Bajío, ²Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas.
stefygard@gmail.com; jarcibar@ciatec.mx

RESUMEN

León, Guanajuato es reconocido a nivel nacional por la calidad en la curtiduría, generando hasta el 86 % del P.I.B. estatal. Los residuos derivados de cuero curtido conteniendo sales de cromo(III), tienen un potencial peligroso si son manejados inadecuadamente ya que pueden oxidarse a cromo(VI) el cual es tóxico para los seres vivos y un comprobado carcinogénico. Con el objetivo de contribuir en la sostenibilidad del proceso de curtido, se diseñan procesos para aprovechar sus residuos y convertirlos en productos de valor agregado. Se propone la extracción de cromo mediante una hidrólisis básica con agentes complejantes. La extracción es una hidrólisis de material proteínico proveniente de las fibras colagénicas de raspa. La presente investigación determina la concentración de colágeno hidrolizado. La raspa se obtuvo de una tenería local, fue acondicionada para el proceso de extracción. Se probaron 8 condiciones de hidrólisis a base de $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ y NaOH por 24 h, 25 °C y 250 rpm, seguida de una precipitación química con HCl 1.0M para separar el cromo en forma de sales y un proceso de filtración. Se obtuvo producto proteico sólido y proteína hidrolizada líquida. El análisis de muestra sólida con FT-IR presentó enlaces de vibración entre 1500 a 1850 cm^{-1} . En las proteínas, el grupo amida ($\text{C}=\text{O}$) aparece alrededor de 1650 cm^{-1} . El método de Bradford proporcionó concentraciones de proteína hidrolizada en producto líquido por condición evaluada: 69.80 g/L (NaOH 1.0M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 2.5M), 61.10 g/L (NaOH 0.1M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 2.5M), 30.95 g/L (NaOH 0.05M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 0.5M) y 10 g/L (NaOH 0.8M), 4.7 g/L (NaOH 1.7 M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 1.5 M), 1.0 g/L (NaOH 0.5M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 3.1M), 0.0 (NaOH 0.17M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 1.5 M), 0.0 (NaOH 5 M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 3.1 M). Aplicando cromatografía iónica con detector electroquímico *Gold AAA aminoacids* se obtuvieron las concentraciones de aminoácidos predominantes: aspartato 0.315 g/L, glutamato 1.314 g/L, tirosina 1.187 g/L (NaOH 1.0M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 2.5M); aspartato 0.28 g/L, glutamato 0.67 g/L, tirosina 1.0 g/L (NaOH 0.1M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 2.5M); aspartato 0.16 g/L, glutamato 1.44 g/L, tirosina 0.02 g/L (NaOH 0.05M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 0.5M); aspartato 0.22 g/L, glutamato 0.70 g/L, tirosina 2.40 g/L (NaOH 0.8M); aspartato 1.15 g/L, tirosina 0.69 g/L (NaOH 1.7 M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 1.5 M); aspartato 0.28 g/L, glutamato 0.78 g/L (NaOH 0.5M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 3.1M); aspartato 0.37 g/L, glutamato 0.93 g/L, tirosina 2.72 g/L (NaOH 0.17M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 1.5 M); y aspartato 0.31 g/L, glutamato 0.09 g/L, tirosina 0.70 g/L (NaOH 5 M / $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ 3.1 M). Tienen potencial para aplicarse en la industria cosmética y agrícola. El presente demuestra que es posible extraer cromo para su revalorización y la proteína hidrolizada se encuentra principalmente como aminoácidos, los cuales tienen un valor comercial importante.

INTRODUCCIÓN

Se identifica con el nombre de raspa a los sólidos generados en la etapa de raspado o rebajado de cuero [1]. El componente aprovechable de la raspa de cuero, en esta investigación, es la parte proteínica en la cual se encuentra el colágeno y cuya obtención se destinaría a otros sectores industriales como el cosmético y el agrícola. Investigaciones consultadas reportan el tratamiento de extracción de proteína hidrolizada llevando a cabo la hidrólisis alcalina seguida de hidrólisis ácida con residuos del curtido [2], donde se analiza la variación de concentración de NaOH , demostrando que es el factor más influyente en la disolución de cromo en la hidrólisis alcalina [3]. Se decide utilizar el reactivo NaOH , acompañado de un asistente de hidrólisis: $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ (tartrato de potasio). El $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ no rompe por sí sólo los enlaces cromo-colágeno, sin embargo, este ligando juega varios papeles importantes los cuales son [4]: 1) Agente estabilizante del cromo, 2) Agente promotor que incrementa la extracción del cromo y 3) Agente protector para la estructura fibrosa de la matriz orgánica proteica.

TEORÍA

Se ha cuantificado que de una tonelada de piel salada se obtienen alrededor de 200 kg de piel curtida y más de 600 kg de productos sólidos de desecho y subproductos [1,4]. Es decir, entre el 40 y 50% de las pieles y cueros es desechado en la operación de raspado o rebajado, s [1,4]. La raspa representa un 75% de los desechos sólidos que contienen cromo y normalmente termina depositado en tiraderos. Ésta se caracteriza por presentar un 47.25% de humedad, 14.92% de nitrógeno, 82.82% de proteínas, 3.77% de óxido de cromo, 9.12% de cenizas totales y 2.27% de grasas extraíbles [5].

Las proteínas están constituidas por largas cadenas de aminoácidos, que a su vez están constituidos por un grupo amino, grupo carboxilo, un hidrógeno y una cadena ramificada unidos a un carbono quiral. Un aminoácido es la unidad estructural de las proteínas y se compone de un grupo carboxilo, un grupo amino, una cadena ramificada y un hidrógeno. Los aminoácidos se unen formando cadenas peptídicas que pueden ser oligopéptidos, constituidos de 2 a 10 aminoácidos y polipéptidos, de 10 a 50 aminoácidos, a su vez, las proteínas contienen más de 50 aminoácidos en cadena [6].

El colágeno es un tipo de proteína fibrosa formada por tres cadenas polipeptídicas (1000 aminoácidos por cadena) en triple hélice. Es una de las estructuras proteicas más abundantes en todos los animales. Existen 28 tipos de colágeno detectados en animales vertebrados, los cuales están compuestos por al menos 46 cadenas de polipéptidos identificados [7]. La cadena de triple hélice presenta al menos 1400 aminoácidos, de los cuales la glicina (Gly) corresponde aproximadamente un 33%. La Imagen 1 muestra una descripción detallada de su composición. El resto son otro tipo de aminoácidos entre los que destacan la hidroxiprolina e hidroxilisina, que son únicos para el colágeno [7].

La hidrólisis se refiere a la disociación de una sal en agua, es decir, los iones que la conforman interactúan con el agua liberándose de la molécula de origen (las sales) aumentando así la concentración de iones hidroxilo (OH^-). Si se trata de la disociación de una base en agua, el pH es mayor a 7. En contraste, si se disocia un ácido en agua, el pH es menor a 7. Se identifican dos tipos de hidrólisis según sea el tipo de ion que interactúa con el agua: hidrólisis ácida, cuando interactúan cationes, y la hidrólisis alcalina cuando interactúan aniones.

La presencia de complejos de colágeno-cromo en la raspa residual del cuero se deriva por el tratamiento mismo de curtido, con sales de cromo [8]. Debido a que se ajusta a un pH ácido en el proceso de piquelado, los poros de la piel se abren haciendo que el cromo logre adentrarse a la estructura del colágeno y otorgarle las propiedades de durabilidad. El cromo reacciona con el colágeno de la piel a través de los iones hidrógeno (H^+) del colágeno protonado y el grupo oxidrilo (OH^-) de la sal básica del cromo lo cual provoca que se combine con grupos funcionales de al menos dos de las tres cadenas polipeptídicas que conforman el colágeno [8].

En la reacción de hidrólisis se necesita utilizar un agente extrayente fuerte para poder separar las cadenas peptídicas del colágeno de la raspa unido al cromo presente como complejo. El agente extrayente en la hidrólisis de proteína se compone de dos sustancias: tartrato de potasio ($\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$) e hidróxido de sodio (NaOH). El $\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$ es seleccionado ya que tiene la función de generar compuestos quelantes al interactuar con el cromo, es decir, produce un compuesto estable por la formación de anillos con un solo átomo metálico el cuál es sencillo de separar una vez terminado el proceso de hidrólisis. Los iones metálicos se comparan con los iones de hidrógeno libres como catalizadores de la hidrólisis de diversos compuestos orgánicos. Los quelatos se forman entre el ion metálico y el compuesto que sufre el cambio químico, o con el oligoelemento transportado (en este caso el cromo(III)) por el agente quelante (el tartrato de potasio) [9]. La selección del NaOH es que, como un agente alcalino fuerte, genera una hidrólisis a pH entre 11 a 13, lo cual es ventajoso ya que obtiene óxido de cromo (III) en el precipitado y facilita la separación de materia proteica hidrolizada en el filtrado líquido [9,10].

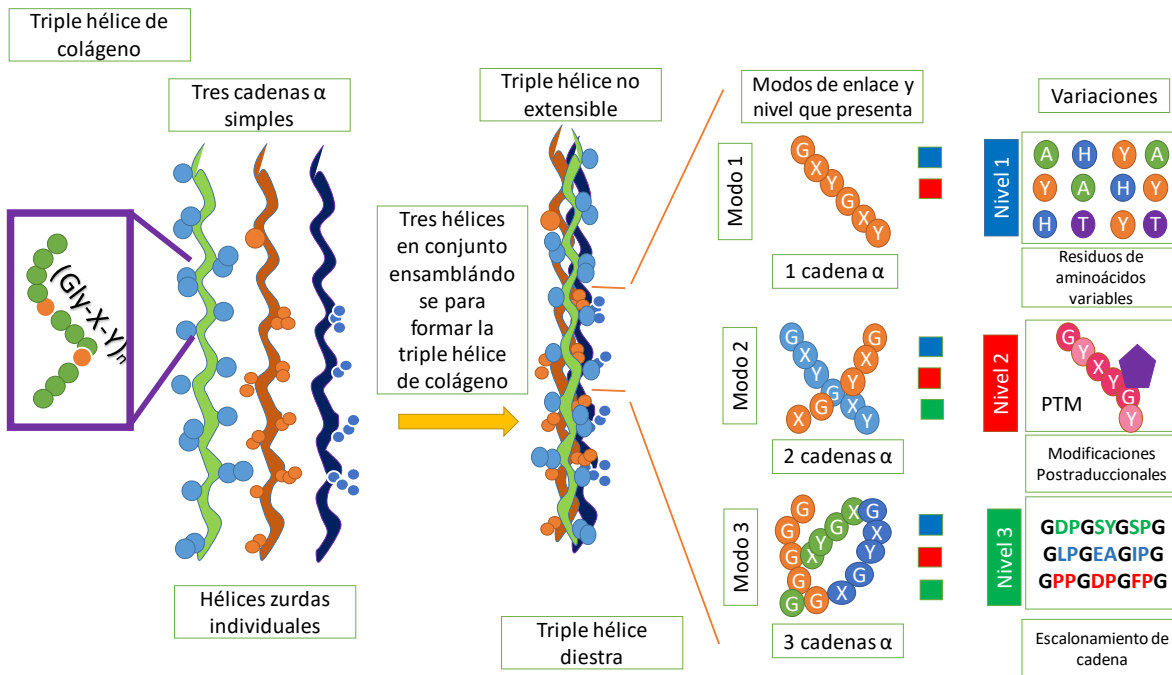


Imagen 1. Tres hélices zurdas iniciales (cadenas α) se unen y ensamblan fuertemente debido a los residuos de aminoácidos de glicina (Gly), formando una hélice diestra. Al asociarse, se reestablece la no extensibilidad de la estructura y la combinación de las tres cadenas individuales (cadenas α) se puede dar en tres modos de enlace (una, dos o tres cadenas) con tres niveles de variación de estos modos de enlace. Nivel 1: 20 tipos de aminoácidos en combinación variable; nivel 2: modificaciones postraduccionales (PTM por sus siglas en inglés), y nivel 3: escalonamiento de las cadenas en triple unión. Estas cadenas unidas especifican los diversos modos de enlace posibles que toman lugar a lo largo de la cadena de triple hélice en cualquiera de los 28 tipos de colágeno para unir varias macromoléculas [7,8,10].

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Inicialmente, se recibió la raspa nativa aplicando pruebas de porcentaje humedad de la raspa recién recolectada por triplicado tomando muestras de raspa nativa con masa de entre 1 y 2 gramos. Se evaluó el porcentaje de humedad teniendo en promedio 55.69%.

Se realizaron 5 lavados de 40 g de raspa con un litro de agua de la llave (tres veces) y 1 litro de agua desionizada (2 veces). Se filtró al vacío la raspa lavada en el matraz kitazato colocando el embudo de Buchner con un papel filtro dentro para poder vaciar la raspa lavada. Se separó en charolas de aluminio y se sometió a secado en estufa de calentamiento a 80 – 85 °C durante 48 h. La raspa seca se molió en mortero y se tamizó. El tamaño de partícula utilizado fue de 500 μm . La raspa tamizada se somete a secado nuevamente por 60 minutos a 80 °C.

Cada una de las condiciones de concentración de agente extrayente para las diferentes reacciones de hidrólisis, se llevaron a cabo de la siguiente manera: se añadieron 5 g de raspa seca con tamaño de partícula de 500 μm a un vaso de precipitado de 250 ml. Después se vació la dilución con volumen de 100 ml de la concentración seleccionada del agente extrayente. Se colocó un agitador magnético para dejar la reacción en parrilla de agitación por un periodo de 24 horas, 250 rpm a temperatura ambiente. Al finalizar cada reacción, se neutralizó la reacción a pH 8 con HCl 1.0 M y se procedió a la filtración por gravedad, para separar el producto líquido del sólido.

Tabla 1. La extracción de proteína hidrolizada conlleva 8 condiciones de agente extrayente de NaOH y $KC_4H_5O_6$.

Condición	NaOH (M)	$KC_4H_5O_6$ (M)
C1	0.8	-
C2	0.17	1.5
C3	0.1	2.5
C4	0.5	3.1
C5	0.05	0.5
C6	1.7	1.5
C7	1	2.5
C8	5	3.1

El producto sólido, “pastel de cromo”, fue sometido a secado a 85 °C por 24 h. El producto líquido se sometió a hidrólisis ácida cuidando que el pH se mantenga en 4, se filtró en el sistema *Millipore* usando membrana de 0.45 μm con el fin de separar las sales de cromo formadas en el licor proteico después de la hidrólisis ácida cuyo peso molecular mayor hace que precipiten en el fondo de los tubos de ensaye. Se utiliza un sistema de filtración *Millipore* hasta obtener solución cristalina.



Imagen 2. Hidrólisis ácida con HCl 1.0 M de licor proteico seguida de un proceso de filtración en *Millipore*. En la membrana de 0.4 μm se quedan atrapados los compuestos y sales de cromo, por lo que una vez filtrado, el líquido se va volviendo transparente y cristalino.

Cada producto líquido obtenido en diferente condición de concentraciones de NaOH / $KC_4H_5O_6$ para reacción de hidrólisis, fue evaluado por método de Bradford utilizando el espectrofotómetro UV-VIS para cuantificar la concentración de proteína diluida. Se utilizó el reactivo de Bradford Protein Assay, Bio-Rad, cat.: 500-0006 y albúmina sérica bovina (ASB) 22%. Se elaboró una curva estándar de proteína preparando el stock de albúmina en una concentración de 1 mg/ml (1 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). En cuanto al producto líquido, éste fue sometido a proceso de secado por 24 h, pulverizado en mortero normal y mortero de Ágata para obtener materia particulada y evaluar estructura en Espectrofotometría Infrarrojo. Se procedió a realizar diluciones 1:10 de cada producto líquido obtenido para la separación y cuantificación de aminoácidos presentes mediante cromatografía de intercambio iónico (columna Dionex Amino Pac PA10 (4X250 mm), eluentes agua tipo I, NaOH 0.25 M y NaAce (acetato de sodio) 1.0 M). En seguida, se cuantificó la cantidad de cromo diluido en cada uno de los hidrolizados líquidos mismos. Se inició con una digestión de 10 ml de cada muestra con ácido clorhídrico (HCl) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado en una proporción 5:1, dejándose en calentamiento entre 80 a 90 °C terminando digestión al bullir la solución. Finalmente, se realizaron diluciones 1:10 de producto líquido digerido para evaluarlos en el equipo de espectroscopía de absorción atómica.

RESULTADOS

La imagen 3 muestra las operaciones realizadas para el proceso de extracción de proteína hidrolizada de la raspa de cuero. Al momento de hacer reaccionar la raspa con una solución extrayente de NaOH/KC₄H₅O₆, se provoca un incremento de pH haciendo el medio alcalino, facilitando el rompimiento del colágeno. Tal como se muestra en la Imagen 4, la extracción del cromo por hidrólisis se puede plantear en dos fases:

- a) Fase 1: Los grupos hidroxilo y agua dan comienzo a la desestabilización de los enlaces químicos del complejo cromo-colágeno. Inicialmente ocurren ataques nucleofílicos (el elemento metálico es ácido, ocurre cuando el complejo es catiónico) provocados por los ligandos hidroxilo (OH⁻), sobre los átomos de cromo, seguido de ataques electrofílicos (ocurre una vez que el complejo es aniónico) por ligandos de agua (H₂O) sobre los puentes de oxígeno [11,12].
- b) Fase 2: Los ligandos de KC₄H₅O₆ reaccionan con los átomos de cromo, causando su enmascaramiento (complejación) de cromo. Ésta interacción química evita la precipitación del cromo dentro de la matriz orgánica de los residuos de raspa promoviendo su difusión en la reacción de hidrólisis por la formación del compuesto adicional cromo-tartrato [11,12].

Los enlaces covalentes no peptídicos son los primeros en romperse, despolimerizando las multicadenas de la piel que queda en la raspa, posteriormente se rompen los enlaces peptídicos y finalmente los enlaces que dan lugar a los aminoácidos presentes en la triple hélice [13]. Involucra el romper los enlaces responsables de la estabilidad del cuero colágeno-cromo que son:

- a) Enlaces nativos cruzados, enlaces covalentes formados por un grupo carboxilo (aldehído) de la lisina y un grupo amino de la hidroxilisina de otra fibra que otorga elasticidad al colágeno [14].
- b) Enlaces colágeno-cromo, los cuales son resultado de enlaces covalentes entre el ion de cromo en complejo (complejo de cromo) y grupos carboxilo ionizados del ácido aspártico y ácido glutámico entre las cadenas del colágeno [2,14, 15].

Parte de los iones de cromo del complejo: colágeno-Cr quedan disponibles para ser intercambiados con los grupos oxhidrilo del agente hidrolizante y formar sales y óxidos de cromo [15,16]. La reacción de los complejos con NaOH produce Cr(OH)₃ de baja solubilidad, que junto con el uso de tartrato de potasio previene la formación de sólidos, provocando así que el ion simple Cr(III) precipite y se remueva fácilmente de la solución acuosa. Se ha reportado que hay un máximo de recuperación de cromo a pH 8 y NaOH como agente precipitante [15,16], El producto líquido, separado por filtración por gravedad, es rico en aminoácidos, pero también aún presenta cromo disuelto. Se ha reportado que, para poder separar la fracción de cromo diluida del colágeno hidrolizado, se puede aplicar hidrólisis ácida que a su vez favorece la precipitación ácida del cromo [10,13,15]. El uso de ácidos para provocar una hidrólisis adicional de productos hidrolizados alcalinamente genera la obtención de productos proteicos de bajo peso molecular [13,15], ya sea cadenas peptídicas o aminoácidos. Se provocó una hidrólisis ácida con HCl 1.0 M a pH 4 las muestras se dejaron reposar entre 12 a 24 h en cuarto frío, posteriormente se observaron partículas de cromo. En base a análisis FT-IR descritos más adelante, el sólido se compone de una mezcla de Cr(OH)₃(hidróxido de cromo (III)) y CrCl₂ (cloruro de cromo (II)) [15,16]. Con esto se observaba más cristalinidad en la muestra líquida. Entre más cristalina esté la solución con contenido proteico, indica que la presencia de sales de cromo es menor.

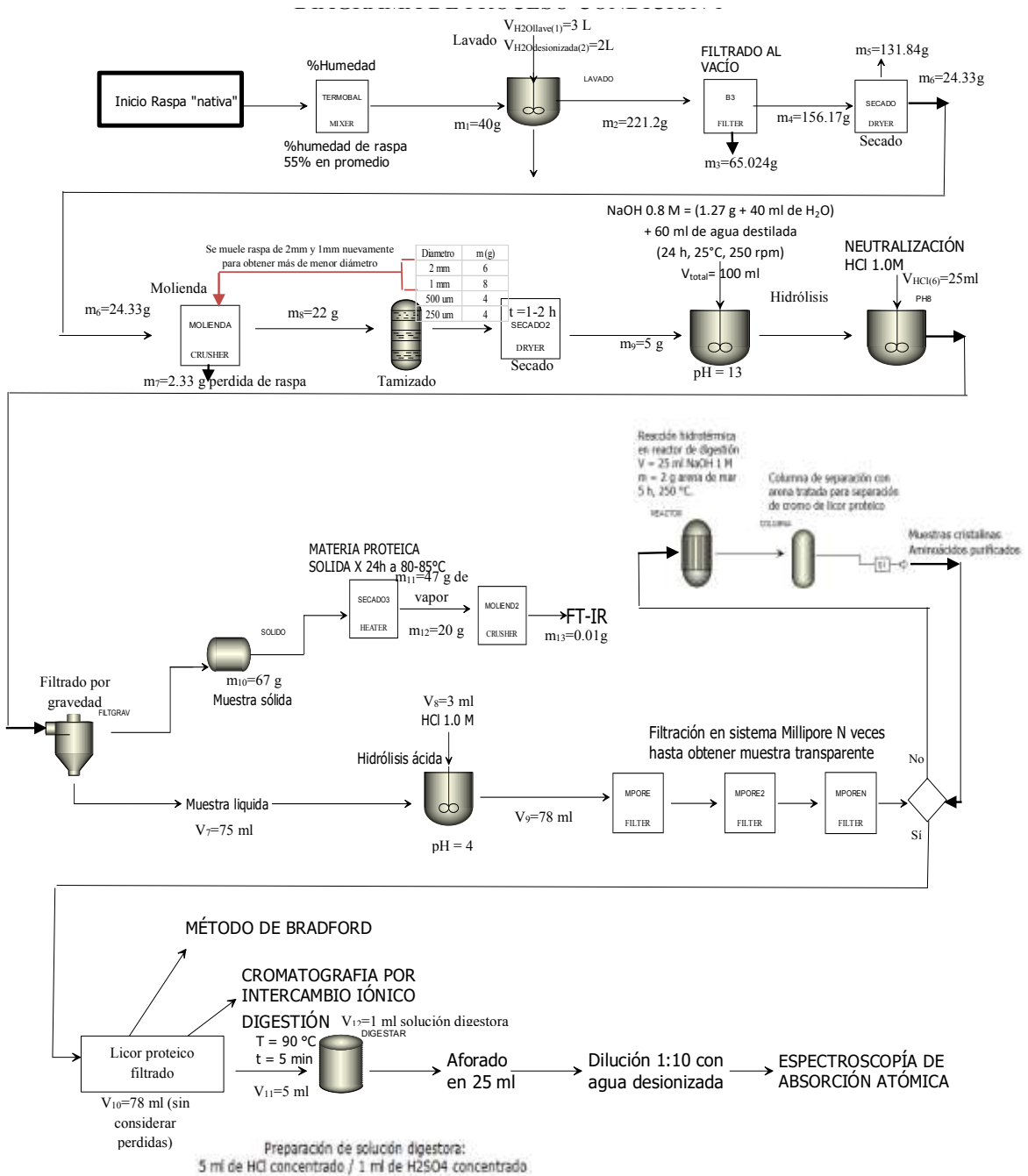


Imagen 3. El diagrama de proceso aplicado en esta investigación abarca las siguientes operaciones: obtención de raspa de cuero, porcentaje de humedad de la raspa nativa, lavados, filtración al vacío, secado, molienda, tamizado, reacción de hidrolisis, neutralización de la reacción de hidrólisis a base de NaOH y $KC_4H_5O_6$, filtración por gravedad, secado de producto sólido filtrado, hidrólisis ácida de producto líquido, filtración al vacío de producto líquido, cuantificación de proteínas del producto líquido, cromatografía de intercambio iónico, digestión de muestras con HCl y H_2SO_4 , lectura en espectroscopio de adsorción atómica para cuantificación de cromo.

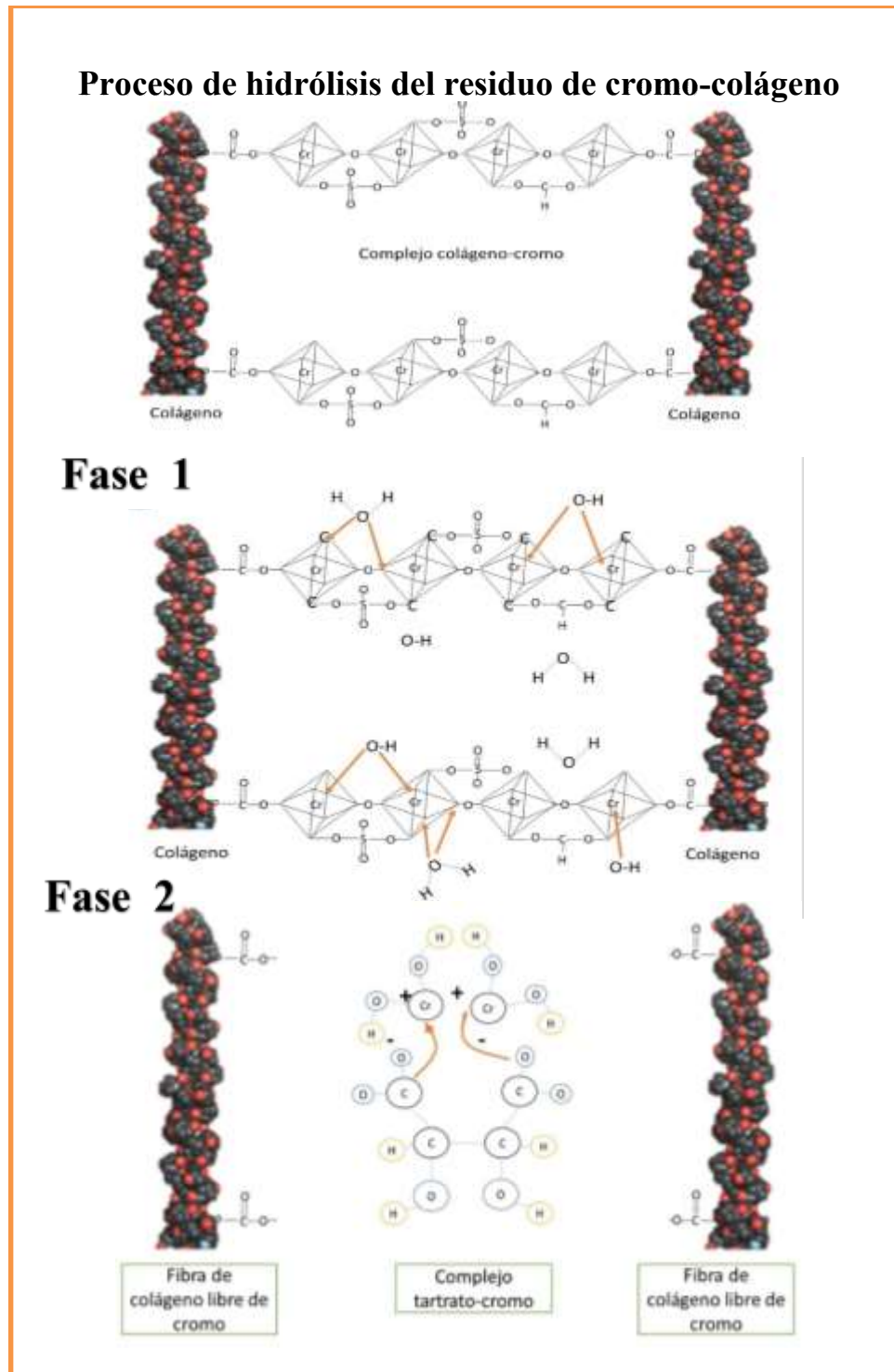


Imagen 4. Mecanismo de acción de la reacción de hidrólisis a base de NaOH y $KC_4H_5O_6$ [2,4,16].

Tabla 2. Separación de aminoácidos hidrolizados en las 8 condiciones de hidrólisis. Se señala el tiempo de retención para cada uno de los aminoácidos por reacción, así como la concentración en solución 1:10 de hidrólisis. A cada aminoácido le fue asignado un número para su identificación.

Condición de hidrólisis	Aminoácidos	[g/L]	Condición de hidrólisis	Aminoácidos	[g/L]
1	Asp (1)	0.225	5	Asp (1)	0.164
1	Cis (2)	0.018	5	Cis (2)	0.000
1	Glu (3)	0.704	5	Glu (3)	1.444
1	Hys (4)	0.018	5	Hys (4)	0.010
1	Met (5)	0.006	5	Met (5)	0.005
1	Tyr (6)	2.401	5	Tyr (6)	0.029
2	Asp (1)	0.377	6	Asp (1)	0.000
2	Cis (2)	0.039	6	Cis (2)	0.003
2	Glu (3)	0.933	6	Glu(3)	1.156
2	Hys (4)	0.003	6	Hys (4)	0.135
2	Met (5)	0.006	6	Met (5)	0.006
2	Tyr (6)	2.725	6	Tyr (6)	0.698
3	Asp (1)	0.289	7	Asp (1)	0.316
3	Cis (2)	0.000	7	Cis (2)	0.001
3	Glu (3)	0.667	7	Glu (3)	1.314
3	Hys (4)	0.138	7	Hys (4)	0.008
3	Met (5)	0.006	7	Met (5)	0.006
3	Tyr (6)	1.000	7	Tyr (6)	1.188
4	Asp (1)	0.288	8	Asp (1)	0.316
4	Cis (2)	0.000	8	Cis (2)	0.000
4	Glu (3)	0.788	8	Glu (3)	0.092
4	Hys (4)	0.074	8	Hys (4)	0.009
4	Met (5)	0.006	8	Met (5)	0.006
4	Tyr (6)	0.000	8	Tyr (6)	0.704

Al producto líquido, obtenida de la operación de filtración con *Millipore* mostrado en la Imagen 3, le fue cuantificada la concentración de aminoácidos hidrolizados en cada condición de reacción de hidrólisis por método de Bradford. Se realiza un análisis con un diagrama de Pareto para determinar que condición es la que genera un mayor rendimiento en la concentración de proteína hidrolizada (Imagen 5A) donde se visualiza que la condición 7 presenta la mayor concentración de proteína hidrolizada con 69.80 g/L (NaOH 1.0M / $KC_4H_5O_6$ 2.5M), seguida de la condición 3 con 61.10 g/L (NaOH 0.1M / $KC_4H_5O_6$ 2.5M). El resto de las condiciones son 30.95 g/L (NaOH 0.05M / $KC_4H_5O_6$ 0.5M), 10 g/L (NaOH 0.8M), 4.7 g/L (NaOH 1.7 M / $KC_4H_5O_6$ 1.5 M), 1.0 g/L (NaOH 0.5M / $KC_4H_5O_6$ 3.1M), -4.0 (NaOH 0.17M / $KC_4H_5O_6$ 1.5 M), -4.0 (NaOH 5 M / $KC_4H_5O_6$ 3.1 M). La condición 7 contenía NaOH 1.0 M / $KC_4H_5O_6$ 2.5 M, por tanto, en base a estudios previos [10,16], es posible que las proporciones de tartrato de potasio e hidróxido de sodio utilizadas hayan favorecido en la recuperación de proteína hidrolizada, esto debido a que, el tartrato, por estar en mayor proporción, incrementa la protección de la estructura fibrosa de la matriz orgánica proteica [10,16] promoviendo, al mismo tiempo, la extracción de cromo en conjunto con el hidróxido de sodio que es el agente extrayente [7,13, 16]. Por cromatografía por intercambio iónico fueron identificados en todas las muestras los aminoácidos aspartato (Asp), cisteína (Cys), glutamato (Glu), histidina (His), metionina (Met) y tirosina (Tyr) con diferente concentración. La Tabla 1 presenta las concentraciones y tiempos

de retención para cada uno de los aminoácidos separados en la columna. Los tiempos de retención coinciden a lo largo del análisis de las variaciones realizadas por lo que se confirma la presencia de los aminoácidos cuantificados a diferentes condiciones de hidrólisis [17, 18], aunque a diferentes rendimientos. La Tabla 2 presenta los cromatogramas obtenidos tanto de las soluciones estándar como para dos de los aminoácidos de mayor presencia en las soluciones de hidrolizados. Las diluciones realizadas para lectura en cromatógrafo fueron de 1:10. Se detectó la presencia de aminoácidos como arginina, triptófano, fenilalanina, entre otros, sin embargo, no se otorgó una lectura de concentración por parte del cromatograma para poderlos considerar, probablemente debido a ser muy reducida para su determinación por lo que se evalúa el rendimiento en concentración solo de los aminoácidos detectados.

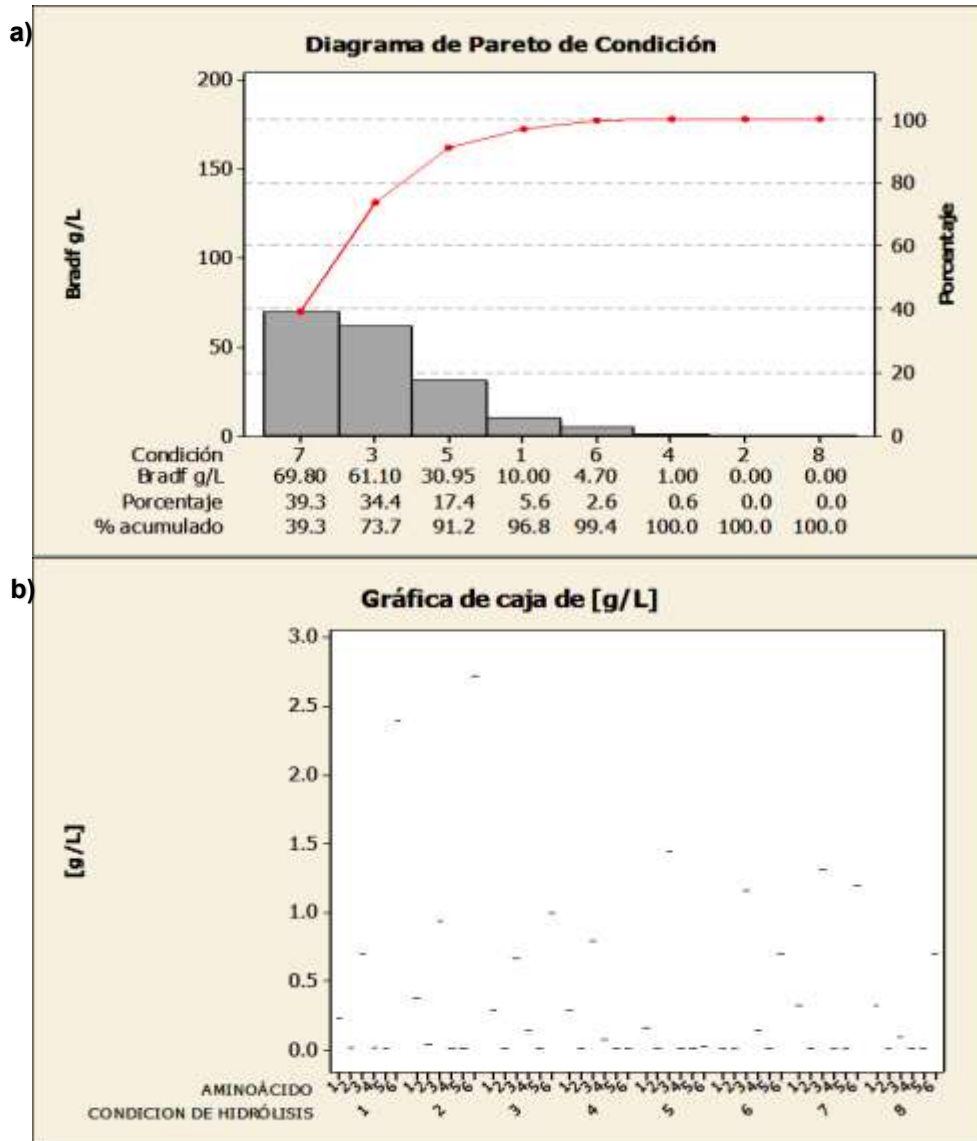


Imagen 5. A) Diagrama de Pareto para evaluación por condición de hidrólisis determinando la concentración de proteína en cada una de manera global sin discriminar por tipos de aminoácidos. B) Gráfica de cajas. Se indica cuáles fueron los aminoácidos de mayor concentración separados en la columna de cromatografía de intercambio iónico por condición de hidrólisis de NaOH/KC₄H₅O₆. Asp (1), Cys (2), Glu (3), His (4), Met (5) y Tyr (6)

En la Imagen 5B, se describe que los aminoácidos aspartato, glutamato y tirosina fueron los predominantes. Se aprecia que los aminoácidos representativos en cada reacción son: Condición 1: aspartato 0.2248 g/L, glutamato 0.70391 g/L, tirosina 2.4008 g/L. Condición 2: aspartato 0.3774 g/L, glutamato 0.9328 g/L y tirosina 2.7248 g/L. Condición 3: aspartato 0.2888 g/L, glutamato 0.6668 g/L y tirosina 1.0 g/L. Condición 7: aspartato 0.31567 g/L, glutamato 1.3141 g/L y tirosina 1.1877 g/L. La concentración de cada uno de estos aminoácidos se ve influenciada por las hidrólisis desempeñadas. En el caso de la hidrólisis alcalina, puede desnaturalizar los aminoácidos serina y treonina. En cuanto a la hidrólisis ácida a base de ácido clorhídrico puede desnaturalizar aminoácidos como el triptófano y cisteína [17, 18].

La evaluación de composición del producto sólido filtrado se realizó utilizando el espectrofotometría de Infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR) en un intervalo de 4000 a 500 cm^{-1} , es decir, un nivel medio de infrarrojo (Mid-IR). Se determinó que la mayor cantidad de cromo queda atrapado en la materia sólida o “pastel de cromo” como se reporta en otros estudios realizados, presentándose a manera de Cr_2O_3 , $\text{Cr}(\text{OH})_3$ y complejo cromo-tartrato. A pesar de que debe encontrarse una mayor cantidad de cromo, también habrá presencia de materia proteica, pero en una concentración menor [17, 19].

Se realizan lecturas de las condiciones en donde se tuvo mayor retención de cromo en la materia sólida, “pastel de cromo”, al momento de realizar filtración por gravedad para separación de producto líquido. Una vez que se ha secado por 24 h entre 85 y 90°C, se pulveriza para obtener una mínima cantidad, la cual es colocada en el lector del espectrofotómetro infrarrojo para determinar la estructura molecular [20, 21,22]. Se procede a presentar un análisis en la Tabla 3 y los posibles compuestos que el espectro infrarrojo detectó sobre el producto sólido de hidrólisis de proteína para las últimas condiciones, donde se comparan las atribuciones espectrales de número de onda ($1/\text{cm}$) y tipo de vibración registradas con las obtenidas en la experimentación, así como el tipo de compuesto que está presente en el compuesto sólido filtrado. Las comparaciones que se presentan a continuación se realizan tomando de referencia los trabajos [23, 24, 25]. Se presentan vibraciones de tipo ν (vibración de tensión o estiramiento), ν_s (vibración simétrica) y δ (vibración de deformación en el plano). Los espectros de las muestras sólidas en las condiciones 6, 7 y 8 de la Imagen 6 se atribuyen a los enlaces químicos presentes de restos de cadenas polipeptídicas, peptídicas y aminoácidos, así como compuestos de cromo derivados de la hidrólisis, los cuales, se encuentran en mayor proporción por el color verde-azul característico del “pastel de cromo” filtrado. El intervalo de 3450-3300 cm^{-1} indica la presencia de grupos $-\text{OH}$ parcialmente asimétricos [23]. Este rango se encuentra en todos los productos sólidos hidrolizados [23]. Conforme a la investigación [23,25], el intervalo 2500-2000 cm^{-1} indica la presencia de vibraciones de estiramiento que pueden corresponder a los átomos de carbono, nitrógeno, oxígeno y azufre. Hay gran posibilidad de que este rango se encuentre en todos los productos sólidos hidrolizados debido a la materia orgánica hidrolizada y acumulada por la raspa al pasar por hidrólisis. El intervalo de número de onda de 1650 a 1550 cm^{-1} representa una degradación relativamente avanzada de péptidos básicos [23,25]. Los números de onda por debajo de 962 cm^{-1} representa la presencia de cromo en la materia sólida, así como se incluyen posibles compuestos formados a base del intercambio iónico generado entre el tartrato de potasio, hidróxido de sodio y el ácido clorhídrico en la hidrólisis ácida [23, 25]. El complejo tartrato- cromo es posible que se encuentre dentro del número de onda por debajo de 1000 cm^{-1} por la lectura que otorga el cromo, sin embargo, dependería mucho sobre el enlace que interactúe con el infrarrojo ya que si es enlace C-O del complejo tartrato-cromo, se puede encontrar en valores superiores de vibraciones.

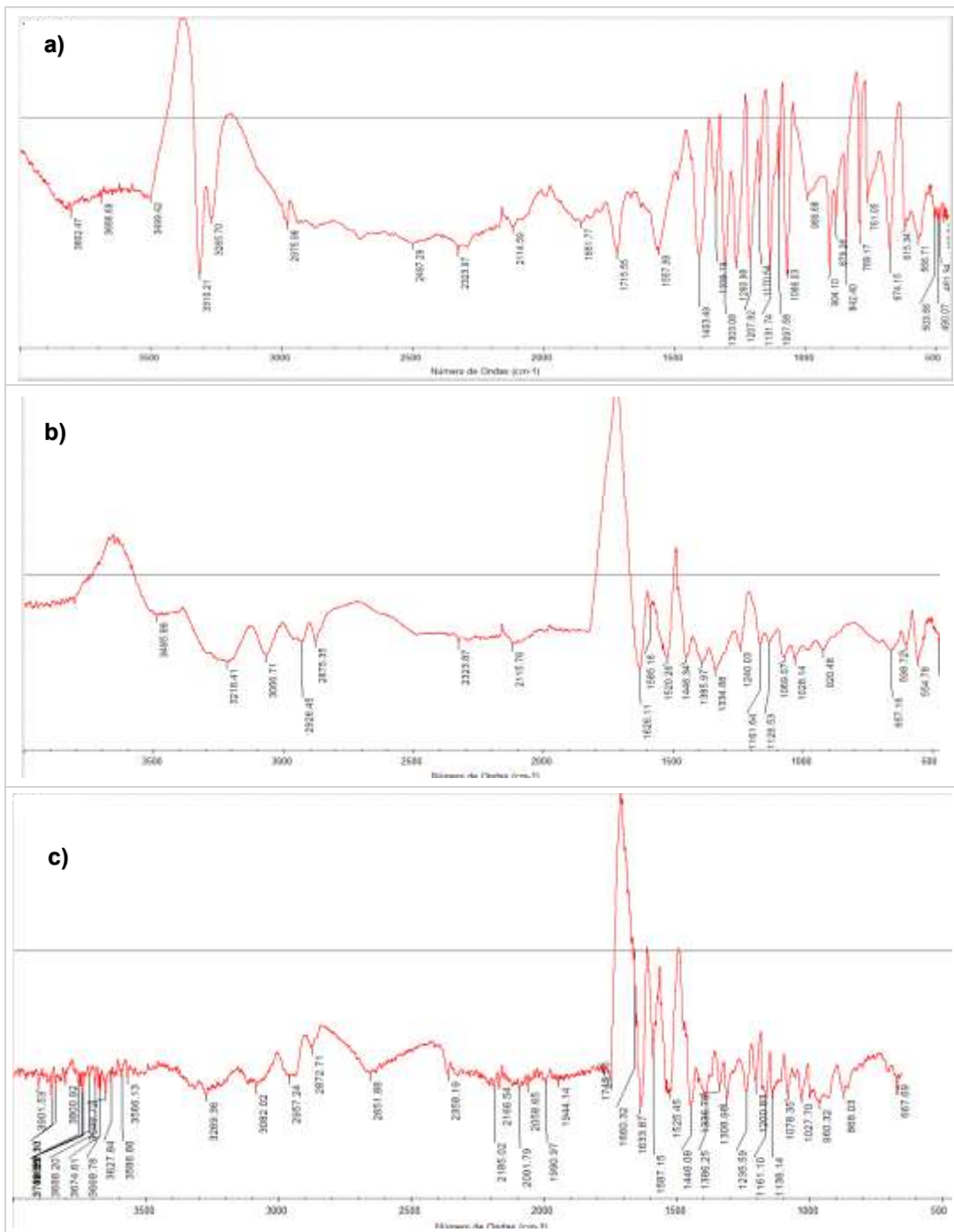


Imagen 6. Espectros FT-IR con línea base. a) Condición 6 (NaOH 1.7 M / $KC_4H_5O_6$ 1.5 M). b) condición 7 (NaOH 1.0 M / $KC_4H_5O_6$ 2.5 M) y c) condición 8 (NaOH 5.0 M / $KC_4H_5O_6$ 3.16 M).

Tabla 4. Números de onda (1/cm) obtenidos en espectros de FT-IR comparándolos con valores ya reportados para definir una atribución de compuestos presentes en el "pastel de cromo". [23, 24,25].

Condición 6		Condición 7		Condición 8	
No. de onda (1/cm)	Atribución	No. de onda (1/cm)	Atribución	No. de onda (1/cm)	Atribución
3686	OH de alcoholes y fenoles	3485	Enlaces intermoleculares de H en polipéptidos, histidinas, arginina, metioninas	3622	OH de alcohol
3499	Enlaces intermoleculares de H en polipéptidos, histidinas, arginina, metioninas	3218		3082	Aminoácidos
3310		3066		2957	Aldehídos
2975	Aldehídos	2926	Aldehídos	2872	Aldehídos
1715	Éteres aromáticos	2875		2651	Ácidos
1557	Aspartato - Glutamato	1626	Aminoácidos	2358	carboxílicos
1403	Prolina	1585	Aspartato-Glutamato	1745	Éteres aromáticos
1207	Tirosina	1446	Prolina	1660	Aminoácidos
1131	Trionina	1250	Tirosina	1582	Aspartato - Glutamato
1097	Serina	1161	Tirosina	1446	Prolina
1066	Serina	1126	Trionina	1235	Tirosina
879	Cromato de potasio (K ₂ CrO ₄)	1069	Serina	1200	Tirosina
615	Cromo	1028	Serina	1078	Serina
566	Cromo	554	Cromo	1027	Serina
503		868	Cromato de potasio (K ₂ CrO ₄)	960	Clorato de potasio (KClO ₃)

CONCLUSIONES

Las concentraciones de NaOH 1.0M /KC₄H₅O₆ 2.5M otorgan la mayor cantidad de proteína hidrolizada siendo de 69.80 g/L. Los aminoácidos separados por cromatografía de intercambio iónico fueron Asp, Cys, Glu, His, Met y Tyr en producto líquido aprovechables para la industria cosmética y agrícola. El sólido analizado por espectrofotometría infrarrojo señala que después de la hidrólisis de la raspa, al ser filtrado por gravedad se retienen los componentes a base de cromo por lo que este puede ser aprovechado también para la producción de carbón activado o resinas para la industria de materiales. Esta investigación indica que es posible el aprovechamiento de un residuo de las curtidurías con potencial tóxico y obtener productos de valor agregado, al mismo tiempo, se aportaría con el manejo y control de residuos de las curtidurías dando un aporte a la economía circular entre ésta, el sector cosmético y agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. Estrada, "Recuperación de sales de cromo a partir de la raspa y su aplicación en el curtido de pieles". *Conciencia tecnológica*, 2013, pp. 24-28.
2. A. Sasia, "Recovery of collagen hydrolysates from chrome leather shaving tannery waste through two-step hydrolysis using magnesium oxide". *SLTE Journal*, 2019, pp. 80-84.
3. M. J. Ferreira, "Alkaline hydrolysis of chromium tanned leather scrap fibers and anaerobic biodegradation of the products". Springer Science Business, 2013, pp. 551-562.
4. A. Malek, "Chemical transformation of chromed leather wastes into environmentally harmless fibrous biomass". *Environment Protection Engineering*, 2016, pp. 179-192.
5. C. M. Reyes, "Recuperación de colágeno libre de cromo de los residuos sólidos postcurtición en la industria del cuero". *Magister en ciencia de la Ingeniería Ambiental*, 2016.
6. A. Lehninger, "Lehninger Principles of Biochemistry". Portland: W. H. Freeman. 2013, Capítulo 3-4.
7. A. L. Fidler, "The triple helix of collagens – an ancient protein structure". The company of biologists. Nashville, USA. 2018.
8. D. E. Arbeláez, "Precipitación del cromo y reutilización del agua de vertimientos de curtiembres de San Benito". Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Santo Tomás. San Benito, Bogotá. 2014.
9. G. C. González, "Innovación tecnológica y curtiduría en el estado de Guanajuato". *Economía Informa*. 2017, pp 66-79.
10. A. Santos Ruíz, "El fenómeno de quelación en la bioquímica de los oligoelementos". Real Academia de Farmacia de Madrid. Madrid, España. 2000.
11. J. Beltrán Prieto, E. Vázquez. "Chromium recovery from solid leather waste by chemical treatment and optimisation by response surface methodology". *Chemistry and Ecology*, 2011, pp. 89-102.
12. S. P. Miranda, "Transformación de residuos de la curtiduría en productos de valor agregado. Recuperación de cromo y colágeno". Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas. León, Gto. 2019.
13. L. M. Martínez, "Aplicaciones del manual media a sectores industriales". Sector curtido de pieles animales. Madrid: Artes graficas mañas S. L. 1997.
14. H. A. Flores, "Virutas de cuero. Obtención de un adhesivo como sustituto de materiales ureicos". Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Litoral. 2013.
15. B. Fitzpatrick, "Dermatología general en medicina general". 7ma edición. Panamericana. 2009 .pp. 526-528.
16. M. Shoulders, "Collagen structure and stability". *Annual Reviews. Biochemistry*. 2009, pp. 929-959.
17. P. Raven, & S. Singer, "Biology". USA: McGraw Hill. 2017. 11th edition.
18. J.C. Janson, "Protein purification. Principles, High Resolution Methods and Applications". New Jersey: Wiley. Parte II. 2011, Capítulo 4, pp. 93-131.
19. P. Palacios, T. Antequera, T. "A rapid and accurate extraction procedure for analysing free amino acids in meat samples by GC-MS". Hindawi publishing corporation. *International Journal of Analytical Chemistry*. 2015, pp. 1-7.
20. L. A. De la Rosa, "La microespectroscopía infrarrojo con transformada de Fourier en el estudio de sistemas biológicos". *Latinoamérica. Química*. 2013, pp. 125-148.
21. D. Wei, Z. Wenhua, "Dechroming of chromium-containing leather waste with low hydrolysis degree of collagen". *SLTC Journal*, 2018, pp. 129-133.
22. J. C. Janson, "Protein Purification. Principles, high resolution methods, and applications". . Hoboken: Wiley, 2011
23. J.C. García Pantoja, "Impacto ambiental generado en el proceso productivo de la empresa curtidos del oriente barrio San Benito Bogotá". Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ciencias Empresariales. San Benito. 2006.
24. M. Niculescu, F. Laurentiu, "Extraction of the protein components as amino-acids hydrolysates from chrome leather wastes through hydrolytic process". *Chimie-Bucharest*, 2009, pp. 1070-1075.

25. "ATR-FT-IR spectra of conservation-related materials in the MID-IR and FAR-IR region". 2019. [Online]. http://lisa.chem.ut.ee/IR_spectra/paint/pigments/chromium-oxide/ (accesado abril, 12,2020).
26. P. M. Cortez, "Espectroscopía infrarrojo para todos". CIATEJ. Guadalajara. 2017.
27. H.A. Flores, "Virutas de cuero. Obtención de un adhesivo como sustituto de materiales ureicos". Universidad Nacional del Litoral. 2001.
28. J.C. Janson, "Protein purification. Principles, High Resolution Methods and Applications". New Jersey: Wiley. Parte II. 2011, Capítulo 4, pp. 93-131.
29. T. P. Palacios, T. Antequera, "A rapid and accurate extraction procedure for analysing free amino acids in meat samples by GC-MS". Hindawi publishing corporation. International Journal of Analytical Chemistry. 2015, pp. 1-7.
30. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. "Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005". 2005.
31. A. Moral, "Depuración de Cromo III en aguas residuales que contienen alta carga proteica". Congreso Nacional de Medio Ambiente, 2014, pp. 1-10.

REMOCIÓN DE COLORANTES UTILIZANDO BIOMASA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARA DE COCO COMO MATERIAL ADSORBENTE

Verónica Janeth Landin-Sandoval¹, Didilia Ileana Mendoza-Castillo^{*1,2}, Hilda Elizabeth Reynel-Avila^{1,2}, Adrián Bonilla-Petriciolet¹

¹Laboratorio de Ingeniería y Tecnología del Agua, Departamento de Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Aguascalientes 20256, México. ²CONACyT, Cátedras Jóvenes Investigadores, Distrito Federal 03940, México.
didi_men@hotmail.com

RESUMEN

Los colorantes sintéticos, son un grupo de contaminantes orgánicos ampliamente usados en diversas industrias como la textil, papelera, de impresión y automotriz. Estos contaminantes son altamente tóxicos, ya que son muy estables y difíciles de degradar. Considerando lo anterior, en el presente trabajo se reporta el proceso de adsorción de azul ácido 29 (AB29), azul ácido 113 (AB113) y azul reactivo 4 (RB4), los cuales son utilizados en la industria papelera y textil. Como material adsorbente se usó una biomasa obtenida de cáscara de coco (CC). Bajo las condiciones experimentales evaluadas la máxima capacidad de adsorción de AB29, AB113 y RB4 fue de 9.86, 12.86 y 25.96 mg/g, respectivamente.

INTRODUCCION

La industria textil es catalogada como una de las industrias que causa mayor contaminación por colorantes [1]. Este hecho se traduce en un problema urgente de resolver debido al impacto negativo que causan en la vida acuática y en los cultivos que se abastecen de estas fuentes acuíferas, afectando así, la cadena alimenticia y por ende la salud pública. Entre los procesos para remoción de colorantes a nivel industrial se pueden resaltar, los siguientes: coagulación, intercambio iónico, separación por membrana, sedimentación, ozonización, descomposición ultrasónica, procesos de oxidación combinados y adsorción [2]. Entre estos métodos destaca el proceso de adsorción por su versatilidad, fácil diseño y operación [2]. Los materiales adsorbentes utilizados para la remoción de colorantes son diversos, algunos son de origen agroindustrial, otros vegetal e inclusive animal. Entre estos materiales se pueden mencionar por ejemplo el bagazo de azúcar de caña, cáscaras de frutos y vegetales, aserrín, lodos, granos, huesos de algunos frutos, hojas y hasta microorganismos [3]. Aunque una amplia variedad de adsorbentes ha sido empleada para la remoción de colorantes con resultados satisfactorios, también es innegable que es necesario continuar con la búsqueda de nuevos adsorbentes que puedan ofrecer ventajas significativas sobre los materiales evaluados. Bajo este contexto, los materiales lignocelulósicos son una alternativa atractiva para la remoción de contaminantes del agua incluyendo colorantes básicos, ácidos y reactivos. La capacidad de remoción de estas biomásas se debe a las estructuras que los conforman, es decir, a la celulosa, hemicelulosa y lignina. De acuerdo con la literatura las estructuras de los colorantes interactúan con los grupos funcionales -OH y -COOH [4]. Las capacidades de adsorción de los diferentes materiales varía significativamente, debido a que cada uno posee diferentes composiciones estructurales y propiedades por lo que es importante la experimentación para encontrar el material adecuado para este tipo de contaminante. Así mismo esta capacidad estará en función de las características de cada contaminante. Considerando lo anterior, en el presente estudio se evaluó la capacidad de adsorción de los colorantes AB29, AB113 y RB4 empleando cáscara de coco como material adsorbente.

PARTE EXPERIMENTAL

Se utilizó como precursor a la cáscara de coco (CC), la cual fue sometida a un proceso de secado mediante exposición al sol en un ambiente ventilado. Posteriormente, se hizo una reducción de tamaño hasta obtener una partícula de 0.67 mm. Después el material fue lavado con agua desionizada en ebullición hasta obtener un pH constante en el agua de lavado y, enseguida, se secó durante 24 h a 50 °C. Para determinar la máxima capacidad de adsorción del material, se realizaron estudios de equilibrio en condiciones por lotes, empleando soluciones de AB29, AB113 y RB4 con

concentraciones iniciales entre 100 y 2000 mg/L. Los estudios de adsorción se llevaron a cabo durante 24 h a 30°C, pH 5, 120 rpm, empleando una relación adsorbente-adsorbato de 10 g/L. Transcurrido el tiempo de contacto entre adsorbente-adsorbato, el adsorbente fue separado de la solución mediante filtración y la concentración remanente de los colorantes fue determinada empleando un espectro UV-visible (HACH DR 5000) a una longitud de onda de 602, 566 y 595 nm para el AB29, AB 113 y RB4, respectivamente. Los experimentos de adsorción se realizaron por duplicado y la diferencia porcentual entre las réplicas fue inferior al 5%. Los resultados obtenidos se utilizaron para calcular la capacidad de adsorción (Q_c , mg/g) del adsorbente mediante la siguiente ecuación:

$$Q_c = (C_o - C_E) * \left(\frac{V}{W}\right) \quad (1)$$

donde C_o y C_E son las concentraciones iniciales y de equilibrio (mg/L), V es el volumen de la solución que contiene al adsorbato (L) y W es la cantidad de adsorbente empleada en los experimentos de adsorción(g), respectivamente. Por otra parte, los adsorbentes fueron analizados mediante FTIR usando un espectrofotómetro Infrarrojo Nicolet iS10 de Thermo Scientific, Los espectros fueron obtenidos por ATR a temperatura ambiente en un rango de 4000 - 650 cm^{-1} . Se realizaron 32 análisis espectrales en cada muestra con una resolución de 4 cm^{-1} y se usó el valor promedio para obtener el espectro correspondiente.

RESULTADOS

En la Figura 1 se muestran las isotermas de adsorción de los colorantes AB29, AB113 y RB4 a una temperatura de 30 °C, empleando como adsorbente CC. Las isotermas de adsorción obtenidas son positivas y cóncavas con respecto al eje de la concentración del adsorbato en el equilibrio (Ver Figura 1). Estas isotermas son clase "L" tipo 2 de acuerdo con la clasificación de Giles [5]. Este tipo de isotermas se caracterizan por una gran afinidad entre el soluto y el adsorbente para bajas concentraciones, la cual va decreciendo a medida que aumenta la concentración del soluto en la solución [6]. La capacidad de adsorción para el AB29 oscila entre 1.75 – 9.86 mg/g, mientras que, para el AB113 oscila entre 2.24 – 12.47 mg/g y para el RB4 entre 4.96 – 25.96 mg/g, respectivamente. Con el análisis de los datos de equilibrio fue posible observar que la cáscara de coco tiene mayor afinidad por el colorante RB4, como se observa en la Figura 1. Específicamente, la afinidad de la cáscara de coco para los adsorbatos evaluados muestra la siguiente tendencia: $\text{RB4} \geq \text{AB113} \gg \text{AB29}$.

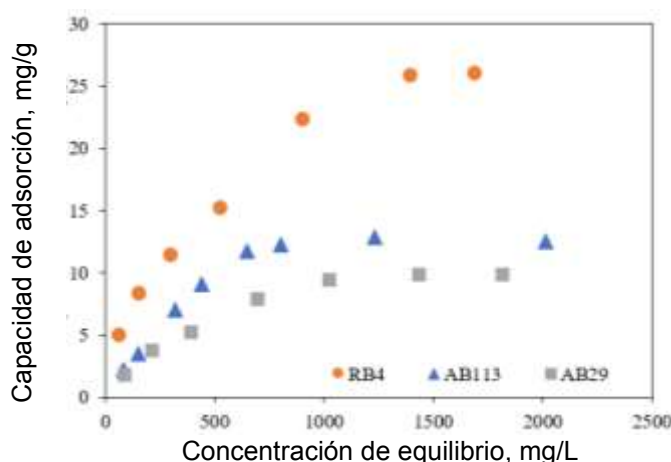


Figura 1. Isotermas de adsorción de AB29, AB113 y RB4 empleando CC.

Por otra parte, los resultados de infrarrojo para la biomasa antes del proceso de adsorción muestran la presencia de varios grupos funcionales, ver Figura 2. La banda de absorción posicionada entre 3350 y 3280 cm^{-1} se asocia a la vibración generada por el estiramiento de enlace de los grupos -OH que están presentes en la celulosa y la lignina [4,7,8]. Posteriormente se observa una banda de absorción a 2920 cm^{-1} la cual se puede relacionar con el estiramiento de enlace de los grupos

alifáticos, es decir la vibración de enlace entre el carbono e hidrogeno (C-H) del grupo $-CH_2$ [4]. Entre 1650 y 1200 cm^{-1} se encuentran varias bandas de absorción, entre estas se puede apreciar la ubicada en 1036 cm^{-1} asociada al estiramiento de enlace de los grupos C-O, C=C y C-C-O, que están presente en los polisacáridos de la celulosa hemicelulosa y lignina [5,9]. A 1625 cm^{-1} se observa una pronunciada banda de absorción asociada al grupo carbonilo C=O [4]. En la literatura se reporta que esta región se caracteriza por ser la huella dactilar de los carbohidratos de la lignina en una posición entre 1800 - 1200 cm^{-1} lo cual coincide con los espectros de infrarrojo obtenido en el presente trabajo [9].

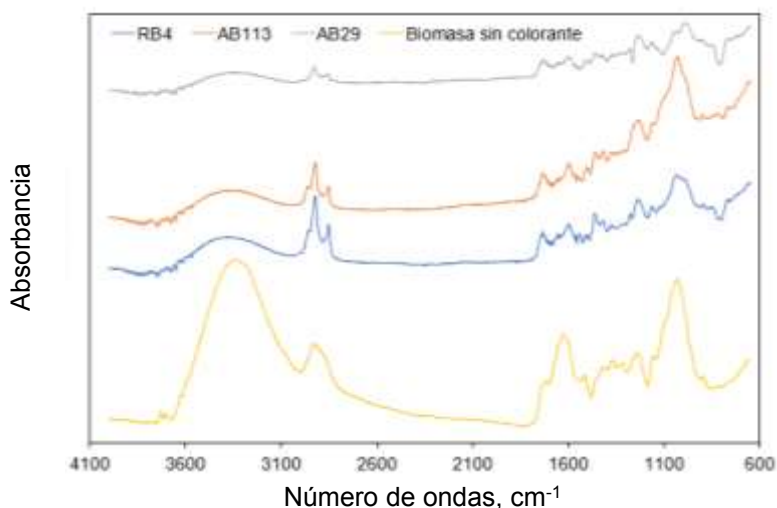


Figura 2. Espectros de infrarrojo de la CC antes (biomasa son colorantes) y después del proceso de adsorción de los colorantes AB29, AB113 y RB4.

Después del proceso de adsorción se pueden apreciar algunos cambios en los grupos funcionales del adsorbente, ver Figura 2. De forma general, independientemente del adsorbato removido, las bandas de absorción que presentan cambios son las asociadas al grupo $-OH$ ubicada a $\sim 3320\text{ cm}^{-1}$, y la banda de absorción ubicada a 2920 cm^{-1} la cual corresponde a la vibración de enlace C-H del grupo $-CH_2$, lo cual indica la participación de estos grupos funcionales en la adsorción de los colorantes. Adicionalmente, se observan cambios en las bandas localizadas entre 1800 y 1200 cm^{-1} . Específicamente, después del proceso de adsorción de los diferentes colorantes desaparecen las bandas de absorción ubicadas a ~ 1620 y 1020 cm^{-1} correspondientes al estiramiento del enlace C-H y C-O de los polisacáridos de la celulosa, respectivamente (ver Figura 2) [9].

CONCLUSIONES

La biomasa evaluada para la remoción de colorantes presenta resultados aceptables con respecto a la capacidad de adsorción, lo cual indica que este residuo agroindustrial puede ser utilizado para remoción de los colorantes azul ácido 29, azul ácido 113 y azul reactivo 4, respectivamente. Las capacidades de adsorción de cada contaminante dependen de las propiedades del contaminante, así como del material adsorbente utilizado. Como se observa en los espectros de infrarrojo la biomasa cuenta con diversidad de grupos funcionales que influyen en el mecanismo de adsorción de los colorantes evaluados.

BIBLIOGRAFIA

1. N. J. Suyog, R. G. Parag, "Acid Blue 113 removal from aqueous solution using novel biosorbent based on NaOH treated and surfactant modified fallen leaves of *Prunus Dulcis*", J. Environ. Chem. Eng., 2017, pp. 1-41.
2. Y. S. Reddy, C. M. Magdalane, K. Kaviyarasu, A. G. T. Mola, J. Kennedy, M. Maaza, "Equilibrium and kinetic studies of the adsorption of acid blue 9 and Safranin O from aqueous

- solutions by MgO decked FLG coated Fuller's earth", *J. Phys. Chem. Solids*, Vol. 123, 2018, pp. 43-51.
3. T. Islam, R. Saenz-Arana, C. Hernandez, T. Guinto, A. Ahsan, D. T. Bragg, H. Wang, B. Alvarado-Tenori, J. C. Novero, "Conversion of waste tire rubber into a high capacity adsorbent for the removal of methylene blue, methyl orange, and tetracycline from water", *J. Environ. Chem. Eng.*, Vol. 6, 2, 2018, pp. 3070-3082.
 4. A. Kezerle, N. Velic, D. Hasenay, D. Kovacevic, "Lignocellulosic Materials as Dye Adsorbents: Adsorption of Methylene Blue and Congo Red on Brewers' Spent Grain", *Croat. Chem.*, Vol. 91,1, 2018, pp. 1-10.
 5. C. H. Giles, T. H. MacEwan, S. N. Nakhwa, D. Smith, "Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids", *J. Chem. Soc. (Resumed)*, 1960, pp. 3973-3993.
 6. A. Virginia, E. Degeronimo, K. Hernández, D. Perez, R. Portocarrer, C. Vida, "Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente", 1a Ed., 2015, pp. 1-76.
 7. C. O. Ufodike, V. O. Eze, M. F. Ahme, A. Oluwalowo, J. G. Par, Z. Liang, H. Wang "Investigation of Molecular and Supramolecular Assemblies of Cellulose and Lignin of Lignocellulosic Materials by Spectroscopy and Thermal Analysis", *Int. J. Biol. Macromol.*, Vol. 146, 2019, pp. 1-21.
 8. X. Wang, H. Chen, X. Feng, Q. Zhang, N. Labbé K. Kim, Y. Zhang, "Isolation and characterization of lignocellulosic nanofibers from four kinds of organosolv-fractionated lignocellulosic materials", 2020, *Wood Sci. Technol.*, pp. 1-15.
 9. G. Bekiaris, G. Koutrotsios, P. A. Tarantilis, C. S. Pappas, G. I. Zervakis, "FTIR assessment of compositional changes in lignocellulosic wastes during cultivation of *Cyclocybe cylindracea* mushrooms and use of chemometric models to predict production performance", *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, 2020, pp. 1-9.

DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL MODELO DE LABERINTO DE BRAZOS ELEVADOS PARA SU EMPLEO EN EL ESTUDIO DE ANSIEDAD EN RATAS

María Salomé Alejandre Apolinar¹, Gabriel Arturo Soto Ojeda², Hugo Amores Pérez¹, Mauro Antonio Villanueva Lendechy², Irma Angélica García González¹, Korina González Camacho¹ y Ana Korina Díaz García³

¹Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, ²Facultad de QFB, Universidad Veracruzana, ³COVEICYDET

Cuerpos académicos: ITESXAL-CA-4 Ingeniería e Innovación Sustentable, UV-CA- 410-Medicina Etnofitoterapéutica y Regenerativa
saloalejapo@gmail.com

RESUMEN

El laberinto de brazos elevados (LBE) es un modelo animal ampliamente utilizado para el estudio experimental de la ansiedad y para el ensayo de fármacos con potencial ansiolítico. El LBE se fundamenta en la aversión natural del roedor a los espacios abiertos y altos, por lo tanto, es un indicador de una forma peculiar de ansiedad, llamada agorafobia y acrofobia. El roedor tiene que elegir entre dos pares de brazos: a) brazos abiertos, que constituyen una amenaza por tratarse de un espacio expuesto, abierto y elevado del piso; y b) brazos cerrados, donde puede ocultarse y sentirse seguro. Entre más tiempo permanezcan los brazos cerrados, mayor es su ansiedad. Fármacos ansiolíticos incrementan el tiempo de permanencia en el espacio abierto. Sin embargo, algunos laboratorios no cuentan con dispositivos automatizados para evaluar las variables que se suelen medir en estos modelos animales debido a su alto costo, por lo que es factible la automatización del LBE para facilitar su empleo en investigaciones futuras. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue diseñar y automatizar el registro de las variables conductuales que se evalúan comúnmente en el LBE. Este trabajo se desarrolló en 2 fases, la primera consistió en el diseño ingenieril para la construcción del sistema automatizado. La segunda fase se enfocó en la automatización, basándose en dos partes principales, la de mando y la operativa. La de mando es programable, abarca componentes como tarjetas electrónicas, módulos, entre otras; la operativa, actúa directamente sobre el prototipo e incluye los elementos que permiten el registro para que se realicen las operaciones sobre las variables que evalúa este modelo. Los resultados fueron: un diseño ingenieril del LBE construido en Solidworks®, que su mejora, fue crearlo abatible para una mejor transportación y fácil manejo. Para la automatización, se realizó a través de la programación de sensores ultrasónicos a través de un microcontrolador arduino Mega el cual fue programado con el software Arduino IDE, los resultados se visualizan en dos pantallas LCD en la primera, se muestran el tiempo total de permanencia en los brazos abiertos y cerrados, y la segunda muestra el número de entradas del roedor tanto del brazo abierto como cerrado, para el registro de imágenes se usó una cámara de alta definición instalada en la parte superior del LBE y de esa forma visualizar la conducta de los roedores, ésta información se fué almacenando en una memoria micro SD; con ayuda del software SecuEye permitió ver vía remota el comportamiento del roedor; éstos resultados se obtuvieron durante los 5 minutos que dura la prueba. Todo lo anterior, permitió establecer un sistema de análisis de imagen útil para evaluar las variables de mayor importancia en el LBE las cuales son el tiempo de permanencia y el número de entradas del roedor, a los brazos abiertos y cerrados. Con todos estos elementos se logró la automatización de un sistema que procesa las tareas de producción, que habitualmente son llevadas a cabo por operadores humanos y que ahora se verán facilitados mediante el empleo de herramientas tecnológicas; esto puede evitar el sesgo y factores de distracción del propio investigador. En conclusión, se logró diseñar y automatizar un modelo de LBE de acuerdo con las características y especificaciones requeridas para ser empleado en investigaciones de ansiedad experimental en laboratorios que no cuentan con sistemas automatizados de registro conductual de las variables de estudio.

INTRODUCCIÓN

Los trastornos de ansiedad son una de las enfermedades psiquiátricas más comunes en la población con una prevalencia de 7.3 % (4.8%-10.9%) (Stein *et al.*, 2017), debido a su frecuencia diversos

grupos de investigación se han encaminado al estudio de nuevos tratamientos ansiolíticos. Para evaluar la eficacia de las terapias ansiolíticas es necesario el uso de modelos animales (Becerra-García *et al.*, 2007). Por lo anterior, los modelos animales para el estudio de la ansiedad, en los últimos años han sido ampliamente validados y con ello han contribuido a entender las bases neurobiológicas y mecanismo de acción de los fármacos empleados para el tratamiento clínico de la ansiedad (Moreno *et al.*, 2018).

El laberinto de brazos elevados es un ensayo de comportamiento ampliamente utilizado para roedores y para evaluar los efectos contra la ansiedad de agentes farmacológicos y las hormonas esteroideas, y para definir las regiones cerebrales y los mecanismos subyacentes al comportamiento relacionado con la ansiedad, principalmente la de tipo fobia (agorafobia y acrofobia). Brevemente, las ratas o ratones se colocan en la unión de los cuatro brazos del laberinto, frente a un brazo abierto, y las entradas/duración en cada brazo se registran mediante un sistema de seguimiento de video y un observador simultáneamente durante 5 minutos. También se pueden observar otros parámetros etológicos (hundimientos de cabeza y posturas de estiramiento). Un aumento en la actividad del brazo abierto (duración y/o entradas) refleja el comportamiento contra la ansiedad. En nuestro laboratorio, las ratas o los ratones están expuestos al laberinto en una ocasión; así, los resultados se pueden obtener en 5 minutos por roedor. El laberinto de brazos elevados tiene validez aparente, que es la capacidad de una tarea de parecer lo que se supone que debe medir. El comportamiento en esta tarea (es decir, la actividad en los brazos abiertos) refleja un conflicto entre la preferencia del roedor por las áreas protegidas (los brazos cerrados) y su motivación innata para explorar entornos novedosos (brazos abiertos). El mayor tiempo de permanencia y/o entradas en el brazo abierto refleja un comportamiento de menor ansiedad (Walf y Frye, 2007).

Sin embargo, el análisis observacional y registro manual del comportamiento requiere mucho trabajo y está sujeto a la variabilidad entre evaluadores. Si bien se ha logrado un progreso considerable en la automatización del análisis, el comportamiento complejo aún carece de una cuantificación automática satisfactoria (Patel *et al.*, 2006), dado que se pueden generar diversos errores de apreciación e interpretación; por lo que, la automatización de los registros/medidas de las variables etológicas de este modelo resulta interesante para el estudio conductual en el laberinto de brazos elevados, como se ha comenzado a realizar para otros modelos animales (van den Boom *et al.*, 2017).

Por otra parte, la automatización constituye el aspecto teórico de la cibernética, que está estrechamente vinculada con las matemáticas, la estadística, la teoría de la información, la informática y técnicas de la ingeniería. Cabe destacar una distinción entre: la automática teórica, conjunto de los métodos matemáticos de análisis y de síntesis de los sistemas automáticos y de sus elementos; y la automática aplicada, que trata específicamente de los problemas prácticos de automatización, que concierne a la teoría y a la tecnología de los captadores, los accionadores y los ordenadores (Moreno, 2001).

En dicho sentido, un trabajo realizado por Patel *et al.* (2006) versó sobre un sistema generado para la medición de algunas de las variables que se emplean en este modelo de LBE, el cual mostró buenos resultados, sobre todo en la optimización del tiempo de obtención de datos y de evitar los errores de transcripción de estos. En otros trabajos, se ha utilizado el sistema KinderScientific, donde se realizó el registro de variables con una serie de foto-haces integrados para tomar las medidas espaciotemporales en el centro y cada uno de los brazos del laberinto; así como la frecuencia de entradas a los cuatro brazos (Sindor *et al.*, 2010). Estos estudios muestran que es factible la automatización del LBE; por lo que, el presente trabajo tuvo como objetivo el diseño y automatización del registro de las variables conductuales que se evalúan comúnmente en el LBE, para su empleo en la evaluación de ansiedad experimental en rata.

PARTE EXPERIMENTAL

Fase 1 Diseño ingenieril del laberinto de brazos elevados

En esta fase se realizó una investigación documental que permitió conocer el fundamento del modelo de laberinto de brazos elevados, para así diseñar un prototipo funcional y adecuado para en el estudio de ansiedad experimental. En primer lugar, se conoció la arquitectura del modelo (Figura 1), para posteriormente realizar un diseño ingenieril con el programa SolidWords®, donde se diseñó

cada una de las piezas que componen el modelo. Con dicho programa se creó un boceto con las siguientes especificaciones: dos brazos abiertos de 50 cm de largo por 10 cm de ancho y dos brazos cerrados de las mismas dimensiones, pero con paredes de 50 x 50 cm cada uno de ellos. Los dos brazos cerrados fueron oscurecidos con el fin de obstruir el paso de la luz, estos se unieron mediante una plataforma central de 10 x 10 cm, montado sobre una base que lo eleva 50 cm por encima del piso; en esta prueba como se mencionó los animales son colocados en la plataforma central con la cara hacia los brazos abiertos lo que les permite explorar de forma libre los cuatro brazos, contará con un soporte de 13.8 cm x 17.14 cm en donde se colocará la cámara de video mientras son grabados durante los 5 minutos, tiempo en el cual deben ser medidas las variables etológicas. El diseño ingenieril muestra un modelo de laberinto de brazos elevados desmontable para su fácil guardado y transporte. Para una mejor comprensión del modelo desmontable, las piezas que lo conformaron se ilustran en la Figura 2.

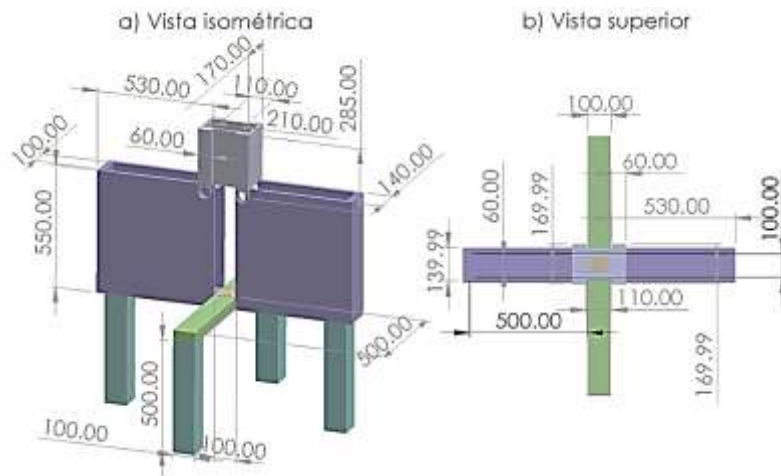


Fig.1. Modelo de laberinto de brazos elevados. a) Vista Isométrica, b) Vista Superior.

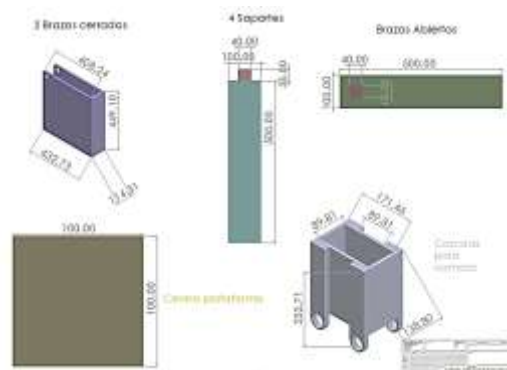


Fig. 2. Piezas desmontables del modelo LBE.

Fase 2. Automatización del laberinto de brazos elevados

En esta fase se estableció la dinámica para automatizar el registro de las variables:

- 1) Tiempo total de permanencia en brazos abiertos
- 2) Tiempo total de permanencia en brazos cerrados
- 3) Número de entradas a brazos abiertos
- 4) Número de entradas a brazos cerrados

En relación con la fase operativa, para la evaluación de las variables se seleccionaron los componentes para medir el tiempo y las frecuencias de las variables de interés. Esto consistió en la selección de una cámara para grabar video, capturar imágenes y realizar el análisis espaciotemporal del roedor en cada uno de los brazos. Mientras que, para la automatización del conteo de entradas del roedor a cada brazo se contempla el uso de sensores. De esta manera, ambos dispositivos acoplados a un display sirven como medios para la captación y registro de datos. Por otro lado, la automatización en la parte de mando consistió en la generación de la tecnología programable mediante tarjetas electrónicas donde se incorporan microcontroladores para conectar los dispositivos periféricos de entrada y salida, y de esta manera comunicar la medición de las variables de manera automatizada.

RESULTADOS

Fase 1. Diseño ingenieril

De acuerdo con la metodología, mediante el programa Solidworks ® se realizó un plano en 3D. Además, se obtuvo un diseño ingenieril y con apoyo de una impresora 3D, se generó un modelo a escala del laberinto de brazos elevados (Figura 3).

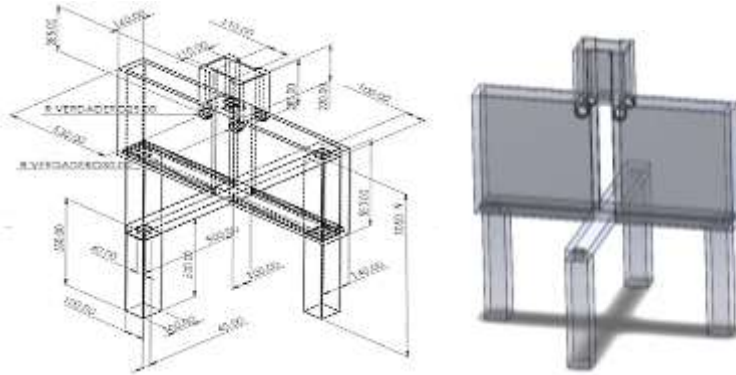


Fig. 3. Diseño ingenieril del Laberinto de brazos elevados.

Por otra parte, fueron diseñados mediante el mismo programa cada una de las partes del laberinto de brazos elevados, las cuales fueron: brazos abiertos y cerrados, plataforma central; favoreciendo que el laberinto sea desmontable para que permita su fácil transporte y guardado. Los diseños obtenidos con Solidworks ® del dispositivo y de cada una de sus partes pueden apreciarse en la Figura 4.

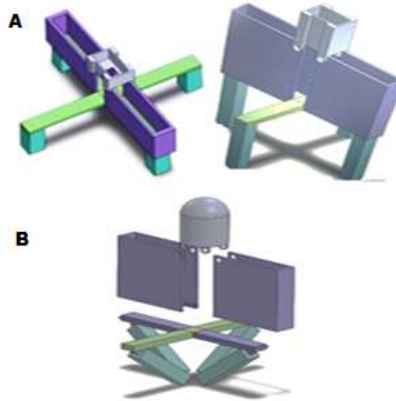


Fig. 4. Diseño a escala del laberinto de brazos elevados. A) vista lateral y superficial del diseño. B) Paredes de los brazos cerrados desmontables.

Fase 2. Automatización

De acuerdo con los resultados obtenidos en la fase anterior, se determinó para la fase operativa el uso de los siguientes materiales:

- 1) Cámara Infrarroja con resolución de 960p, modelo IVR05w. Con visión de 360°, con conexión wifi y al ser conectado en línea no permitirá distorsiones, además cuenta con enfoque automático HD y corrección de luz, ya que se ajusta a las condiciones de iluminación para producir imágenes nítidas de alta definición incluyendo si están en un entorno oscuro, por lo que nos permitirá monitorear el comportamiento durante la experimentación y hacer el registro del desplazamiento del roedor de un brazo a otro y por lo tanto, medir las variables de entrada y permanencia. La cámara se conecta a través de un puerto USB 2.0 universal y no es necesario la implementación de controladores para su funcionamiento. Cuenta con audio bidireccional, permite grabar hasta 128 Gb en memoria microSD, esta cámara cuenta con un lente de 1.44 mm con una distancia de visión nocturna de 10 mts, cuenta con sensor de imagen-formato de smos-1/3", protocolos TCP/IP, http, DHCP, DNS, DDNS, NTP, también cuenta con audio bidireccional.
- 2) Sensor Ultrasónico HC-SR04. Este dispositivo es utilizado para la medición de distancias y detección de obstáculos. Lo cual nos permitirá detectar el sujeto de estudio en un rango determinado previamente programado en Arduino IDE para éste caso específico. Cuenta con un rango de medición de 2cm a 400 cms, cuenta con alimentación de 5v, frecuencia de pulso 40 Khz, su señal de disparo es de 10 μ S.
- 3) Protoboard. Esta placa nos permitió realizar las conexiones necesarias de los componentes utilizados para alimentar todos los sensores y pantallas LCD. Se realiza en una plantilla de pruebas prefabricada que contiene líneas conductoras que indica el flujo de corriente e indicadores para las conexiones necesarias en ella, haciendo uso de cables puentes que se conectan sobre la placa para darle funcionalidad a los componentes necesarios para la automatización del LBE.
- 4) Display. Con la finalidad de visualizar desde el exterior del prototipo se implementó en la pared de uno de los brazos dos Display LCD TFT Touchscreen de 320 x 240 pixeles de 3.2 pulgadas. Cuenta con un panel de cristal líquido de transistores de película fina, esta pantalla LCD contiene un ángulo de visión amplio ya que permite el control total para la creación de formas gráficas, textos y números. Este dispositivo cuenta con un conector de tarjeta de memoria SD, chip de memoria flash con capacidad máxima de 32 gb para almacenamiento de datos transferidos para ser conservados de las pruebas que se lleven a cabo. Esta pantalla contiene un área visual de 69.60 mm de largo por 41.76mm de ancho, la pantalla contiene un controlador SSD1289 que es una interfaz de datos de soporte, el IC táctil ADS 7843 y la interfaz táctil se incluye en el desglose de 40 pines. La primera pantalla permitirá visualizar el tiempo total de permanencia en los brazos abiertos y cerrados, y la segunda muestra el número de entradas del roedor tanto del brazo abierto como cerrado esperados en el modelo del LBE.

En consistencia con la fase de automatización, en la parte de mando se empleó los siguientes componentes:

- 1) Arduino Mega. Es una placa impresa con los componentes necesarios para que funcione el microcontrolador basada en el Artmega 2560 que contiene 54 pines de entrada y de salida digital, 15 de ellos pueden ser usados como salida PWM, 16 entradas analógicas, 4 puertos de entrada hardware y un oscilador de cristal de 16 Mhz con una conexión USB y uno de alimentación y un encabezado ICSP y cuenta con su propio botón de reinicio, éste se encarga de procesar los datos y va variando dependiendo de las necesidades del proyecto en el que se quiera utilizar la placa. Esta placa contiene los elementos que serán necesarios en la automatización del LBE para conectar a él los periféricos ya sea a las entradas y salidas del microcontrolador.
- 2) Software Arduino IDE, el cual permitió la programación detallada de cada uno de los componentes necesarios para la obtención de las variables, permitiendo la automatización del LBE.

Conforme a lo anterior, se diseñó y desarrolló un prototipo del modelo de laberinto de brazos elevados automatizado y con la incorporación de una cámara y sensores permitió y facilitó la entrada de información (tiempo de permanencia y número de entradas a cada uno de los brazos); además, mediante la implementación de un display se logró visualizar los conteos deseados.

Nuestros resultados muestran que, se diseñó y desarrolló un prototipo automatizado de laberinto de brazos elevados cuyas innovaciones son la incorporación de una cámara y sensores que facilitaron la entrada de información (tiempo de permanencia y número de entradas a cada uno de los brazos); la adición de un display para visualizar los conteos, así como el procesamiento de imagen que se tendrá a través del software de la propia cámara SecuEye. Finalmente, dentro de nuestro grupo de trabajo será validada la eficiencia del prototipo en investigaciones futuras de ansiedad experimental, mediante el empleo de ratas de la cepa Wistar que comúnmente se someten a estos estudios.

CONCLUSIONES

Se obtuvo un diseño ingenieril del laberinto de brazos elevados desmontable, lo que permite el fácil guardado y traslado que le da ventaja sobre los modelos existentes. Este trabajo permitió automatizar el registro de las variables de importancia etológica para el estudio de ansiedad en el laberinto de brazos elevado, que fueron el tiempo total de permanencia en los brazos abiertos y cerrados, y el número total de entradas a los brazos abiertos y cerrados. A partir de los resultados anteriores, se plantea la posibilidad de llevar a cabo su empleo y validación con roedores en investigaciones futuras de ansiedad experimental.

BIBLIOGRAFÍA

1. Becerra-García A, Estanislao C, Rodríguez J, Díaz E, Bassi A, Chagas D, Morato S. (2007). Ansiedad y miedo: su valor adaptativo y maladaptaciones. *Rev Latinoamericana de Psicología*; 39:75-81.
2. Crawley, J.N. 2000. What's Wrong With My Mouse? Behavioral Phenotyping of Transgenic and Knockout Mice. Wiley-Liss, New York
3. Esumer, I. U. (2018). Control y automatización inteligente.
4. Marrero, R. R., & del Rivero, E. D. P. F. (2019). Trastornos de ansiedad. *Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 12(84), 4911-4917.
5. Moreno, D., Pazmiño, J. J., Guerra, M., Pilco, G., & Zabala, M. (2018). Implementation of anxiety evaluation systems in laboratory mice using digital image processing. *Maskay*, 8(1), 27-34.
6. Moreno, E. G. (2001). Automatización de procesos industriales. Valencia: Alfaomega.
7. Patel, PD, Seasholtz, AF y Patel, PD (2006). Puntuación asistida por computadora del laberinto elevado más. *BioTechniques*, 41 (6), 700-704.
8. Sidor, MM, Rilett, K. y Foster, JA (2010). Validación de un sistema automatizado para medir comportamientos relacionados con la ansiedad en el laberinto elevado más. *Revista de métodos de neurociencia*, 188(1), 7-13.
9. Stein DJ, Scott KM, De Jonge P, Kessler RC. (2017) Epidemiology of anxiety disorders: from surveys tonosology and back. *Dialogues Clin Neurosci.*;19(2):127-36.
10. van den Boom BJG, Pavlidi P, Wolf CJH, Mooij AH, Willuhn I. Automated classification of self-grooming in mice using open-source software. *J Neurosci Methods*. 2017; 289:48-56. doi:10.1016/j.jneumeth.2017.05.026
11. Walf AA, Frye CA. The use of the elevated plus maze as an assay of anxiety-related behavior in rodents. *Nat Protoc*. 2007;2(2):322-328. doi:10.1038/nprot.2007.

INTERFAZ GRÁFICA PARA EL ANÁLISIS Y LA COMPRESIÓN DE LOS CONCEPTOS DE INTEGRAL DEFINIDA, SUMA DE RIEMANN Y TEOREMA FUNDAMENTAL DEL CÁLCULO

Juan Carlos Solorio Leyva, Claudia Janett Cázarez Coss y León, Margarita Torres Figueroa.

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Piedad.
juancsol@hotmail.com

RESUMEN

Diversos conceptos abstractos y definiciones dentro del cálculo diferencial e integral suelen ser difíciles de comprender para la mayoría de los estudiantes. Por ejemplo, la definición de la Integral definida implica el uso de sumas de Riemann y límites al infinito. Los libros de texto más utilizados en estas asignaturas, suelen presentar este tema partiendo de la necesidad de contar con una manera de determinar el área de figuras amorfas. Así, se asocian la integral definida con el área bajo la curva. Los cálculos numéricos y la representación gráfica de forma manual que implican las sumas de Riemann, y especialmente los límites, suelen ser tediosos, lo que los convierte en un gran distractor para el estudiante, perdiéndose el propósito de la estrategia didáctica. Contar con herramientas computacionales que lleven a cabo tareas como cálculos numéricos, operaciones con variables simbólicas y graficación, permiten al estudiante mantener su atención en el análisis y facilitan la comprensión de los conceptos. En el presente trabajo, se presenta una herramienta para analizar los conceptos de Integral definida, suma de Riemann y teorema fundamental del cálculo mediante una aplicación en la forma de interfaz gráfica de usuario. En la interfaz, el usuario puede aproximar el valor de la integral definida de una función dada, en un intervalo específico y aproximar su valor mediante sumas de Riemann, las cuales se visualizan en forma gráfica como áreas de rectángulos, para diferentes particiones del intervalo de integración; también, puede visualizar el resultado del cálculo automático del límite al infinito de la suma de Riemann, y el cálculo de la integral definida a partir del teorema fundamental del cálculo y su representación geométrica. La aplicación se ha desarrollado con un software de uso libre y se encuentra disponible en línea, permitiendo que cualquier estudiante con acceso a internet pueda hacer uso de la misma. La posibilidad de realizar cálculos de forma automática para diferentes funciones, en diferentes intervalos, ayudará a los estudiantes en el análisis y comprensión de los conceptos de integral definida, suma de Riemann y teorema fundamental del cálculo.

INTRODUCCIÓN

El uso de tecnologías de la información y las comunicaciones es una actividad común, y casi necesaria, entre nuestros estudiantes. Los teléfonos inteligentes, las tabletas y las computadoras, se han vuelto dispositivos de uso generalizado en tareas cotidianas. En la educación, su utilización puede ser de gran ayuda como herramientas de apoyo didáctico.

En los últimos años, se han desarrollado diversas herramientas computacionales que permiten realizar operaciones y visualizar de forma gráfica diferentes conceptos matemáticos como funciones, derivadas, integrales, límites, sumatorias, y en general, muchos otros conceptos. Una herramienta de uso libre que ha tenido una gran aceptación y que permite desarrollar actividades de forma interactiva - Applets - en diversas áreas de las matemáticas es Geogebra.

Algunas de sus funciones como desarrollar cálculos simbólicos, graficar en dos y tres dimensiones, presentar varias vistas al mismo tiempo, incluir textos, casillas de verificación, y la posibilidad de desarrollar guiones script para diferentes objetos, han permitido crear un applet interactivo para analizar el concepto de la integral definida desde tres enfoques: a partir de su definición, aproximándola con sumas de Riemann, y calculando su valor empleando el Teorema fundamental del cálculo. El applet se ha desarrollado en forma de interfaz gráfica de usuario y se encuentra disponible en línea [1].

En las siguientes secciones, primeramente, se presentan de manera resumida, los fundamentos teóricos como conceptos, definiciones y teoremas, que dan soporte al desarrollo de la aplicación. Luego, en el apartado de resultados, se describe la estructura de la aplicación y su funcionamiento, siguiendo paso a paso las operaciones de un ejemplo en particular. Por último, se presentan las conclusiones del trabajo.

MARCO TEÓRICO

La definición de la integral definida nos dice [2]

“Si f es una función continua definida para $a \leq x \leq b$, dividimos en el intervalo $[a, b]$ en n subintervalos de igual ancho $\Delta x = \frac{(b-a)}{n}$. Sean $x_0 (= a), x_1, x_2, \dots, x_n (= b)$ los puntos extremos de estos subintervalos y sean $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$ los puntos muestra en estos subintervalos, de modo que x_i^* se encuentre en el i -ésimo subintervalo $[x_{i-1}, x_i]$. Entonces la integral definida de f , desde a hasta b es

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i^*)\Delta x \tag{1}$$

siempre que este límite exista y dé el mismo valor para todas las posibles elecciones de los puntos muestra. Si existe, decimos que f es integrable sobre $[a, b]$.”

De igual forma, Stewart [2] señala que la suma

$$\sum_{i=1}^n f(x_i^*)\Delta x \tag{2}$$

se llama suma de Riemann, de tal manera que la definición indica que la integral definida de una función integrable puede aproximarse dentro de cualquier grado de exactitud mediante la suma de Riemann.

Nos dice también que si f es positiva, entonces la suma de Riemann puede interpretarse como la suma de áreas de los rectángulos de aproximación, véase la figura 1. Así, la integral definida $\int_a^b f(x)dx$ puede interpretarse como el área bajo la curva $y = f(x)$, desde a hasta b , véase la figura 2.

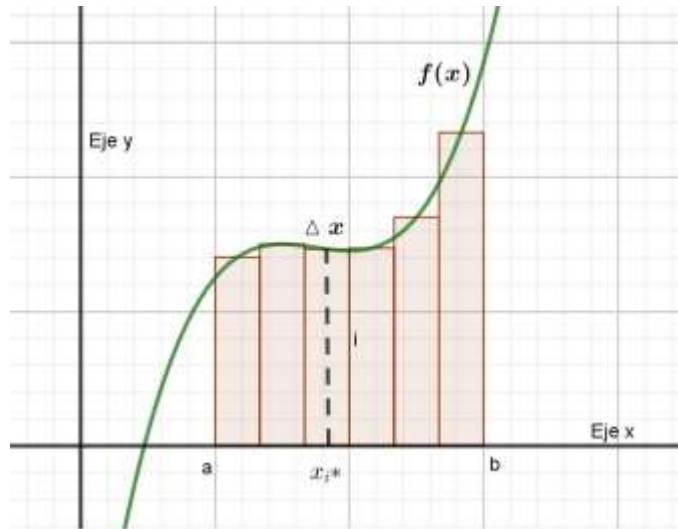


Figura 1. La integral definida de f , desde a hasta b , aproximada mediante una suma de Riemann, representada mediante la suma de áreas de rectángulos de aproximación.

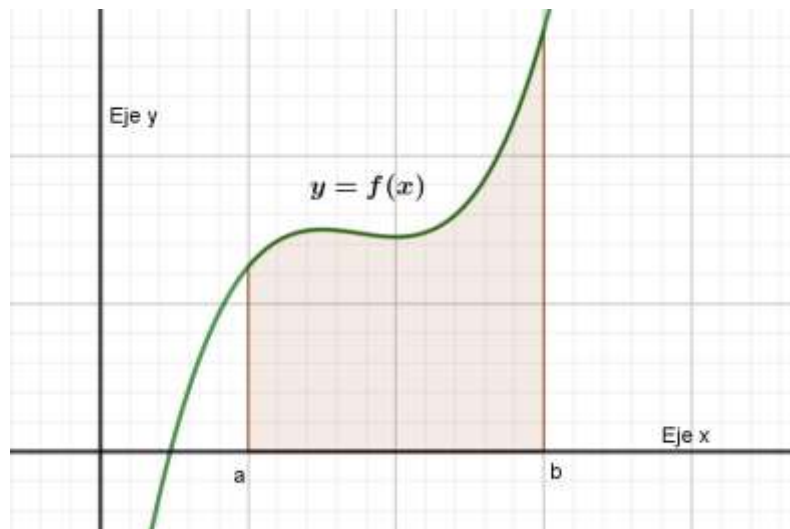


Figura 2. . La integral definida de f , desde a hasta b , representada como el área bajo la curva $y = f(x)$, desde a hasta b .

Stewart [2] enuncia el Teorema fundamental del cálculo, parte dos, de la forma siguiente “Si f es continua sobre $[a, b]$, entonces

$$\int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a) \quad (3)$$

donde F es una antiderivada de f ; es decir, una función tal que $F' = f$.”

RESULTADOS

Con base en los conceptos expuestos en el apartado anterior, se elaboró una actividad (applet) en Geogebra para ilustrar el tema de la integral definida. Este applet es interactivo, y cuenta con una interfaz principal en la cual el usuario puede ingresar los siguientes parámetros para evaluar la integral definida de una función f , entre a y b : La función f como una expresión matemática, el valor numérico del límite inferior a , y el valor numérico del límite superior b , como se muestra en la figura 3.

A partir de estos parámetros de entrada, el applet imprime en la pantalla, por debajo del título, la expresión para la integral definida que contiene la función f y los límites inferior a y superior b , introducidos por el usuario. En el ejemplo que se presenta en la figura 3, el usuario introdujo los siguientes parámetros: $f = x^3 - 3x^2 + 4x - 2$, $a = 0$ y $b = 3$, por lo que la expresión para la integral definida se muestra como $\int_0^3 (x^3 - 3x^2 + 4x - 2)dx$.

Para el cálculo de la integral definida, la interfaz nos permite elegir tres métodos: La definición, aproximación por sumas y teorema fundamental del cálculo. La definición se refiere al cálculo de la integral a partir de la definición como límite al infinito de la suma de Riemann, tal como se muestra en la ecuación (1). La aproximación por sumas, se refiere a la aproximación del valor de la integral definida por medio de una suma de Riemann, ecuación (2), por la izquierda o por la derecha, considerando un número específico de rectángulos. El teorema fundamental del cálculo, utiliza la ecuación (3) para calcular el valor de la integral definida.

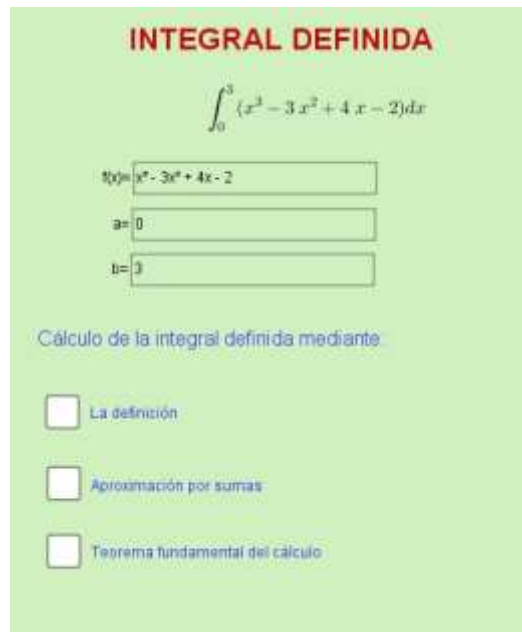


Figura 3. Interfaz principal del applet “LA INTEGRAL DEFINIDA”.

Para elegir la primera opción para el cálculo de la integral definida, se debe marcar la primera casilla, “La definición”. La figura 4 muestra el resultado de llevar al acabo el cálculo por este método; ahí, se pueden observar básicamente tres columnas, la primera que contiene la información de la interfaz principal, señalándose que se ha elegido el método “La definición” para el cálculo de la integral definida.

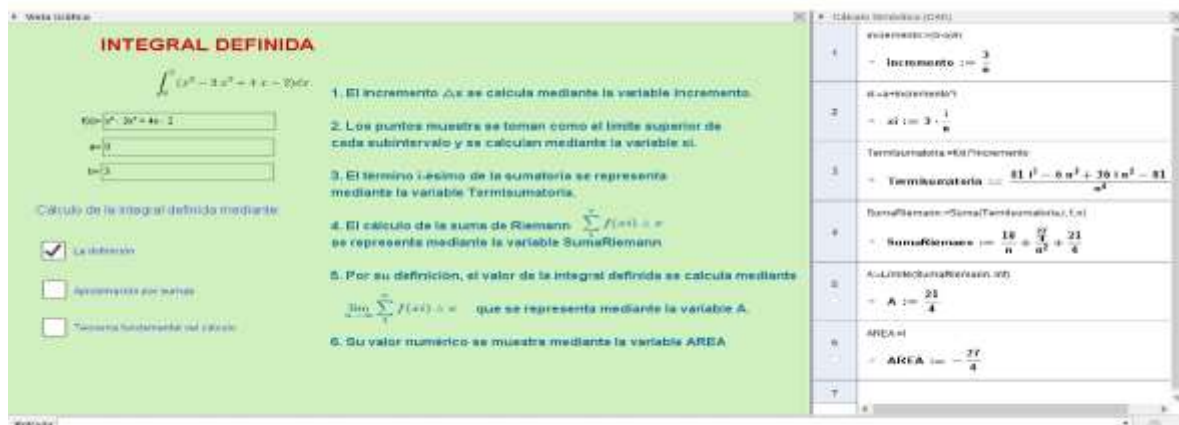


Figura 4: Cálculo de la integral definida $\int_0^3 (x^3 - 3x^2 + 4x - 2) dx$ a partir de la definición.

En la segunda columna de la figura 4, se hace referencia a los cálculos simbólicos, en cada una de las celdas que se muestran en la tercera columna, para el cálculo de la integral definida. La figura 5 muestra de forma más clara esta información. Mediante esta lista de enunciados, se describen las variables, algunas de ellas simbólicas, que se utilizan para determinar el valor de la integral definida a partir de la definición. El número de cada enunciado, se asocia a cada una de las celdas en la vista CAS del applet.

1. El incremento Δx se calcula mediante la variable incremento.
2. Los puntos muestra se toman como el limite superior de cada subintervalo y se calculan mediante la variable xi.
3. El término i-ésimo de la sumatoria se representa mediante la variable Termisumatoria.
4. El cálculo de la suma de Riemann $\sum_1^n f(x_i) \Delta x$ se representa mediante la variable SumaRiemann
5. Por su definición, el valor de la integral definida se calcula mediante $\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_1^n f(x_i) \Delta x$ que se representa mediante la variable A.
6. Su valor numérico se muestra mediante la variable AREA

Figura 5. Descripción de los cálculos simbólicos para determinar el valor de la integral definida.

Luego, en la tercera columna, se presentan los cálculos simbólicos desarrollados con la herramienta CAS de geogebra, lo cual se puede observar con claridad en la figura 6.

Cálculo Simbólico (CAS)	
1	incremento:=(b-a)/n → incremento := $\frac{3}{n}$
2	xi:=a+incremento*i → xi := $3 \cdot \frac{i}{n}$
3	Termisumatoria:=(xi)*incremento → Termisumatoria := $\frac{81 i^3 - 6 n^3 + 36 i n^2 - 81 i^2 n}{n^4}$
4	SumaRiemann:=Suma(Termisumatoria,i,1,n) → SumaRiemann := $\frac{18}{n} + \frac{27}{n^2} + \frac{21}{4}$
5	A:=Limite(SumaRiemann, inf) → A := $\frac{21}{4}$
6	AREA:=A → AREA := $\frac{21}{4}$
7	

Figura 6. Cálculos simbólicos con la herramienta CAS de geogebra para determinar el valor de la integral definida $\int_0^3 (x^3 - 3x^2 + 4x - 2)dx$.

En nuestro ejemplo, se calcula la integral definida de la función $f(x) = x^3 - 3x^2 + 4x - 2$, en el intervalo $[0,3]$.

Para el cálculo del valor de la integral, primeramente se calcula

$$\Delta x = \frac{b-a}{n} = 3/n \tag{4}$$

como se muestra en la celda 1 de la figura 6, asociada a la variable incremento.

Tomando los puntos muestra en el límite superior de cada subintervalo, tenemos entonces que

$$x_i = a + \Delta x i = 0 + \frac{3}{n} i = \frac{3}{n} i \tag{5}$$

como se muestra en la celda 2 de la figura 6 asociada a la variable xi.

Luego, se evalúa $f(x_i)$ y se multiplica por Δx para determinar el término i-esimo de la sumatoria, en este caso,

$$f(x_i)\Delta x = \left[\left(\frac{3}{n} i\right)^3 - 3\left(\frac{3}{n} i\right)^2 + 4\left(\frac{3}{n} i\right) - 2 \right] (3/n) = \frac{81 i^3 - 81 i^2 n + 36 i n^2 - 6 n^3}{n^4} \tag{6}$$

como se muestra en la celda 3 de la figura 6, asociada a la variable TermIsumatoria.

Al calcular la suma de Riemann

$$\sum_{i=1}^n f(x_i^*)\Delta x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{81 i^3 - 81 i^2 n + 36 i n^2 - 6 n^3}{n^4} \right) = \frac{27}{4n^2} + \frac{18}{n} + \frac{21}{4} \tag{7}$$

Como se muestra en la celda 4 de la figura 6, asociada a la variable SumaRiemann.

Por último, aplicando la fórmula (1),

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{27}{4n^2} + \frac{18}{n} + \frac{21}{4} \right) = \frac{21}{4} \tag{8}$$

Se obtiene el valor de la integral definida, que se muestra en la celda 5 en la figura 6, asociada a la variable A.

La celda 6 de la figura 6 muestra la variable AREA, que muestra el valor numérico de la integral definida, especialmente en casos donde se utilizan algunas variables como e, π , o bien, el resultado en la celda 5 queda expresado en términos de funciones como $\ln(2), \cos\left(\frac{\pi}{6}\right)$, u otras.

Para elegir la segunda opción en la interfaz principal para el cálculo de la integral definida, se debe marcar la segunda casilla, "Aproximación por sumas". La figura 7 muestra el resultado de llevar a cabo el cálculo por este método. En este método, se pueden elegir dos opciones, la primera que se refiere a la aproximación del valor de la integral definida con sumas de áreas por la izquierda, es decir, tomando los puntos muestra en el extremo izquierdo de cada subintervalo; y la segunda, que se refiere a la aproximación del valor de la integral definida con sumas de área por la derecha, es decir, tomando los puntos muestra en el extremo derecho de cada subintervalo. Asimismo, se muestra un deslizador de nombre N, para elegir el número de rectángulos para el método de aproximación elegido.

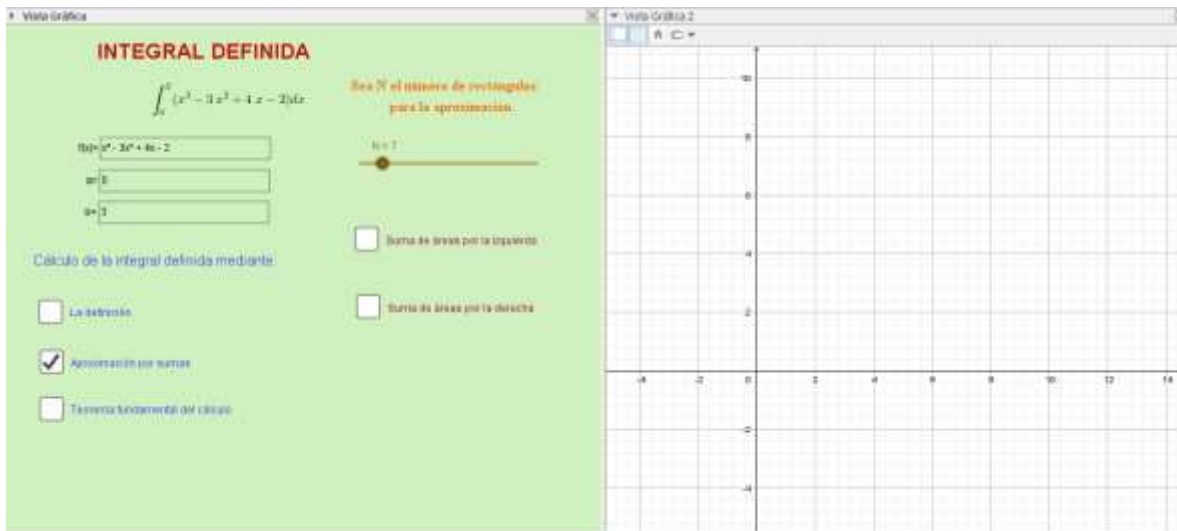


Figura 7. Aproximación del valor de la integral definida por medio de sumas de Riemann por los métodos: suma de áreas por la izquierda y suma de áreas por la derecha.

Si se elige la opción de suma de áreas por la izquierda, el aplett muestra el valor aproximado de la integral definida cuando se suman las áreas de N rectángulos, cuyas alturas están determinadas por el valor de la función en los extremos inferiores de cada subintervalo. Además, en la vista gráfica de la parte derecha de la ventana, se ilustra este método de forma gráfica, presentándose la curva que representa la función $f(x)$, y el número N de rectángulos mediante los que se aproxima el valor de la integral definida. Se puede observar de la figura 8 que el valor aproximado de la integral $\int_0^3 (x^3 - 3x^2 + 4x - 2)dx$, para $N=7$, es de 2.82, cuando se utilizan sumas de Riemann por la izquierda. La gráfica de la figura 8 ilustra las áreas de los 7 rectángulos, todos ellos con alturas determinadas por el valor de la función en los extremos de la izquierda de cada subintervalo.

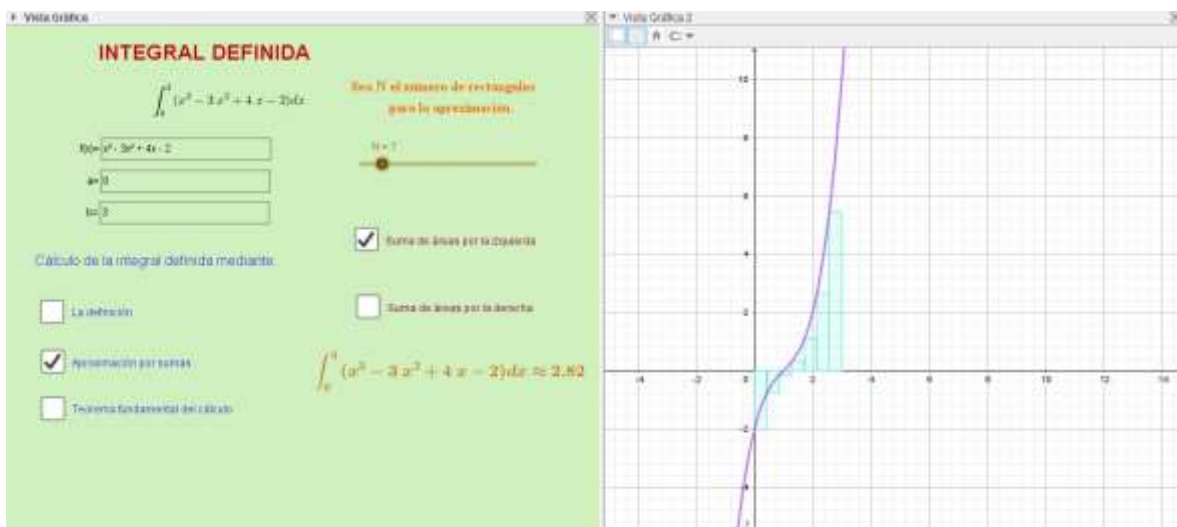


Figura 8. Aproximación del valor de la integral definida $\int_0^3 (x^3 - 3x^2 + 4x - 2)dx$ mediante sumas de Riemann por la izquierda.

Si se elige la opción de suma de áreas por la derecha, el aplett muestra el valor aproximado de la integral definida cuando se suman las áreas de N rectángulos, cuyas alturas están determinadas por el valor de la función en los extremos superiores de cada subintervalo. Además, en la vista gráfica de la parte derecha de la ventana, se ilustra este método de forma gráfica, presentándose la curva que representa la función $f(x)$, y el número N de rectángulos mediante los que se aproxima el valor de la integral definida. Se puede observar de la figura 9 que el valor aproximado de la integral $\int_0^3 (x^3 - 3x^2 + 4x - 2)dx$, para $N=7$, es de 7.96, cuando se utilizan sumas de Riemann por la derecha. La gráfica de la figura 9 ilustra las áreas de los 7 rectángulos, todos ellos con alturas determinadas por el valor de la función en los extremos de la derecha de cada subintervalo.

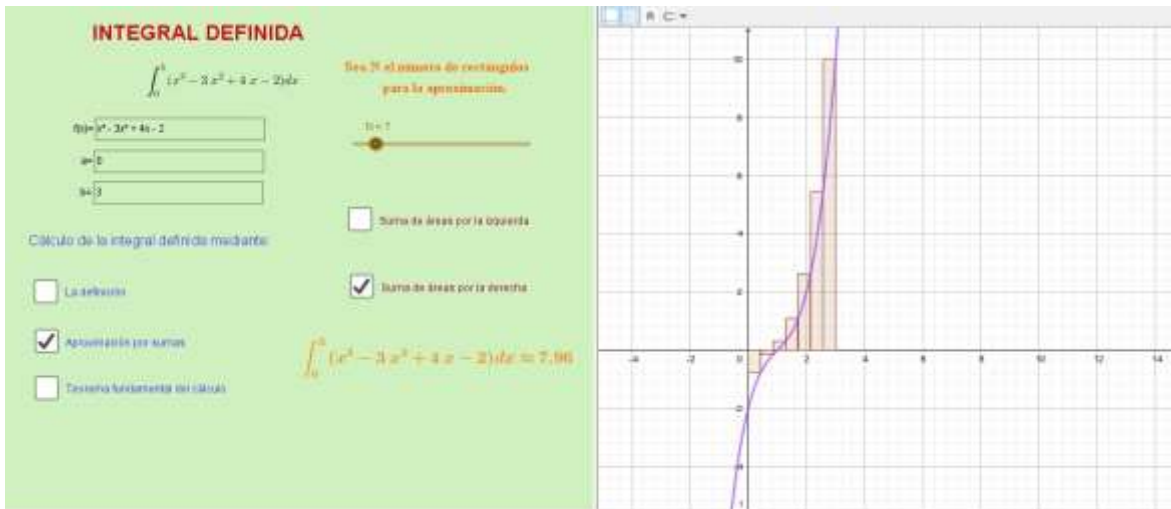


Figura 9. Aproximación del valor de la integral definida $\int_0^3 (x^3 - 3x^2 + 4x - 2)dx$ mediante sumas de Riemann por la derecha.

Para elegir la tercera opción para el cálculo de la integral definida, se debe marcar la tercera casilla, “Teorema fundamental del cálculo”. La figura 10 muestra el resultado de llevar al acabo el cálculo por este método; ahí, se muestra el valor de la antiderivada $F(x)$, y su evaluación en los límites superior $F(b)$ e inferior $F(a)$. Luego, con la ecuación (3) de determina el valor de la integral definida. La figura 10 muestra los cálculos para el caso de la integral definida de $f(x) = x^3 - 3x^2 + 4x - 2$, entre $a = 0$ y $b = 3$. Se puede observar en la figura 10 que se ha calculado un valor para $F(x) = \frac{1}{4}x^4 - x^3 + 2x^2 - 2x$, que al evaluarse en ambos límites da en el límite superior $F(3) = 5.25$, y en el límite inferior $F(0) = 0$. Al calcular el valor de la integral definida por medio del teorema fundamental del cálculo, se obtiene que

$$\int_0^3 (x^3 - 3x^2 + 4x - 2)dx = 5.25 \tag{9}$$

La ventana gráfica de la figura 10 ilustra la representación geométrica de la integral definida mostrando de forma sombreada el área asociada a este ejemplo. La función $f(x)$ cruza el eje de las x en $x = 1$. Se puede observar, que en el intervalo $0 < x < 1$, la gráfica de $f(x) = x^3 - 3x^2 + 4x - 2$ se encuentra por debajo del eje x , por lo que el área sombreada en esta región tendrá asociado un número negativo. Por el contrario, en el intervalo $1 < x < 3$, la gráfica de $f(x) = x^3 - 3x^2 + 4x - 2$ se encuentra por encima del eje x , por lo que el área sombreada en esta región tendrá asociado un número positivo.

Cabe mencionar cada vez que el usuario cambia el integrando $f(x)$, o los valores mínimo a y máximo b , del intervalo de integración, de forma automática se actualizan los valores de todas la variables y

parámetros que se utilizan en el applet, dando al usuario la oportunidad de experimentar y analizar diferentes situaciones.

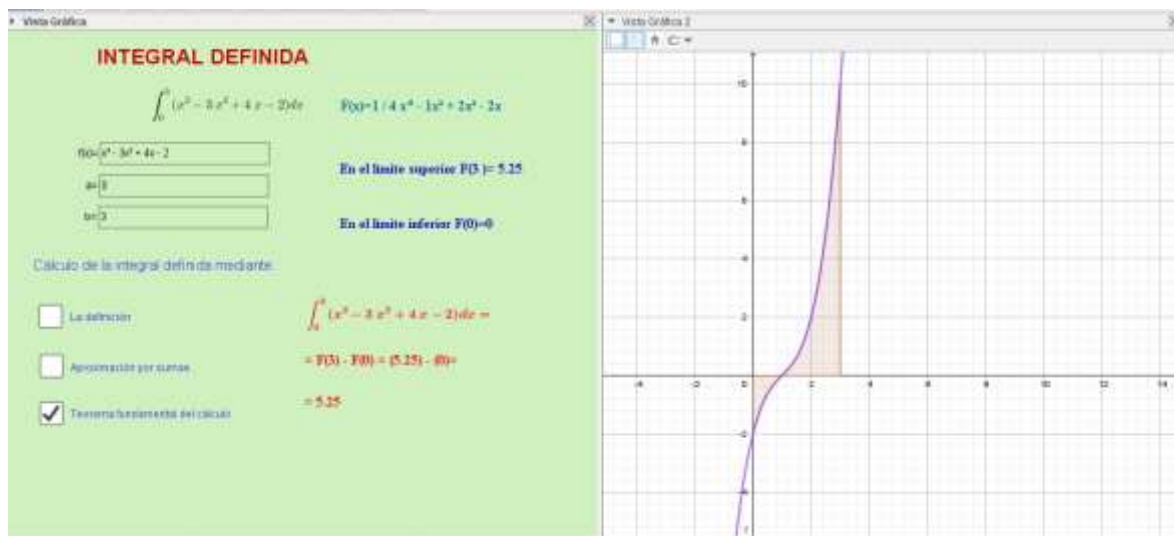


Figura 10. Cálculo del valor de la integral definida $\int_0^3 (x^3 - 3x^2 + 4x - 2)dx$ mediante el teorema fundamental del cálculo.

CONCLUSIONES

El estudio del tema de la integral definida involucra varios conceptos que pueden ser confusos para los estudiantes. En el caso del programa de estudios de la materia de cálculo integral para los estudiantes de ingeniería en el Tecnológico Nacional de México, el tema de series y sucesiones se revisa en la última unidad del programa. La definición de integral definida involucra el cálculo y la convergencia de una suma de Riemann, lo que generalmente dificulta su análisis y comprensión. La interfaz que se presenta en este trabajo permite al estudiante dejar de lado, por el momento, la tarea del cálculo de la suma de Riemann y su convergencia, por lo que su atención podría centrarse en el concepto en sí. En general, consideramos que el hecho de que el applet tenga la capacidad de realizar todos los cálculos que se requieren para determinar o aproximar el valor de una integral definida, le facilitará al usuario centrar su concentración en el estudio y análisis de los conceptos, más que en los cálculos y operaciones en sí.

Es importante señalar que la capacidad de realizar las operaciones que se requieren en los métodos presentados, se limita a las posibilidades que ofrecen las herramientas de Geogebra, por lo que podrían presentarse algunos casos en los que el funcionamiento no sea el adecuado. Recordemos que el propósito de la herramienta es con fines didácticos únicamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Solorio Leyva, J.C. (2020) La integral definida. Geogebra/TecNM ITLP Ciencias Básicas, en <https://www.geogebra.org/m/uctrm2mq>
2. Stewart, J. (2012). Cálculo de una variable: Trascendentes tempranas. México D.F., México: Cengage Learning Ed., pp. 359-394.
3. Comandos. (2020). En Geogebra recuperado el 7 de junio de 2020 de <https://wiki.geogebra.org/es/Comandos>

EXPERIMENTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN MULTIRESPUESTA EN LA CARACTERIZACIÓN DE HULE PARA SUELA DE CALZADO

Armando Mares Castro

Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, Blvd. Del Valle #2301, Guadarrayas, Purísima del Rincón, Guanajuato. C.P. 36413, México.
armando.mc@purisima.tecnm.mx

RESUMEN

En este artículo, se proponen dos enfoques de optimización de respuesta múltiple, y se utilizan en un proceso de vulcanización de suela de goma para calzado con el fin de cumplir con 3 características de calidad importantes en el material. El diseño de experimentos es una metodología estadística que se aplica para mejorar la calidad del producto. Con los resultados del experimento, se construye un modelo matemático para optimizar los parámetros del proceso. En el caso de varias respuestas, el proceso se estudia con técnicas de optimización multivariante. Se realiza un análisis comparativo de las metodologías para evaluar el mejor resultado. Los resultados obtenidos en los dos enfoques fueron similares, así como su efecto en el proceso de vulcanización.

Keywords: Diseño de Experimentos, Vulcanización, Función de Deseabilidad, Algoritmos Genéticos.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, las empresas manufactureras que desean competir deben centrarse en cumplir con las características de calidad de su producto, también llamada la voz del cliente (VoC por sus siglas en inglés) [1]. Las metodologías para la gestión de la calidad y la resolución de problemas con Six sigma, Lean Manufacturing y AMEF, contemplan la mejora en los procesos, que se puede verificar con la implementación de estrategias y procedimientos para obtener los parámetros óptimos del proceso. El diseño experimental se usa ampliamente para la mejora de los procesos mediante la obtención de los parámetros óptimos asociados a las características de calidad del producto [2]. En algunos casos, no es posible determinar una solución óptima para una característica de calidad única, en estos casos, el experimento debe planificarse para obtener varias respuestas en las corridas experimentales. Se propone la optimización para obtener la combinación de valores que coincidan con los objetivos de optimización para todas las respuestas experimentales, este proceso se denomina optimización multiobjetivo u optimización de respuesta múltiple aplicada en diseños experimentales.

El objetivo de este estudio es la propuesta y la evaluación de dos esquemas para la optimización multiobjetivo aplicable al diseño experimental en la fabricación. El estudio de caso trata del cumplimiento de las características de calidad en la goma para suelas de zapatos. Los datos se obtuvieron de los procedimientos de prueba indicados en las normas ASTM D412, Métodos de prueba estándar para elastómeros de caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos: tensión [3], y el Método de prueba estándar ASTM_D2240 para la propiedad del caucho: dureza del durómetro [4]. La optimización del esquema se realizó utilizando las técnicas de la función de deseabilidad y Optimización Multiobjetivo por Algoritmos Genéticos (MOGA por sus siglas en inglés).

TEORÍA

Calidad en manufactura

Los comienzos de la evolución en la fabricación moderna estuvieron marcados por la división del trabajo y la invención de la máquina de vapor en 1776, a través de las contribuciones de Frederick Taylor con el modelo de administración científica y la estandarización del trabajo. Por otro lado, Henry Ford y la creación de la línea de ensamblaje revolucionaron la forma de trabajar en la fabricación. A principios del siglo XX, el sistema de producción de Toyota revolucionó la forma de generar productos basados en las contribuciones de Kiichiro y Eiji Toyoda, Taiichi Ohno y Shigeo Shingo como pioneros de Lean Manufacturing y la eliminación de desperdicios en la fabricación hasta alcanzar el sistema de producción llamado Just in Time [5].

Optimización multiobjetivo en Manufactura

Las funciones de deseabilidad se han utilizado ampliamente para optimizar simultáneamente varias respuestas. Dado que la formulación original de estas funciones contiene puntos no diferenciables, solo los métodos de búsqueda se pueden utilizar para optimizar la respuesta general de deseabilidad [6]. En la versión inicial del método, las respuestas involucradas fueron tratadas con la misma importancia, los métodos actualmente modificados permiten la asignación de diferentes ponderaciones a las respuestas para asignar prioridades entre las respuestas. El concepto de deseabilidad es un medio para reducir la complejidad de la optimización de calidad multivariante [7]. Costa et al [8] presentaron una revisión sobre el desempeño del enfoque de la función de deseabilidad.

En las optimizaciones de objetivos múltiples, un método de solución puede diseñarse como un método generador para obtener una solución preferida o comprometida, el enfoque principal de MOGA se ha centrado en cómo generar soluciones de Pareto [9].

Dentro de la tecnología de fabricación, el uso de las técnicas MOGA ha recibido especial atención por sus aplicaciones potenciales que requieren una mayor complejidad que los esquemas convencionales [10]. La característica más importante de los algoritmos evolutivos es que puede encontrar con éxito soluciones óptimas a nivel mundial sin restringirse a los óptimos locales. Entre los algoritmos evolutivos, el algoritmo genético de clasificación no dominado (NSGA) y el algoritmo genético de clasificación no dominado II (NSGA-II) han surgido como los algoritmos más eficientes para resolver problemas de objetivos múltiples en procesos de fabricación [11]. Li et al [12] presentaron una revisión detallada de los detalles y características de los algoritmos evolutivos para el análisis de varios objetivos.

Las principales contribuciones y diferencias del estudio presentado en este artículo en relación con el estado del arte actual es que el estudio se centra en el hule para suela de calzado, en el que la formulación está predefinida por la empresa. El objetivo principal es el análisis del efecto de los factores presentes en el proceso de vulcanización en 3 respuestas de calidad del material que pueden analizarse mediante pruebas de laboratorio físicas. Debido a que no hay estudios similares disponibles en el estado de la técnica, se pretende que esta investigación pueda servir como base para comparaciones en futuras investigaciones, así como una referencia para la definición de los parámetros estándar requeridos en caucho para la suela del zapato y la definición de los parámetros más apropiados para el proceso de vulcanización en el material. Asimismo, se presenta la comparación de las técnicas de optimización multi-objetivo de la función de deseabilidad y MOGA, para verificar los resultados de cada método y su efectividad en el proceso.

PARTE EXPERIMENTAL

La metodología propuesta para el análisis del caso propuesto se muestra en la Figura 1. Una vez que se obtienen los resultados de las corridas experimentales, se lleva a cabo el análisis de varianza y la obtención de los modelos de regresión más apropiados, luego la respuesta múltiple. Las técnicas de optimización se aplican a través de la función de deseabilidad y MOGA con el fin de contrastar los resultados y determinar la mejor opción para el caso de análisis.

La fase de vulcanización en la fabricación de productos de caucho es el proceso más importante, ya que aquí es donde se desarrollan las características de calidad más importantes del producto. La alta competitividad en el mercado del calzado requiere que el producto cumpla con ciertas características de calidad, que pueden ser determinadas tanto por los clientes como por las reglamentaciones.



Figura 1. Metodología utilizada

Las pruebas de laboratorio permiten evaluar las propiedades mecánicas en el material fabricado y permiten conocer el nivel de cumplimiento de las características de calidad del producto. Dos pruebas de importancia aplicadas al caucho vulcanizado son la prueba de tensión (Figura 2) realizada en una máquina universal, que está relacionada con la norma ASTM D412-06a y la prueba de dureza del material relacionada con ASTM D2240-15e1.



Figura 2. Realización de pruebas de Tensión en máquina universal

Diseño Experimental

El diseño de experimentos es una metodología que se utiliza para conocer, estudiar y volver a buscar productos y procesos en la industria. Existen varios esquemas que se aplican de acuerdo con los objetivos que el ingeniero de procesos desea alcanzar. En particular, en este trabajo, se propone el diseño Box-Behnken. Este diseño se aplica cuando hay tres o más factores, satisface las propiedades estadísticas que lo convierten en un diseño eficiente en el análisis, como la ortogonalidad y la capacidad de rotación, estos pueden consultarse en [13]. Los puntos del diseño

están ubicados en el medio de los bordes del cubo centrados en el origen y no incluyen los tratamientos de los vértices que a veces son extremos y no se pueden ejecutar, la representación del diseño se muestra en la Figura 3.

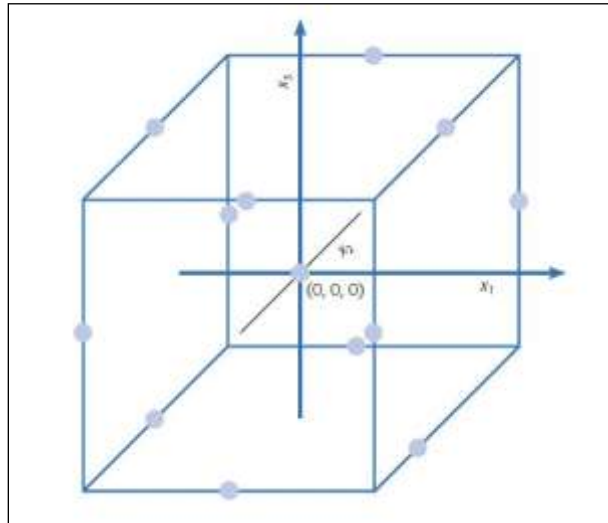


Figura 3. Representación del diseño Box-Behnken para tres factores.

Con los resultados experimentales de este diseño, pueden obtenerse modelos de regresión de segundo orden. Para este estudio en particular se obtiene un modelo para cada respuesta. Así, para r respuestas se tienen r modelos, el i -ésimo modelo para las respuestas Y_i se escribe como en la Ecuación 1

$$Y_i = \beta_{i0} + X' \beta_i + X' B_i X + \varepsilon_i \tag{1}$$

Donde $X' = (x_1, \dots, x_k)$ k factores, β_{i0} la constante, $\beta_i = (\beta_{i1}, \dots, \beta_{ik})$ un vector de parámetros, $B_i = (\beta_{i11}, \dots, \beta_{i1k}, \beta_{ik1}, \dots, \beta_{ikk})$ matriz simétrica de parámetros de segundo orden, y $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_i^2), i = 1, \dots, r$.

Para el experimento se utilizó un diseño Box-Behnken con 15 corridas experimentales para 3 factores sin bloques. Los factores experimentales son la presión, tiempo y temperatura. Mientras que las respuestas son la carga máxima, máxima deformación y dureza. Los niveles experimentales se definieron en base a la experiencia de los supervisores del proceso tomando en cuenta la variación permitida por los equipos.

La función de deseabilidad

La función de deseabilidad fue introducida por E.C. Harrington Jr [14] y modificada por George Derringer y Ronald Suich [15]. La deseabilidad individual y la deseabilidad compuesta evalúan qué tan bien una combinación de variables satisface los objetivos definidos para las respuestas. La deseabilidad individual evalúa la forma en que la configuración optimiza una respuesta individual, mientras que la deseabilidad compuesta evalúa la forma en que la configuración optimiza un conjunto de respuestas en general. El rango de deseabilidad es de 0 a 1, el valor de 1 indica la situación ideal, mientras que 0 indica que una o más respuestas están fuera de los límites aceptables. La respuesta j -ésima se maximiza cuando el valor esperado $\hat{Y}_j(x)$ es igual al valor objetivo definido M_j , por lo que el valor disminuirá a medida que se aleje del valor objetivo. Definición de V_i y V_s Como valores extremos del proceso, solo se aceptarán soluciones dentro del rango $V_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq V_s$ y la función de deseabilidad d_i para cada una de las respuestas se define en la Ecuación 2:

$$d_i(\hat{Y}_i(x)) = \begin{cases} \left[\frac{\hat{Y}_i(x) - V_i}{M_i - V_i} \right]^s & \text{if } V_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq M_i \\ \left[\frac{\hat{Y}_i(x) - V_s}{M_i - V_s} \right]^t & \text{if } M_i < \hat{Y}_i(x) \leq V_s \\ 0 & \text{if } \hat{Y}_i(x) < V_i \text{ or } \hat{Y}_i(x) > V_s \end{cases} \quad 2$$

Algoritmo Genético Multi- Objetivo

La optimización multi-objetivo basada en algoritmos genéticos está relacionada con la minimización de múltiples respuestas u objetivos, que pueden estar sujetos a un conjunto de restricciones. Hay un vector de objetivos (Ecuación 3):

$$F(x) = [\hat{Y}_1(x), \hat{Y}_2(x), \dots, \hat{Y}_r(x)] \quad 3$$

Lo que debería estar de acuerdo de alguna manera. A medida que aumenta el número de objetivos, los compromisos se vuelven más complejos. La optimización multi-objetivo basada en el uso de algoritmos genéticos se basa en la minimización del vector objetivo en la Ecuación 3. dentro de los límites de la región experimental, y también puede estar sujeto a restricciones.

El esquema de optimización multi-objetivo para Algoritmos Genéticos requiere la Minimización de la función de fitness, en la que están contenidas las funciones para Carga máxima y Deformación Máxima obtenidas desde el diseño experimental, en ambas respuestas se requiere la maximización. El esquema permite la inclusión de restricciones de igualdad en forma de funciones no lineales. Para el cual el valor de la función Dureza se fija = Al valor Target requerido.

RESULTADOS

La Figura 4 muestra los resultados de la optimización. La deseabilidad compuesta da como resultado un valor de 0.8872 que se considera buena convergencia. Las deseabilidades individuales son: dureza = 1, deformación máxima = 0.84024 y carga máxima = 0.83109.

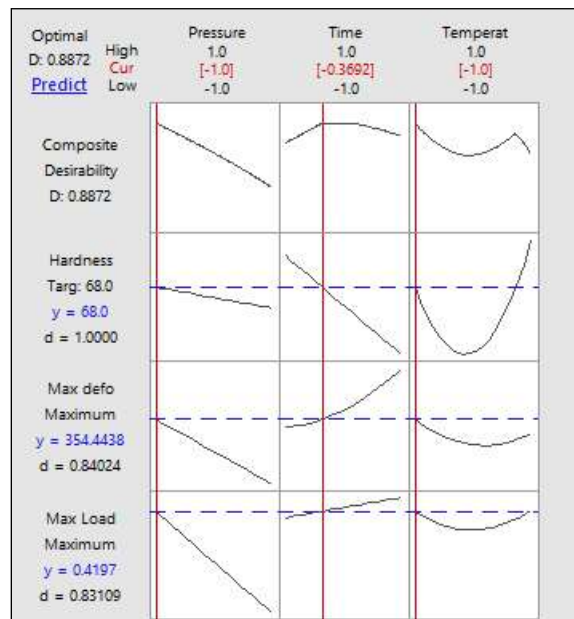


Figura 4. Resultados de la optimización por función de deseabilidad

Comparativo de los métodos de optimización

Tabla 1. Comparativo de resultados por función de deseabilidad y Algoritmos Genéticos

Factor	Funcion de deseabilidad	MOGA*
x1	-1	-1
x2	-0.3692	-0.3692788
x3	-1	-1
Presión	1200 psi	1200 psi
Tiempo	2.82 min	2.82 min
Temperatura	145 °C	145 °C
Carga Máxima	0.4201 kN	0.4197301 kN
Máxima Deformación	384.3 mm	354.4792 mm
Dureza	68 Shore A	68 Shore A

*La mejor solución en el frente de Pareto

La Tabla 1 muestra una comparación para los métodos de optimización. Se observa que se obtiene el mismo nivel extremo de proceso para la variable mediante la función de deseabilidad y MOGA, en ambos métodos se observa un valor más cercano al centro. El valor obtenido muestra una variación mínima en ambos métodos, y es detectable solo por precisión en los decimales. Se observa que se obtiene el mismo nivel extremo de proceso para la variable mediante la función de deseabilidad y MOGA.

CONCLUSIONES

La optimización multi-objetivo en la manufactura es muy importante, ya que existen muchos procesos en los que se deben obtener soluciones de compromiso para cumplir varios objetivos de calidad en un producto. La función de deseabilidad presenta la opción de ponderar la importancia de cada una de las respuestas en la búsqueda de una solución más apropiada, y la técnica MOGA permite obtener un conjunto de soluciones no dominadas en el frente de Pareto que puede permitir al analista una mejor selección de la respuesta según el tipo de proceso analizado. MOGA funciona en un esquema de optimización restringido y permite el uso de conjuntos de restricciones lineales o no lineales que permiten el análisis de casos más complejos.

Los niveles obtenidos en el proceso se consideran adecuados, ya que la combinación de niveles en las variables permite una vulcanización óptima que permite mejores propiedades físicas y mecánicas en el material.

BIBLIOGRAFÍA

1. Socconini, L. (2015). Certificación Lean Six Sigma Green Belt para la excelencia en los negocios. Barcelona.
2. Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. New York: Wiley.
3. ASTM_D412-06a. (2013). Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension. In. West Conshohocken, PA: ASTM International.
4. ASTM_D2240-15e1. (2015). Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness. In. West Conshohocken, PA: ASTM International.
5. Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. International Journal of Operations & Production Management, 34, 876-940. doi:10.1108/IJOPM-08-2012-0315

6. Del Castillo, E., Montgomery, D. C., & McCarville, D. R. (1996). Modified Desirability Functions for Multiple Response Optimization. *Journal of Quality Technology*, 28(3), 337-345. doi:10.1080/00224065.1996.11979684
7. Trautmann, H., & Weihs, C. J. M. (2006). On the distribution of the desirability index using Harrington's desirability function. 63(2), 207-213. doi:10.1007/s00184-005-0012-0
8. Costa, N., Lourenco, J., & Pereira, Z. (2011). Desirability Function Approach: A Review and Performance Evaluation in Adverse Conditions.". *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 107. doi:10.1016/j.chemolab.2011.04.004
9. Ziegel, E. (2002). Genetic Algorithms and Engineering Optimization. *Technometrics*, 44(1), 95-95. doi:10.1198/tech.2002.s675
10. Davim, J. P., & Davim, J. P. (2012). *Computational Methods for Optimizing Manufacturing Technology: Models and Techniques*. Hershey PA: IGI Global.
11. Kanthababu, M. (2012). Multi-Objective Optimization of Manufacturing Processes Using Evolutionary Algorithms. In *Computational Methods for Optimizing Manufacturing Technology: Models and Techniques* (pp. 44-66). Hershey, PA, USA: IGI Global.
12. Li, B., Li, J., Tang, K., & Yao, X. (2015). Many-Objective Evolutionary Algorithms: A Survey. 48 (*ACM Comput. Surv.*), Article 13. doi:10.1145/2792984
13. Box, G. E. P., & Behnken, D. W. (1960). Some New Three Level Designs for the Study of Quantitative Variables. *Technometrics*, 2(4), 455-475. doi:10.2307/1266454
14. Harrington, E. C. J. (1965). The desirability function. 21(10), 494-498.
15. Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4), 214-219. doi:10.1080/00224065.1980.11980968

REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE: MININET PARA EL ESTUDIO DE REDES PROGRAMABLES

Dennise Ivonne Gallardo Alvarez, Juan Pablo Razón González, Israel Duran Belman, Néstor León Vega, Juan Antonio Magdaleno Zavala

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.
degallardo@itesi.edu.mx, jurazon@itesi.edu.mx, isduran@itesi.edu.mx, neleon@itesi.edu.mx,
anmagdaleno@itesi.edu.mx

RESUMEN

Los avances tecnológicos, han producido una evolución en la funcionalidad de las redes de computadoras, que se podrían sintetizar en tres contextos: uso de dispositivos físicos, uso de virtualización y al presente, uso del cómputo en la nube; estos escenarios no son autónomos, es decir, un esquema puede utilizar a cualquiera de los otros dos, sin embargo, desde la virtualización se consiguen grandes ventajas que difícilmente podrían lograrse con equipos físicos. En el ámbito de la docencia, estas transformaciones tecnológicas imponen el reto, la necesidad y sobre todo la posibilidad de renovar los tópicos y técnicas de enseñanza y el tipo de material docente que se pone a disposición de los estudiantes y maestros, por ello, el objetivo principal del presente trabajo es mostrar un estudio sobre un concepto emergente que está revolucionando el campo de las comunicaciones denominado Redes Definidas por Software (SDN); estas redes que se consideran programables permiten que los dispositivos sean orquestados de manera centralizada con la ayuda de algún protocolo como OpenFlow. Se presenta el diseño e implementación de dos escenarios de red desarrollados con Mininet y utilizando la metodología PDIOO propuesta por Cisco Systems, y se logra demostrar la funcionalidad y ventajas que tiene esta herramienta como apoyo a la enseñanza y al mismo tiempo las oportunidades clave que se pueden abordar con las SDN, frente a las redes convencionales.

INTRODUCCIÓN

Los avances en la tecnología y en específico las telecomunicaciones, han orientado a la automatización de las redes de datos. Hoy en día, en la mayoría de las organizaciones, las redes de telecomunicaciones se han convertido en parte esencial de su infraestructura tecnológica, por ello, la demanda de personal capaz de administrarlas está en crecimiento.

Por su parte, para las instituciones educativas de nivel superior, es difícil hablar de egresados altamente potenciales, pues son muchos los aspectos a medir y que intervienen en la competencia del universitario. Cada organización cuenta con sus propias necesidades a satisfacer y buscan al profesional ideal para integrarlo y darle solución a sus problemas. Resulta difícil saber dónde el egresado llevará a cabo sus actividades profesionales por lo que se hace urgente la preparación del estudiante desde una perspectiva más amplia que le permita ser competitivo en todos los campos.

En específico, el Tecnológico Nacional de México campus Irapuato siendo una institución de nivel superior, busca en los alumnos una formación integral de nivel superior a través de un proceso educativo de alta calidad con un enfoque cuyo propósito es adquirir conocimientos técnicos, científicos y humanísticos lo cual permita al egresado convertirse en promotor y agente de cambio (Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, 2020).

En la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales de esta institución, se cuenta con dos especialidades: Desarrollo de Software y Redes de Computadoras, en las cuales se hace uso de tecnologías que están en constante cambio. Los temarios de dichas especialidades se actualizan cada cinco años debido al gran cambio que se menciona anteriormente. Actualmente, en la retícula de la carrera no está presente en ninguna materia el tópico de Redes Definidas por Software y al ser una tecnología emergente hace que el estudiante esté en desventaja al no conocerlo.

De acuerdo a resultados del estudio State of the Network | 2019, hecho por Viavi Solutions, que consulta a los profesionales de TI sobre tecnologías emergentes o nuevas y sobre los despliegues dentro de sus organizaciones empresariales, se anuncia que las empresas están acelerando el despliegue de la tecnología SDN. Los hallazgos indican que aproximadamente 3 de cada 4 empresas planean implementarla para 2021 (Viavi Solutions Inc., 2019).

Ante este panorama, se aprovecha ésta área de oportunidad para investigar sobre el tema haciendo uso de la herramienta Mininet la cual permite emular Redes Definidas por Software, y ver el impacto que tiene como herramienta de enseñanza para proponer el tópico dentro de la retícula, que ayude a la actualización de temarios y por ende al fortalecimiento de conocimientos en los estudiantes teniendo un panorama más amplio, además de proporcionar a los maestros una herramienta didáctica que les permita desarrollar la formación académica de sus educandos.

TEORÍA

Se dice que las Redes Definidas por Software o SDN por sus siglas en inglés (Software Defined Networking) son un nuevo modelo de las redes de datos, que produce cambios significativos en cómo se construye y opera una red; las SDN permiten el control de la red desde un único punto (controlador), gracias a la separación del plano de control y el plano de datos.

La arquitectura de las SDN consta de tres capas: capa de infraestructura, capa lógica y capa de aplicación. La capa de infraestructura está conformada por los dispositivos de red (switches y routers) los cuales pueden ser configurados por los controladores a través de la implementación de reglas de supervisión del tráfico para el cambio y/o políticas de seguridad. La capa media forma el controlador el cual es el encargado de tomar las decisiones y programar las tablas de flujo de los elementos de la capa inferior para controlar el flujo de paquetes. Y la capa superior que es la capa de aplicación, la componen las aplicaciones creadas por los usuarios que son las que permiten personalizar las redes (Open Networking Foundation, 2012).

Esta idea de programar redes no es nueva, pero en la actualidad, la inteligencia de la red se centra lógicamente en controladores basados en software y los dispositivos de red se convierten solamente en dispositivos de reenvío de paquetes que pueden ser programados a través de una interfaz abierta como lo es OpenFlow.

OpenFlow es una interfaz abierta para el control remoto de las tablas de reenvío de los conmutadores de red, routers y puntos de acceso. El protocolo Openflow constituye la base de las SDN, este fue propuesto por diferentes miembros de las universidades de Stanford y California en Berkeley. En la actualidad, la Open Networking Foundation (ONF) se encarga de la definición del estándar (Norberto Figuerola, 2013).

OpenFlow Controller es el dispositivo principal en la arquitectura SDN. Es él quien toma las decisiones, implementa las reglas de la red, ejecuta las instrucciones que le proporcionan las diferentes aplicaciones y las distribuye a los diferentes dispositivos de la capa física de la red. Es quien determina cómo manejar los paquetes que no encajan en ninguna de las entradas de las tablas de flujo y quien gestiona dichas entradas, añadiendo o eliminando a través del canal seguro a los dispositivos OpenFlow (Centeno & Vergel & Calderón & Bondarenko, 2014).

Por otro lado, Mininet es un emulador de redes enfocado a las Redes Definidas por Software y el protocolo OpenFlow. Permite crear las SDN, emulando redes mediante un escenario virtual, a través del lenguaje de programación Python. Dicha herramienta virtualiza hosts, switches y routers. Mininet usa una virtualización ligera para crear una red completa y cada host que se utiliza funciona como una máquina real, es decir, los dispositivos virtuales de Mininet se crean utilizando software en lugar de hardware. La eficiencia de Mininet proporciona una manera fácil de observar el comportamiento de la red además de experimentar con topologías SDN de manera virtual. Es fácil interactuar con la herramienta Mininet mediante el API que ofrece, debido a que su uso está destinado para el desarrollo, la enseñanza y la investigación (Bob, Nikhil, Brandon, & Vimal, 2018).

PARTE EXPERIMENTAL

Este proyecto es dividido en dos etapas, la primera enfocada al desarrollo y estudio de los escenarios de red SDN y la segunda orientada al análisis de Mininet como herramienta de apoyo a la enseñanza de las redes definidas por software considerando una muestra de estudiantes:

Desarrollo de escenarios de red

La metodología elegida para el desarrollo de los escenarios de red es PDIOO, ésta es propuesta por Cisco Systems y permite formalizar el diseño de una red en cinco fases: Planeación, Diseño, Implementación, Operación y Optimización (Cisco Systems, 2004).

Planeación

Dado el objetivo del proyecto, se establece que los escenarios de red se generen en un entorno virtual, y se diseñen y configuren considerando dos niveles en sus topologías para lograr en los alumnos un aprendizaje significativo y de manera incremental:

- Topologías de nivel básico
- Topologías de nivel avanzado

Por tanto, para la creación de estos escenarios así como las pruebas necesarias para la implementación de las SDN se utilizan las siguientes herramientas:

- Software de virtualización
- Sistema operativo Linux
- Sistema de ventanas
- Cliente de acceso remoto
- Analizador de protocolos

Diseño

Las topologías planteadas para el presente proyecto son diseñadas de acuerdo al grado de dificultad mencionado anteriormente:

- a) Nivel básico: Una red se considera de este nivel porque maneja comandos básicos que permiten familiarizarse con la interfaz del Mininet y las herramientas utilizadas, además, la red que se crea dispone de un controlador pero no configurado, es decir, los flujos de la red se configuran de manera manual. En la figura 1 se muestra la topología propuesta para este nivel que incluye un switch y tres hosts.

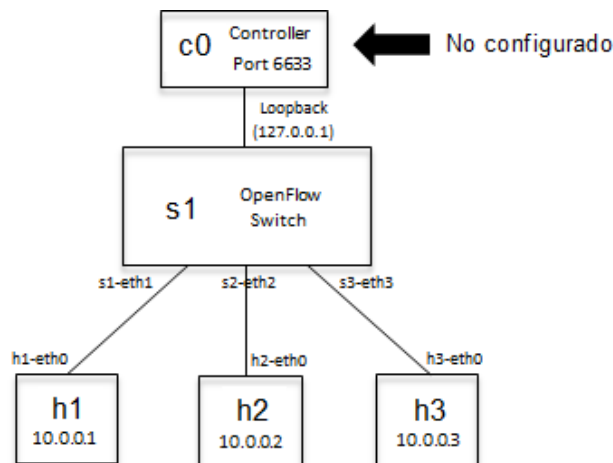


Figura 16. Topología de red – nivel básico. Fuente: Elaboración propia

- b) Nivel Avanzado: Una red de nivel avanzado implica hacer uso de un controlador configurado, dicha configuración es realizada por medio de código en Python. En la figura 2 se muestra la topología propuesta para este nivel que incluye un switch, tres hosts y un controlador configurado realizando la función del switch.

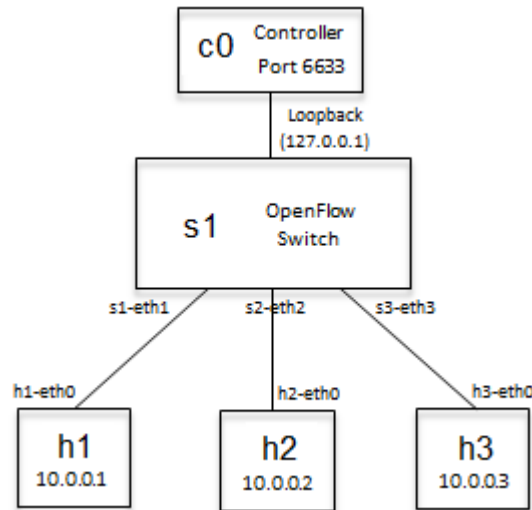


Figura 17. Topología de red – nivel avanzado. Fuente: Elaboración propia

Implementación

Para la implementación de las redes se utilizan herramientas de hardware y software las cuales se describen en la tabla 1:

HARDWARE			SOFTWARE
Computadora			<ul style="list-style-type: none"> VirtualBox (Libre, GPL)
	Mínimo	Utilizado	<ul style="list-style-type: none"> Sistema Operativo Virtualizado Ubuntu 14.04 de 32 bits.
Procesador:	x86	AMD A6-4400M APU con Radeon(tm) HD Graphics 2.70 GHz	<ul style="list-style-type: none"> Mininet 2.2.1.
Memoria RAM:	2 GB	6 GB	<ul style="list-style-type: none"> Wireshark
Disco Duro:	250 GB	500 GB	<ul style="list-style-type: none"> Putty Release 0.67
Sistema Operativo:	Windows XP o superior /Linux	Windows 7 Ultimate	<ul style="list-style-type: none"> Xming 6.9.0.31

Tabla 8. Hardware y software utilizado en la creación de las SDN. Fuente: Elaboración propia

En primer lugar se instaló el software de virtualización “VirtualBox” para el despliegue de la máquina virtual “Mininet/Ubuntu VM”, la cual se encuentra a disposición de todos los usuarios en la página oficial de Mininet; dicha máquina virtual tiene instalado Mininet sobre el sistema operativo Ubuntu y su interfaz es línea de comandos. Una vez instalada, el acceso es a través de usuario y contraseña como se muestra en la figura 3. En este momento se pueden crear y configurar redes SDN en conjunto con una sesión SSH.

Cabe mencionar, que el uso de una interfaz de sistema de ventanas (Xming) en Windows, es muy útil para configurar de forma independiente cada host virtualizado en Mininet, además permite el acceso al programa Wireshark para realizar capturas de paquetes del flujo de datos con el protocolo OpenFlow de las redes creadas.

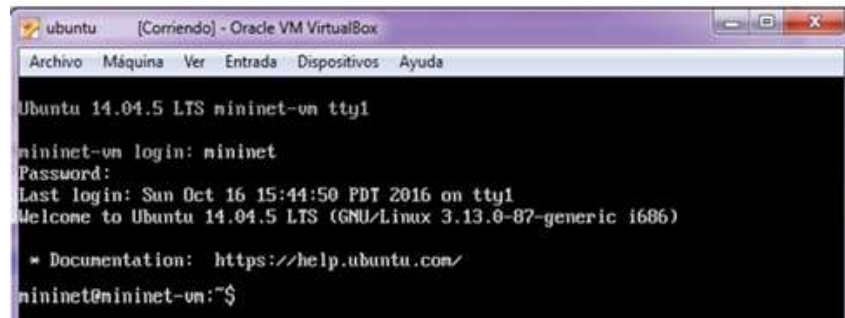


Figura 18. Interfaz de Mininet. Fuente: Elaboración propia

Operación

La funcionalidad de las topologías desarrolladas y la diferencia entre ellas, es revisada con el comando ping y la herramienta Wireshark.

Para la topología uno, en la figura 4 se observa el correcto funcionamiento mediante un ping entre el host 1 y el host 2.

```

mininet> h1 ping -c3 h2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.944 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.049 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 2002ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.049/0.348/0.944/0.421 ms
mininet>

```

Figura 19. Ping entre host 1 y host 2 – Topología uno. Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se observa la ejecución de Wireshark, sin embargo, no muestra paquetes del protocolo OpenFlow (of) debido a que en esta topología no existe un controlador programado.

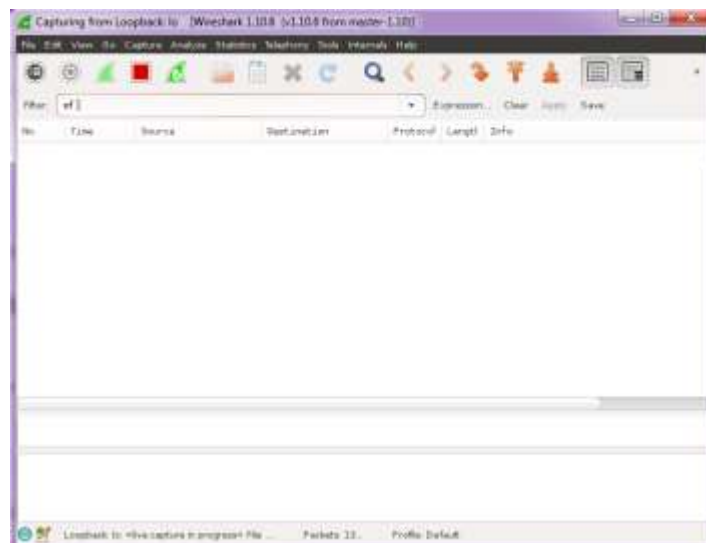


Figura 20. Flujo de paquetes con Wireshark – Topología uno. Fuente: Elaboración propia

Para la topología dos, en la figura 6 se observa el correcto funcionamiento a través de un ping entre el host 1 y la dirección IP del host 2.

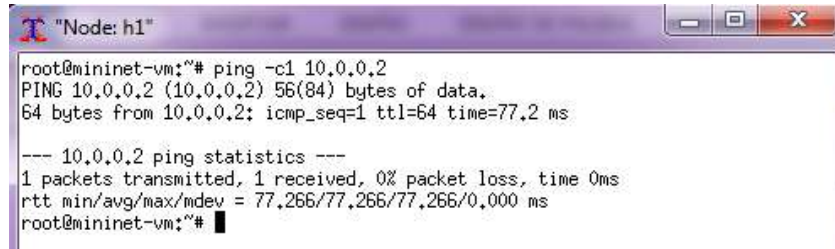


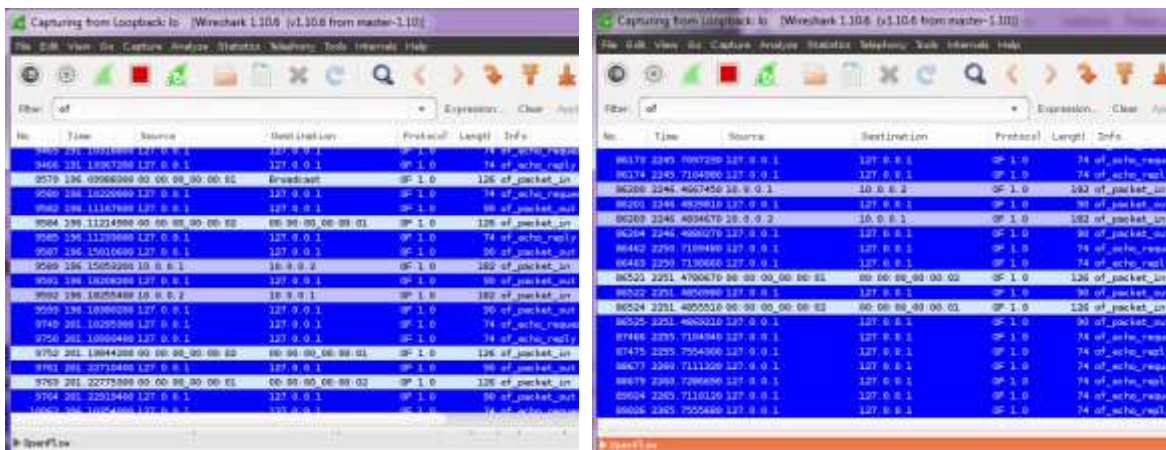
Figura 21. Ping entre host 1 e IP del host 2 – Topología dos. Fuente: Elaboración propia

Es importante mostrar que debido a que es el primer paquete que se envía entre los hosts, éste se envía como broadcast pero el paquete llega con éxito solo al host de destino (ver figura 7).



Figura 22. Flujo de tráfico tipo broadcast – Topología dos. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 8 se presenta la ejecución de Wireshark que muestra el tráfico de red de la segunda topología. En el inciso a) se observa el primer envío de paquete (tipo broadcast) y en el inciso b) se observa el envío de paquetes subsiguientes (tipo unicast), función que realiza un switch.



a) Envío de paquete broadcast

b) Envío de paquete unicast

Figura 23. Flujo de paquetes con Wireshark – Topología dos. Fuente: Elaboración propia

Optimización

Debido al alcance del proyecto esta fase no se incluye ya que las simulaciones no se implementan en un entorno real, sin embargo los escenarios propuestos pueden ajustarse sin ningún inconveniente.

Análisis de Mininet

Para este análisis es realizada una prueba piloto con 15 estudiantes de la carrera Ingeniería en Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México campus Irapuato, mismos que fueron elegidos considerando tres características:

- Estar cursando el noveno semestre de la carrera.
- Estar cursando la especialidad de Redes.
- Estar cursando la materia “Redes convergentes y Cómputo en la nube”.

En esta prueba, los estudiantes tuvieron dos horas por topología para realizarlas y el material de apoyo entregado fue un manual de la práctica y la máquina virtual con las características necesarias para su correcto funcionamiento.

Una vez que los estudiantes interactuaron con Mininet se hace necesario aplicar una encuesta con el objetivo de verificar el impacto del uso de la herramienta. Esta encuesta consta de cinco preguntas cerradas, en la tabla 2 se muestran los reactivos realizados.

No.	Pregunta	Respuesta			
1.	¿En qué porcentaje considera haber comprendido el concepto de redes definidas por software (SDN)?	0 - 25%	25 - 50%	50 - 75%	75 - 100%
2.	¿Cuánto tiempo le tomó realizar cada práctica?	Menos de 30 minutos	De 30 a 60 minutos	De 60 a 90 minutos	Más de 90 minutos
3.	¿Había escuchado hablar de este tópico “Redes Definidas por software”?	SI		NO	
4.	¿Considera oportuno incluir este tópico en alguna de las asignaturas de la carrera?	SI		NO	
5.	¿En qué asignatura considera pertinente incluir el tópico?	Redes de computadoras	Conmutación y enrutamiento de redes de datos	Administración de redes	Redes convergentes y cómputo en la nube

Tabla 9. Cuestionario para estudiantes. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, las primeras dos preguntas son de escala de valoración y se orientan a la revisión de la experiencia en cuanto a comprensión del tema y tiempo al realizar las topologías. Las últimas tres son orientadas a la necesidad y posibilidad de incluir el tópico Redes Definidas por Software en la retícula de la carrera en cuestión.

RESULTADOS

Los resultados que se han tenido con el desarrollo de este proyecto, incitan a seguir en la búsqueda de herramientas tecnológicas que ayuden a mantener actualizados los tópicos de carreras afines a las tecnologías de información acordes a los avances en la tecnología.

En cuestión tecnológica, se logró el despliegue de un entorno para el estudio de las SDN, mismo que actualmente se utiliza para la configuración de nuevos escenarios, con la intención de conformar un repositorio de prácticas que esté al alcance de los alumnos. Cabe resaltar que este entorno fue desplegado sobre una computadora portátil con características óptimas para examinar el

funcionamiento de las SDN en un ambiente de laboratorio, por lo que para un segundo proyecto se observa la necesidad de la implementación en un servidor dedicado para realizar un análisis profundo.

Con respecto a los resultados de las encuestas realizadas a los estudiantes, en la figura 9 se observan las estadísticas de cada reactivo.

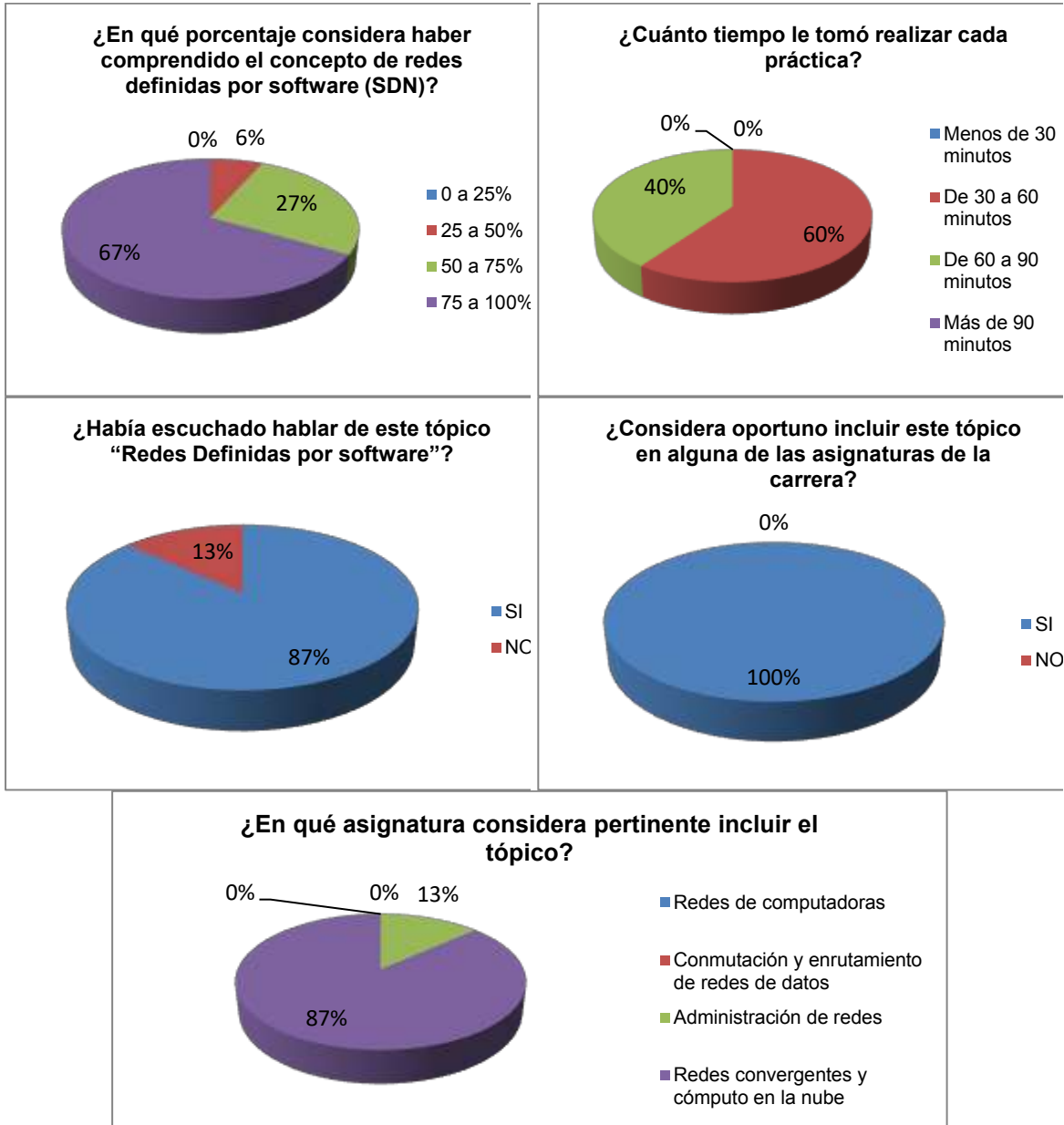


Figura 24. Resultados – Cuestionario a alumnos. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la totalidad de alumnos encuestados respondieron haber comprendido el tema Redes Definidas por Software entre el 50 y el 100%, además de haber realizado cada escenario

en un tiempo de entre 30 y 90 minutos (tiempo adecuado para su despliegue y análisis) lo cual indica que Mininet puede considerarse una excelente herramienta para la enseñanza de éste tópico.

Por otro lado, los resultados de las últimas tres preguntas arrojan que los estudiantes consideran oportuno incluir el tema en la materia Redes convergentes y cómputo en la nube, ya que la mayoría ha escuchado hablar de las SDN pero no ha trabajado con ellas. Estos resultados son favorables para el proyecto pues inicialmente se pensó incluir el tópico en esta materia debido a que los alumnos, en este semestre, ya cuentan con las bases de Redes de Datos, lo cual implica que sea más fácil comprender los conceptos que se manejan.

CONCLUSIONES

Dadas las transformaciones tecnológicas, las Instituciones de Educación Superior tienen ante sí la responsabilidad de buscar herramientas que fortalezcan la formación de los estudiantes.

Con este proyecto se ha ampliado el panorama sobre el material que se puede aprovechar para mejorar la formación académica de los estudiantes. Se ha cumplido el resultado esperado en un 100%, se logró profundizar en las Redes Definidas por Software, en su funcionamiento, arquitectura y el potencial que tiene este tipo de infraestructura.

Con el uso de la herramienta Mininet se adquieren conocimientos y habilidades técnicas sobre las SDN, permitiendo al usuario aprender la manera en la que se programan estas redes desde un entorno virtual, lo que ayuda a que se disminuya la brecha entre la teoría y la práctica.

Finalmente, la ventaja de trabajar con el emulador radica en la flexibilidad de uso que éste brinda, ya que permite desarrollar diferentes tipos de redes utilizando dispositivos virtuales que soportan tecnologías de gran magnitud. Así mismo, los beneficios derivados que se destacan son la reducción de gastos en equipamiento informático, mayor grado de experimentación, además de ofrecer la oportunidad de instalar, configurar y administrar la propia instalación ampliando por tanto la formación en un tema que, sin duda, es una tendencia con gran impacto en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bob, L., Nikhil, H., Brandon, H., & Vimal, J. (2018). *Introduction to Mininet*. Recuperado el 4 de Mayo de 2016, de Introduction to Mininet: <https://github.com/mininet/mininet/wiki/Introduction-to-Mininet>
2. Centeno & Vergel & Calderón & Bondarenko. (Diciembre de 2014). *Controladores SDN, elementos para su selección y evaluación*. Recuperado el 17 de Mayo de 2016, de Controladores SDN, elementos para su selección y evaluación.: <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/viewFile/164/153>
3. Cisco Systems, I. (2004). *CCDA Self-Study: Designing for Cisco Internetwork Solutions (DESGN)*. (D. Teare, Ed.) Cisco Press.
4. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. (2020). *Filosofía Institucional*. Recuperado el 10 de Febrero de 2016, de Filosofía Institucional: www.itesi.edu.mx/Acerca_de_ITESI/filosofia_institucional.html
5. Norbeto Figuerola. (2013). *SDN-Redes definidas por software*. Recuperado el 14 de Mayo de 2016, de SDN-Redes definidas por software: <https://articulosit.files.wordpress.com/2013/10/sdn.pdf>
6. Open Networking Foundation. (13 de April de 2012). *Software-Defined Networking: The New Norm for Networks*. Recuperado el 13 de Mayo de 2016, de Software-Defined Networking: The New Norm for Networks: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/white-papers/wp-sdn-newnorm.pdf>
7. Viavi Solutions Inc. (2019). *State of the Network - 2019 Study*. Obtenido de <https://www.stateofthenetwork.com/studies/2019.php>

CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL SOMBRERO

Nayeli Montalvo Romero, Aarón Montiel Rosales, Sara López Dimas

Tecnológico Nacional de México / ITS de Purisima del Rincón

nayeli.mr@purisima.tecnm.mx, aaron.mr@purisima.tecnm.mx, lrs16110435@purisima.tecnm.mx

RESUMEN

La producción del sombrero es una actividad clave de los pueblos del Rincón; generando la solvencia económica de diversas familias guanajuatenses.

El proceso de fabricación del sombrero es un proceso artesanal, con actividades manuales, por lo que surge la necesidad de caracterizar el proceso de fabricación del sombrero para estandarizar las actividades que desempeñan los trabajadores dentro del taller. Para lo cual, el proceso se realizó en tres etapas: diagnóstico, estandarización y aplicación.

En el diagnóstico del proceso tuvo como objetivo describir el proceso productivo con el objetivo de documentar mejor el proceso y obtener mayor eficiencia en el trabajo; así como definir el estilo a trabajar.

Para la estandarización se aplicó un estudio de tiempos y movimientos, para determinar el tiempo que requiere cada proceso y de esta manera evitar la presencia de un porcentaje alto de improductividad que afecta la eficiencia del trabajo que se realiza, con la finalidad de aprovechar todos los recursos disponibles.

Finalmente, en la etapa de caracterización se llevó a cabo la implementación de fichas técnicas con una breve explicación de las características técnicas de cada producto y con la aplicación de las 5's, para asegurar la calidad en sus productos y/o proceso, se logró reducir tiempos de operación en un 15%. Además se creó una matriz de caracterización, donde se menciona las actividades, alcance, entradas, salidas, responsable, etc.

La caracterización del proceso de fabricación del sombrero ayudó a incrementar la productividad y planificar a nivel táctico el proceso productivo.

INTRODUCCIÓN

El sombrero es considerado como una prenda de vestir [1], siendo este un producto altamente demandado en Europa [2]; esto contrasta con el hecho de que su fabricación, qué bien se puede considerarse como un proceso artesanal [3].

En México, la fabricación de sombrero se centra en San Francisco del Rincón, Guanajuato [4], teniendo su auge en el siglo XX [5]. La manufactura de sombrero es un referente cultural de la historia en San Francisco del Rincón. La industria sombrerera francorinconense se inició con modestos talleres familiares, conforme avanzó la maquinización de este producto, los talleres se transformaron en fábricas.

El presente trabajo de investigación aborda derivado de la gran demanda y del tipo de fabricación, la caracterización del proceso de fabricación del sombrero, con lo que es posible sentar las bases para mejorar el proceso. Es por ello, que el estudio abarca precisamente la estandarización de los diversos procesos, con el objetivo de unificar procedimientos; al mismo tiempo, en que se efectúan propuestas de aplicación de herramientas de calidad y mejora continua, con la intención de establecer cambios radicales sin perjudicar la manera que actualmente se está trabajando, al contrario que beneficie al taller maquilador, y a sus trabajadores.

TEORÍA

La caracterización del proceso de fabricación del sombrero se realiza empleando herramientas básicas de ingeniería:

- 5's. El acrónimo corresponde a las iniciales en japonés de las cinco palabras que definen las herramientas y cuya fonética empieza por "S": Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, que significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y crear hábito [6]. Es una forma indirecta de que el personal perciba la importancia de las cosas pequeñas, de que su entorno depende de él mismo, que la calidad empieza por

cosas muy inmediatas, de manera que se logra una actitud positiva ante el puesto de trabajo [7].

- Diagrama de Flujo del Proceso. Aunque el diagrama de bloques también es un diagrama de flujo, no posee tantos detalles e información como el diagrama de flujo del proceso, donde se usa una simbología internacionalmente aceptada para representar las operaciones efectuadas: (a) operación, significa que se efectúa un cambio o transformación en algún componente del producto, ya sea por medios físicos, mecánicos o químicos, o la combinación de cualquiera de los tres; (b) transporte, es la acción de movilizar de un sitio a otro algún elemento en determinada operación o hacia algún punto de almacenamiento o demora; (c) demora, se presenta generalmente cuando existen cuellos de botella en el proceso y hay que esperar turno para efectuar la actividad correspondiente, en otras ocasiones el propio proceso exige una demora; (d) almacenamiento, tanto de materia prima, de producto en proceso o de producto terminado; (e) inspección, es la acción de controlar que se efectúe correctamente una operación, un transporte o verificar la calidad del producto, y (f) operación combinada, ocurre cuando se efectúan simultáneamente dos de las acciones mencionadas.
- Diagrama de Tortuga. Es una herramienta que permite ver las entradas y salidas de un proceso, al mismo tiempo que responde las preguntas ¿Cómo?, ¿Quién?, ¿Cuánto?, ¿Con qué? Por lo que es muy adaptable a los procedimientos, métodos y prácticas que existen en las organizaciones [8].
- Diagrama de Ishikawa. El diagrama de causa-efecto o de Ishikawa es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. Es una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX en ámbitos de la industria y posteriormente en el de los servicios, para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como lo son; calidad de los procesos, los productos y servicios [9].
- Diagrama de Pareto. Es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos cuyo objetivo es ayudar a localizar el o los problemas vitales, así como sus causas más importantes [10].
- Estudio de Tiempos con Cronómetro. El estudio de tiempos es una técnica para determinar con la mayor exactitud posible, con base en un número limitado de observaciones, el tiempo necesario para llevar a cabo una tarea determinada [11].

PARTE EXPERIMENTAL

El estudio inicia con la Etapa de Diagnostico, aplicando el diagrama Ishikawa con el que se logró descubrir otros problemas no considerados inicialmente en las demoras del proceso (véase Figura 1). Con el diagrama de tortuga se determinaron los elementos esenciales para llevar a cabo el proceso, para así determinar las interacciones de los distintos procesos dentro del taller maquilador, además de que permitió identificar los resultados y al mismo tiempo evaluar la conformidad de los mismos (ver Figura 2).

Es impráctico pretender resolver todos los problemas de un proceso o atacar todas las causas al mismo tiempo, en este sentido se realizó un diagrama de Pareto para analizar qué productos son los más demandado en el taller al mes, con el objetivo de determinar el producto estrella (ver Figura 3). En la Etapa de Estandarización, se realizó el diagrama de flujo que se presenta en la Figura 4; el cuál, es una representación gráfica que ilustra la secuencia de las operaciones del proceso del producto estrella, con el objetivo de documentar el proceso de fabricación y con ello obtener mayor eficiencia en el trabajo.

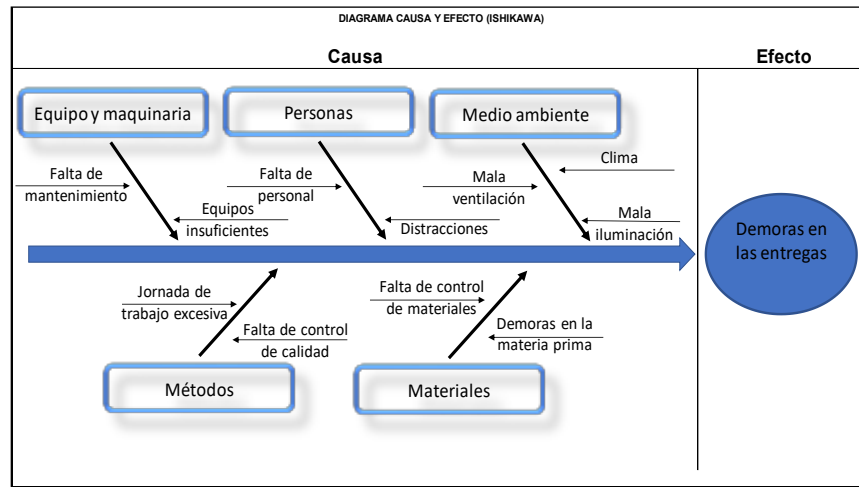


Figura 1. Diagrama de Ishikawa.

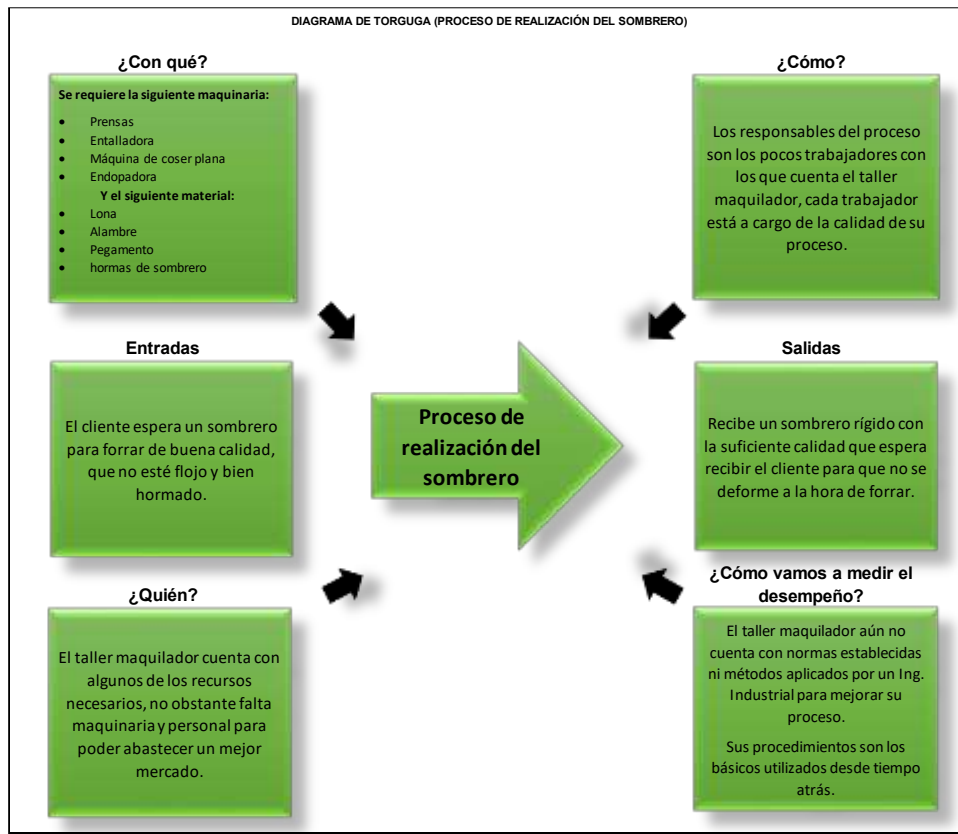


Figura 2. Diagrama de tortuga.

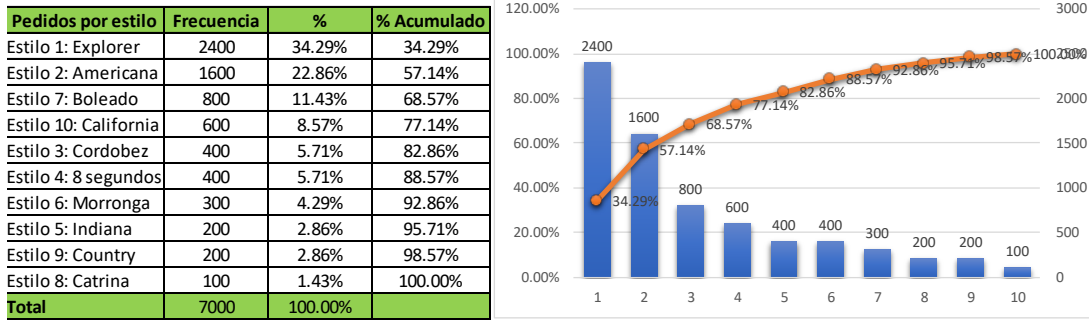


Figura 3. Diagrama de Pareto.

Mientras que el cursograma analítico permite visualizar de forma gráfica los procedimientos y detectar con facilidad cualquier error, repetición o demora innecesaria, es un resumen del diagrama de flujo, que incluye el tiempo y la distancia dentro de cada área del proceso (ver Figura 4). La Figura 5 muestra el cursograma analítico, el cual, permite visualizar de forma gráfica los procedimientos y detectar con facilidad cualquier error, repetición o demora innecesaria; esta herramienta es prácticamente un resumen del diagrama de flujo, que incluye el tiempo y la distancia dentro de cada área del proceso.

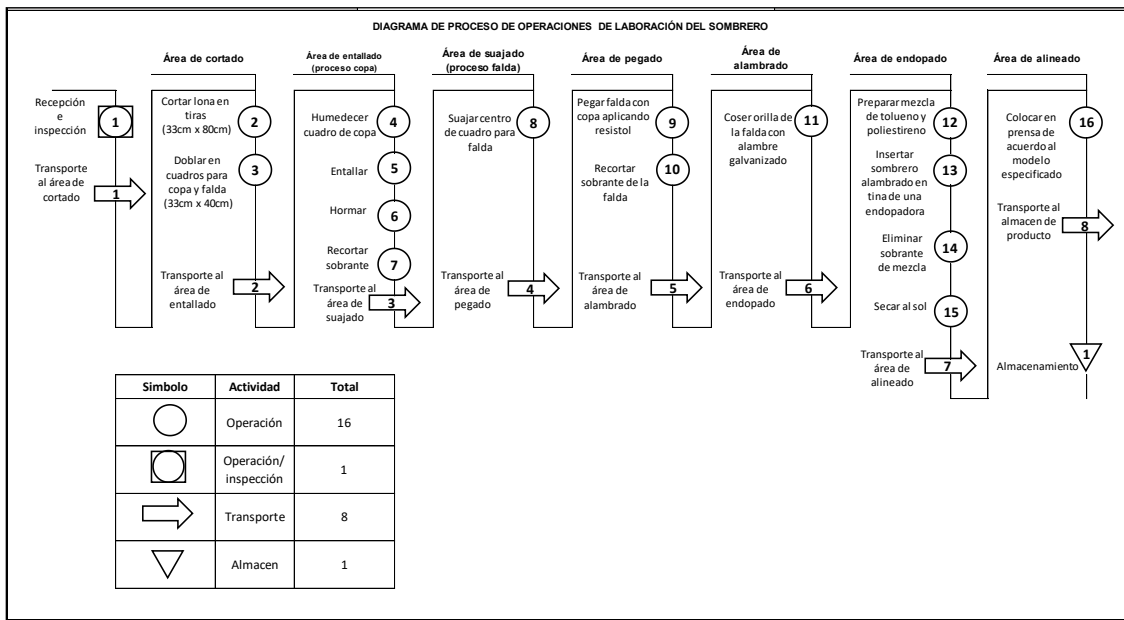


Figura 4. Diagrama de flujo de proceso.

Detalle del método	Actividad					Tiempo	Distancia	Observaciones
Recepción e inspección de M.P.	●	→	□	D	▽		15 mts	
Transporte al área de cortado	○	→	□	D	▽		13.60 mts	
Cortar lona en tiras	●	→	□	D	▽			
Doblar en cuadros para copa y falda	●	→	□	D	▽			
Transporte al área de entallado	○	→	□	D	▽		4 mts	
Humedecer cuadro de copa	●	→	□	D	▽			
Entallar	●	→	□	D	▽			
Hormar	●	→	□	D	▽		1.20 mts	
Recortar sobrante de copa	●	→	□	D	▽			
Transporte al área de suajado	○	→	□	D	▽			
Suajar centro de cuadro para falda	●	→	□	D	▽		2.90 mts	
Transporte al área de pegado	○	→	□	D	▽			
Pegar falda con copa aplicando resistol	●	→	□	D	▽			
Recortar sobrante de la falda	●	→	□	D	▽		2.60 mts	
Transporte al área de alambrado	○	→	□	D	▽		12.50 mts	
Coser orilla de la falda con alambre galvanizado	●	→	□	D	▽			
Transporte al área de endopado	○	→	□	D	▽		18 mts	
Preparar mezcla de tolueno y poliestireno	●	→	□	D	▽			
Insertar sombrero alambrado en tina de una endopadora	●	→	□	D	▽			
Eliminar sobrante de mezcla	●	→	□	D	▽			
Secar al sol	●	→	□	D	▽	2 hrs	2.50 mts	
Transporte al área de alineado	○	→	□	D	▽		12 mts	
Colocar en prensa de acuerdo al modelo específico	●	→	□	D	▽			
Transporte al almacén de producto terminado	●	→	□	D	▽			
Almacenamiento	○	→	□	D	▽		11.50 mts	

Símbolo	Actividad	Total
○	Operación	16
◻	Operación/inspección	1
→	Transporte	8
▽	Almacén	1

Figura 5. Cursograma analítico.

Aunado al estudio realizado, se determinaron los materiales y las cantidades que se deben comprar, esto es el *Bill of Materials* (BOM), creando con ello las fichas técnicas; por ejemplo, la ficha del acomodo de la materia prima, la cual permite identificar y visualizar que cantidad de material se requiere para la manufactura de un lote del producto estrella.

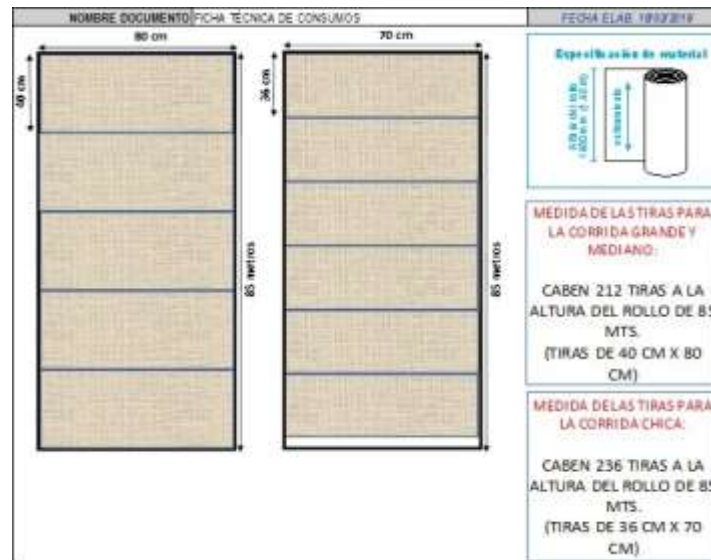


Figura 6. Ficha de acomodo de material.

Finalmente, en la Etapa de Aplicación se implantó el estudio de las 5's, obteniéndose con ello que los trabajadores se comprometieran, que se consiguiera una mayor productividad, que se mejorarán los lugares de trabajo, que mejorará la seguridad, que ayudará a reducir el desperdicio, y que se creará así un ambiente de buenos hábitos y mejor imagen de la empresa y los operarios (ver Figura 7). Además, se creó una matriz de caracterización con la cual se visualizaron las actividades, su alcance y los responsables.

Etapa (Japonés)	Etapa (Español)	Concepto	Objetivo	Aplicación taller maquilador
Seiri	Clasificación	Separar innecesarios	Separar todo lo innecesario de los espacios de trabajo	Se clasifico y deshecho todo lo innecesario para lograr un producto de calidad
Seiton	Orden	Situar necesarios	Ordenar el espacio de trabajo para su máximo aprovechamiento y eficacia	Se colocaron los estantes donde se encuentra el material a trabajar para encontrarlos facilmente ademas de colocar letreros para ubicar cada material
Seiso	Limpieza	Suprimir suciedad	Eliminar la suciedad para aumentar el nivel de limpieza	Se limpiaron todas las áreas de trabajo para tener un mejor flujo del proceso
Seiketsu	Estandarización	Señalar procedimientos	Mantener orden y limpieza y definir un estandar de organización y orden	Se realizaron fichas tecnicas para establecer el tipo de material a utilizar para cada estilo de sombrero ademas de agregar especificaciones especiales
Shitsuke	Mantener la disciplina	Seguir mejorando	Mejora continua a través de motivar y fomentar los esfuerzos	Se realizó capacitación al personal explicando de manera breve el funcionamiento y manejo de las fichas técnicas.

Figura 7. Implementación de las 5's.

RESULTADOS

El estudio de tiempos permitió determinar el tiempo que requiere cada proceso, y de esta manera eliminar la improductividad que afecta la eficiencia del trabajo que se realiza, con la finalidad de aprovechar todos los recursos disponibles; reduciéndose el tiempo de operación en un 15%.

Los beneficios principales del aporte a esta metodología al ser aplicada en el taller bajo estudio, fue lograr mayor compromiso de parte de los trabajadores; así mismo se logró obtener una mayor productividad dentro de la empresa mejorando los lugares de trabajo para la seguridad de los trabajadores, se redujo el desperdicio, y se creó un ambiente favorable de buenos hábitos y una buena imagen para la empresa. El estudio de tiempos por área de trabajo que se realizó dentro del taller bajo estudio, a través del uso del cronometro permitió establecer el tiempo exacto que se necesita en cada operación (ver Figura 8) y así determinar el estándar.

No.	FRACCION	MÁQUINA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	PROM.	ZAS/CUADR	F.N.	SUPLEM.	T.E.	T.T.A
1	ALAMBRAR	PLANA 1 AGUJA	17.7	20.83	17.88	21.2	16.9	24.3	18.3	17.9	19.3	28.4	19.3	18.7	20.5	23.8	17.8	20.19	1	1.00	1	0.3364	0.3869
2	RECORTAR FALDA	MESA	8.54	12.06	9.67	9.47	10.2	9.68	9.25	10.3	10.5	8.61	9.19	8.39	7.98	7.64	9.8	9.42	1	1.00	1	0.1570	0.1805
3	ENTALLAR	ENTALLADORA	9.96	12.86	15.28	12.7	13.3	11.4	11.7	10.8	14	12.3	11.6	12.6	12.3	12.5	12.2	12.36	1	1.00	1	0.2060	0.2369
4	ALINEAR	ALINEADORA	19.4	18.34	24.2	20.5	18.9	18.4	18	17.3	18.6	16.9	19.5	19.6	18.7	17.3	18.1	18.92	1	1.00	1	0.3153	0.3626
5	CORTAR M.P.	MESA MANUAL	14.2	12.39	11.25	10.6	10.7	10.9	11	11.2	10.8	11.5	11	10.1	11.1	9.54	10.6	11.12	1	1.00	1	0.1853	0.2131
6	SUAJAR (8 piezas)	SUAJADORA	14	13.84	13.36	12	11.6	11.9	14.9	13.3	13.7	14.6	13.1	12.9	13.8	13.3	13.2	13.29	1	1.00	1	0.2214	0.2547
7	PEGAR FALDA CON COPA	PRENSA2	19.1	19.04	19.04	16.3	14.8	17.9	16.9	19.6	16.2	15.9	16.8	15.3	17.3	17.1	16.8	17.20	1	1.00	1	0.2866	0.3296
8	ENDOPAR	ENDOPADORA	17.5	16.38	17.3	17.3	15	15.5	15.1	14.6	14.2	13.8	13.4	17	15	16.6	15	15.59	1	1.00	1	0.2598	0.2987

Figura 8. Tiempo estándar por áreas de trabajo.

CONCLUSIONES

La estandarización de procesos es pieza clave cuando la empresa desea establecer mejoras; cualquier tipo de empresa, requiere emplear herramientas que precisamente le permitan ser competitivas. Es la estandarización, bien puede considerarse como la base para una mejora, debido a qué si el proceso no está estandarizado, todos los cambios no resultan ser eficientes. Además, con la capacitación del manejo de las fichas técnicas y/o especificaciones, el personal de producción tiene acceso a ellas y conoce las características del producto de acuerdo a su estilo y/o modelo y a sus especificaciones de acuerdo a su calidad y cliente.

El presente proyecto de investigación implementa herramientas básicas de ingeniería en la identificación de áreas de oportunidad y en el establecimiento de la estandarización; de manera tal, que se alcanzó la unificación de los procesos en una empresa de manufactura de sombreros, bajo estudio. Los resultados del presente estudio son bastos y suficientes, al mostrar que la estandarización permite reducir desperdicios e incrementar la productividad, en este caso de una manufactura casi artesanal.

BIBLIOGRAFÍA

1. P. Aruachán, L. María, M. A. Ortiz, "Optimización del esquema de inventarios para una empresa de producción de fieltro para sombreros, caso COLUMBUS y CÍA. SA".
2. C. M. Gutiérrez, "Los sombreros paja toquilla y su comercialización en los mercados internacionales", 2017.
3. A. A. Guzmán, A. J. Izaguirre, J. A., Santos, E. Bastidas, E. "Proyecto de inversión para la exportación de sombreros de paja toquilla al mercado francés", 2011.
4. P. Arias, J. Durand, "Dos modelos de industrialización rural durante el porfiriato", 1996.
5. M. Á. V. González, I. J. J. Martínez, "¿Del trabajo al bienestar? Trabajadores del sombrero, Tucson Hats, México", in *Revista de Ciencias Sociales*, (142), 2013.
6. J. A. Buzón, "Lean Manufacturing", in: *Editorial Elearning*, S.L., 2019, pp. 128.
7. J. C. Matias, "Lean manufacturing conceptos, técnicas e implantación", Madrid: E.O.I., 2013.
8. James R. Evans, William M. Lindsay, "Administración y Control de la calidad" 7a. edición.
9. L. Valenzuela, "Diagrama de Ishikawa", Santiago de Chile: UNAB, 2000.
10. H. G. Pulido, "Control estadístico y Seis sigma", in *Mcgraw-Hill Interamericana Editores*, S. A. de C. V. México D. F., 2005.
11. J. Vargas, El. Siles, M. Medrano, "Norma\$, productividad y Salarios: diagnóstico", in *Movimiento de Mujeres Trabajadores y Desempleadas "María Elena Cuadra"*, 2005, pp. 22.

EFFECTO DEL CAMPO MAGNÉTICO EN PELÍCULA DE POLIPIRROL SINTETIZADA ELECTROQUÍMICAMENTE Y DOPADA POR PLASMA DE DESCARGA LUMINISCENTE

Juan Carlos Pulido Manjarrez, Hilda Moreno Saavedra, Celso Hernández Tenorio, Miguel Villanueva Castañeda, Arturo Tepale Cortes

Tecnológico Nacional de México/Campus Toluca, Av. Tecnológico s/n. Agrícola Bella Vista Metepec, Edo. De México, México C.P.52149.
hilda_saavedra@yahoo.com.mx

RESUMEN

Los polímeros conductores como el Polipirrol o sus derivados son de gran interés por sus propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas, propiedades que les confieren aplicaciones en sensores, baterías orgánicas, supercondensadores, blindaje electrónico, electrodos, diodos. Especialmente el polipirrol (PPy) es un polímero semiconductor con una conductividad eléctrica relativamente alta y buena estabilidad ambiental, que puede ser sintetizado electroquímicamente y dopado por técnicas de plasma para mejorar sus propiedades físicas, en específico la aplicación de un campo magnético durante la síntesis y el proceso de dopado tiene un efecto significativo sobre la orientación de las moléculas del polímero. En este trabajo se presenta la síntesis electroquímica de las películas de polipirrol en un reactor de discos planos paralelos aplicando un campo magnético uniforme constante de 256 Gauss. La síntesis electroquímica de las películas se hizo con una solución de Pirrol y sulfato de sodio de 0.1 M durante 120 minutos. El dopaje con yodo se realizó mediante plasma de descarga luminiscente en solución acuosa considerando tiempos de 10, 30 y 50 min. La caracterización morfológica obtenida por microscopia electrónica de barrido (MEB) mostró, que las películas sintetizadas en presencia de un campo magnético presentan la formación de una superficie irregular. En el análisis de los espectros IR se observó la presencia de las bandas de absorción de las películas de polipirrol en 2099, 1690, 1539, 1274, 1111, 1015 y 604 correspondientes a las vibraciones moleculares $N=C=S$, $C=O$, $N-O$, $C-O$, $C-O$, y $C-H$ los picos de las bandas de absorción tienen un ligero incremento como consecuencia del tiempo de síntesis y dopaje, mientras que la adsorción electromagnética tuvo una sensibilidad de respuesta entre 340 y 800 nm en la región visible y La conductividad eléctrica de las muestras se determina por medio de un dispositivo de placas paralelas y la ecuación modificada de Arrhenius en un rango entre 10^{-8} a $10^{-5} S/cm$.

INTRODUCCIÓN

Los polímeros conductores son de gran interés debido a sus propiedades y aplicaciones electrónicas, en 1979 A. Díaz mediante la oxidación electroquímica del pirrol en acetonitrilo obtuvo películas de polipirrol sobre la superficie de un electrodo, con propiedades mecánicas favorables, relativamente densa y conductora. El método electroquímico permite controlar el potencial de oxidación de la reacción, el grosor de la película, y por tanto, mejora la calidad del polímero [1-2].

Hoy en día, la síntesis de polímeros mediante la oxidación electroquímica es uno de los métodos con mayor eficiencia entre los mecanismos de polimerización, implica la oxidación directa del monómero y el crecimiento de la cadena del polímero sobre el ánodo por lo que no se requiere de un agente oxidante, obteniendo de esta forma un polímero con mayor pureza [3], sin embargo, la teoría de polimerización bajo la influencia de un campo magnético que fue presentada por Chiriac y Simionescu, quienes se enfocaron en las bases teóricas y experimentales para determinar las reacciones que favorecen las propiedades electrónicas de los polímeros y que les confieren aplicaciones importantes en diversas áreas como microelectrónica, óptica, blindajes electromagnéticos o iónicos, conductores electrónicos, películas calefactoras y emisores de luz [4-5].

Palabras clave: Síntesis electroquímica, Dopaje, Campo magnético, Caracterización

TEORÍA

Los polímeros conductores son aquellos materiales que permiten el transporte de cargas eléctricas a través de las cadenas principales del material, esa capacidad de transporte se relaciona con la

brecha energética presente entre las bandas de conducción y valencia que se encuentran en la estructura electrónica de las moléculas del polímero, dando origen a la clasificación de aislante, semiconductor o metal [6].

El polipirrol (PPy) es un polímero orgánico formado por la polimerización del pirrol, se demostró que era conductor en 1968. Este polímero puede utilizarse para implantes neurales, biosensores moleculares, dispositivos de memoria, diodos emisores de luz, baterías recargables, celdas solares orgánicas, pantallas transparentes flexibles y transistores de efecto de campo. Es un polímero con la unidad de repetición (C_4H_5N) en su estructura molecular, Figura 1 [7,8].

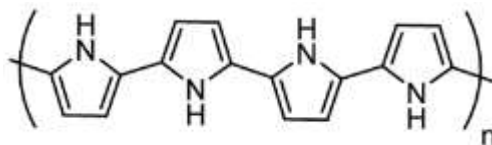


Figura 1 Estructura química de una cadena de Polipirrol.

La síntesis de polímeros se encarga de la preparación y el diseño controlado de la estructura electrónica para obtener propiedades específicas de estos materiales. Estas propiedades dependen de factores como el crecimiento del largo de la cadena, distribución del peso molecular, secuencia de las unidades del polímero y control de la microestructura. La síntesis electroquímica de polímeros es un método importante para la polimerización en un electrolito [9,10].

La conductividad de las películas de polipirrol se encuentra típicamente dentro del rango de un semiconductor, esta puede cambiar a un comportamiento de material conductor debido a un proceso de dopaje. El dopaje de los polímeros con otros materiales y los cambios asociados en sus propiedades electrónicas implica un aumento o traslape de niveles energéticos en la aromaticidad del anillo que actúa como aceptor o receptor de electrones. Durante el proceso de dopaje, un polímero orgánico, ya sea aislante o semiconductor mejora su capacidad de transferencia eléctrica asemejándose a un material conductor [11,12].

PARTE EXPERIMENTAL

La síntesis de las películas de polipirrol se realizó por técnicas galvanostáticas de ciclo voltametría electroquímica, se preparó una solución con una concentración de 0.1 M de pirrol (C_4H_5N) (Py Sigma Aldrich, 98%) y sulfato de sodio (Na_2SO_4) (Fermont, 99.6%) en 100 ml de agua desionizada. La solución se ingresó dentro de la cámara del reactor, los electrodos quedaron totalmente sumergidos con una separación de 5 mm entre ambos, a estos electrodos se les aplicó un voltaje de onda cuadrada con una amplitud de ± 3 V, frecuencia de 10 KHz y ciclo de trabajo del 80 %. Se realizaron dos experimentos para conocer el efecto que ejerce el campo magnético en la síntesis de las películas. En el primer experimento la película se sintetizó sin la presencia del campo magnético, mientras que en la segunda experimento la síntesis electroquímica se realizó en presencia de un campo magnético uniforme constante de 256 Gauss cuya dirección es perpendicular a la superficie del electrodo de trabajo cada una durante 120 min. Después de la síntesis, el electrodo de trabajo con la película de polipirrol es retirado y lavado con agua desionizada para su posterior dopaje con yodo.

El dopaje de las películas de polipirrol se realizó mediante una descarga de plasma luminiscente dentro de una solución acuosa con una concentración del dopante yodo de 0.1 N (Golden Bell Corporation) en agua desionizada. En el interior del reactor se colocó el electrodo de trabajo con la película de polipirrol a 3 mm de profundidad con respecto a la superficie líquida, y un contraelectrodo de tipo aguja con una longitud de 100 mm y un diámetro de 2 mm, este electrodo tiene una separación de 5 mm por encima de la superficie líquida. Las películas se exponen a tiempos de dopaje de 10, 30 y 50 min. Después, la película se lavó con agua desionizada y se desprendió del cátodo para su posterior caracterización.

El análisis morfológico se realizó mediante un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) modelo JEOL JSM-6610LV de alta resolución. El análisis de la estructura química se determinó con un Espectrómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) Varian modelo 640-IR. La adsorción electromagnética se obtuvo con un espectrofotómetro Thermo Scientific Evolution 600 UV-Vis. La conductividad eléctrica se determinó mediante un dispositivo de placas paralelas con el cual se mide la resistencia intrínseca de las películas de polipirrol en función de la temperatura, esta caracterización permite estudiar y evaluar la relación entre las condiciones de síntesis y las propiedades resultantes de las películas de polipirrol.

RESULTADOS

En la (Figura 2) se muestran las micrografías de las películas sintetizadas electroquímicamente con y sin campo magnético, en la película de polipirrol sintetizada a un tiempo de 120 min (Figura 2a) se aprecia una superficie lisa, no se observa porosidad ni la formación de aglomerados de partículas. Sin embargo, la película de polipirrol sintetizada dentro de un campo magnético (CM) a un tiempo de 120 min (Figura 2b), muestra una superficie rugosa, con pequeñas partículas de color blanco. Las micrografías fueron tomadas a un voltaje de aceleración de 20 kV y magnificación de $\times 500$ y $\times 30$, respectivamente [13].

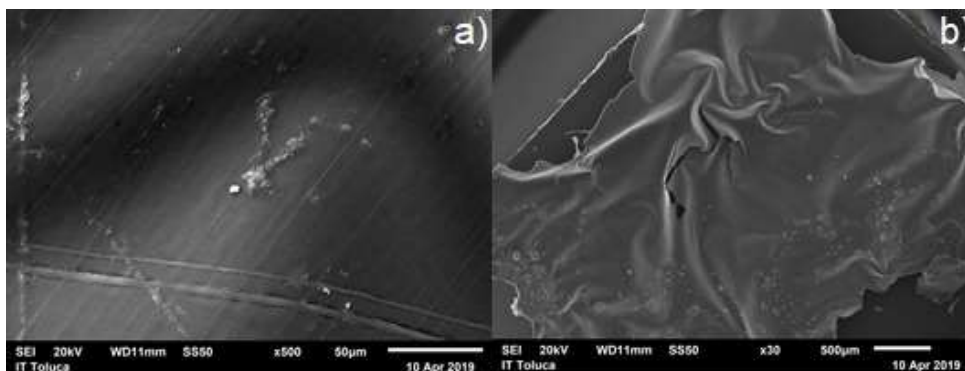


Figura 2 Películas de PPy sintetizadas electroquímicamente, a) sin CM b) con CM.

La película de polipirrol sintetizada y dopada con yodo dentro de un campo magnético a un tiempo de 10 min (Figura 3a), muestra una superficie rugosa, sin formación de partículas de tipo esféricas. En la película de polipirrol sintetizada y dopada con yodo dentro de un campo magnético a un tiempo de 30 min (Figura 3b), se aprecia una superficie rugosa con pequeñas esferas de diferentes tamaños, también se tienen cristales blancos dispersos en la superficie.

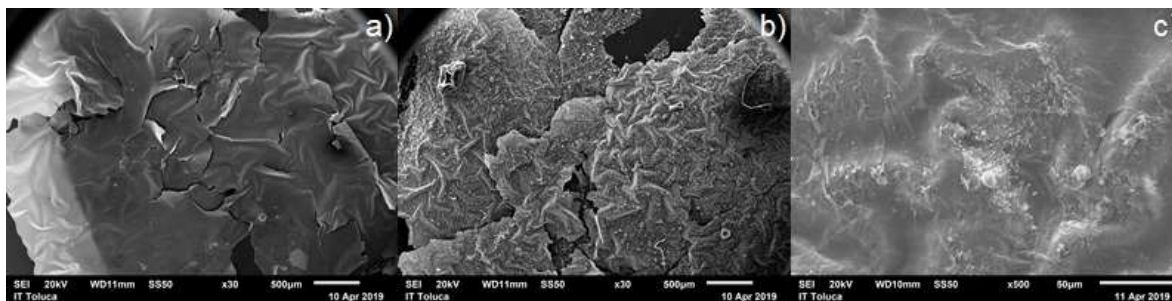


Figura 3 Películas de PPy/I dopadas durante a) 10 min, b) 30 min y c) 50 min.

Por otra parte, en la película de polipirrol dopada con yodo dentro de un campo magnético a un tiempo de 50 min (Figura 3c), se puede observar una distribución de partículas en la superficie. Las micrografías fueron tomadas a un voltaje de aceleración de 20 kV y una magnificación de $\times 30$ y $\times 500$.

Análisis estructural de las películas de polipirrol mediante FTIR

En la caracterización por FTIR se identificaron las vibraciones moleculares correspondientes a las películas de polipirrol. En los espectros IR (Figura 4) se observan las bandas de absorción ubicadas en 2099, 1690, 1539, 1274, 1111, 1015 y 604 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones moleculares $N=C=S$, $C=O$, $C-H$, $C=C$, $N-O$, $C-O$ y $C-H$, respectivamente.

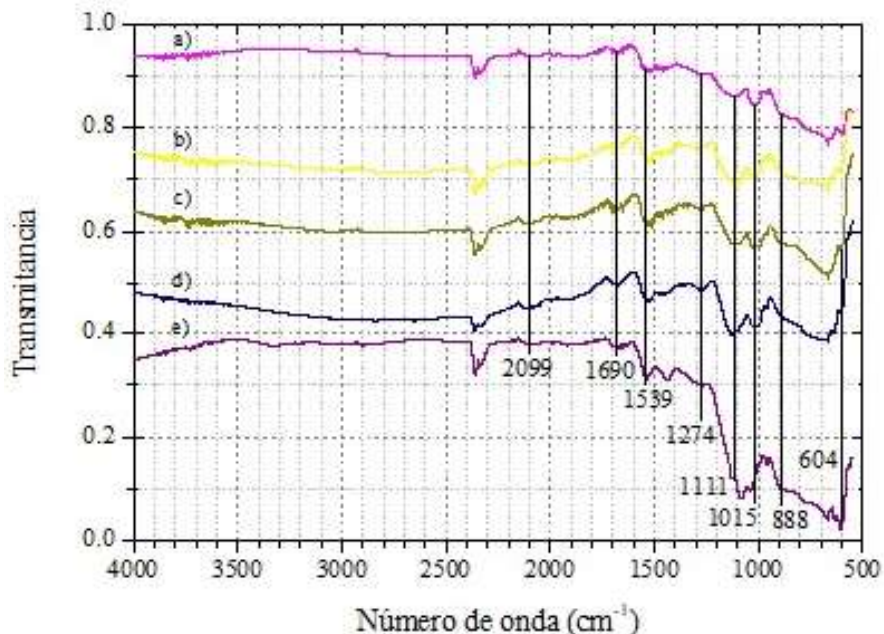


Figura 4 Espectro IR a) PPy sin CM, b) PPy con CM sin dopar, c) PPy/I en un CM dopado durante 10 min, d) PPy/I en un CM dopado 30 min y e) PPy/I en un CM dopado 50 min.

En el espectro IR de la película de polipirrol sintetizada 120 min (Figura 4a) se observa la banda de absorción con el número de onda 1690 cm^{-1} asociado al enlace $C-H$ que se encuentra dentro del grupo funcional del pirrol, la banda de absorción en 1539 cm^{-1} corresponde a vibraciones de dobles enlaces $C=C$ pertenecientes a los grupos aromáticos, los enlaces $C-H$ aparecen en 1274 cm^{-1} . Así mismo, la banda en 604 cm^{-1} indica enlaces $C-I$ originadas al dopar el PPy con yodo y aparece en las películas de polipirrol dopadas a 10 min, 30 min y 50 min [13,14], la intensidad de la banda aumenta ligeramente según el tiempo de exposición (Figura 4c-e).

Adsorción electromagnética de las películas de polipirrol mediante UV-vis

La absorción electromagnética del PPy sin CM y PPy con CM sin dopar y dopado se presenta en la Figura 5, la sensibilidad de respuesta entre 200 y 1000 nm está dividida para su discusión en dos intervalos de absorción, la región UV de 200 a 350 nm y la región visible de 350 a 800 nm. Para todas las películas de PPy de 200 a 262 nm hay una baja absorción en la región UV, sin embargo, a partir de los 262 a 350 nm la absorción electromagnética para la película dopada con 50 min dentro del CM, tiene aumentos importantes en el intervalo UV, en los picos 262 y 295 nm, esto se debe a la reducción de la longitud de onda y al aumento de la energía que al interacción con los compuestos dopados, genera una resonancia que aumenta la absorción de la energía electromagnética.

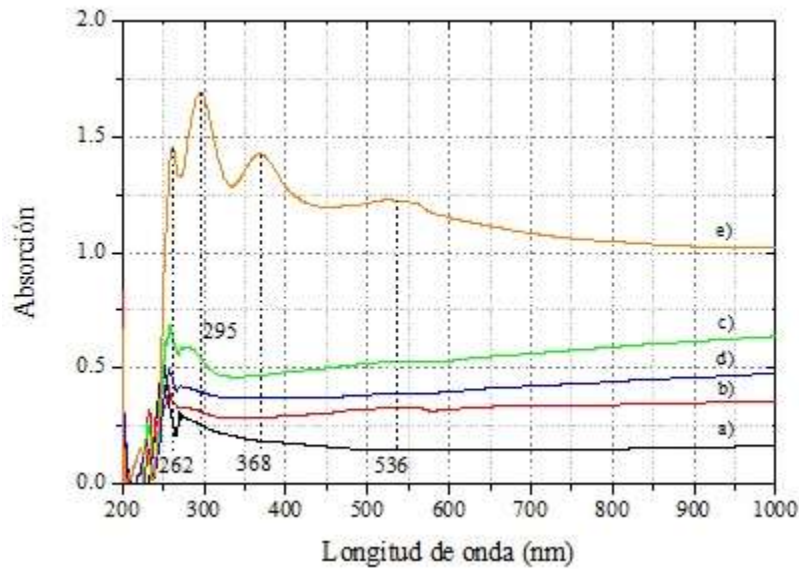


Figura 5 Espectros de UV-vis a) PPy sin CM, b) PPy con CM sin dopar, c) PPy/I en un CM dopado durante 10 min, d) PPy/I en un CM dopado 30 min y e) PPy/I en un CM dopado 50 min.

En la zona visible se observa que las películas de PPy sintetizado sin CM (Figura 5) es la que tiene menos adsorción electromagnética mientras que la película obtenida dentro del CM sin dopar tiene mayor adsorción electromagnética, conforme aumenta el tiempo de dopaje también aumenta la adsorción electromagnética, más sin embargo en la película dopada con 50 min la adsorción aumentó considerablemente esto se debe a la morfología de esta película.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del PPy sin CM y con CM dopadas con yodo fue calculada midiendo su resistencia intrínseca volumétrica en un dispositivo con dos placas paralelas de cobre. La conductividad intrínseca de las películas de polipirrol se midió en un intervalo de temperatura de 100 a 20 °C para eliminar la humedad, con los valores obtenidos se calculó la conductividad eléctrica, Figura 6.

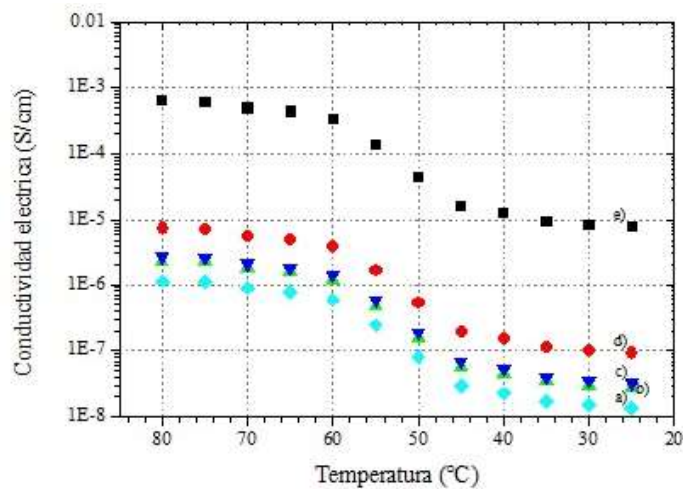


Figura 6 Conductividad eléctrica a) PPy sin CM, b) PPy con CM, c) PPy/I con CM dopadas durante 10 min, d) PPy/I con CM dopadas durante 30 min y e) PPy/I con CM dopadas durante 50 min.

La película con menor conductividad pertenece a la película sintetizada sin CM, en comparación a la sintetizada en presencia de CM que es relativamente más alta. Sin embargo, se puede observar que conforme aumenta el tiempo de dopado con yodo aumenta la conductividad que oscila entre 10^{-7} hasta 10^{-5} S/cm a temperatura de 20°C , se nota que al aumentar la temperatura aumenta la conductividad, esto muestra un comportamiento de un material semiconductor, a 80°C la conductividad oscila entre 10^{-6} a 10^{-3} S/cm. El aumento en la conductividad al sintetizar dentro de un CM sugiere que en la cadena polimérica se ha aumentado la cristalinidad [15] como lo muestran las gráficas de la figura 6a y 6b.

Energía de activación

La energía de activación E_a se conoce como la energía necesaria para que los electrones fluyan a través de las cadenas del polímero, esta energía fue calculada usando la linealización de la ecuación de Arrhenius [16-18]. En la Figura 7, se muestra que la energía de activación mantiene un comportamiento similar en todas las películas describiendo tres diferentes mecanismos de conducción, tanto para la película sintetizada sin CM así como las sintetizadas con un CM, obteniéndose pendientes con valores de 0.386, 0.733 y 0.907 eV. Lo anterior, sugiere un cambio en el mecanismo de transferencia de cargas eléctricas que se ve alterado al aplicar calor al sistema lo que facilita el movimiento de electrones en el volumen del polímero y mejora con la síntesis en presencia de un campo magnético y el dopaje con yodo.

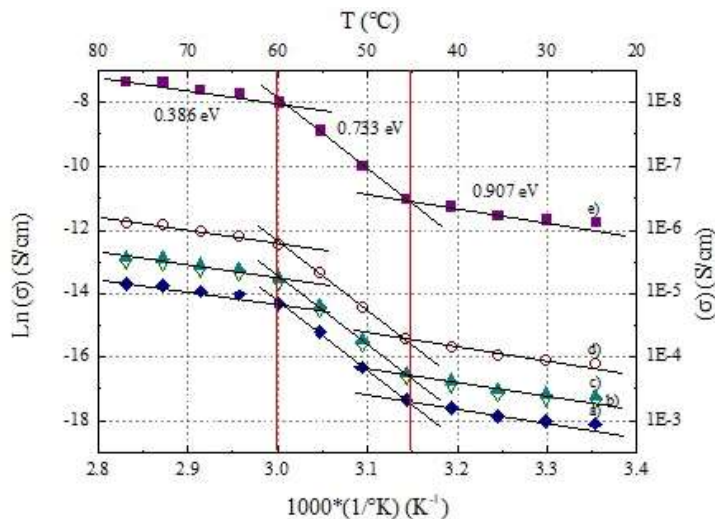


Figura 7 Energía de activación a) PPy sin CM, b) PPy con CM, c) PPy/I con CM dopadas durante 10 min. d) PPy/I con CM dopadas durante 30 min y e) PPy/I con CM dopadas durante 50 min.

CONCLUSIONES

La información aportada en este trabajo acerca de los efectos que tiene un campo magnético de 256 Gauss en el reordenamiento molecular durante la síntesis electroquímica de compuestos de PPy y su posterior dopaje con yodo por medio de una descarga de plasma en una solución acuosa, revela un aumento importante en la capacidad de transferencia de cargas eléctricas, modificando la conductividad eléctrica de 10^{-7} a 10^{-5} S/cm en la muestra con el mayor tiempo de tratamiento con yodo. Además, el proceso de reordenamiento y dopaje repercute también en la capacidad de absorción electromagnética, mostrando una tendencia de crecimiento en las bandas de 262 y 295 nm, lo que sugiere una resonancia en la zona UV por parte del compuesto, esto debido a la morfología superficial que presentan las películas con formaciones irregulares y partículas que permiten mejorar la dispersión del haz de energía incidente. Por otra parte, mediante el análisis de FTIR y E_a no se encuentran cambios significativos en la composición química y estructura electrónica de los compuestos.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. F. Díaz, K. Kazanawa, G. P. Gardini, *J. Chem. Soc. Chem. Comm.*, 635, 1979.
2. A. F. Díaz, J. L. Castillo, J. I. Logan, W. Y. Lee, *J. Electroanal. Chem.*, 129, 1981.
3. M. M. Gvozdenović, B. Z. Jugović, J. S. Stevanović, and B. N. Grgur, "Electrochemical synthesis of electroconducting polymers," *Hem. Ind.*, vol. 68, no. 6, pp. 673–684, 2014.
4. A. P. Chiriac and C. I. Simionescu, *Magnetic field polymerization*, vol. 25, no. 2. 2000.
5. G. Filipcsei, I. Csetneki, A. Szilágyi, and M. Zrínyi, "Magnetic field-responsive smart polymer composites," *Adv. Polym. Sci.*, vol. 206, no. 1, pp. 137–189, 2007.
6. R. Cabriales Gómez, "Luminiscencia en polímeros semiconductores," *Ingenierías*, vol. 7, no. 23, pp. 12–16, 2004.
7. C. I. Awuzie, "Conducting Polymers," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 4, pp. 5721–5726, 2017.
8. R. Balint, N. J. Cassidy, and S. H. Cartmell, "Conductive polymers: Towards a smart biomaterial for tissue engineering," *Acta Biomaterialia*, vol. 10, no. 6. Elsevier Ltd, pp. 2341–2353, 2014.
9. S. L. Hung, T. C. Wen, and A. Gopalan, "Application of statistical design strategies to optimize the conductivity of electrosynthesized polypyrrole," *Mater. Lett.*, vol. 55, no. 3, pp. 165–170, 2002.
10. P. Kubisa, "Application of ionic liquids as solvents for polymerization processes," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 29, no. 1, pp. 3–12, 2004.
11. B. A. Freund, M. S., & Deore, "Self-doped conducting polymers." John Wiley & Sons, Canada, 2007.
12. R. H. Baughman & L. W. Shacklette. Application of dopant-induced structure-property changes of conducting polymers. *Science and applications of conducting polymers*, 47, 1991.
13. M. Villanueva-Castañeda, C. Hernández-Tenorio, H. Moreno-Saavedra, M. G. Olayo, and G. J. Cruz, "Liquid Plasma Iodine Doping of Electrochemically Synthesized Polypyrrole to Enhance the Electromagnetic Absorption," *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.*, vol. 30, no. 6, pp. 2098–2104, 2020.
14. T. H. De La Cruz, C. H. Tenorio, M. V. Castañeda, H. M. Saavedra, and J. H. P. Sánchez, "Effects produced by sodium dodecyl sulfate (SDS) surfactant on polypyrrole film electrochemically synthesized and doped with glow discharge plasma," *MRS Adv.*, vol. 3, no. 63, pp. 3839–3846, 2018.
15. V. Kolotovska, M. Friedrich, D. R. T. Zahn, and G. Salvan, "Magnetic field influence on the molecular alignment of vanadyl phthalocyanine thin films," *J. Cryst. Growth*, vol. 291, no. 1, pp. 166–174, 2006.
16. L. M. Gomez, G. J. Cruz, M. G. Olayo, M. Gonzalez-Torres, F. Gonzalez-Salgado, and O. G. Lopez-Gracia, "Analysis of crosslinking in polypyrrole particles synthesized by plasma," *Polym. Bull.*, vol. 71, no. 12, pp. 3275–3287, 2014.
17. F. González-Salgado, M. G. Olayo, G. García-Rosales, L. M. Gómez, M. González-Torres, and G. J. Cruz, "Electromagnetic absorption and conductivity of organometallic TiOx–Py plasma compounds," *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 122, no. 5, pp. 1–8, 2016.
18. F. González-Salgado, G. J. Cruz, M. G. Olayo, G. García-Rosales, and L. M. Gómez, "Organometallic Titanium Oxides Obtained by Low-Pressure Plasmas of Water on Titanium Tetraperoxide," *Adv. Mater. Phys. Chem.*, vol. 02, no. 04, pp. 212–218, 2012.

MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DEL MONITOREO CON SENSORES HIDROLÓGICOS

Paulina Solorzano Salgado¹, Dulce María Orozco Corona² y Miguel Ángel San Pablo Juárez³

^{1,2}Universidad Tecnológica de Querétaro, ³Universidad del Valle de Puebla.
paulina.solorzano@uteq.edu.mx

RESUMEN

El monitoreo de la calidad del agua es esencial para garantizar la salud ambiental y la de la población humana. Sin embargo, hay zonas geográficas donde el monitoreo del agua es escaso o nulo, muchas de ellas con alto índice de contaminación, que presentan factores ambientales fuera de los límites permitidos y provocando un posible riesgo para la salud de la población y el deterioro ambiental. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un prototipo funcional para el monitoreo de la calidad del agua mediante sensores hidrológicos, el cual se probó en la Universidad Tecnológica de Querétaro. Este prototipo integra una conexión remota que permite el envío de mediciones por internet, lo que ayudaría a la rápida detección de episodios de contaminación y sus posibles causas. Nuestro prototipo consta de cuatro sensores de medición: Temperatura, pH, conductividad y peso de oxígeno. Para el diseño metodológico del prototipo se revisó el estado del arte sobre sistemas embebidos, se tomó como marco de referencia la metodología del Centro de Investigación especializado en el desarrollo de Tecnologías de la Información y Comunicación INFOTEC, y se generó un protocolo de desarrollo. Una vez realizado el protocolo, se configuró el equipo y se programó tanto en C++ como PHP, para lograr las mediciones deseadas a través de estadísticos en JavaScript. El prototipo se encuentra en fase de prueba en la Universidad Tecnológica de Querétaro, mostrando resultados comparativos con los datos estadísticos de la base de datos de la Comisión Estatal del Agua de Querétaro. Nuestro prototipo sugiere es posible desarrollar herramientas de bajo costo para el monitoreo de la calidad del agua, las cuales podrían ser replicadas de forma sencilla y utilizadas por la propia ciudadanía en pro de asegurar la salud ambiental.

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso necesario para el sostenimiento y la supervivencia de la vida en todo el planeta. Su disponibilidad y calidad es fundamental por motivos de salud de la población humana, para la calidad de los ecosistemas y el desarrollo económico de los países.

Particularmente, los seres humanos no solo dependemos de la cantidad de agua, sino también de su calidad para consumirla sin restricción a beber y sin que existan peligros de salud.

El acceso al agua potable y su saneamiento es un derecho humano que en México forma parte de la Constitución Política desde el año 2012 en su capítulo 4, y reconocido desde el 2010, por La Asamblea General de la ONU en la resolución A/RES/64/292 [1].

La importancia de poder asegurar el acceso a agua potable es una prioridad, sin embargo, el aumento de la población mundial y sus efectos en los residuos de producción agrícola, ganadera, urbanos e industriales que esto conlleva, supone una contaminación de gran impacto en la calidad de las aguas, por lo que su tratamiento se hace aún más necesario para garantizar la calidad del agua y evitar riesgo de epidemias.

Para analizar y monitorear la calidad del agua para la población se hace imprescindible realizar mediciones periódicas para asegurar su calidad. Los responsables de hacer dichas mediciones a nivel federal es la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), y La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y a nivel estatal, la Comisión Estatal de Agua (CEA) de Querétaro.

Los estudios que se llevan a cabo, requieren de periodos prolongados de trabajo para el control y monitoreo de la calidad del agua, como lo menciona La UNESCO, quien recomienda realizar 20 muestras al mes por cada 100,000 habitantes, y ello implica alrededor de 120 muestras por 600,000 habitantes [2]. Lo que llevaría un proceso largo y costoso en relación a recursos tanto humanos como técnicos para lograrlo.

Aunado a ello, el principal responsable del agua en México CONAGUA en la actualidad no tiene recursos económicos, personal, y tampoco cuenta con la infraestructura requerida para llevar a cabo mediciones de las aguas superficiales y conocer su calidad [3].

En 2019 se expuso ante hacienda el “proyecto de inversión para la Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Medición del Agua” [3], ya que las mediciones que se realizan sobre en materia de calidad de agua superficial, la medición cubre el 0.75 del nivel mínimo necesario.

Ante ello, se observa necesario buscar alternativas innovadoras que apoyen a la sociedad a monitorear la calidad de agua apoyados de tecnologías a bajo costo para obtener información disponible y en tiempo real que concientice a la ciudadanía por el vertido de contaminantes en el agua y prevenir enfermedades.

De lo anterior, se propuso desarrollar y gestionar un sistema de monitoreo de evaluación de la calidad de agua a bajo costo que, apoyado de las Tecnologías de la Información y comunicación TIC, permita de manera remota el seguimiento de la calidad de agua para la detección oportuna de contaminación hídrica.

TEORÍA

La contaminación en el agua, sea natural o consecuencia de la actividad humana, es un factor que genera enfermedades, por ello es necesario asegurar que el agua que se usa para consumo humano tenga una calidad adecuada.

El agua potable se entiende como el “agua para uso y consumo humano que no contiene contaminantes objetables (según la NOM-127-SSA1-1994), ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos para la salud” [4]

Para todos los agentes que trabajan en asegurar una correcta calidad del agua para los seres humanos, han establecido indicadores para medir y generar un control de su calidad. Algunos de ellos colaboran con información acerca de estándares y valores mínimos que se deben cubrir, otros, se enfocan en aplicar mediciones y metodologías de control de calidad del agua.

CONAGUA como responsable de administrar y preservar las aguas del país y con el objetivo de garantizar el uso sostenible de este recurso natural se apoya de la Red Nacional de Monitoreo RNM para medir la calidad del recurso hídrico, la cual utiliza como medidas para su evaluación cuatro indicadores:

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5): Mide la materia orgánica biodegradable
2. Demanda Química de Oxígeno (DQO) : Mide la materia orgánica ocasionada por descargas de agua residuales industriales.
3. Sólidos Suspendidos Totales (SST): Indicador relacionado con aguas residuales y la erosión de suelo.
4. Coliformes Fecales: Medición de microorganismos patógenos de origen fecal [5]

Así también, existen otros indicadores considerados, tales como: Escherichia coli, (E_COLI), Enterococos (ENTEROC), Porcentaje de Saturación de Oxígeno (OD%) y Toxicidad (TOX) [6]

Esta información se registra en el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) www.sina.conagua.gob.mx.

En la ciudad de Querétaro, La unidad responsable de coordinación estatal para realizar las mediciones de dichos indicadores es la Comisión Estatal del Agua (CEA) de Querétaro que funge como regulador del saneamiento y alcantarillado, así como de la planeación, estudios, proyectos, construcción y operación de sistemas o instalaciones de agua potable, drenaje y alcantarillado, para los habitantes del Estado. [7]

Tabla1. Escala de clasificación de calidad de agua superficial. Fuente: Red Nacional de Medición de calidad de agua (RENAMECA)

Escala de clasificación de la calidad de agua superficial					
INDICADOR	Calificación, Código De Colores Y Escala De Calidad Del Agua Del Indicador				
	Cumplimiento			Incumplimiento	
	Excelente	Buena Calidad	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada
Demanda Bioquímica de Oxígeno, 5 días	DBO≤3	3<DBO≤6	6<DBO≤30	30<DBO≤120	DBO>120
Demanda Química de Oxígeno	DQO≤10	10<DQO≤20	20<DQO≤40	40<DQO≤200	DQO>200
Sólidos Suspendidos totales	SST≤25	25<SST≤75	75<SST≤150	150<SST≤400	SST>400
Coliformes fecales	CF≤100	100<CF≤200	200<CF≤1000	1000<CF≤10000	CF>10000
Escherichia coli	EC≤250	250<EC≤500	500<EC≤1000	1000<EC≤10000	EC>10000
Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto	70<OD≤110	50<OD≤70 Y 110<OD≤120	30<OD≤50 Y 120<OD≤130	10<OD≤30 Y 130<OD≤150	OD≤10 Y OD>150

De acuerdo con la tabla anterior y con el SINA se consideraron las mediciones de dos estaciones: Dren Cimatarío y Río Querétaro.

Tabla 2.- Datos de calidad de agua de la estación Dren cimatarío 2018-2019
Fuente: www.sina.conagua.gob.mx

Año	2018		2019	
Estación de monitoreo	Clave: DLQUE2091 Dren Cimatarío			
Indicador	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	187.305 mg/l	Fuertemente Contaminada	337 mg/l	Fuertemente Contaminada
Demanda Química de Oxígeno DQO	354.365 mg/l	Contaminada	407.40 mg/l	Fuertemente Contaminada
Sólidos Suspendidos Totales SST	72.57 mg/l	Buena Calidad	167.67mg/l	Contaminada
Coliformes Fecales	770830 NMP/100 ml	Fuertemente Contaminada	2419600	Fuertemente Contaminada

Tabla 3.- Datos de calidad de agua de la estación Dren cimatarío 2018-2019.

Fuente: www.sina.conagua.gob.mx

Año	2018		2019	
Estación de monitoreo	Clave DLQUE2087 Río Querétaro en La Ciudad			
Indicador	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	16.95 mg/l	Aceptable	136.50 mg/l	Fuertemente Contaminada
Demanda Química de Oxígeno DQO	170.64 mg/l	Contaminada	407.40mg/l	Fuertemente Contaminada
Sólidos Suspendidos Totales SST	37.39 mg/l	Buena Calidad	50.67	Buena Calidad
Coliformes Fecales	133078 NMP/100 ml	Fuertemente contaminada	2419600	Fuertemente Contaminada

Clasificación de indicadores para medir la calidad de agua

Para los indicadores ambientales no existe una sola definición y su concepto puede variar de acuerdo a la institución y objetivos que se buscan. Aunque, para el presente tema se dará la definición conocida de la OCDE como “un parámetro o un valor derivado de parámetros, que sugiere, proporciona información acerca de, o describe el estado de un fenómeno, el medio ambiente o un área, con un significado que se extiende más allá de que estén directamente vinculados con el valor de un parámetro”. [8]

Es necesario considerar indicadores para tener una visión de las condiciones y presiones ambientales y mostrar tendencias temporales, los cambios en el ambiente y el impacto generado de las actividades humanas. Así también, los indicadores permiten monitorear las condiciones en las que se encuentran los ecosistemas.

Particularmente, los indicadores ambientales nacen como respuesta a la necesidad de obtener información relevante sobre diversos temas ambientales; los datos obtenidos se deben presentar en un formato que permita analizarlos y generar estadísticos. Según el parámetro usado, existen mediciones de tres tipos:

1.-Físico-Químicos: se basan en parámetros físicos o químicos del agua como pueden ser el pH, los sólidos en suspensión, la temperatura, la DBO5, etc. o en un conjunto de los mismos.

Temperatura: Grado de calor del agua. Existen relaciones entre temperatura, conductividad y pH del agua. Unidad en el Sistema Internacional: kelvin (K). [9]

Conductividad: Capacidad del agua de transmitir el calor o la electricidad. Se mide por ppm ó Unidad en el Sistema Internacional: Siemens por metro (S/m).

PH: Representa el grado de acidez o alcalinidad de una solución. Se define en un rango de 0 a 7, expresando la acidez de una solución de 0 a 6.9, 7 neutra y mayor a 7, se dice que la solución es básica.

Cloro: Es un elemento químico que se mide en las redes de abastecimiento. su presencia, según su concentración, provoca olor y sabor al agua.

2.-Biológicos: Indicador que informa sobre el estado del medio acuático en el cual se desarrolla su ciclo biológico. Existen organismos usados como indicadores biológicos de calidad de agua. Estos son: macroinvertebrados, peces, diatomeas, organismos patógenos, etc.

Coliformes:

Se refieren a las bacterias con características bioquímicas.

Oxígeno disuelto:

Se sugieren que 4-5 partes por millón (ppm) de oxígeno disuelto es la mínima cantidad que soportara una gran y diversa población de peces. El nivel de oxígeno disuelto en las buenas aguas de pesca generalmente tiene una media de 9.0 partes por millón (ppm).

3.-Radiológicos:

A través de este parámetro se miden los niveles de referencia de radioactividad del agua. Debido a este nivel en el agua, pueden existir riesgos de salud por la exposición a fuentes de radiación.

Turbidez:

Aspecto nebuloso del agua debido a partículas en suspensión. Unidades en el Sistema Internacional: NTU (unidad nefelométrica de turbidez). También se puede expresar en Jackson TU.

Prototipo de gestión de calidad de agua a bajo costo

Para poder desarrollar un sistema de monitoreo de calidad de agua se considera en primer instancia aplicar los conceptos básicos de armado de un sistema electrónico embebido, el cual "hace referencia a todo circuito electrónico digital capaz de realizar operaciones de computación, generalmente en tiempo real, que sirven para cumplir una tarea específica en un producto" [10] Se conoce como sistema embebido a "un circuito electrónico computarizado que está diseñado para cumplir una labor específica en un producto" [11]

Los sistemas embebidos no son equivalentes a los sistemas de cómputo que se utilizan en las computadoras de escritorio o laptop ya que suelen tener recursos limitados y aplicaciones para llevar a cabo una tarea en específico que los hacen útiles en múltiples ambientes de mediciones repetidas.

Estos no solo se encuentran como elementos de instrumentación industrial, también se pueden ubicar en equipos médicos, en el campo automotriz o en teléfonos móviles, ipad, refrigeradores, alarmas de casas, lavadoras, cámaras fotográficas, entre otros.

Los sistemas embebidos, son sistemas electrónicos diseñados para dar una solución a ciertas necesidades que se quieren resolver. Se le llama sistema embebido porque se encuentra construido normalmente en la misma pastilla de silicio o dentro de un mismo chip, como ocurre con un microcontrolador [12], facilitando la automatización y mejora de tareas o procesos.

Cubren básicamente dos características básicas:

- Fiabilidad: Operan de manera ininterrumpida en modo desatendido.
- Personalización: Permiten especializarse en actividades definidas por el usuario. [13]

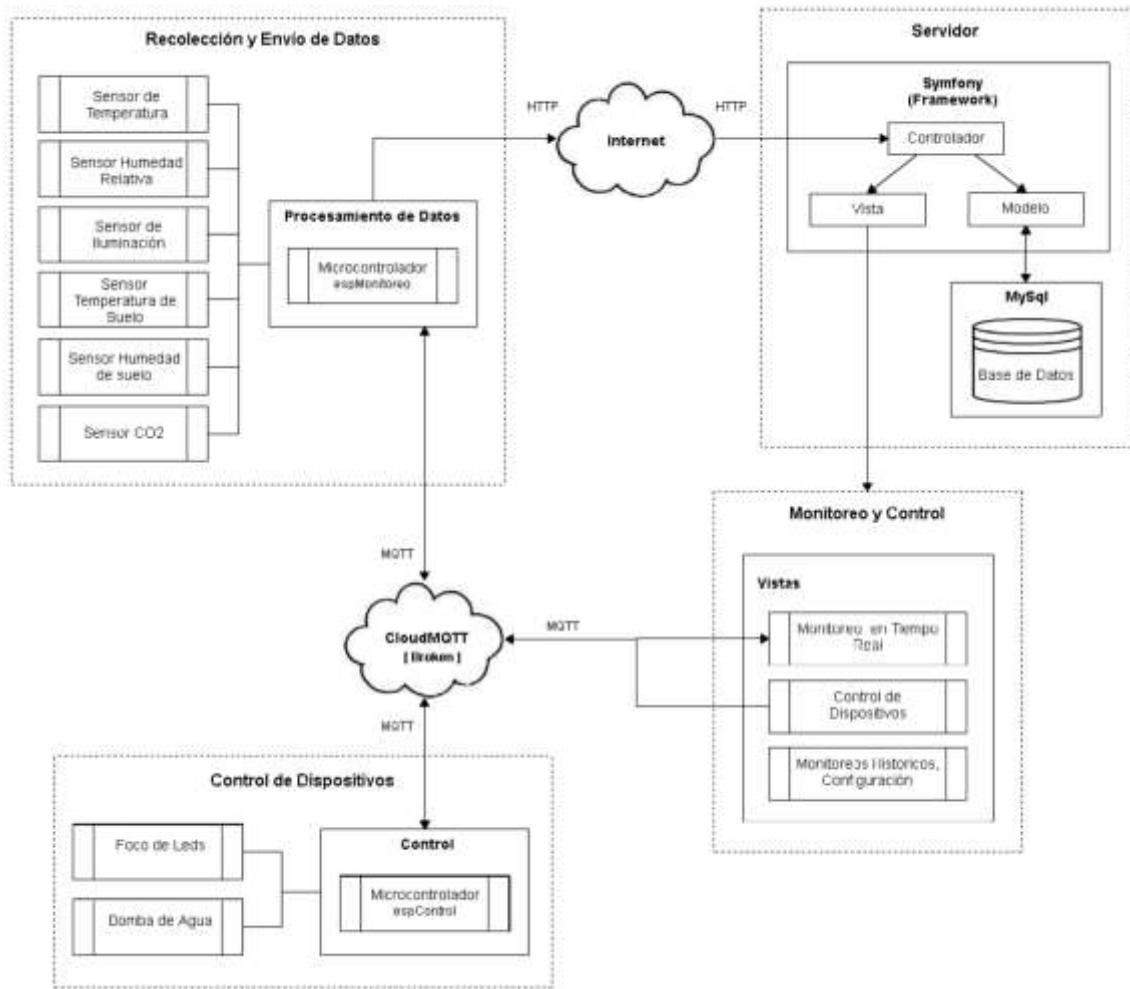


Figura 1.- Ejemplo de una arquitectura de un sistema embebido
Fuente: [14]

Metodología de Infotec

De acuerdo con el Centro de Investigación especializado en el desarrollo de tecnologías de la información y comunicación INFOTEC existe un ciclo de vida definido en los sistemas embebidos iniciando por el análisis y diseño, desarrollo de hardware, desarrollo de software, integración y pruebas y finalmente administración del producto [15]. Asimismo, en su diseño se distinguen elementos fundamentales: El Hardware, el Software y la Inteligencia computacional, juntos ejecutan una o varias tareas en tiempo real. Los sistemas embebidos suelen tener una computadora conocida como micro controlador que viene hacer el cerebro del sistema. Esto es un microprocesador que incluye interfaces de entrada y salida en el mismo chip a su vez poseen una interfaz externa para efectuar un monitoreo del estado y hacer un diagnóstico del sistema. Esto sí estos sistemas se pueden programar utilizando compiladores específicos que utiliza el lenguaje es como se usa más más también pueden usarse lenguajes como Java o interpretados como Python.

Los sistemas embebidos ó empotrados integran una computadora conocida como micro controlador que incluye interfaces de entrada y salida en el mismo chip y que además integran una interfaz

externa para efectuar un monitoreo y diagnóstico del sistema. Dichos sistemas pueden ser compilados o interpretados en c, c++, java p python según sea el caso.

Aunado a ellos, estos sistemas pueden enviar información por redes privadas e internet. El diseño de un sistema embebido regularmente está orientado a minimizar los costos y maximizar la confiabilidad y a generar muchos de en un mismo tipo, el costo por unidad suele ser un aspecto importante para su producción.

PARTE EXPERIMENTAL

Etapas de Análisis y diseño del sistema

Para el diseño del sistema embebido, se identificaron los principales procesos involucrados en su desarrollo de un sistema embebido acuerdo a INFOTEC, los cuales son: administración del ciclo de vida; análisis y diseño; desarrollo del hardware; desarrollo del software; integración y pruebas y finalmente administración del producto [15]. De lo anterior, en el presente proyecto nos limitamos a mediciones sencillas y no demasiado costosas para asegurar una sostenibilidad del plan de medición que se plantea. Un conjunto mucho más pequeño y más práctico de pruebas puede proporcionar buenas ideas acerca de la calidad química del agua para los efectos del monitoreo.

Este prototipo integra una conexión remota que permite el envío de mediciones por internet, lo que ayudaría a la rápida detección de episodios de contaminación y sus posibles causas.

Se definieron 4 mediciones para el desarrollo del prototipo:

- 1.-Temperatura
- 2.-Conductividad
- 3.-Ph
- 4.-Oxígeno disuelto

Espacio en host Servidor(gestionti.mx/mediciones) con Base de datos MySQL.

Se eligieron 2 lenguajes C++ y PHP para la parte web.

Se eligió trabajar la parte de gráficos Google Chart, la cual es una API que nos permite, mediante una petición http generar una imagen dinámica de tipo PNG que podemos colocar en cualquiera de nuestras páginas web. Se decidió mostrar la información: Barras, Dispersión, Histograma y puntos.

El esquema básico definido fue integrar sensores a la tarjeta wifi y arduino en una red local para el envío de datos a través de internet en un host básico para el almacenamiento de datos en tiempo remoto, como se muestra en la figura.

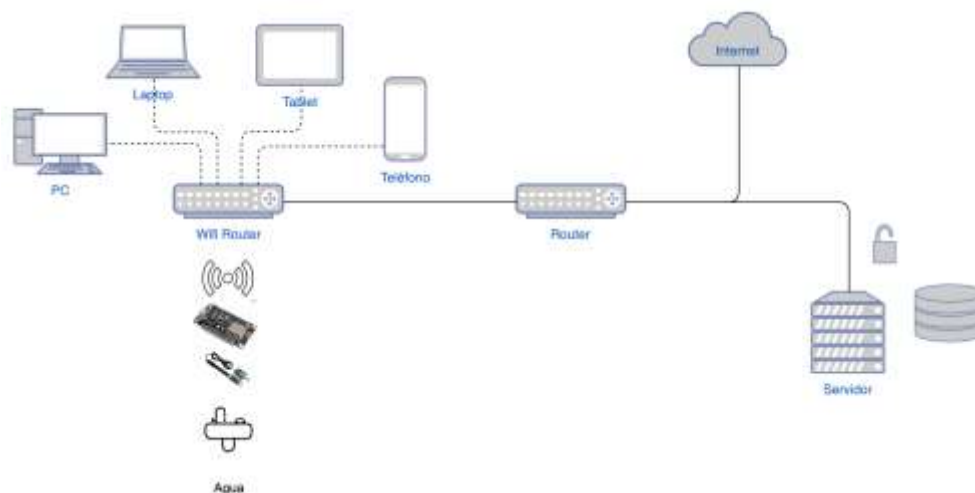


Figura 2. Esquema de conexión prototipo funcional de monitoreo de agua
Fuente: Elaboración propia a través de la herramienta visual paradigm online

Etapas de desarrollo de hardware y software




Equipo físico: Para el diseño del prototipo se eligió el siguiente equipo

Tabla 4.- Equipo requerido para prototipo de monitoreo de calidad de agua.
Fuente: Elaboración propia

Equipo Utilizado	
Dispositivo	Cantidad
Tarjeta NodeMCU ESP32	1
Arduino Uno R3	1
Sensor de Temperatura DS18B20	1
Sensor de pH con conector BNC	1
Sonda de Ph con conector BNC	1
Placa adaptadora de señal TDS	1
Sonda impermeable TDS	1
Línea de sensores analógicos TDS	1
Sensor peso de Oxígeno	1
Eliminador para Arduino	1
Resistencias 4.7K ohms	3
Protoboard	1

Las imágenes de los dispositivos más importantes utilizados, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5.- Imágenes del equipo requerido para el prototipo por modelo y marca
Fuente: Elaboración propia

 <p>Tarjeta Wifi</p>	 <p>Arduino uno</p>
<p>Modelo Esp8266-NodeMCU-32</p>	<p>Arduino UNO tarjeta placa Atmega328p</p>
 <p>Medidor de Temperatura en agua</p>	 <p>Peso de Oxígeno disuelto</p>
<p>Modelo DS18B20</p>	<p>Modelo Estándar Marca Atlas scientific</p>
 <p>Sensor y Sonda de Ph con conector BNC</p>	 <p>Placa adaptadora de señal TDS</p>
<p>Modelo Estándar</p>	<p>Malia Modelo DS338500</p>

Del equipo anterior se tiene un costo total de \$2250.00 pesos mexicanos, sin considerar el sensor de Peso de Oxígeno Disuelto, que en precio oscila los \$4,500.00 pesos mexicanos.

Posteriormente para el desarrollo del sistema, se descargó IDE de Arduino <https://www.arduino.cc> y se programó en C++ para la parte local y para la recepción de datos en web con PHP.

Dicho software se configuró acorde a la versión y modelo de arduino que se utilizó ya que cada placa consta de diferente hardware y por ende, de diferentes capacidades y librerías a utilizar. En la codificación con la plataforma arduino se utilizaron tres funciones codificadas: Función “enviardatos”, Función “Setup” y Función “Loop”.

Función “*enviardatos*”

La función recibe inicialmente los datos que se midieron, para conectarse a un host local (se solicitaba nombre de la red y contraseña para generar conexión en puerto web 80 y enviar la cabecera de datos). Como se puede ver a continuación.

```

Mediciones_Proyecto 5
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include "DHT.h"

int contconexion = 0;
const char *ssid = "I[REDACTED]";
const char *password = "[REDACTED]";
unsigned long previousMillis = 0;
char host[48];
DHT dht(1, DHT11);

String strhost = "gestianti.mx";
String strurl = "/mediciones/registrarmediciones.php";
String chipid = "";
//-----Función para Enviar Datos a la Base de Datos SQL-----
String enviardatos(String datos)
{
  String linea = "error";
  WiFiClient client;
  strhost.toCharArray(host, 49);
  if (!client.connect(host, 80))
  {
    Serial.println("Fallo de conexion");
    return linea;
  }
}

```

Figura 3.- Conexión a red local donde se localiza el prototipo
Fuente: Elaboración propia

```

client.print(String("POST ") + strurl + " HTTP/1.1" + "\r\n" +
"Host: " + strhost + "\r\n" +
"Connection: keep-alive" + "\r\n" +
"Content-Length: " + datos.length() + "\r\n" +
"Cache-Control: max-age=0" + "\r\n" +
"Origin: http://tutorialesp.epizy.com" + "\r\n" +
"Upgrade-Insecure-Requests: 1" + "\r\n" +
"User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 6.1; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/59.0.3071.86 Safari/537.36 OPR/46.0.2597.32" + "\r\n" +
"Content-Type: application/x-www-form-urlencoded" + "\r\n" +
"Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,image/apng,*/*;q=0.8" + "\r\n" +
"Referer: http://tutorialesp.epizy.com/" + "\r\n" +
"Accept-Encoding: gzip, deflate" + "\r\n" +
"Accept-Language: es-419,es;q=0.8" + "\r\n" +
"Cookie: __test=f8113e8304f87333c94e28518549f29c; _ga=GA1.2.2140598187.1499029965; _gid=GA1.2.1824854122.1499029966" + "\r\n" +
"\r\n" + datos);

```

Figura 4.- Cadena de datos como se solicita en el protocolo http
Fuente: Elaboración propia

Función *setup*

El *setup* es la primera función que se ejecuta en la tarjeta Arduino. Aquí se inicializa el proceso que se llevará a cabo en el microcontrolador. Se revisa la conexión local y se mandan los datos con la dirección *ip*, la puerta de enlace y la máscara de red.

Función *loop*

Función núcleo que contiene el código que se estará ejecutándose continuamente para las lecturas de los sensores, es el control activo de la placa. Esta función se ejecuta después de la función *setup*

```

void loop()
{
  delay(2000);
  float ph = 5.5;
  //float temperatura=23;
  //float peso=6;
  float temperatura = dht.readTemperature();
  float peso = dht.readHumidity();
  enviardatos("&temperatura=" + String(temperatura) + "&peso=" + String(peso) + "&ph=" + String(ph) );
  Serial.println("temperatura=" + String(temperatura, 2) + "peso=" + String(peso, 2) + "ph=" + String(ph, 2) );
}

```

Figura 5.- Muestra del envío de datos leídos por los sensores para la función "enviardatos"
Fuente: Elaboración propia

Una vez integrados los cuatro sensores con la tarjeta wifi y arduino, se obtuvieron datos de manera individual desde la página de internet www.gestioni.mx/mediciones.

Inserción de datos a la base de datos (BD) de MySQL

```

1 k?php
2
3 include_once('conexion.php');
4
5 $database = new Conecta();
6 $db = $database->open();
7
8 // $temperatura= $_POST["temperatura"];
9 // $peso_oxigeno= $_POST["peso"];
10 // $ph= $_POST["ph"];
11 $fecha = date("Y-m-d H:i:s");
12 // $dia = date("Y-m-d");
13
14 $stmt = $db->prepare("INSERT INTO mediciones (temperatura, peso_oxigeno, ph, fecha) VALUES (:temperatura, :peso, :ph, :fecha)");
15
16 $stmt->execute(array(':temperatura' => $_POST['temperatura'], ':peso' => $_POST['peso'], ':ph' => $_POST['ph'], ':fecha' => $fecha));
17
18 $database->close();
19
20 header("Location:mostrar.php");
21
22
23
    
```

Figura 6. Conexión a la base de datos y registro de información recibida a BD MySQL
Fuente: Elaboración propia

Almacenamientos de datos en MySQL

Se obtuvieron datos de temperatura, Ph, TDS y Peso de Oxígeno. En la siguiente figura 7, La primera prueba muestra los datos de temperatura.

id	temperatura	peso
452	17.77	
453	17.77	
454	17.77	
455	17.95	
456	17.77	
457	17.77	
458	17.77	
459	17.77	
460	18.00	
461	18.20	
462	18.20	
463	18.58	
464	18.38	
465	18.87	
466	18.87	
467	18.07	
468	18.14	
469	18.14	
470	18.34	
471	18.14	
472	18.34	
473	18.14	
474	18.14	
475	18.14	
476	18.14	
477	18.38	

Figura 7. Base de datos en internet “Mediciones de Temperatura”
Fuente: de phpmyadmin de la plataforma de gestioni.mx

Generación de gráficos en *googlechart*

4 tipos de gráficos se generaron: Líneas, barras histograma y dispersión

```

var op1 = {
  title: 'Gráfico de barras',
  pointShape: 'circle',
  pointSize: 2, // tamaño de los puntos
  series: { // colores de las líneas
    0: { color: '#0000ff' },
    1: { color: '#cc0000' },
  },
  titleTextStyle: { color: '#000000', fontSize: 14 }, // estilos
  tooltip: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 10 } }, // estilo tooltip
  legend: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 12 } }, // estilos leyenda
  vAxis: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 12 } }, // estilos horizontal
  hAxis: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 12 } }, // estilos vertical
};

var op2 = {
  title: 'Gráfico de líneas',
  pointShape: 'circle',
  pointSize: 2, // tamaño de los puntos
  series: { // colores de las líneas
    0: { color: '#0000ff' },
    1: { color: '#cc0000' },
  },
  titleTextStyle: { color: '#000000', fontSize: 14 }, // estilos
  tooltip: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 10 } }, // estilo tooltip
  legend: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 12 } }, // estilos leyenda
  vAxis: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 12 } }, // estilos horizontal
  hAxis: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 12 } }, // estilos vertical
};

var op3 = {
  title: 'Histograma',
  pointShape: 'circle',
  pointSize: 2, // tamaño de los puntos
  series: { // colores de las líneas
    0: { color: '#0000ff' },
    1: { color: '#cc0000' },
  },
  titleTextStyle: { color: '#000000', fontSize: 14 }, // estilos
  tooltip: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 10 } }, // estilo tooltip
  legend: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 12 } }, // estilos leyenda
  vAxis: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 12 } }, // estilos horizontal
  hAxis: { textStyle: { color: '#000000', fontSize: 12 } }, // estilos vertical
};

var op4 = {
  title: 'Dispersión',
  pointShape: 'circle',
  pointSize: 2, // tamaño de los puntos
  series: { // colores de las líneas
    0: { color: '#0000ff' },
    1: { color: '#cc0000' },
  },
};

```

Figura 8.- Código en JavaScript utilizando librería de Googlechart para gráficos
Fuente: Elaboración propia

Etapa integración y pruebas:

En esta etapa se consideró comprobar la funcionalidad del sistema desarrollado, de lo cual se aplicaron pruebas unitarias para conocer la funcionalidad de los sensores y calibrar cada uno de los sensores. Las pruebas de integración del prototipo se consideraron para garantizar la finalización exitosa de la inserción de datos en internet a través de los mismos

RESULTADOS

Para ejemplificar los resultados obtenidos con un sensor, a continuación, se muestran los datos generados del primer sensor de temperatura y los filtros de búsqueda por fecha.

Figura 9.- Filtro por fecha de temperatura
Fuente: Fuente: Elaboración propia

Los periodos de medición se llevaron a cabo en un periodo de 5 días comprendidos del 11 de diciembre de 2019 al 15 de diciembre del 2019. Los resultados se promediaban por día y se mostraban tanto en una tabla de html con php como en gráficos. Los resultados de las mediciones se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6.- Registro de Temperaturas periodo 11/12/2019-15/12/2019

Fuente: Fuente: Elaboración propia con base en los datos generados de las mediciones

Temperaturas reportadas a cinco días	
Día	Temperatura
11	16.90
12	19.60
13	19.80
14	19.79
15	18.93

La temperatura media de los cinco días de pruebas fue de 19° grados Celcius. El graficado en sistema web, se muestra en la figura 10.

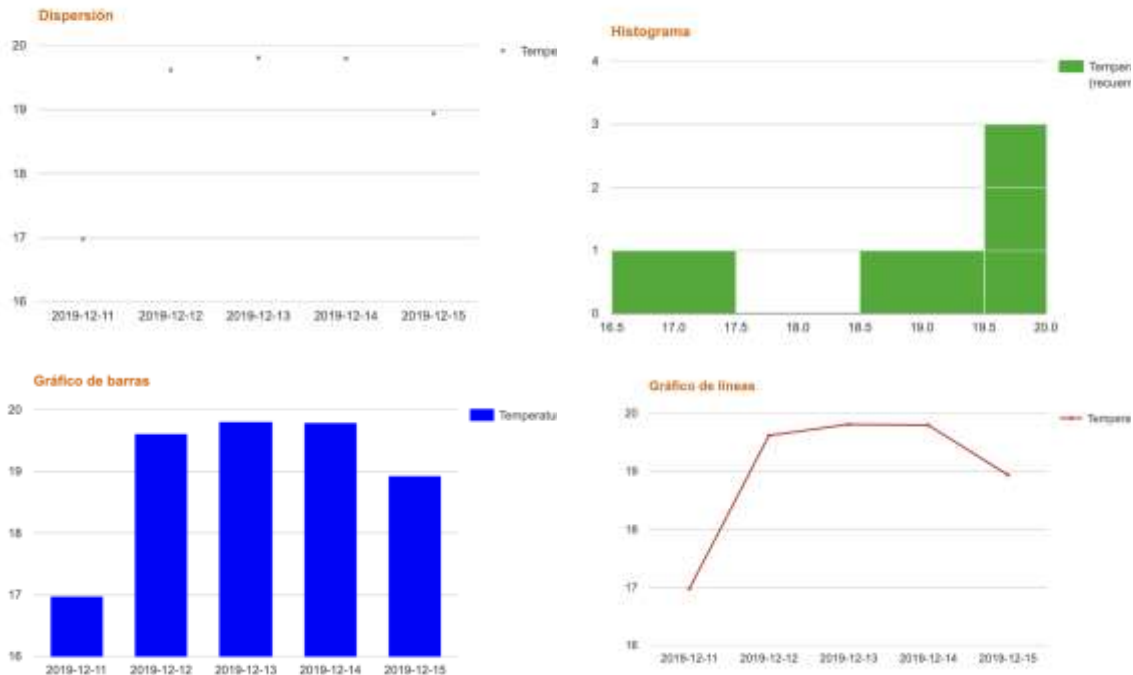


Figura 10.- Gráficos de Temperatura, sensor 1: tipos de gráficos: Dispersión, Histograma, Barras y líneas del 11 al 15 de diciembre 2019

Fuente: Elaboración propia utilizando librería *googlechart*

Etapas de administración del prototipo:

Inicialmente se integró el sensor de temperatura para codificación y pruebas y posteriormente se integraron los sensores Tds, PH y por último el de Peso de Oxígeno, para tomar los datos de los 4 sensores totales. Para la primera prueba se activo el prototipo para medir datos cada hora, ya que debido a la cantidad de datos en periodos largos puede saturar la base de datos y el espacio de almacenamiento del servidor contratado.

CONCLUSIONES

El desarrollo de un prototipo funcional para medir la calidad de agua ayudó a identificar, por un lado, los indicadores básicos de medición del recurso hídrico y, por otro lado, identificar elementos tecnológicos a bajo costo que de manera innovadora apoye en la automatización de mediciones y permita obtener información en tiempo real que concientice a la ciudadanía por el vertido de contaminantes en el agua y prevenir enfermedades.

El envío y registro de datos en tiempo real es un tema a considerar para la elección del servidor web y la base de datos que almacenará dicha información. Ya que, aunque solo se envían cuatro valores de los sensores, la cantidad en datos que se están generando es relevante en este tipos de sistemas embebidos.

El monitoreo de las fuentes de agua se convierte en una herramienta de gran importancia para su vigilancia. Sin embargo, no es sólo medir datos, es importante que esta información se encuentre disponible para que sea utilizada en decisiones de gestión.

BIBLIOGRAFÍA

1. H. M. Anglés, «Agua y derechos humanos,» CNDH, México, 2016.
2. ONU-DAES, «Calidad de agua,» Departamento de asuntos económicos y sociales de las Naciones Unidas, 10 01 2020. [En línea]. Available: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>.
3. N. Cruz Serrano, «Conagua no tiene recursos para hacer controles de calidad,» 12 02 2020 [En línea]. Available: <https://www.eluniversal.com.mx/cartera/conagua-no-tiene-recursos-para-hacer-controles-de-calidad>.
4. C. C. Javier, «<http://www.salud.gob.mx>,» 20 11 2019. [En línea]. Available: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>.
5. CONAGUA, «<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua>,» 22 10 2019 [En línea]. Available: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>.
6. www.gob.mx, «<https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>,» 10 11 2019. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>.
7. www.ceaqueretaro.gob.mx, «<https://www.ceaqueretaro.gob.mx/direccion-general-adjunta-operacion-tecnica/>,» 15 8 2019. [En línea]. Available: <https://www.ceaqueretaro.gob.mx/direccion-general-adjunta-operacion-tecnica/>.
8. semarnat, «<https://apps1.semarnat.gob.mx>,» semarnat, 6 10 2019. [En línea]. Available: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_2011/conjuntob/00_conjunto/marcc_conceptual.html#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20OCDE%2C%20un%20indicador,del%20par%C3%A1metro%20en%20s%C3%AD%20mismo..
9. CONAGUA, «Guía básica de control de calidad de agua,» ONGAGWA, Mexico.
10. A. S. Salas, Todo sobre sistemas embebidos. Arquitectura, programación y diseño de aplicaciones prácticas con el PIC18F, Lima: Saxo, 2015.
11. G. Galeano, Programación de Sistemas Embebidos en C, teoría y prácticas aplicadas a cualquier microcontrolador., México: Alfaomega., 2009.
12. B. Martín del Brío, «Sistemas Electrónicos Basados en Microprocesadores y Microcontroladores,» *Prensas Universitarias de Zaragoza*, 1999.
13. incibe-cert, «<https://www.incibe-cert.es/>,» incibe-cert, 02 02 2018. [En línea].
14. Available: <https://www.incibe-cert.es/blog/introduccion-los-sistemas-embebidos>. [Último acceso: 28 09 2019].
15. V. M. H. R. Mamani M., «Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola,» *Revista chilena de ingeniería*, pp. 599-618, 2017.
16. semanticwebbuilder.org.mx, «Metodologías en el diseño de sistemas embebidos,» 20 Marzo 2019. [En línea]. Available: <http://www.semanticwebbuilder.org.mx/>.

17. INCIBE, «Introducción a los sistemas embebidos,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.incibe-cert.es/blog/introduccion-los-sistemas-embebidos#:~:text=B%C3%A1sicamente%2C%20un%20sistema%20embebido%20se,a%20las%20necesidades%20del%20proceso..>

DESPLAZAMIENTO DEL CÁTODO EN UN REACTOR DE DESCARGA DE ARCO ELÉCTRICO PARA LA FORMACIÓN DE NANOESTRUCTURAS DE CARBONO

Julio Cesar Salinas Reyes, Hilda Moreno Saavedra, Celso Hernández Tenorio, Teresa Rojas Ramírez, Arturo Tepale Cortés y Miguel Villanueva Castañeda

¹Tecnológico Nacional de México/Campus Toluca
hmorenos@toluca.tecnm.mx

RESUMEN

Las nanoestructuras de carbono, como las nanofibras o los nanotubos, se han investigado ampliamente debido a sus propiedades únicas que los predeterminan para muchas aplicaciones como la construcción de baterías recargables, supercapacitores, celdas solares, filtros de agua, entre otras. Dentro de las técnicas de síntesis, la técnica de descarga de arco eléctrico es uno de los métodos de síntesis más empleados por su ventaja de producir una gran cantidad de nanoestructuras controlando la calidad y linealidad del producto; esta técnica permite la formación de nanoestructuras a través de la evaporación del material precursor causada por el paso de una alta corriente entre dos electrodos en un ambiente controlado. El objetivo principal de este trabajo es implementar un sistema de desplazamiento que permita acercar y mantener los electrodos a una distancia de 1 mm durante la formación de la descarga de arco eléctrico para la síntesis de nanoestructuras de carbono. La estructura del sistema de desplazamiento consiste en un vástago de acero acoplado a un motor a pasos que a través de un tornillo sinfín controla la distancia del electrodo-cátodo en un intervalo de 0 a 5 cm. El control del sistema de desplazamiento se basa en la plataforma Arduino donde se programan tres estados: inicio, avance y retroceso. Los resultados de las pruebas mostraron un incremento en la estabilidad de la descarga de arco eléctrico y en el tiempo de síntesis manteniendo la presión en el interior del reactor. La caracterización morfológica del producto, mediante microscopía electrónica de barrido mostró la formación de aglomerados de partículas a escala nanométrica. Demostrando de esta forma que el sistema de desplazamiento permite un mayor control sobre las condiciones para la formación de la descarga de arco y en consecuencia para la síntesis de nanoestructuras de carbono.

INTRODUCCIÓN

Las nanoestructuras de carbono (NEC) han sido estudiadas ampliamente por su capacidad de alterar las características físicas de otros elementos o materiales al ser combinados, mejorando de esta manera sus propiedades mecánicas, eléctricas, químicas y ópticas. Los métodos más empleados para su síntesis aprovechan la evaporación y condensación del carbono en un ambiente controlado, siendo la descarga de arco, el método con el que se obtienen nanoestructuras con menos defectos estructurales en comparación con las técnicas que usan baja temperatura [1-5]. Diversos investigadores han aplicado la técnica de descarga de arco para la síntesis de nanoestructuras de carbono. Yeh y colaboradores, sintetizaron nanotubos de carbono de una sola pared y de pared múltiple, en un reactor cilíndrico con una corriente de 65 A y un voltaje de 20 V, un tiempo de 30 segundos y una atmósfera de Helio a 500 Torr [6]. Por otra parte, Zhang y colaboradores sintetizaron fullerenos usando atmósferas de argón, nitrógeno e hidrógeno a diferentes presiones 40, 50 y 60 kPa, emplearon un sistema de enfriamiento para el control de crecimiento de nanoestructuras en un reactor cilíndrico con corriente directa de 200 A y 25 V durante 10 min [7]. Sue y colaboradores usaron una corriente de 90 A para generar una descarga de arco y emplearon un catalizador de Fe-S, en una atmósfera de aire, con una presión entre 0.75–135 Torr para sintetizar nanotubos de carbono con un diámetro de 1.6–6 nm [8].

El principal inconveniente de la descarga de arco es la complejidad que se tiene al controlar la corriente y voltaje necesarios para producir la evaporación del grafito que se emplea como electrodo, la descarga se inicia al contacto entre los dos electrodos, por lo que resulta indispensable mantener constante la distancia de separación entre estos [9-10]. Por lo anterior, en este trabajo se aborda la implementación de un sistema que permita manipular y desplazar los electrodos durante la formación de la descarga de arco eléctrico para la síntesis de nanoestructuras de carbono.

TEORÍA

El carbono es el elemento químico más estudiado, es el principal componente de los seres vivos, por lo que resulta fundamental en múltiples áreas [11]. Este elemento es importante porque posee características inigualables como la alotropía que es la propiedad que tiene algunos elementos químicos de poseer estructuras moleculares diferentes en el mismo estado físico, por ejemplo, el diamante, el grafito y los nanotubos. Estos tienen la misma base, carbono, pero sus átomos se encuentran en arreglos diferentes, lo que les confieren características físicas diversas (Figura 1).

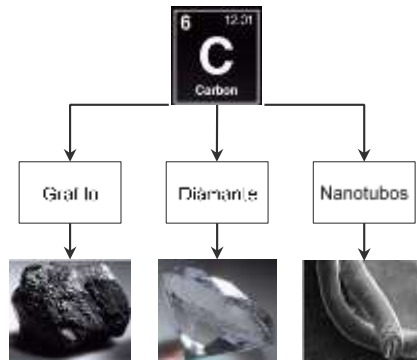


Figura 1 Alótropos del carbono [12].

Las nanoestructuras de carbono, se forman por el entrelazamiento del carbono que da lugar a estructuras con largas cadenas o anillos estables resultando formaciones cilíndricas-nanotubos, laminares-grafeno y esféricas-fullerenos (Figura 2). Estos nanomateriales tienen propiedades atractivas, como su elasticidad, resistencia mecánica, capilaridad, estabilidad térmica y conductividad eléctrica, que son usadas para diferentes aplicaciones como la construcción de baterías recargables, sensores suprasensibles, contenedores para el almacenamiento de hidrógeno, supercapacitores, celdas solares, filtros de agua, entre otras [1-3].

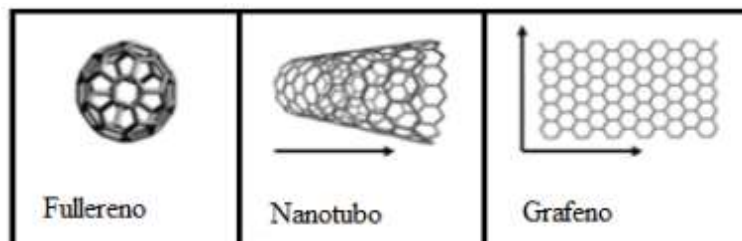


Figura 2 Formas de nanoestructuras de base carbono [13].

Los principales métodos para la síntesis de las nanoestructuras de carbono son ablación láser, descarga de arco y deposición química en fase vapor [14]. La síntesis por ablación láser, usa un pulso de alta potencia que vaporiza al grafito, el cual se encuentra dentro de un reactor en presencia de un gas inerte, de esta manera las nanoestructuras se forman cuando el grafito vaporizado entra en contacto con una superficie fría. Este procedimiento tiene rendimientos típicos del 70% en peso y produce nanoestructuras de carbono, con un diámetro que puede ser controlado variando la potencia del haz incidente, sin embargo, su principal desventaja radica en que el láser empleado suele ser muy costoso [15]. La síntesis por deposición química (CVD), incluye la reacción de uno o varios compuestos en forma de gas o vapor para dar un producto sólido, los precursores son ingresados a la cámara de reacción para producir nanomateriales y los gases de residuo resultantes son eliminados a través un sistema de evacuación [16].

La síntesis por descarga de arco emplea dos electrodos de grafito conectados a una fuente de alimentación de corriente directa (CD), separados unos milímetros, dentro de una atmósfera controlada. Por acción del campo eléctrico el medio en los electrodos es ionizado permitiendo que

el flujo eléctrico no se interrumpa lo que genera una vía donde los electrones se transfieren de un electrodo a otro, lo que se conoce como arco eléctrico. Al estar expuesto a un considerable flujo de electrones, la fricción promedio que se presenta entre los electrodos eleva la temperatura provocando que el grafito de los electrodos sea sublimado [17-20].

PARTE EXPERIMENTAL

Para controlar el desplazamiento del ánodo y mantener una separación de 1 mm entre los electrodos durante la formación de la descarga de arco, se diseñó un sistema de desplazamiento el cual está constituido principalmente por un soporte de 200 mm de altura. El soporte tiene dos placas centrales con una separación de 50 mm entre sí, una base en la parte inferior y una placa para sostener el motor a pasos en la parte superior. Un vástago y un tornillo trasforman el movimiento de giro del motor a pasos bipolar NEMA-17, en un movimiento longitudinal de 50 mm, permitiendo el desplazamiento del ánodo hacia el cátodo del reactor (Figura 3).

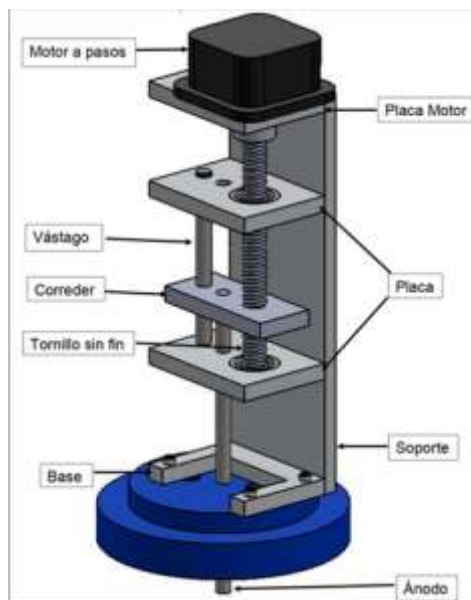


Figura 3 Sistema de desplazamiento.

Para suministrar energía motriz al mecanismo de desplazamiento del electrodo-ánodo, se utilizó un motor a pasos bipolar NEMA 17. El control del motor a pasos es por medio de un puente H (L298N) ajustado al microcontrolador de la tarjeta Arduino para indicar el sentido y la exactitud del ángulo de giro (Figura 4), este motor es alimentado por una fuente de 12 Vdc a través del puente H. La tarjeta se programa con tres botones que permiten la manipulación para los estados de avance, retroceso y posición inicial.

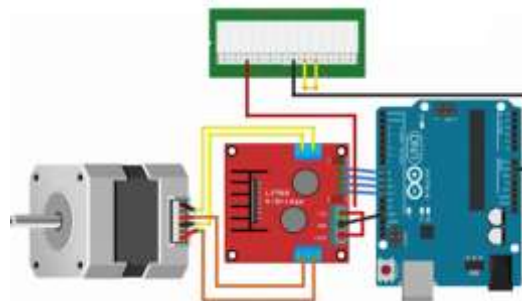


Figura 4 Circuito electrónico para el control del motor a pasos.

La formación de la descarga de arco eléctrico para la síntesis de nanoestructuras de carbono se originó en un reactor cilíndrico de vidrio con tapas de Nylamid. En la tapa superior se colocó el dispositivo de desplazamiento, un controlador de flujo másico y un sensor de presión Pirani. En la tapa inferior del reactor se conectó la bomba de presión, una entrada y salida del sistema de enfriamiento. Se trabajó con un voltaje de 70 V y una corriente de 100 A entre los electrodos de grafito, una presión de 0.3 atm en un ambiente de argón, con y sin catalizador Níquel (Figura 5).

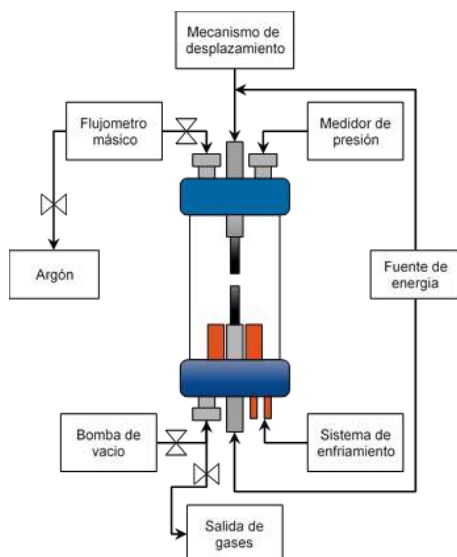


Figura 5 Diagrama del equipo para la formación de la descarga de arco eléctrico.

Posteriormente, se recolectó el producto del interior de la cámara del reactor para su caracterización morfológica. El análisis morfológico se realizó con un Microscopio Electrónico de Barrido modelo JEOL JSM-6610I, también se determinó el tamaño de la partícula a partir de un análisis estadístico utilizando la función de distribución normal.

RESULTADOS

El sistema de desplazamiento del cátodo permitió trabajar con un mayor control sobre las distancias de separación entre los electrodos originando una descarga de arco estable. En la Figura 6, se presenta el sistema de desplazamiento unido al reactor antes, durante y después de la formación de la descarga de arco.

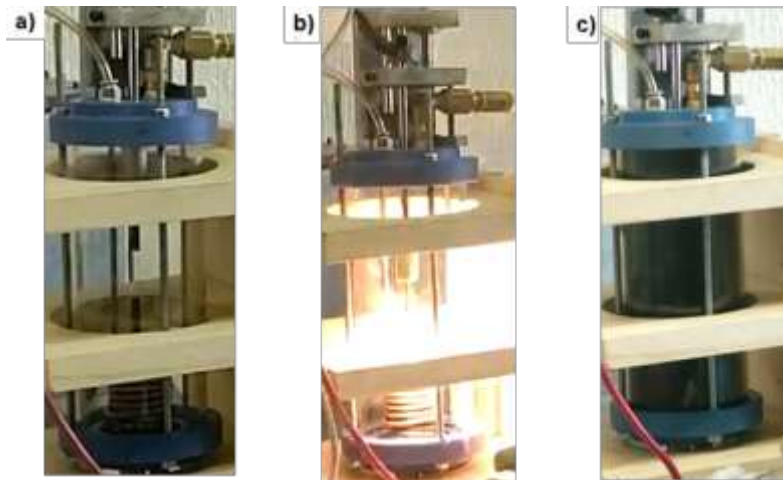


Figura 6 Reactor a) Antes de la descarga, b) Durante la descarga c) Al finalizar la descarga.

El mecanismo facilita considerablemente al usuario el desplazamiento del electro-ánodo, debido a que el motor a pasos garantiza más precisión, originando un movimiento continuo durante el desgaste de los electrodos en la formación de la descarga. El mecanismo es capaz de desplazar y acercar los electrodos uno de otro aproximadamente un 1 mm, sin originar pérdidas de vacío en el reactor. El producto obtenido de la evaporación de los electrodos de grafito es un polvo negro y fino que se deposita en las paredes del reactor (Figura 6c).

En la Figura 7, se presenta la morfología de una muestra obtenida mediante la síntesis por descarga de arco sin catalizador, se observa una superficie compuesta por pequeñas partículas irregulares aglomeradas (Figura 7a) con un tamaño promedio de 167.2 nm (Figura 7b). En la misma muestra con un acercamiento de x50000 se localiza el crecimiento una nanoestructura de carbono con forma tubular con un diámetro de 41 nm (0.041 μm) sobre un aglomerado de partículas (Figura 7c), al realizar el análisis EDS se determinó que la muestra tiene una composición elemental de 100% carbono (Figura 7d).

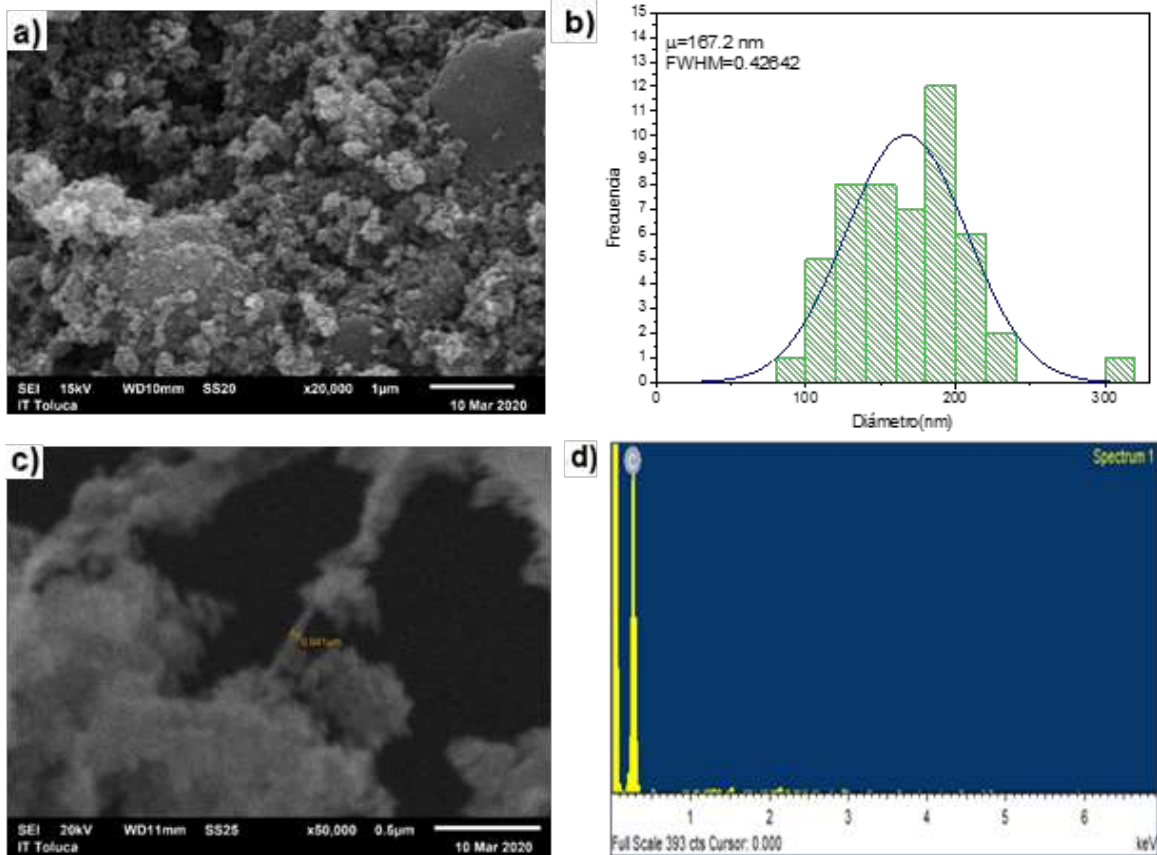


Figura 7 Caracterización morfológica a) x20000 y b) Diámetro promedio de partícula, c) x50000 y d) EDS de la muestra.

También, se realizó una síntesis por descarga de arco eléctrico utilizando níquel como catalizador. En la caracterización morfológica se observan pequeñas esferas irregulares aglomeradas, adheridas a varias superficies rugosas y la formación de algunos nanotubos de carbono (Figura 8a), con un tamaño de partícula promedio de 66.6 nm (Figura 8b). En la misma muestra, pero con un acercamiento de x100000, se observa el diámetro del nanotubo de carbono con valores equivalentes de 16 nm, 18 nm, 22 nm y 28 nm (Figura 8c), al realizar el EDS a la muestra se obtuvo una composición elemental del 100% carbono (Figura 8d). Estructuras similares fueron obtenidas por Sari y colaboradores al igual que Sharma y colaboradores [21,22].

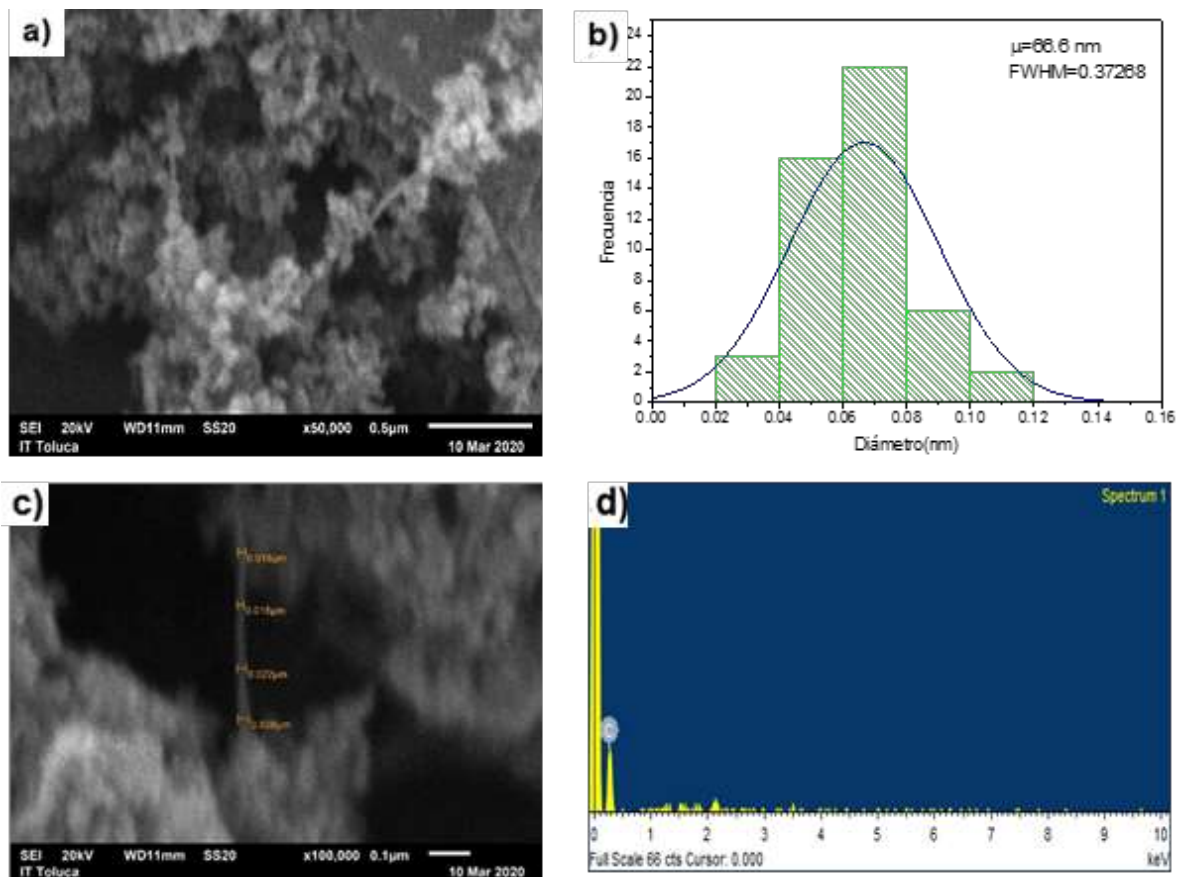


Figura 8 Caracterización morfológica a) x50000, b) Diámetro promedio, c) x100000 y d) EDS de la muestra.

CONCLUSIONES

El sistema de desplazamiento del cátodo permitió trabajar con un mayor control sobre las distancias de separación entre los electrodos logrando una mayor estabilidad en el tiempo de síntesis, además, de dar seguridad y protección durante la formación de la descarga de arco eléctrico. Los resultados obtenidos mostraron una variación en el tamaño de partícula de las nanoestructuras de carbono, obteniendo escasos nanotubos de carbono con diámetros de 41 nm a 14 nm. El análisis elemental por EDS determinó que la composición de las muestras es de 100% carbono, por lo anterior se asume que el catalizador se consume para permitir la formación de nanotubos de carbono.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. Ghavamian, M. Rybachuk, y A. Öchsner." Defects in carbon nanotubes", Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, 2018,pp.87-136.
2. R. Malekimoghadam, y R. Rafiee," Carbon Nanotube-Reinforced Polymers from Nanoscale to Macroscale Micro and Nanotechnologies", University of Tehran, Tehran, Iran: elsevier, 2018,pp.586.
3. R. Das, Z. Shahnava, M. E. Ali, M. M. Islam, & S. B. Abd Hamid, 2016." Can We Optimize Arc Discharge and Laser Ablation for Well-Controlled Carbon Nanotube Synthesis?" Nanoscale Research Letters, Vol. 11(1).
4. D. M. Mattox. "Plasmas and Plasma Enhanced CVD". The Foundations of Vacuum Coating Technology, 2018, pp..61–86.
5. J. M. Herrera-Ramírez, R. Pérez-Bustamante, & A. Aguilar-Elguezabal. "An Overview of the

- Synthesis, Characterization, and Applications of Carbon Nanotubes”. Carbon-Based Nanofillers and their Rubber Nanocomposites, 2019, pp.47–75.
6. Y.-W. Yeh, Y. Raitses, & N. Yao.” Structural variations of the cathode deposit in the carbon arc. Carbon”, Vol.105, pp.490–495.
 7. D. Zhang, K. Ye, Y. Yao, F. Liang, T. Qu, W. Ma, T. Watanabe “Controllable synthesis of carbon nanomaterials by direct current arc discharge from the inner wall of the chamber. Carbon”, 2019.
 8. K.T. Chaudharya, J. Alia, y P. Yupapin “Growth of small diameter multi-walled carbon nanotubes by arc discharge process”, Phys. B., Vol. 23, 2014, pp.1-6
 9. Y. O Kosminska, & V.I. Perekrestov,” Regularities of self-organization of technological conditions during plasma-arc synthesis of carbon nanotubes”. Diamond and Related Materials, 85, 2018, 37–48.
 10. T. Zhao, X. Ji, W. Jin, W. Yang, X. Zhao, A. Dang, ... T.Li. “In situ synthesis of semiconducting single-walled carbon nanotubes by modified arc discharging method”. Applied Physics A, Vol. 123(2), 2017.
 11. F. V. Ferreira, W. Franceschi, B. R. C. Menezes, A. F. Biagioni, A. R. Coutinho, & L. S. Cividanes, L. S.” Synthesis, Characterization, and Applications of Carbon Nanotubes”. Carbon-Based Nanofillers and Their Rubber Nanocomposites, 2019, pp.1–45.
 12. F. Liang, M. Tanaka, Choi, S., & T. Watanabe.” Formation of different arc-anode attachment modes and their effect on temperature fluctuation for carbon nanomaterial production in DC arc discharge”. Carbon, Vol. 117, 2017, pp.100–111.
 13. C. P. Bergmann, F. Machado Machado y É. C. Lima, “Introduction de Carbon Nanomaterials as Adsorbents for Environmental and Biological Applications”, Porto Alegre, Br., Springer, 2015, pp. 1-9.
 14. R. Das, Z. Shahnava, M. E. Ali, M. M. Islam, & S. B Abd Hamid.”Can We Optimize Arc Discharge and Laser Ablation for Well-Controlled Carbon Nanotube Synthesis?”, Nanoscale Research Letters, Vol.11(1), 2016.
 15. A. Ghavamian, M. Rybachuk y A. O’chsner. “Defects in carbon nanotubes”, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, 2018, pp.87-136.
 16. R. Malekimoghadam, y R. Rafiee “Carbon Nanotube-Reinforced Polymers From Nanoscale to Macroscale Micro and Nanotechnologies” University of Tehran, Tehran, Iran: elsevier, (2018), pp.586.
 17. J. M. Herrera-Ramirez, R. Perez-Bustamante, & A. Aguilar-Elguezabal “An Overview of the Synthesis, Characterization, and Applications of Carbon Nanotubes. Carbon-Based Nanofillers and Their Rubber Nanocomposites”, 2019, pp.47–75.
 18. N.S. Azahurin, S.M. Sultan & A. Mohamand.” Synthesis and Characterization of Carbon Nanoparticle Using Arc Discharge Plasma. Elektrica”, Vol.17(3), 2018, pp.20-22.
 19. M. S. Roslan, K. T. Chaudary, Z. Haider, M. S. Aziz, & J. Ali,” Multi-walled carbon nanotubes grow under low pressure hydrogen, air, and argon ambient by arc discharge plasma. Fullerenes”, Nanotubes and Carbon Nanostructures, Vol.25(4), 2017, pp.269–272.
 20. P. G. Vilchis-Gutierrez, M. Pacheco, J. Pacheco, R. Valdivia-Barrientos, C. E. Barrera-Diaz, & P. Balderas-Hernandez.” Synthesis of Boron-Doped Carbon Nanotubes with DC Electric Arc Discharge”. IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 46(8), 2018, pp. 3139–3144.
 21. Sari, A. H., Khazali, A., & Parhizgar, S. S. Synthesis and characterization of long-CNTs by electrical arc discharge in deionized water and NaCl solution. International Nano Letters, Vol. 8, 2018, 19–23.
 22. A. Sharma, S. K. Singh, and Y. K. Vijay, “Low Cost Production of Carbon Nanotubes Using DC Arc Discharge Under Deionized Water,” Adv. Sci. Focus, vol. 2, no. 2, 2014, pp. 125–129.

DESARROLLO DE BIOCOMPUESTOS A PARTIR DE RESIDUOS PROVENIENTES DEL SECTOR AUTOMOTRIZ Y DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL

Flora Beltrán Ramírez¹, Ernesto Ornelas Amaro¹, Arantza Elizondo Hernández²

¹Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC), ²Universidad Iberoamericana campus León.

fbeltran@ciatec.mx

RESUMEN

En los últimos años se ha incrementado de manera exponencial el consumo de plásticos y se ha convertido en un problema de contaminación a nivel mundial. Debido a lo anterior, se han buscado alternativas para disminuir el consumo de éstos materiales o su posible sustitución por materiales más ecológicos o biodegradables, siempre y cuando se siga preservando el comportamiento del material original. Y surgen los biocompuestos.

Estos materiales se encuentran constituidos por la mezcla de fibras naturales y polímeros sintéticos. En base a lo anterior, los residuos agro-industriales tienen un campo de aplicación en el área de los polímeros, ya que pueden utilizarse para el desarrollo de biocompuestos. Estos residuos son una fuente rica en celulosa y a su vez la planta o cultivo puede aprovecharse en un 100%, en lugar de que se desperdicie o genere más contaminación; por ejemplo, en el suelo por mantenerlos en confinamiento o en el aire porque es más fácil y económico quemarlos.

Sin embargo, por la naturaleza hidrofílica de las fibras naturales y la naturaleza hidrofóbica de la matriz polimérica existe una pobre interacción interfacial entre estos dos materiales y, por lo tanto, las propiedades mecánicas se ven deterioradas. Debido a esto, se han desarrollado métodos físicos, químicos y biológicos para promover la adhesión interfacial entre las fibras naturales y la matriz polimérica al modificar la superficie de las fibras naturales. Otra alternativa para mejorar dicha compatibilidad es el uso de agentes compatibilizantes, como son las poliolefinas injertadas con anhídrido maleico. De acuerdo a investigaciones previas, los biocompuestos pueden ser utilizados en componentes automotrices (interiores), empaque, dispositivos médicos, etc.

Para este trabajo se seleccionaron fibras de bagazo de agave por el alto tonelaje que se produce en el Estado de Guanajuato y residuos poliméricos provenientes del sector automotriz para el desarrollo de biocompuestos.

Las fibras fueron sometidas a un tratamiento alcalino para mejorar su adhesión interfacial con la matriz polimérica, en este caso, un elastómero termoplástico (TPO). Se analizaron mediante difracción de rayos X para evaluar el cambio en su cristalinidad, así como de su morfología a través de microscopía electrónica de barrido. También se evaluó la estabilidad térmica de las fibras por análisis termogravimétrico. Posteriormente, se elaboraron mezclas a diferentes concentraciones de fibra de agave (10, 20 y 30% en peso) con y sin tratamiento alcalino con el elastómero termoplástico mediante extrusión. Por último, se obtuvieron las probetas necesarias para la evaluación del desempeño mecánico.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la cristalinidad de las fibras no se vio afectada considerablemente por el tratamiento alcalino aplicado. En cuanto a las micrografías, se observa que las fibras sometidas al tratamiento alcalino presentan una superficie más lisa por la disminución de la lignina. Por otro lado, las mezclas obtenidas presentan buenas propiedades mecánicas, por lo que se puede concluir que se logró mejorar la compatibilidad entre las fibras de agave y el TPO, lo que sugiere que el aprovechamiento de este tipo de residuos, presentan un alto potencial de uso en la industria.

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz se ha posicionado como uno de los sectores más importantes en México debido a que es una inversión extranjera directa, esta aporta al PIB, empleos y a su vez impulsa el crecimiento económico. Guanajuato ha sido uno de los estados con mayor beneficio de este sector por la llegada de nuevas armadoras, cuenta con 297 empresas, entre las que destacan General Motors y Volkswagen en Silao, Mazda en Salamanca y Honda en Celaya, así como empresas de gran prestigio en la fabricación de llantas como Pirelli y otras más de autopartes, transmisiones y

componentes para autos¹. Al mismo tiempo, esta industria ocupa el tercer lugar a nivel nacional en generación de residuos², principalmente en Residuos de Manejo Especial (RME), los cuales son generados en los procesos productivos y no son peligrosos, estos provienen de actividades como pesquera, agrícola, forestal, avícola y ganadera, también de la construcción y demolición, así como de la industria electrónica o de vehículos. Un automóvil promedio usa alrededor de 150 kg de plásticos (10-15% del peso total). Usa hasta 13 diferentes polímeros en un solo modelo de automóvil, estos con todo tipo de formas y tamaños, se utilizan en más de mil partes diferentes tanto en exteriores e interiores, como parachoques, puertas, seguridad y ventanas, faros y carcasas de los espejos laterales, tapa de la cajuela, capós, rejillas y cubiertas de las ruedas, entre otros³.

Los polímeros más utilizados en los vehículos son: Polipropileno (PP), Poliuretano (PUR), policloruro de vinilo (PVC), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), Poliamida (PA), los dos tipos de polietileno (PE): polietileno de alta y baja densidad (LDPE y HDPE), Policarbonato (PC), Polibutuileno (PBT), Tereftalato de polietileno (PET), Caucho de etileno-propileno (EPR), etc.⁴ Las mezclas físicas de PP y EPR, sin reticulación ni enlaces no reversibles en la fase hulsosa, darán lugar a mezclas poliméricas clasificadas como termoplásticos olefinicos (TPOs)⁵. Según las proporciones de PP y EPR empleadas para su fabricación, puede ser duro o flexible. Algunas de sus ventajas son que soporta el efecto de casi todos los productos químicos y también cuenta con una alta resistencia a los rayos ultravioleta (UV). Cuando un automóvil es desechado solo el 20% de su plástico es reciclado⁶. Esto significa que un gran volumen de plástico automotriz termina contaminando el medio ambiente. Por esta razón y para generar nuevos ingresos de un material desaprovechado, el sector automotriz y el gobierno mexicano se ha interesado en dopar los residuos con otros materiales. Como por ejemplo los residuos agroindustriales, ya que son ricos en fibras naturales y poseen una característica muy importante, su alta resistencia mecánica a esfuerzos de tracción debido al ordenamiento estructural de las moléculas de celulosa⁷. En recientes investigaciones se encontró que al emplear fibras naturales como refuerzos de materiales poliméricos se obtienen resultados muy favorables en cuanto al mejoramiento de algunas propiedades mecánicas, desplazando a las fibras sintéticas, las fibras de vidrio o de carbono.

La composición de las fibras naturales consiste principalmente en celulosa, hemicelulosa, y lignina. La celulosa en las plantas es el componente que proporciona estabilidad y resistencia a las paredes celulares, por lo tanto, este componente influye directamente en el biocompuesto. La lignina es una estructura altamente reticulada, y la cantidad de esta influye directamente en la estructura, propiedades, morfología, tasa de hidrólisis, así como flexibilidad. Los biocompuestos son materiales que pretenden sustituir a los polímeros tradicionales, ya que, desde un punto de vista técnico además de mejorar la resistencia mecánica, cuentan con ventajas de carácter ambiental como, mejorar la biodegradabilidad de las piezas interiores del automóvil y reducir el consumo de combustible puesto que disminuye el peso del material; ventajas de carácter económico, menor costo de producción; ventajas de seguridad, mejorar la seguridad de los pasajeros, aislamiento acústico y rendimiento a prueba de roturas bajo cambios extremos de temperatura. Recientemente, Toyota, Mercedes-Benz, Ford, Mitsubishi y Daimler Chrysler AG han incorporado materiales biodegradables en algunas partes de algunos de sus vehículos⁸.

Sin embargo, debido a la naturaleza hidrofílica de las fibras naturales y la naturaleza hidrofóbica de la matriz polimérica, no existe una buena interacción interfacial entre los dos materiales, por lo tanto, las propiedades mecánicas se deterioran. En base a lo anterior, se han desarrollado tratamientos químicos y físicos. Para modificar la superficie de las fibras naturales y promover la adhesión interfacial con el matriz polimérica⁹. Entre los tratamientos químicos destaca el alcalino, la benzoilación, el ciclohexano, silicio, peróxido, acetilación, ácido sulfúrico, tratamiento con ácido esteárico y la modificación con anhídrido maleico. La modificación química proporciona más estabilidad dimensional y reduce la capacidad de absorción de agua¹⁰. El tratamiento alcalino es el más utilizado y es con él con que se trabaja en este estudio, consiste en eliminar la lignina, la cera y el aceite de las fibras, ya que estos componentes actúan como una barrera entre la matriz polimérica y las fibras¹¹. Otra alternativa para mejorar la compatibilidad entre estos materiales es usar agentes compatibilizantes. Los principales factores que afectan el procesamiento y el rendimiento de los biocompuestos son la presencia de humedad, tipo, forma (corta o larga), concentración y orientación de las fibras¹².

En México se generan más de 70 millones de toneladas al año de residuos agrícolas; el 79.4% corresponde a residuos primarios como paja de cereales de trigo y maíz, cascaras y semillas. El 20.6% restante corresponde a los restos de cultivos industriales (bagazos). En la actualidad, la mayor parte de estos residuos se desechan y, por tanto, la utilización de estos como refuerzo en matrices poliméricas incrementa el valor del plástico reciclado y contribuye a reducir la cantidad de RME. En Guanajuato el bagazo de Agave (*Agave Tequilana*) es un residuo de fibras naturales ya que los municipios, Abasolo, Ciudad Manuel Doblado, Cuerámara, Huanímaro, Pénjamo y Purísima del Rincón se encuentran en los territorios declarados para la denominación de Tequila. Cabe mencionar que por cada litro de tequila se obtienen 1.4 kg de bagazo.

Debido a lo anterior, el presente estudio se basa en aprovechamiento de fibras naturales provenientes de la industria tequilera y un residuo plástico, el TPO, por parte del sector automotriz.

PARTE EXPERIMENTAL

Materiales

Se utilizaron fibras naturales de Agave (*Agave tequilana*), residuo de la industria tequilera. Para el tratamiento de las fibras naturales se utilizaron hidróxido de sodio grado reactivo con 98% de pureza y ácido acético grado reactivo con 99% de pureza, ambos de Sigma Aldrich. Para el desarrollo de biocompuestos, se utilizó una poliolefina termoplástica (TPO), el cual es residuo proveniente de la industria automotriz, con un MFI de 10 g/min y una poliolefina termoplástica injertada con anhídrido maleico (MAH) de Dow, con una densidad de 0.875 g/cm³ y un MFI de 1.3 g/10 min como compatibilizante.

Tratamiento químico de fibras naturales

Las fibras fueron previamente molidas al tratamiento alcalino mediante un molino de cuchillas marca PAGANI modelo 2550FA. El tratamiento alcalino se llevó a cabo para eliminar la lignina presente en las fibras naturales, la cual actúa como barrera entre las fibras y la matriz polimérica, es decir, contribuye a su incompatibilidad. Dicho tratamiento consistió en sumergir las fibras en agua con agitación constante y temperatura controlada, al llegar a 90°C, se agregó una solución de hidróxido de sodio 1:15 (peso/peso), la mezcla continuó agitándose por 30 minutos y enseguida se dejó reposar por 12 horas. Después, se neutralizó la mezcla con ácido acético al 1% y a agitación constante durante 30 minutos. Las fibras fueron lavadas con agua para eliminar los residuos presentes generados por el tratamiento alcalino y se colocaron en una estufa a 80°C durante 12 horas. Finalmente, se utilizó un pulverizador ASF modelo P200 y un tamizador con mallas No.35 y 60 para obtener fibras de 250 µm aproximadamente.

Caracterización de las fibras naturales

Se analizó el efecto sobre la morfología, cristalinidad y estabilidad térmica de las fibras naturales antes (A) y después del tratamiento alcalino (AT).

En el análisis morfológico se utilizó un microscopio electrónico de barrido (SEM) JOEL JSM-7401.

La evaluación de la cristalinidad se realizó con un difractómetro SIEMENS modelo D-5000. Y, por último, para analizar la estabilidad térmica de las fibras, se utilizó un TGA TA Instruments modelo Q500. Las muestras se sometieron a una velocidad de calentamiento de 10°C/min bajo una atmósfera de aire en un intervalo de temperatura de 30 a 800°C.

Preparación de biocompuestos

Las fibras fueron colocadas en una estufa a 80°C por 12 horas previo al mezclado con el polímero. Las formulaciones elaboradas inicialmente están descritas en la Tabla 1. Cada composición fue mezclada en un extrusor doble husillo Leistritz micro 27 con un L/D de 32:1 y D de 27 mm a 100 rpm y 170°C.

Finalmente, se obtuvieron las probetas para la evaluación del desempeño mecánico de los biocompuestos mediante una máquina de inyección MILACRON a una temperatura de 180°C.

Tabla 1. Composiciones estudiadas (% en peso)

Composiciones	TPO	MAH	Fibras de agave (g)	
			Sin tratamiento	Con tratamiento
A20	85	5	10	-
A30	75	5	20	-
A40	65	5	30	-
AT20	85	5	-	10
AT30	75	5	-	20
AT40	65	5	-	30

Propiedades mecánicas de biocompuestos

De acuerdo a la norma ASTM D638 se evaluó la resistencia a la tensión en una máquina universal Instron 5565 a una velocidad de deformación de 50 mm/min.

RESULTADOS

Difracción de rayos X

A través de la técnica de difracción de rayos X se obtuvieron los valores del índice de cristalinidad de las fibras en estado natural (A) y de las que fueron sometidas al tratamiento alcalino (AT). Como se puede observar en la tabla 2, no hubo un cambio significativo en el índice de cristalinidad de las fibras de agave, debido a que las fibras están constituidas principalmente por celulosa, la cual se encuentra protegida por la hemicelulosa, lignina y pectina.

Tabla 2. Índice de cristalinidad de las fibras de agave

Muestra	Índice de cristalinidad (%)
A	21.5
AT	22

Morfología

La figura 1a corresponde a la micrografía de las fibras de agave en su estado natural y se puede observar la presencia de grasas, lignina, hemicelulosa y/o pectina, las cuales protegen la parte interna de la fibra, la celulosa. A su vez, también se puede apreciar una apariencia irregular¹³.

Por otro lado, la figura 1b corresponde a la micrografía de las fibras de agave que fueron sometidas al tratamiento alcalino y se pueden observar algunas regiones lisas por la remoción de grasas, lignina, etc., durante el tratamiento químico.

Estas diferencias superficiales en las fibras de agave afectarán directamente al desempeño mecánico de los biocompuestos elaborados, debido que, al remover la lignina, mejora la adhesión interfacial entre las fibras de agave y el TPO.

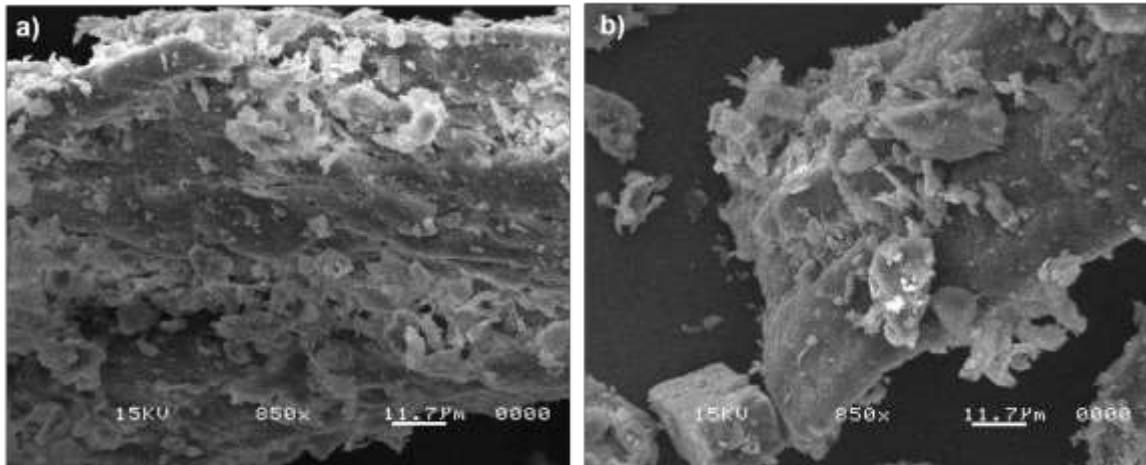


Figura 1. Micrografías de SEM de las fibras de agave a) sin tratamiento y b) con tratamiento alcalino a 850X.

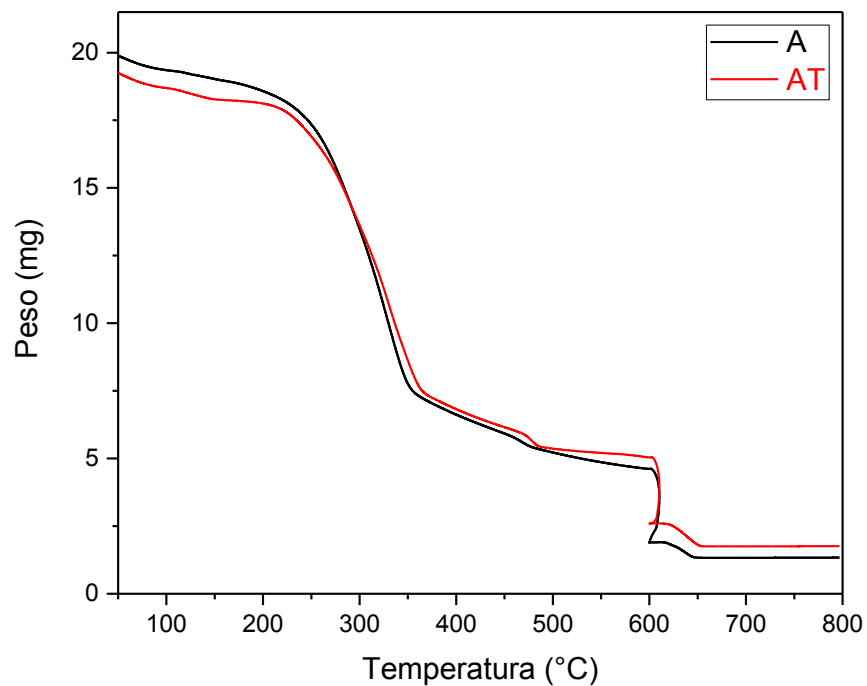


Figura 2. Termogramas de las fibras de agave sin tratamiento y con tratamiento.

Análisis Termogravimétrico

En la figura 2 se muestran los termogramas de las fibras de agave en su estado natural, así como las fibras de agave que fueron modificadas químicamente.

Se puede observar que las fibras en su estado natural presentan una pérdida en peso del 61% entre 30 y 330 °C debido a la descomposición de la hemicelulosa y celulosa, y otra pérdida en peso del 18% a los 637°C, la cual corresponde a la degradación térmica de la lignina, originando alrededor del 6% en peso de residuo orgánico¹⁴. En el caso de las fibras con tratamiento alcalino, el termograma nos indica un comportamiento térmico similar al de las fibras en estado natural. Debido

a lo anterior, la estabilidad térmica de las fibras de agave no varía con el tratamiento alcalino al que fueron expuestas.

Propiedades Mecánicas de Biocompuestos

En la tabla 3 se muestran los resultados de las propiedades mecánicas de los biocompuestos estudiados.

Respecto a las propiedades tensiles, se puede observar que, en todas las composiciones, al incrementar el contenido de fibras de agave también aumenta la rigidez y esto es debido a la presencia de las fibras, las cuales están actuando como una carga. Sin embargo, la elongación disminuyó considerablemente en algunas de las composiciones debido a la pobre adhesión interfacial entre las fibras de agave en estado natural como las tratadas químicamente con el TPO.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de los biocompuestos

Composiciones	Resistencia a la tensión (MPa)	Elongación (%)	Módulo (MPa)
TPO	10 ± 0.2	419 ± 29	115 ± 0.9
A20	9.0 ± 0.8	311 ± 18.4	108 ± 7.0
A30	11.0 ± 0.3	44 ± 0.7	118 ± 1.0
A40	14.5 ± 1.6	36 ± 0.8	147 ± 4.0
AT20	8.3 ± 0.2	384 ± 31	89 ± 0.8
AT30	7.3 ± 0.08	298 ± 33	98 ± 1.4
AT40	11 ± 0.4	85 ± 19	124 ± 2.0

CONCLUSIONES

El tratamiento alcalino no afecta la cristalinidad ni la estabilidad térmica de las fibras naturales de agave. Sin embargo, la morfología de las fibras naturales de agave cambia de una superficie rugosa a una más lisa, lo cual se ve reflejado en el desempeño mecánico de los biocompuestos. Las composiciones AT20 y AT30 obtuvieron buenas propiedades mecánicas debido a la buena compatibilidad entre las fibras naturales tratadas químicamente con el TPO y con la presencia del compatibilizante.

BIBLIOGRAFÍA

1. P. F. Frías, "Industria Automotriz en el Estado de Guanajuato", Verano de la Investigación Científica, Vol. 3, 2, 2017, pp. 1123-1127.
2. M. I. Martínez, "Sistema de Gestión Integral de Residuos en una Empresa Automotriz", Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México, 2014, pp. 9-30.
3. H. M. Espitia, "Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación en reforzamiento de polímeros termoplásticos", Maestría, Universidad Nacional de Colombia, 2010, pp. 4-15.
4. Automotive materials plastics in automotive markets today
5. H. R. Morris, "Chemical Imaging of Thermoplastic Olefin (TPO) Surface Architecture", Langmuir, Vol. 15, 8, 1999, pp. 2961-2972.
6. X. S. Sun, "Overview of Plant Polymers: Resources, Demands and Sustainability", in *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics* (Elsevier, 2013), Chapter 1, pp. 1-10.
7. F. Beltrán, "Agro-Industrial Waste Revalorization: The Growing Biorefinery", in *Biomass for Bioenergy – Recent Trends and Future Challenges* (IntechOpen, London, 2019), Chapter 6, pp. 1-20.
8. M. Pracella, "Functionalization, compatibilization and properties of polypropylene composites with Hemp fibres", Compos. Sci. Technol., Vol. 66, 2006, pp. 2218-2230.

9. L. Steuernagel, "Effects of chemical modification of Wood particles with glutaraldehyde and 1,3-dimethylol-4,5-dihydroxyethylenurea on properties of the resulting polypropylene composites", *Compos. Sci. Technol.*, Vol. 70, 13, 2010, pp. 2003-2011.
10. S. Kaewkuk, "Effects of interfacial modification and fiber content on physical properties of sisal fiber/polypropylene composites", *Composites Part B: Engineering*, Vol.45, 2013, pp. 544-549.
11. M. Sood, "Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review", *Egypt. J. Pet.*, Vol. 27, 4, 2018, pp. 775-783.
12. G. Koronis, "Green composites: A review of adequate materials for automotive applications", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 44, 2013, pp. 120-127.
13. N. Reddy, "Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications", *Trends in Biotechnology*, Vol. 23, 1, 2005, pp. 22-27.
14. M. Hidalgo, "Chemical and morphological characterization of *Agave Angustifolia* bagasse fibers", Vol. 93, 4, 2015, pp. 807-817.

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE LUCES DIRECCIONALES E INTERMITENTES EN LA REDUCCIÓN DE ACCIDENTES AUTOMOVILÍSTICOS

Salvador Bravo Murillo, Aarón Montiel Rosales, Sara López Dimas, Nayeli Montalvo Romero

Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón
lrs16110458@purisima.tecnm.mx, aaron.mr@purisima.tecnm.mx,
lrs16110435@purisima.tecnm.mx, nayeli.mr@purisima.tecnm.mx

RESUMEN

Actualmente, el sistema de luces de un vehículo cuenta con un sistema esencial de iluminación, esto es iluminar, luces direccionales e intermitentes. Ahora bien, en situaciones de emergencia el conductor dispone de una única forma de señalización en caso de la presencia de algún accidente, luces de intermitencia o luces direccionales. Sin embargo, si se llegase a presentar un suceso y se quisiese salir del embotellamiento para agilizar el tráfico; se deben encender las luces intermitentes para indicar a los conductores de atrás que se debe disminuir la velocidad debido a un suceso, al mismo tiempo que se debe indicar hacia qué punto se siguiese la afluencia. De acuerdo con la información publicada por el Centro de Experimentos y Seguridad Vial en México y la Secretaría de Seguridad Pública del Distrito Federal, no hacer uso de las direccionales e intermitentes es una de las principales causas de accidentes viales.

El presente proyecto de investigación presenta el diseño y desarrollo de un prototipo desarrollado en Arduino, capaz de permitir al mismo tiempo el funcionamiento de las luces intermitentes y direccionales. Los parámetros que se pueden controlar con el sistema propuesto son: luminosidad, tiempo de parpadeo, activación y desactivación de las luces intermitentes, simultaneidad, entre otras cosas que afectan el sistema de luces en el automóvil.

El sistema bifuncional de luces direccionales e intermitentes, propuesto busca atender la necesidad de atender situaciones de emergencia en donde se requiera una comunicación simultánea entre los conductores; permitiendo así reducir el porcentaje de accidentes por falta de señalización en el automóvil. El desarrollo del presente proyecto de investigación es clave en la prevención de accidentes automovilísticos, debido a que será capaz de minimizar las muertes asociadas a la inadecuada señalética de luces intermitentes de emergencia y direccionales.

INTRODUCCIÓN

Los accidentes automovilísticos, son un grave problema a nivel mundial [1]. El accidente automovilístico, es la primer causa de traumatismos faciales [2]; así mismo, es la segunda causa de fracturas faciales en un centro de referencia de traumatismos nivel I [3]; un accidente de este tipo puede generar hemiparesia izquierda como consecuencia del TCE grave [4], traumatismo traqueal [5], trauma ocular [6], protrusión de órganos abdominales en ruptura diafragmática traumática [7], así mismo pueden llevar a la discapacidad, a partir de una lesión medular traumática [8], entre otros padecimientos. Finalmente, en el peor de los casos una colisión automovilística, puede acabar con la vida de seres humanos [9,10]. En [11], se establece que además del daño epidemiológico, existe un costo económico; mientras que en [12,13], un accidente automovilístico puede generar un trauma psicológico.

Los accidentes automovilísticos son causados por conducir bajo la influencia de alcohol, consumo de drogas, exceso de velocidad, falta de pericia del conductor, fallas mecánicas, condiciones climatológicas, entre otras [14-16].

En México, el problema generado por la falta de educación y conciencia vial crece a marchas aceleradas con el paso del tiempo, y empeora aún más con el constante aumento de automóviles que circulan diariamente. Uno de los errores más grandes con respecto a este tema es creer que la educación vial concierne sólo a los automovilistas y al transporte público. Sin embargo, ciclistas, motociclistas y peatones, están también involucrados en este problema y sus acciones suman o restan a la cultura que actualmente existe en México.

Existen diversos enfoques que buscan mitigar y en el mejor de los casos eliminar los accidentes vehiculares. En [17], se presenta una red inalámbrica de sensores para alertar de una posible

colisión; mientras que en [18] se desarrolla un sistema de comunicación inteligente; por mencionar algunos esfuerzos por atender este problema.

Las aplicaciones previas, evidencian que la comunicación es vital para evitar accidentes. Es por ello, que en ese sentido el presente proyecto de investigación propone el desarrollo de un sistema de luces bidireccionales como medio de comunicación entre los usuarios de la vía pública; esto es, que indiquen alerta al mismo tiempo que indican el sentido hacia el que se dirige la unidad. Esta propuesta permitirá disminuir la cantidad de accidentes vehiculares y en el mejor de los casos, las muertes asociadas.

TEORÍA

A Florence Lawrence (1886-1938) se le atribuye la invención del primer “brazo indicador de dirección”, este artefacto se colocaba en la parte trasera del vehículo y que se podía mover de izquierda o derecha antes de realizar una vuelta con solo pulsar unos botones, este se puede considerar como el antecesor a las luces intermitentes; así mismo, se le atribuye la señal de “stop” que aparecía cuando se pulsaba el pedal de freno [19].

Las luces direccionales ayudan a indicar hacia el lado de la carretera, calle o avenida a la que se conduce el vehículo, esto para evitar accidentes [20,21]. En México se obliga a traer un sistema de iluminación: (a) luces de posición (véase Figura 1): luces altas y luces bajas, luces de freno, luces para indicar movimiento en reversa y luces que iluminen la placa posterior y, (b) luces de posición intermitentes: direccionales y luces intermitentes en la parte frontal y posterior



Figura 1. Luces de posición.

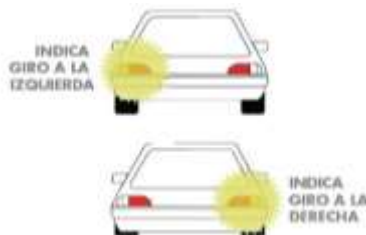


Figura 25. Posición de señales intermitentes.

PARTE EXPERIMENTAL

Se realizó una simulación en el software TinkerCad, con la finalidad de evaluar la factibilidad de la propuesta. La Figura 3, muestra la integración del circuito, el cual consiste en: un Arduino, una Protoboard, 4 leds (2 rojos para las intermitentes y 2 amarillos para las direccionales), así mismo cuenta con 3 Interruptores, de los cuales dos de ellos son para accionar direccional izquierda y direccional derecha, y el interruptor restante accionaría lo que vendrían siendo las intermitentes. Cada componente electrónico cuenta con una resistencia como medio de seguridad y cada una de las conexiones entre la Protoboard y el Arduino se realizaron mediante cables dupont macho-macho con la finalidad de tener una buena conexión y evitar fallos en el circuito. Con el desarrollo de la simulación se valida el funcionamiento de la propuesta.

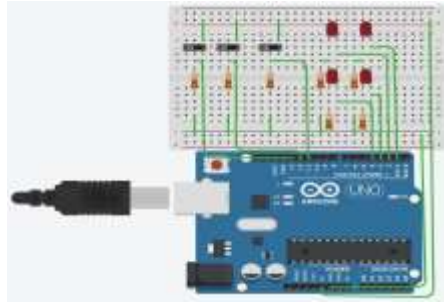


Figura 3. Simulación en TinkerCad.

RESULTADOS

Se desarrollo el dispositivo electrónico controlado mediante Arduino; el cual, enciende cada una de las luces intermitentes (véase Figura 4), y las luces direccionales (véase Figura 5) de manera simultánea.

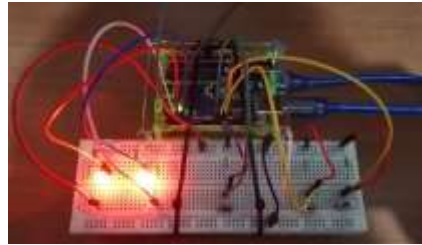
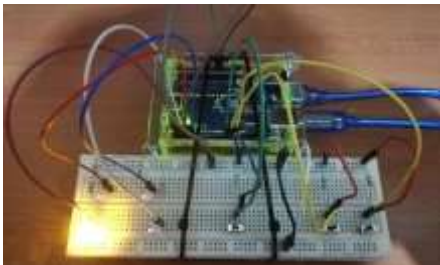
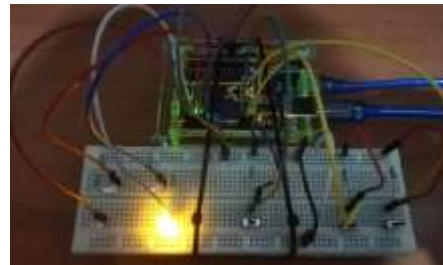


Figura 4. Prototipo de luces intermitentes.



(a) direccional izquierda



(a) direccional derecha

Figura 5. Prototipo de luces direccionales

El prototipo cuenta con un sistema bifuncional de luces, en comparación al sistema con el que cuentan los automóviles actuales, y es que estos, permiten una solo función por separado, ya sea solo el uso de direccionales o el uso de intermitentes. Con esta propuesta, se logra un uso óptimo de las señaléticas, al mismo tiempo en que se contribuye a la reducción de los accidentes viales provocados por falta de señalización en los automóviles.

CONCLUSIONES

El uso de las luces direccionales e intermitentes en el automóvil son una área muy interesante e importante, por lo cual es beneficioso darle la suficiente atención; ya que, el uso inadecuado de las señaléticas del automóvil está catalogado dentro de una de las causas más importantes por las que se generan accidentes viales. El diseño y prototipo de luces bidireccionales presentado en este estudio permite indicar una advertencia, al mismo tiempo en que se indica el flujo vehicular; esto generará una comunicación entre los conductores que permitirá tomar decisiones asertivas y evitar así accidentes; con lo que, sin lugar a duda se reducirán las lesiones físicas y mentales, al igual que los costos asociado a un accidente. Finalmente, el sistema de luces mejorará la seguridad,

obteniéndose mejores eficiencias en el manejo y una mejor experiencia dentro de los automóviles a tal grado de lograr la autonomía en la Industria Automotriz.

BIBLIOGRAFÍA

1. S. Cares, M. Ignacio, "Diseño y construcción de un sistema para detectar, localizar y caracterizar accidentes automovilísticos", 2017.
2. M. A. Rodríguez, D. Baca, C. Tavera, "Diagnóstico y tratamiento del trauma craneofacial en el primer nivel de atención", in *Revista de Sanidad Militar*, 57(4), 2017, pp. 237-253.
3. E. González, C. Pedemonte, I. Vargas, D. Lazo, H. Pérez, M. Canales, F. Verdugo-Avello, "Fracturas faciales en un centro de referencia de traumatismos nivel I. Estudio descriptivo", in *Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial*, 37(2), 2015, pp. 65-70.
4. L. A. Garcés, "Hemiparesia izquierda como consecuencia del TCE grave producido por accidente automovilístico", in *Bachelor's thesis*, Universidad Técnica de Ambato-Facultad de Ciencias de la Salud-Carrera de Terapia Física, 2017.
5. E. S. J. Armando, C. G. J. Alberto, "Traumatismo traqueal. Presentación de un caso y revisión de la literatura", in *Revista Médica MD*, 6(3), 2015, pp. 218-222.
6. R. Sánchez, D. Pivcevic, A. León, M. Ojeda, "Trauma ocular", in *Cuadernos de Cirugía*, 22(1), 2018, pp. 91-97.
7. B. Domínguez, C. E., Diéguez, M. Á. Alfaro, "Protrusión de órganos abdominales en ruptura diafragmática traumática", in *Acta Médica Grupo Ángeles*, 17(2), 2019, pp. 141-144.
8. D. L. Castro, G. F. Leobas, M. S. T. M. Araujo, I. H. L. S. Coutinho, M. A. D. S. Figueiredo, "Pacientes con traumatismos de la médula espinal tratados en un hospital tercer nivel de atención en palmas, Brazil", in *Coluna/Columna*, 14(3), 2015, pp. 214-217.
9. G. García, "Análisis espacial y temporal de fallecidos y lesionados severos producto de accidentes viales en la comuna de Quilpué", in: *Doctoral dissertation*, Universidad Andrés Bello, 2016.
10. A. M. H. Rodríguez, "Morbi-mortalidad de traumatismo craneoencefálico en jóvenes de 13 a 19 años asociado a accidentes automovilísticos", in *Doctoral dissertation*, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2015.
11. F. S., Dávalos, A. I. Navas, "Carga epidemiológica y económica de los accidentes automovilísticos en Ecuador en el periodo 2011-2015" in *Bachelor's thesis*, Quito: Universidad de las Américas, 2018.
12. C. Perez, "El dolo eventual y la culpa consciente en los accidentes automovilísticos: la perspectiva desde el derecho penal argentino", in *JURÍDICAS CUC*, 13(1), 2017, pp. 213-232.
13. L. Torres, J. Miller, "Intervención psicológica breve y de emergencia en una familia nuclear post accidente automovilístico", 2016.
14. R. G. M. Cruz, "Análisis de los accidentes con vehículos automotores en el Estado de Oaxaca: la apertura para atender las causas". In *La Ciencia de Datos aplicada al Gobierno Electrónico*, 143.
15. Y. F. Zhang, B. H. Williams, J. H. Coben, L. E. Llerena, K. V. Aronow, J. Macleod, "Conducción distraída", 2015.
16. O. Melgarejo, "Estilo de vida nocturno: ¿Epidemia de la fata de sueño?", in *Medicina Clínica y Social*, 1(3), 2018, pp. 224-226.
17. C. S. Baidal, D. S. Salazar, "Diseño de una red inalámbrica de sensores para alertar accidentes automovilísticos en una autopista", in *Bachelor's thesis*, Espol, 2018.
18. E. C. Medina, J. R. A. Cisneros, "Sistema de comunicación inteligente para la disminución de accidentes automovilísticos por colisión/Intelligent communication system for the reduction of car accidents by collision", in *RECI Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática*, 6(12), 2017, pp. 123-139.
19. I. Gutiérrez, "Mujeres inventoras, mujeres ingenieras", 2017.

20. A. L. López, "Alternativas para mejorar tránsito vehicular y reducir accidentes viales, Calzada Kaibil Balam, Huehuetenango, República de Guatemala", in *Doctoral dissertation*, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016.
21. M. R. Moreno, "Conocimiento en Educación Vial del estudiante en la IE Fe y Alegría nº17 de Villa el Salvador-Lima, 2017", 2019.

ANÁLISIS SÍSMICO CON VECTORES COMPLEJOS APLICADO A UNA ESTRUCTURA DE 4 NIVELES

Yajaira Concha Sánchez, Joaquín Contreras López, Mario Salazar Amaya¹ y Rafael Soto Espitia

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
yconcha@umich.mx.

RESUMEN

El análisis sísmico considera las cargas accidentales como una parte fundamental en el diseño de estructuras, este tipo de acciones pueden afectar a los elementos responsables de la capacidad de carga de una edificación e incluso llevarla al colapso. Una carga accidental es aquella que sucede eventualmente en la vida de una estructura, no es constante y puede alcanzar grandes magnitudes. No es debida al funcionamiento normal del inmueble, y se presenta solo durante lapsos breves. Una carga accidental puede ser ocasionada por sismo, viento, explosiones, incendios y otros fenómenos extraordinarios que puedan ocurrir. El impacto que tiene un sismo sobre una edificación depende principalmente de las características del lugar, del sismo y de la estructura, es decir, del tipo de suelo, la sismicidad de la zona, la intensidad y de la duración, así como del tipo de propagación del sismo, la geometría, tamaño y peso del edificio. Todas estas características influyen en la reacción y daños que puede sufrir un sismo. Las distintas combinaciones de estos factores pueden traer consigo desde fallas mínimas hasta un colapso total en la estructura, pudiendo ocasionar de esta forma pérdidas humanas y económicas. Es por ello, que es necesario contar con una herramienta de ayuda como lo son los softwares computacionales, los cuales, nos facilitaran las simulaciones para el análisis sísmico en las estructuras en Ingeniería Civil. Los modelos matemáticos que se emplean para el análisis sísmico de estructuras se basan en las teorías actuales de la estática y dinámica de resistencia de materiales los cuales presentan distintas restricciones. En este trabajo presentamos un modelo matemático empleando vectores complejos para llevar a cabo análisis sísmico tomando en cuenta las acciones sísmicas en la base, o sea, sin restricciones en la frontera. Como caso de estudio, en simulación se analiza la respuesta estructural de un edificio de 4 niveles mediante el software de Mathematica, cuya respuesta dinámica involucra el desplazamiento, la velocidad y la aceleración. Verificamos la exactitud del modelo propuesto tomando el límite de caso real y comparamos nuestro análisis dinámico con los métodos de análisis tradicional.

INTRODUCCIÓN

La dinámica estructural estudia el análisis de estructuras bajo cargas dinámicas, es decir, cargas que varían en el tiempo. Aunque la mayoría de las estructuras pueden diseñarse considerando sólo cargas estáticas, es muy importante distinguir entre cargas estáticas y dinámicas. Las cargas accidentales o las cargas móviles, a diferencia del peso propio, rara vez son estrictamente estáticas porque su aplicación sobre la estructura requiere de un cierto tiempo que debe ser analizado para establecer si se trata de una carga estática o dinámica. Si la magnitud de la fuerza varía en forma suficientemente lenta no causará efectos dinámicos y podrá tratarse como estática. Para determinar si la carga varía en forma "lenta" o "rápida" el valor de referencia para comparación es el "periodo natural de la estructura".

El periodo natural es el tiempo que tarda la estructura en recorrer un ciclo de vibración libre, es decir la vibración que ocurre después que finaliza la excitación externa o la carga que deja de variar y se mantiene constante. El periodo natural depende de la masa, la rigidez y las condiciones de vínculo, estas características intrínsecas o propias de la estructura.

El interés en el análisis de cargas dinámicas ha ido creciendo constantemente en los últimos tiempos, debido a que el avance en la tecnología ha hecho posibles diseños más apropiados y que las herramientas computacionales actuales permiten hacer con carácter rutinario cálculos que en otra época eran muy complicados y usados solo para casos muy especiales o importantes. Actualmente se proyectan estructuras más audaces (más grandes, livianas, etc.) que son más susceptibles a los efectos dinámicos porque son más flexibles y tienen periodos naturales altos, es decir que son más sensibles a variaciones de las cargas en el tiempo. Para el análisis dinámico es necesario introducir dos tipos de fuerzas que no son consideradas en el caso estático: 1) Las fuerzas de inercia asociadas

a la propiedad de inercia de la masa de la estructura y de las componentes o partes no estructurales. 2) Las fuerzas de disipación de energía por diversos tipos de mecanismos de fricción (fricción seca, fricción viscosa, fricción seca en uniones estructurales).

Para realizar un diseño adecuado, donde sea primordial la seguridad de las personas que utilizarán las estructuras, es necesario que los modelos que representan las estructuras sean lo más completos posibles. Para que esto se logre, los modelos deben de satisfacer las condiciones generales que la naturaleza establece y no las hipótesis y axiomas de comportamiento que las teorías, por necesidad, actualmente requieren. Por ejemplo, para que los modelos actuales funcionen, el sistema representado debe de ser un sistema positivo definido, lo que excluye la participación de la frontera o base de la estructura.

Si las fuerzas aplicadas en los modelos, que provocan desplazamientos, velocidades y aceleraciones, se aplican en puntos dentro de la frontera, sobre cualquier punto de la estructura, los sistemas positivos definidos arrojarán resultados admisibles y físicamente explicables. Sin embargo, para casos como el problema sísmico en las estructuras los resultados arrojados suelen ser de difícil interpretación.

Por lo anterior descrito, Urrutia (2008, [1]) describe un método físico con vectores complejos en el que se incluye una estructura principal y su semiespacio móvil, acoplado dinámicamente con su respectiva rigidez y su amortiguamiento. Este método permite de manera clara introducir el efecto del sismo por la base o semiespacio móvil y simplemente observar como las masas de la estructura principal vibran de acuerdo a esa excitación, Urrutia, [2].

TEORÍA

Modelo estructural

Un modelo estructural es un esquema que representa las principales características de una estructura, con la finalidad de obtener expresiones matemáticas que nos permitan hacer un análisis numérico que nos lleve a la respuesta de dicha estructura. Para estudiar las estructuras ante cargas dinámicas es conveniente modelarlas como sistemas de uno o de varios grados de libertad. Los sistemas de varios grados de libertad son cuando las masas de una estructura están concentradas en varios puntos (entrepisos), como se muestra en la Figura 1 para el caso de cuatro grados de libertad.



Figura 1: a) Situación real para un sistema de cuatro grados de libertad. b) Diagrama del edificio real de cuatro niveles.

Presentación del modelo

En la Figura 2 se muestra el sistema semidefinido con cinco masas m_0, m_1, m_2, m_3 y m_4 unidas y acopladas por los resortes k_1, k_2, k_3 y k_4 y los amortiguadores c_1, c_2, c_3 y c_4 . La masa m_0 representa una masa de suelo finita en la cual la estructura se encuentra cimentada. Tal modelo tiende a un sistema positivo definido clásico con 4 grados de libertad cuando la masa m_0 es mucho más grande que las otras cuatro masas o cuando esta tiende a infinito. A la masa m_0 se le denomina comúnmente, *semiespacio*.

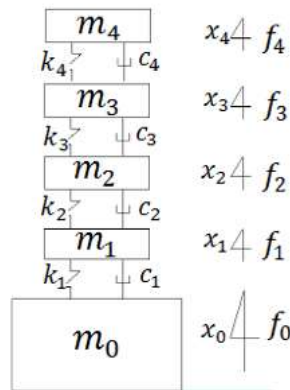


Figura 2: Sistema semidefinido de un sistema de 4 grados de libertad en cada eje.

A las masas m_i y sus elementos de acoplamiento, la rigidez k_i y sus amortiguadores c_i donde $i = 1,2,3,4$, se les asignará el nombre de *sistema principal*. Las fuerzas f_0, f_1, f_2, f_3 y f_4 son funciones del tiempo y representan las excitaciones que pueden ser aplicadas al sistema. Este modelo no tiene restricción alguna. Puede aplicarse la fuerza de excitación en cualquier parte sobre el sistema (incluida la masa m_0) provocando sus respectivos desplazamientos, pudiendo llegar a analizar otros problemas semidefinidos y para cualquier número de grados de libertad que se requiera.

Ecuaciones de movimiento del modelo propuesto

Las ecuaciones de movimiento para el sistema dinámico en su expresión matricial son:

$$\begin{bmatrix} m_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_0 \\ \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 & 0 & 0 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & 0 \\ 0 & 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 \\ 0 & 0 & 0 & -c_4 & c_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix}. \tag{1}$$

Si se supone una excitación armónica del tipo $f_j = F_j e^{i\omega t}$; $j = 0, \dots, 4$; $i = \sqrt{-1}$. La respuesta cinemáticamente compatible de desplazamiento absoluto del sistema es $x_j(t) = X_j e^{i\omega t}$; $j = 0, \dots, 4$. Por lo que las derivadas con respecto al tiempo son para la velocidad y para la aceleración son respectivamente:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_0 \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i\omega X_0 e^{i\omega t} \\ i\omega X_1 e^{i\omega t} \\ i\omega X_2 e^{i\omega t} \\ i\omega X_3 e^{i\omega t} \\ i\omega X_4 e^{i\omega t} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \ddot{x}_0 \\ \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\omega^2 X_0 e^{i\omega t} \\ -\omega^2 X_1 e^{i\omega t} \\ -\omega^2 X_2 e^{i\omega t} \\ -\omega^2 X_3 e^{i\omega t} \\ -\omega^2 X_4 e^{i\omega t} \end{bmatrix}. \tag{2}$$

Al sustituir la ecuación (2) en la ecuación (1) se obtiene la matriz cuadrada de lado izquierdo de la ecuación (4) que se llama matriz de impedancia dinámica Z_{lm} .

$$\begin{bmatrix}
 -\omega^2 m_0 + i\omega c_1 + k_1 & -i\omega c_1 - k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -i\omega c_1 - k_1 & -\omega^2 m_1 + i\omega(c_1 + c_2) + k_1 + k_2 & -i\omega c_2 - k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -i\omega c_2 - k_2 & -\omega^2 m_2 + i\omega(c_2 + c_3) + k_2 + k_3 & -i\omega c_3 - k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -i\omega c_3 - k_3 & -\omega^2 m_3 + i\omega(c_3 + c_4) + k_3 + k_4 & -i\omega c_4 - k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -i\omega c_4 - k_4 & -\omega^2 m_4 + i\omega c_4 + k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 X_0 \\
 X_1 \\
 X_2 \\
 X_3 \\
 X_4
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 F_0 \\
 F_1 \\
 F_2 \\
 F_3 \\
 F_4
 \end{bmatrix},
 \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix}
 Z_{11} & Z_{12} & 0 & 0 & 0 \\
 Z_{12} & Z_{22} & Z_{23} & 0 & 0 \\
 0 & Z_{23} & Z_{33} & Z_{34} & 0 \\
 0 & 0 & Z_{34} & Z_{44} & Z_{45} \\
 0 & 0 & 0 & Z_{45} & Z_{55}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 X_0 \\
 X_1 \\
 X_2 \\
 X_3 \\
 X_4
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 F_0 \\
 F_1 \\
 F_2 \\
 F_3 \\
 F_4
 \end{bmatrix}.
 \tag{4}$$

Para fuerzas arbitrarias F_j , resolviendo la ecuación (4), se obtiene X_j con $j = 0, \dots, 4$. Dicha ecuación, nos conduce a las Funciones Generales de Transferencia ([1], [2]), válidas para cualquier sistema, por ejemplo: un edificio con una gran base o frontera móvil o un tren con cinco carros acoplados bajo la acción de una fuerza motriz, etc. El determinante de la matriz de impedancia es:

$$\Delta_\omega = Z_{11}Z_{23}^2Z_{45}^2 + Z_{12}^2Z_{33}Z_{45}^2 - Z_{11}Z_{22}Z_{33}Z_{45}^2 + Z_{12}^2Z_{34}^2Z_{55} - Z_{11}Z_{22}Z_{34}^2Z_{55} - Z_{11}Z_{23}^2Z_{44}Z_{55} - Z_{12}^2Z_{33}Z_{44}Z_{55} + Z_{11}Z_{22}Z_{33}Z_{44}Z_{55}.
 \tag{5}$$

Este determinante es un índice de independencia lineal entre vectores complejos que forman una matriz, el cual debe de ser un número complejo distinto de cero. En caso de que no fuera así, indicaría que la matriz de impedancia es singular. Los valores de Z_{ij} son:

$$Z_{11} = -\omega^2 m_0 + i\omega c_1 + k_1 \quad Z_{12} = -i\omega c_1 - k_1,
 \tag{6}$$

$$Z_{22} = -\omega^2 m_1 + i\omega(c_1 + c_2) + k_1 + k_2, \quad Z_{23} = -i\omega c_2 - k_2,
 \tag{7}$$

$$Z_{33} = -\omega^2 m_2 + i\omega(c_2 + c_3) + k_2 + k_3, \quad Z_{34} = -i\omega c_3 - k_3,
 \tag{8}$$

$$Z_{44} = -\omega^2 m_3 + i\omega(c_3 + c_4) + k_3 + k_4, \quad Z_{45} = -i\omega c_4 - k_4,
 \tag{9}$$

$$Z_{55} = -\omega^2 m_4 + i\omega c_4 + k_4.
 \tag{10}$$

Considerando que la masa m_0 es mucho mayor que las demás y que es la única fuerza en la frontera, tal que las fuerzas en el interior de la estructura son nulas, es decir $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 0$. Entonces los desplazamientos que obtenemos son los siguientes:

$$X_0 = \frac{F_0(Z_{23}^2Z_{45}^2 - Z_{22}Z_{33}Z_{45}^2 - Z_{22}Z_{34}^2Z_{55} - Z_{23}^2Z_{44}Z_{55} + Z_{22}Z_{33}Z_{44}Z_{55})}{\Delta_\omega},
 \tag{11}$$

$$X_1 = \frac{F_0Z_{12}(Z_{33}Z_{45}^2 + Z_{34}^2Z_{55} - Z_{33}Z_{44}Z_{55})}{\Delta_\omega} \quad X_2 = -\frac{F_0Z_{12}Z_{23}(Z_{45}^2 - Z_{44}Z_{55})}{\Delta_\omega},
 \tag{12}$$

$$X_3 = -\frac{F_0Z_{12}Z_{23}Z_{34}Z_{55}}{\Delta_\omega}, \quad X_4 = \frac{F_0Z_{12}Z_{23}Z_{34}Z_{45}}{\Delta_\omega}.
 \tag{13}$$

Por lo tanto, el desplazamiento de cualquier masa está dado por $X_j(\omega, t) = x_j e^{i\omega t}$. Siendo x_j un número complejo ($a + ib$).

PARTE EXPERIMENTAL

Cálculo de las masas, rigideces, amortiguamiento y frecuencias

A continuación vamos a calcular los valores de las masas, rigideces, amortiguamiento y frecuencias para poder usar el modelo propuesto en la solución del análisis sísmico del edificio de cuatro niveles (ver Figura 1).

Masas: El valor total de la masa en cada nivel de la estructura se compone por la masa de la losa (azotea o entrepiso, según sea el caso) y la masa de los muros (solamente en entrepiso). Se debe calcular primero la carga de cada una por separado, para posteriormente obtener el valor de la masa total.

Carga de la losa de azotea: Se cuenta con una losa maciza de un espesor de 15 cm, con un relleno de tepetate, enladrillado en la parte superior y plafón de yeso en la parte inferior como se muestra en la Figura 3.

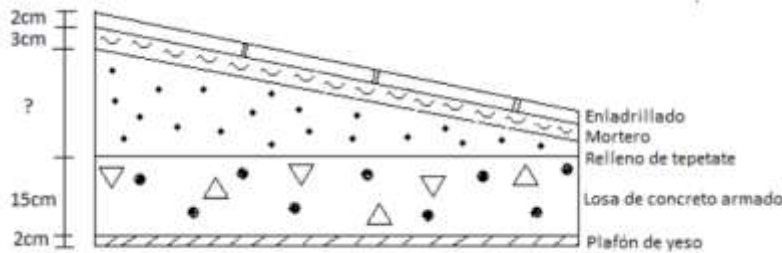


Figura 3: Corte de la losa de azotea.

Calculo del espesor de la capa de tepetate: La losa de azotea esta diseñada a dos aguas por lo que el relleno de tepetate tiene un espesor mínimo de 5cm y una pendiente del 2%, el espesor máximo debe calcularse para así tener el valor de la altura promedio del material.

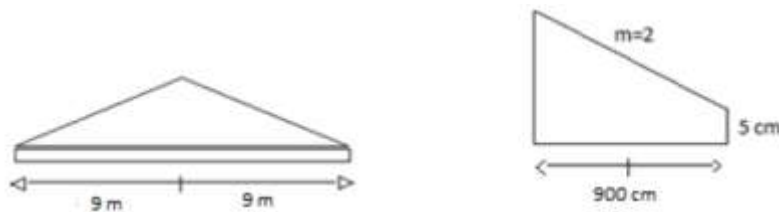


Figura 4: Losa a dos aguas.

$$h_{max} = 5 + (900 \times 0.02) = 23 \text{ cm}, \tag{14}$$

$$h_{prom} = \frac{23+5}{2} = 14 \text{ cm}, \tag{15}$$

Ahora que ya tenemos los valores de los espesores de los materiales ya podemos tener el resultado de la carga de la losa de azotea.

Material	Espesor (m)	Peso Volumétrico (Ton/m ³)	Peso total (Ton/m ²)	
Ladrillo	0.02	1.5	0.03	
Mortero	0.03	2.1	0.063	
Tepetate	0.14	1.6	0.224	
Concreto	0.15	2.4	0.36	
Yeso	0.02	1.5	0.03	
			0.707	C.M
			0.1	C.V Tipo A
			0.04	C. Ad
			0.847	C. Total

Tabla 1: Carga de la losa de azotea.

La carga de la losa de azotea es igual a 0.847 Ton/m².

Carga de la losa de entrepiso: La losa de entrepiso es de concreto armado (maciza) la cual tiene un espesor de 15 cm, con mosaico en la parte superior y plafón de yeso en la parte inferior como se muestra en la Figura 5.

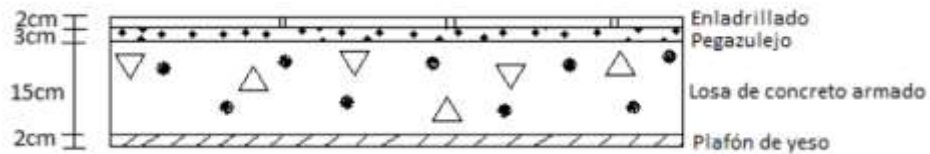


Figura 5: Corte de la losa entrepiso.

Al igual que en el cálculo de la carga para la losa de azotea, la carga total para la carga de losa de entrepiso es la suma de todas las cargas.

Material	Espesor (m)	Peso Vol (Ton/m ³)	Peso total (Ton/m ²)	
Loseta	0.01		0.035	
Pegazulejo	0.02	1.5	0.03	
Concreto	0.15	2.4	0.36	
Yeso	0.02	1.5	0.03	
			0.455	C.M
			0.18	C.V
			0.04	C. Ad
			0.675	C. Total

Tabla 2: Carga de la losa de entrepiso.

La carga de la losa de entrepiso es 0.675 Ton/m².

Carga de los muros: El edificio tiene dos tipos de muros: exteriores e interiores. Los muros interiores son de tabique de barro recocido de 12 cm de espesor. Se consideran como muros interiores, los muros de bloques huecos de concreto ligero de 15 cm de espesor.

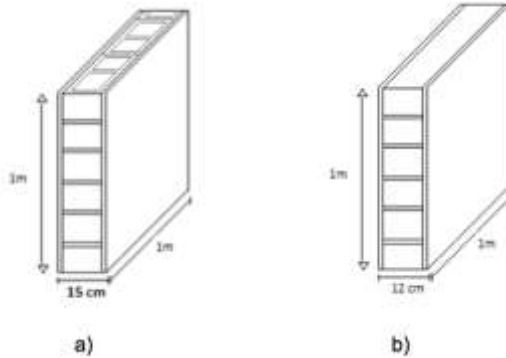


Figura 6: a) Muro de interior de bloque hueco. b) Representación de un metro cuadrado de muro de tabique recocido.

La carga de los muros interiores es de 0.102 Ton/m².

Material	Espesor (m)	Peso Vol (Ton/m ³)	Peso total (Ton/m ²)
Yeso	0.015	1.5	0.0225
Bloque	0.15		0.192
Yeso	0.015	1.5	0.0225
			0.237

W. Muro

Tabla 3: Peso de un metro cuadrado de un muro interior.

Carga por muros interiores		
Longitud de muros	103.000	m
Altura del muro	2.900	m
Peso del muro	0.237	Ton/m
Peso total de los muros	70.792	Ton/m
Área Total	693.000	m ²
Carga	0.102	Ton/m ²

Tabla 4: Carga de los muros interiores.

Muros exteriores: Para tener el resultado de la carga de los muros exteriores, debemos saber la longitud de los mismos. En la figura 7 se ven las longitudes de muros exteriores (amarillos) y muros interiores (azules). En base al plano, se tiene una longitud total de 138 m de muros exteriores y 103 m de muros interiores.

Material	Espesor (m)	Peso Vol (Ton/m ³)	Peso total (Ton/m ²)
Yeso	0.015	1.5	0.0225
Mortero	0.015	2.1	0.0315
Ladrillo	0.12	1.5	0.18
Mortero	0.015	2.1	0.0315
Yeso	0.015	1.5	0.0225
			0.288

W. Muro

Tabla 5: Peso de un metro cuadrado de muro exterior.

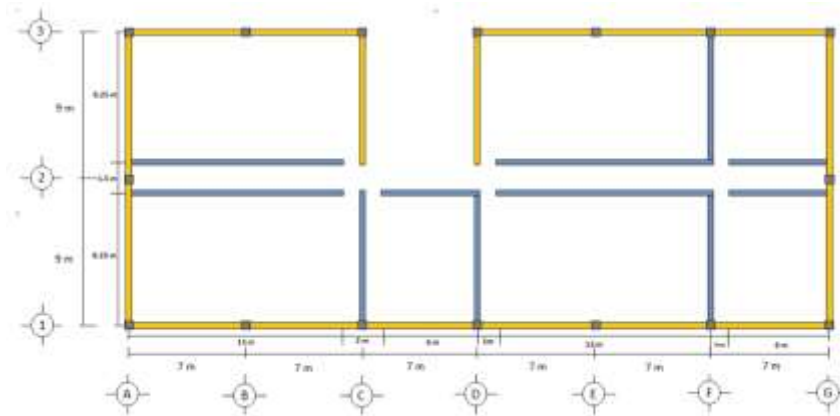


Figura 7: Plano de planta de muros interiores y exteriores.

Carga por muros exteriores	
Longitud de muros	138.000 m
altura del muro	2.900 m
Peso del muro	0.288 Ton/m
Peso total de los muros	115.258 Ton/m
Área Total	693.000 m ²
Carga	0.166 Ton/m ²

Tabla 6: Carga de los muros exteriores.

La carga de los muros exteriores es de 0.166 Ton/m². Haciendo un recuento de las cargas encontradas, tenemos los siguientes datos:

DATOS		
Carga azotea	0.815	Ton/m ²
Carga Losa entrepiso	0.675	Ton/m ²
Carga Muros exteriores	0.166	Ton/m ²
Carga Muros interiores	0.102	Ton/m ²
Carga entrepiso	0.943	Ton/m ²

Tabla 7: Cargas de las losas.

Áreas tributarias: Para hacer un análisis sísmico adecuado, primero debemos dividir el edificio en ejes, que se encuentran en dos direcciones: X y Y, después se calculan las áreas tributarias (Figuras 8 y 9), es decir, a que carga están sometidas las traveses. Por último, se calcula la masa para cada eje y cada nivel del edificio.

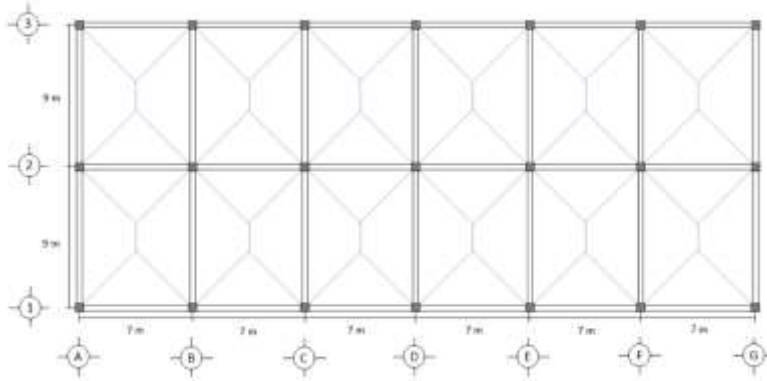


Figura 8: Plano de estructuración de la losa de azotea.

En las figuras 8 y 9 se puede observar que el tablero de las losas es prácticamente igual a excepción de la losa de entrepiso que tiene un claro libre para dar lugar al cubo de las escaleras, pero la distancia entre columnas es simétrica. El marco se tienen dos tipos de áreas: triangulares y trapezoidales. En el claro corto se encuentra el área triangular como $A = \frac{7^2}{4} = 12.25 \text{ cm}^2$. En el claro largo se encuentra el área trapezoidal como $A = \frac{7 \times 9}{2} - \frac{7^2}{4} = 19.25 \text{ cm}^2$. Con las áreas tributarias ya podemos tener la descarga en las traveses de cada eje en ambas direcciones, con ayuda de la siguiente expresión:

$$Descarga = \frac{\text{Carga del área tributaria}}{\text{Longitud de la trabe}}, \tag{16}$$

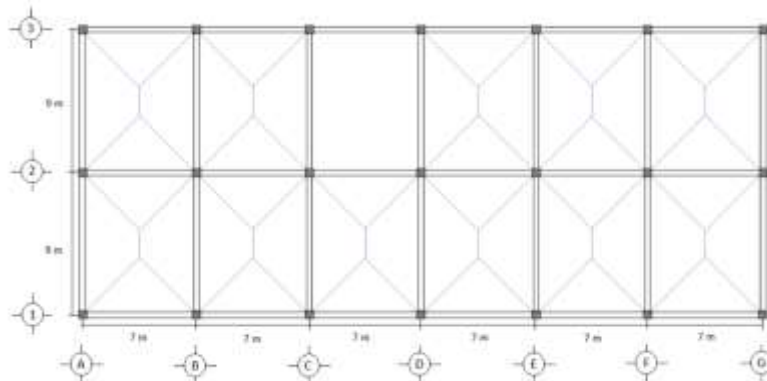


Figura 9: Plano de estructuración de la losa de entrepiso.

y los resultados en la dirección X se muestran en la Tabla 8.

Eje	Longitud m	Área m ²	Carga Ton/m ²		Descarga Ton/m	
			Azotea	Entrepiso	Azotea	Entrepiso
1	42	73.5	0.815	0.943	1.42625	1.65025
2	42	147	0.815	0.943	2.8525	3.3005
3	35	61.25	0.815	0.943	1.42625	1.65025

Tabla 8: Descarga de las trabes de los ejes en la dirección X.

En el caso de la dirección Y, no se calcularon todos los ejes, porque: A=G, B=E=F y C=D. Los resultados en la dirección Y se muestran en la Tabla 9.

Eje	Longitud d m	Área m ²	Carga Ton/m ²		Descarga Ton/m	
			Azotea	Entrepiso	Azotea	Entrepiso
A	18	38.5	0.815	0.943	1.74319444	2.01697222
B	18	77	0.815	0.943	3.48638889	4.03394444
C	18	57.75	0.815	0.943	2.61479167	3.02545833

Tabla 9: Descarga en las trabes de los ejes en dirección Y.

Finalmente tenemos las masas al multiplicar la descarga por la longitud, y dividirla entre el valor de la gravedad que es 9.81 m/s^2 :

Nivel	Masas Kg					
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje A	Eje B	Eje C
4	6106.269	12212.538	5088.558	3198.522	6397.044	4797.783
3	7065.291	14130.581	5887.742	3700.866	7401.733	5551.300
2	7065.291	14130.581	5887.742	3700.866	7401.733	5551.300
1	7065.291	14130.581	5887.742	3700.866	7401.733	5551.300

Tabla 10: Masas de cada nivel del edificio.

Rigideces: La rigidez en las columnas es la fuerza o par, que aparece ante un alargamiento o giro unitario. Para la construcción de la estructura se emplearon elementos de concreto reforzado con $f_c' = 250 \text{ kg/cm}^2$, los cuatro niveles tienen columnas de 40 cm x 40 cm y altura de 2.9 m (ver Figura 10). Para calcular la rigidez empleamos las siguientes ecuaciones:

$$k = \frac{12EI}{L^3}, \quad I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{40 \times 40^3}{12} = 213333.333 \text{ cm}^4, \tag{17}$$

$$E = 14000\sqrt{f_c'} = 14000\sqrt{250} = 221359.436 \text{ kg/cm}, \tag{18}$$

$$k = \frac{12 \times 221359.436 \times 213333.333}{290^3} = 23235.071 \text{ kg/cm}. \tag{19}$$

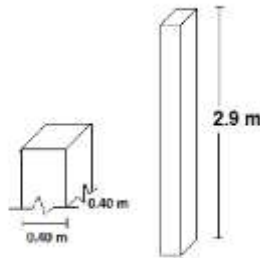


Figura 10: Dimensiones de la columna.

El resultado de la ecuación (19) es el de la rigidez en una columna, apoyándonos en los planos de las figuras 8 y 9 vemos cuántas columnas hay en cada eje. La suma total de las rigideces de las columnas de cada eje es la rigidez total en cada eje.

Nivel	Rigideces Kg/cm	
	Eje 1 7 columnas	Eje A 3 columnas
4	162645.497	69705.213
3	162645.497	69705.213
2	162645.497	69705.213
1	162645.497	69705.213

Tabla 11: Rigideces en cada nivel del edificio.

Amortiguamiento: Para calcular correctamente el valor del coeficiente de amortiguamiento, es necesario contar con el factor de amortiguamiento ζ , el cual tiene un valor de 5% en edificios de concreto, de acuerdo al Reglamento de Construcción. Por otra parte, el coeficiente crítico de amortiguamiento c_c se define como:

$$c_c = 2 \sqrt{km} \tag{20}$$

donde $c = \zeta c_c$, c es el coeficiente de amortiguamiento, m es la masa y k la rigidez. Empleando esta información y la ecuación (20) calculamos los coeficientes de amortiguamiento crítico (ver Tabla 12) y coeficientes de amortiguamiento (ver Tabla 13).

Coeficientes de amortiguamiento crítico					
Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje A	Eje B	Eje C
63028.793	89136.173	57537.152	29863.265	42233.035	36574.881
67797.867	95880.663	61890.702	32122.869	45428.598	39342.320
67797.867	95880.663	61890.702	32122.869	45428.598	39342.320
67797.867	95880.663	61890.702	32122.869	45428.598	39342.320

Tabla 12: Coeficientes críticos de amortiguamiento.

Coeficientes de amortiguamiento					
Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje A	Eje B	Eje C
3151.440	4456.809	2876.858	1493.163	2111.652	1828.744
3389.893	4794.033	3094.535	1606.143	2271.430	1967.116
3389.893	4794.033	3094.535	1606.143	2271.430	1967.116
3389.893	4794.033	3094.535	1606.143	2271.430	1967.116

Tabla 13: Coeficientes de amortiguamiento.

Frecuencias: Las frecuencias se calculan con el método de Holzer [3] que es utilizado para estructuras estrechamente acopladas, es decir que las masas están conectadas solamente a las de los pisos superior e inferior por medio de resortes que idealizan la rigidez lateral de los entrepisos correspondientes. La finalidad del método es encontrar la frecuencia natural de vibración de cada eje.

Eje	Frecuencia rad/seg
1	0.708571
2	1.020142
3	0.834286
A	0.687233
B	0.987143
C	1.034286

Tabla 14: Frecuencias calculadas con el método de Holzer.

RESULTADOS

Para iniciar el análisis sísmico de nuestro edificio de cuatro niveles empleamos las ecuaciones de desplazamiento (11), (12) y (13). Primero analizamos la dirección X, cada uno de sus ejes y niveles, tomando $F_0 \neq 0$. La fuerza sísmica actuante, siendo ésta misma armónica, se aplicará en la base m_0 , cuya magnitud será de $F_0 = 1000\ 000\ 000\ kg.cm/seg^2$ y se asignará una masa finita de suelo de $m_0 = 10^9\ kg$, de tal forma que la magnitud de la aceleración provocada sea $a = F_0/m_0 = 1\ cm/s^2$. El sistema vibrará debido a que la fuerza de excitación y tendrá una frecuencia de $\omega = 1.00176\ rad/seg$. Los datos restantes se muestran en las Tablas 15 y 16 a).

Eje 1 Dirección X				Eje 2 Dirección X			
Nivel	Masa kg	Rigidez kg/cm	Amortiguamiento	Nivel	Masa kg	Rigidez kg/cm	Amortiguamiento
4	6106.269	162645.497	3151.440	4	12212.538	162645.497	4456.809
3	7065.291	162645.497	3389.893	3	14130.581	162645.497	4794.033
2	7065.291	162645.497	3389.893	2	14130.581	162645.497	4794.033
1	7065.291	162645.497	3389.893	1	14130.581	162645.497	4794.033

a)

b)

Tabla 15: a) Datos del eje 1. b) Datos del eje 2.

Al resolver las ecuaciones de movimiento, se obtienen los desplazamientos en centímetros [cm] en función del tiempo en segundos [s] en la dirección X que se muestran en las Figuras 11 y 12 a). Realizamos el análisis sísmico en la dirección Y, en sus ejes y niveles tomando en cuenta los mismos valores constantes para m_0 y F_0 que en la dirección X, además de los datos mostrados en las Tablas

16 b) y 17. Los desplazamientos en centímetros [cm] en función del tiempo en segundos [s] que se obtienen para la dirección Y se muestran en las Figuras 12 b) y 13.

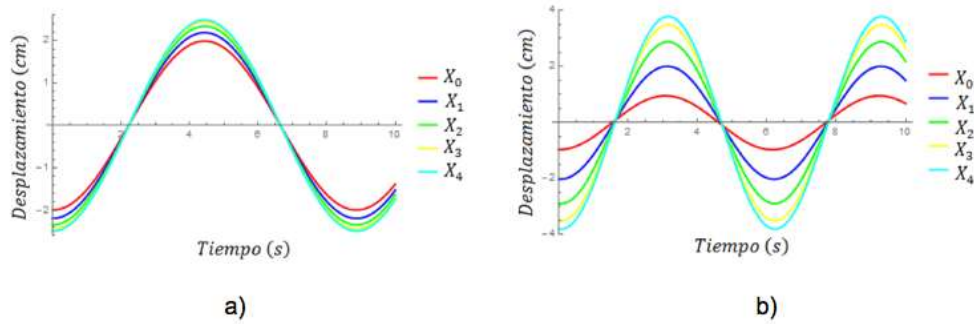


Figura 11: a) Desplazamientos a través del tiempo a una frecuencia de $\omega = 0.708571$ rad/seg y una fuerza aplicada F_0 en menor escala del eje 1, en la dirección X. b) Desplazamientos a través del tiempo a una frecuencia de $\omega = 1.020142$ rad/seg y una fuerza aplicada F_0 en menor escala del eje 2, en la dirección X.

Eje 3 Dirección X				Eje A Dirección Y			
Nivel	Masa kg	Rigidez kg/cm	Amortiguamiento	Nivel	Masa kg	Rigidez kg/cm	Amortiguamiento
4	5088.5576	162645.497	2876.858	4	3198.522	69705.213	1493.163
3	5887.7421	162645.497	3094.535	3	3700.866	69705.213	1606.143
2	5887.7421	162645.497	3094.535	2	3700.866	69705.213	1606.143
1	5887.7421	162645.497	3094.535	1	3700.866	69705.213	1606.143

Tabla 16: a) Datos eje 3. b) Datos eje A.

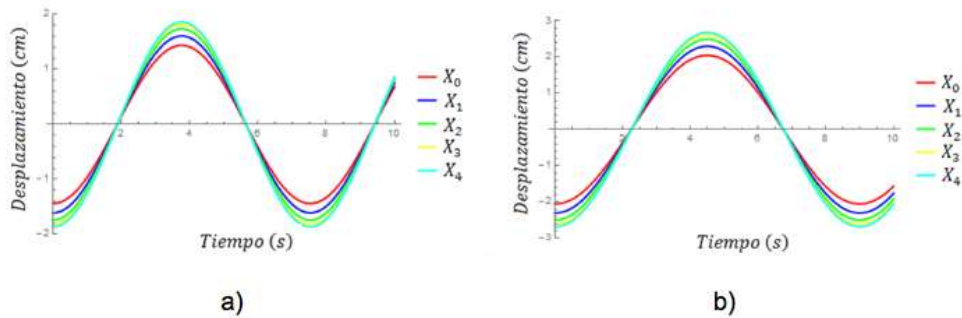


Figura 12: a) Desplazamientos a través del tiempo a una frecuencia de $\omega = 0.834286$ rad/seg y una fuerza aplicada F_0 en menor escala del eje 3, en la dirección X. b) Desplazamientos a través del tiempo a una frecuencia de $\omega = 0.698571$ rad/seg y una fuerza aplicada F_0 en menor escala del eje A, en la dirección Y.

De este modo hemos terminado nuestro análisis por ejes. Los desplazamientos que se muestran en las Figuras 11-13 también son llamados desplazamientos absolutos, nos sirven para ver cuál eje presenta mayores deformaciones ante una fuerza sísmica.

Ahora analizaremos el edificio por medio de niveles, tomando en cuenta los mismos valores constantes para m_0 y F_0 que en la dirección X y Y, además de los datos mostrados en la Tabla 18. Los desplazamientos mostrados en la Figura 14, también son conocidos como desplazamientos absolutos, y deben ser aceptables de acuerdo a los criterios generales de diseño, por lo que se debe calcular la distorsión angular. En la Tabla 19 mostramos los valores de distorsión angular los cuales se encuentran dentro de los rangos permitidos por el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, (apartado 1.8 "Revisión de desplazamientos laterales" [4]) en el cual se establece que: "Las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos producidos por las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso, no excederán 0.006 veces la diferencia de elevaciones correspondientes.

Eje B Dirección Y			
Nivel	Masa kg	Rigidez kg/cm	Amortiguamiento
4	6397.044	69705.213	2111.652
3	7401.733	69705.213	2271.430
2	7401.733	69705.213	2271.430
1	7401.733	69705.213	2271.430

Eje C Dirección Y			
Nivel	Masa kg	Rigidez kg/cm	Amortiguamiento
4	4797.783	69705.213	1828.744
3	5551.300	69705.213	1967.116
2	5551.300	69705.213	1967.116
1	5551.300	69705.213	1967.116

Tabla 17: a) Datos eje B. b) Datos eje C.

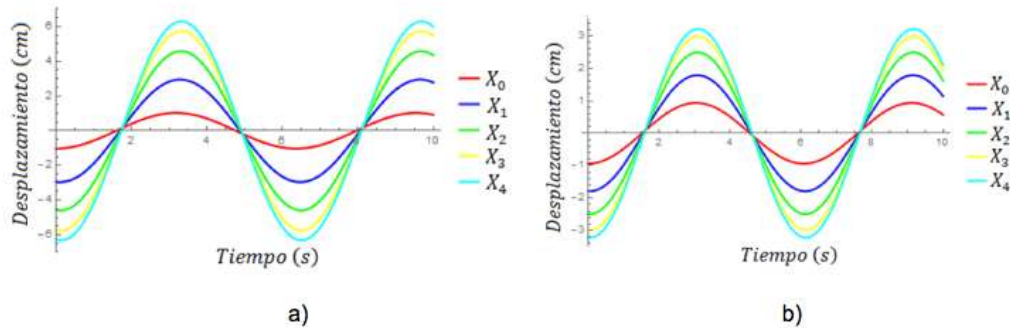


Figura 13: a) Desplazamientos a través del tiempo a una frecuencia de $\omega = 0.987143$ rad/seg y una fuerza aplicada F_0 en menor escala del eje B, en la dirección Y. b) Desplazamientos a través del tiempo a una frecuencia de $\omega = 1.034286$ rad/seg y una fuerza aplicada F_0 en menor escala del eje C, en la dirección Y.

Nivel	Totales			
	Masa kg	Rigidez kg/cm	Amortiguamiento	Frecuencia rad/seg
4	37800.714	487936.491	13580.997	1.017429
3	43737.513	487936.491	14608.603	1.017429
2	43737.513	487936.491	14608.603	1.017429
1	43737.513	487936.491	14608.603	1.017429

Tabla 18: Datos del edificio.

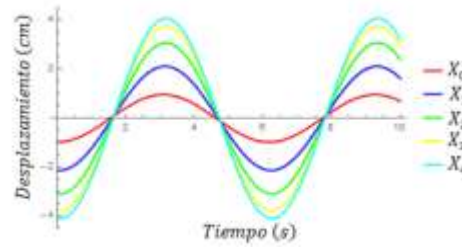


Figura 14: Desplazamientos a través del tiempo a una frecuencia de $\omega = 1.017429$ rad/seg y una fuerza aplicada F_0 en menor escala del edificio.

Nivel	Desplazamiento absoluto (m)	Desplazamiento relativo (m)	H entrepiso (m)	Distorsión angular (m)
4	0.0406926	0.0032529	2.9	0.00112169
3	0.0374397	0.006714	2.9	0.00231517
2	0.0307257	0.0095559	2.9	0.00329514
1	0.0211698	0.01151492	2.9	0.00397066
0	0.00965488	0.00965488	2.9	0.00332927

Tabla 19: Valores de la distorsión angular del edificio de cuatro niveles.

Finalmente calculamos los desplazamientos de los niveles para determinados valores de t (ver Figura 15).

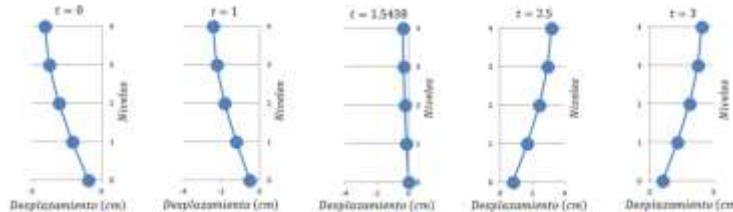


Figura 15: Configuración de desplazamientos para diferentes tiempos.

Los resultados fueron comparados con el programa SAP 2000, y los desplazamientos son muy similares entre sí, lo cual nos da un punto de referencia para saber que el análisis es correcto. Una ventaja del método es que podemos hacer el análisis generalizando a la estructura para obtener un resultado rápido y eficiente de los desplazamientos, o si lo deseamos podemos hacer el análisis en cada eje para obtener los desplazamientos en cada columna.

CONCLUSIONES

El modelo matemático presentado refleja una simplicidad (aún en variable y vectores complejos) y un manejo físico del problema tal, que con este se pueden representar muchas situaciones y problemas de Ingeniería Civil. La aplicación al edificio de cuatro niveles bajo acción sísmica es solo una pequeña parte de lo que se puede tratar con el modelo presentado, por ejemplo, se puede ir desde el equilibrio dinámico a nivel molecular hasta el equilibrio dinámico de cuerpos celestes. Con este modelo se puede dejar a un lado aquellas simplificaciones que se hacían por falta de herramientas para resolver adecuadamente los problemas. Se debe tener muy en cuenta que falta mucho por ajustar e investigar sobre los temas que hoy interesan a nuestra comunidad ingenieril y que no sólo hay que modificar las actuales teorías, sino también hay que modificar las bases, conceptos y herramientas matemáticas en muchas áreas de investigación. El modelo matemático empleado para el análisis sísmico con vectores complejos nos da resultados que muestran una

diferencia con los que se obtienen tradicionalmente, por ejemplo: los desplazamientos que obtuvimos en este trabajo son desplazamientos absolutos y sin ningún sistema de referencia que establezca una restricción [5]. Por otra parte, los resultados que se obtienen de forma tradicional no se pueden comprobar ya que falta la información de la magnitud de la inercia correspondiente al semiespacio o soporte de la estructura y en este caso también del edificio.

BIBLIOGRAFÍA

1. J. L. Urrutia Galicia, "The semidefinite model for hysteretic nonlinear elastic vibrations of structures. Dynamic balance, the second Newtonian Law and the reciprocity theorem", *Contributions to Applied Mathematics in Engineering II*, Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, Universität der Bundeswehr München, ISSN 1431-5122 08/1, Alemania, 2008.
2. J. L. Urrutia Galicia, "A semidefinite harmonic oscillator for seismic analysis of structures in a complex space. A physical and mathematical shake table", *Contributions to Applied Mathematics in Engineering III*, Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, Universität der Bundeswehr München, ISSN 1431-5122 11/4, Alemania, 2011.
3. E. Bazán y R. Meli, "Diseño Sísmico de Edificios", Editorial Limusa, 2da Edición, México, 2009.
4. "Reglamento de Construcción del Distrito Federal", Departamento del Distrito Federal, 1993.
5. M. E. Rodríguez Cruz, "Análisis Sísmico con Vectores Complejos Aplicado a Estructuras" (Tesis de Licenciatura de Ingeniería Civil), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich., Agosto 2016.
6. "Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Sismo".
7. E. Rosenblueth, "Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos", Editorial IMCYC, 1991.

SINTESIS DEL PROCESO PARA LA PRODUCCION DE UNA SUSPENSION CONCETRADA DE EXTRACTO DE VAINILLA LIBRE DE ALCOHOL.

Elizabeth Torres Ramón, Guadalupe del C. Rodríguez Jiménez, Marco Antonio Salgado Cervantes, Miguel Ángel García Alvarado

Tecnologico Nacional de Mexico/ IT Veracruz-UNIDA, M. A. De Quevedo, 2779, Col. Formando Hogar, Veracruz, Ver., 91897, Mexico.
miguelg@itver.edu.mx

RESUMEN

El Cuerpo Académico de Ingeniería de Alimentos de la UNIDA del ITV, desarrolló un nuevo proceso (MX/a/2017/016729) para la producción de una suspensión concentrada de extracto de vainilla libre de etanol. El proceso consiste en tres operaciones unitarias: extracción sólido-líquido, evaporación del extracto y condensación del solvente (para su reúso). Sin embargo, su optimización requiere el planteamiento de una síntesis de procesos la cual utiliza modelos matemáticos que definen los rendimientos de cada una de las etapas. Por lo tanto, el objetivo fue calcular la secuencia óptima para la producción de un concentrado de extracto puro de vainilla libre de alcohol. En el problema propuesto fueron incluidos los modelos matemáticos de la extracción en etapas múltiples a contracorriente (EEMC) junto con el modelo de evaporación-condensación. La EEMC destaca por minimizar el consumo de solvente al mismo tiempo que maximiza el rendimiento de extracción. El modelo de evaporación condensación incluye la termodinámica y transferencia de masa y energía durante el proceso. Considerando una escala industrial, se calculó el precio de los equipos, costos fijos y variables, inversiones totales y ganancias, criterios que generalmente se tienen en cuenta en la función objetivo a optimizar. La evaluación económica se realizó estudiando el comportamiento del tiempo de retorno de la inversión fijada en 5 años. La síntesis de procesos se traduce en la optimización integral de un proceso de extracción con varias unidades, teniendo como función objetivo minimizar el costo total por kilogramo de sólido seco. El modelo general fue resuelto con un algoritmo de programación no lineal entera mixta (MINLP) programado en MatLab cuya solución indica las condiciones óptimas de operación. La optimización, tomando como base de cálculo 100 kilogramos de vainas de vainilla por día, resultó en 3 etapas múltiples a contracorriente con 1373 kilogramos de solvente (etanol-agua en proporción 60:40 p/p) para obtener 1401 kilogramos de extracto con una fracción másica de sólidos de 0.0260, el extracto obtenido se evapora hasta 273 kilogramos con una fracción másica de sólidos de 0.3643. Los resultados obtenidos indican que el costo mínimo fue MXN \$7491.00 por kilogramo de sólidos en el extracto. El simulador utilizado fue validado experimentalmente a escala laboratorio observando que los datos obtenidos obedecen la misma tendencia que los predichos con el modelo, esto indica que el modelo está reproduciendo satisfactoriamente el comportamiento del proceso. Se demostró que con la aplicación de la metodología propuesta el proceso fue eficiente ya que con los recursos proporcionados se obtiene la mayor producción posible, económicamente competitiva y sostenible.

INTRODUCCIÓN

El extracto de vainilla es el principal producto que se comercializa a partir de vainas beneficiadas, se denomina como una solución hidroalcohólica color ámbar obtenida mediante distintos tipos de extracción. Las propiedades particulares de sabor y aroma de los extractos son resultado de la mezcla de componentes presentes, la fragancia frutal y floral lo convierten en un agente aromático ampliamente aceptado, es considerado el saborizante de mayor importancia y utilizado en diversas industrias como alimentaria, licorera, refresquera y farmacéutica. Según lo reportado por Sinha *et al.*, (2008) se han encontrado por lo menos 200 componentes presentes en el perfil aromático de la vainilla, por otro lado Odoux *et al.*, (2003) señalan que la presencia de vainillina (4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído) da aroma y sabor característico al extracto, vainillina es un compuesto que se forma a partir del glucósido glucovainillina mediante la acción de la enzima β -glucosidasa y por medio de hidrólisis se produce glucosa y vainillina, éstas reacciones son producidas durante el proceso llamado beneficio, otros compuestos aromáticos que se encuentran presentes en mayor proporción son ácido vainillico, *p*-hidroxibenzaldehído y ácido *p*-hidroxibenzoico (Ramachandra *et al.*, 2000).

Actualmente se ha resaltado la necesidad de desarrollar métodos ambientalmente benignos para la obtención de productos a partir de fuentes naturales, es por ello que el cuerpo Académico de Ingeniería de Alimentos de la UNIDA del ITV, desarrolló un nuevo proceso (MX/a/2017/016729) para la producción de una suspensión concentrada de extracto de vainilla libre de etanol. El proceso consiste en tres operaciones unitarias, no obstante la optimización de dicho proceso requiere el planteamiento de una síntesis de procesos, de acuerdo con lo reportado por Pinto y Grossmann, (1997) el término síntesis de procesos dentro del área de ingeniería surge en el año 1960 y es definida como una disciplina que sistemáticamente integra diferentes etapas, con el objetivo de lograr el estado óptimo de un sistema. La síntesis de procesos utiliza modelos matemáticos que definen los rendimientos de cada una de las etapas: extracción sólido-líquido, condensación y evaporación del solvente. La extracción en etapas múltiples a contracorriente destaca por minimizar el consumo de solvente al mismo tiempo que maximiza el rendimiento de extracción, mientras que el modelo de evaporación condensación incluye la termodinámica y transferencia de masa y energía durante el proceso. Biegler & Grossmann, (2004) mencionan que los problemas de diseño de proceso tienden a dar lugar a problemas MINLP (programación no lineal de enteros mixtos), la razón de esto según Angira & Babu, (2003) es que los problemas de diseño tienden a depender más de las predicciones de los modelos de proceso que no son lineales, las no linealidades son introducidas por las relaciones de diseño del equipo de proceso (relaciones de equilibrio, balances de masa y calor, etc.) y dan lugar a no convexidades que, a su vez, conducen a múltiples óptimos locales. Para ello se ha trabajado en el desarrollo de códigos los cuales facilitan la solución de problemas MINLP, es importante destacar que Ruiz-López et al., (2006) propusieron un método basado en el método complejo sugerido por Box (1965) para resolver problemas de tipo MINLP ya que el número de códigos para solucionar este tipo de problemas es bastante reducido.

El objetivo de este trabajo fue plantear la síntesis de procesos que se traduce en la optimización integral del proceso de extracción de vainilla con varias unidades, teniendo como función objetivo minimizar el costo total por kilogramo de sólido seco. Considerando una escala industrial, se calculó el precio de los equipos, costos fijos y variables, inversiones totales y ganancias, criterios que generalmente se tienen en cuenta en la función objetivo a optimizar. La evaluación económica se realizó estudiando el comportamiento del tiempo de retorno de la inversión fijada en 5 años.

TEORIA

Síntesis de procesos

De acuerdo con lo reportado por Pinto y Grossmann, (1997) el término síntesis de procesos se define como una disciplina que integra diferentes etapas, con el objetivo de lograr el estado óptimo de un sistema, Rudd (1968) manifiesta que la síntesis de procesos se refiere a la tarea de invención de la estructura y determinación de condiciones operativas de un proceso, por lo tanto definimos a la síntesis de procesos como una herramienta poderosa para generar procesos, que aumenta los rendimientos y al mismo tiempo selecciona una ruta que conduce a la obtención de productos con especificaciones definidas. Este tipo de problemas de decisión involucran modelos de programación en este caso en particular MINLP (programación no lineal de enteros mixtos) que permiten determinar la solución óptima, aquí las no linealidades son introducidas por las relaciones de diseño del equipo del proceso por ejemplo relaciones de equilibrio, balances de masa, de energía, etc. Existen varias estrategias de solución que se pueden utilizar en la optimización de modelos de programación matemática para la síntesis de procesos, destacando el método que Ruiz-López *et al.*, (2006), este método es un algoritmo de búsqueda cuyo objetivo es encontrar los elementos del vector x que:

$$\begin{aligned} f(x) &\rightarrow \min \\ x_{\min} &\leq x \leq x_{\max} \\ g_{\min j} &\leq g_j(x) \leq x_{\max j} \end{aligned} \quad (1)$$

Las funciones, restricciones y el algoritmo de optimización fueron programadas en Matlab mientras que las ecuaciones diferenciales del proceso fueron resueltas utilizando algoritmos discretos. El

rendimiento final del sistema de control fue evaluado con el índice de rendimiento cuadrático del error.

El proceso MX/a/2017/016729 (Figura 1) para la producción de una suspensión concentrada de extracto de vainilla libre de alcohol desarrollado por el cuerpo académico de Ingeniería de Alimentos de la UNIDA del ITV consiste en tres operaciones unitarias, inicia con una extracción en etapas múltiple a contracorriente, una vez que se agota la alimentación (vainas frescas) el extracto se lleva hasta un tanque de almacenamiento en el cual es almacenado hasta el siguiente paso. El proceso continúa con una etapa de evaporación, donde se obtiene el extracto concentrado libre del alcohol además de vapor de solvente, éste último es dirigido hacia un condensador junto con el vapor de solvente que pudiera contener el refinado, por lo tanto, el consumo de solvente será mínimo comparando con el utilizado en una planta de extracción convencional.

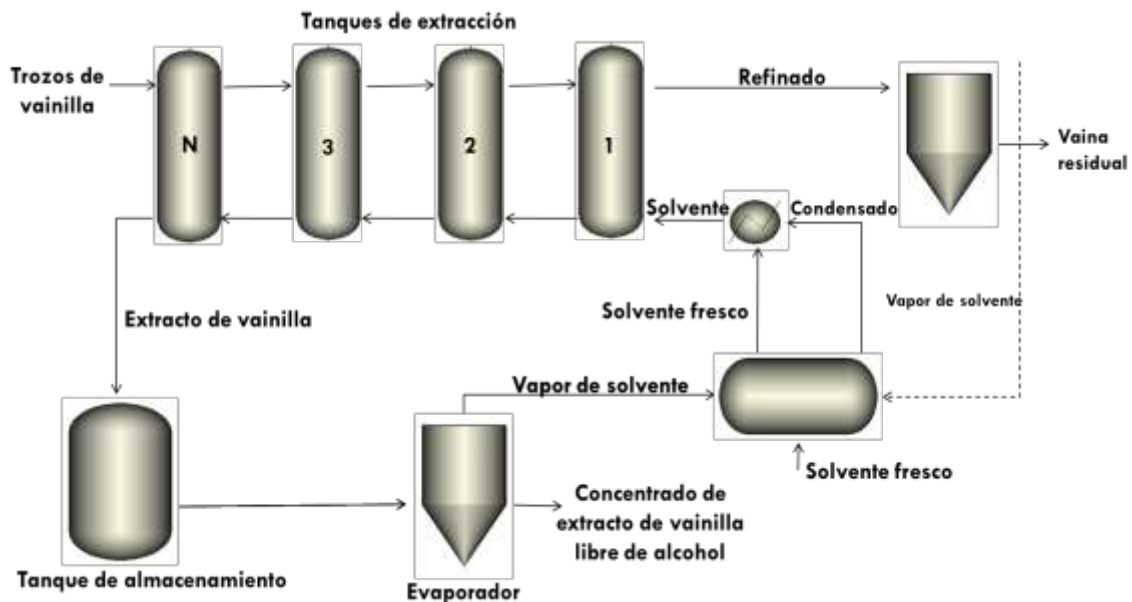


FIGURA 1 Proceso MX/a/2017/016729

Extracción sólido líquido en etapas múltiples a contracorriente

El propósito de la extracción sólido líquido en etapas múltiples a contracorriente es aumentar la carga de soluto del disolvente a un valor máximo para la separación posterior del producto y para que la recuperación del disolvente sea lo más económico posible. De acuerdo a la bibliografía consultada se encontró que Castillo-Santos (2012) optimizó del proceso de extracción y Castillo-Santos *et al.*, (2016) modelaron el proceso de extracción sólido-líquido en multietapas para la producción de extractos de vainilla, en los trabajos se estableció un sistema cuaternario (vainilla inerte-sólidos extraíbles-agua-etanol), en el que las propiedades de equilibrio fueron evaluadas con cinéticas de extracción llevadas a cabo en dos relaciones diferentes. El modelo es un diseño para un sistema de 13N ecuaciones con 13N+7 variables por cada etapa de extracción y los balances de materia en el extracto y en el refinado se describen a continuación:

Balances de materia de la extracción sólido-líquido

$$\text{General: } E_{j+1} + R_{j-1} - E_j - R_j = 0 \quad (2)$$

$$\text{Sólidos no extraíbles: } R_{j-1}x_{Rj-1} - R_jx_{Rj} = 0 \quad (3)$$

$$\text{Sólidos no extraíbles: } R_{j-1}x_{Rj-1} - R_jx_{Rj} = 0 \quad (4)$$

$$\text{Sólidos extraíbles: } E_{j+1}x_{Ej+2} - R_{j-1}x_{Ej2} - E_jx_{Ej2} - R_jx_{Rj2} = 0 \quad (5)$$

$$\text{Agua: } E_{j+1}x_{Ej+3} + R_{j-1}x_{Rj-13} - E_jx_{Ej3} - R_jx_{Rj3} = 0 \quad (6)$$

$$\text{Etanol: } E_{j+1}x_{Ej+4} + R_{j-1}x_{Rj-14} - E_jx_{Ej4} - R_jx_{Rj4} = 0 \quad (7)$$

$$\text{Dónde: } F = R_0 \text{ y } S = E_{N+1} \quad (8)$$

El modelo incluye dos constantes de equilibrio que describen la termodinámica del proceso principalmente la distribución al equilibrio y la solución retenida específica.

$$\text{Constante de distribución al equilibrio: } K_{eq} = \frac{x_{Ej2}}{x_{Oj2}} \quad (9)$$

$$\text{Solución retenida en términos de no extraíbles en cualquier etapa: } M_j = \frac{L_j}{R_jx_{Rj1}} \quad (10)$$

Evaporación del extracto de vainilla

En los procesos de evaporación existen casos particulares, mezclas que no pueden ser consideradas como “ideales”, ejemplo de ello es el extracto de vainilla (etanol-agua y solidos inertes a la evaporación), ésta al no tener un comportamiento de fluido ideal se debe evaluar como mezcla compleja. Considerando lo anterior Aguirre-Alonso *et al.*, (2019) desarrollaron un modelo dinámico que representa la evaporación considerando las propiedades termo-físicas de un sistema experimental y evaluando estas propiedades por ingeniería inversa.

Balances de masa:

$$\text{Total de etanol y agua y sus respectivas fracciones másicas: } W_{ew} = W_e + W_w \quad (11)$$

Donde: W_{ew} = Masa de la mezcla etanol-agua, W_e = Masa de etanol, W_w = masa de agua.

El extracto de vainilla no se puede considerar una mezcla ideal por lo tanto se agregaron coeficientes de actividad γ_1 que representan las desviaciones de la conducta ideal, las ecuaciones se escriben como se muestra a continuación:

$$\text{Fracción molar de etanol fase gaseosa: } y_e = \frac{x_e P_{ve}^0}{\frac{P_v^0}{\gamma_1}} \quad (12)$$

$$\text{Fracción molar de agua en fase gaseosa: } \gamma_w = 1 - \gamma_e \quad (13)$$

También se agregan coeficientes de actividad (γ_2) para el cálculo de fracción másica para la fase gaseosa:

$$\text{Fracción másica de etanol fase gaseosa: } y_e = \frac{\gamma_1 y_e M_e}{y_e M_e + y_w M_w} \quad (14)$$

$$\text{Fracción másica de agua fase gaseosa: } y_w = 1 - y_e \quad (15)$$

Velocidad de evaporación:

Indican el cambio de la masa total con respecto al tiempo y se expresan como:

$$\frac{dW_L}{dt} = \frac{dW_e}{dt} + \frac{dW_w}{dt} \quad (16)$$

Balances de energía:

El calor latente de vaporización del agua pura está dada por:

$$\Delta H_{vw} = Cp_w(T_L - T_{ref}) + \Delta H_{vw}^{ref} - Cp_w T_L \quad (17)$$

El calor latente de vaporización del etanol puro está dado por:

$$\Delta H_{ve} = Cp_{ve}(T_L - T_{ref}) + \Delta H_{ve}^{ref} - Cp_e T_L \quad (18)$$

En este caso, el líquido que se evapora es una mezcla de sólidos de vainilla, debido a ello es necesario el cálculo del calor latente de vaporización de la mezcla representado con la siguiente ecuación:

$$\Delta H_v = \gamma_3(\Delta H_{vw}x_w + \Delta H_{ve}x_e) \quad (19)$$

La temperatura cambia al mismo tiempo que la mezcla está evaporando, por lo tanto el balance de energía establece que la derivada de la temperatura con respecto al tiempo es igual a la cantidad de calor que entra menos la cantidad de energía utilizada para evaporar la mezcla:

$$W_L Cp_L \frac{dT_L}{dt} = q_{inR} - \dot{m}_v \Delta H_v - q_{outR} T_L Cp_L \frac{dW_L}{dt} \quad (20)$$

La velocidad de evaporación fue considerada de la siguiente forma: si la presión del solvente (función de la temperatura) es menor que la presión del sistema no hay evaporación, por el contrario sí la presión de vapor del solvente es mayor o igual a la del sistema todo la energía es utilizada para la evaporación del solvente, así se establece la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_v = \begin{cases} 0 & P_v^0 < P \\ \frac{q_{inR}}{\Delta H_v - T_L Cp_L} & P_v^0 \geq P \end{cases} \quad (21)$$

Donde: \dot{m}_v = Velocidad de evaporación, P_v^0 = presión de vapor del sistema y P =presión

El modelo considera coeficientes de actividad γ_1 el cual se utiliza para corregir la presión de vapor, γ_2 para corregir las fracciones de etanol de la fase gaseosa y finalmente γ_3 que corrige el vapor latente de vaporización los cuales representan las desviaciones debido a las características de la mezcla.

RESULTADOS

La síntesis de procesos se traduce en la optimización integral de un proceso de extracción de vainilla que involucra tres operaciones unitarias, teniendo como función objetivo minimizar el costo total por kilogramo de sólido seco, es decir una función matemática que para los mejores valores de las variables de decisión alcanza un mínimo, la función objetivo se presenta algebraicamente como:

$$\min_{c_s} = f(x, N) \quad (22)$$

Sujeto a

$$\begin{aligned} x_{\min} &\leq x \leq x_{\max} \\ N_{\min} &\leq N \leq N_{\max} \end{aligned} \quad (23)$$

En el modelo de optimización fueron anexadas funciones estimadoras las cuales describen el comportamiento de la extracción sin tener que resolver el sistema riguroso de ecuaciones nuevamente, para obtenerlas el algoritmo de extracción fue resuelto para 1 y hasta 4 etapas de extracción con fracción másica de sólidos en el extracto de 0.01 hasta 0.09 y permito conocer la cantidad de solvente necesario en cada etapa de extracción, cantidad de extracto obtenido y sus

respectivas fracciones másicas (agua y etanol), estos datos fueron ajustados a funciones y se muestran a continuación:

Funciones estimadoras

Dos etapas de extracción:

$$\text{Solvente: } S = \exp(3.7958 - 4.2216x_{E12} - 0.9679 \log(x_{E12})) \quad (24)$$

$$\text{Extracto: } E = \exp(3.9456 - 6.4625x_{E12} - 0.9378 \log(x_{E12})) \quad (25)$$

$$\text{Fracción de etanol: } x_{E14} = \exp(-0.4320 - 2.7587x_{E12} + 0.0152 \log(x_{E12})) \quad (26)$$

Tres etapas de extracción:

$$\text{Solvente: } S = \exp(3.5084 + 1.7199x_{E12} - 1.0060 \log(x_{E12})) \quad (27)$$

$$\text{Extracto: } E = \exp(3.6138 - 0.2005x_{E12} - 0.9963 \log(x_{E12})) \quad (28)$$

$$\text{Fracción de etanol: } x_{E14} = \exp(-0.4917 - 2.0489x_{E12} + 0.0036 \log(x_{E12})) \quad (29)$$

Cuatro etapas de extracción:

$$\text{Solvente: } S = \exp(3.5682 + 10.9090x_{E12} - 1.0054 \log(x_{E12})) \quad (30)$$

$$\text{Extracto: } E = \exp(3.4093 + 1.7566x_{E12} - 1.0207 \log(x_{E12})) \quad (31)$$

$$\text{Fracción de etanol: } x_{E14} = \exp(-0.4917 - 2.0734x_{E12} + 0.0036 \log(x_{E12})) \quad (32)$$

Uno de los aspectos importantes es el dimensionamiento de los equipos, por ello se plantearon funciones para obtener el volumen en litros de los tanques de extracción considerando la densidad del solvente y de las vainas:

$$\text{Volumen del tanque extractor: } v_{ext} = \left(\frac{S}{\rho_S} + \frac{F}{\rho_F} \right) \quad (33)$$

El valor de las unidades del proceso fue estimado utilizando la correlación volumen con respecto al costo y una cotización previa de un equipo similar y fue calculado como se muestra a continuación:

$$\text{Costo extractor: } c_{ext} = n_{ext} \exp(\log k_1 + k_2 \log v_{ext}) \quad (34)$$

Se realizaron variaciones al modelo reportado para la evaporación de vainilla ya que en este proceso se considera que el calor suministrado es en forma de vapor, la ecuación tienen una corrección debido a la variación del cp en la composición de la mezcla, las ecuaciones que representan los cambios durante el proceso se reescriben a continuación:

Ecuación de transferencia de calor:

$$q_{in} = hA(T_V - T_L) \quad (35)$$

Velocidad de la masa evaporada, ecuación corregida por la variación de c_p

$$m_v = \begin{cases} 0 & P_v^0 < P \\ \frac{q_{in} R}{\Delta H_v - T_L C_{pL}} & P_v^0 \geq P \end{cases} \quad (36)$$

Variación de la temperatura con respecto al tiempo:

$$W_L C_{pL} \frac{dT_L}{dt} = q_{in} - \dot{m}_v \Delta H_v - q_{in} T_L C_{pL} \frac{dW_L}{dt} \quad (37)$$

Energía total de evaporación

$$e_{evap} = \int_{T_0}^{T_{evap}} q_{in} \quad (38)$$

Además se plantearon ecuaciones para caracterizar el extracto y la suspensión concentrada obtenida al final del proceso:

$$\text{Composición del extracto: } E = Ex_{E2} + Ex_{E3} + Ex_{E4} \quad (39)$$

$$\text{Masa de agua en el extracto: } m_{w0} = Ex_{E3} \quad (40)$$

$$\text{Masa de agua en el etanol: } m_{et0} = Ex_{E4} \quad (41)$$

Los cálculos del evaporador se realizaron con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Volumen del evaporador: } v_{evap} = \frac{E}{\rho_E} \quad (42)$$

$$\text{Longitud de los tubos: } L_t = \frac{A_{evap}}{2\pi R} \quad (43)$$

$$\text{Volumen de tubos: } vol_t = \pi r_t^2 L_t \quad (44)$$

$$\text{Superficie de evaporación: } A_{evap} = \frac{Ec_p}{h(T_V - T_L)} \quad (45)$$

$$\text{Costo de evaporador: } costo_{evap} = \exp(\log k_1 + k_2 \log v_{ext}) \quad (46)$$

$$\text{Costo de tubos: } costo_{tubos} = \exp(\log k_1 + k_2 \log vol_{tanque}) \quad (47)$$

La evaluación económica del proceso fue considerada en una escala industrial, se calculó el costo de equipos, costos fijos y variables, las inversiones totales y ganancias además de que la evaluación se realizó estudiando el comportamiento del tiempo de retorno de la inversión fijada en 5 años, los resultados obtenidos señalan que el costo mínimo fue MXN \$7491.00 por kilogramo de sólidos en el extracto.

El desarrollo del problema de optimización implica el diseño y elaboración de un modelo que representa el proceso, donde la variable x corresponde a las composiciones del extracto mientras N representa el número de etapas de extracción. El problema fue resuelto con el algoritmo de programación no lineal entera mixta (MINLP) programado en MatLab cuyo funcionamiento es el siguiente; hace cálculos iterativos, optimiza dos variables con puntos aleatorios en la región válida, con ello evalúa la función y en base a esos valores identifica la función máxima y la mínima, tomando ésta última para proyectar hacia el valor mínimo, considerando como base de cálculo una alimentación de 100 kilogramos de vainas de vainilla por procesar, son necesarias 3 etapas múltiples a contracorriente con 1373 kilogramos de solvente (mezcla etanol-agua en proporción 60:40 p/p) para obtener 1401 kilogramos de extracto con una fracción másica de sólidos de 0.0260, el extracto obtenido es evaporado hasta 273 kilogramos con una fracción másica de sólidos de 0.3643. De acuerdo a lo anterior se requiere un tanque por cada etapa de extracción con volumen de 2072 litros donde se ponen en contacto 100 kilogramos de vainas de vainilla y 1372 kilogramos de solvente. El costo por cada tanque de extracción es \$105 822.

CONCLUSIONES

El proceso de obtención de la suspensión concentrada de extracto de vainilla libre de etanol es un proceso prolongado y por lo tanto de costo elevado, por ello las mejoras en cualquiera de sus etapas que disminuyan el tiempo de obtención o aumente los rendimientos representa una ganancia en el proceso. Los resultados obtenidos indican que el costo mínimo fue MXN \$7491.00 por kilogramo de sólidos en el extracto. Se demostró que con la aplicación de la metodología propuesta el proceso fue

eficiente ya que con los recursos proporcionados se obtiene la mayor producción posible, económicamente competitiva y sostenible. El simulador utilizado fue validado experimentalmente a escala laboratorio observando que los datos obtenidos obedecen la misma tendencia que los predichos con el modelo, esto indica que el modelo está reproduciendo satisfactoriamente el comportamiento del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre-Alonso, R. O., Huesca-Osorio, C. A., Salgado-Cervantes, M. A, Tejero-Andrade, J. M., Rodríguez-Jiménes, G. C., y García-Alvarado, M. A. (2019). State-space thermodynamic modeling of vanilla ethanolic extract spray drying with heat pump and N₂. *J. Food Eng.*, (243) 70–81.
2. Angira R. y Babu B. V. (2003). Evolutionary computation for global optimization of non-linear chemical engineering processes. *Proceedings of International Symposium on Process Systems Engineering and Control*, 87-91.
3. Belotti, P. (2012) Disjunctive cuts for nonconvex MINLP. 117-1192.
4. Biegler, L. T., y Grossmann, I. E. (2004). Retrospective on optimization *Comput. Chem. Eng.*, (28) 1169-1192.
5. Castillo-Santos, K., Aguirre-Alonso, R. O., Rodríguez-Jiménes, G. C., Robles-Olvera, V. J., Salgado-Cervantes, M.A. y García-Alvarado, M. A. (2016). An optimization based algorithm from solving design problems of counter-current multistage batch solid-liquid extractors for complex systems: Applications to vanilla extract. *Comput. Chem. Eng.*, (89) 53-61.
6. Castillo-Santos, K., Ruiz-López, I. I., Rodríguez-Jiménes, G. C., Carrillo-Ahumada, J., y García-Alvarado, M. A. (2017). Analysis of mass transfer equations during solid-liquid extraction and its application for vanilla extraction kinetics modeling. *J. Food Eng.*, (192) 36-44.
7. Karupiah, R. y Grossmann, I. E. (2006). Global optimization for the synthesis of integrated water systems in chemical processes. *Comput. Chem. Eng.*, (4), 650-673.
8. Odoux, E., Escoute, J., Verdeil, J. L., y Brillouet, J. M. (2003). Localization of β -D-glucosidase activity and glucovanillin in vanilla bean (*Vanilla planifolia Andrews*). *Annals of botany*. (3) 437-444.
9. Pinto, J. M. y Grossmann, I. E. (1997). A logic-based approach to scheduling problems with resource constraints. *Comput. Chem. Eng.*, (8) 801-818.
10. Ramachandra Rao, S., y Ravishankar, G. A. (2000). Vanilla flavor: production by conventional and biotechnological routes. *J. Sci. Food Agric.*, (3) 289-304.
11. Ruiz-López, I. I., Rodríguez-Jiménes, G. C. y García-Alvarado, M. A. (2006). Robust MIMO PID controllers tuning based on complex/real ratio of the characteristic matrix eigenvalues. *Chem. Eng. Sc.*, (13), 4332-4340.
12. Sinha, A. K., Sharma, U. K., y Sharma, N. (2008). A comprehensive review on vanilla flavor: extraction, isolation and quantification of vanillin and others constituents. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, (4), 299-326.

SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA DETECCIÓN DEL TIPO Y CALIDAD EN MANZANAS UTILIZANDO APRENDIZAJE DE MAQUINA

Isis Nashelli Espíritu López, Juan Manuel Sierra Hernández, Juan Gabriel Aviña Cervantes.

División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca, Universidad de Guanajuato.
in.espiritulopez@ugto.mx.

RESUMEN

En esta investigación se muestra la implementación de un sistema portátil de visión por computadora capaz de distinguir de manera objetiva el tipo y la madurez en manzanas mediante la utilización de un clasificador desarrollado con SVM, así mismo, el sistema determina una aproximación del área y perímetro de la muestra. Se busca desarrollar una herramienta confiable que pueda ser utilizada como base para investigaciones posteriores en el área de la industria de los alimentos. Los elementos utilizados para su creación son mínimos: un microprocesador, un módulo de cámara y una de matriz de led. El algoritmo fue desarrollado en Python utilizando múltiples librerías. Los datos obtenidos son desplegados en una aplicación amigable para el usuario desarrollada en tkInter. La amplia variedad de pruebas realizadas permitió encontrar las condiciones adecuadas para obtener un análisis preciso. El sistema distingue en tiempo real el tipo y calidad en la muestra.

INTRODUCCIÓN

La detección automática del tamaño y nivel de madurez en manzanas son fundamentales en los procesos de recolección y de la determinación de la calidad de estos productos. Los procesos de inspección manual o dependiente del ser humano son altamente subjetivos, en ocasiones toman demasiado tiempo repercutiendo en la calidad final del producto, sin considerar que son invasivos al manipular en exceso el producto.

Uno de los métodos propuestos en otras investigaciones para la evaluación de calidad en manzanas es la técnica de proyección de franjas utilizado para evaluar los cambios en la topografía, color, humedad y firmeza de muestras de manzana evaluadas a través tiempo, los resultados obtenidos de esta investigación señalaron una pérdida significativa de tamaño que se puede deducir en una pérdida de agua que junto al cambio de color indica la degradación de la fruta. Esta metodología proporciona mediciones precisas, sin embargo, es mejorable utilizando técnicas de computación para robustecer el sistema [1].

Otra investigación propone un método informático para estimar la madurez en aceitunas basada en imágenes digitales, para ello, utilizan como herramienta escalas de color que siguen adecuadamente la evaluación del color en el proceso de madurez del fruto. El método que proponen realiza una regresión multidimensional basada en vectores de soporte (SVR, por sus siglas en inglés) para generar estas escalas las cuales se validaron mediante el método de validación cruzada y utilizando el error cuadrático medio como función de rendimiento [2].

El presente proyecto plantea la posibilidad de utilizar visión por computadora para extraer características de imágenes y ser aplicado en un sistema de reconocimiento automático. Se propone un sistema de reducidas dimensiones y de poco tiempo de procesamiento ya que los parámetros de configuración del algoritmo de extracción de características son modelados de tal manera que discriminan la información redundante y agilizan el proceso.

TEORÍA

Para medir la madurez de una fruta mediante visión es necesario obtener la textura que nos describe la superficie externa del objeto. La textura es una de las principales características utilizadas en el procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones. El método de análisis de textura utilizando matrices de dependencia de nivel de gris espacial (SGLDM, por sus siglas en inglés) basado en la estimación de las funciones de probabilidad conjunta de dos elementos de imagen en alguna posición relativa dada, es indudablemente uno de los algoritmos de análisis de textura más potentes actualmente, sin embargo, una alternativa a este método de análisis es utilizar histogramas

de sumas y diferencias el cual ofrece una disminución de tiempo de cálculo y memoria de almacenamiento [3].

PARTE EXPERIMENTAL

Ambiente de desenvolvimiento

El algoritmo fue implementado dentro del entorno de desarrollo integrado de PyCharm Community Edición 2019.3.1 en el lenguaje de programación Python. La programación del algoritmo se llevó a cabo en una Raspberry Pi 3 Modelo B+, una computadora de placa reducida con 1 GB de RAM y CPU Quadcom 1.2 MHz Broadcom BCM287 64 bit. Se obtuvo una base de datos de 2 tipos y 2 clases de texturas de manzanas mediante el uso del módulo de cámara Raspberry Pi V2 de 8 Mpx y un arreglo de leds.

Implementación del sistema

La Figura 1 muestra la configuración del sistema completo. Se utiliza una Raspberry Pi como controlador, este se encarga de capturar la imagen de muestra mediante una cámara, posteriormente se extraen las características de la imagen y finalmente se determina el estado de la fruta mediante un clasificador.

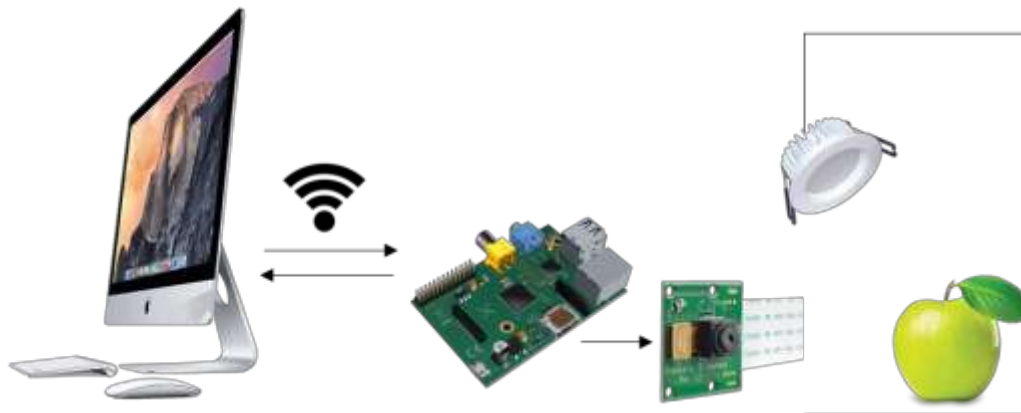


Figura 1. Sistema para detección de calidad en manzanas en tiempo real.

El proceso que se realiza en el interior de la Raspberry Pi, así como los criterios para el modelado del clasificador se muestran en el esquema de la Figura 2.

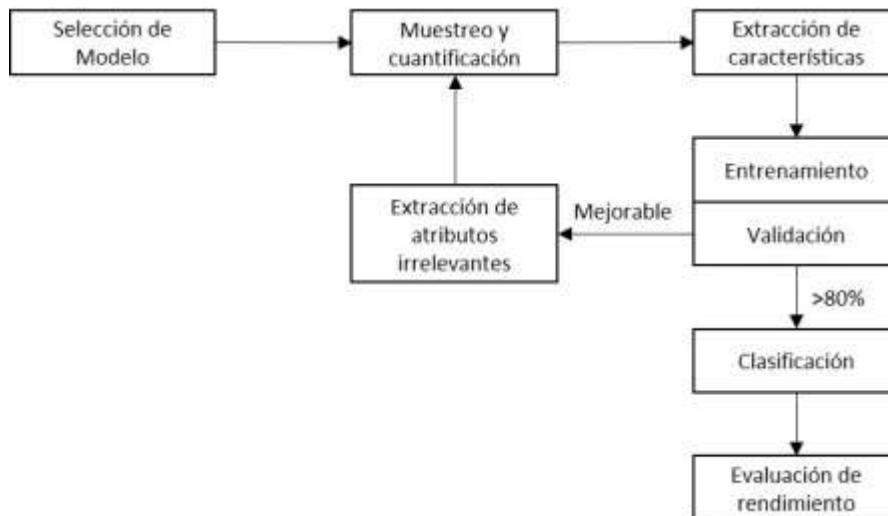


Figura 2. Etapas en el proceso de modelado del clasificador.

Preprocesamiento y extracción de características

Para calcular las dimensiones del objeto de estudio es necesario obtener su borde mediante la segmentación de la imagen de entrada al sistema, para ello, se sigue el siguiente proceso:

- Aplicación de un filtro gaussiano sobre la imagen con el fin de suavizar y eliminar el ruido.
- Umbralización de la imagen para obtener una máscara.
- Utilización de morfología matemática para eliminar los detalles no deseados sobre la máscara.
- Localización del mayor borde de la máscara mediante el uso del algoritmo de Canny.
- Medición del borde principal de la máscara.
- Escalar el valor medido al tamaño real del objeto mediante un factor de conversión.

En la implementación del clasificador es necesario encontrar los parámetros óptimos, los puntos siguientes describen la manera en la que se llevó a cabo esta búsqueda.

- Realización del algoritmo de sumas y diferencias de histogramas considerando las 9 características base: media, varianza, energía, correlación, entropía, contraste, homogeneidad y clusters de sombra y de prominencia.
- Selección del mejor clasificador considerando un tamaño de ventana predefinido y desplazamientos de 1 a 4 píxeles para ángulos de 0, 45, 90 y 135°.
- Análisis de parámetros, variación de tamaños de ventana [9,17,33,65,129] y las combinaciones dadas por desplazamientos de 1 a 4 píxeles para ángulos de 0, 45, 90 y 135° así como la importancia de cada característica.
- Valoración global mediante exactitud y análisis fino mediante precisión, sensibilidad y especificidad.

Para crear la interfaz de la aplicación se utilizó python y la librería gráfica ``Tkinter'', con ella se buscó mostrar en pantalla todo el proceso realizado de una manera correctamente distribuida y entendible al usuario.

RESULTADOS

El clasificador fue implementado con la herramienta de máquina de soporte vectorial (SVM), una vez seleccionado el mejor clasificador se realizó el análisis de los parámetros: tamaño de ventana, desplazamientos y características de textura, los cuales se muestran en la Tabla 1. Posteriormente con estos resultados se determinaron los modelos que rigen el proceso de clasificación para cada uno de los parámetros del algoritmo, es decir, se eliminaron los datos redundantes.

Tabla 10. Exactitud sin característica

Característica	Exactitud (%)
Media	87.1
Varianza	87.1
Entropía	86.6
Energía	78.4
Correlación	87.0
Contraste	83.5
Homogeneidad	86.3
Cluster de sombra	87.0
Cluster de prominencia	87.0

El desempeño de nuestro clasificador fue evaluado mediante los criterios de exactitud, precisión, sensibilidad y especificidad, la Tabla 2 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 2. Evaluación del clasificador.

Métrica de evaluación	Porcentaje (%)
Exactitud	87.30
Precisión	83.00
Sensibilidad	90.20
Especificidad	84.25

De los resultados mostrados en la tabla podemos concluir que el modelo maneja adecuadamente la clase, es decir, detecta correctamente si la manzana cuenta con alguna anomalía en la textura. Los resultados son mostrados en la interfaz realizada en Python tkinter mostrada en la Figura 3.



Figura 3. Interfaz preliminar para muestra de resultados.

CONCLUSIONES

En este artículo hemos descrito el proceso de modelado de un clasificador para detectar el tipo y calidad en manzanas considerando el rendimiento de este. La evaluación de los parámetros de configuración se determinó utilizando distintos tamaños de ventana, número de muestras y combinaciones para cada dirección. Finalmente, mediante un análisis fino con las siguientes métricas de evaluación: exactitud, precisión, sensibilidad, especificidad, porcentaje de falsas alarmas y la medida f , se determinó que el clasificador seleccionado proporciona una respuesta confiable.

BIBLIOGRAFÍA

1. Avila, F., Mora, M., Oyarce, M., Zuñiga, A., & Fredes, C. (2015). A method to construct fruit maturity color scales based on support machines for regression: Application to olives and grape seeds. *Journal of Food Engineering*, 162, pp. 9–17.
2. López D., Y. Y., Martínez-García, A., & Gómez S., J., "Apple quality study using fringe projection and colorimetry techniques". *Optik*, 147, 2017, pp. 401–413.
3. M. Unser, "Sum and Difference Histograms for Texture Classification" in *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, vol. 8, no. 01, pp. 118-125, 1986.

INFLUENCIA DE LA MODIFICACIÓN QUÍMICA SUPERFICIAL SOBRE LA MICROESTRUCTURA, DUREZA Y RESISTENCIA A LA CORROSIÓN EN UN ACERO 8620

Salvador Barrón Vázquez¹, Gerardo Vázquez Huerta¹, José Miranda Hernández², Deyanira Ángeles Beltrán¹, Luis A. Martínez Brioso¹.

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco

²Universidad Autónoma Del Estado De México (UAEM-Valle De México)

RESUMEN

El acero 8620 es un acero grado maquinaria, que puede utilizarse en componentes mecánicos tales como pasadores de guía, columnas, ejes, cigüeñales, cruces, torniquetes, ruedas dentadas o engranajes en general (1). Este acero puede mejorar sus propiedades con el tratamiento térmico o termoquímico adecuado, por ejemplo un cementado, un recocido, un revenido, un templado o un borurado (2). Un método útil para prevenir o retrasar la velocidad de corrosión consiste en la aplicación de tratamientos termoquímicos que protejan al material (3). Para evaluar la corrosión en ese tipo de materiales es posible emplear la técnica de *espectroscopía de impedancia electroquímica*, EIS, (por sus siglas en inglés) que es una técnica electroquímica basada en el uso de una señal de corriente alterna (CA) que se aplica a un electrodo, del cual se determina su respuesta; con esta técnica es posible obtener la resistencia a la polarización (R_p), la cual está relacionada con la velocidad de corrosión. En esta investigación se estudió el efecto del tratamiento termoquímico de borurado en probetas de acero AISI 8620, en particular los cambios en las propiedades de dureza y resistencia a la corrosión en una solución salina 0.5 M NaCl. Las probetas de acero AISI 8620 se sometieron a borurado en caja empleando Durborid G como medio borurante, durante 1, 3 y 5 horas a 950°C. La caracterización fue mediante microscopía óptica en un Microscopio Metalográfico Olympus, los estudios de microdureza Vickers se realizaron en un microdurómetro Hardness TUKON 1102; para analizar la resistencia a la corrosión, se utilizó la técnica de espectroscopía de impedancia electroquímica, EIS, en una solución 0.5 M NaCl. Los resultados experimentales mostraron la presencia de una capa borurada en todas las probetas sometidas a tratamiento. La dureza de las probetas sometidas a tratamiento fue mayor en comparación con el grupo de probetas sin tratamiento de borurado. En contraste, los resultados de impedancia señalaron que las probetas sometidas al tratamiento termoquímico de borurado son más susceptibles a la corrosión en medio salino que las probetas de acero 8620 que no se encuentran boruradas.

INTRODUCCIÓN

El acero AISI 8620 es un acero grado maquinaria, que puede utilizarse en componentes mecánicos tales como columnas, ejes, cigüeñales, ruedas dentadas, entre otros. (1) Su composición química es 0.55% níquel, 0.50% cromo, 0.20% molibdeno y 0.20% carbono. (4)

Un problema importante cuando se manejan metales o aleaciones es la corrosión, la cual se define como el ataque destructivo e involuntario de un material metálico. Es común clasificar a la corrosión metálica en ocho formas diferentes: uniforme, galvánica, por aireación diferencial, por picaduras, intergranular, selectiva, por erosión y corrosión bajo tensiones. (5) De entre ellas, la corrosión por picadura es uno de los tipos de corrosión más dañinos para los aceros y las soluciones salinas favorecen enormemente su manifestación.

No obstante, existen alternativas que permiten proteger a los metales y aleaciones de distintos tipos de corrosión. Una de ellas es la aplicación de un tratamiento termoquímico, que combina la aplicación de calor con la reacción química, para cambiar la composición química, estructural y las propiedades de la capa superficial de un material metálico o una aleación. (3)

El borurado es un tratamiento termoquímico difusivo que consiste en la saturación de la superficie de un metal o aleación con boro, resultando en un aumento de la dureza, y resistencia al desgaste, modificando la velocidad de corrosión principalmente en medio ácido. Es un método difusivo en el cual, las variables de control son la temperatura y el tiempo y puede aplicarse a una amplia gama de materiales féreos (excepto en aquellos con alto contenido de aluminio o silicio), superaleaciones base níquel, aleaciones de cobre, plata, oro e incluso aleaciones refractarias. El método consiste en

calentar el material en un intervalo de temperaturas de 700 a 1000°C, durante 1 a 12 horas, en contacto con un medio adecuado de boros que puede ser sólido, líquido o gaseoso; se prefieren los tratamientos sólidos ante los líquidos y gaseosos, ya que los dos últimos son altamente tóxicos. (3) (6)

Al realizar los tratamientos termoquímicos, la dureza es una propiedad mecánica que se logra modificar. Ésta se define como la resistencia que opone un material a la deformación plástica localizada. Existen diversos tipos de ensayos que sirven para medir o determinar la dureza en un material dado. Éstos dependen de parámetros tales como el tipo y forma del penetrador, y la carga aplicada sobre el material. Los métodos pueden ser cualitativos o cuantitativos y proveen datos relativos de dureza. (2) Los ensayos de Rockwell, Brinell, de microdureza Knoop y de microdureza Vickers son los métodos cuantitativos típicos para medir la dureza en los materiales.

El ensayo de microdureza Vickers, utilizado en la presente investigación, usa un penetrador pequeño de diamante con forma piramidal y que aplica una carga pequeña sobre la superficie del material comprendida entre 1 y 1000 gramos. La huella resultante se observa al microscopio y se mide; la medida resultante y el valor de la carga se utilizan para calcular el número de dureza. [4] La ecuación para calcular la dureza Vickers es la siguiente

$$HV = \frac{1.854 * P}{(D_1 + D_2)/2}$$

Actualmente, los durómetros calculan los valores de dureza automáticamente, por lo que no es necesario realizar cálculos usando ecuaciones.

Por su parte, una técnica útil para evaluar la corrosión de metales es la espectroscopía de impedancia electroquímica, EIS, (por sus siglas en inglés) que es una técnica electroquímica basada en el uso de una señal de corriente alterna (CA) que se aplica a un electrodo, del cual se determina su respuesta. Con esta técnica es posible obtener la resistencia a la polarización (R_p), la cual está relacionada con la velocidad de corrosión, por lo cual es muy útil en estudios de corrosión y, en cuyo caso, el electrodo corresponde a un metal en corrosión. (7). La impedancia Z es la relación que existe entre el potencial (E) y la corriente (I) La impedancia es una forma de resistencia eléctrica por lo que se puede comprender con la ley de Ohm, cuya relación es $Z = E/I$. (8)

Se han observado estudios en donde se aprecia que la técnica de borurado refuerza la resistencia a la corrosión del acero AISI 8620 en medio ácido, como el reportado en la investigación titulada "Abrasive wear behavior of boronized AISI 8620 steel" de M. Tabur, M. Izciler, F. Gul y I. Karacan en 2008. En la presente investigación, se estudió el efecto del tratamiento termoquímico de borurado en probetas de acero AISI 8620, en particular los cambios en las propiedades de dureza y resistencia a la corrosión en una solución salina 0.5 M NaCl.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El procedimiento inicia obteniendo cuatro grupos de tres probetas de una barra de acero AISI 8620 y aplicando tratamiento de borurado durante una, tres y cinco horas al primer, segundo y tercer grupo respectivamente a una temperatura de 950 °C, el cuarto grupo sirve como blanco o testigo. Después, las probetas se seccionan transversalmente, se montan en baquelita, se desbastan, se atacan químicamente y se observa su microestructura en microscopio óptico. Después se realizan los ensayos de dureza en microdurómetro Vickers. Finalmente, las probetas se analizan por espectroscopía de impedancia electroquímica montadas en una celda electroquímica en solución salina a 0.5 M de NaCl, evaluando su resistencia a la polarización.

RESULTADOS

Obtención de las probetas boruradas

Se observan cambios físicos notorios en la superficie de todas las probetas tratadas. Se aprecia el cambio de color, de gris plateado –natural en la aleación limpia- a blanco grisáceo cuya intensidad aumenta en las probetas con mayor tiempo de exposición al tratamiento termoquímico. Además, hay pérdida del brillo metálico y una notable resistencia al corte.

Metalografía de las probetas

Las micrografías obtenidas de las probetas montadas (figura 1) revelan la formación de una capa de boruros metálicos así como la profundidad de dicha capa en la sección perimetral de las probetas tratadas termoquímicamente en comparación con la muestra testigo sin tratar. Se observa también que la profundidad de capa observada en las probetas tratadas es mayor en aquellas con mayor tiempo de exposición al tratamiento termoquímico. La capa formada en todas las probetas tratadas tiene una apariencia dentada e irregular, poniendo de manifiesto la difusión y reacción de los átomos de boro con la superficie de la aleación, mostrando mayor concentración de boruros en las regiones más externas en la probeta.

Tabla 1. Espesor de la capa borurada formada en la superficie de la probeta.

Probeta	Profundidad de capa (μm)
TX	0
B1H	36.61
B3H	60.20
B5H	110.00

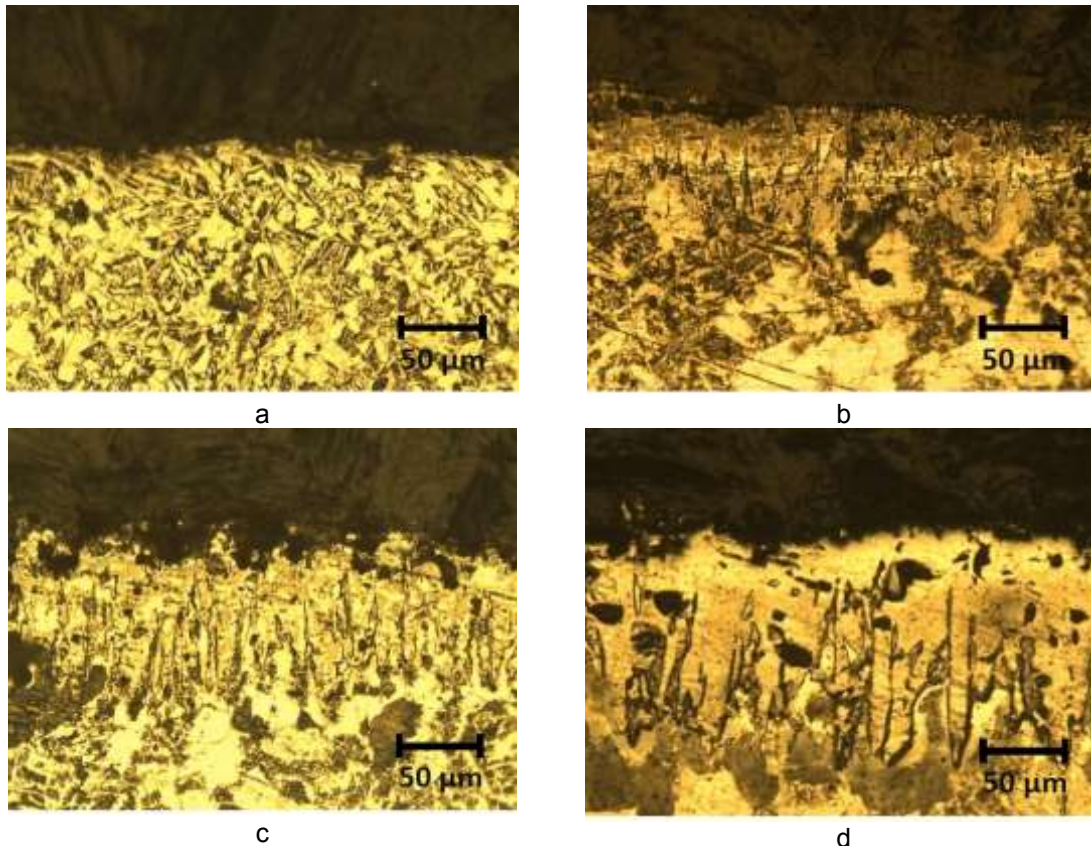


Figura 1. Micrografías de la superficie de las probetas montadas a 200 aumentos: La probeta testigo (Fig. 1a), y las boruradas a una (Fig. 1b), tres (Fig. 1c) y cinco horas (Fig. 1d) respectivamente. Obsérvese el contorno de aspecto dentado, en especial en la probeta expuesta a 5 horas de tratamiento en comparación con la probeta testigo.

Evaluación de la dureza Vickers en las probetas

Los valores promedio de dureza Vickers obtenidos por las indentaciones en las probetas con tratamiento aumentaron considerablemente en comparación con los valores obtenidos para la probeta testigo, como se muestra en el gráfico 1.

La curva A, perteneciente al blanco (TX), presenta valores de dureza casi homogéneos, oscilando entre los 200 en la escala Vickers (Tabla 2). La curva B, perteneciente a la probeta con menor tiempo de tratamiento (B1H), presenta valores de dureza superiores a 1000 en escala Vickers en la capa borurada, que disminuyen conforme se acercan a la matriz metálica del acero. La curva C, de la probeta tratada durante tres horas (B3H), presenta valores de dureza más altos y un mayor número de indentaciones en comparación con la curva B. Los valores fluctúan un poco hasta el cuarto punto graficado, para después descender en picado a valores similares a los de la probeta testigo. Se aprecia una profundidad de capa borurada mayor en esta probeta. Finalmente, la curva D para la probeta tratada durante cinco horas (B5H) tiene un comportamiento fluctuante similar, sólo que los valores de dureza son aún más altos y la profundidad de capa es la mayor de todas con un valor promedio de 100 micrómetros en la última indentación (Tabla 1).

Además, se obtuvo un mayor número de indentaciones para las probetas cuya exposición al tratamiento fue mayor. Durante el proceso de indentación para las muestras tratadas, se observaba una tendencia general a la obtención de valores elevados aunque oscilantes de dureza (por encima de los 1000 Vickers) para después descender en picado a valores en torno a los 200 Vickers, que son enteramente similares a los obtenidos para las probetas testigo. La oscilación en la obtención de los valores de dureza para las probetas tratadas se explica enteramente debidas al proceso de difusión del boro y la formación de capa de boruros en las probetas, así como por la posible formación de las especies boruro de hierro (FeB) y boruro de dihierro (Fe₂B) dispuestas aleatoriamente a lo largo y ancho de las capas.

Gráfico 1. Perfiles experimentales de dureza para las probetas testigo y boruradas durante 1, 3 y 5 horas a 950 °C de temperatura.

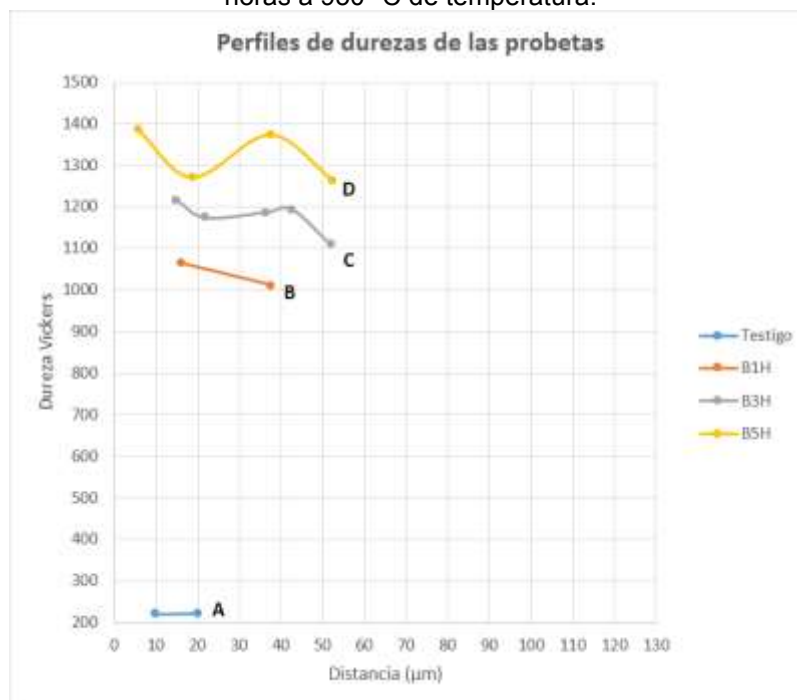


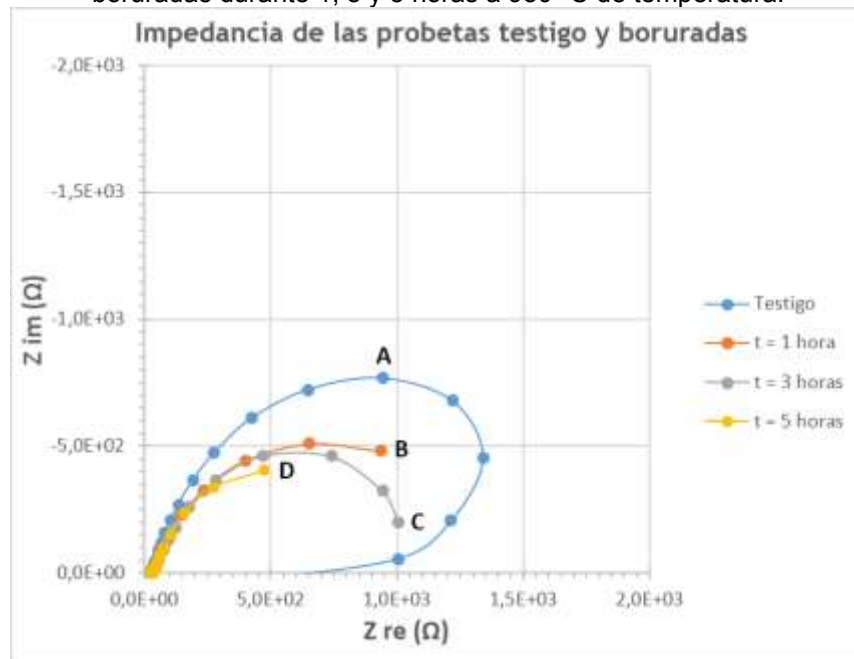
Tabla 2. Dureza promedio más desviación estándar de cada probeta.

Probeta	\bar{x}	$\pm \sigma$
TX	221.05	1.34
B1H	1037.90	37.33
B3H	1175.66	40.95
B5H	1322.40	65.35

Evaluación de la impedancia en las probetas

Se obtuvieron las curvas de Nyquist, de impedancia real versus impedancia imaginaria para todas las probetas. Para la muestra testigo, la gráfica presenta un semicírculo que se distorsiona en bajas frecuencias formando un bucle inductivo con valores positivos de impedancia imaginaria. Para la probeta tratada durante una hora presenta un semicírculo incompleto. El incremento en el tiempo de tratamiento produce semicírculos más pequeños como ocurrió para las probetas tratadas durante tres y cinco horas, siendo la curva de esta última la más pequeña entre todas. Se extrapolaron gráficamente todas las curvas obtenidas para obtener los valores de resistencia a la polarización (R_p), y al realizar la diferencia entre R_p y R_s , resistencia de la solución, se demostró que la magnitud de la resistencia a la polarización en las probetas disminuye cuanto mayor ha sido el tiempo de exposición al tratamiento termoquímico de borurado.

Gráfico 2. Curvas de Nyquist de los experimentos de impedancia para las probetas testigo y boruradas durante 1, 3 y 5 horas a 950 °C de temperatura.



CONCLUSIONES

Interpretando los resultados obtenidos, se concluye que sí fue posible modificar químicamente la región superficial de las probetas de acero 8620. La profundidad de capa obtenida en las probetas tratadas está directamente regida por el *tiempo de exposición al tratamiento termoquímico de borurado*, parámetro que a su vez influye directamente en un aumento magnitudinal de la dureza del material y en la disminución de la resistencia a la corrosión en medio salino, volviéndolas más susceptibles a este proceso degenerativo del material, en comparación con las probetas testigo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Servicio Industrial, S.A. de C.V. SISA®. Aceros SISA desde 1941. [En línea] 2013. <http://sisa1.com.mx/pdf/Acero%20SISA%208620.pdf>.
2. William D. Callister, Jr. *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. 3ª. Barcelona : Reverté, 2005. págs. 136, 139, 566-586. Vol. I.
3. Milagrosa González Fernández de Castro. Universidad Politécnica de Madrid. [En línea] 1999. <http://oa.upm.es/130/1/05199904.pdf>.
4. Robert B. Ross. *Metallic materials specifications handbook*. 4th. Glasgow : Springer Science & Business Media, 1992. págs. 298, 299, 417. Vol. I.
5. William D. Callister, Jr. *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. 3ª. Barcelona : Reverté, 2003. págs. 566,586. Vol. II.
6. *Comparison of Hardness and Wear Behaviour of Boronized and Carburized AISI 8620 Steels*. A. Calik, A. Duzgun, A. E. Ekinci, S. Karakas, N. Ucar. 6, 2009, ACTA PHYSICA POLONICA A, Vol. 116, págs. 1029-1032.
7. Juan Mendoza Flores, Rubén Durán Romero, Joan Genescá Llongueras. Laboratorio de Corrosion - Fac. Química UNAM - Laboratorio. [En línea] 2012. <http://depa.fquim.unam.mx/labcorr/libro/Manual-EIS>.
8. Hugh D. Young, Roger A. Freedman. *Física universitaria con física moderna*. 12ª. México, D. F. : Pearson Educación, 2009. pág. 1071. Vol. 2.

DISEÑO DE MÁQUINA PARA LA COLOCACIÓN Y RECOLECCIÓN DE MALLA TÉRMICA EN EL SECTOR AGRÍCOLA

Jesús Vicente Soberanez Gutiérrez, Mauricio Espinoza Armenta, Carlos Alán Espinoza Zepeda, Rommel Arel Leal Palomares, Victoria Paola Cabrera Madera

Instituto Tecnológico Superior de Guasave
vicente199802@hotmail.com

RESUMEN

El municipio de Guasave, Sinaloa, conocido como el “corazón agrícola de México”, se dedica enteramente a la agricultura, por lo tanto, la tecnificación de la misma, representa uno de los principales retos del municipio y del estado. Una de las muchas áreas de oportunidad es la colocación de la malla térmica, ya que actualmente es un tanto rudimentario, requiriendo, al menos 4 personas para su colocación y retiro.

La malla térmica es un material que permite proteger a los cultivos durante la etapa de germinación, por lo que una buena colocación es esencial. El proceso tradicional, consiste en colocar la malla térmica en el inicio de la cama del surco, para que no se mueva, posteriormente se coloca el rodillo por el centro del rollo de la malla para que tenga una rotación libre y los operadores puedan cargar el rollo. Los operadores cargan cada extremo del rollo y comienzan a caminar, otros dos trabajadores fijan los laterales de la malla para que el viento no la mueva de su lugar, al terminar se corta el extremo final y nuevamente se fija.

Como se puede observar, este proceso implementado por los agricultores requiere de mucha mano de obra y es costoso, derivado no solo de la cantidad de personal, sino que en ocasiones esta malla queda inutilizable. El continuo uso de malla térmica, además de constituir un excesivo gasto, representa un foco rojo dentro de los contaminantes agrícolas, ya que está fabricada a partir de polímeros sintéticos no reciclables.

Para ayudar a solventar estas apremiantes necesidades, se diseñó una máquina que facilita la función de despliegue y recolección de malla térmica. El funcionamiento de la máquina diseñada se centra en un rodillo sujeto a una base móvil, la cual es controlada por solo dos operadores, uno para la movilización del implemento y otro para la fijación de la malla térmica. Este último proceso, aunque se puede automatizar, varía dependiendo el cultivo y el estadio de crecimiento del mismo, por lo que es preferible que una persona capacitada, verifique que la semilla o cultivo recubiertos, no resultaron dañados y están en la posición adecuada para su óptimo crecimiento.

Por lo tanto, el diseño de una máquina que realiza las funciones de colocación y recolección de malla térmica, beneficia a los agricultores de la región, puesto que se reduce de manera considerable la cantidad de mano de obra necesaria para llevar a cabo el proceso de despliegue de la malla térmica y con ello se genera un ahorro económico al usuario, puesto que permite dejar la malla térmica en condiciones ideales para que pueda ser reutilizada. Este tipo de innovaciones tecnológicas aportan a la tecnificación del campo sinaloense.

INTRODUCCIÓN

La malla térmica es un material que permite proteger a los cultivos durante la etapa de germinación, por lo que una buena colocación es esencial. Actualmente, el proceso consiste en colocar la malla en el inicio de la cama del surco, para que no se mueva, posteriormente se coloca el rodillo por el centro del rollo de la malla para que tenga una rotación libre y los operadores puedan cargar el rollo. Los operadores cargan cada extremo del rollo y comienzan a caminar, mientras que otros dos trabajadores fijan los laterales de la malla para que el viento no la mueva de su lugar, al terminar se corta el extremo final y nuevamente se fija.

Este proceso ha logrado simplificarse, gracias a que en la actualidad existen algunos dispositivos que llevan a cabo el despliegue de malla térmica:

Acolchonadora de plástico y manta térmica

Se trata de un implemento agrícola el cual debe estar acoplado a un tractor. Además, se requiere de dos operadores uno para conducir el tractor y otro que va montado sobre el implemento este último va accionando una palanca para bajar las paletas laterales y esta fijan la malla en los extremos

(véase Figura 1). Este dispositivo trabaja en un solo surco a la vez. La distancia entre los surcos debe ser de alrededor de 1.5 metros para que las ruedas del tractor no afecten a las plantas. El principal inconveniente es que no todos los agricultores de la región cuentan con un tractor propio y no en todos los cultivos la distancia entre surcos es mayor a 1.5 metros.



Figura 1. Acolchonadora de plástico y manta térmica.

Acolchonadora LOSE

Es un implemento agrícola fabricado y diseñado por los talleres LOSE maquinaria agrícola en la ciudad de Murcia, España. Su funcionamiento consiste en que necesita estar acoplado a un tractor, trabaja en dos hileras o surcos a la vez, cuenta con dos palas delanteras para preparar el terreno, está equipado con un sistema que le permite ser regulable en altura y anchura (Figura 2). Además, cuenta con la capacidad de cambiar sus dimensiones para que pueda acoplarse un rollo de material más grande o pequeño según sea el caso. Sin embargo, esto involucra un incremento en los costos de importación.



Figura 2. Acolchonadora LOSE

Actualmente en la región de Guasave, Sinaloa, no se cuenta con ningún tipo de maquinaria que realice la función de recolección de malla térmica. El proceso para el despliegue es manual y se requiere de gran cantidad de mano de obra. Además, cabe resaltar que no existe una técnica para lograr que la malla quede en condiciones óptimas para ser reutilizada después de su recolección (Figura 3).



Figura 3. Proceso de colocación manual.

El diseño de una máquina que realice las funciones de colocación y recolección de malla térmica beneficiará a agricultores de la región puesto que se reducirá de manera considerable la cantidad de mano de obra necesaria para llevar a cabo el proceso de despliegue de la malla térmica, permitiendo, además, reutilizarla íntegramente, con lo que se reduce la cantidad de desechos plásticos agrícolas. En conjunto, esto generaría un ahorro considerable para el usuario final, es decir, la empresa agrícola que implemente dicha maquinaria.

TEORÍA

Uso de malla térmica en cultivo

Un buen cuidado de las semillas mientras se encuentra en gestación es esencial para una buena cosecha. La semilla después de germinar debe contar con todos los tratamientos y cuidados necesarios para que no perezca, es decir, debe estar a una determinada temperatura, con una humedad del suelo y ambiente controladas. Uno de los métodos o técnicas más eficaces para mantener en óptimas condiciones el desarrollo de los sembradíos, es la colocación de la malla térmica (Paulet, M. 1999).

Malla térmica

La malla térmica agrícola es un geotextil no tejido liviano para la agricultura, estabilizado contra los rayos UV. Debido a su porosidad permite el paso del aire y agua además al utilizarla es posible tener un control biológico y térmico de los cultivos. Se puede utilizar tanto en invernaderos como en el aire libre. Es especialmente recomendada para especies muy sensibles a los ataques de insectos, cambios bruscos de temperatura y a las heladas (Tex Delta. 2018).

Normatividades aplicables

NOM-007-STPS-2000. Establece las condiciones de seguridad con que deben contar las instalaciones, maquinaria, equipo y herramientas utilizadas en las actividades agrícolas para prevenir riesgos a los trabajadores, ésta norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo en donde se realicen actividades agrícolas.

NOM-204-SCFI-2017. Establece las características, especificaciones de seguridad y métodos de prueba que deben cumplir las máquinas con motor de combustión interna portátiles, generalmente de uso agrícola, forestal y doméstico que se comercialicen en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos; con el propósito de prevenir peligro a los consumidores y para la conservación de sus bienes.

Conceptos básicos

Para comprender mejor la presente propuesta, es necesario conocer los siguientes conceptos básicos:

Cinética

La cinética es una rama de la dinámica que se ocupa de la relación entre el cambio de movimiento de un cuerpo y las fuerzas que lo provocan. La base de la cinética es la segunda ley de Newton, la cual establece que cuando una fuerza desbalanceada actúa en una partícula, ésta se acelerará en la dirección de la fuerza con una magnitud que es proporcional a ésta (Hibbeler, R. 1995).

Transmisión mecánica

Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. Una transmisión mecánica es una forma de intercambiar energía mecánica distinta a las transmisiones neumáticas o hidráulicas, ya que para ejercer su función emplea el movimiento de cuerpos sólidos, como lo son los engranajes y las correas de transmisión típicamente, la transmisión cambia la velocidad de rotación de un eje de entrada, lo que resulta en una velocidad de salida diferente (Mott, R. 2006).

Motor de combustión interna

La energía mecánica es indispensable para poner en funcionamiento las diferentes máquinas, esta energía se puede obtener utilizando energía térmica, hidráulica, solar y eólica. La más utilizada es la energía térmica que se obtiene de la quema de los combustibles de naturaleza orgánica tales como los hidrocarburos. Los motores de combustión interna transforman la energía térmica del combustible en trabajo útil. Un motor de combustión interna tiene como propósito la producción de trabajo mecánico a partir de la energía química contenida en un combustible (Rafael y Hernández, 2014).

Elementos mecánicos, materiales y herramientas

El correcto funcionamiento de la maquinaria depende, en gran medida, de seleccionar los elementos mecánicos y materiales adecuados. A continuación, se describen los más importantes que se consideraron durante el diseño.

Cadenas y catarinas

Una cadena es un componente confiable de una máquina, que transmite energía por medio de fuerzas extensibles, y se utiliza sobre todo para la transmisión y transporte de energía en los sistemas mecánicos. La función y las aplicaciones de la cadena son similares a la de una correa. Debido al contacto continuo que experimentan sus dientes, estos sufren desgaste a determinado tiempo, por lo cual se han realizado trabajos con el fin de que estos tengan un mejor desempeño (Dorantes, F. 2014).

Acero al carbono 1045

Es un acero de resistencia media en estado laminado en caliente o en la condición de forjado. Puede ser tratado térmicamente por temple convencional o en aceite. Es típico para ser templado a la llama o por inducción obteniéndose una dureza superficial de 55-58 Rockwell C. Es ampliamente utilizado en la industria automotriz. Se usa en partes de máquinas que requieran dureza y tenacidad como manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes, acoplamientos, arboles, bielass, cigüeñales, piezas de armas, etc. También se utiliza para la fabricación de herramientas agrícolas, mecánicas y de mano forjadas (Maldonado, J. 1996).

SolidWorks®

Es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

PARTE EXPERIMENTAL

El diseño de la máquina se llevó a cabo con base en la metodología descrita a continuación, propuesta por Robert L. Mott (2006).

Identificar los requisitos del cliente. Para determinar los requisitos del usuario se realizó una entrevista a diferentes agricultores de la región que utilizan el método de colocación de malla térmica, ya sea de manera manual o mecanizada. La entrevista se basó en la metodología de Shigley, se identificaron las propiedades y los factores de funcionamiento que el cliente necesita además las dimensiones necesarias de la máquina para que trabaje adecuadamente en un surco.

Las preguntas fundamentales que se realizaron para recabar la mayor cantidad de información útil para el diseño mecánico, son las siguientes:

Cuando se coloca:

- ¿Qué método utiliza actualmente para colocar la malla térmica?
- ¿Cuántas personas se requieren para colocar la malla térmica?
- ¿Cuánto tiempo se tardan en colocar la malla térmica?
- ¿En qué tipo de cultivo utiliza la malla térmica?
- ¿Cuánto tiempo dura colocada la malla térmica?
- ¿Cuál es el peso aproximado de un rollo de esta malla?
- ¿Cuáles son las longitudes del rollo de malla térmica que ustedes utilizan?
- ¿Cuáles son las dimensiones de los surcos del terreno?

Cuando se retira:

- Aproximadamente, ¿cuánta malla térmica utiliza por temporada?
- ¿Qué método utiliza actualmente para retirar la malla térmica?
- ¿Reutiliza la malla térmica cuando se termina la temporada?

Definir las funciones del dispositivo.

El usuario especificó que las funciones principales de la máquina debían ser colocar y recolectar la malla térmica dejándola en buenas condiciones para su reutilización.

Indicar los requisitos del diseño.

Con base en las especificaciones del cliente se definió que las dimensiones y parámetros necesarios debían ser que la máquina trabaje en un solo surco con una distancia entre rueda y rueda de 1 metro, además la máquina solo necesita de un operador para trabajar de la mejor manera y el tipo de material a utilizar debe ser uno accesible en el mercado y que no presentes fallas por aplicación de cargas o esfuerzos cortantes.

Definir los criterios de evaluación.

Se establecieron las características cualitativas que se requieren para el diseño, las cuales sirvieron como apoyo para la elección de mejor opción de diseño. Tales características son las determinadas por el usuario final como requisitos de diseño.

Proponer varios conceptos de diseño alternativos.

Se plantearon diversas propuestas de diseño, diferentes dimensiones y características de manipulación, las cuales se analizaron con base en los criterios de diseño y en conjunto con el usuario final.

Evaluar cada alternativa propuesta.

Se evaluó cada alternativa propuesta siguiendo la metodología de Mott (2006), considerando los principales criterios de diseño que, como se mencionó anteriormente, son que la máquina trabaje en un solo surco con una distancia entre rueda y rueda de 1 m, además, que el material con el que se diseñe, sea accesible en el mercado y en precio. Por otro lado, el usuario final también indicó que preferentemente solo se necesite un operador para realizar todas las funciones.

Seleccionar el concepto de diseño.

Con base en lo anterior y de acuerdo al usuario final, se seleccionó el diseño más apegado a los requisitos de diseño establecidos.

Completar el diseño detallado del concepto seleccionado.

El diseño óptimo que se seleccionó fue el que mejor cumplía con los criterios establecidos por el usuario final (Figura 4).

RESULTADOS

Como se mencionó, para la elaboración de esta propuesta, se implementó la metodología de Mott (2006), con la cual se definió que el requisito de diseño más importante a considerar para el diseño de la máquina es el tamaño y resistencia. Después de proponer varios conceptos de diseño alternativo se seleccionó el diseño que cumplía con los requisitos del cliente y las condiciones de seguridad, el cual se diseñó y detalló en el software SolidWorks® 2015.

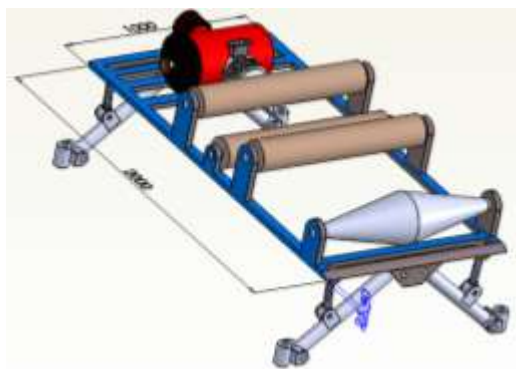


Figura 4. Modelo 3D en SolidWorks ® 2015.

Una vez detallado el diseño óptimo, se procedió a realizar una serie de simulaciones pertinentes en el software SolidWorks® 2015 y su complemento MDSolids 4.0, lo que permitió realizar el análisis de fallas en los materiales seleccionados para su manufactura.

Se realizó una simulación de cargas estáticas de la máquina en la sección donde el rodillo soportará el peso total del rollo de malla térmica, que pesa 34 kg o aproximadamente 353 N. Esta simulación se observa en la figura 5 y como se puede observar hay una gama de colores que va desde el azul al rojo, donde el azul indica que hay poca probabilidad de falla, mientras que el color rojo indica las zonas donde es más probable que falle el elemento mecánico.

Esto último, de acuerdo a la simulación, no indica que se vaya a fracturar, pues de acuerdo al análisis, la deformación (el punto más bajo de la zona roja), es de $2.21 \times 10^{-6} \text{ mm}$, lo que, para fines prácticos, se considera despreciable.

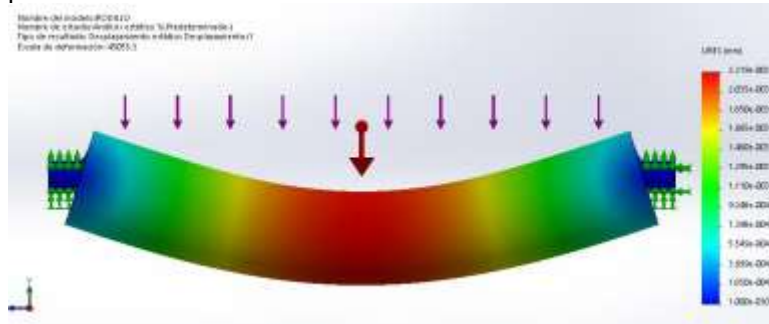


Figura 5. Simulación de cargas estáticas en SolidWorks® 2015 para la sección donde se soportará el peso del rodillo.

Por otro lado, se hizo un análisis modular para conocer el comportamiento de las vigas que soportarán el peso del motor, el cual es de 25 kilogramos o 246 N. Para conocer el módulo de sección mínimo para las vigas que soportan el peso del motor, cuyas dimensiones son de 1 x 2 pulgadas, se consideró que el material a utilizar es acero ASTM A36 y el peso total del motor; sin embargo, dado que van a ser dos vigas las que lo sostengan, no se consideró el peso total del motor, sino 12.5 kg por cada viga, esto equivale aproximadamente a 122 N por viga.

Utilizando la fórmula de módulo de sección mínimo:

$$\delta_{min} = \frac{M_{max}}{\sigma_u}$$

Donde:

δ_{min} = Módulo de sección mínimo

M_{max} = Momento máximo

σ_u = Esfuerzo último del material ASTM A36

Considerando que

$$\sigma_u = 79300 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Y el momento máximo, que es el que se observa en la parte superior de la figura 6 y cuyo valor es:

$$M_{max} = 27450 \frac{N}{\text{mm}}$$

Se obtiene el siguiente resultado:

$$\delta_{min} = 0.3461 \text{ mm}$$

Como se puede observar, este valor es demasiado bajo, por ende, se entiende que cualquier módulo de sección comercial que se elija, cumplirá satisfactoriamente con su labor y no presentara fallas.

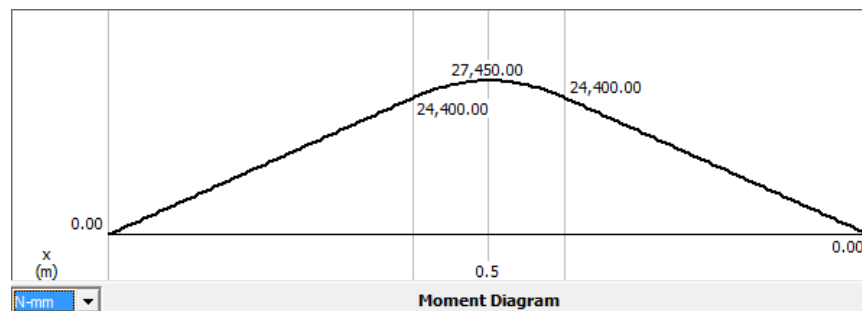


Figura 6. Simulación en MDSolids 4.0 para el soporte del motor.

CONCLUSIONES

El material seleccionado, en este caso el ASTM A36, cumple satisfactoriamente las demandas de diseño de las cargas aplicadas, ya que, en este caso la mayor carga que se le puede aplicar es la de un rollo de malla térmica completo el cual tiene un peso de alrededor de 25 kg. Esto se concluye con base en el análisis de cargas realizado, puesto que las deformaciones que presenta el material son extremadamente bajas con respecto a su dimensión.

Respecto a las vigas que soportan el peso del motor, se determinó que el valor del momento que se va a generar en ellas, es muy bajo y esto ocasiona que el módulo de sección mínimo para soportar esta carga sea muy bajo, es decir, el esfuerzo máximo aplicado al material es menor al esfuerzo permisible del mismo, por lo tanto, es posible concluir que cualquier módulo de sección comercial de acero ASTM A36 que se elija, no va a presentar ningún tipo de falla.

Es importante resaltar, que en las simulaciones las deformaciones son exageradas para que se pueda apreciar de mejor manera el comportamiento de los elementos mecánicos analizados, no significa que al colocar el peso de la malla o del motor, los elementos mecánicos se vayan a deformar de esa manera.

BIBLIOGRAFÍA

1. Paulet, M. (1999). Los recursos de agua y suelo para la agricultura y el desarrollo rural. *Comunica*, 4, Pp. 35-50).
2. NOM-007-STPS-2000, Actividades agrícolas: instalaciones, maquinaria, equipo y herramientas- Condiciones de seguridad.
3. Mott R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
4. Hibbeler, R. (1995). *Dinámica*. México: Prentice Hall.
5. Dorantes, F. (2014). Pronóstico de cadenas Markov para la planeación de estrategias comerciales en la empresa Ma-rinter, S. A. de C.V. En *Revista Ingeniantes* Año 3 No. 1 Vol. 1(pp 66-70).
6. Rafael M., Y. y Hernández, A.. (2014). Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustibles. Instituto Mexicano del Transporte, (pp 3-5).
7. NOM-204-SCFI-2017, Maquinaria con motor de combustión interna portátiles, generalmente de uso agrícola, forestal y doméstico-Especificaciones y métodos de prueba.
8. Maldonado, J. (1996). *Aceros y sus aplicaciones*. Tesis en opción al grado de maestro en ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en materiales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Monterrey, México.

INTERPRETACION DE SEÑALES CEREBRALES MEDIANTE LA DIADEMA EMOTIV EPOC

Guillermo L de J Raya Álvarez^{1*}, Carmen Salazar Hernández², Santiago Camacho López³, Horacio Rostro González⁴, Miroslava Cano Lara¹

¹TecNM/ITES de Irapuato, ²Instituto Politecnico Nacional, UPIIG, ³Centro de Educación Científica y de Educación Superior de Ensenada, ⁴Universidad de Guanajuato, DICIS.

*jesusleoxd@outlook.es

RESUMEN

Con el desarrollo de las nuevas tecnologías y la mejora continua de los sistemas de encefalografía es posible censar la mínima diferencia de potencial generada por el comportamiento y pensamiento en una persona. En este trabajo se presenta el estudio del comportamiento de las señales cerebrales generadas por sentimientos y pensamientos directamente relacionadas con el cerebro, creando una Interfaz Cerebro-Ordenador (BCI). Se emplea la diadema Emotiv EPOC y por medio de sus 14 electrodos distribuidos estratégicamente sobre los lóbulos parietal, frontal, occipital y temporal se adquieren los datos sensoriales. Las señales Gamma, Beta, Alpha, Theta y Delta dependen de su dominio de la frecuencia y de la acción a ejecutar en la persona en estudio, dichas señales Electroencefalograma (EEG) son adquiridas por el software Emotiv Xavier Control Panel y algoritmos en C y Python. Los resultados muestran la interpretación y entendimiento de los estados cognitivos en tiempo real como: estrés, concentración, relajación, vigilancia. Que puede generar una persona al realizar ciertas acciones específicas como abrir y cerrar ojos, problemas de concentración mental o estar alerta de alguna situación.

INTRODUCCIÓN

Con los avances tecnológicos recientemente, se han propuesto diversas alternativas para tener una mejor calidad de vida y reintegrar a personas con alguna disfunción motriz o cognitiva es decir problemas con el habla o entendimiento. Se desarrollan sistemas BCIs (por sus siglas en ingles Brain Computer Interface), las cuales se encargan de interpretar las señales del cerebro y darles un propósito, por ejemplo, una persona cuadripléjica pensaría en mover sus brazos y el BCI se encargaría de procesar esa información para posteriormente mandarle la orden a brazos robóticos que hagan lo que la persona está pensando en hacer [1].

Obtener las señales cerebrales no es algo de fácil acceso, se debe tener un dispositivo adecuado, de alta sensibilidad y calidad. Para obtener cada una de las señales EGG (por sus siglas en ingles Electroencefalograma) se utilizan dispositivos con sensores de tipo electrodos (Véase la Fig. 1a), por ejemplo, la diadema EPOC de emotiv que contiene 14 electrodos distribuidos por la zona cerebral (Véase la Fig. 1b). La diadema es sensible a la detección de diferencia de tensión esperando ver un cambio en las gráficas de detección del software Emotiv Xavier Control Panel, siempre y cuando la diadema este bien colocada y distribuida por la zona cerebral [1].

Los electrodos mostrados en la Fig. 1b se encuentran 2 en el lóbulo occipital, 2 en el lóbulo parietal, 2 en el lóbulo temporal y 8 en el lóbulo frontal de los cuales los 4 seleccionados de color azul son los utilizados para el estudio. Estos electrodos están distribuidos de esta manera debido a la actividad cerebral que se encuentra en cada uno de estos respectivamente [2].

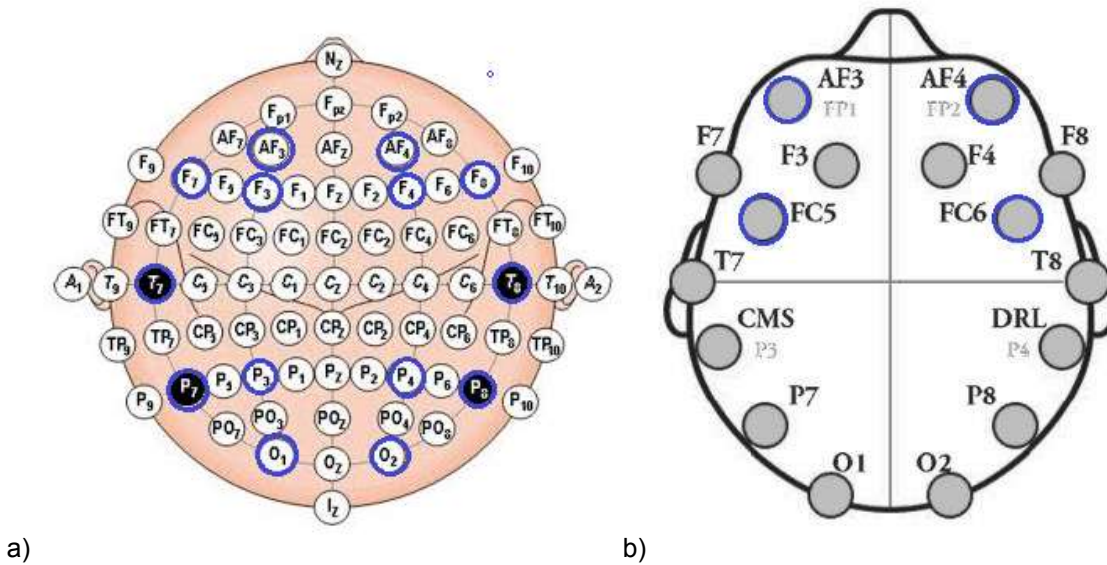


Figura 1. a) Correspondencia de los 16 electrodos de la diadema EPOC de emotiv con la distribución de 64 electrodos de un EGG tradicional, b) Distribución de sensores diadema EPOC.

El lóbulo occipital solo se encarga de procesar las imágenes, el lóbulo parietal detecta las sensaciones e integra las entradas sensoriales, el lóbulo temporal maneja el lenguaje auditivo y los sistemas de comprensión del habla y por último el lóbulo frontal el más grande de todos los lóbulos y considerado el de mayor importancia funcional en la especie humana integra el control de los movimientos, control de la conducta y emociones. En el lóbulo frontal existen dos grandes territorios uno llamado corteza frontal y el otro llamado corteza prefrontal, el de corteza frontal cumple las funciones de carácter motor y el de corteza prefrontal ubicado justo atrás del frontal, es el encargado de los procesos ejecutivos, la toma de decisiones y de diferentes aspectos relacionados con la regulación de las emociones [1].

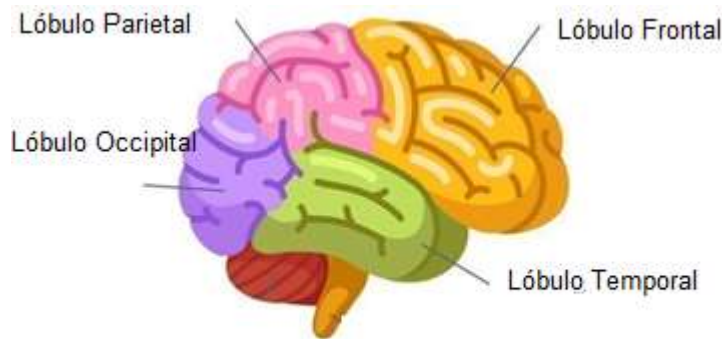


Figura 2. Localización de los lóbulos cerebrales.

Hay más sensores distribuidos por el lóbulo frontal ya que es el de mayor importancia, un ejemplo es si el paciente empieza a pensar en mover su brazo o pierna, entonces estamos hablando de una acción motriz esto nos lleva al lóbulo frontal que es el encargado del control del movimiento, por lo tanto, tendríamos que buscar en los sensores frontales para ver alguna percepción de los datos. La parte izquierda del cerebro controla la parte derecha del cuerpo y la parte derecha del cerebro

controla la parte izquierda del cuerpo, entonces si se le diera la orden al paciente de intentar pensar en mover su brazo izquierdo encontraríamos datos fiables en los sensores frontales del lado derecho de esta manera es como se interpretan los datos obtenidos de cada uno de los sensores [2]. Para la detección de emociones también se debe de enfocar en los sensores frontales en el cerebro encargados de controlar las emociones, se espera ver señales que las señales varíen cuando los pacientes experimenten sensaciones o emociones de manera sorpresiva.

Por su parte, la electroencefalografía registra y evalúa los potenciales eléctricos generados por el cerebro y obtenidos por medio de electrodos situados sobre la superficie del cuero cabelludo. El registro de actividad eléctrica del electroencefalograma posee formas muy complejas que varían mucho con la localización de los electrodos entre individuos; esto es debido al gran número de interconexiones que presentan las neuronas y por la estructura no uniforme del encéfalo. Existen cuatro formas de obtener señales bioeléctricas cerebrales por diversos procedimientos son: sobre el cuero cabelludo, en la base del cráneo, en el cerebro expuesto y en localizaciones cerebrales profundas.

Los electrodos por su nomenclatura indica la región donde esta ubicados: frontal(F), parietal(P), temporal(T), occipital(O) y central(C) en la figura 1a , se muestra la correspondencia de los electrodos de la diadema EPOC de emotiv con los de un encefalografo tradicional de 64 electrodos. Las señales EEG muestran una idea de lo que está pasando en el cerebro en el apartado de definición (Véase en la Tabla 1), por ejemplo, estado de reposo, en vigilia o sueño, posterior a la visualización se pueden procesar los datos para los cuales ya no se tomarían muy en cuenta las frecuencias de ancho de banda. Las señales se encuentran en el rango de frecuencias de 0 a 50Hz y se clasifican en 4 bandas de frecuencia [1].

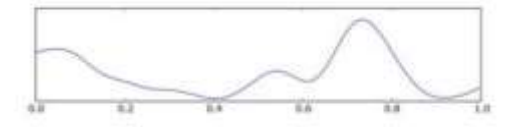
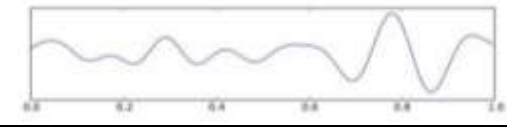
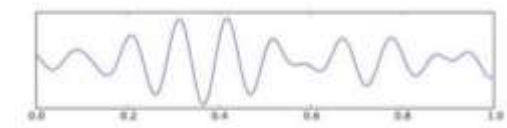
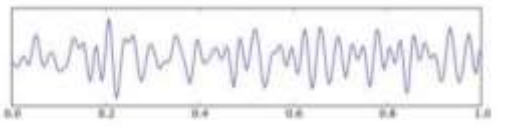
Banda de frecuencia	Ilustración	Definición
Delta		0-4 Hz Normalmente se asocian con el sueño profundo y la inconsistencia.
Theta		4-8 Hz Normalmente asociadas con la relajación y la modorra.
Alpha		8-13 Hz Normalmente se asocian con la relajación, meditación, la inhibición del control o el acto de cerrar los ojos. Patológicamente se asocian con el coma.
Beta		13-30 Hz Normalmente se asocian con el estado de alerta, actividad o alta concentración y pensamiento.

Tabla 1. Datos de las señales EEG.

La grabación de la actividad cerebral y su posterior análisis, logra en el área médica distinguir las crisis de epilepsia de otros tipos de enfermedades, prueba la muerte cerebral, determinar cuándo administrar medicamentos antiepilépticos, los ataques no convulsivos epilépticos, entre otros.

Con el apoyo de las Interfases cerebro computadora, la diadema EPOC emplea el software dado por la compañía, llamado EMOTIV XAVIER CONTROL PANEL, en donde se puede interactuar con la diadema, viendo así un poco de su actividad, reflejando las acciones faciales, la concentración entre otras acciones. Por su parte, CyKIT es un programa desarrollado para la obtención de los datos de los 14 electrodos en tiempo real con la diadema EPOC (Véase en la Figura 3), donde se puede determinar tiempos de muestreos de datos en el entorno de programación de Python, que interactúa perfectamente. Se emplea en este trabajo para observar el comportamiento de las señales, cuando estas llegan a una frecuencia demasiado alta, si la frecuencia es pequeña o si no hay señal.

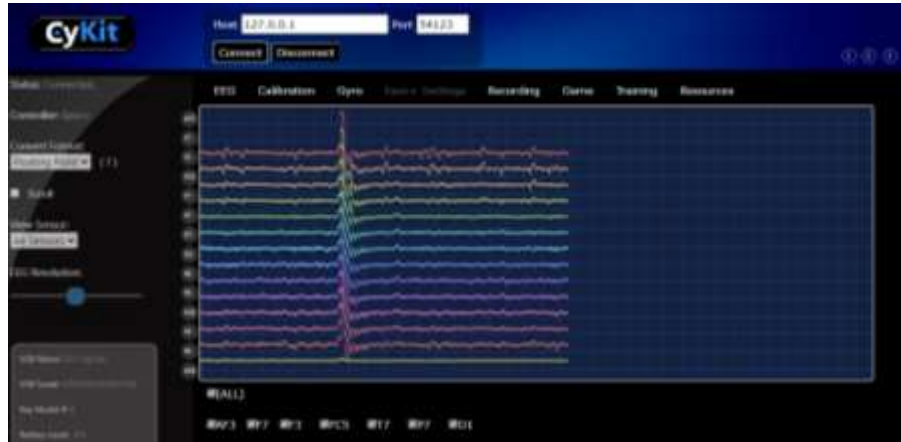


Figura 3. BCI entorno CyKIT.

Los valores obtenidos por CyKIT son valores obtenidos en μV (MicroVolts), y necesitan ser centralizados y normalizados. La centralización emplea la Ec. 1, se resta la mitad de sus valores para adquirir valores negativos y positivos. La diadema EPOC van de 0 a 8400 (vpp) [3].

$$\text{datos centralizados} = \text{datos crudos}[\mu V] - 4200 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Para normalizar los valores lo que se hace es obtener el valor máximo absoluto de todos los valores centralizados y dividir entre el resultado de este, para obtener valores entre 1 y -1, (Ver Ec. 2) [3].

$$\text{datos normalizados} = \frac{\text{datos centralizados}}{\text{valor maximo}(\text{valor absoluto}(\text{datos centralizados}))} \quad \text{Ecuación (2)}$$

En la Figura 4 se muestran respectivamente los valores crudos (ver Fig. 4a) donde se grafica la toma de datos libres, los valores centralizados (ver Fig. 4b) donde se visualizan los datos centralizados obteniendo así números negativos y positivos de la señal, y los valores normalizados (ver Fig. 4c) de una toma de datos libre de 169 muestras, siendo la misma gráfica, pero su rango se ajusta.

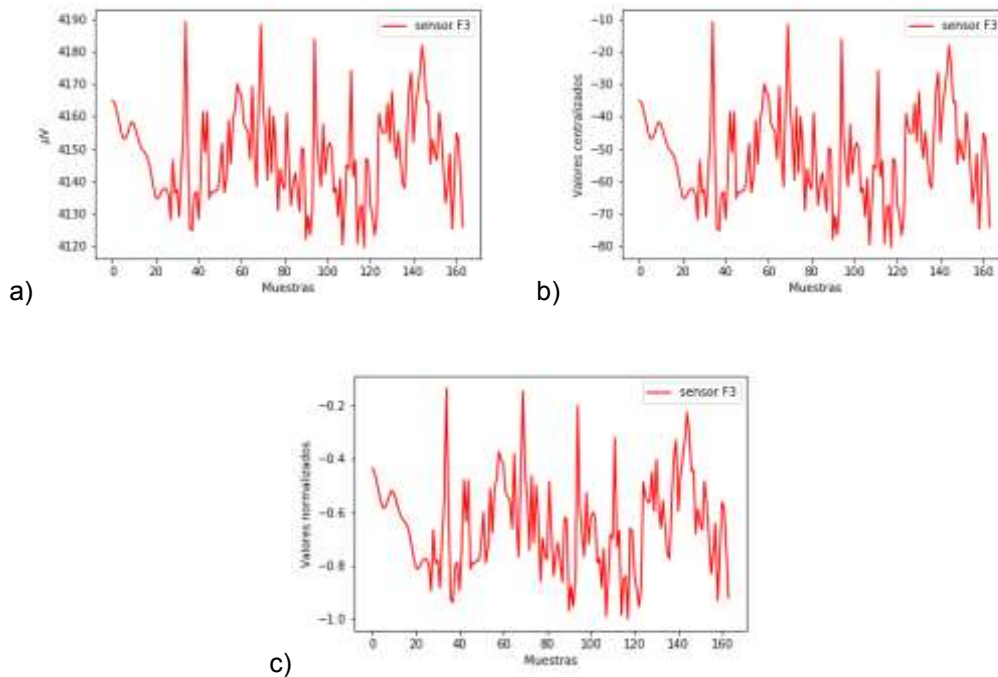


Figura 4. Graficas adquiridas en CyKIT: a) Datos crudos directamente obtenidos de la diadema EPOC, b) Datos centralizados y c) Datos normalizados.

El presente estudio se genera a base de la diadema EPOC un dispositivo no invasivo, donde sus electrodos se colocan en la parte del cuero cabelludo. Se estudia el comportamiento de las EEG y estas señales por separado en los cuatro electrodos que se utilizaron. Los datos generados por el sujeto de prueba (infante de 9 años) de donde se obtienen las señales de 4 sensores ubicados en el lóbulo más grande e importante, el lóbulo frontal.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la interpretación de las señales cerebrales se utilizan los valores normalizados dados por el programa Python, empleando las Ec. 1 y 2 respectivamente. Se estimula la emoción del miedo, para estudiar como influye en el estado de relajación y como enseguida activa el estado de alerta. Se utilizaron 4 sensores de la diadema EPOC de Emotiv: AF3, AF4, FC5 y FC6. Los sensores AF3 y AF4 están ubicados en la corteza frontal del lóbulo frontal para obtener las acciones motoras como el cambio al cerrar los ojos, abrir los ojos y pestañear. Los sensores FC5 y FC6 están ubicados en la corteza prefrontal del lóbulo frontal con estos datos se observa si hay un cambio en las emociones de un estado relajado a un estado de alerta o miedo.

Se toma en cuenta a un sujeto de prueba (infante de 9 años). En la primera prueba se visualiza cuando se encuentra relajado y es asustado repentinamente. En la segunda prueba se espera que este ya no esté relajado y se encuentre alerta debido a su experiencia, de esta manera se podrá visualizar su estado de alerta.



Figura 5. a) Sujeto de prueba observando video de relajación. b) sujeto de prueba observando video de suspenso apto para menores.

El procedimiento fue colocar al sujeto de prueba sentado y en estado de relajación por unos minutos, posteriormente se le mostró video de relajación que duro aproximadamente 6 minutos (Véase en la Fig. 5a), al momento de adquirir las señales de la diadema se observó una diferencia de señales cuando el sujeto solo estaba sentado y al momento de ver el video. En seguida del primer video se dejó al sujeto de prueba viendo un video de suspenso, con la finalidad de poder tener datos más significativos, debido a que primero se colocó a relajarse entonces no se esperaba que en seguida tuviera que ver un video de un estilo totalmente diferente (Véase en la Figura 5b). Por último, se colocó al sujeto de prueba a ver una segunda vez el video de suspenso, por lo que se esperaba que el sujeto de prueba estuviera totalmente alerta, ya que sabía que la finalidad era asustarlo, a diferencia de la primera vez que vio el video de suspenso, esta segunda vez no se asustó porque estaba totalmente alerta. La relación directa que existen estos comportamientos con las señales EEG, es que directamente si el sujeto de prueba está concentrado sabremos que hay actividad cerebral pero no tan marcada siendo así una señal EEG Alpha, y para cuando el sujeto de prueba está en estado de alerta, se encuentra más actividad cerebral, esto quiere decir que hay más frecuencia en la fluctuación de los datos, por lo tanto, lo clasificaríamos como una señal EEG beta [1].

RESULTADOS

El análisis de las ondas cerebrales funciona mediante la visualización de los datos capturados por CyKIT y guardados en un archivo *.csv de donde se puede manejar y visualizar de mejor los valores en el IDE de Python solo la parte de interés, incluyendo la lectura de los 4 sensores: AF3 en color negro, AF4 en amarillo, FC5 en magenta y FC6 en azul (ver Fig. 6).

El parpadeo es una de las funciones primordiales del cuerpo humano que muchas veces dejamos de notar, pero se sabe que cuando cerramos los ojos por un instante de tiempo no hay imágenes que el cerebro pueda procesar por lo que cuando las abrimos de nuevo tenemos un cambio drástico en las señales de los sensores AF3 y AF4 que son los encargados de los sistemas motrices [4], en este caso cerrar y abrir los ojos. Se observa un cambio (señalado con flechas) en los valores picos superiores a 0 que son las veces que le se le pidió al sujeto de prueba que parpadeara. Los sensores de interés fueron AF3 y AF4, negro y amarillo respectivamente.

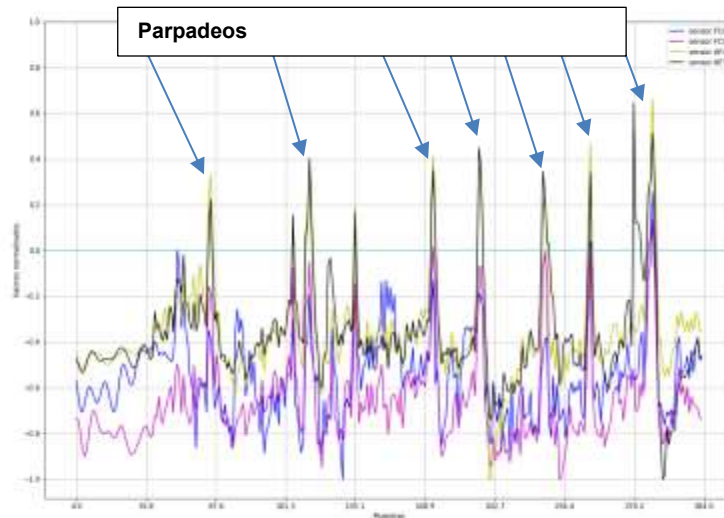


Figura 6. Datos de los sensores FC6, FC5, AF4 Y AF3.

Como se puede observar la mayoría de los valores obtenidos en los pestañeos están por debajo del 0, debido a que el sujeto de prueba estaba ejecutando una acción demasiado fácil no está concentrado porque no era necesario estarlo para lograrlo. A diferencia que cuando se colocó a visualizar un video de concentración y relajación, los valores estuvieron fluctuando solo un poco debajo del cero, teniendo una variación solo por el parpadeo involuntario (Véase en la Figura 7).

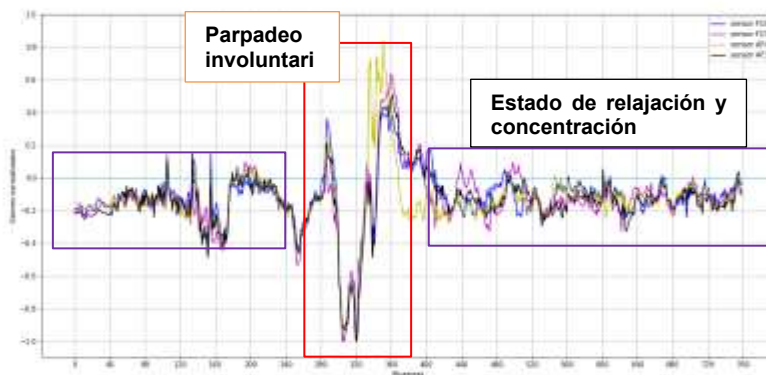


Figura 7. Señales obtenidas mientras el sujeto de prueba se encontraba concentrado.

Por último, se tienen los datos obtenidos por los sensores cuando el sujeto se encontraba visualizando el video de suspenso, este se divide en dos etapas, visualizar el video por 1ra y 2da ocasión. Notase que se utilizaron solo dos sensores esta vez, debido a que los sensores CF5 y CF6 están ubicados en la parte prefrontal del lóbulo frontal [4], encargada del control de las emociones. Lo que se busca fue cambiar las emociones del sujeto de prueba, si estaba en un estado de relajación, se le sorprendió con un video de suspenso con el cual se llegó a asustar, buscando así que el sujeto de prueba entrara en estado de alerta y vigilancia para no volver a ser sorprendido.



Figura 8. Señales obtenidas del sujeto de prueba mostrando la sensación de susto.

Los resultados muestran el momento exacto en el que se asustó por primera vez el sujeto de prueba, región naranja donde se localizan las muestras 631-946. Cabe destacar que alrededor de las 3mil muestras se tomaron en un tiempo estimado de 2.53 minutos, por lo que el susto duro un instante (Véase en la Figura 8).

En los resultados de la segunda vez solamente se podía esperar que el sujeto estuviera totalmente alerta, por lo que nunca sucedió un segundo susto, este ya sabía que pasaría y no se le volvió a sorprender (Véase en la Figura 9), se observa claramente en el rango de las 631-946 existe un pequeño pico sustancioso, exactamente en la misma escena donde surgió el susto la primera vez, en ese preciso momento, es posible que el sujeto se encontraba esperando la escena que ya conocía y por un pequeño susto se generó el pico de valores, cabe recalcar que es mucho más notable en la primera vez.



Figura 9. Señales obtenidas del sujeto de prueba visualizando el video de suspenso por segunda vez.

CONCLUSIONES

La diadema EPOC es un instrumento de obtención de datos electroencefalográficos, sus electrodos con recubrimiento de oro hacen de estos sensores de alta calidad, es de fácil colocación, pero es de preparación tardada, debido a que se deben lubricar todos los sensores, aunque solo tengas que utilizar 2 o 4, los 14 electrodos deben estar bien colocados y al 100% de su capacidad para recolectar datos, de esta manera obtenemos datos de más fiabilidad. Para empezar a trabajar con señales y datos obtenidas por la electroencefalografía, se necesitó investigar desde que unidades manejar hasta como suponer que serán las señales, suponer resultados, todo esto para afrontar con información de alta fiabilidad cuando se trabaje en un entorno similar, si en un futuro se investiga más sobre la neurociencia y la electroencefalografía, se deberán aprender a tratar estas señales, a procesarlas, investigar métodos matemáticos con los cuales saber si la persona se encuentra en un estado de ánimo determinado, si la persona está pensando en mover sus brazos o piernas, si la persona está pensando en planear un dron, hay bastante campo de investigación por la cual pasar antes de poder manipular de una manera adecuada sistemas mecatrónicos mediante solo pensarlo. Los resultados que se obtuvieron para el análisis de las señales fueron obtener estas, guardarlas y visualizarlas de una manera mucho mejor en una interfaz IDE de Python este mismo programa puede servir de base para el posterior procesado de las señales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Tehuiztli, M., & Victoria, I. (2016, December 01). Desarrollo de un modelo bimodal para el análisis de sentimientos utilizando señales electro-encefalografías. Retrieved June 09, 2020.
2. Badcock, N., Preece1, K., Wit1, B., Glenn3, K., Fieder1, N., Johnson, Whitehouse AJO. (2015, April 21). Validation of the Emotiv EPOC EEG system for research quality auditory event-related potentials in children. Retrieved June 09, 2020.
3. DC Offset. (n.d.). Retrieved June 10, 2020, from https://emotiv.gitbook.io/emotivpro/notes_on_the_data/dc_offset
4. ¿Qué es el lóbulo frontal? (2020, February 10). Retrieved June 10, 2020.

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ILUMINACIÓN RESIDENCIAL

A. Domínguez-Torres¹, O. López-Hernández¹, A. Benítez-Lara²

¹Centro de Investigaciones en Óptica A.C., Loma del Bosque 115, Colonia Lomas del Campestre León, Guanajuato, México. Código Postal 37150

² CONACYT-CIO, Loma del Bosque 115, Colonia Lomas del Campestre León, Guanajuato, México. Código Postal 37150

*alfredbl@cio.mx adominguezt91@gmail.com

RESUMEN

Los paneles fotovoltaicos que se usan comúnmente tienen un costo elevado y requieren de bastante espacio para su instalación. Para dar una alternativa a esta situación, en el presente proyecto se propone la fabricación de paneles solares en módulos con capacidad de adaptarse a áreas reducidas o específicas con un método ya desarrollado en la industria. El método de fabricación consiste en colocar en un vidrio bajo en hierro de 3 mm de espesor una estructura formada de una celda fotovoltaica entre dos hojas de EVA seguido de una hoja de acetato; de esta manera se reduce el peso, el costo del módulo y se asegura un aislamiento adecuado para ser usado a la intemperie. El sellado se realiza introduciendo los módulos a un horno al vacío a 115°C por 2 horas. La interconexión de los paneles se realiza con unos conectores diseñados para soportar la intemperie, asegurando el aislamiento de los contactos entre cada módulo. La energía obtenida con los módulos fotovoltaicos se almacenó en una batería de 12V, en donde un controlador de carga distribuye la energía que se suministra a los sistemas de iluminación. El controlador de carga se diseñó con sistemas digitales implementando una interfaz gráfica para el usuario donde se muestra el tiempo aproximado de energía disponible y la distribución de la carga para un dispositivo eléctrico. Cabe mencionar, que al ser módulos tan livianos e independientes se pueden utilizar para producir energía en lugares donde las compañías de electricidad no tengan cobertura.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existen varias maneras de implementar sistemas fotovoltaicos a nivel residencial, generalmente al emplear un sistema fotovoltaico es necesario designar un área considerablemente grande para la instalación de este. Este proyecto está enfocado en la reducción del espacio necesario para su instalación y la modalidad de poder ser instalado en diferentes espacios, así como dar una alternativa más económica. Para lograr esta reducción de espacio necesario se modificaron las celdas solares de tal manera que cada módulo genera mayor voltaje y estos pueden ser conectados de diferentes maneras para adaptarse al lugar en que se instalarán. Para almacenar la energía obtenida con los módulos solares, se emplea una batería plomo-acido debido a su disponibilidad y costo accesible. Las baterías que se emplean comúnmente tienen un costo elevado. La energía almacenada en un sistema fotovoltaico es distribuida de tal manera que la capacidad de almacenamiento se utiliza conforme a la demanda. Para limitar el consumo de la batería, se diseñó una interfaz de usuario que es capaz de administrar la energía almacenada y distribuirla de tal manera que reduce el tiempo de descarga por la demanda de corriente.

TEORÍA

Tomando en cuenta la cantidad de energía proporcionada por el sol, nos da a entender que es necesario aprovecharla de diversas maneras. Considerando que parte de esa energía recibida en la tierra es en forma de radiación, es adecuado trabajar en equipos que puedan aprovecharla. Se conoce que la energía proporcionada por el sol es en cantidades elevadas, pero no toda esta energía llega al planeta. En el libro Radiación solar y aspectos climatológicos de Almería 1990-1996 (Barbero, 1998) menciona que de la potencia de la radiación solar recibida por la tierra es del orden de los 1.7×10^{14} kW. La energía recibida durante un año de es 1.5×10^{15} MWh y equivale aproximadamente a unas 28000 veces la energía consumida en el mundo en el mismo periodo de tiempo.

Para entender como la energía solar puede generar electricidad, es importante conocer el efecto fotovoltaico que se caracteriza por la producción de una corriente eléctrica entre la unión pn de

semiconductores expuestos a la luz. Este efecto consiste en convertir la luz solar o energía luminosa en energía eléctrica (Barrera, 2010, pág. 13). Los materiales semiconductores (como el silicio) tienen la particularidad de presentar un comportamiento diferente ante la electricidad. El comportamiento de los semiconductores depende de si una fuente energética externa los excita o no. Esta fuente energética sería, en este caso, la radiación solar. Cada electrón liberado deja atrás un agujero, o espacio libre, hasta que lo ocupe un electrón que ha saltado de otro átomo. Estos movimientos de los electrones liberados o de los espacios que dejan atrás es lo que se llaman cargas eléctricas.

Para generar este efecto se hace uso de celdas fotovoltaicas que permiten un flujo de corriente por los materiales tipo P y tipo N para obtener una diferencia de potencial. Este proyecto se enfoca en el uso de celdas monocristalinas por presentar mayor eficiencia en aprovechamiento de energía, esto también conlleva a una reducción del espacio que necesitan para su instalación. El proceso de fabricación requiere de un alto consumo de energía lo cual las hace ligeramente más caras.

Tienen una eficiencia de conversión que varía en el rango de 15 a 24%.

El proceso de fabricación de paneles fotovoltaicos es muy conocido y estandarizado. El proceso consiste en formar un sándwich compuesto por vidrio extra claro de bajo contenido en hierro, etilo vinil acetato (EVA) y algún polímero, este último dependiendo del fabricante. El proceso de montaje consta en colocar sobre el vidrio una capa de EVA, seguido de la celda solar, colocar otra capa de EVA y por último una hoja de polietileno o acetato. Se introducen a un horno con vacío o laminadora y se realiza el sellado derritiendo el EVA. Está técnica estandarizada, garantiza un sellado de 25 años de la celda solar.

PARTE EXPERIMENTAL

Se clivaron las celdas solares y se conectaron en serie con lo que fue posible generar un voltaje de casi 2V por cada módulo. Posteriormente se hornearon los módulos al vacío. En esta parte se utilizó un vidrio para proporcionar dureza, así como dos capas de EVA para sellar la oblea de silicio y una hoja de acetato en la parte posterior, esto con el fin de darle una protección al material y tener la posibilidad de darle uso en exteriores.

La estructura del módulo que se horneó fue de la siguiente manera:

- La celda se colocó entre dos hojas de EVA
- En la parte superior se empalmó el vidrio para proporcionar dureza al módulo.
- En la parte inferior se agregó una hoja de acetato en la parte inferior para no sumar peso al módulo y contribuir al sellado.

Una vez que se hornearon los módulos se realizaron pruebas de conexión empleando un conector diseñado realizar la conexión en serie o paralelo de estos. El conector se diseñó por solidedge y se imprimió en una impresora 3D de alta resolución de la marca formlabs. El esquema de la Figura 26a muestra el esquema general de fabricación de un módulo solar y la imagen de la Figura 26b muestra un par de módulos fabricados. La interconexión de los módulos se realiza a través de un conector diseñado para resistir la intemperie y garantiza el sellado de los contactos de la celda solar, evitando un corto circuito entre los módulos. Por otro lado, ya fabricados los módulos, se realizaron mediciones de corriente-voltaje (I-V) con un simulador solar de la marca Newport modelo Oriel sol3A con lámpara de xenón de 450 W con un filtro AM 1.5 y un SMU de la marca Keithley 2450. Para distribuir la carga acumulada en la batería, se implementó un controlador de carga con un microcontrolador de la marca microchip modelo pic18F450.

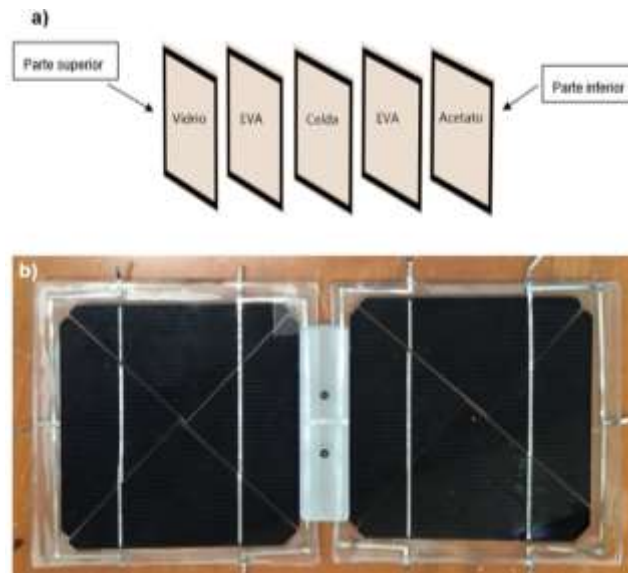


Figura 26. a) esquema de la fabricación de un módulo fotovoltaico. b) Módulos fotovoltaicos interconectados por el conector diseñado para resistir a la intemperie.

RESULTADOS

Para comprobar la hermeticidad de los módulos solares, se sumergieron en agua. El voltaje de las celdas se mantuvo constante indicando que no existía un corto. Por otro lado, los módulos fotovoltaicos se dejaron a la intemperie por un tiempo y no se observó ningún problema de degradación, además, conservaron los valores de corriente de corto circuito y voltaje abierto. Otro resultado a rescatar, es que durante la fabricación de los módulos no se formaron burbujas debido a que en el horneado para sellado se realizó con vacío y se conservó en todo el proceso.

Se realizaron pruebas I-V de los módulos solares en un simulador solar para caracterizar la eficiencia de conversión. Los resultados se presentan en la tabla 1 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Estos valores se obtuvieron de las pruebas en voltaje en circuito abierto V_{oc} corriente en corto circuito I_{sc} . A partir de los datos obtenidos se calcularon los demás valores como: potencia, voltaje y corriente máxima, factor de forma (FF), y su eficiencia (N). La eficiencia de los módulos es de un promedio del 10% debido a que la celda se tuvo que clivar en cuatro partes, para aumentar el voltaje a lo hora de conectarlos en serie. El proceso de clivado, provoca que las celdas solares se dañen provocando el aumento de la resistencia en serie, disminuyendo la eficiencia de estas.

Tabla 11. Valores registrados de los módulos en las pruebas con el simulador solar

CELDA	POTENCIA _M (W)	V _{MP} (V)	I _{MP} (A)	V _{OC} (V)	I _{SC} (A)	FF	N (%)
1	0.844	2.0	0.422	2.36	0.54	0.66	10.41
2	1.069	2.0	0.529	2.42	0.62	0.71	13.19
3	-0.861	2.1	0.418	2.42	0.56	0.63	10.62
4	-0.903	2.0	0.442	2.41	0.58	0.65	11.12
5	-0.760	2.0	0.374	2.39	0.50	0.64	9.41
6	-0.853	2.0	0.428	2.4	0.56	0.64	10.51
7	-0.763	2.0	0.387	2.42	0.52	0.61	9.40
8	-0.854	2.0	0.433	2.4	0.55	0.65	10.52
9	-0.934	2.0	0.459	2.43	0.58	0.66	11.49

Para seleccionar parámetros como a capacidad de la batería y el tiempo se simuló la interfaz de usuario en proteus como se muestra en la Figura 27^a, donde se asignaron dos botones para aumentar o disminuir la capacidad de batería, dos botones para aumentar o disminuir el tiempo de duración de la batería y el ultimo botón para ingresar los datos seleccionados. Se implementó el diseño en una placa de pruebas donde se comprobó el funcionamiento (Figura 27b).

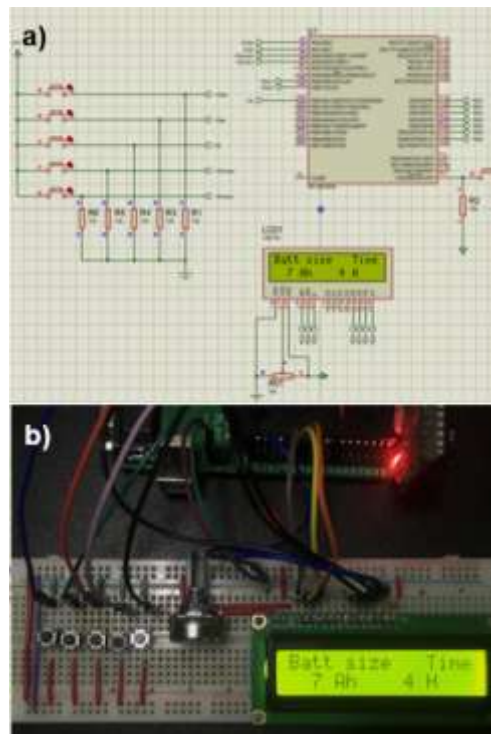


Figura 27. Interfaz de usuario. a) simulación en proteus y b) circuito en placa de pruebas.

CONCLUSIONES

En la actualidad existen grandes alternativas con respecto al uso de energía solar, algunas con instalaciones de tamaño industrial y otras de forma comercial que se emplean a nivel residencial. El prototipo presentado tiene la versatilidad de aumentar su capacidad a través de los conectores diseñados. Además, las pruebas de hermeticidad fueron suficientes para determinar la calidad del sellado de las celdas y al ser módulos pequeños se reduce el peso de la estructura, que los hace factibles para su transportación y proporcionar una alternativa de energía eléctrica a lugares donde

es complicado contar con una instalación eléctrica por el costo o la falta de cobertura de las empresas de electricidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barbero, F. J. (1998). Radiación solar. En F. J. Francisco, *Radiación solar y aspectos climatológicos de Almería 1990-1996* (pág. 15).
2. Barrera, M. F. (2010). Efecto fotovoltaico. En M. F. Barrera, *Energía solar: electricidad fotovoltaica* (pág. 13). Liberfactory.
3. Abella, M. A. (s.f.). Sistemas fotovoltaicos. Centro e Investigaciones Energeticas, Medioambientales y Tecnologicas , Departamento de energias renovables, Madrid. Recuperado el 23 de febrero de 2020
4. Aberasturi, A. M. (19 de octubre de 2005). Fabricación de modulos solares fotovoltaicos. Recuperado el 23 de febrero de 2020, de <http://ca.sabadell.cat/Energia/d/Tecnologia%20fotovoltaica.pdf>
5. Osvaldo M. Micheloud, R. A. (2012). Celdas de silicio. En R. A. Osvaldo M. Micheloud, *Smart Grid: fundamentos, tecnologías y aplicaciones* (pág. 113). Cengage Learning.

DETECTOR DE FASE DE BAJO COSTO CONTROLADO CON RASPBERRY PI

María Guadalupe Bedolla Ibarra, Adán Flores Balderas, Everardo Vargas Rodríguez

Universidad de Guanajuato. Departamento de Estudios Multidisciplinarios.
mg.bedollaibarra@ugto.mx, adanfb@ugto.mx, evr@ugto.mx**RESUMEN**

Los amplificadores Lock-in (LIA) son sistemas de recuperación de señal basados en la detección síncrona, técnica en la que se utilizan demoduladores que reciben una señal de referencia que se sincroniza con precisión con la señal de interés. Existen dispositivos LIA comerciales que se caracterizan por un amplio rango dinámico que proporciona la capacidad de medir señales envueltas con niveles relativamente altos de ruido o interferencia, la desventaja de estos es que tienen costos muy elevados. En este trabajo se presenta un detector de fase de bajo costo basado en la técnica de detección síncrona. El núcleo del sistema propuesto son dos demoduladores programables ADA2200 de Analog Devices en una configuración que conforman un LIA dual, con lo cual es posible obtener las componentes de fase (I) y cuadratura (Q), parámetros con los que se puede determinar la fase relativa entre la señal de referencia y una señal con fase desconocida. El LIA se controló desde una interfaz gráfica de usuario (GUI) implementada en una Raspberry Pi 3 modelo B a través del puerto GPIO con el protocolo SPI, utilizando el lenguaje de programación Python y la librería PyQt. Por medio de la GUI es posible configurar las condiciones de operación del sistema y despliegado de resultados en tiempo real. Con fines de calibración se utilizó un LIA comercial SR830, con el cual se determinaron las características del sistema propuesto, el cual demostró capacidad de medir fase relativa en el rango de 0 a 360 grados con error absoluto menor a 0.75 grados, una relación señal a ruido de -76 dB y ancho de banda de 30 kHz. El sistema propuesto presenta resultados satisfactorios comparando costo-beneficio, útil para múltiples aplicaciones de instrumentación y sensores, permitiendo al usuario determinar la fase entre dos señales incluso en condiciones con altos niveles de ruido a un costo razonable.

INTRODUCCIÓN

En diversos campos de la ciencia y la tecnología siempre serán demandados instrumentos de recuperación de señales para su posterior procesamiento debido a que, en cualquier sistema sea eléctrico, mecánico, óptico, biológico o cualquier combinación, las señales de estudio siempre se encuentran afectadas por altos niveles de interferencia a causa de varios fenómenos eléctricos. La literatura básica [1] explica la posibilidad de recuperar señales de interés que se encuentran enmascaradas con altos niveles de ruido.

Así como es importante recuperar la amplitud de una señal inmersa en ruido, también lo es determinar la fase de una señal de interés incluso en condiciones de ruido severas. Medir la fase se vuelve importante, por ejemplo, cuando se quiere caracterizar un filtro, en señales fotoacústicas el retardo de fase puede indicar parámetros importantes de la señal de estudio, también es importante medir el retardo de fase en señales acústicas entre otras aplicaciones.

Por lo descrito anteriormente se propone un detector de fase implementado con un Amplificador Lock-in de bajo costo, que permite medir la fase relativa entre una señal de interés y una señal de referencia incluso si la señal de información se encuentra afectada por altos niveles de ruido.

TEORÍA

Los amplificadores Lock-in (LIA) han existido desde su primer desarrollo según lo descrito por Dicke en el año 1940 [1] y hasta la fecha se siguen utilizando en muchas áreas de la ingeniería, los cuales se pueden dividir ampliamente en dos categorías principales. En primer lugar, se utilizan como herramientas de recuperación de señales para la medición de señales moduladas inmersas en ruido. En segundo lugar, para la medición precisa de señales. Entre algunas áreas de aplicación se encuentran: polarimetría, espectroscopia, mediciones de cambio de frecuencia, medidas de respuesta de estímulos biomédicos, mediciones de rechazo en modo común, fotometría, radiometría, mediciones de impedancia complejas etc.

El diagrama a bloques de la figura 1 presenta las partes de un Amplificador Lock-in básico.

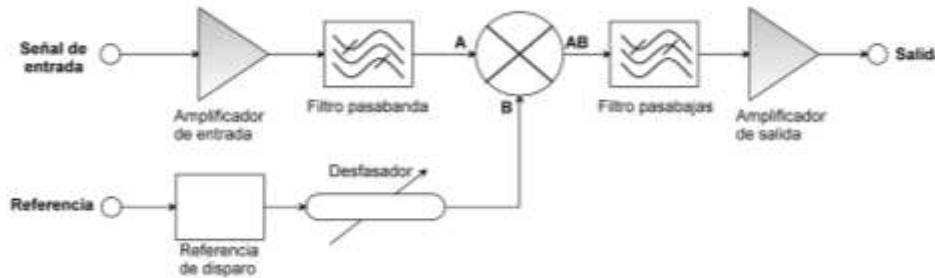


Fig. 1 Diagrama a bloques de un amplificador Lock-in básico.

Acondicionamiento de la señal

Es necesario un amplificador para llevar la señal a un nivel lo suficientemente alto para superar el ruido propio del multiplicador, y la provisión de ganancia conmutada permite variar la sensibilidad del sistema [1]. En esta etapa se recomienda utilizar amplificadores de bajo ruido, o amplificadores de instrumentación. El filtro pasa banda se utiliza para disminuir el ancho de banda del ruido, la frecuencia de corte debe estar en los alrededores de la señal de referencia. También es usual encontrar filtros Notch que eliminan las principales señales de interferencia.

El detector sensible a la fase

Un detector sensible a la fase mide la diferencia de voltaje de interés mediante el uso de un voltaje de referencia síncrono derivado del modulador de entrada. Los detectores sensibles a la fase están diseñados para responder específicamente a la señal portadora de información. Además, son sensibles a la amplitud de una señal y a la diferencia de fase entre una señal y la referencia derivada [1].

En algunas mediciones (p. ej., impedancia eléctrica), la fase entre la señal modulada y la portadora no modulada puede tomar una serie continua de valores, y la información sobre la medición puede estar contenida en una o ambas, amplitud y fase de $f_s(t)$ [2].

En estos casos se utilizan dos PSD para recuperar tanto la amplitud como la fase de $f_s(t)$. Para realizar estas mediciones se necesitan dos señales de referencia, una sincronizada con $\cos(\omega_c t)$ y la otra con $\sin(\omega_c t)$. La figura 2 muestra dos PSD utilizando el método de conmutación. En este la señal de activación en fase $f_{GI}(t)$ (in phase gating signal) está sincronizada con el cruce por cero del $\cos(\omega_c t)$, mientras que la señal de activación en cuadratura $f_{GQ}(t)$ (quadrature gating signal) se sincroniza con $\sin(\omega_c t)$.

Para la demostración teórica del PSD presentado en la figura 2, se consideran las siguientes señales [2], donde θ es la diferencia de fase entre la señal modulada y la portadora.

$$f_s(t) = V_m \cos(\omega_m t) \cdot V_c \cos(\omega_c t + \theta) \quad \text{Señal modulada AM} \quad (1)$$

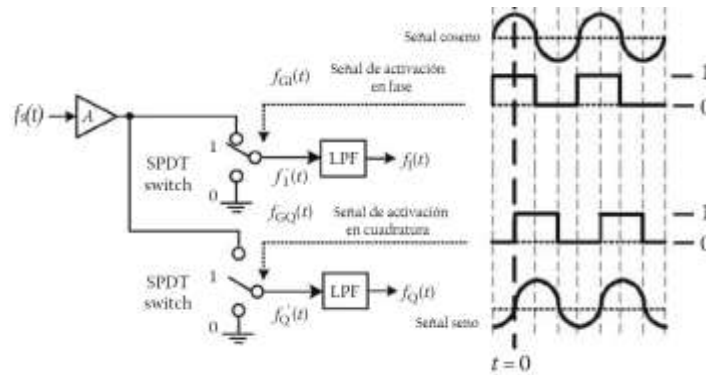


Fig. 0 Diagrama a bloques de un detector síncrono de conmutación doble.

Las señales de activación se pueden representar por medio de las series de Fourier (2) y (3) respectivamente.

$$f_{GI}(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \left[\cos(\omega_c t) - \frac{1}{3} \cos(3\omega_c t) + \frac{1}{5} \cos(5\omega_c t) - \frac{1}{7} \cos(7\omega_c t) + \dots \right] \quad (2)$$

$$f_{GQ}(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \left[\text{sen}(\omega_c t) + \frac{1}{3} \text{sen}(3\omega_c t) + \frac{1}{5} \text{sen}(5\omega_c t) + \frac{1}{7} \text{sen}(7\omega_c t) + \dots \right] \quad (3)$$

- $f_I'(t)$ Representa la señal en fase antes del filtro
- $f_I(t)$ Representa la señal en fase después del filtro
- $f_Q'(t)$ Representa la señal en cuadratura antes del filtro
- $f_Q(t)$ Representa la señal en cuadratura después del filtro

Señal en fase

$$f_I'(t) = \frac{V_m V_c}{2} \cos[(\omega_c \pm \omega_m)t + \theta] \left\{ \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \left[\cos(\omega_c t) - \frac{1}{3} \cos(3\omega_c t) + \frac{1}{5} \cos(5\omega_c t) - \frac{1}{7} \cos(7\omega_c t) + \dots \right] \right\} \quad (4)$$

Después del filtro pasa bajas se eliminan todas las señales con frecuencia igual o mayor que la portadora (ω_c) dando como resultado

$$f_I(t) = \frac{V_m V_c}{\pi} [\cos(\omega_m t) \cos(\theta)] \quad (5)$$

Señal en cuadratura

$$f_Q'(t) = \frac{V_m V_c}{2} \cos[(\omega_c \pm \omega_m)t + \theta] \left\{ \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \left[\text{sen}(\omega_c t) + \frac{1}{3} \text{sen}(3\omega_c t) + \frac{1}{5} \text{sen}(5\omega_c t) + \frac{1}{7} \text{sen}(7\omega_c t) + \dots \right] \right\} \quad (6)$$

Después del filtro pasa bajas se eliminan todas las señales con frecuencia igual o mayor que la portadora (ω_c) dando como resultado.

$$f_Q(t) = -\frac{V_m V_c}{\pi} [\cos(\omega_m t) \text{sen}(\theta)] \quad (7)$$

Con estas componentes es posible obtener la amplitud y fase de la señal de estudio. La demodulación síncrona agrega dos beneficios clave para recuperar pequeñas señales de salida del sensor en presencia de ruido. El primer beneficio es la adición de una señal de excitación, que permite que la señal de salida del sensor se mueva a una banda de frecuencia de ruido más baja. El segundo beneficio es que la demodulación síncrona permite que un filtro de paso bajo simple elimine la mayoría de los componentes de ruido no deseados restantes [3].

Canal de referencia

El detector sensible a la fase es compatible con un canal de referencia que proporciona la forma de onda de conmutación precisa requerida para la detección de la señal. La forma de onda de conmutación se activa en primera instancia a partir de los cruces por cero positivos de una forma de onda de referencia aplicada [1]. Sin embargo, también se utilizan cambiadores de fase. En un canal de referencia de "banda ancha", este cambio de fase puede mantenerse a un alto grado de precisión en un amplio rango de frecuencias de referencia y la simetría de la forma de onda de conmutación se controla rígidamente [1].

La señal de referencia puede producirse de forma externa o interna al sistema Lock-in. Normalmente los sistemas Lock-in integrados proveen una señal de referencia interna.

PARTE EXPERIMENTAL

Demodulador Síncrono y filtro analógico programable (ADA2200)

El ADA2200 es un demodulador síncrono de Analog Devices. Es un dispositivo de entrada analógica y salida analógica muestreada. El procesamiento de la señal se realiza completamente en el dominio analógico compartiendo la carga entre los condensadores, lo que elimina los efectos del ruido de cuantización y los errores de redondeo [4].

El ADA2200 incluye un filtro de diezmo de paso bajo de dominio analógico, un filtro de respuesta infinita programable (IIR) y un mezclador.

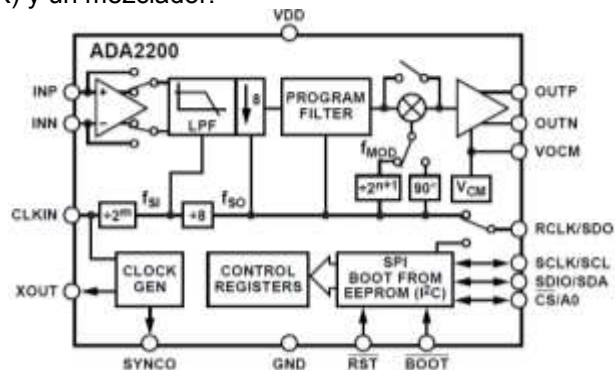


Fig. 3 Arquitectura del ADA2200

Arquitectura del ADA2200

La trayectoria de la señal en el ADA2200 consiste en un búfer de entrada de alta impedancia seguido de un filtro de paso bajo fijo (filtro de decimación FIR), un filtro IIR programable, un mezclador y un controlador de pin diferencial. La Figura 3 muestra un diagrama de bloques detallado del ADA2200.

Mezclador

El ADA2200 realiza la función de mezcla manteniendo constantes las muestras de salida durante la mitad del período RCLK. En la configuración predeterminada, hay ocho períodos de muestra de salida durante cada ciclo RCLK. Hay cuatro muestras de salida actualizadas mientras la señal RCLK es alta y mientras RCLK es bajo, la cuarta muestra actualizada se mantiene constante durante cuatro períodos de muestra de salida adicionales.

El divisor RCLK, se puede configurar para dividir entre 4. Cuando se selecciona este modo, se producen cuatro períodos de muestra de salida durante cada ciclo RCLK. Se producen dos muestras

de salida mientras la señal RCLK es alta y mientras RCLK es bajo, la segunda muestra actualizada se mantiene constante durante dos períodos de muestra de salida adicionales.

Cambiador de fase

Es posible cambiar el tiempo de las muestras de salida con respecto a RCLK escribiendo en el bit PHASE90 en el registro 0x002A. Cuando se selecciona la opción de temporización alternativa, se actualizan dos muestras de salida mientras RCLK es bajo y dos se actualizan mientras RCLK es alto. La segunda muestra, que se toma mientras RCLK es alta, tiene cuatro períodos de muestra de salida adicionales [5]. Esto equivale a un desfase 90° en RCLK con respecto a CLKIN. El cambiador de fase es utilizado para obtener una demodulación en fase y en cuadratura.

Configuración de reloj

El ADA2200 tiene un par de divisores de reloj para generar los relojes del sistema. El divisor de reloj de entrada, CLKIN DIV [2: 0], establece la frecuencia de muestreo de entrada del decimador (f_{SI}) dividiendo la señal CLKIN. El valor de CLKIN DIV [2: 0] se puede establecer en 1, 16, 64 o 256. La frecuencia de muestreo de salida (f_{SO}) siempre es $1/8$ de la frecuencia de muestreo de entrada del decimador. El divisor RCLK DIV [1: 0] establece la frecuencia del mezclador, f_{MOD} o simplemente RCLK se obtiene dividiendo f_{SO} entre 4 u 8.

Mediciones de amplitud y fase

La señal presente en la salida del ADA2200 depende de la amplitud y la fase relativa de la señal aplicada en sus entradas. Cuando la amplitud o fase es conocida y constante, cualquier variación de salida puede atribuirse al parámetro modulado. Por lo tanto, cuando la fase relativa de la entrada es constante, el ADA2200 realiza la demodulación de amplitud. Cuando la amplitud es constante, el ADA2200 realiza la demodulación de fase.

Para hacer las mediciones de amplitud y fase primero deben comprenderse algunas definiciones que intervienen en la medición de amplitud y fase.

El valor medio del ciclo es el promedio de todas las muestras de salida ($OUTP/OUTN$) en un ciclo completo de RCLK. En la configuración por default hay 8 muestras por ciclo RCLK. Entonces la media del ciclo es el promedio de 8 muestras consecutivas.

La ganancia de conversión es un valor constante que según la hoja de datos del fabricante esta debe estar comprendida entre 1.02 y 1.09. La forma de calcular esta constante es por medio de la formula (8)

$$GananciaDeConversión = \frac{\sqrt{I^2 + Q^2}}{V_{IN}} \quad (8)$$

Donde

I = Valor medio del ciclo, cuando RCLK está en fase.

Q = Valor medio del ciclo, cuando RCLK está en cuadratura

V_{IN} = El valor *rms* de la señal de entrada.

La fase relativa es la diferencia de fase entre el cruce de cero positivo de una onda senoidal en las entradas (INN/INP) en relación con el siguiente flanco ascendente de RCLK.

El retardo de fase θ_{DEL} es la fase relativa (θ_{REL}) que produce un valor igual a cero en la media del ciclo para una onda senoidal en la entrada con una frecuencia igual a la frecuencia de RCLK. La fase de retardo es el valor de fase relativo que corresponde al cruce por cero positivo de la función de transferencia de medición de fase.

Medición de fase

Si la amplitud de la señal de entrada se mantiene constante, la amplitud de la señal de salida es una función de la fase relativa de la señal de entrada. La fase relativa se puede medir mediante

$$\theta_{REL} = \text{sen}^{-1} \left(\frac{V_{MC}}{\text{GananciaDeConversion} \cdot V_{IN(RMS)}} \right) + \theta_{DEL} \quad (9)$$

Medición de amplitud y fase

Cuando se desconocen tanto la amplitud como la fase relativa de las señales de entrada, es necesario obtener dos componentes ortogonales de la señal para determinar su amplitud, fase relativa o ambas. Estos dos componentes de señal se denominan componentes en fase (I) y en cuadratura (Q) de la señal. Si la amplitud de la señal permanece casi constante durante la duración de la medición, es posible medir los componentes I y Q de la señal alternando el bit PHASE90 entre dos mediciones consecutivas. Para medir el componente I, establezca el bit PHASE90 en 0. Para medir el componente Q, establezca el bit PHASE90 en 1.

Después de obtener los componentes I y Q, se pueden calcular la amplitud (A) y la fase relativa de la señal utilizando las siguientes fórmulas

$$A = \sqrt{I^2 + Q^2} \quad (10)$$

La fase relativa puede calcularse de dos formas

$$\theta_{REL} = \text{cos}^{-1} \left(\frac{Q}{A} \right) + \theta_{DEL} \quad (11)$$

O alternativamente

$$\theta_{REL} = \text{sen}^{-1} \left(\frac{I}{A} \right) + \theta_{DEL} \quad (12)$$

Las funciones seno o coseno inversos linealizan la relación entre la fase relativa de la señal y el ángulo medido. Debido a que el seno y el coseno inversos solo se definen en dos cuadrantes, se debe considerar el signo de I y Q para mapear la fase relativa en el rango completo de 0 a 360°

Configuración del Dispositivo

El ADA2200 tiene varios registros que se pueden programar para personalizar el funcionamiento del dispositivo. Existen dos métodos para programar los registros: uno es a través de la interfaz del puerto serie (SPI) o el maestro I2C se puede usar para leer la configuración desde una EEPROM.

Pruebas experimentales

Una vez que se entendió en funcionamiento del demodulador se diseñaron dos sistemas con los cuales fue posible caracterizar los demoduladores síncronos. El primer sistema es el mostrado en la figura 4 donde se obtienen las señales en fase y en cuadratura.

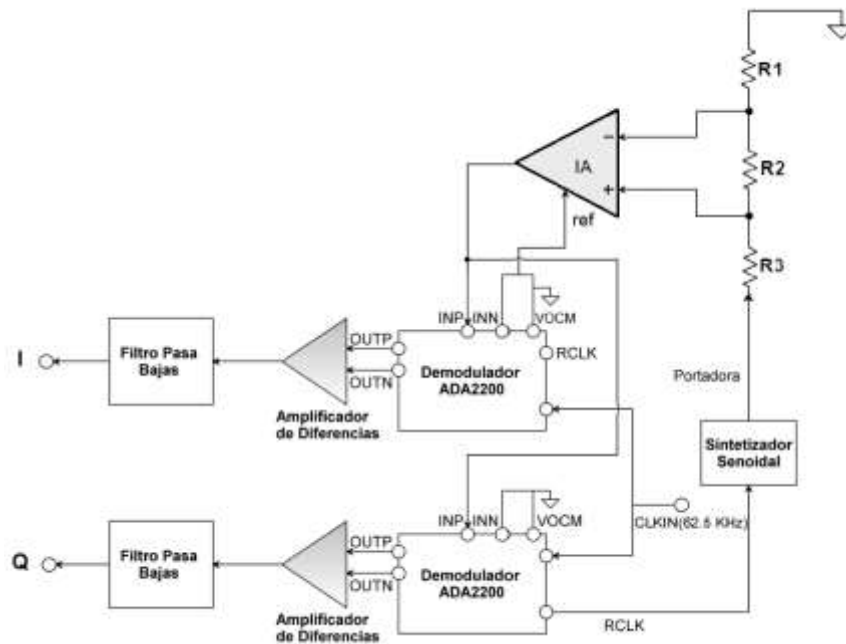


Fig. 4 Diagrama a bloques del LIA con dos PSD.

El voltaje que hay en la resistencia R2 entra a un amplificador de instrumentación, la referencia de este se coloca a VOICM tal como se muestra en la figura 4. Este voltaje es la modulación del valor de la resistencia variable y la portadora, que como se mencionó anteriormente, esta señal es una senoidal en sincronía con RCLK, una vez referenciado el voltaje, este entra al demodulador síncrono ADA2200.

La amplitud de la señal permanece constante y se hace un cambio de fase entre la señal portadora y RCLK. En la figura 5 se muestran algunos de los resultados obtenidos.

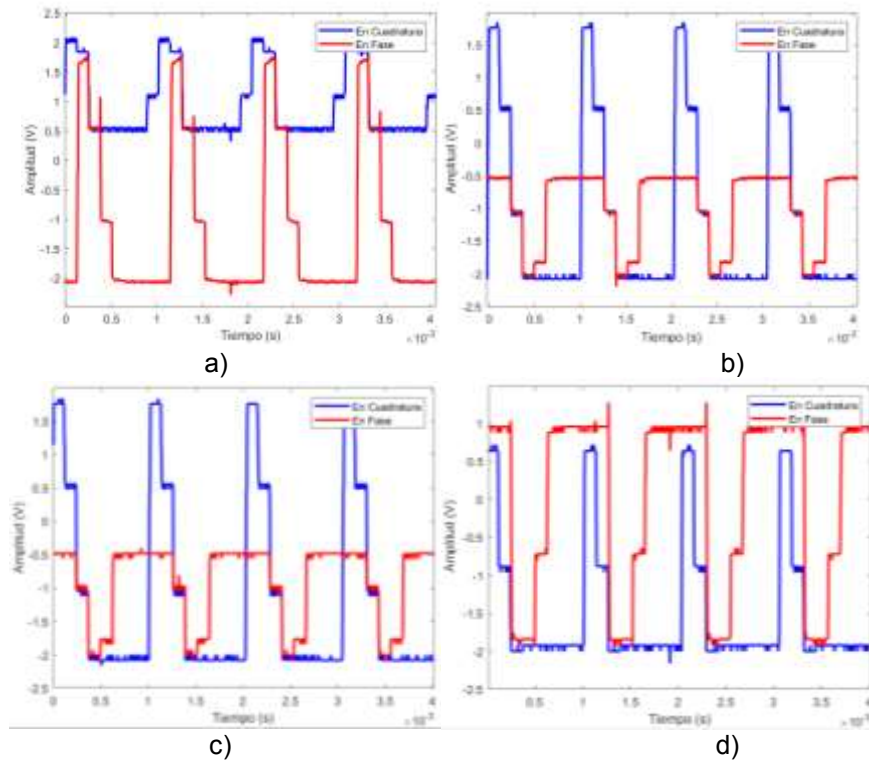


Fig. 5 Señales en fase y en cuadratura para fases entre RCLK y la portadora de a) 0°; b) 45°; c) 90°; d) 130°.

Los filtros pasa bajas utilizados están contruidos con dos etapas RC activas en cascada y la frecuencia de corte se calcula con un valor por debajo de la frecuencia de la portadora, para que se eliminen todos los armónicos iguales o mayores a esta frecuencia.

La función de transferencia de este filtro está dada por la ecuación (13)

$$H(s) = G \left(\frac{\frac{1}{CR}}{s + \frac{1}{CR}} \right) \tag{13}$$

Donde la ganancia se obtiene con (14)

$$G = 1 + \frac{R_a}{R_b} \tag{14}$$

Y la frecuencia de corte se obtiene mediante (15)

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC} \tag{15}$$

Después del filtro se obtuvieron las componentes de DC en fase y en cuadratura (figura 6), estas componentes son proporcionales a la fase y la amplitud de la señal. Con las ecuaciones (10) y (11) o (12) (ecuaciones que proporciona el datasheet del ADA2200) es posible obtener la amplitud y la fase de dicha señal.

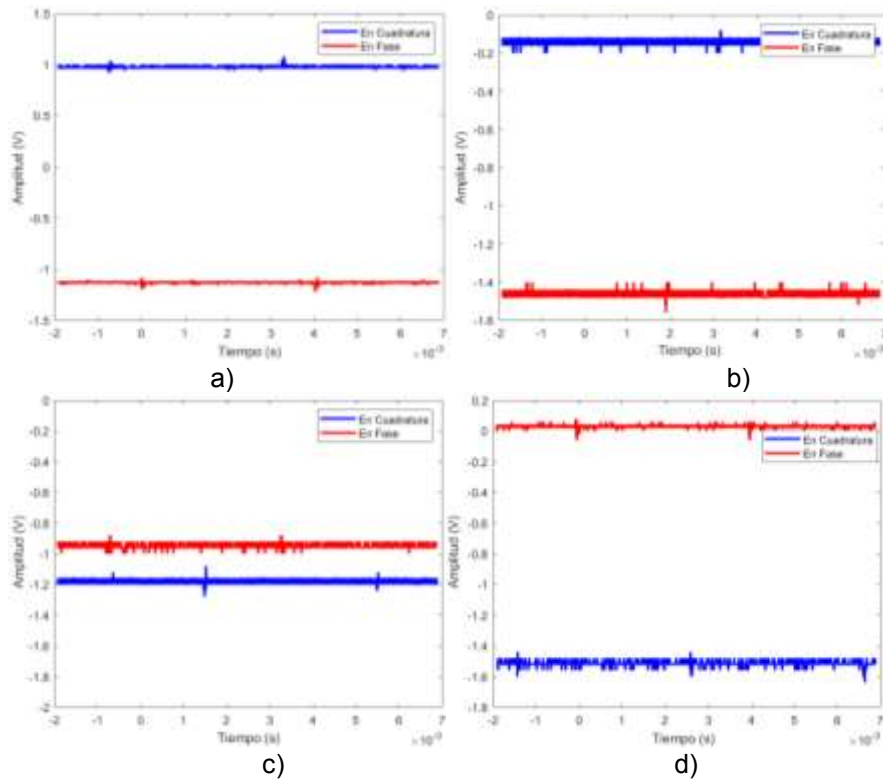


Fig. 6 Señales en fase y en cuadratura después del filtro pasa bajas para fases entre RCLK y la portadora de a) 0°; b) 45°; c) 90°; d) 130°.

El siguiente diagrama fue implementado para estudiar los niveles de SNR y conocer los límites de recuperación de señales con el sistema propuesto. En la figura es apreciable que se contaminó una señal modulada con diferentes niveles de ruido.

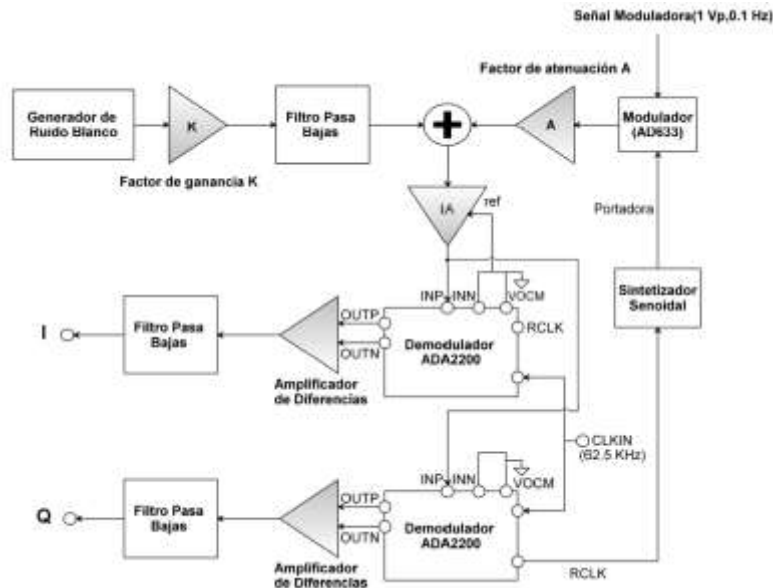


Fig. 7 Diagrama a bloques del sistema LIA con doble PSD utilizando una señal senoidal como moduladora.

Para generar el ruido se utilizó el circuito mostrando en la figura 8. Se utiliza un arreglo que aprovecha el efecto avalancha en la unión de un semiconductor, en este caso, con un transistor de propósito general [6].

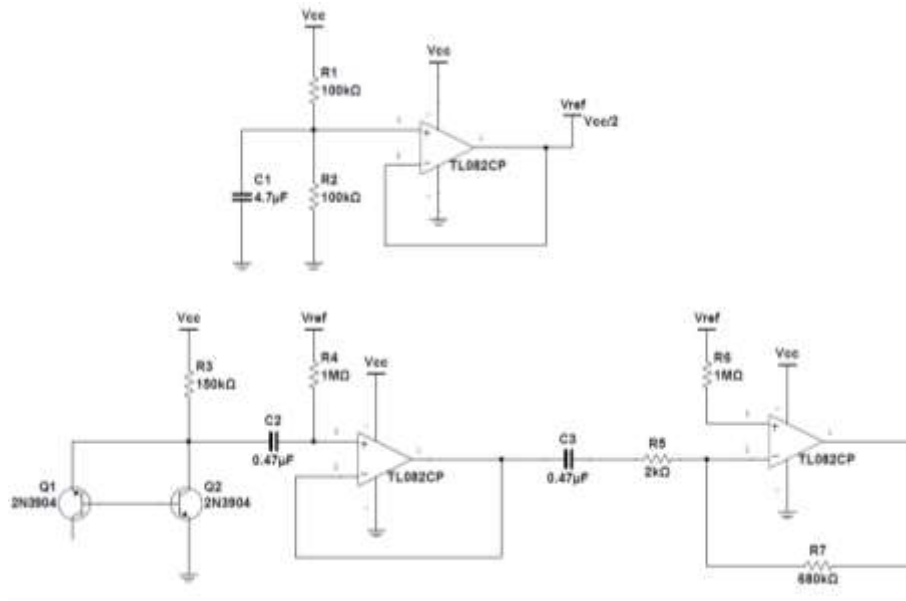


Fig. 8 Circuito generador de ruido blanco.

Es necesario agregar etapas adicionales para amplificar el ruido a niveles requeridos, ya que el nivel de voltaje de salida en el circuito de la figura 8 es del orden de microvolts, posteriormente se acota en banda con un filtro RC pasa bajas activo. La ganancia de amplitud del ruido es variable con ayuda de un divisor de voltaje, de esta forma se lograron distintos niveles de SNR. Una vez acotado el ruido y atenuada la señal modulada, se suman ambas señales y pasan a través de un amplificador de instrumentación, acoplando la señal a un valor de $V_{DD}/2$. Esta señal referenciada pasa por los demoduladores síncronos ADA2200, configurados uno con RCLK en fase y el otro con RCLK desfasado 90° .

A la salida de cada demodulador se utilizaron dos filtros en cascada Sallen Key de segundo orden con frecuencia de corte igual a 0.3 Hz y un factor de ganancia de 75.

Después de cada filtro se obtiene la componente en fase y en cuadratura de la señal, en la figura 9 se muestran algunos de los resultados obtenidos con diferentes niveles SNR.

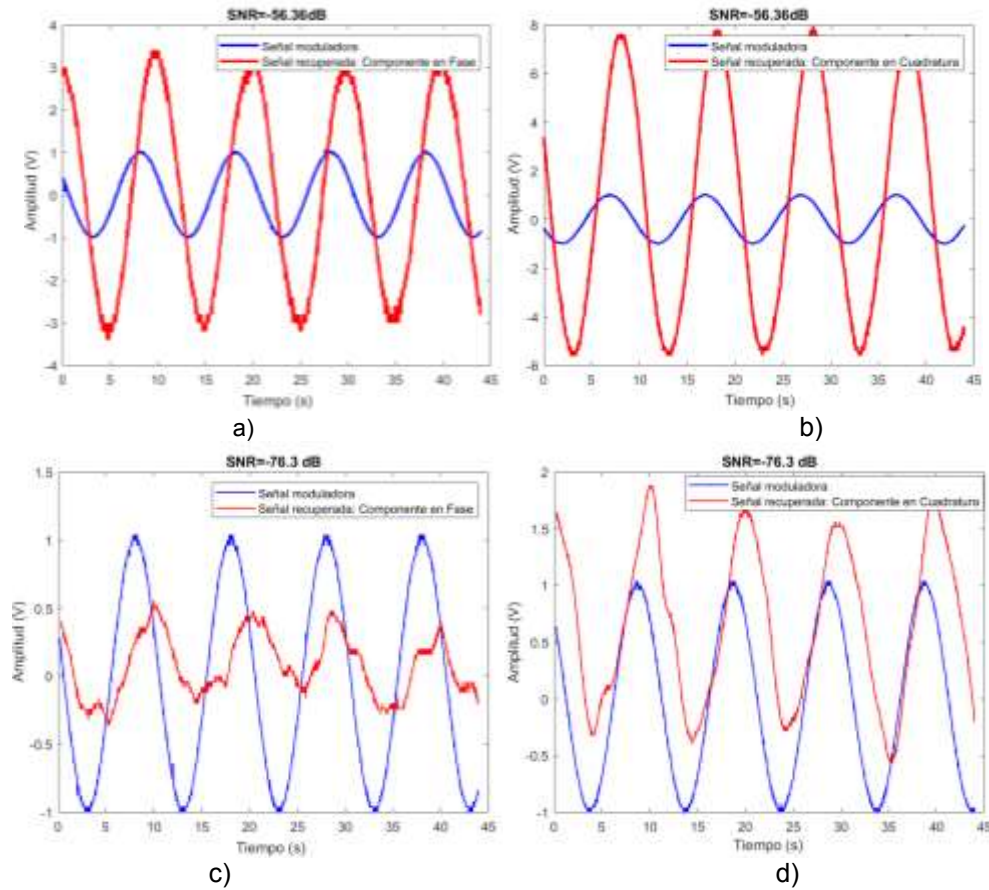


Fig. 9 Señal modulada atenuada, modulada atenuada enmascarada por ruido y recuperada con diferentes SNR.

La forma de conocer la calidad de una señal es calculando su distorsión armónica total (THD, Total Harmonic Distortion), la cual indica la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental. En Matlab esta puede calcularse mediante la función `thd(pxx,w,'psd')`, esta función recibe la densidad espectral de potencia de la señal que se quiere analizar. Las gráficas de la figura 10 muestran la densidad espectral de potencia, así como la THD, de las señales recuperadas mostradas en la figura.

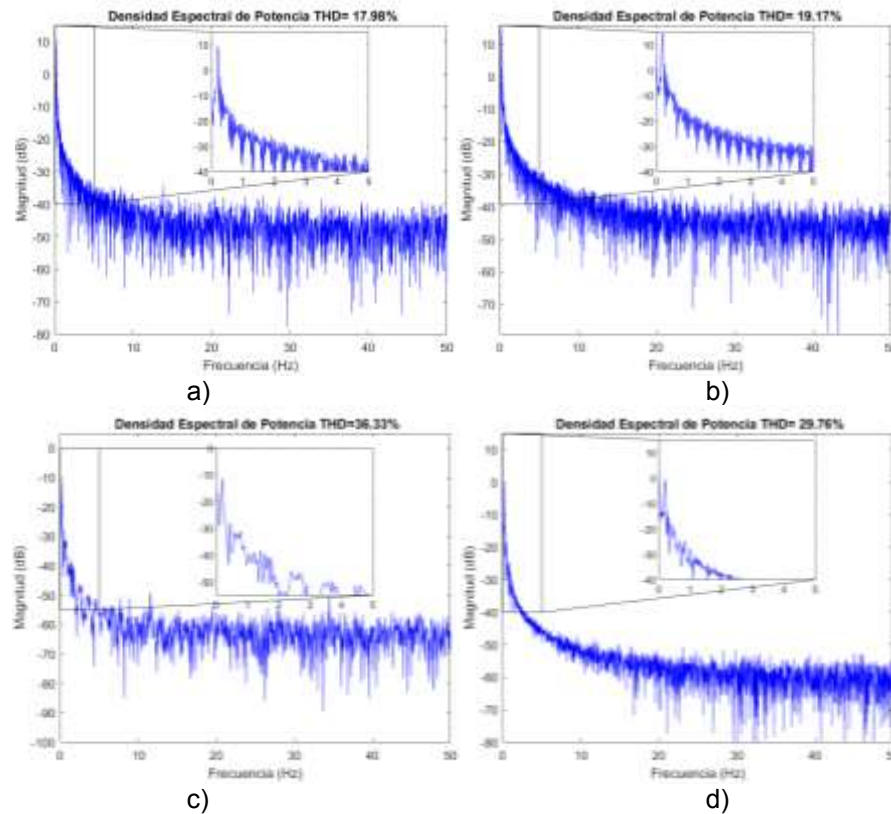


Fig. 10 Densidad espectral de potencia de las señales recuperadas con niveles de SNR a) -56.36 dB componente en Fase; b) -56.36 dB componente en Cuadratura; c) -76.3 dB componente en Fase; d) -76.3 dB componente en Cuadratura.

El siguiente diagrama muestra los bloques que constituyen el LIA completo, etapas requeridas para acondicionar las señales I y Q a los valores de operación del ADC7883. Toda la sincronización y control se realiza con una Raspberry Pi a través de una GUI que se rige por el diagrama de flujo de la figura 11.

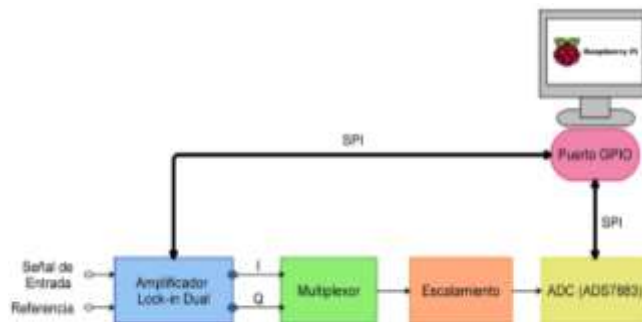


Fig. 12 Diagrama general del sistema.

El objetivo de la interfaz es facilitar al usuario la programación de los dispositivos ADA2200, así como la obtención de la fase de la señal de interés de manera automática.

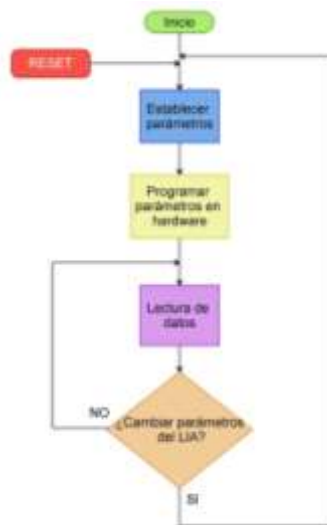


Fig. 11 Diagrama de flujo de la GUI

RESULTADOS

En la figura 13 se muestra el funcionamiento de la interfaz gráfica con una señal senoidal de amplitud y fase diferentes en cada caso.

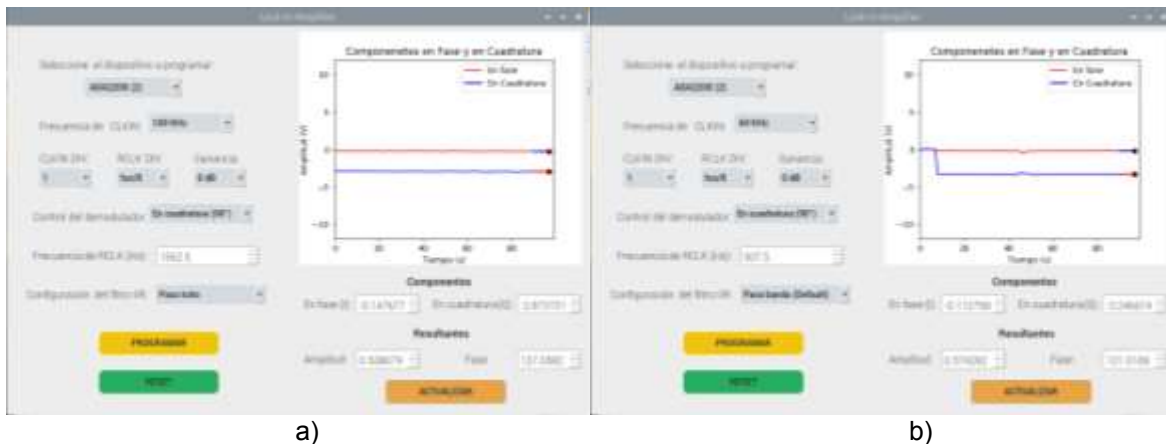


Fig. 13 GUI en funcionamiento con diferentes señales de entrada y configuraciones diferentes.

Con propósito de caracterizar el sistema propuesto se realizaron diversas mediciones de fase. En todas las pruebas realizadas se consideró una frecuencia de operación RCLK de 976.56 Hz.

Las gráficas de la figura 14 muestran las señales I y Q del LIA propuesto, y el resultado de la ganancia de conversión en un barrido de 0 a 360°.

Es importante mencionar que la ganancia de conversión referida en la hoja técnica del ADA2200 se modifica al agregar otras etapas como filtros, por lo tanto, se debe ajustar θ_{DEL} experimentalmente. Con las señales I, Q y ganancia de conversión se pueden calcular la fase de diferentes señales, con las ecuaciones (11) o (12).

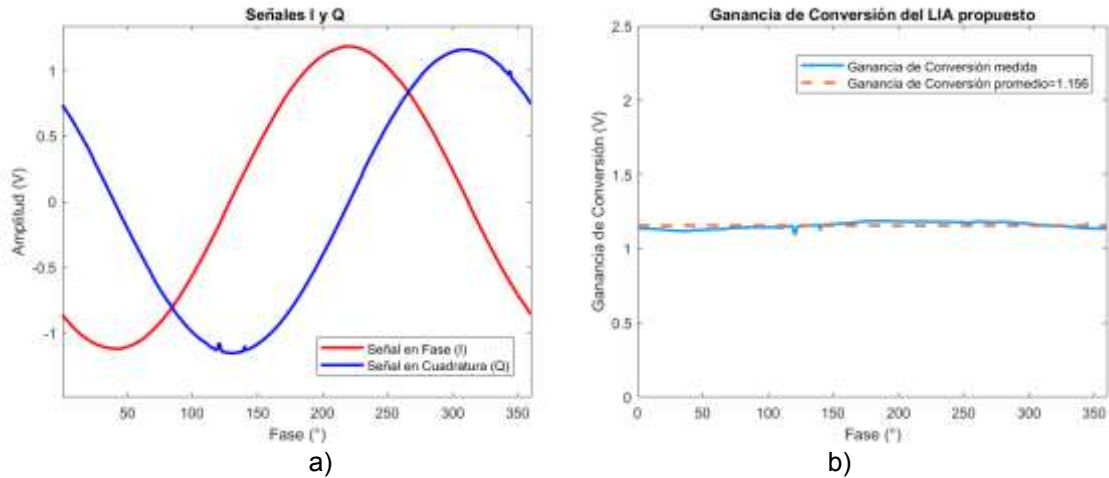


Fig. 14 a) Señales I y Q del LIA propuesto en un barrido de fase de 0° a 360°, con una señal senoidal de amplitud 0.565 Vrms como sensor; b) Señales I y Q del LIA propuesto en un barrido de fase de 0° a 360°, con una señal senoidal de amplitud 0.565 Vrms como sensor.

Para las pruebas de medición de fase se hizo un barrido de 0° a 360°, y se obtuvieron los resultados de la fase medida con el sistema Lock-in propuesto y se hizo un contraste con la medición de fase del Amplificador Lock-in SR830. Las gráficas de la figura 15 a) y 16 a) muestran ambas respuestas.

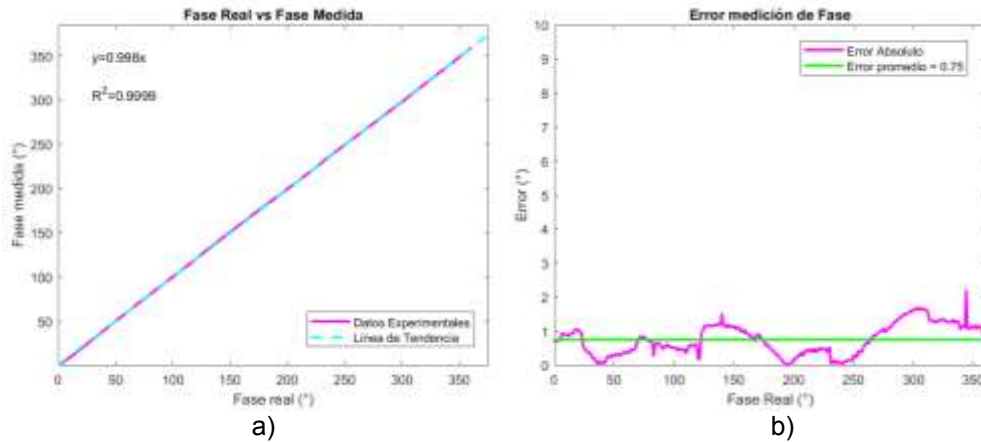


Fig. 15 a) Resultados de fase medida con el Amplificador Lock-in propuesto; b) error absoluto de la fase medida con el Amplificador Lock-in propuesto.

Para comparar la fase medida del LIA propuesto y el Lock-in SR830 el barrido de fase se hizo de 0° a 180°, debido a que ese es el rango en el que trabaja el SR830.

Con las mediciones realizadas se puede determinar el error en la medición de cada uno de los sistemas utilizados (graficas del b) de las figuras 15 y 16) el error promedio en el sistema propuesto es de aproximadamente 0.75°. Si se hace una comparación entre la fase medida con el LIA SR830 y el LIA propuesto, las mediciones presentan un error promedio de 0.708°.

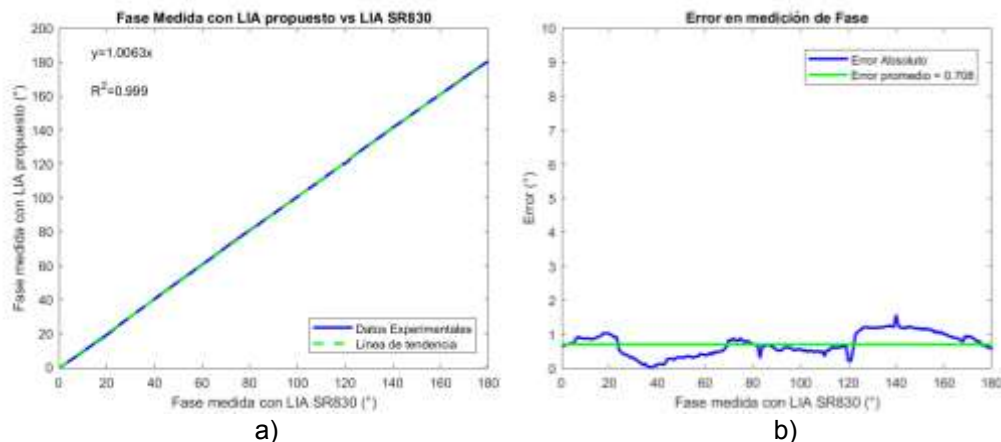


Fig. 16 a) Resultados de fase medida con el Lock-in SR830 vs el LIA propuesto; b) Error absoluto de la fase medida con el Amplificador Lock-in SR830 vs el LIA propuesto.

CONCLUSIONES

En los diferentes campos de la investigación se vuelve crucial la utilización de sistemas que permitan disminuir los efectos de ruido, en la actualidad existen muchos dispositivos para este fin, sin embargo, la mayoría de estos son de precios elevados. El amplificador Lock-in propuesto ofrece una alternativa de bajo costo para sistemas de recuperación de señales que permitan medir la fase y amplitud de señales débiles o contaminadas en niveles altos de ruido. Con la GUI diseñada el usuario puede controlar y configurar los parámetros del LIA de una forma amigable, con desplegado de resultados en tiempo real y posibilidad de medir fase relativa en el rango de 0 a 360°.

Por otro lado, se pudo observar que el instrumento ofrece un gran desempeño para recuperar señales con un nivel SNR por debajo de -76 dB. con un error promedio absoluto de 0.75° y un ancho de banda alrededor de 30kHz. Además de su aplicación prevista, este sistema puede extenderse a otras áreas de instrumentación y sistemas de medición

BIBLIOGRAFÍA

1. M. L. Meade, "Lock-in amplifiers: Principles and Applications", Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1983, pp. 1-79.
2. John G. Webster & Halit Eren, "Measurement, Instrumentation, and Sensors handbook", 2da Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2014, pp. 1545-1559.
3. Robert B. Northrop, "Introduction to instrumentation and Measurements", 2da. Edición, CRC Press Taylor & Francis Group, 2011, pp. 96-108.
4. ADA2200 datasheet, pp. 1-24
5. Gustavo Castro, "Using the ADA2200 as a Time Domain Filter", Mini Tutorial MT-234. Analog Devices, 2014, pp. 1-10.
6. Giorgio Vazzana, (2020, mayo 11), "Random Sequence Generator based on Avalanche Noise". [Internet] <http://holdenc.altervista.org/avalanche/>
7. PyQt Tutorial (1.ª ed.). (2016). Tutorialspoint.

PROPUESTA DE PARALELIZACIÓN DEL MÉTODO HÍBRIDO DE ESTIMACIÓN DE ESTADO USANDO CÓMPUTO EN PARALELO BASADO EN UNIDADES DE PROCESAMIENTO GRÁFICO

Cindy Viridiana Zabala Oseguera, Antonio Ramos Paz

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
cindy.zabala@umich.mx, arpaz@umich.mx

RESUMEN

El monitoreo continuo del sistema eléctrico tiene como objetivo garantizar el estado operativo y seguro del mismo. Las condiciones operativas de un sistema se pueden conocer a través del modelo de red y los voltajes complejos en cada nodo del sistema. La estimación de estado es un procedimiento mediante el cual se obtienen voltajes y ángulos de cada nodo en un sistema eléctrico a partir de mediciones existentes y la topología del sistema. Los resultados obtenidos del estimador se utilizan en otros estudios, de suma importancia para el sistema eléctrico, tales como: flujos óptimos de potencia, análisis de contingencias y estudios de seguridad. Tradicionalmente, las mediciones en un sistema eléctrico, se obtenían a través del Sistema de Supervisión y Control de Adquisición de Datos (SCADA por sus siglas en inglés); posteriormente se comenzaron a utilizar las Unidades de Medición Fasorial (PMUs por sus siglas en inglés). El costo asociado al uso de las PMUs ha llevado a modificar la formulación tradicional de estimación de estado de tal forma que las mediciones provenientes de las PMU puedan ser consideradas en conjunto con las mediciones SCADA¹. El estimador de estado presentado en este trabajo consta de dos etapas: en una primera etapa, se utiliza la formulación convencional por mínimos cuadrados ponderados con las mediciones SCADA y finalmente en la segunda, se lleva a cabo nuevamente el proceso de estimación con las mediciones PMU y el vector de estado estimado resultado de la primera etapa². El tiempo de ejecución del algoritmo de estimación de estado híbrido de dos etapas es optimizado a través del uso de Cómputo en Paralelo Basado en Unidades de Procesamiento Gráfico (GPUs por sus siglas en inglés). El algoritmo optimizado se probó en los sistemas de prueba del IEEE (Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica, por sus siglas en inglés) de 14, 30, 118 y 300 nodos comparando su desempeño con su contraparte secuencial. La GPU utilizada en este trabajo, es una tarjeta GeForce GTX 660 OEM de NVIDIA. La propuesta de paralelización logró una reducción significativa en el tiempo de ejecución, el cual fue incrementando conforme el tamaño del sistema aumentaba. Con este trabajo se muestra una aplicación práctica de las GPUs en el área de los sistemas eléctricos de potencia, en específico, en la estimación de estado híbrida. El uso de las GPUs permite la disminución del tiempo de ejecución del algoritmo y en consecuencia la posibilidad de realizar dicho estudio tiempo menor.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de los sistemas eléctricos ha derivado en más interconexiones, inclusión de dispositivos que permiten su monitoreo y nuevas formas de generación de energía para satisfacer las necesidades cada vez más exigentes del usuario, por lo que la operación de los sistemas eléctricos ha aumentado su complejidad.

El objetivo de la operación de un sistema eléctrico es mantenerlo en un estado normal de funcionamiento, para lograrlo se llevan ciertas acciones que tienen que ver con la recolección de información propia del sistema como: voltajes en cada nodo, flujos de potencia en las líneas y transformadores, el intercambio de energía y potencia entre los sistemas interconectados e información de las unidades generadoras. Esta información proviene de los dispositivos de medición ubicados en ciertos puntos del sistema y es enviada a los Centros de Control de Energía (CCE), donde el operador realiza acciones pertinentes a partir de dicha información.

Debido a que esta información es obtenida por telemediciones, contiene errores que podrían llevar a tomar decisiones equivocadas. La estimación de estado surge de la necesidad de detectar estos errores para realizar la mejor estimación del estado de un sistema.

La estimación de estado se basa en el procesamiento de mediciones procedentes de un sistema eléctrico de tal forma que se pueda obtener información confiable y a partir de la cual se puedan

calcular las variables de estado de interés. Aunque la actualización del sistema SCADA se encuentra en un rango de milisegundos, el proceso de estimación se realiza en cuestión de segundos. La capacidad de responder del sistema de monitoreo a los cambios repentinos está condicionado al tiempo que emplea la actualización del sistema SCADA y el tiempo que tarda el proceso de estimación.

El proceso de estimación involucra una serie de operaciones matriciales que representan una parte importante del tiempo de ejecución. Es en estas operaciones donde se encuentra una oportunidad de acelerar el tiempo de ejecución del estimador de estado utilizando herramientas como el procesamiento en paralelo basado en GPUs.

Una GPU está conformada por muchos núcleos que trabajan a una velocidad de reloj baja. La velocidad de reloj podría parecer una desventaja, pero cuando una operación involucra una gran cantidad de datos el tiempo en el que se realiza esa operación puede disminuir. Al disminuir el tiempo de ejecución se obtiene un mayor margen de tiempo para la toma de decisiones sobre los resultados obtenidos del estimador.

TEORÍA

La estimación de estado consiste en el procesamiento de mediciones procedentes del sistema SCADA o de las PMUs y la topología del sistema para estimar las magnitudes de voltaje y ángulos. Al conocer el ángulo y la magnitud de voltaje en cada nodo del sistema se pueden conocer las condiciones en que se encuentra funcionando el sistema. La estimación de estado se puede clasificar en tres categorías³:

- Estático: en la estimación de estado estático se utilizan mediciones en el instante k para obtener los ángulos y voltajes del sistema para el mismo instante.
- De seguimiento: este tipo de estimador surgió por la necesidad de hacer más eficientes los estimadores estáticos. Actualiza el valor de los estados durante un periodo de muestreo a partir del valor más reciente disponible.
- Dinámico: pronostica los valores del vector de estado un paso adelante a partir del vector de estado actual y el previo.

Estimación convencional

El método de solución más comúnmente utilizado en la literatura es el método de mínimos cuadrados ponderados. Considerando un vector z de mediciones procedentes del sistema SCADA cada medición se representa por la ecuación (1).

$$z = h(x) + e \quad (1)$$

donde:

$h(x)$ es una función no lineal que relaciona las mediciones con los estados y que esta expresada en coordenadas rectangulares.

e es el error asociado a cada medición.

Este método iterativo consiste en minimizar la función objetivo que aparece en la ecuación (2). Es decir, lo que se busca es que la suma de los residuos de cada medición entre la covarianza asociada a esta sea lo menor posible.

$$J(x) = \sum_{i=1}^m \frac{(z_i - h_i(x))^2}{R_{ii}} \quad (2)$$

Donde:

m es el número de mediciones existentes.

z_i es el elemento i del vector de mediciones z

$h_i(x)$ es el elemento i de la función de mediciones asociada a z_i .

R_{ii} es la covarianza asociada a z_i .

En forma matricial la ecuación (3) se puede representar como:

$$J(x) = [z - h(x)]^T R^{-1} [z - h(x)] \quad (3)$$

Donde R^{-1} es la inversa de la matriz de covarianza. La matriz de covarianzas R es una matriz diagonal de dimensiones $m \times m$ donde m es el número de mediciones existentes. Su diagonal está compuesta por la varianza asociada a cada medición.

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & & \\ & \sigma_1^2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sigma_m^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

El mínimo de la ecuación (2) se tiene cuando $\frac{\partial J(x)}{\partial x} = 0$. Por lo que se debe cumplir que,

$$g(x) = \frac{\partial J(x)}{\partial x} = -H^T(x)R^{-1}[z - h(x)] = 0 \quad (5)$$

Donde H es la matriz Jacobiana formada por la primera derivada de cada elemento de h , con respecto a cada variable de estado. Cada fila representa una medición y cada columna una variable de estado como se muestra en la ecuación (6).

$$H = \frac{\partial h}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x_1} & \frac{\partial h_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial h_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial h_2}{\partial x_1} & \frac{\partial h_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial h_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial h_m}{\partial x_1} & \frac{\partial h_m}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial h_m}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (6)$$

La función no lineal $g(x)$ se expande mediante una serie de Taylor eliminando los términos de orden superior. La solución se obtiene mediante el método de Newton-Raphson⁴:

$$x^{k+1} = x^k - G^{-1}g(x) \quad (7)$$

Donde G es la matriz de ganancia que se calcula con la ecuación (8)

$$G(x) = H(x)^T R^{-1} H(x) \quad (8)$$

La matriz G de ganancia es simétrica de dimensiones $2N \times 2N$ donde N son los nodos del sistema. Además, es definida positiva para garantizar que el sistema es observable.

Estimación Lineal

Cuando en un sistema solo se obtienen mediciones de las PMUs el proceso de estimación deja de ser iterativo. Considerando un conjunto de mediciones de voltaje y corriente provenientes de las PMU ubicadas en el sistema, el conjunto de mediciones z se puede representar por la siguiente ecuación:

$$[z] = [H] x + [e] \quad (9)$$

Donde H es una función lineal que relaciona las mediciones con los estados y e es el error asociado a cada medición. En este caso, H solo depende de parámetros del sistema [11].

$$[H] = \begin{bmatrix} \Pi \\ yA + ys \end{bmatrix} \quad (10)$$

donde:

- Π es la matriz de incidencia de voltajes
- A es la matriz de incidencia de corriente.
- y es la matriz de admitancia serie.
- ys es la matriz de admitancia en derivación.
- z es el vector de mediciones de fasores de voltajes y corrientes.

La solución por mínimos cuadrados se obtiene en forma rectangular con la ecuación (11)

$$x = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} z \quad (11)$$

Donde R es la matriz diagonal que contiene la covarianza asociada a cada medición provenientes de las PMU.

Estimación híbrida

En esta subsección se muestra la formulación de la segunda etapa del estimador donde se consideran las mediciones de las PMUs y el resultado de la primera etapa¹¹.

Partiendo de la ecuación (11), en la ecuación (12) se muestra la estructura de H_2 ,

$$[H_2] = \begin{bmatrix} & & I & & \\ & \Pi & & 0 & \\ & 0 & & \Pi & \\ gA + gs & & & -bA - bs & \\ bA + bs & & & gA + gs & \end{bmatrix} \quad (12)$$

Donde I es una matriz identidad de $2N \times 2N$ donde N es el número de nodos. La matriz I representa el vector de estimado con mediciones SCADA.

El vector z está compuesto por la parte real e imaginaria del vector de estado estimado y de las mediciones procedentes de los PMU. En la ecuación (13) se muestra la estructura del vector de mediciones.

$$[z_2] = \begin{bmatrix} Xest_{real} \\ Xest_{imag} \\ Vpmu_{real} \\ Vpmu_{imag} \\ Ipmu_{real} \\ Ipmu_{imag} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Una vez que se realiza la estimación de estado convencional, se calcula la matriz de varianza del vector estimado \hat{x}_1 ,

$$[cov] = [H^T R^{-1} H]^{-1} \quad (14)$$

Las mediciones de fasores de corriente y voltaje se encuentran también en forma polar por lo que la matriz de covarianza de mediciones se transforma a rectangular mediante una matriz de rotación.

$$[R_{pmu}] = [T] [R_{pmu}]^{-1} [T]^T \quad (15)$$

La matriz R_2 contiene la matriz de varianza del vector estimado \hat{x}_1 y las mediciones de PMU

$$[R_2] = \begin{bmatrix} cov & 0 \\ 0 & R_{pmu} \end{bmatrix} \quad (16)$$

La solución por mínimos cuadrados se obtiene en forma rectangular con la ecuación (17)

$$\hat{x}_2 = (H_2^T R_2^{-1} H_2)^{-1} H_2^T R_2^{-1} z_2 \quad (17)$$

Procesamiento en paralelo

El procesamiento en paralelo permite la utilización de más de un elemento de proceso y la asignación explícita de las tareas a realizar con el fin de que el tiempo de ejecución de un programa disminuya. Las aplicaciones del procesamiento en paralelo están asociadas a problemas de gran escala donde las operaciones y el procesamiento de los datos es costoso computacionalmente. En el área de ingeniería eléctrica la utilización del procesamiento en paralelo ha sido influenciado por el constante crecimiento de los sistemas eléctricos. Sus principales aplicaciones han sido reportadas en estudios como: solución al problema de flujos de potencia, estimación de estado, calidad de la energía y transitorios electromagnéticos, etc.

Unidades de procesamiento Gráfico (GPU)

La unidad de procesamiento gráfico es un procesador que un principio solo tenía como propósito aligerar la carga de trabajo de la Unidad de Procesamiento Central (CPU, por sus siglas en inglés) en funciones relacionadas con el procesamiento de los gráficos. Su principal atributo es su arquitectura compuesta de miles de núcleos que permiten ejecutar miles de programas al mismo tiempo.

Una GPU está conformada por un número de multiprocesadores paralelos (*streaming multiprocessor- SM*). Cada SM ejecuta uno o más bloques de hilos. El computo utilizando GPU tiene como principal ventaja que el código se vuelve compacto ya que una sola instrucción define N tareas a realizar.

Modelo de programación en CUDA

CUDA (*Compute Unified Device Architecture*) es una plataforma para el cómputo en paralelo creada por Nvidia para las GPU fabricadas por la misma compañía. El modelo de programación de CUDA se basa en simple instrucción-múltiples datos (SIMD). CUDA utiliza el lenguaje C y un modelo de coprocesamiento, es decir, las tareas son divididas entre la CPU y la GPU. CUDA soporta lenguajes como: Matlab, python, C/C++ y Fortran.

El CPU recibe el nombre de *host* y la GPU el nombre de *device*. Un programa en CUDA se divide en dos partes: la parte secuencial que se ejecuta en la CPU y la parte paralela que se ejecuta en la GPU. Tradicionalmente, en un programa diseñado en CUDA se llevan a cabo los siguientes pasos⁵:

- La CPU o host ejecuta la parte principal del programa.
- Se reserva memoria en el GPU.
- Se copian los datos de la CPU a la GPU.
- La CPU llama al kernel.
- La CPU llama al kernel, en la GPU se ejecuta el código paralelo.
- Los resultados se copian a la CPU y finalmente se libera la memoria en la GPU.

En un programa ejecutado en la plataforma CPU-GPU es necesaria una comunicación entre el host y el *device*. El *host* es el encargado de iniciar, dar por terminado el programa y llamar al *device* para ejecutar las líneas que le son asignadas en el código. En las líneas ejecutadas en el host se realiza lo siguiente: reserva y liberación de memoria, llamado de kernels, intercambio de datos entre las memorias y el procesamiento de los datos obtenidos por la GPU. La parte del código ejecutado en el *device* se realiza a través de los kernels desde donde se tiene acceso a la memoria de la GPU. El kernel lanzará una malla que a su vez está compuesta por bloques⁶.

Aceleración y eficiencia

Para medir las ventajas de la utilización de más de un procesador en la ejecución de un programa se utilizan métricas como la eficiencia y la aceleración. La aceleración es la mejora en el tiempo de ejecución de un programa que utiliza más de un procesador en comparación con su contraparte secuencial. La aceleración se define como el cociente del tiempo de ejecución utilizando un procesador y el tiempo ejecución utilizando p procesadores.

$$\psi(n, p) = \frac{T(n, 1)}{T(n, p)} \quad (18)$$

donde $T(n, 1)$ es el tiempo de ejecución del algoritmo secuencial y $T(n, p)$ es el tiempo correspondiente al algoritmo paralelo. Una aceleración mayor a 1 se considera favorable, ya que significa que el tiempo de ejecución fue optimizado con el uso de más de un elemento de proceso⁷. La eficiencia representa la porción de tiempo que los procesadores dedican a tareas útiles. Se calcula dividiendo la aceleración entre el número de procesadores que se utilizan en la ejecución del algoritmo.

$$E(n, p) = \frac{\psi(n, p)}{p} \quad (19)$$

PARTE EXPERIMENTAL

En la Figura 1 se muestra el algoritmo utilizado en el desarrollo de este trabajo. Este algoritmo consta de dos etapas de estimación y la detección e identificación de mediciones erróneas. En la primera etapa se lleva a cabo con los datos del sistema y las mediciones procedentes del sistema SCADA. Una vez obtenida la mejor estimación de estado en la primera etapa, en la segunda etapa se vuelve a realizar el proceso de estimación donde se utilizan las mediciones de PMU y el vector de estado estimado resultado de la primera etapa. En este algoritmo las mediciones procedentes de las PMUs son consideradas sin errores.

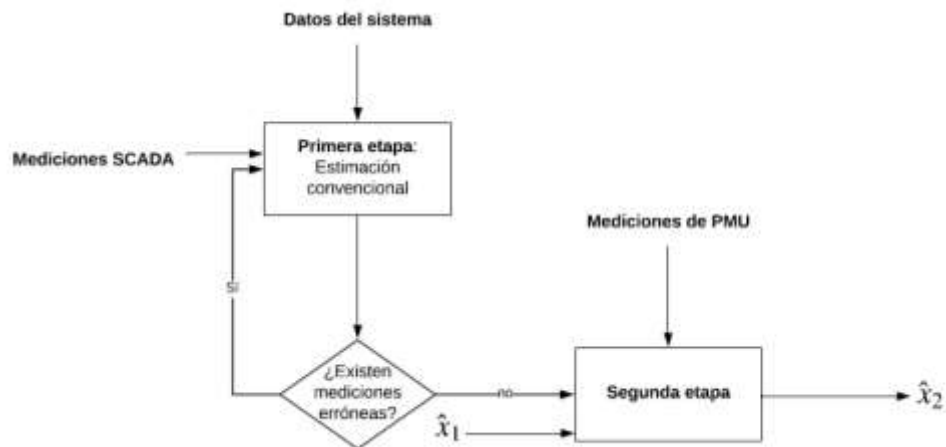


Figura 1. Algoritmo de estimación de estado de dos etapas.

Librería cuBLAS

cuBLAS es una implementación de BLAS (*Basic Linear Algebra Subprograms*) cuyos inicios se remontan a la década de los 70s. Las operaciones que involucran matrices y vectores son significativamente lentas y costosas computacionalmente. Por lo que al acelerar el tiempo en el que se realizan estas operaciones se puede reducir el tiempo de ejecución de un programa de forma sencilla. En BLAS y en cuBLAS estas operaciones se dividen en 3 categorías⁹:

- En el nivel uno se encuentran las operaciones con vectores como suma y multiplicación.
- En el nivel dos se encuentran las operaciones matriz-vector.
- Por último, en el nivel tres se encuentran las operaciones matriz-matriz.

En un programa donde se utilizan las funciones de cuBLAS el primer paso que se lleva a cabo es la creación y llenado de matrices y vectores, posteriormente se transfieren los datos de la memoria de la CPU a la GPU, como tercer paso se realiza el llamado de las funciones de cuBLAS para realizar las operaciones y por último los resultados obtenidos se transfieren de la memoria del GPU a la memoria la CPU.

Algoritmo de estimación de dos etapas

En el algoritmo de estimación de estado, la factorización LU y la sustitución hacia atrás representan una parte importante del tiempo de ejecución del programa⁸. Para ello se utiliza la librería cuBLAS. A continuación, se describe el proceso de estimación en cada etapa¹⁰:

Primera etapa:

- El algoritmo comienza con la lectura de las mediciones SCADA y el cálculo de la matriz de varianza R.
- Se leen los datos del sistema como: nodo envío, nodo recepción, resistencia, reactancia y tap, a partir de los cuales se forma la matriz de admitancia nodal ybus.
- Se leen las susceptancias de cada nodo y se añaden a la diagonal de la matriz ybus.
- Se inicializa el vector de estados \hat{x} y los vectores e y f que contienen a parte real e imaginaria de los voltajes complejos en cada nodo respectivamente.
- Se calcula la función de mediciones h.
- Se calcula el Jacobiano H.
- Se calcula el vector de residuos r, el cual es la diferencia entre el vector de mediciones z y la función de mediciones h.
- Obtener la transpuesta del Jacobiano H.
- Calcular la matriz de Ganancia G y la parte izquierda del sistema de ecuaciones a resolver en cada iteración.

- Δx se obtiene resolviendo el sistema de ecuaciones $G\Delta x = g$ donde G es la matriz de ganancia y g la parte izquierda del sistema de ecuaciones.
- Una vez que se obtienen la matriz G y g el sistema de ecuaciones se resuelve mediante la factorización LU y la sustitución hacia delante y hacia atrás. Mediante el uso de cuBLAS, este bloque de operaciones se realiza en la GPU.
- Se obtiene el error.
- Comparar el error con la tolerancia fijada. Si el valor del error es menor a la tolerancia ya establecida el proceso termina en caso contrario se actualiza el vector de estados.

Segunda etapa:

- La segunda etapa inicia con la lectura de las mediciones de PMU y la formación de la matriz de pesos de las mediciones PMU.
- Pasar de polar a rectangular la matriz de pesos de las mediciones de PMU.
- Calcular la inversa de la matriz R_{pmu} .
- Calcular la matriz H_2 .
- Calcular el vector z de mediciones el cual está conformado por el vector estimado \hat{x}_1 y las mediciones de PMU en coordenadas rectangulares.
- Calcular la inversa de R_{pmu} .
- Obtener la matriz R_2 .
- Calcular las matrices G_2 y g_2 .
- Las variables de estado del vector \hat{x}_2 se calculan resolviendo el sistema de ecuaciones mediante la factorización LU y la sustitución hacia delante y hacia atrás. Este bloque de operaciones se realiza en la GPU.

RESULTADOS

Se consideraron 4 casos de estudio de 14, 30, 118 y 300 nodos. Las mediciones se consideraron sin errores. En cada uno de los casos el sistema a resolver es sobre determinado ya que el número de mediciones es mayor al número de estados. Para los primeros cuatro casos de estudio, la varianza para las mediciones SCADA utilizada es $1e-4$ y para las mediciones PMU es $1e-6$.

El algoritmo fue escrito en lenguaje C y ejecutado en un servidor alienware utilizando el sistema operativo Ubuntu/Linux. El procesador del equipo es intel core i5-3450 con una velocidad de proceso de 3GHz. En la Tabla 1 se muestra el número de mediciones utilizadas para cada etapa del estimador y la aceleración obtenida en porcentaje.

Tabla 1. Resumen casos de estudio

Caso	Nodos	Mediciones SCADA	Mediciones PMU	Aceleración (%)
1	14	32	10	0.75
2	30	78	22	3.2
3	118	304	68	76.66
4	300	1638	235	106.21

En la Tabla 1 se observa que el tiempo de ejecución del algoritmo paralelo es mucho mayor al tiempo que tarda el algoritmo secuencial lo cual se ve reflejado en la aceleración. Para el último caso de estudio, se observa que el algoritmo paralelo es más rápido que el secuencial ya que se obtiene una aceleración del 6.21%.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha descrito una propuesta de paralelización del algoritmo de estimación de dos etapas utilizando el cómputo en paralelo basado en GPUs. Se mostró la funcionalidad del algoritmo a través de los sistemas de prueba IEEE de 14, 30, 118 y 300 nodos. A partir de los resultados obtenidos se observa que la aceleración tiende a crecer conforme el tamaño del sistema aumenta. Por lo que, para sistemas de gran escala, el algoritmo descrito obtendrá aceleraciones favorables.

La parte más densa computacionalmente del algoritmo es la factorización LU y la sustitución hacia delante y hacia atrás. Estas operaciones se llevan a cabo de forma iterativa en la primera etapa y en la segunda etapa se utiliza para encontrar las variables de estado de forma directa. En el algoritmo propuesto este bloque de operaciones se realiza en la GPU mediante la librería cuBLAS de CUDA. La utilización del cómputo en paralelo basado en GPU permite disminuir el tiempo de ejecución del estimador. Al reducir el tiempo en que se realiza la estimación de estado se tendrá una respuesta más rápida ante acciones de monitoreo y control del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chatterjee, P., Pal, A., Thorp, J. S., & De La Ree, J. (2015, February). Partitioned linear state estimation. In 2015 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT) (pp. 1-5). IEEE.
2. Soni, S., Bhil, S., Mehta, D., & Wagh, S. (2012, September). Linear state estimation model using phasor measurement unit (PMU) technology. In 2012 9th international conference on electrical engineering, computing science and automatic control (CCE) (pp. 1-6). IEEE.
3. Gulati, A., Gulati, N., & Solanki, S. K. (2013). Overview of State Estimation Technique for Power System Control. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, 8, 51-55.
4. Narváez, A.; "Estimador de estado robusto de sistemas eléctricos de potencia en Matlab, Corporación Centro Nacional de Control de Energía-CENACE,2010.
5. Laguna-Sánchez, G. A., Olguin-Carbajal, M., & Barrón-Fernández, R. (2011). Introducción a la programación de códigos paralelos con CUDA y su ejecución en un GPU multi-hilos. ContactoS, 80, 65-69.
6. Torre Arranz, R. (2015). Implementación de una red neuronal tipo perceptrón en GPU.
7. Almeida, F., Giménez, D., Mantas, J. M., & Vidal, A. M. (2008). Introducción a la programación paralela. Thompson Paraninfo.
8. Karimipour, H., & Dinavahi, V. (2013, September). Accelerated parallel WLS state estimation for large-scale power systems on GPU. In 2013 North American Power Symposium (NAPS) (pp. 1-6). IEEE.
9. Soyata, T. (2018). GPU parallel program development using CUDA. CRC Press.
10. Tarali, A., & Abur, A. (2012, October). Bad data detection in two-stage state estimation using phasor measurements. In 2012 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe) (pp. 1-8). IEEE.

ESTUDIO DE LAS TRANSFORMACIONES DE FASE DE UN ACERO AVANZADO LIGERO DE ALTA RESISTENCIA FE-30MN-9AL-0.15C

Eduardo Pérez Badillo, Maribel Leticia Saucedo Muñoz, Brenda Anahí Sandoval Reyes, Claudia Flores Cano, Alix Ake Kob Rodríguez.

Instituto Politécnico Nacional – Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas

RESUMEN

En el presente trabajo se estudiaron las transformaciones de fase de un acero ligero de alta resistencia Fe-30Mn-9Al-0.15C con el propósito de establecer la relación entre sus propiedades mecánicas y las fases que constituyen la microestructura. Lo antes mencionado se logró aplicando dos diferentes metodologías: una experimental y otra la de simulación numérica. El desarrollo experimental inició con la fabricación de la aleación Fe-30Mn-9Al-0.15C la cual fue homogeneizada y templada desde 1050°C para posteriormente ser sometida a tratamientos térmicos de envejecido a temperaturas de 550 y 750°C por 2, 24, 150 y 500 h. Concluidos los tratamientos térmicos, el material fue caracterizado microestructuralmente con las técnicas de difracción de rayos-X, microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido. Para la caracterización mecánica, se llevaron a cabo ensayos de tensión y pruebas de microdureza Vickers según lo establecen las normas ASTM E8 y ASTM E384 respectivamente. Mientras que para la simulación numérica, se utilizó el programa Thermo-Calc para construir el diagrama de Scheil y el de Cantidad de todas las fases vs. Temperatura del material de estudio. Además, con el módulo TC-PRISMA se construyeron y analizaron los diagramas de Tiempo-Temperatura-Precipitación y Radio promedio-Fracción volumen vs. Tiempo, con el propósito de entender la cinética de precipitación presente en el material al ser sometido al tratamiento térmico de envejecido. Los resultados experimentales mostraron que las microestructuras de la muestra en estado de colada, la muestra homogeneizada a 1050°C enfriada en el horno y la muestra templada desde 1050°C, están conformadas por una matriz ferrítica con islas de γ Fe mostrando concordancia con lo calculado por Thermo-Calc. Para el caso de las probetas tratadas a 550°C, se observó, a un tiempo de 24 h de envejecido, la presencia de la fase β Mn y carburos $M_{23}C_6$, las cuales, precipitaron en los límites de grano con una morfología acicular y cubica respectivamente. Esto produjo un constante incremento de la microdureza a medida que el tiempo de envejecido aumentó. Por otro lado, en las muestras tratadas a 750°C se observó que, a mayor tiempo de envejecido se favorece la formación de la fase γ Fe a partir de la descomposición de las fases β Mn y α Fe, lo que produjo un decrecimiento de la microdureza a medida que aumentó el tiempo de envejecido. Esto es atribuido al aumento de la fase γ Fe, la cual posee una menor dureza comparada la fase β Mn. Los resultados obtenidos en la experimentación mostraron una buena concordancia con los cálculos realizados en el programa de simulación numérica Thermo-Calc y el módulo TC-PRISMA.

INTRODUCCIÓN

Investigaciones realizadas por el Steel Market Development muestran que desde 1980 el porcentaje del acero utilizado en vehículos, en relación con otros materiales, ha aumentado de aproximadamente 53% (en peso) a principios de la década de los 80's hasta 60% en la actualidad. Este aumento en el uso de aceros ha sido posible debido al reciente desarrollo de los aceros avanzados de alta resistencia o Advanced High-Strength Steels (AHSS por sus siglas en inglés). Estos aceros están superando significativamente a los materiales que están compitiendo en aplicaciones automotrices actuales y futuras [1,2].

A diferencia de los aceros convencionales, los cuales tiene una microestructura relativamente simple y elementos de aleación mínimos, los AHSS son más complejos, particularmente por poseer microestructuras generalmente multifásicas con el propósito de crear una combinación mejorada de resistencia y ductilidad. Este equilibrio se construye cuidadosamente a través de un estricto control en la composición química del sistema base de estos aceros (Fe-Mn-Al-C), con el propósito de cumplir con los requisitos de desempeño mecánico mientras se mantiene una excelente formabilidad [3].

El sistema Fe-Al-Mn-C ha sido estudiado por varias razones; sin embargo, en las últimas dos décadas, se han dedicado muchos esfuerzos al desarrollo de aceros ligeros y dúctiles con alta resistencia para aplicaciones estructurales. En la década del 2000, Frommeyer y Brux ^[4] reportaron las aleaciones ligeras de alta resistencia Fe-Al-Mn-C con excelente ductilidad, los llamados aceros TRIPLEX. Estos aceros se caracterizan por poseer tres fases principales: una matriz que puede ser ferrítica o austenítica, ferrita y/o austenita retenida y carburos de tamaño nanométrico finamente dispersos en toda la matriz.

En la actualidad, las investigaciones se centran en aumentar la resistencia mecánica y la ductilidad a niveles más altos que los exhibidos por la primera y segunda generación de AHSS sin modificar significativamente la composición de la aleación Fe-Mn-Al-C. Una de las estrategias para llegar a lo anterior incluye el desarrollo de nuevos aceros TRIP con alto contenido de Mn y baja densidad ^[5].

Para que los estudios antes mencionados avancen, es necesario trabajar en dos frentes: el frente de la investigación ya que se necesitan más trabajos en el área de metalurgia física de los aceros Fe-Mn-Al-C, con la finalidad de esclarecer los mecanismos de deformación y el efecto de las microestructuras en la formabilidad. El segundo frente es el tecnológico; es decir, se deben desarrollar nuevas e innovadoras técnicas de procesamiento y fabricación. Por lo tanto, los trabajos futuros deben abordar alguno de los aspectos antes mencionados en el contexto del conocimiento que se ha creado a lo largo de los años ^[6].

Una herramienta esencial para el desarrollo e investigación de estos aceros son los programas de simulación numérica como Thermo-Calc y TC-PRISMA, que tienen la finalidad de determinar la cinética de precipitación y predecir los cambios microestructurales en las aleaciones metálicas, ahorrando tiempo, recursos humanos y económicos ^[7].

Es por todo lo antes mencionado que el objetivo de este trabajo es fabricar un acero con alto contenido de Mn y una baja densidad con la finalidad de estudiar las transformaciones de fase presentes en una aleación Fe-30Mn-9Al-0.15C mediante la caracterización microestructural y la aplicación de Thermo-Calc, con la finalidad de analizar el efecto de la microestructura sobre las propiedades mecánicas del material.

PARTE NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL

La Figura 1 muestra la secuencia numérica establecida para alcanzar el objetivo planteado en este trabajo. El cual se desarrolló para calcular las fases presentes en el acero Fe-30Mn-9Al-0.15C tras ser sometido a diferentes tiempos de envejecido a las temperaturas de 550°C y 750°C. Para el cálculo de los diagramas, se consideraron las temperaturas antes mencionadas, la composición química y los tiempos de permanencia en el horno que se ilustran en las Tabla 1 y 2 respectivamente. Por otro lado, la Figura 2 muestra la secuencia experimental establecida para alcanzar el objetivo planteado en este trabajo.

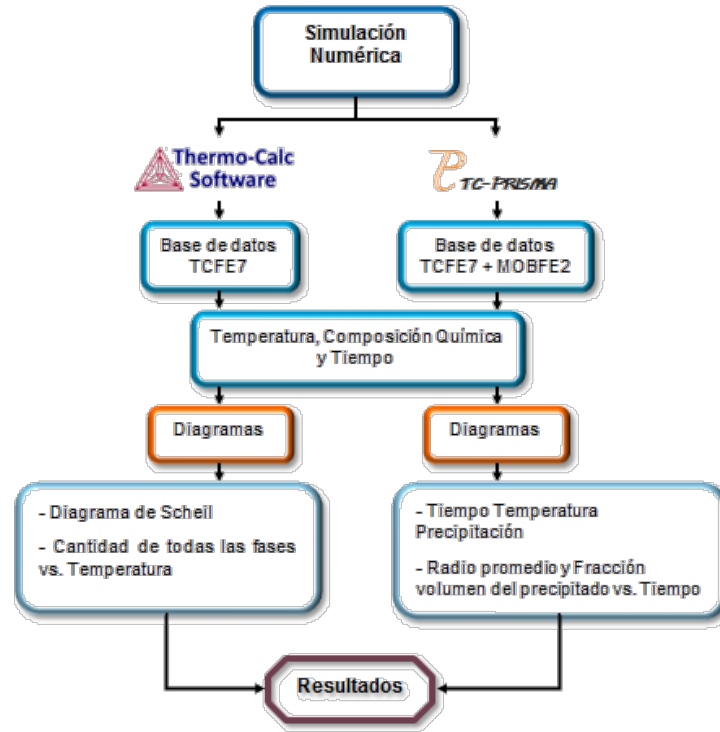


Figura 1. Diagrama de flujo del desarrollo numérico.

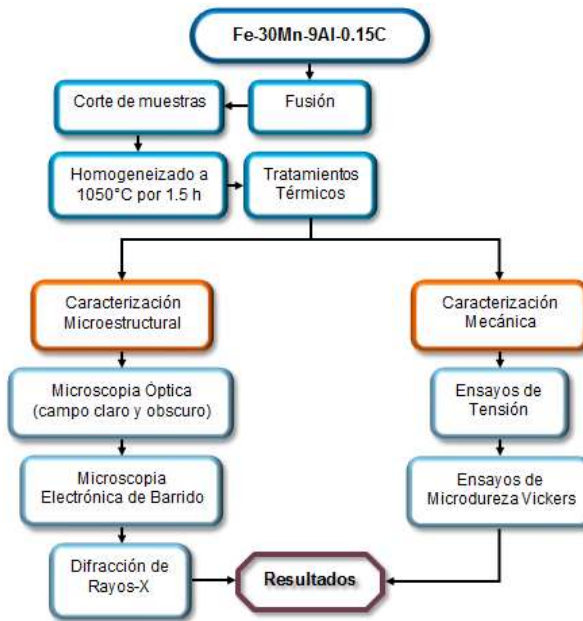


Figura 2. Diagrama de flujo del desarrollo experimental.

Fabricación de la aleación

Para comenzar la experimentación, se fabricó una aleación Fe-30Mn-9Al-0.15C (%peso); para esto se utilizó un horno de inducción de 50kg, sin embargo, solo se fundieron 5kg a una temperatura de 1650°C por 30 minutos. Para vaciar la aleación fundida, se moldeó en verde una placa con diferentes espesores como la que se muestra en la Figura 3 con la finalidad de darle, a las probetas de tensión, dimensiones aproximadas a las especificadas en la norma ASTM E8.

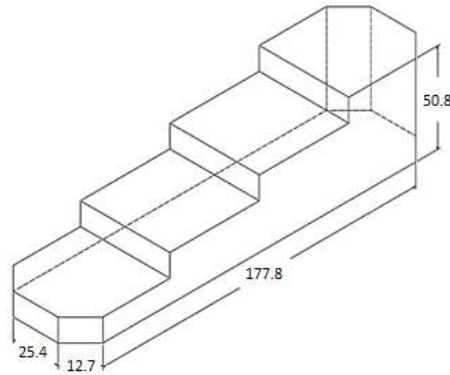


Figura 3. Dibujo isométrico de la placa de espesores utilizada para el vaciado de la aleación (acotado en mm).

Material de estudio

Una vez solidificadas las piezas, se les practicó un análisis químico usando la técnica de espectroscopia de absorción atómica, los resultados del análisis se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química en %peso del material de estudio

Elemento	% peso				
	Fe	Mn	Al	Si	C
Composición nominal	60.55	30	9	0.3	0.15
Composición real	60.39	30.31	8.84	0.31	0.15

Corte de muestras

Las probetas para la caracterización microestructural, se seccionaron en muestras de aproximadamente 1cm³, con la finalidad de facilitar su posterior manejo. Los cortes se hicieron en una cortadora semiautomática marca Struers modelo Minitom, utilizando un disco de diamante a una velocidad de corte de 300 rpm. Para evitar el calentamiento del material, se usó un líquido refrigerante durante el corte.

Tratamiento térmico de homogeneizado

Seccionadas las muestras, estas fueron homogeneizadas en un horno modelo HU3100 (con excepción de la muestra 0, esto con la finalidad de caracterizar dicha muestra en estado de colada). La temperatura de homogeneizado fue de 1050°C en un lapso de 1.5 h; después del tiempo antes mencionado, las muestras fueron templadas en agua.

Tratamiento térmico de envejecido

Para estudiar la precipitación en la aleación Fe-30Mn-9Al-0.15C, se practicaron tratamientos térmicos de envejecido en un horno modelo HU3100 según se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Disposición de probetas

Muestra	Condiciones iniciales	Tratamiento Termico
0	Estado de colada	Ninguno
Recocido	Homogenizada a 1050°C x 1.5 h, enfriada en el horno	Ninguno
A	Homogenizada a 1050°C por 1.5 h y temple en agua	Ninguno
B1		550°C x 2 h y temple en agua
B2		550°C x 24 h y temple en agua
B3		550°C x 150 h y temple en agua
B4		550°C x 500 h y temple en agua
C1		750°C x 2 h y temple en agua
C2		750°C x 24 h y temple en agua
C3		750°C x 150 h y temple en agua
C4		750°C x 500 h y temple en agua

RESULTADOS

Simulación numérica

En la Figura 5a se muestra el diagrama de Scheil del material de estudio calculado en Thermo-Calc, en donde se observan las fases que se formaran considerando una solidificación fuera del equilibrio termodinámico. De acuerdo al diagrama, la primera fase aparece a 1398°C y es α Fe, la cual a una temperatura de 1290°C alcanzara una fracción mol de 0.92. A esta misma temperatura aparece una segunda fase que es γ Fe la cual, a 1262°C alcanza una fracción mol de 0.08.

Por otro lado, en la Figura 5b se muestra el diagrama de fases en equilibrio del material de estudio, como se puede ver, durante el proceso de solidificación se formaran un total de 4 fases de acuerdo al siguiente orden: a 1398°C aparece α Fe seguida de γ Fe que aparece a 1290°C, después, a 680°C aparece el carburo metaestable M_5C_2 el cual a 600°C se disuelve en la matriz para dar paso a la formación de un carburo más estable el $M_{23}C_6$.

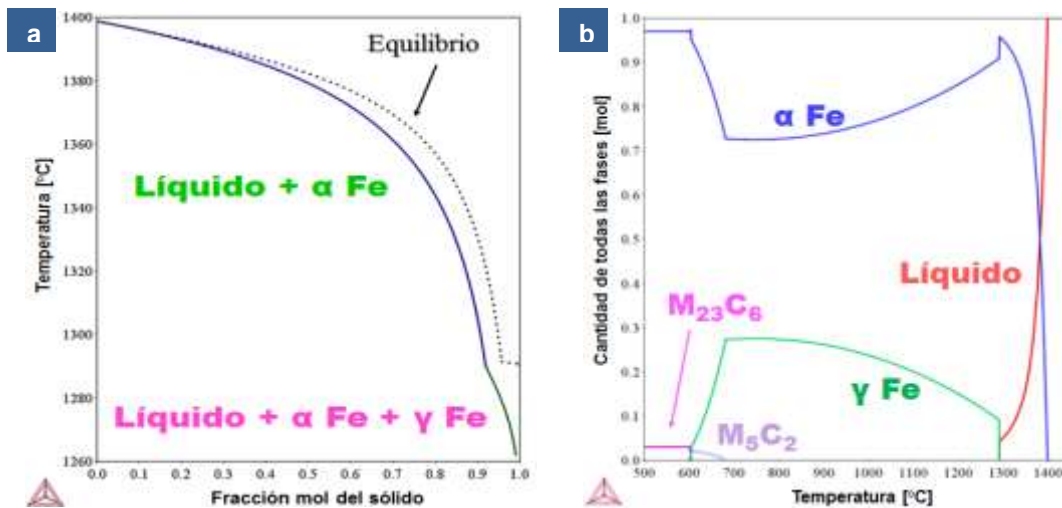


Figura 5. a) Diagrama de Scheil del acero Fe-30Mn-9Al-0.15C, b) Diagrama de cantidad de todas las fases vs. Temperatura del acero Fe-30Mn-9Al-0.15C.

En la Figura 6 se muestra el diagrama TTP del material de estudio construido con TC-PRISMA, el cual muestra la cinética de precipitación de los carburos M_5C_2 y $M_{23}C_6$ en el intervalo de temperaturas de 1000 a 500°C. Analizando el diagrama, se ve que la cinética más rápida de precipitación de ambos carburos ocurre a aproximadamente 760°C de acuerdo a la reacción: en la fase αFe precipita el carburo M_5C_2 el cual, de acuerdo al diagrama TTP es metaestable ya que se disuelve en un tiempo inferior a un milisegundo para dar lugar a la formación de un carburo más estable: el $M_{23}C_6$ rico en Mn.

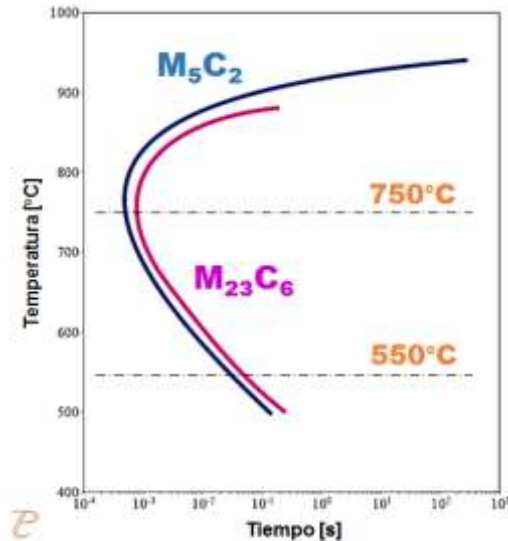


Figura 6. Diagrama Tiempo-Temperatura-Precipitación del acero Fe-30Mn-9Al-0.15C.

Para complementar la información del diagrama antes mencionado se construyeron los diagramas radio promedio y fracción volumen vs tiempo de los carburos M_5C_2 y $M_{23}C_6$ considerando una temperatura de envejecido de 550°C (Figura 7). Al analizarlos se puede ver que para el tiempo de envejecido más largo, es decir, 500 h el carburo M_5C_2 tendrá un radio promedio de 140 nm y una fracción volumen de 0.011 mientras que el carburo $M_{23}C_6$ tendrá un radio de 120 nm y una fracción de 0.015. Esto nos indica que según TC-PRISMA el carburo M_5C_2 tendrá ligeramente un radio promedio mayor que el del carburo $M_{23}C_6$ a una temperatura de envejecido de 550°C.

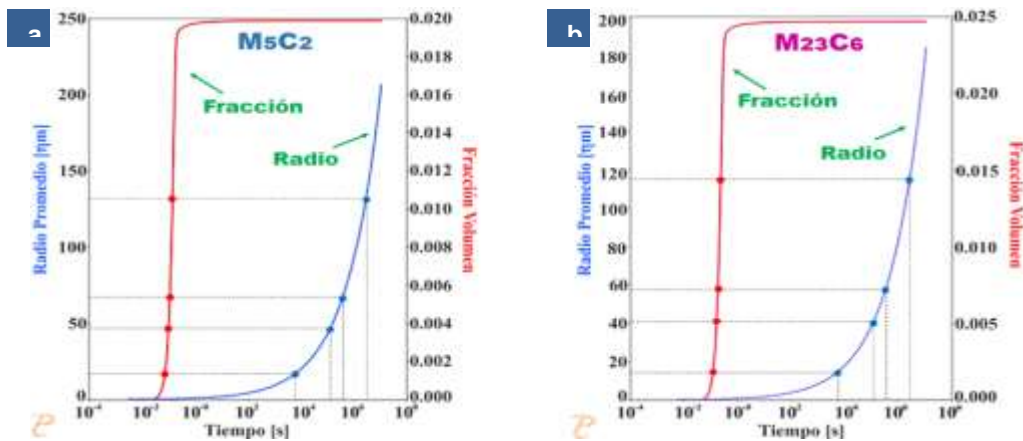


Figura 7. Diagrama Radio promedio y Fracción volumen vs. Tiempo, del material envejecido a 550°C. a) Carburos M_5C_2 ; b) Carburos $M_{23}C_6$.

Resultados Experimentales

En la Figura 8 se muestran los patrones de difracción de rayos x del material en estado de colada, recocido y templado desde 1050°C. Como se puede observar, en las tres muestras las fases presentes son α Fe y γ Fe. Analizando los difractogramas, es claro que el contenido de α Fe aumenta desde su presencia en la muestra en estado de colada, la muestra recocida hasta la muestra templada desde 1050°C.

Complementando lo antes mencionado, en la Figura 9 se presentan las micrografías obtenidas por microscopía óptica y por microscopía electrónica de barrido de las muestras antes mencionadas. Es claro que la microestructura de las tres muestras esta compuesta por una matriz ferrítica e islas de γ Fe las cuales cambian de tamaño para cada condición. Por ejemplo, en estado de colada tienen una morfología irregular y la mayoría posee un tamaño inferior a las 100 micras, por otro lado, para el material recocido, las islas de γ Fe muestran una morfología de partículas alargadas con tamaños superiores a las 100 micras. Y finalmente en el material templado se observan islas con morfologías semiesféricas y semielípticas con tamaños cercanos a 20 y 50 micras respectivamente.

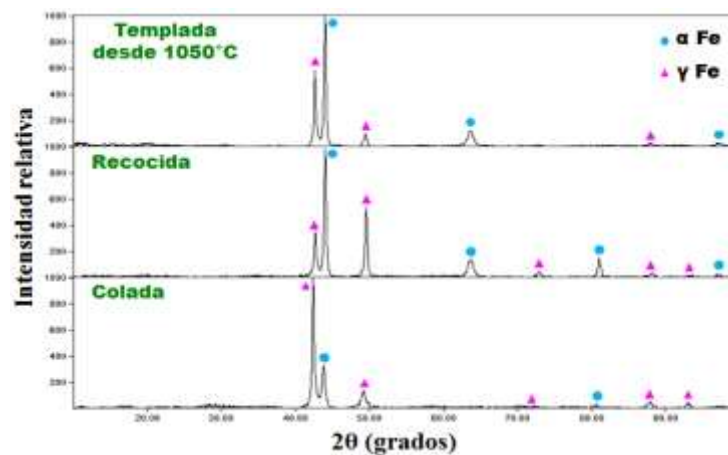


Figura 8. Patrones de difracción de rayos x de la muestra en estado de colada, la recocida y la templada desde 1050°C.

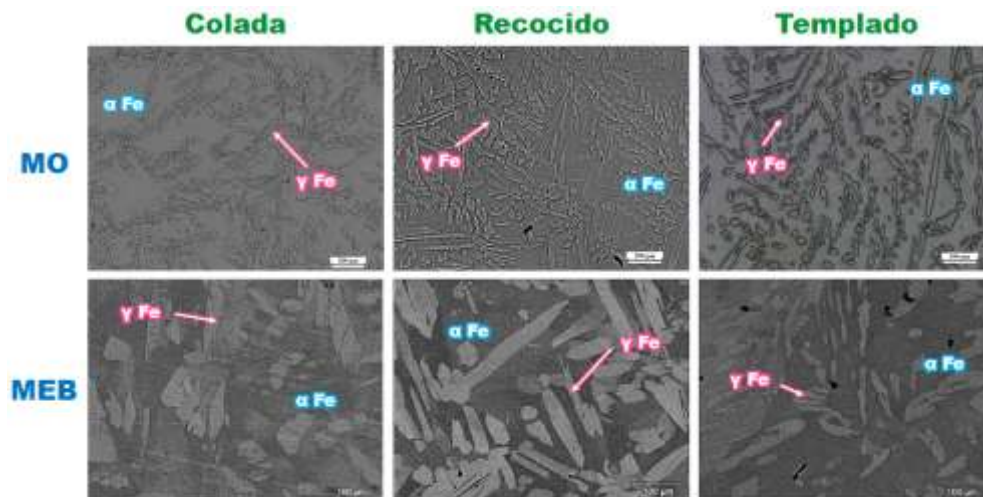


Figura 9. Micrografías MO, y MEB de la muestra en estado de colada, la recocida y la templada desde 1050°C.

En la Tabla 3 se muestra una comparación de las fases presentes en el material en estado de colada, recocido y templado encontradas de manera experimental, las fases calculadas por Thermo-Calc y las fases reportadas en la literatura para aceros con composición química y en condiciones similares al presente estudio. Se puede ver que existe una buena concordancia entre los valores experimentales y los predichos por Thermo-Calc, de igual manera estos resultados muestran una buena concordancia con respecto a lo reportado en la literatura. Por ejemplo, Springer y Chao reportaron una microestructura compuesta únicamente por γFe , lo anterior es debido a que en ambos estudios la cantidad de Al era menor con respecto al presente estudio mientras que el contenido de C fue mucho mayor.

Tabla 3. Fases encontradas de manera experimental, calculadas por Thermo-Calc y reportadas en la literatura para el acero Fe-30Mn-9Al-0.15C en estado de colada, recocido y templado

Condiciones	Experimental	Thermo-Calc	Literatura	
Colada	αFe 60% γFe 40%	αFe 92% γFe 8%	αFe 55% γFe 45%	Chang et al. Fe-29Mn-9Al-0.2C
Recocido	αFe 58% γFe 42%	αFe 73% γFe 27%	γFe 100%	Springer et al. Fe-30Mn-8Al-1.2C
Templado desde 1050°C	αFe 71% γFe 29%	αFe 77% γFe 23%	γFe 100%	Chao et al. Fe-29Mn-7Al-1.5Si-1.05C

En la Figura 10 se muestran los difractogramas de las muestras envejecidas a 550°C por diferentes tiempos. Como se puede ver, para un tiempo de 2 h de envejecido, las fases presentes son únicamente αFe y γFe , una vez alcanzadas las 24 h aparecen dos nuevas fases que son βMn y carburos M_{23}C_6 los cuales se disolverán después de 150 h de envejecido. Finalmente a las 500 h las fases estables son αFe , γFe y βMn . De este modo, a medida que aumenta el tiempo de envejecido, aumenta la cantidad de la fase βMn , al mismo tiempo que disminuye la cantidad de αFe y γFe .

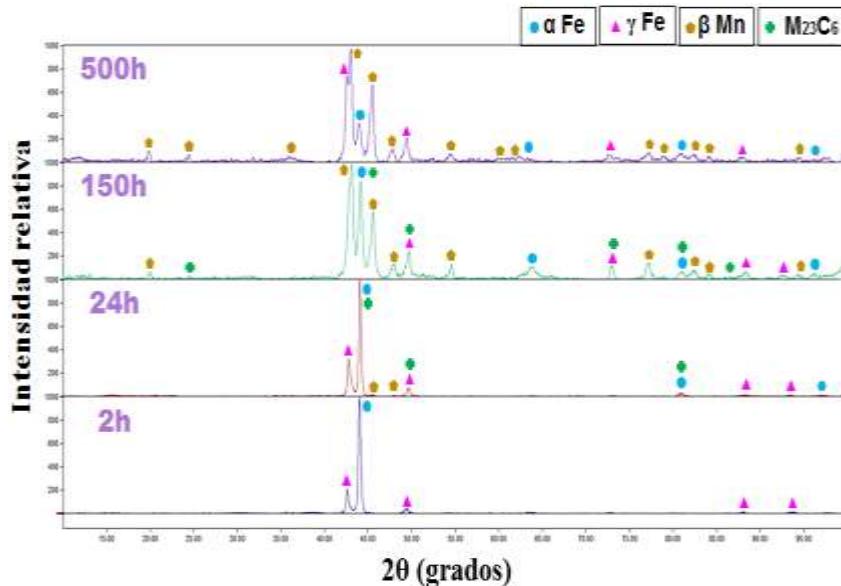


Figura 10. Patrones de difracción de rayos x de las muestras envejecidas a 550°C durante 2, 24, 150 y 500 horas.

Por otro lado, en la Figura 11 se presentan los difractogramas de las muestras envejecidas a 750°C por diferentes tiempos. Como se puede ver, es claro que a medida que aumenta el tiempo de envejecido disminuye la cantidad de β Mn al mismo tiempo que aumenta la cantidad de γ Fe.

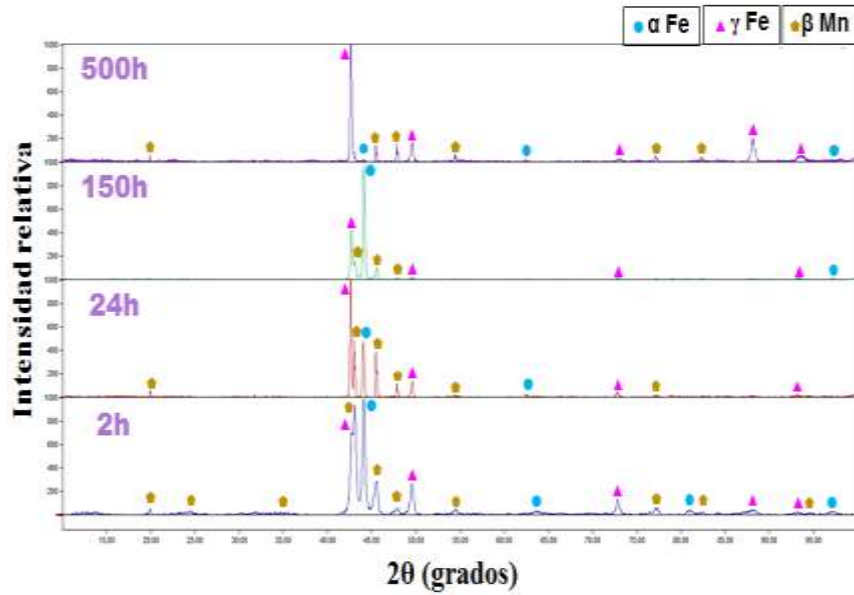


Figura 11. Patrones de difracción de rayos x de las muestras envejecidas a 750°C durante 2, 24, 150 y 500 horas.

Complementando la información mostrada en las Figuras 10 y 11, en la Figura 12 se observa una comparación de las micrografías obtenidas mediante microscopía óptica, de las muestras envejecidas a 550 y 750°C por diferentes tiempos. Analizando las micrografías de las muestras envejecidas a 550°C es claro que a medida que aumenta el tiempo de envejecido, las islas de γ Fe paulatinamente se disuelven al mismo tiempo que la fase β Mn con morfología de laminillas se intercala con la matriz ferrítica.

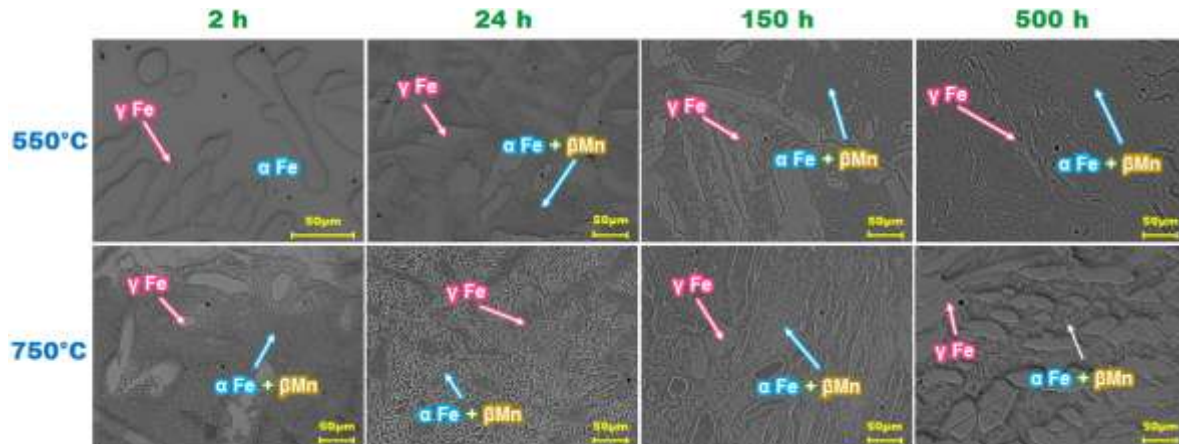


Figura 12. Comparación de las micrografías obtenidas mediante MO de las muestras envejecidas a 550 y 750°C durante 2, 24, 150 y 500 horas.

Por otro lado, las micrografías de las muestras envejecidas a 750°C muestran que para un tiempo de 2 h ya existe la presencia de βMn y a medida que aumenta el tiempo de envejecido esta fase se disuelve a la par que las islas de γFe engrosan.

Para observar un mejor contraste entre las fases que conforman la microestructura, en la Figura 13 se presentan las micrografías obtenidas por MEB del material de estudio envejecido a 550 y 750°C por diferentes tiempos. Analizando las imágenes se observa que para un tiempo de 2 h a 550°C únicamente existen las fases αFe y γFe mientras que, a 750°C a los cuatro tiempos de envejecido existe la presencia de αFe , γFe y βMn . Por otro lado, en las muestras envejecidas por 24 y 150 h a 550°C se encontró la presencia de carburos M_{23}C_6 con morfología cuboidal ubicados en los límites de grano y dentro del grano.

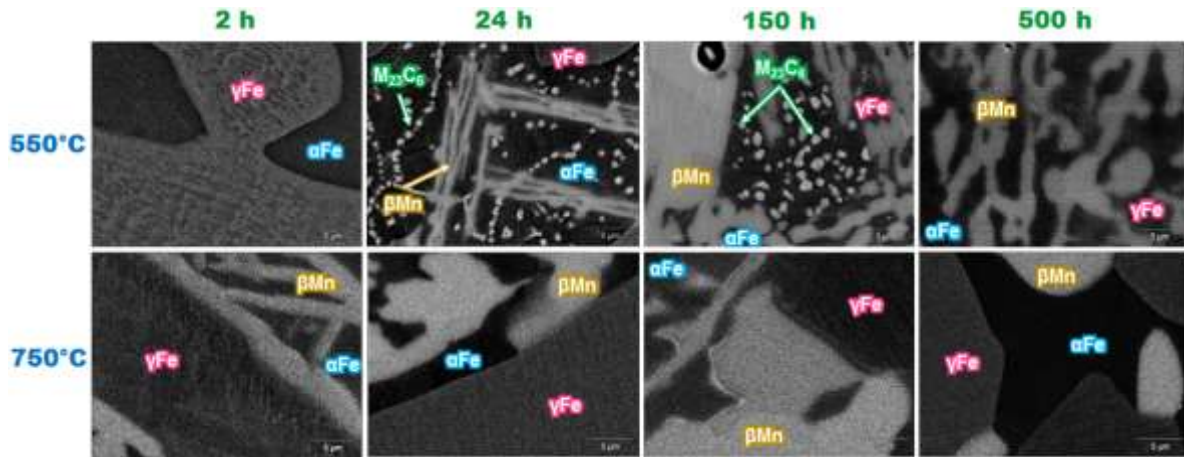


Figura 13. Comparación de las micrografías obtenidas mediante MEB de las muestras envejecidas a 550 y 750°C durante 2, 24, 150 y 500 horas.

Para observar la distribución de elementos en las fases antes mencionadas, se practicaron microanálisis semicuantitativos con la técnica de microscopía electrónica de barrido. Por ejemplo, en la Figura 14 se muestra el resultado de dichos microanálisis para la muestra envejecida a 550°C por 24 h y la muestra envejecida a 750°C por 150 h.

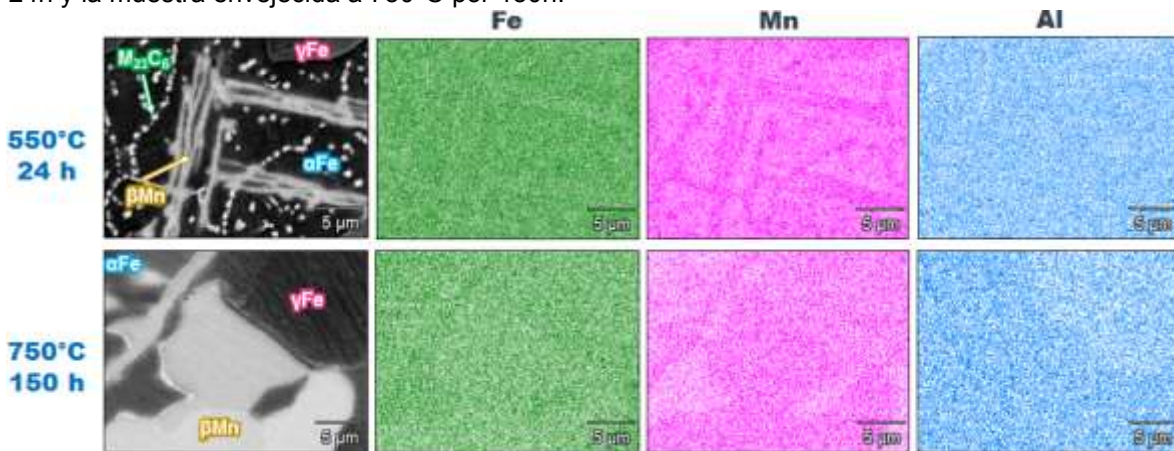


Figura 14. Microanálisis semicuantitativo del acero Fe-30Mn-9Al-0.15C envejecido a 550 y 750°C durante 24 y 150 horas respectivamente.

Como se puede ver, se corrobora que los carburos $M_{23}C_6$ son ricos en Mn tal y como Thermo-Calc lo predijo, además se observa que la fase β Mn efectivamente son las regiones con el contraste más claro.

En la Tabla 4 se muestra una comparación de las fases presentes a una temperatura de envejecido de 550°C encontradas de manera experimental, las fases calculadas por Thermo-Calc y las fases reportadas en la literatura. Analizando la tabla, se puede ver que existe una buena concordancia entre los valores experimentales y los predichos por Thermo-Calc, ya que para cada tiempo de envejecido las fases encontrada fueron practicante las mismas. De igual manera estos resultados muestran una buena concordancia con respecto a lo reportado en la literatura. Por ejemplo, a 24 y 150 h de envejecido las fases identificadas fueron α Fe, γ Fe, β Mn y carburos $M_{23}C_6$ lo que es bastante similar con lo reportado por Cheng y por Sato y colaboradores.

Tabla 4. Fases encontradas de manera experimental, calculadas por Thermo-Calc y reportadas en la literatura para el acero Fe-30Mn-9Al-0.15C envejecido a 550°C durante 2, 24, 150 y 500 h

Tiempo de Envejecido	Experimental	Thermo-Calc	Literatura
2 h	α Fe + γ Fe	α Fe + γ Fe	Sato et al. α Fe + γ Fe + β Mn
24 h	α Fe + γ Fe + β Mn + $M_{23}C_6$	α Fe + γ Fe + $M_{23}C_6$	Cheng et al. α Fe + κ + $M_{23}C_6$
150 h	α Fe + γ Fe + β Mn + $M_{23}C_6$	α Fe + γ Fe + $M_{23}C_6$	Sato et al. α Fe + γ Fe + β Mn + κ
500 h	α Fe + γ Fe + β Mn	α Fe + γ Fe + $M_{23}C_6$	Chao et al. γ Fe + κ + β Mn

Por otra parte, en la Tabla 5 se muestra una comparación de las fases presentes a una temperatura de 750°C encontradas de manera experimental, las fases calculadas por Thermo-Calc y las fases reportadas en la literatura.

Tabla 5. Fases encontradas de manera experimental, calculadas por Thermo-Calc y reportadas en la literatura para el acero Fe-30Mn-9Al-0.15C envejecido a 750°C durante 2, 24, 150 y 500 h

Tiempo de Envejecido	Experimental	Thermo-Calc	Literatura
2 h	α Fe + γ Fe + β Mn	α Fe + γ Fe	Cheng et al. α Fe + γ Fe + κ
24 h	α Fe + γ Fe + β Mn	α Fe + γ Fe	Cheng et al. α Fe + γ Fe + κ
150 h	α Fe + γ Fe + β Mn	α Fe + γ Fe	Sato et al. α Fe + γ Fe + κ
500 h	α Fe + γ Fe + β Mn	α Fe + γ Fe	Chao et al. γ Fe + β Mn + κ

Analizando la tabla, es claro que existe una buena concordancia entre los valores experimentales y los predichos por Thermo-Calc ya que en ambos casos existe la presencia de las fases α Fe y γ Fe,

de igual manera Chang y Sato reportaron estas mismas fases para tiempos de envejecido de 2, 24 y 150 h. Mientras que Chao reporto la presencia de βMn a un tiempo de 500 h.

Resistencia mecánica del acero Fe-30Mn-9Al-0.15C

La Figura 15 muestra la curva esfuerzo vs. deformación ingenieril, graficada a partir de los datos obtenidos en los ensayos de tensión practicados a la probeta en estado de colada y al acero 1018 utilizado para fabricar el material de estudio.

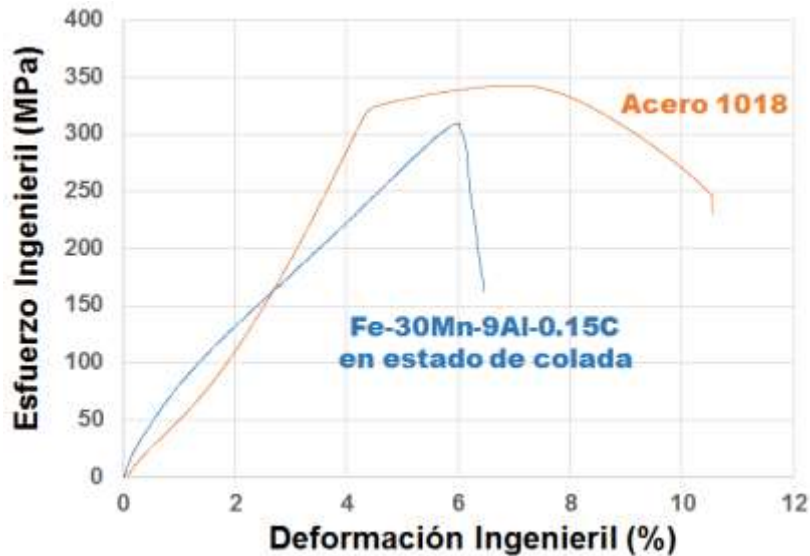


Figura 15. Curva esfuerzo vs. deformación ingenieril de la muestra en estado de colada.

Analizando la figura antes mencionada, se observa que el acero Fe-30Mn-9Al-0.15C, presentó una curva típica de un material que es frágil, provocado por una elevada dureza. Además, se observa que la muestra experimenta una considerable cantidad de endurecimiento por deformación. De este modo, en la Tabla 6 se observan los valores de cedencia, UTS y % de deformación obtenidos a partir de la curva, comparados con los valores del acero 1018 utilizado para la fabricación del material y también con valores reportados en la literatura

Tabla 6. Parámetros obtenidos a partir de la curva esfuerzo vs. deformación ingenieril de la muestra en estado de colada y su comparación con valores reportados en la literatura

Muestra	σ_y (MPa)	UTS (MPa)	Deformación (%)
Material de estudio	80	309.7	5.97
Acero 1018	325	342.8	7.36
Springer ^[10]	500	690	70
Chao ^[11]	668	729	25

Como se puede observar, los valores de cedencia y UTS reportados en la literatura son mas altos comparados con los del material de estudio, la razón es que en estos estudios reportaron que la microestructura en estado de colada estaba compuesta por γFe , αFe y carburos κ , los cuales elevan de manera significativa los valores de resistencia mecánica y el UTS.

Relación entre la microestructura del acero Fe-30Mn-9Al-0.15C y la microdureza Vickers

En la Figura 16 se observan las curvas de envejecido del material de estudio, en las cuales, se aprecia la evolución de la dureza a medida que aumentó el tiempo de envejecido. De este modo, los tres primeros valores de dureza (en orden ascendente) corresponden a: la muestra en estado de colada (13HRC), la muestra en recocida (15HRC) y la muestra templada desde 1050°C (24HRC).

Analizando la figura antes mencionada, para el caso de las muestras envejecidas a 550°C por distintos tiempos, existe un incremento constante de la dureza, lo cual está relacionado con la presencia, tanto de los carburos $M_{23}C_6$ como de la fase βMn a medida que aumenta el tiempo de envejecido.

Por otra parte, para las muestras envejecidas a 750°C, se aprecia que, desde las primeras etapas de envejecido hasta las 500 h, la dureza del acero va en decrecimiento. Lo antes mencionado es atribuido a que a medida que aumenta el tiempo de envejecido, la cantidad de βMn disminuye de manera simultánea que la cantidad de la fase γFe aumenta. Debido a que la fase γFe posee una menor dureza que la fase βMn , es de esperarse que la dureza del acero decrezca.

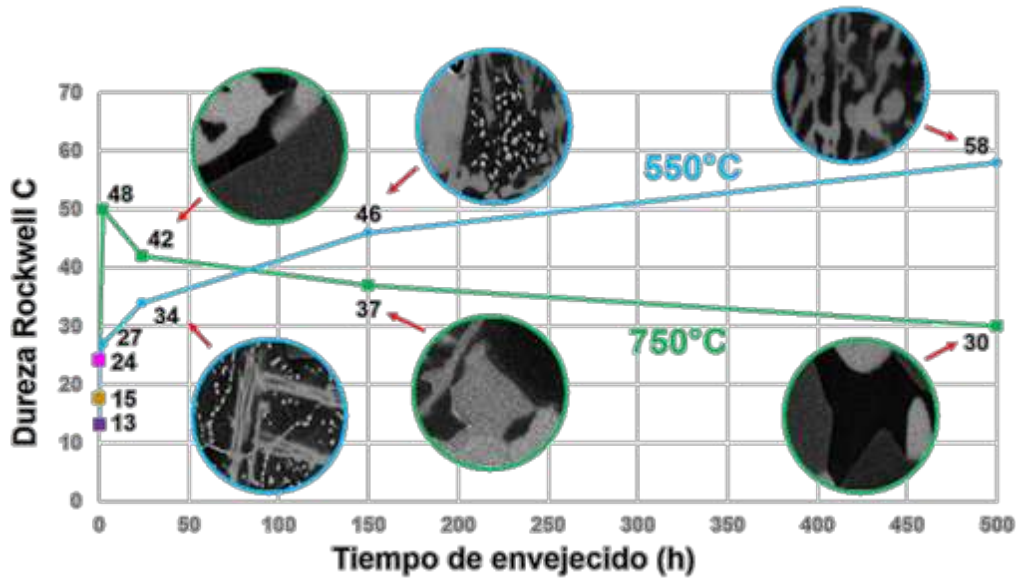
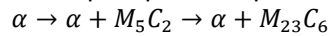


Figura 16. Curvas de envejecido del acero Fe-30Mn-9Al-0.15C.

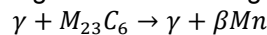
CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo planteado en este trabajo, así como los resultados obtenidos en el desarrollo del mismo, se llega a las siguientes conclusiones:

1. La microestructura de la aleación Fe-30Mn-9Al-0.15 en estado de colada, está compuesta por una matriz ferrítica e islas de austenita, concordando con lo calculado por Thermo-Calc.
2. La microestructura de la aleación Fe-30Mn-9Al-0.15 templada desde 1050°C, está compuesta por ferrita (71.36%) y austenita (28.64%), lo que resulta bastante similar a lo calculado por Thermo-Calc: ferrita (77.8%) y austenita (22.2%).
3. Las muestras envejecidas a 550°C por 24 y 150 h mostraron la presencia de carburos $M_{23}C_6$ con morfología cuboidal, los cuales, de acuerdo a los resultados de TC-PRISMA y a los microanálisis semicuantitativos, eran ricos en Mn. Estos precipitados aparecieron de acuerdo a la reacción:



4. Las muestras envejecidas a 550°C mostraron que a mayor tiempo de envejecido se favoreció la formación de la fase βMn a partir de la descomposición de las fases γFe y los carburos $M_{23}C_6$, la cual, precipitó en los límites y dentro del grano con morfología de placas de acuerdo a la reacción:



5. La microdureza de las muestras envejecidas a 550°C mostró un constante incremento a medida que el tiempo de envejecido aumentó. Esto es atribuido a la cantidad de βMn presente en la microestructura.
6. En las muestras envejecidas a 750°C se observó que a mayor tiempo de envejecido se favoreció la formación de la fase γFe a partir de la descomposición de las fases βMn y αFe .
7. La microdureza de las muestras tratadas a 750°C disminuyó a medida que aumentó el tiempo de envejecido. Esto es atribuido al aumento de la fase γFe , la cual posee una menor dureza comparada la fase βMn .

BIBLIOGRAFÍA

1. Schaeffler J. Daniel, "Introduction to Advanced High Strength Steels Part I: Grade Overview Thefabricator.Com®" August 9, 2005.
2. Steel Market Development Institute, AHSS 101: The Evolving Use of Advanced High-Strength Steels for Automotive Applications.
3. World Auto Steel. (2011) Future Steel Vehicle – Final engineering report.
4. Hansoo, K., Dong-Woo, S., y Nack, J. K. "Fe–Al–Mn–C lightweight structural alloys: a review on the microstructures and mechanical properties". *Science and Technology of Advanced Materials*, 14(1), 2013, pp. 1-11.
5. De Moor, E., Gibbs P. J., Speer, J. G., y Matlock, D. "Strategies for Third Generation Advanced High Strength Steel Development". *Iron and Steel Technology*, 7(11), 2010, pp. 133-144.
6. Chen, S., Rana, R., Haldar, A. y Ray, K. R. "Current state of Fe-Mn-Al-C low density steels". *Progress in Materials Science*, 89, 2017, pp. 345-391.
7. Janssens, K. G. F. (2007). "Computational Materials Engineering and Introduction to Microstructure Evolution". Burlington E.U.A., Elsevier.

DETECCIÓN DE DEFECTOS EN CUEROS TERMINADOS USANDO VISIÓN ARTIFICIAL Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Mónica Salgado Solís^{1,a}, Juan F. Mosiño¹, Ignacio Hernández Bautista², Raúl Santiago Montero¹, Rosario Baltazar Flores¹ y Marcela Palacios Ortega¹

¹TECNM/Instituto Tecnológico de León. División de Estudios de Posgrado e Investigación,

²Cátedra CONACyT – Instituto Tecnológico de León.

^amokinta@hotmail.com

RESUMEN

La detección de defectos es uno de los principales problemas en la inspección de la calidad de los cueros, es un proceso realizado manual y visualmente por lo que requiere de un tiempo considerable para realizarse. La selección de cueros y en consecuencia su precio dependen del proceso de inspección. Estas características lo convierten en un proceso crítico en la industria, el cual requiere ser más productivo y certero en la detección de los defectos.

Este trabajo presenta una solución para asistir al inspector en la detección de defectos basada en procesamiento de imágenes utilizando Filtros de Gabor, cuya característica destacable en el procesamiento de imágenes es que su respuesta al impulso se localiza tanto en el dominio espacial como en el de la frecuencia, por lo que resulta apto para buscar diferencias entre las texturas de la piel. En los resultados fue posible detectar y resaltar las fallas más comunes en imágenes de cueros completos, segmentando los defectos y resaltándolos con un proceso de umbralización con valores distintos, logrando la detección de incluso los defectos más pequeños, mejorando con esto los resultados reportados en estudios previos.

SUMMARY

Defect detection is one of the main problems in quality inspection of the leathers, it is a process carried out manually and visually, which requires considerable time to be completed. The selection of the leather and consequently their price depends on the inspection process. These characteristics make it a critical process in the industry, which is required to be more productive and accurate detecting defects.

This work presents a solution to assist the inspector in the detection of defects based on image processing using Gabor Filters, whose remarkable feature in image processing is that its impulse response is located both in the spatial domain and in the frequency domain, so it is suitable for looking for differences between leather textures. In the results of this work, it was possible to detect and enhance the most common defects in images of complete leathers, segmenting the defects and highlighting them with three different thresholds, achieving the detection even of the smallest defects, improving with this the results reported in previous researches.

INTRODUCCIÓN

El cuero es uno de los principales productos que a lo largo de los años ha sido de los principales insumos para muchas industrias, principalmente para el sector cuero calzado marroquinería y más recientemente para la industria automotriz. La inspección de calidad realizada en las pieles es un proceso que tiene el propósito de encontrar las fallas o defectos más críticos por medio de una revisión visual y manual a los cueros uno por uno con personal altamente capacitado y con experiencia en el ramo, sin embargo el factor humano puede provocar variabilidad en los resultados de la inspección debido a múltiples factores como iluminación, vista del operador, cansancio, capacitación o diferencia de criterios. Esto provoca que sea un proceso crítico que requiere de un tiempo considerable para realizarse y también un alto costo al requerir de personal especializado. Adicional a todas las características propias del proceso, cabe mencionar que de él dependen los precios del cuero que se ofrecen a los clientes, es decir a mayor calidad en el cuero mayor será su precio al que se pueda vender.

El presente trabajo propone una solución a la problemática de la variabilidad que se obtiene en los resultados de inspección manual de las pieles, con la propuesta de un sistema de visión artificial

donde se aplican diversas técnicas de procesamiento de imágenes, tal como los Filtros de Gabor capaces de detectar los defectos en imágenes de cueros completos.

Los Filtros de Gabor aplicados analizan las frecuencias y direcciones especificadas dentro de una región localizada y alrededor de un espacio por analizar. Esta ventaja los hace particularmente apropiados para representar señales en el dominio del espacio y la frecuencia como lo son las texturas de las pieles. Una vez filtradas las imágenes son umbralizadas con el objeto de realzar los defectos encontrados. En los resultados se observa la imagen con el contorno original del cuero completo y con los defectos realzados en tres opciones distintas de imágenes, cada una correspondiente a un umbral diferente, de esta forma un inspector en el proceso podría elegir cuál de ellas se acerca más a su criterio de aceptación o selección.

Cabe mencionar que no se propone sustituir al personal dedicado a tan importante labor, por el contrario puede ser una herramienta fundamental para la industria en su proceso de inspección de pieles, logrando con ello reducir la probabilidad de falla humana inherente al proceso, haciéndolo más productivo y estandarizado.

Antecedentes

El problema de la detección de defectos en superficies texturizadas se ha abordado con anterioridad y con el paso del tiempo se ha visto la importancia de la introducción de cada vez mejores tecnologías en el campo de la visión artificial encaminadas a la solución de problemas de análisis de texturas y detección de defectos en diferentes materiales de forma automatizada y eficiente. Las primeras investigaciones a este respecto surgieron a finales de la década de los noventa buscando aplicaciones de procesamiento de imágenes, visión artificial, filtrado y segmentación de texturas utilizando diversas técnicas, como clasificadores y operadores morfológicos [12]. Particularmente en la detección de defectos en cueros, se destaca el uso de transformadas wavelet [7,9] wavelets de alta resolución para eliminación de ruido [3], comparación de resultados de transformadas wavelet y curvelet [1], matrices de energía, filtros de morfología matemática para la eliminación del ruido [9], análisis de histogramas [11], detección de defectos en crudo y *wet blue* con aplicación de matrices de coocurrencia [4].

Por otro lado, los filtros de Gabor son capaces de representar una señal conjuntamente en el dominio del espacio por una función Gaussiana y una rejilla sinusoidal en el dominio de la frecuencia [8], lo cual los hace particularmente apropiados para el análisis de texturas. En la detección de defectos en superficies texturizadas como textiles, madera, cuero, lija y baldosas se utilizaron procesos de entrenamiento y control estadístico para establecer el umbral [13], mejorando después con la aplicación de filtros de Gabor 1D y 2D para evitar la afectación del resultado con cambios de rotación en texturas estructurales [14]. Posteriormente para aumentar la eficiencia computacional en la determinación de los parámetros del filtro Gabor, fueron aplicados métodos de optimización de algoritmos genéticos (GA) y *Particle swarm optimization* (PSO) para ajustar los parámetros de Gabor a la respuesta de energía mínima [10].

TEORIA

En el procesamiento de imágenes, un filtro de Gabor, llamado así por Dennis Gabor, es un método de extracción de características de textura no fácilmente escalable. Las matrices de micro-estructuras deben ser derivadas para que coincidan con la inherente periodicidad de cada textura a caracterizar. Un filtro de Gabor bidimensional es una rejilla sinusoidal del campo complejo modulada por una función Gaussiana bidimensional en dominio del espacio. Los filtros de Gabor tienen orientación ajustable, bandas de frecuencia radial, y frecuencias centrales ajustables [8].

Debido a la propiedad de multiplicación-convolución dada por el teorema de convolución, la transformada de Fourier de la respuesta al impulso de un filtro de Gabor es la convolución de la transformada de Fourier de la función armónica sinusoidal y la transformada de Fourier de la función gaussiana. (Véase Figura 2). Por lo tanto la respuesta al impulso de Gabor es una función sinusoidal multiplicada por una función Gaussiana (Véase Figura 1). Este filtro particularmente apropiado para el análisis de texturas analiza si hay algún contenido de frecuencia específico en la imagen en direcciones específicas en una región localizada alrededor de un punto o región que se desea analizar.

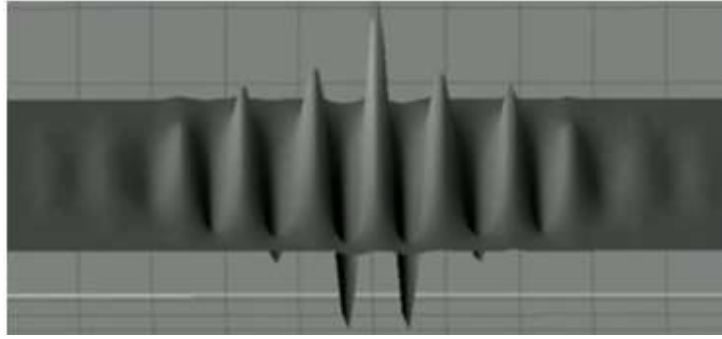


Figura 2. Función elemental de Gabor y su transformada Fourier [4].

El filtro tiene un componente real e imaginario que representa direcciones ortogonales [6]. Los dos componentes pueden formarse en un número complejo o usarse individualmente (Ver Figura 2). La parte compleja está dada por:

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(i\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right)\right) \quad (1)$$

De allí la parte real está dada por:

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad (2)$$

La parte Imaginaria está dada por:

$$g(x, y; \lambda, \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \sin\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad (3)$$

Donde:

$$(x', y') = (x \cos \theta + y \sin \theta, -x \sin \theta + y \cos \theta) \quad (4)$$

En las ecuaciones (1-4), λ lambda representa la longitud de onda del factor sinusoidal, θ theta representa la orientación de la normal a las franjas paralelas de una función de Gabor. Al variar θ podemos buscar texturas orientadas en una dirección particular, ψ psi es el desplazamiento de fase, σ sigma es la desviación estándar de la envolvente gaussiana y al cambiarla se cambia el soporte de la base o el tamaño de la región que se está analizando en la imagen, y por último γ gamma es la relación de aspecto espacial que especifica la elipticidad del Apoyo de la función de Gabor.

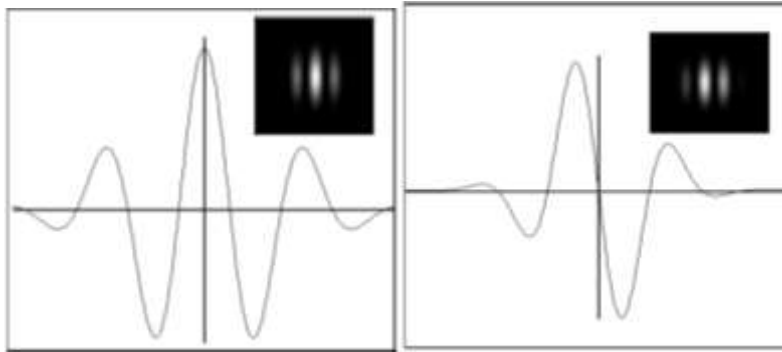


Figura 2. Izq: Parte real de la función de Gabor-2D y su perfil simétrico. Der: parte imaginaria de la función de Gabor-2D y su perfil asimétrico [5].

Al diseñar los filtros de Gabor para varias dilataciones y rotaciones, se crea lo que se conoce como banco de filtros que consiste en filtros de Gabor con varias escalas y rotaciones. Los filtros se combinan con la señal, lo que da como resultado el llamado espacio de Gabor. Estos bancos de filtros una vez generados se pueden sumar para volver a reconstruir la imagen original ya procesada.

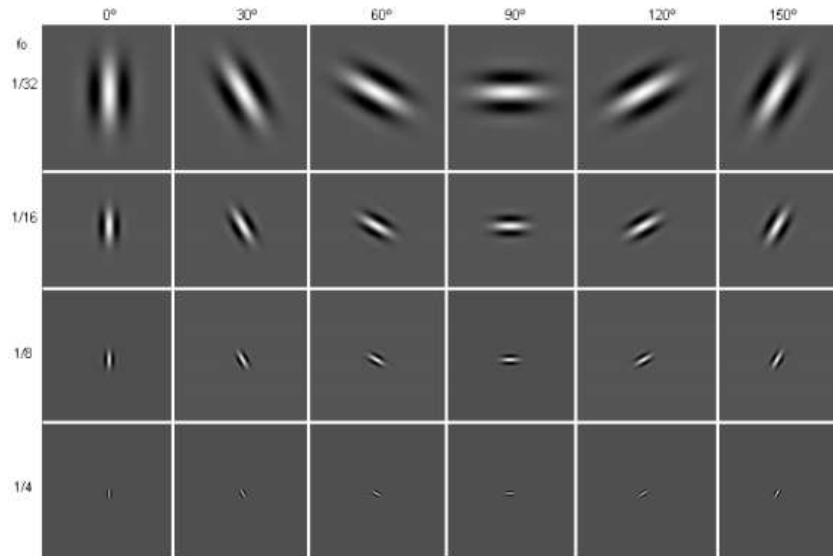


Figura 3. Descomposición en esquema piramidal multi-escala. Cada fila representa un canal de frecuencia, y cada columna un canal de orientación [5].

Al aplicar un Banco de 24 filtros simétricos o funciones de Gabor-2D resultantes de combinar 4 escalas o canales de frecuencia espacial con 6 orientaciones a una imagen digital, ésta resulta analizada, produciendo una representación multi-escala y multi-orientación que puede organizarse en un esquema piramidal y, a partir del cual será posible una reconstrucción casi completa de la imagen de entrada en el sistema. Este banco de 24 filtros de Gabor 2D es denominado [5] *Even-filter*, el cual se muestra en la *Figura 3*.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Con el objeto de diseñar el sistema de visión inteligente que detecte los defectos visibles en un cuero es pertinente definir la variedad de defectos posibles que un cuero puede presentar y que son observados en un proceso de inspección de calidad. Los defectos o fallas más comunes pueden ser clasificados en 3 diferentes clases:

- I. Defectos naturales. Son los defectos provenientes de la vida del animal como: rasguños, arañazos, fierros, venas, marcas de parásitos, etc.
- II. Defectos no naturales. Estos pueden ser parte del proceso de curtido o incluso del acabado como descarnes, flor suelta, marcas de números, hoyos, etc.
- III. Defectos de concepto o diseño. Son aquellos que se relacionan con el color o el tacto tales como diferencias de tono, tacto graso no deseado, graneado (grabado) distinto al deseado, calibre no deseado etc..

NOMBRE	IMAGEN	DESCRIPCION
Lacras		Marcas naturales del cuero ocasionas por insectos
Marcas de Fierros Calientes		Cicatrices no naturales del cuero ocasionadas por la marca del ganado.
Venas abiertas		Marcas de venas, provocadas por errores en el proceso, la piel puede abrirse posteriormente.
Cortaduras		Marcas no naturales provocadas por descuidos en el proceso de descarne.
Tábano		Agujeros pequeños que deja una especie de insecto que ataca frecuentemente el ganado.
Garrapata		Marcas o pequeños agujeros provocados por el parásito de la Garrapata.
Marcas de Números		Marcas no naturales en el cuero realizadas en las tenerías para identificar partidas.
Rasguños		Marcas naturales del ganado por alambres de púas o por riñas entre animales.
Agujeros		Agujeros provocados por una degradación excesiva del cuero en el proceso en curtiduría.

Figura 4. Defectos visibles de los cueros

La clase de defectos en la que se centra esta investigación es en la clase I que son defectos totalmente perceptibles a la vista, y algunos defectos de la Clase II tales como los hoyos o las marcas de números, ya que al considerarse defectos visibles pueden ser detectados en una imagen (Véase Figura 4). El resto de los defectos de clase II y los de Clase III, son inspeccionados y catalogados en la industria, utilizando otros métodos como la manipulación del cuero o el tacto, haciéndolos imposibles de detectar con un sistema de visión artificial.

El proceso de inspección de calidad se realiza manual y visualmente por un inspector y consiste en detectar las fallas o defectos visibles del cuero y comparar el producto contra una muestra elaborada previamente que cuenta con las características deseadas de calidad, color, suavidad, tacto y calibre (grosor). Posteriormente el cuero es clasificado según su porcentaje de aprovechamiento en primera selección, segunda selección, tercera selección, e incluso cuarta y quinta selección dependiendo del criterio que tome la empresa.

Un cuero tiene 3 zonas de calidad perfectamente identificables y conocidas en la industria. La primera y de mejor calidad es la región del lomo del animal denominado “crupón”, la segunda de calidad menor que la anterior es el cuello del animal y por último las “faldas” que corresponden a la panza del animal. El inspector clasifica el cuero de acuerdo a su porcentaje de aprovechamiento, el cual va a depender de las zonas en las que sean detectadas las fallas.

Captura de las Imágenes

Para procesar imágenes y obtener buenos resultados es imprescindible capturar las imágenes con las mejores condiciones posibles de iluminación y resolución, para que las imágenes sean nítidas y se facilite su procesamiento. Una cámara de 12 Mega píxeles colocada a una distancia aproximada de 1.4 m con respecto al cuero proporciona suficiente resolución para visualizar en la imagen el detalle de los defectos del cuero y proporciona también el beneficio de no ser de gran tamaño, evitando así la saturación de la memoria al momento de procesar las imágenes.

Con respecto al escenario de captura, es necesario generar las condiciones idóneas de iluminación para la captura de las imágenes, evitando fuentes excesivas de luz que puedan proporcionar brillo a la imagen capturada. El brillo es un factor no deseado en una imagen, en el procesamiento y tratamiento de imágenes los factores no deseados son conocidos como ruido, ya que no permiten obtener los resultados deseados, y deben ser en medida de lo posible reducidos o eliminados de la imagen. El escenario a diseñar debe eliminar o reducir estos efectos no deseados en la imagen desde el momento previo a la captura de imágenes.

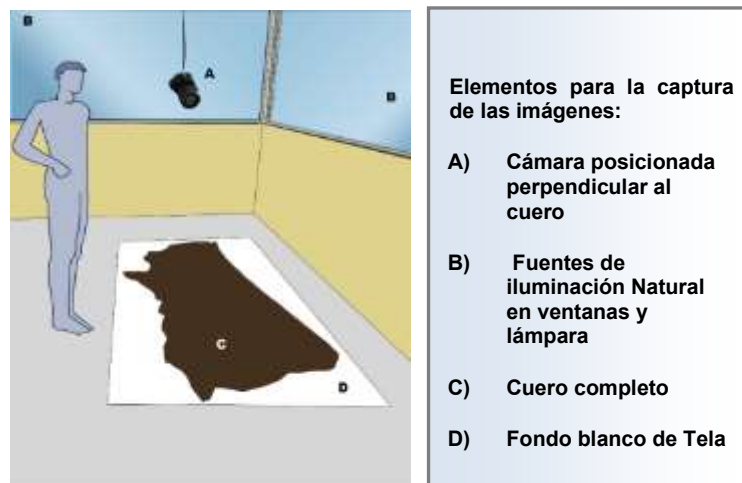


Figura 5. Escenario de captura de imágenes

El escenario de captura (Véase Figura 5) cuenta con entrada de iluminación natural de forma indirecta por 3 ventanas grandes, la cual proporciona la ventaja de ser uniforme y suficiente, también cuenta con iluminación artificial opcional que puede ser utilizada para iluminar el cuero siempre y cuando no genere demasiado brillo en la imagen capturada. Otro elemento que permite facilitar el procesamiento de la imagen es un fondo blanco colocado debajo del cuero para proporcionar contraste a su color, siendo éste un factor clave para detectar el contorno del cuero posteriormente. El fondo blanco se considera como el área de trabajo con dimensiones de 1.4 x 2.2 metros, para dar cabida a cueros de grandes dimensiones de hasta 300 dm². Todas las condiciones mencionadas sirvieron para la captura de una muestra de 30 imágenes de distintos cueros con varias tonalidades (Véase Figura 6) y con diversos tipos de defectos previamente visualizados por un inspector capacitado.

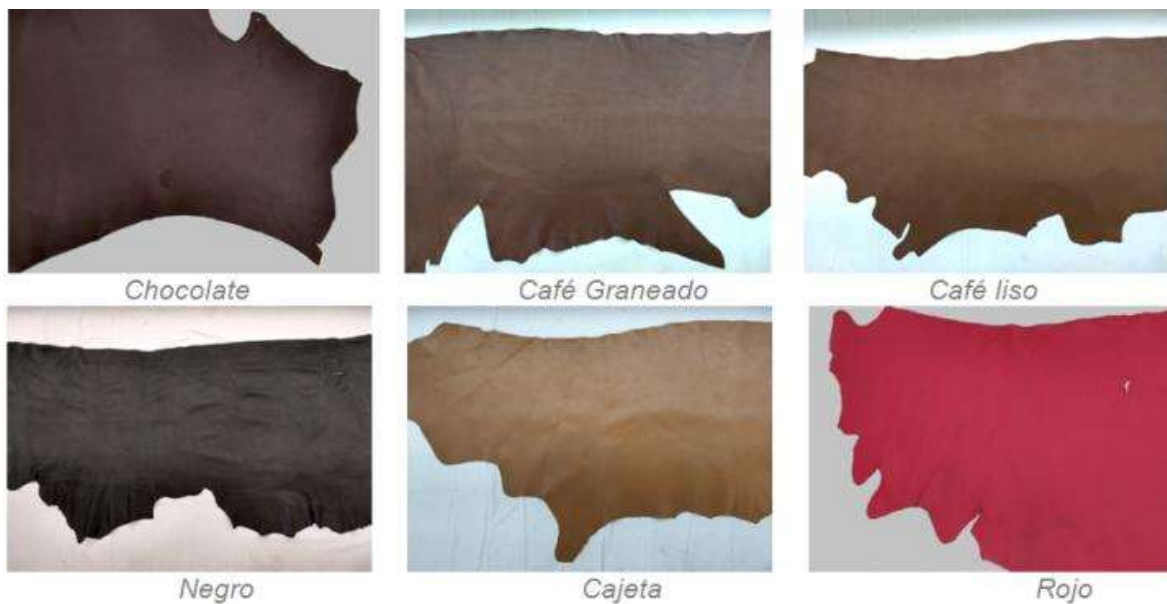


Figura 6. Variedad de colores en imágenes capturadas

Procesamiento de las Imágenes con Filtros de Gabor

Se ha demostrado en estudios previos que los filtro de Gabor han sido particularmente apropiados para el análisis de texturas y detección de defectos debido a que son capaces de representar una señal conjuntamente en el dominio del espacio por una función Gaussiana y una rejilla sinusoidal en el dominio de la frecuencia. El método de filtro Gabor, como muchos otros métodos, proporcionan resultados mixtos [8], es decir, se desempeñan bien en algunas muestras de textura, pero deficiente en otras. Por ello es necesario un proceso de experimentación modificando los parámetros hasta encontrar los rangos de valores en un Banco de Filtros de Gabor con los cuales se obtenga el mejor resultado en la detección de los defectos del cuero.

Para el procesamiento de las imágenes se utiliza MATLAB que es un software muy apropiado para este propósito por ser un entorno numérico computacional que facilita el procesamiento de imágenes, la segmentación, la manipulación de regiones de interés entre otras cualidades.

Los parámetros a modificar dentro de la función de Filtros de Gabor en MATLAB son:

1. La longitud de onda del factor sinusoidal λ debe ser especificada como un escalar numérico en el rango en pixeles/ciclo $[2, \infty)$. Los valores con buen resultado fueron longitudes de onda entre 6 y 7. Entre más se aleja la longitud de onda de estos valores, los defectos encontrados se ven más borrosos, y el contorno del cuero se engrosa o se duplica.
2. La orientación del filtro θ se define como la dirección normal a la onda plana sinusoidal, especificada como un escalar numérico en el rango $[0, 2\pi]$ de coordenadas polares. El Valor de θ que proporciona el mejor resultado es el rango de $[0, \pi/2]$ ya que muestra mejor definición en el contorno del cuero y buena detección de los defectos. Los rangos de valores más altos hasta π y hasta 2π muestran contornos y líneas dobles no deseadas.
3. El parámetro de Gamma γ representa la relación de ejes semi-principales y semi-menores de la función gaussiana y controla la elipticidad del Gaussiano. Especificado como un escalar numérico. Los valores típicos de la relación de aspecto espacial se encuentran en el rango $[0.23, 0.92]$. El valor intermedio de 0.5 demostró buen resultado ya que al alejarse de este valor hacia arriba o hacia abajo, la definición de los defectos se iba perdiendo.
4. El ancho de banda de frecuencia espacial determina el límite de la respuesta del filtro a medida que el contenido de frecuencia de la imagen de entrada varía de la frecuencia preferida. Es un escalar numérico en unidades de octavas y los valores típicos para el ancho de banda de frecuencia espacial están en el rango de $[0.5, 2.5]$. El valor que mostró el mejor resultado fue de 1

5. El número de Canales en que se dividen las orientaciones. esto para hacer el banco de filtros lo más robusto posible, sin afectar la velocidad de procesamiento. La clave es buscar un buen resultado sin que afecte la velocidad de procesamiento y la calidad de la imagen resultante. Los valores probados fueron de [10, 20]. Se observaron buenos resultados entre 15 y 20 canales, aunque la velocidad de procesamiento es menor con 15 canales.
6. El desplazamiento de fase ψ inicia con el algoritmo en 0 y se va incrementando dependiendo del número de canales definidos N , que en este caso se eligió el valor de 20 por ser el que mejor resultado mostraba. Al reducir el número de Canales, se reduce también el desplazamiento de fase, por tanto no se obtiene un resultado satisfactorio.

Una vez encontrado el rango apropiado de los parámetros se conforma el Banco de Filtros de Gabor por medio de un ciclo programado en MATLAB que realiza la concentración y reconstrucción de todos los resultados del Banco de Filtros Gabor, conjuntándolos en una sola imagen de salida donde se destacan todos los defectos encontrados en el cuero. En la *figura 7* se muestran algunos de los resultados obtenidos.

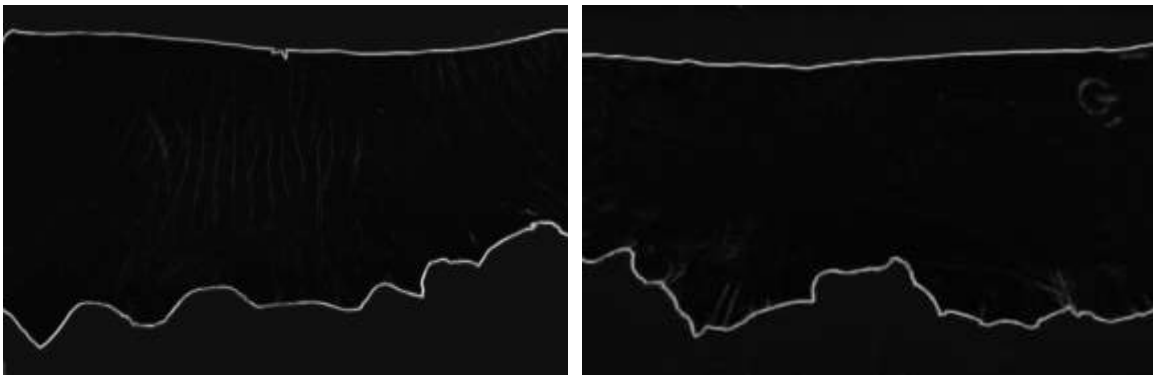


Figura 7. Imágenes obtenidas con el Banco de Filtros de Gabor con los parámetros probados.

La imagen resultante del procesamiento con los Filtros de Gabor es una imagen representada en MATLAB en escala de grises, donde cada elemento de la matriz de la imagen tiene un valor de entre 0 (negro) hasta 255 (blanco). La imagen procesada muestra los defectos en sombras blancas y grises, sin embargo se requiere particularmente la zona de interés en los defectos encontrados, por lo cual es necesario un proceso de umbralización de la imagen, para distinguir claramente las zonas con defecto de las que no lo son.

El algoritmo desarrollado de umbralización tiene como propósito hacer la distinción de los defectos encontrados en la imagen procesada de Gabor. Para este propósito la imagen obtenida será binaria con solo dos valores, 0 que corresponde a las zonas sin defecto y 1 para resaltar los defectos detectados así como el contorno del cuero.

El resultado de segmentar una función de imagen $g(x,y)$ respecto al umbral τ es la función binaria:

$$g(x,y) = \begin{cases} C_0 & \text{si } f(x,y) < \tau \\ C_1 & \text{si } f(x,y) \geq \tau \end{cases} \quad (6)$$

En la matriz de la imagen los pixeles marcados según la función con c_1 tendrán el valor normalizado de 1 correspondiente a las zonas con defecto y el contorno del cuero, mientras que los marcados con c_0 tendrán valor de 0 correspondiente a los objetos que no son de interés como el área fuera del cuero y las zonas sin defecto.

Lo particularmente complicado en la binarización de una imagen es encontrar el umbral apropiado τ , que realice la segmentación del área de interés deseada. Particularmente para este caso se ha experimentado con distintos valores de umbrales, encontrando que los valores cercanos al normalizado de 0.045 proporcionan un buen realce en los defectos, sin embargo en algunas imágenes se obtienen mejores resultados con valores ligeramente más altos o bien ligeramente más bajos. Se experimento entonces con diferentes umbrales por encima y por debajo del valor

mencionado, observándose buen resultado en tres valores (Véase *Figura 8*) con el propósito de tener un valor medio de 0.045, un límite superior de 0.055 y un límite inferior de 0.035 para distinguir tres posibles parámetros o criterios distintos de clasificación del cuero.

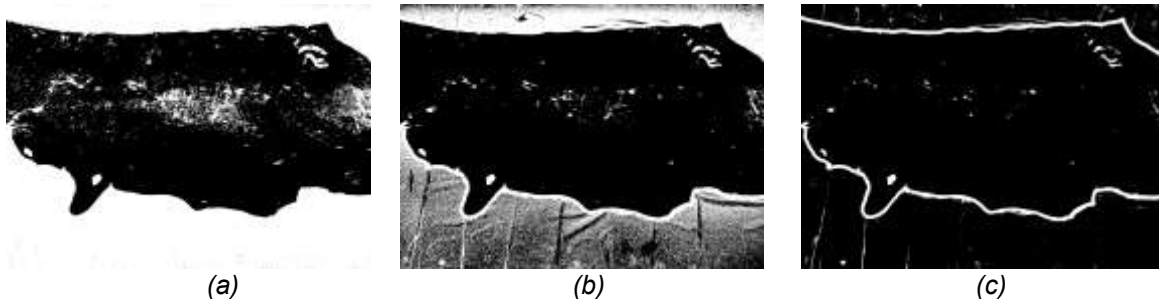


Figura 8. Umbralizado con 3 distintos valores normalizados (a) 0.035, (b) 0.045, (c) 0.055

Al mostrar estos tres umbrales será posible contar con 3 criterios de selección distintos, pero no alejados de la realidad, ya que en la inspección manual esto también puede ocurrir. El inspector tendría a la vista tres panoramas de detección de defectos siendo posible elegir el que mejor se ajuste, según su propio criterio y experiencia:

- El umbral más bajo se determinó de 0.035 para todos los defectos incluso los más pequeños que el inspector quizá podría considerar despreciables
- El umbral intermedio de 0.045, para considerar un criterio intermedio, el cual la mayoría de las veces será el adecuado.
- El umbral más alto de 0.055, para mostrar solamente los defectos más grandes, claros y evidentes.




RESULTADOS

En la etapa de experimentación se observó el comportamiento de las imágenes cuando varían los parámetros de Gabor. Pueden ser muy distintos unos de otros, algunos muestran imágenes más borrosas que otras, o bien más claras y nítidas en la detección de los defectos. Los valores que mostraron mejor calidad en la visibilidad de los defectos fueron:

- Longitud de onda con mejor resultado fue de 7 por mostrar mejor realce de defectos a comparación de los valores de 5 y 8.
- El rango de orientación del ángulo Θ con mejor resultado fue $[0-\pi/2]$.
- El desplazamiento de fase ψ inicia en 0 y se va incrementando dependiendo del número de canales definidos N .
- El Valor del Número de canales N elegido con mejor resultado fue el de 20, aunque el valor de 15 también mostraba buenos resultados.
- La relación de aspecto espacial gamma γ , permanece con el valor sugerido por MATLAB de 0.5, al igual que el ancho de banda en 1.

En la siguiente tabla se muestran resultados de un cuero con sus imágenes original, filtrada y un acercamiento en las zonas defectuosas detectadas con el Filtro de Gabor utilizando los parámetros que proporcionaron resultados satisfactorios.

Tabla 1. Resultados de procesamiento Filtro Gabor con los parámetros aprobados

Imagen RGB	Filtro de Gabor	Detalle en zonas con defecto
		




El resultado obtenido con los Filtros de Gabor es satisfactorio porque muestra el realce de los defectos encontrados, sin embargo es necesario hacerlo más notorio en las imágenes por medio del proceso de umbralización.

De los umbrales de binarización probados, se seleccionaron solamente tres valores: 0.035, 0.045 y 0.055 debido a que son los que muestran mejor realce de los defectos segmentados en la imagen. La aplicación desarrollada muestra los tres resultados de umbralización para que el inspector pueda tomar la decisión de cuál de ellas se aproxima más a su criterio de selección.

- Criterio cerrado: Corresponde al umbral más pequeño de 0.035, muestra incluso los defectos más pequeños e imperceptibles a la vista humana, que bien pueden ser ignorados por el inspector de acuerdo a su criterio de selección.
- Criterio intermedio: Corresponde al umbral intermedio de 0.045, resalta los defectos más visibles y descarta los defectos mínimos.
- Criterio abierto: Corresponde al umbral más alto de 0.055, muestra solamente los defectos de mayor tamaño y que son más evidentes a la vista humana.

La siguiente tabla muestra los resultados del cuero mostrado previamente con los 3 distintos umbrales.

Tabla 2 Resultados con los tres umbrales: 0.035, 0.045, 0.055

Criterio Cerrado Umbral 0.035	Criterio Intermedio Umbral 0.045	Criterio abierto Umbral 0.055
		

Estas tres alternativas de criterio, permiten que la herramienta sea un mejor apoyo para un inspector de calidad, dado que hay defectos que él mismo omite porque son mínimos, porque no son

detectables a simple vista o bien porque el proceso para el cual va destinado ese cuero no requiere muy alta calidad.

Una vez obtenidas las imágenes umbralizadas es necesario enmascarar el cuero para eliminar el ruido que se encuentra en la imagen por fuera del cuero. Como se mencionó previamente, el fondo blanco utilizado en la etapa de captura de imágenes es indispensable para lograr este propósito, logrando mostrar la imagen resultante únicamente con los objetos de interés. Para ello se utilizó en MATLAB el Método de umbralización automática de Otsu, así como algunas operaciones lógico-aritméticas entre las imágenes procesadas y la imagen en escala de grises. Con este proceso se permite eliminar de la imagen resultante el fondo blanco utilizado en la captura de las imágenes (Véase Figura 9).

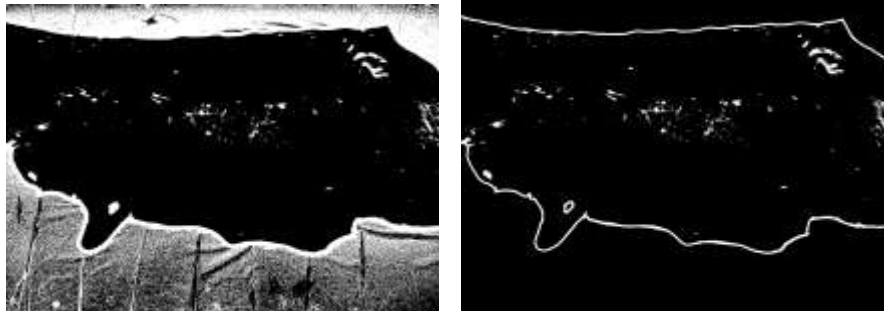


Figura 9. Eliminación del fondo del Cuero

CONCLUSIONES

- En el presente estudio se confirma que es posible la captura de las imágenes con el montaje de un escenario con iluminación adecuada natural y artificial, así como un fondo blanco que proporciona un área de trabajo de 1.4 m x 2.20 m permitiendo la captura de imágenes de cueros de gran tamaño hasta 300 dm, con una cámara de 12 Mega píxeles colocada a una altura de 1.4 m.
- El sistema de Visión Artificial obtenido es eficaz para detectar de manera exitosa los defectos visibles más comunes mostrándolos en su ubicación dentro de la imagen del cuero, aplicando técnicas de visión artificial para encontrar los defectos en cueros de gran tamaño y variedad de colores.
- Los bancos de filtros de Gabor con los parámetros adecuados demuestran ser una herramienta capaz de realzar los defectos visibles en los cueros así como su contorno, mejorando los resultados reportados en estudios previos donde no se analizaban cueros completos, ni se obtenía su contorno.
- El sistema proporciona además tres alternativas de umbralización con el objeto de establecer tres criterios de categorización generalmente utilizados en el proceso de inspección en la industria que son: criterio abierto o amplio para solo los defectos mayores o evidentes, criterio intermedio y criterio cerrado para todos los defectos incluso los más pequeños que en ocasiones pueden ser imperceptibles al ojo humano, o bien pueden ser despreciados según el criterio del inspector.
- También es posible eliminar en la imagen resultante al área externa al cuero en la imagen, permitiendo visualizar solamente el contorno del cuero y sus defectos.
- El sistema diseñado permitirá eficientar el proceso de inspección, reduciendo la variabilidad en los resultados inherente al factor humano, además de hacerlo en menor cantidad de tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. B.B.M. Moasheri, S. Azadinia & A. Mehbodniya. (2011). "A new voting approach to texture defect detection based on multiresolutional decomposition". World Academy of Science, Engineering and Technology. 73. 657-661.

2. D.M. Tsai & S.K. Wu. (2000) "Automated surface inspection using Gabor filters", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16, pp. 474-482, 2000.
3. F. Adamo, F. Attivissimo, G. Cavone, N. Giaquinto, A. M. L. Lanzolla. (2006). "Artificial vision inspection applied to leather quality control".
4. H. Pistori, W. Paraguassu, P. Martins, M. Conti, M. Pereira & M. Jacinto. (2006). "Defect Detection in Raw Hide and Wet Blue Leather".
5. J.A. Aznar-Casanova. (2000). "Análisis multiescala y multiorientación de imágenes mediante un banco de filtros de Gabor-2D". *Cognitiva*, 12 (2), 223-246. Universidad de Barcelona.
6. J. Daugman. (1988). "Complete discrete 2D Gabor Transforms by neural networks for Image Analysis and Compression". *IEEE Transactions on acoustics and signal processing*. Vol 36.
7. J.L. Sobral. (2005). "Leather Inspection Based on Wavelets". 3523. *Pattern Recognition and Image Analysis*. 682-688. 10.1007/11492542_83.
8. K.W. Pratt. (2001). *Digital Image Processing*, 3rd Edition. Wiley-Interscience Publication.
9. L. Yundong, A. Jingxuan & S. Changqing. (2013). "Online Fabric Defect Inspection Using Smart Visual Sensors", *Sensors Switzerland* 13, 4659-4673.
10. Mohammed K.M.C., K. Srinivas & G. Prasad. (2015). "2D Gabor filter for surface defect detection using GA and PSO optimization techniques". *Advances in Modelling and Analysis B*. 58. 67-83.
11. P. Kohli & S. Garg (2013). "Leather Quality Estimation Using an Automated Machine Vision System". *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*. 6. 44-47. 10.9790/2834-0634447.
12. T.P. Weldon & W. Higgins.(1996). "Integrated Approach To Texture Segmentation Using Multiple Gabor Filters". 3. 955 - 958 vol.3. 10.1109/ICIP.1996.560980.
13. T. Du-Ming & Lin, C.P. (2002). "Fast Defect Detection in Textured Surfaces Using 1D Gabor Filters". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 20. 664-675. 10.1007/s001700200205.
14. T. Du-Ming, Lin C.P. & Huang, K.T. (2005). "Defect detection in coloured texture surfaces using Gabor filters". *Imaging Science Journal, The*. 53. 27-37. 10.1179/136821905X26935.

EFFECTO DEL PORCENTAJE EN PESO DE LAS PARTÍCULAS METÁLICAS DE TITANIO (TI) SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MATRIZ CERÁMICA (Al_2O_3)

Karina G. Martínez González¹, José A. Rodríguez García¹, Enrique Rocha Rangel¹, Ricardo D. López García².

¹ Universidad Politécnica de Victoria, Av. Nuevas Tecnologías 5902, Parque Científico y Tecnológico de Tamaulipas, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, 87138.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Blvd. Emiliano Portes Gil No.1301 Pte. Cd. Victoria Tamps., México, 87010.

RESUMEN

En este estudio se manufacturaron materiales cerámicos con una matriz de alúmina (Al_2O_3) reforzados con distintas cantidades de nanopartículas de titanio (Ti) (0.6, 0.7, 0.8 y 0.9% en peso). Para homogenizar y disminuir el tamaño de partícula de los polvos, se empleó la molienda de alta energía en un molino tipo planetario a una velocidad de giro de 450rpm durante 40min con ciclos de 3min, se obtuvieron el 80% de los polvos con tamaño de partícula en promedio de $2\mu m$ a $5\mu m$. Los polvos procesados en la molienda pasaron a la fase de compactación, la cual se realizó en una prensa hidráulica de forma uniaxial con una presión de 300Mpa, dando como resultado muestras con presentación en pastillas. Las muestras compactadas se sinterizaron en un horno eléctrico a una temperatura de $1500^{\circ}C$ durante 2h a una velocidad de calentamiento de $5^{\circ}C/min$ y con atmósfera de argón. El análisis microestructural se realizó con un microscopio óptico, observándose compuestos densos con microestructuras muy finas, este desenlace también fue comprobado por medio de una prueba de densidad en la cual resultó un intervalo de 91% a 97% de densidad relativa, destacando los compuestos fabricados mediante refuerzos de 0.6% y 0.9% de titanio con el menor porcentaje de porosidad abierta. Con respecto a los resultados de medición de la microdureza y tenacidad a la fractura, que se estimaron mediante el método de fractura por indentación, se demostró que los compuestos hechos mediante refuerzos de 0.7% y 0.8% de titanio presentan los resultados más sobresalientes, por encima de los valores de la alúmina monolítica. De acuerdo a lo anterior se determinó que el mecanismo de refuerzo de estos materiales compósitos se debe a la desviación de las grietas generadas por una carga externa sobre la sección transversal afectando a los puentes metálicos formados por el titanio utilizado como fortalecedor de alúmina.

INTRODUCCIÓN

Existe una gran y diversa variedad de materiales entre los cuales destacan los cerámicos avanzados debido a su gran evolución que surge a partir del año 2000^[1]. Originalmente la palabra cerámica, deriva del griego (*kéramos*) que significa arcilla, el cual era un material que se utilizaba para la construcción y refuerzos de viviendas, posteriormente con el desarrollo de la ciencia, la tecnología y los nuevos métodos de producción, los cerámicos se han transformado rotundamente.

Sus actuales aplicaciones incluyen herramientas de corte de alta velocidad, implantes dentales, prótesis, aislantes eléctricos y térmicos y resistentes al desgaste entre otros. Su utilidad se atribuye a su alta dureza y alta resistencia a la compresión^[2].

Sin embargo, a pesar de sus características envidiables y su potencial, su baja resistencia a la fractura ha obstaculizado significativamente su uso como material estructural, esto se debe a que las grietas se propagan fácilmente en la cerámica y, por lo tanto, pueden causar fallas repentinas en el servicio^[3]. Motivo por el cual actualmente existen nuevas rutas que han tomado líneas de investigación para mejorar la tenacidad de los materiales frágiles, mediante la incorporación de varios refuerzos tales como: metálicos e inter-metálicos en una matriz cerámica que dan origen a un material compósito.

Es por ello que mediante el provenir principal se pretende mostrar las bondades o beneficios que se desarrollaron dentro la Universidad Politécnica de Victoria, en dicha institución se llevo a cabo la manufactura de cerámicos base alúmina reforzadas con titanio en distintos porcentajes (0.6, 0.7, 0.8, 0.9), con el fin de obtener un material altamente duro y tenaz mediante la metalurgia de polvos utilizando parámetros específicos para posteriormente efectuar la caracterización físicas de las muestras elaboradas, disponiendo de equipo altamente capacitado.

PARTE EXPERIMENTAL

En este apartado se muestra la experimentación realizada, detallando cada una de las condiciones de trabajo en las diferentes etapas del proceso, incluyendo el material y equipo necesario para su ejecución, para la obtención de los compósitos base alúmina (Al_2O_3) con partículas metálicas de titanio. A continuación en la Figura 1 se puede apreciar un diagrama general del proceso.

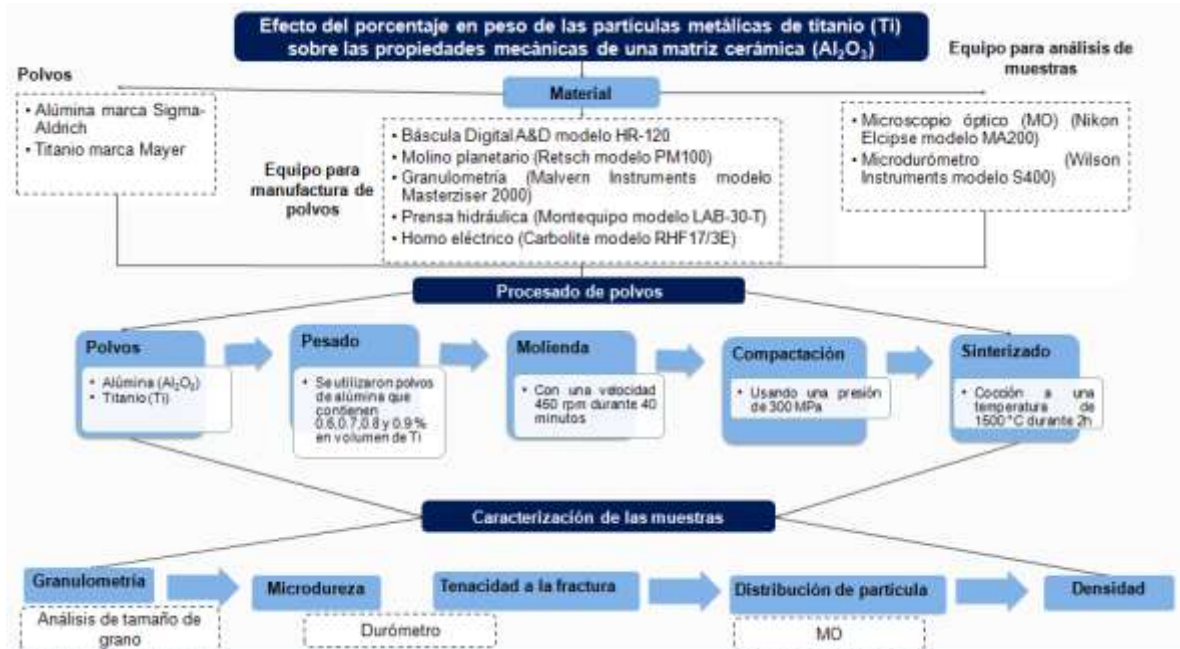


Figura 3. Diagrama general del desarrollo experimental

Síntesis de las muestras

Polvos

Para la realización del presente trabajo se utilizaron polvos de alúmina (Al_2O_3) de la marca Sigma-Aldrich y de titanio (Ti) de la marca Mayer, ambos con una pureza del 99.99%.

Pesado de polvos

Se pesaron cinco composiciones diferentes de alúmina con inclusiones de partículas de titanio a diferentes porcentajes (0.6, 0.7, 0.8, 0.9%) y una testigo cada una con un peso de 10gr en la báscula Digital A&D modelo HR-120, y posteriormente se trasladaron al área de molienda para su siguiente etapa.

Molienda

Se prepararon cinco composiciones diferentes de alúmina con inclusiones de partículas de titanio a diferentes porcentajes (0.6, 0.7, 0.8, 0.9%) cada una con un peso de 10g, las cuales fueron procesadas por separado en una molienda mecánica de alta energía usando un molino tipo planetario de la marca Retsch modelo PM100 de origen alemán. Se utilizó un recipiente cilíndrico de acero inoxidable de 250ml, con elementos (bolas) de zirconia de diámetro 0.3cm cada una. Los polvos fueron introducidos en el recipiente y procesados a una velocidad de 450rpm durante 40 minutos, con ciclos de 3 minutos para cada dirección de giro y pausas de 10 segundos.

Granulometría

Para cada una de las muestras se realizó un análisis granulométrico del polvo. Para ello se utilizó un equipo de la marca Malvern Instruments modelo Masterziser 2000 de origen inglés, el cual mide el tamaño de las partículas suspendidas en una solución acuosa, mediante difracción de láser para

medir el tamaño de las partículas. Para evitar contaminación de sales por las muestras se utilizó agua destilada.

Prensado

Las mezclas de polvos provenientes de la molienda se compactaron para formar muestras cilíndricas de aproximadamente 5g de peso, 1cm de diámetro y 0.2cm de espesor, con la ayuda de una prensa hidráulica marca Montequipo modelo LAB-30-T. Se utilizó un dado de acero grado herramienta el cual es altamente resistente al desgaste, con una cavidad cilíndrica de 1cm de diámetro. El dado utilizado es de acción simple, es decir, solo existe el movimiento relativo del punzón, y el cuerpo del dado permanece inmóvil, esto comprime el polvo y se obtiene de la pieza en verde. La compactación de los polvos se realizó de forma manual a temperatura ambiente, con una presión uniaxial de 300MPa.

Sinterizado

Las muestras prensadas se introdujeron a un horno eléctrico de la marca Carbolite modelo RHF17/3E con resistencias cubierteas, utilizando la temperatura de 1500°C durante 2h. Todas las sinterizaciones se realizaron a una velocidad de calentamiento de 3°C/min, y al fin del ciclo dejaron enfriar las mismas en el horno.

Caracterización de las muestras

Microdureza

El ensayo de microdureza mide la resistencia de las muestras a ser penetradas por un indentador (punta piramidal de diamante). Consiste en aplicar una determinada fuerza durante cierto tiempo a través del indentador. Después de la carga se observa la huella dejada por el indentador, resultado de la deformación plástica del material. En función de las dimensiones de esta huella se puede determinar la dureza del material. Para esta medición, se realizaron 3 ensayos en diferentes lugares de la superficie de cada muestra, con la ayuda de un microdurómetro de la marca Wilson Instruments modelo S400 de fabricación japonesa, utilizando una fuerza de 2Kg con un tiempo de penetración de 10 segundos. Una vez terminada la indentación, se procedió a determinar la medida de las diagonales D_1 y D_2 de la huella.

Tenacidad a la fractura

Para medir la tenacidad a la fractura a cada muestra sinterizada, se utilizó la técnica de fractura por indentación (Método IF) con la ayuda del microdurómetro mencionado anteriormente. Cuando se aplica una carga P a través de indentador Vickers a un material frágil se produce una huella y a su vez se producen grietas en los vértices de la misma. Una vez terminada la indentación, se procedió a determinar la medida de la distancia "a", que es la medida promedio del centro de huella a uno de los vértices de la misma, y a la medida "c" que es la distancia promedio del centro de la huella hasta donde termina la grieta generada en el mismo vértice.

Se realizaron tres ensayos para medir la tenacidad a la fractura utilizando los mismos que la microdureza, en donde se pudo observar las distancias "a" y "c" y estimar su longitud. Posteriormente, se utilizó la fórmula desarrollada por Evans y Charles que permite estimar la tenacidad a la fractura como se muestra en la fórmula siguiente:

$$K_{Ic} = 0.16 \left(\frac{c}{a} \right)^{-1.5} (H)(a)^{1/2} \quad (1)$$

Donde K_{Ic} es el factor crítico de intensidad de esfuerzos en modo de carga I, H es la dureza Vickers en GPa, c es la longitud media de las grietas obtenidas de las puntas de la huella Vickers en mm y a es la longitud media de la mitad de la diagonal de la huella Vickers en mm.

Densidad de las muestras sinterizadas

Una vez sinterizadas las muestras, se midió el peso en seco de cada una de ellas y mediante el método de Arquímedes se determinó la densidad colocando agua en un recipiente de plástico el cual se situó en una balanza y posteriormente se registró el peso suspendido, enseguida se midió la temperatura del agua con un dispositivo de medidas Termopares de la marca National Instruments modelo NI USB-TC01 de fabricación estadounidense, el tiempo en el que la muestra se sumergió en el agua fue de 5 minutos, con la finalidad de que el agua se introdujera en la porosidad y se extrajera el aire contenido en la muestra, lo que ocasiona que el peso de la muestra en el agua sea menor. Una vez obtenidos los datos requeridos, se utilizó la Fórmula 2 que se muestra a continuación, la cual permite estimar la densidad aparente del sólido, la densidad aparente toma en cuenta el volumen total del sólido en conjunto con la porosidad.

$$\rho_a = \frac{(\text{peso seco})(\rho_{\text{agua}})}{\text{peso suspendido}} \tag{2}$$

Posteriormente de haber obtenido la densidad aparente se prosigo a estimar la densidad relativa con la Fórmula 3 la cual nos permite separar el volumen del sólido y de porosidad que se encuentra dentro de la muestra.

$$\rho_r = \frac{\rho_{\text{aparente}}}{\rho_{\text{teórica}}} \times (100) \tag{3}$$

RESULTADOS

Microdureza

En la Figura 3 se muestran los resultados de medición de microdureza de los compósitos procesados con inclusiones de titanio (0.6, 0.7, 0.8 y 0.9% en peso) sinterizados a una temperatura de 1500°C durante 2 horas.

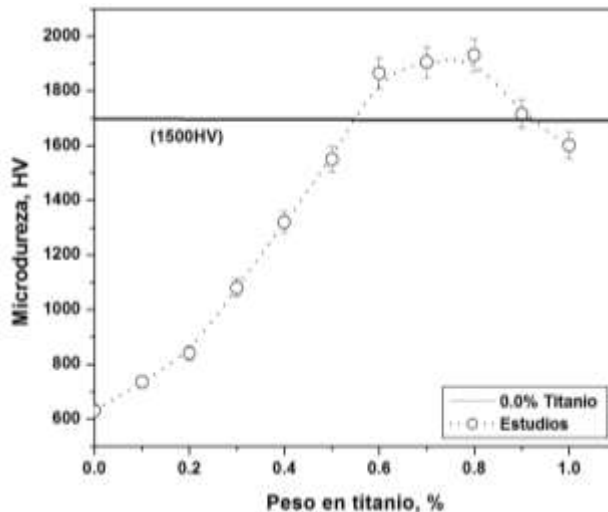


Figura 3. Resultados de la microdureza.

Al inicio se puede observar que la línea de tendencia con respecto al aumento de microdureza es dependiente al incremento del porcentaje de titanio. Las muestra analizadas en la lectura manufacturadas con cantidades menores a 0.6% en peso de titanio obtuvo valores por debajo de la alúmina monolítica. Para las muestras fabricadas con agregados de 0.6, 0.7 y 0.8% de titanio los resultados fueron muy similares, ambos sobrepasando los valores de la alúmina monolítica. Sin embargo en la muestra con un 0.9% de partículas de titanio los valores de la microdureza tiende a decaer. Con respecto a resultados de investigaciones anteriores las muestras elaboradas en este

estudio utilizando un 0.7 y 0.8% de titanio han sido las que mejor efecto hasta el momento han mostrado en el aumento de microdureza.

Tenacidad a la fractura

Los resultados de tenacidad a la fractura de las muestras sinterizadas variando el porcentaje de titanio son presentados en la Figura 4, en la cual podemos observar que el comportamiento de los resultados incrementa de acuerdo al los agregados de titanio.

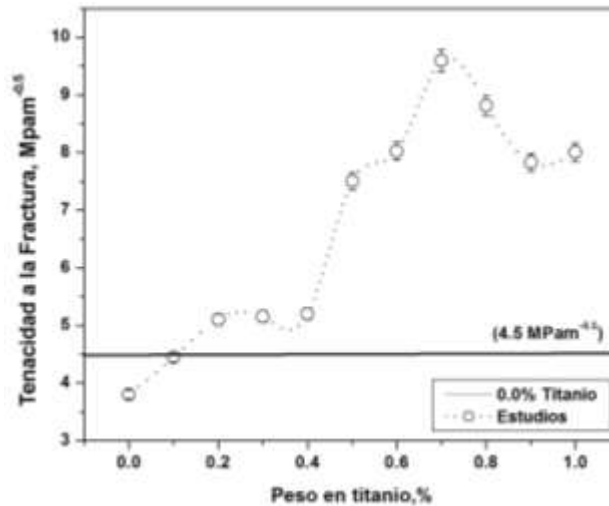


Figura 4. Resistencia a la fractura de muestras sinterizadas a 1500°C durante 2h.

Analizando estudios anteriores las muestras fabricadas con inclusiones de titanio al inicio aumentan su nivel de tenacidad dependiendo de la cantidad de refuerzos de partículas que contenga cada muestra, véase en la Figura 4, se puede apreciar que a partir de la muestra con un porcentaje de 0.2% de refuerzo de titanio la tenacidad va incrementando, sobrepasando los valores de la alúmina monolítica. En esta investigación destacaron los resultados más sobresalientes hasta el momento, ya que se trabajó con partículas de titanio (0.6, 0.7, 0.8 y 0.9% en peso), teniendo más efectividad las muestras elaboradas con un porcentaje 0.7 y 0.8 de titanio, mostrando los mejores resultados de incremento de tenacidad a la fractura. Sin embargo, a partir de la muestra con un 0.9% de titanio se presenta una tendencia opuesta a los resultados anteriores ya que en ese punto los valores de tenacidad tienden a disminuir.

Densidad sinterizada

En la Figura 5 se observan los resultados de la densidad relativa de las muestras de la alúmina reforzada con distintos porcentajes de titanio, las cuales fueron sinterizadas a una temperatura de 1500°C durante 2 horas.

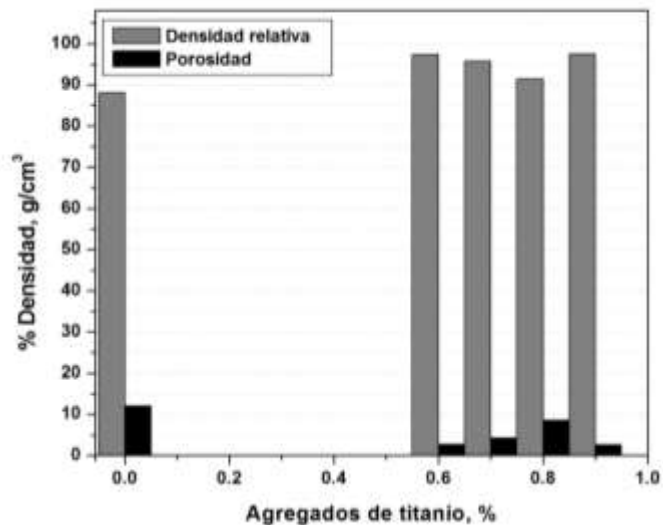


Figura 5. Densidad relativa vs porosidad.

Se puede observar que la muestra con un porcentaje de 0.6 de partículas de titanio contiene una densidad de 91%. No obstante las muestras con 0.7 y 0.8% de titanio se comportan de manera descendente. Mientras que en la muestra de 0.9% se observa un incremento notorio, aumentando hasta un 97% en densidad relativa, por lo cual teniendo presente solo un 3% de porosidad, siendo la muestra más destacada.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a lo anterior se demostró que los compuestos hechos mediante refuerzos de 0.7% y 0.8% de titanio presentan los resultados más sobresalientes, por encima de los valores de la alúmina monolítica.
- Los resultados más sobresalientes sobre densidad relativa se encuentran dentro de un intervalo de 91% a 97%, destacando los compuestos fabricados mediante refuerzos de 0.6% y 0.9% de titanio con el menor porcentaje de porosidad abierta.
- El mecanismo de refuerzo de estos materiales compósitos se debe a la desviación de las grietas generadas por una carga externa sobre la sección transversal afectando a los puentes metálicos formados por el titanio utilizado como fortalecedor de alúmina.

BIBLIOGRAFÍA

1. James F., *“Introducción a la Ciencia de los Materiales para Ingenieros”*, 6ª edición, PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2005.
2. Rocha E., *“Introducción a los Materiales Cerámicos”*, Vol. Editorial Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco (2005).
3. De la Fuente, A. P., Rangel, E. R., Rodríguez, J. A., & Hernández-Bocanegra, G. C. A. (2016). *“Toughening Of Alumina Ceramics with Silver Nanoparticles”*.

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN BEBIDAS CON SUERO DE QUESO FRESCO (SQF) CON EXTRACTO DE FRESA, GUAYABA O ARANDANO

Samantha Esthefanía Velasco Chavarría¹, Virginia Villa Cruz¹ y Gilber Vela Gutiérrez²

¹ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de los Lagos, ² Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

samantha.velasco@ittuxtlagutierrez.edu.mx

RESUMEN

En la industria láctea, la leche es la materia prima para la elaboración de derivados lácteos, principalmente el queso, lo que genera un subproducto llamado Suero de Queso o lactosuero, el cual representa aproximadamente el 90% por cada litro de leche. En los últimos años se ha incrementado el interés en la utilización del Suero de Queso debido a su impacto en el ambiente e impacto biológico en la salud. Esta última característica, es la razón del uso de Suero de Queso en alimentos funcionales. Debido a lo anterior, el presente trabajo tuvo la finalidad de investigar la capacidad antioxidante en bebidas formuladas con Suero de Queso Fresco (SQF) y extracto de fresa (*fragaria vesca*), arándano (*Vaccinium corymbosum*) o guayaba (*Psidium guajava*), denominándolos como SQF-Arándano, SQF-Fresa, SQF-Guayaba. Se utilizó el método ABTS, siendo el radical catiónico ABTS•+ un cromóforo que absorbe a una longitud de onda de 734 nm, que se genera por una reacción de oxidación del ABTS (2,2'-azino-bis- (3-etil benzotiazolin-6- sulfonato de amonio) con persulfato de potasio (Re, 1999). Los resultados se expresaron como valores TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) mediante la construcción de una curva patrón usando como antioxidante TROLOX®. Se determinó grasa, proteína, sólidos no disueltos, sólidos totales y lactosa (MilkoScan™ Mars FOSS). Todas las bebidas (SQF-Arándano; SQF-Guayaba y SQF-Fresa) presentaron actividad antioxidante. Tomando en cuenta que el SQF genera problema de contaminación ambiental, su utilización como materia prima es una alternativa para obtener productos alimentarios en cuencas lecheras como Lagos de Moreno, Jalisco. Además, se demuestra que el producto, al presentar capacidad antioxidante, tiene potencial uso para combatir los radicales libres.

INTRODUCCIÓN

El lactosuero o suero de leche se define como un producto lácteo obtenido de la separación del coágulo de la leche, de la crema o de la leche semidescremada durante la fabricación del queso, mediante la acción ácida o de enzimas del tipo del cuajo (renina, enzima digestiva de los rumiantes). (FAO, 1995) que rompen el sistema coloidal de la leche en dos fracciones: 1). Una fracción sólida, compuesta principalmente por proteínas insolubles y lípidos, las cuales en su proceso de precipitación arrastran y atrapan minoritariamente algunos de los constituyentes hidrosolubles. 2) Una fracción líquida, correspondiente al lactosuero en cuyo interior se encuentran suspendidos todos los otros componentes nutricionales que no fueron integrados a la coagulación de la caseína. De esta forma, se encuentran en el lactosuero partículas suspendidas solubles y no solubles (proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales), y compuestos de importancia biológica-funcional (Illanes, 2011).

La composición y tipo de lactosuero varía considerablemente dependiendo del tipo de leche, tipo de queso elaborado y el proceso de tecnología empleado. La lactosa es el principal componente nutritivo (4,5 % p-v), proteína (0,8% p/v), y lípidos (0,5%).

Durante muchos años se consideró como un desperdicio y agente contaminante; sin embargo, en los últimos años para la industria alimentaria, el lactosuero constituye una fuente económica de proteínas que otorga múltiples propiedades en una amplia gama de alimentos. Los productos del suero, incluyendo la lactosa, mejoran la textura, realzan el sabor y color, emulsifican y estabilizan, mejoran las propiedades de flujo y muestran muchas otras propiedades funcionales que aumentan la calidad de los productos alimenticios. Los alimentos funcionales son aquellos que pueden contribuir activamente a un buen estado de salud además de cubrir con ciertas necesidades nutrimentales. Basados en el valor nutricional del lactosuero, un número de usos comerciales se han obtenido como etanol, ácidos orgánicos, bebidas no alcohólicas, bebidas fermentadas, biomasa,

concentrados, aislados e hidrolizados de proteína, películas comestibles, medio de soporte para encapsular sustancias, producción de xantana, enzimas, separación de la lactosa para fines endulzantes en alimentos entre otras aplicaciones (Huertas, 2009).

Un alimento puede ser considerado funcional si además de su valor nutricional intrínseco; ha demostrado también tener un efecto beneficioso sobre una o más funciones selectivas del organismo, de tal modo que resulta apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar y/o para la reducción de riesgos de ciertas enfermedades.

El lactosuero actualmente es utilizado por sus múltiples nutrientes y propiedades funcionales. Las proteínas son indiscutiblemente el componente de mayor importancia del lactosuero, sus propiedades son de gran interés en diversas áreas. Está comprobado que la proteína del lactosuero es un ingrediente alimenticio dinámico, capaz de desempeñar un papel fundamental en áreas de la salud tan diversas como integridad y motilidad intestinal, funcionamiento y fortalecimiento del sistema inmunológico, cáncer, sistema cardiovascular, mejoría del desempeño cardiorrespiratorio y participación en el incremento del rendimiento deportivo. Existe un interés creciente por la industria de lácteos y otros alimentos e incluso industrias farmacéuticas por diseñar y formular productos que incorporen bioactivos específicos de proteínas del suero de la leche.

Los dos tipos más comunes de lactosuero son el dulce y el ácido, si en la coagulación de la leche se utiliza enzimas el lactosuero se denomina dulce, y si se reemplaza la enzima por ácidos orgánicos se denomina ácido. el lactosuero dulce se obtiene de la elaboración del queso mediante el uso de enzimas proteolíticas o cuajo, las cuales actúan sobre las caseínas de la leche y las fragmentan, haciendo que estas se desestabilicen y precipiten, todo esto bajo condiciones específicas de temperatura, aproximadamente entre 15-50 °C con un pH levemente ácido. Por otro el lactosuero ácido se genera mediante la precipitación ácida de la caseína la cual se logra disminuyendo el pH de la leche a un valor de 4.5 o 4.6, donde se alcanza el punto isoeléctrico lo cual produce que la micela se desestabilice y precipite, dejando en solución solamente las proteínas de tipo séricas (Huertas, 2009).

En el mercado mexicano se ofertan actualmente una gran variedad de bebidas, jugos y néctares de diversas frutas, estabilizados bajo distintos tratamientos térmicos. Sin embargo, no se ha comercializado una bebida pasteurizada tipo néctar a base de lactosuero y extracto de fruta; siendo ésta una fuente que podría utilizarse a escala industrial, aun cuando nuestro país posee una elevada producción.

La creciente preocupación de la sociedad por el control de la contaminación ambiental, ha llevado a buscar una vía económica, eficiente y viable para el aprovechamiento de los efluentes de la industria láctea al transformarlos en diversos subproductos tales como la elaboración de requesones y bebidas.

Este proyecto tecnológico tuvo como propósito aplicar la formulación en la elaboración de una bebida tipo néctar utilizando lactosuero; empleando para ello un diseño de tecnología con extracto de arándano (*Vaccinium corymbosum*), fresa (*Fragaria vesca*) y guayaba (*Psidium guajava*) en donde se evaluaron respuestas fisicoquímicas, determinaciones nutrimentales y la capacidad antirradical. Para poder comparar con otras bebidas de néctares frutales comerciales y obtener la viabilidad de presentar este producto como alimento funcional en el mercado.

TEORÍA

Actualmente la industria láctea es uno de los sectores más importantes de la economía de los países industrializados y en desarrollo. Aproximadamente el 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como lactosuero el cual retiene cerca de 55% del total de ingredientes de la leche como lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales. Algunas de las posibilidades de la utilización de este residuo han sido propuestas, pero las estadísticas indican que una importante proporción de este residuo es descartada como efluente el cual crea un serio problema ambiental (Aider, 2009).

Este subproducto afecta físicamente y químicamente la estructura del suelo, lo anterior resulta de una disminución en el rendimiento de cultivos agrícolas y cuando se desecha en el agua, reduce la vida acuática al agotar el oxígeno disuelto.

Los productos a base de lactosuero representan un segmento en crecimiento dentro de la industria láctea, así como en los sectores farmacéutico y biomédico. A escala mundial, el mercado de los productos de lactosuero aumento un ritmo del 12 % anual desde 1995 hasta 2000. A pesar de esto, todavía hay producción de lactosuero que no es utilizada (Posada, 2011).

Uno de sus principales componentes son lactosa y proteínas que ofrecen una interesante posibilidad de empleo de estos constituyentes de gran importancia comercial en la elaboración de productos alimenticios de alta calidad. Estas aplicaciones se pueden aplicar en la industria de postres y productos de confitería, a través de alimentos que aprovecha las características nutritivas, funcionales y tecnológicas del lactosuero.

Diferentes estudios han demostrado que el lactosuero tiene péptidos bioactivos, estos son péptidos que además de aportar su valor nutricional por ser fuente de aminoácidos, son capaces de ejercer efectos biológicos específicos. Muchos de los péptidos bioactivos son muy poderosos, aun en cantidades nutricionalmente insignificantes pueden ejercer efectos fisiológicos (Conti, 2012).

El lactosuero generalmente es de difícil aceptación en el mercado, ya que sus características no lo hacen apto para su comercialización directa como suero líquido. Así mismo, es un excelente medio de cultivo debido a sus propiedades y composición y por ello se utiliza en gran número de procesos fermentativos.

Propiedades Físicoquímicas del lactosuero.

Según las propiedades físicoquímicas, un lactosuero puede ser clasificado como ácido o dulce. En el primer grupo, se encuentran aquellos que provienen de la fabricación de quesos frescos de pasta blanda, obtenidos a partir de leche de vaca y/o de cabra; en ellos, la lactosa se ha transformado en ácido láctico, son ricos en calcio y fósforo; el pH es $< 4,5$ y los Grados Dormic son $< 20^\circ$. Un lactosuero dulce, en cambio, proviene de la fabricación de quesos de pasta cocida y prensada (vaca) y quesos de ovejas; es pobre en ácido láctico, en calcio y fósforo; el pH es $> 6,0$ y presentan $> 50^\circ$ grados Dormic ($^\circ\text{D}$) (Callejas, 2012).

Los lactosueros ácidos presentan un contenido menor de lactosa y mayor de sales minerales en comparación con lactosueros dulces, sin embargo, la principal diferencia entre ambos es la concentración de calcio. El lactosuero dulce prácticamente no contiene calcio (0,6 a 0,7%), ya que éste queda retenido en su mayor parte en forma de paracaseinato cálcico en la cuajada, mientras que en el lactosuero ácido (1,8 a 1,9% de Ca) el ácido láctico secuestra el calcio del complejo de paracaseinato cálcico, produciendo lactato cálcico (Mahaut, 2004).

En cuanto a minerales, el lactosuero puede contener aproximadamente el 90% del calcio, potasio, fósforo, sodio y magnesio presente en la leche, el lactosuero también contiene compuestos biológicamente activos y péptidos bioactivos definidos, como fragmentos específicos de proteínas, que tienen un impacto positivo sobre funciones o condiciones corporales y que pueden influir sobre la salud humana, más allá de una nutrición normal y adecuada. Estos péptidos son resistentes a la acción de peptidasas digestivas, lo que le permite su absorción y paso al torrente sanguíneo sin ninguna alteración estructural para ejercer determinados efectos biológicos y fisiológicos (Alvarado, 2010).

Las propiedades funcionales de este subproducto son usualmente atribuidas a la fracción proteica, la cual es una mezcla de diferentes proteínas con varias propiedades funcionales. Estas propiedades permiten ser usadas como ingrediente para varios propósitos en la industria alimenticia. La fracción proteica compuesta por β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina compuesta por 70% del total de las proteínas son responsables de las propiedades de emulsificación y formación de espuma en soluciones de lactosuero. Sin embargo, la fracción menor compuesta por inmunoglobulinas (13%), lactoferrina (3%), albumina de suero bovina (5%), fracción peptona-proteasa, y enzimas pueden influir significativamente en la funcionalidad del lactosuero (Aider, 2009).

La cantidad y composición del lactosuero es muy variable ya que depende de muchos factores; por ejemplo:

- El tipo de queso (4L/kg de queso en quesos frescos y hasta 11,3 L/kg de queso para quesos madurados).

- El tratamiento térmico de la cuajada que puede disminuir el porcentaje de proteína del suero resultante.
- La forma de coagulación (ácida o enzimática).
- El cuajo empleado (microbiano, quimosina o mezclas quimosina/pepsina), que aporta amargor residual al suero por inactivación incompleta de las enzimas proteolíticas.

Propiedades Antirradicales.

Los compuestos denominados radicales libres son sintetizados de forma natural en los organismos aeróbicos. En condiciones de estrés fisiológico, su producción tiende a incrementarse de forma desmedida y con el tiempo causan estrés oxidativo, dañando los componentes celulares. En el ser humano, esta producción desmedida de radicales libres está involucrado con enfermedades crónicas degenerativas como la aterosclerosis, Parkinson, Alzheimer, etc. Debido a lo nocivo de estos radicales, es imprescindible la búsqueda de productos naturales que puedan frenar o atenuar los daños que causan (Garza, 2012).

La elaboración de bebidas con formulación basada en lactosuero tiene un aumento en la industria tecnológica alimenticia; el diseño de estas mismas incluyendo frutas con capacidad antioxidante brindan un plus a su funcionalidad.

Este tipo de bebidas antioxidantes tiene como fundamento que un radical libre es cualquier especie que contiene uno o más electrones desapareados y es capaz de mantener una existencia independiente. El radical libre, en estas condiciones, busca a toda costa otro electrón para poder parearse. Es esta intensa búsqueda la que hace a estos radicales libres extremadamente reactivos. Los antioxidantes son moléculas que, a bajas concentraciones, respecto a las de un sustrato oxidable, retardan o previenen su oxidación. El antioxidante al chocar con el radical libre cede un electrón, se oxida y se transforma en un radical libre débil no tóxico.

Los procesos fisiológicos del organismo generan cierta tasa de estas sustancias oxidantes como la respiración mitocondrial que es la respiración celular o respiración interna que forman el conjunto de reacciones bioquímicas por las cuales determinados compuestos orgánicos son degradados completamente, por oxidación, hasta convertirse en sustancias inorgánicas, proceso que proporciona energía aprovechable por la célula (principalmente en forma de ATP.) se produce en tres etapas; glucólisis, ciclo de Krebs y cadena de transporte de electrones.

En la formación de ATP el oxígeno se reduce normalmente hasta agua. Así, el O_2 se reduce en cuatro etapas en cada una de las cuales se transfiere un electrón. Sin embargo, el transporte electrónico mitocondrial es imperfecto y la reducción del oxígeno genera O_2^- .

Se estima que entre 1-3% del oxígeno consumido por el organismo no llega a formar agua y acaba generando ROS y radicales libres (Armstrong, 2012).

Así mismos los ROS son producidos por medio de los sistemas de defensa, que defienden al organismo contra la agresión de agentes extraños, producen grandes cantidades de radicales libres como parte del mecanismo que les permite destruir dichos agentes, además de influir la exposición a radiaciones, contaminantes, actividad física intensa, humo del tabaco, dietas y metabolización de fármacos.

Cuando una célula convierte oxígeno en energía se forman moléculas pequeñísimas llamadas radicales libres. Los radicales libres, en cantidades normales, ayudan al organismo a eliminar toxinas y matar bacterias y virus y, mantenerlo saludable, pero en cantidades altas, los radicales libres afectan la maquinaria celular del organismo, matan las células y dañan los tejidos del cuerpo, acelerando el proceso de envejecimiento. Para impedir el efecto dañino de los radicales libres el cuerpo necesita de los antioxidantes (Joe Reardon, 2011).

Antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, endógenos y exógenos.

Un antioxidante dietético es una sustancia que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano y que puede prevenir los efectos adversos de especies reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humanos.

un antioxidante es cualquier sustancia (o acción) que retrasa, previene o elimina el daño oxidativo de una molécula diana (Halliwell, 1999).

Los antioxidantes pueden ser de dos clases, con actividad y sin actividad enzimática. A la primera clase pertenecen los compuestos capaces de bloquear la iniciación, o sea, las enzimas que remueven las especies reactivas de oxígeno. En la segunda clase, están las moléculas que se integran con los radicales y son consumidas durante la reacción. Esta clasificación incluye tanto los antioxidantes naturales como los sintéticos (Mancini, 2005).

Los antioxidantes naturales pueden favorecer la respuesta antioxidante endógena, contribuyendo a la depuración de las especies reactivas de oxígeno, atenuando su efecto oxidativo en el riñón. Estos agentes pueden estar presentes en las vitaminas C y E, β carotenos, las proantocianidinas, el zinc, el selenio y en enzimas antioxidantes, como el glutatión peroxidasa, la superóxido dismutasa, la superóxido reductasa y la catalasa. En estudios in vitro, muchos polifenoles naturales son mejores antioxidantes que las vitaminas E y C. Además, su capacidad de precipitar metales, especialmente cobre y hierro, los hace actuar indirectamente como antioxidantes, ya que inhiben la acción de los metales como catalizadores en la formación de radicales libres (Conner, 1996).

Los mecanismos de acción antioxidante se pueden clasificar:

- Antioxidantes primarios o preventivos

Previenen la formación de nuevos RL, convirtiendo los RL-s existente en moléculas menos perjudiciales antes de que puedan reaccionar y generar así una mayor tasa de RL-s. Este mecanismo de acción es el que emplean los antioxidantes de naturaleza enzimática (SOD, CAT, GSH-Px)

- Antioxidantes secundarios "chain breaking"

Capturan los RL-s evitando así que se produzcan reacciones en cadena.

- Antioxidantes terciarios

Reparan biomoléculas dañadas por los ataques mediados por RL-s (Lacalle, 2007).

Propiedades antioxidantes del Arándano.

El arándano pertenece al género *Vaccinium*, propio de la familia de las Ericáceas (*Ericaceae*), que comprende aproximadamente alrededor de 450 especies, las cuales crecen principalmente en las zonas frías del hemisferio norte; a su vez existen más de 30 especies de arándanos silvestres (Sebastián Palomares, 2010).

Las frutas de baya o las denominadas "Berrys", el arándano Azul o blueberry (*Vaccinium corymbosum L.*) Es el tipo de arándano más conocido en el mundo y en la actualidad representa el 54% de la superficie cultivada de arándanos a nivel global, se considera una buena fuente importante de compuestos fenólicos, muy son reconocidos por su alto poder antioxidante (Prior, 1998).

La caracterización bioquímica de los arándanos evidencia una amplia variedad de fenoles, particularmente antocianinas, responsables de su color y a las que se les atribuye la capacidad antioxidante, debido a que son excelentes portadores de electrones o hidrógeno. Son el grupo más importante de pigmentos solubles en agua y corresponden a la familia de los flavonoides, metabolitos secundarios de los vegetales. Desde el punto de vista celular las antocianinas son hidrofílicas y, por ende, capaces de atravesar la membrana plasmática por difusión pasiva (Bornsek SM, 2012). Son blancos atractivos como compuestos dietéticos, con buen impacto funcional, tanto a nivel tisular como orgánico. Así, un número limitado de estudios in vitro e in vivo han proporcionado evidencia que apoya a los arándanos como agentes quimiopreventivos para una amplia variedad de cánceres (Menéndez, Córdoba, Contardi, & Güerc, 2015).

El procesamiento básico de los arándanos incluye la obtención de zumo. Los componentes fenólicos dependen principalmente de las técnicas de procesado, tales como la duración de contacto con la piel, trituración y prensado. Otros factores, tales como el oxígeno, enzimas y temperatura, también tendrán un impacto en las composiciones fenólicas y actividad antioxidante de los productos de arándanos.

Propiedades antioxidantes de la Fresa.

Las fresas son varias especies de plantas rastreras del género (*Fragaria vesca*) nombre que se relaciona con la «fragancia» que posee (en latín, fraga), cultivadas por su fruto comestible. La fresa es una fruta primaveral muy popular debido a su sabor peculiar y aroma único. Muchos estudios han

demostrado que las fresas son una importante fuente de flavonoides, en concreto de antocianinas, pigmentos que proporcionan colores rojos, azules y púrpuras en las frutas. Además, son extremadamente ricas en vitamina C y ácidos fenólicos, principalmente ácido elágico (Odrizola, 2009).

Las fresas (*Fragaria vesca*) se cultivan y consumen en todo el mundo. Las frutas de fresa contienen cantidades importantes de compuestos fenólicos con efectos beneficiosos para la salud, como antioxidantes, antimutagénicos y antiinflamatorios, entre otros (Aaby, 2012).

La composición general de la fresa contiene 35Kcal/100g. La composición química de la fresa es de 89,6% de agua, 7% de hidratos de carbono, 0,7% de proteínas, 0,5% de lípidos y 2,2% de fibra. El contenido de azúcares en la fresa (de la porción comestible) es de 2,6% de glucosa, 2,3% de fructosa y 1,3% de sacarosa. Respecto al contenido en minerales de la fresa, el potasio es el componente mayoritario, seguido del fósforo, calcio y magnesio. La vitamina mayoritaria es la vitamina C (Moreiras, 2006).

Las fresas se caracterizan por poseer altos contenidos en flavonoles; no obstante, su concentración depende de varios factores como la variedad, las condiciones de crecimiento del fruto, el origen geográfico o la época de cosecha entre otros.

Dentro del grupo de antocianinas, se encuentran las antocianinas, formas glucosídicas de las antocianidinas. Estos compuestos son pigmentos naturales que se encuentran en frutas y dan tonalidades de rojizas a azuladas, según el pH del medio. Pelargonidina-3-glucósido, cianidina-3-glucósido y pelargonidina-3-rutinósido son las principales antocianinas presentes en las fresas, siendo responsables de su color rojo. Dentro del grupo de compuestos fenólicos flavonoides, las flavonas, flavanonas, isoflavonas y flavanoles no suelen encontrarse en fresas.

Las fresas son una fuente importante de ácido elágico, y además poseen un alto contenido en ácidos p-cumárico y p-hidroxibenzoico. Del grupo de los estilbenos, el compuesto más estudiado es el resveratrol, fitoalexina con carácter antiinflamatorio, protector cardiovascular y que participa en la profilaxis del cáncer (Odrizola, 2009).

Propiedades antioxidantes de la guayaba.

La guayaba es un miembro de la Familia *Mirtaceae*. El género *Psidium* incluye alrededor de 150 especies, pero (*Psidium guajava*) es el más importante fruto de este género. Se cree que se originó en un área que se extiende desde el sur de México hasta América Central y su distribución está desde México hasta Suramérica en Venezuela, Colombia, Brasil y Perú. El género *Psidium* consta de 140 especies en América, lo cual confirma la hipótesis de su origen en América tropical (Domínguez, 2005).

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una fruta tropical muy popular, tanto para consumo fresco como para procesamiento y obtención de diversos productos como: jugo, néctar, concentrados, jalea, bocadillo, colado y relleno para dulces. Esta gran aceptación se debe a su valor comercial, digestibilidad, palatabilidad, sabor agradable y valor nutritivo: excelente fuente de las vitaminas A, C, tiamina, riboflavina y ácido nicotínico; así como de los minerales calcio, hierro y fósforo, además de carbohidratos (B. & G., 2003).

Un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia, respecto al contenido de compuestos polifenólicos tales como fenoles totales, flavonoides totales, taninos condensados y ácidos fenólicos, del fruto de la guayaba agria (*Psidium araca*), reportan que estos compuestos determinan la capacidad antioxidante, propiedad que expresa la facilidad para atrapar especies reactivas de oxígeno como valor nutracéutico de la especie. Afirman que los resultados son comparables con los de la guayaba común (*Psidium guajava* L.) y superiores a los reportados para frutas comunes como piña, sandía, maracuyá y el melón (Zapata, 2013).

Método ABTS

Según la metodología desarrollada por Re (Re, 1999) y descrita por Kukoski (Kukoski, 2004), el radical ABTS•+ se obtiene tras la reacción de ABTS (7 mM) con persulfato potásico (2,45 mM, concentración final) incubados a temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) y en la oscuridad durante 16 h. Una vez formado el radical ABTS•+ se diluye con etanol hasta obtener un valor de absorbancia comprendido entre 0,70 ($\pm 0,1$) a 734 nm (longitud de onda de máxima absorción). Las muestras

filtradas (antocianos) se diluyen con etanol hasta que se produce una inhibición del 20 al 80%, en comparación con la absorbancia del blanco, tras añadir 20 μL de la muestra. A 980 μL de dilución del radical ABTS $^{•+}$ así generado se le determina la A734 a 30°C, se añade 20 μL de la muestra (dilución de antocianos) y se mide de nuevo la A734 pasado 1 minuto. La absorbancia se mide de forma continua transcurridos 7 minutos. El antioxidante sintético de referencia, TROLOX®, se ensaya a una concentración de 0-15 μM (concentración final) en etanol, en las mismas condiciones, lo que se hace también con ácido ascórbico (0-20 mg/100 mL). Los resultados se expresan en TEAC (actividad antioxidante equivalente a TROLOX®) y en VCEAC (actividad antioxidante equivalente a vitamina C), en este último caso por tratarse de alimentos.

PARTE EXPERIMENTAL.

Para poder determinar la capacidad antirradical de los extractos se realizó la determinación por el método de ABTS. Para ello se preparó ABTS 7 mM con persulfato de potasio y se mantuvo a oscuridad por 16 horas; el buffer PBS 0.01 M a pH 7.4; y stock TROLOX® 4 mM, protegiéndose de la luz y en refrigeración.

Se diluyo el radical coloreado ABTS en buffer PBS, agregando 1 mL de ABTS concentrado a 200 mL de buffer PBS, tornándose a verde-azul, y luego se midió la absorbancia a 734 nm, ajustando a una absorbancia de 0.7000 +/- 0.02.

En la realización de la curva patrón se utilizó el antioxidante TROLOX® a 15 μM , 30 μM , 45 μM , 60 μM y 75 μM , diluyendo con metanol al 80 % v/v, después se tomó 100 μL y se le agrego a 1900 μL de solución de ABTS, se agito y se dejó reposar por 7 minutos para su posterior lectura en un espectro UV a 734 nm, cabe mencionar que a cada concentración de realizo por triplicado y se utilizó metanol al 80% como blanco.

En la elaboración de la bebida, el lactosuero fue centrifugado a 9 000 rpm a 4 °C por 10 minutos, y se mantuvo en refrigeración hasta su utilización.

Para la elaboración del concentrado de la fruta se lavó y se desinfecto, después se sometió a un proceso de escaldado por un minuto a 90 °C, posteriormente se extrajo el jugo utilizando un extractor y luego se concentró a fuego bajo durante 5 minutos.

En la formulación se adecuo de acuerdo a la norma general del CODEX para jugos y néctares de frutas (CODEX STAN 247-2005), posteriormente se envasó en recipientes de vidrio con tapa metálica, previamente lavadas y esterilizadas, después, se pasteurizó durante 30 minutos a 60 °C.

Para cada bebida se realizó la determinación de la capacidad antirradical, para ello se extrajo el jugo, pesando 250 mg de jugo en un tubo ependorf de 2 mL, luego se agregó 1 mL de metanol 80 % v/v, para tener una mezcla homogénea se utilizó un vortex y se centrifugo a 10 000 rpm durante 15 minutos, el sobrenadante recuperado fue transferido a otro tubo ependorf; al pellet se le agrego 1 mL de metanol al 100 %, se volvió a agitar en vortex para su posterior centrifugación, todo el sobrenadante recuperado se ajustó a 2mL. Los extractos se protegieron de la luz y en refrigeración hasta su uso, para la lectura en el espectrofotómetro; además, se determinó el análisis proximal en el equipo MilkoSan™ Mars marca FOOS, en la cual se dio lectura a solidos totales, solidos no totales, proteínas, lactosa, grasa y punto crioscópico.

RESULTADOS

Análisis proximales.

En la ilustración 1 se observan las bebidas formuladas con lactosuero SQF- Fresa, SQF-guayaba, SQF- Arándano. Después de la formulación hubo un incremento en la cantidad de grasa de 0.20% a 1.34% SQF-Arándano, 1.54% SQF- Fresa, 1.79% SQF- Guayaba y un aumento en la cantidad de proteína presente de 0.95% a 2.07% SQF- Arándano, 1.97% SQF- Fresa, 2.16% SQF-Guayaba siendo una fuente biodisponible de aminoácidos. Presento un aumento en la cantidad de lactosa de un 4.63% a 14.33% SQF-Arándano, 10.56% SQF- fresa y 12.59% SQF- Guayaba, éste es el principal disacárido formado por glucosa y galactosa, azúcares simples que el cuerpo utiliza directamente como fuente de energía. En la tabla 1 tenemos los resultados de los análisis proximales obtenidos de cada bebida formulada.



Ilustración 1: bebidas Formuladas con SQF

Tabla 12: Análisis proximal de bebidas formuladas con SQF

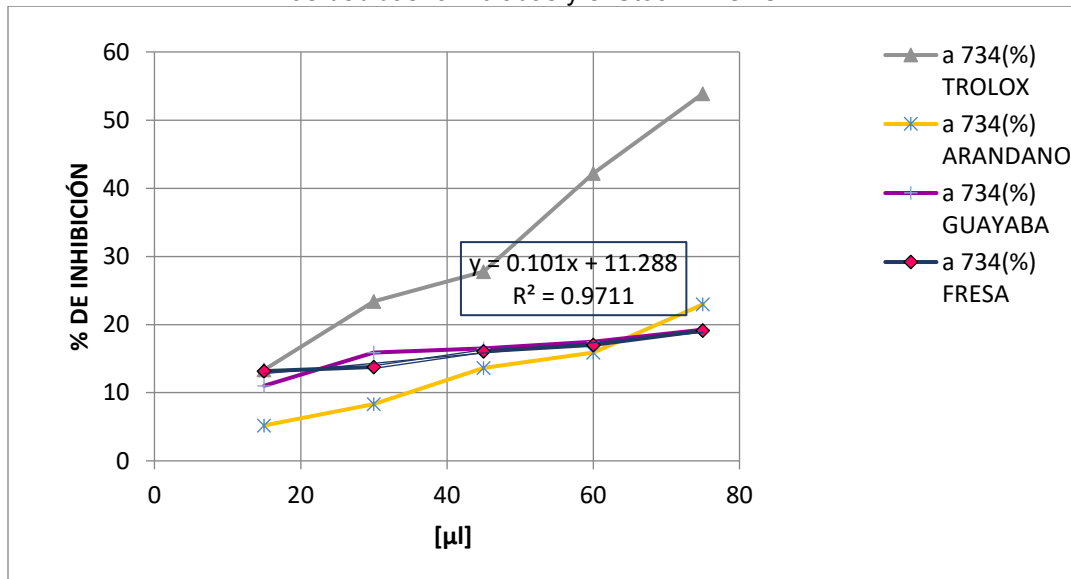
Análisis proximal de las bebidas formuladas			
Análisis	SQF- ARÁNDANO	SQF- FRESA	SQF- GUAYABA
% GRASA	1.34	1.54	1.79
% PROTEÍNA	2.07	1.97	2.16
% LACTOSA	14.33	10.56	12.59
% ST	18.46	16.20	19.09
% SNG	16.36	13.35	15.69
% PC	-1.58	-1.28	-1.50

Capacidad Antirradical

Se obtuvo un porcentaje de inhibición en las bebidas formuladas, SQF-Arándano: 22.962%, SQF-Guayaba: 19.25%, SQF-Fresa: 19.11% con respecto al Stock de referencia TROLOX® que presentó una inhibición de 53.894%; Debido a los datos obtenidos durante el proceso de análisis y determinación de la capacidad antirradical por medio del método ABTS se obtuvo que el arándano tiene ligeramente una mayor capacidad antioxidante que la fresa, tal como lo marca la literatura. (Coronado, 2015)

En la ilustración 2, se observa el análisis del jugo formulado, donde se obtuvo una lectura menor al stock TROLOX®, el jugo formulado con extracto de arándano fue mayor al jugo con extracto de fresa y guayaba hasta llegar a la concentración de 65 μM , donde encontramos un crecimiento exponencial que termina siendo ligeramente mayor el jugo de arándano, presentando las bebidas formuladas capacidad antioxidante.

Ilustración 2: Gráfico de la comparación de los porcentajes de inhibición obtenidos de cada una de las bebidas formuladas y el Stock TROLOX.



CONCLUSIÓN

La bebida SQF como producto obtenido es bueno, ya que cuenta con propiedades biodisponibles, que pueden ser utilizados por el metabolismo humano, este producto presenta posibilidades de competir en el mercado ya que es un producto innovador y funcional generando un alimento con contenido de antioxidantes, proteínas y minerales mayor al de algunas bebidas comerciales actuales, este producto cuenta con factibilidad de producción, al aprovechar un subproducto y beneficiar a los productores e industrias de alimentos lácteos además de disminuir el desperdicio del mismo, los principales consumidores del producto son jóvenes, deportistas y personas que tengan un gran desgaste energético y no presenten intolerancia a la lactosa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aaby, K. M. (2012). Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening. *Food Chemistry*, 132., 86-97.
2. Aider, M. (2009). Skim acidic milk whey cryoconcentration and assessment of its functional properties: Impact of processing conditions. *innovative food science and emerging technologies*, 334-341.
3. Alvarado, C. C. (2010). Lactosuero como fuente de péptidos bioactivos. *An Venez Nutr.*, 42-49.
4. Armstrong, J. (2012). *Organic and biochemistry: an applied approach*. Brooks cole.
5. B., M. L., & G., F. P. (2003). Caracterización de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) tipo "Criolla Roja". *Revista de la Facultad de Agronomía*.
6. Bornsek SM, Z. L. (2012). Bilberry and blueberry anthocyanins act as powerful intracellular antioxidants in mammalian cells. *Food Chem.* 134, 78-84.
7. Callejas, H. J. (2012). Caracterización fisicoquímica de lactosuero: potencialidad de recuperación de fosforo. *Acta universitaria, Universidad de Guanajuato.*, 11-18.
8. Codex-Alimentarius. (1995). General Standard for Food Additives. *CODEX STAN*.
9. Conner, E. y. (1996). Inflammation, Free Radicals, and antioxidants. *nutrition* 12, 274-297.
10. Conti, J. P. (2012). Perfil proteico y peptídico de una base fluida para bebidas funcionales obtenida por fermentación de lactosuero. *Información Tecnológica.*, 61-70.
11. Coronado, H. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Rev Chil Nutr vol.42*, 4.

12. Domínguez, A. J. (2005). Variabilidad Genética según RAPD de árboles de guayabo media china procedentes de cuatro plantaciones y su respuesta morfológica a baja disponibilidad de nutrientes. *Revista Chapingo: Serie horticultura*, 329-343.
13. E., E. P. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Rev. Chil. Nutr vol 40.*, 397-403.
14. FAO. (1995). Milk and milk products. *CODEX STANDARD FOR WHEY POWDERS.*, 289.
15. FAO, (. d. (2011). Situación de la Lechería en América latina y el caribe. . *Observatorio de la cadena Lechera. Oficina Regional de la FAO.*
16. Garza, R. R. (2012). Extractos metanólicos de plantas silvestres con actividad antirradical. *México: plaza y valdes.*
17. H., M. C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Rev Chil Nutr Vol. 42*, 4.
18. Halliwell, B. y. (1999). Free Radicals in Biology and Medicine. *New York: Oxford University Press*, 617-783.
19. Huertas, R. A. (2009). Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín.*, 4957-4982.
20. Hui, Y. (1993). *Dairy Science and Technology Handbook 1. Principles and properties*. New York: Primera Edición. VCH published.
21. Illanes, A. (2011). whey upgrading by enzyme biocatalysis. *Electronic Journal of Biotechnology*.
22. Joe Reardon, S. W. (2011). Arándanos. *North Carolina Department of Agriculture*.
23. Lacalle, A. (2007). Antioxidantes en la Alimentación. *Neiker tecnalia*.
24. Mahaut, M. J. (2004). *Productos Lácteos Industriales*. Zaragoza, España: Acribia, S.A.
25. Mancini, R. y. (2005). Current research in meat color. *meat science, Oxford, UK, 71.*, 100-121.
26. Menéndez, M. d., Córdoba, E. E., Contardi, M., & Güerc, A. M. (2015). Evaluación de los arándanos como radioprotectores potenciales. *Prespectivas en nutrición humana 17.*, 11-19.
27. Moreiras, O. C. (2006). *Tablas de composición de alimentos*. Madrid, España.: 10a ed. madrid: pirámide.
28. Odrizola, I. (2009). *Obtención de zumos y frutos cortados con alto potencial*. Tesis Doctoral, Universidad de lleida.
29. Panesar, P. J. (2007). Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry 105*, 1-14.
30. Posada, k. ,. (2011). Empleo de lactosuero y sus componentes en la elaboración de postres y productos de confitería. *La Alimentación Latinoamericana*, 66-76.
31. Poveda., E. E. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Rev. Chil Nutr. Vol.40*, 397-403.
32. Prior, R. L. (1998). Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of Vaccinium species. *Journal of teh agricultural and food chemist*.
33. Re, R. P.-E. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med 26*, 1237-1237.
34. Sebastián Palomares, J. (2010). Los frutos del bosque o pequeños frutos en la cornisa cantábrica: El arándano. *Centro de investigación y Formación agrarias MURIEDAS (cantabria)*.
35. Zapata, K. C. (2013). Polifenoles y Actividad Antioxidante del Fruto de Guayaba Agría (Psidium araca). *Scielo*.

CRESTO: UNA HERRAMIENTA PARA SINTETIZAR PRIORIDADES DE ESTADONancy Ahidé Cruz Gastelum¹, Ricardo Rafael Quintero Meza², Sergio Christian Herrera Salazar³^{1,2}Instituto Tecnológico de Culiacán, ³Fortiss GmbH

nancy.cruz@itculiacan.edu.mx, rquintero@itculiacan.edu.mx, herrera@fortiss.org

RESUMEN

En la actualidad las industrias están optando por automatizar sus sistemas de producción a partir de sistemas embebidos clásicos que permiten realizar funciones dedicadas en sistemas de tiempo real, a sistemas embebidos colaborativos en red que permiten tener múltiples sistemas realizando la misma o diferentes tareas, incrementando con ello sus capacidades de producción. Si bien se obtiene este beneficio importante, la desventaja principal de esta opción, sin embargo, es un incremento en la complejidad de su control en tiempo real que requiere ser atendido, principalmente en el área de seguridad o confiabilidad. Esta problemática demanda crear sistemas integrales de colaboración que garanticen la seguridad en la realización de las tareas de dichos sistemas de manera eficiente. Esto implica ser capaces de representar sistemas en red con las condiciones y restricciones que se presentan en la vida real, además ofrecer una solución segura para la ejecución de esta misma que le permita cumplir su objetivo, tomando en cuenta los estados que representan errores de ejecución en la red. El modelado del sistema con redes de autómatas y la verificación de modelos puede ofrecer soluciones a esta problemática. Este artículo presenta el desarrollo de un framework que permite simular redes de autómatas, representantes de sistemas de la vida real, incluyendo restricciones y condiciones que típicamente se presentan, recibiendo en su entrada consultas de estado erróneo que la red no debe alcanzar. Su principal objetivo es poder interpretar diferentes estados erróneos para la red, tales como conjunciones y disyunciones con o sin variables, que puedan representar múltiples estados erróneos para el sistema. Con esta información se simula la ejecución de la red obteniendo una serie de estados pre-error que permiten obtener prioridades, que posteriormente pueden ser aplicadas para obtener como salida la misma red transformada, evitando con ello situaciones que podrían comprometer la integridad del sistema en tiempo de ejecución. El framework desarrollado representa situaciones de la vida real y ofrece soluciones óptimas y seguras para la ejecución de sistemas de componentes en red, pudiendo utilizarse para la programación de equipos o maquinas físicas de sistemas de producción.

INTRODUCCIÓN

Actualmente un gran número de industrias utilizan sistemas de producción automatizados, inicialmente estos eran sistemas embebidos clásicos que realizan una tarea específica, pero en la actualidad están pasando a utilizar sistemas embebidos colaborativos en red que permiten realizar múltiples tareas en tiempo real ya que éstos generan un beneficio importante al incrementar su capacidad de producción, esto tiene como desventaja la inminente complejidad de controlar estos sistemas en tiempo real, principalmente porque se requiere que sean muy seguros y confiables. Debido a esto, es importante crear sistemas integrales de colaboración que garanticen la seguridad y eficiencia en la realización de las actividades de producción de estos sistemas, para esto se requiere tener la capacidad de representar sistemas en red con las condiciones y restricciones que éstos presentan en la vida real tomando en cuenta las situaciones que representan un error en la ejecución de la red, para así ofrecer una solución que permita al sistema cumplir con su objetivo de manera forma segura.

CrEstO utiliza las técnicas de modelado de sistemas de redes de autómatas y la verificación de modelos acotados para resolver la problemática anterior como se detalla en [1]. Mediante la interpretación de redes de autómatas simula el comportamiento de sistemas distribuidos, obtiene prioridades de estados y ofrece una red transformada aplicando las prioridades obtenidas permitiendo así restringir que el comportamiento erróneo de la red. La herramienta toma como entrada una red de autómatas en formato JSON, que a partir de las llaves identifica los componentes de ésta, también recibe la consulta que representa el estado erróneo a evitar en formato JSON, ésta puede contener una o más locaciones que se interpretan como un estado erróneo para la red, es decir que la red no debe llegar a todas las locaciones al mismo tiempo, lo que se traduce a una

operación de conjunción. A pesar de que se obtienen buenos resultados con esta implementación, también resulta ser una gran desventaja el no tener soporte para consultas de diferentes tipos que puedan representar casos de la vida real.

En este trabajo se presenta la contribución que ayuda a disminuir este inconveniente, se agrega soporte para consultas que incluyen diferentes tipos de variables de datos, y también la operación lógica disyunción entre variables de datos y locaciones. Además de la inclusión de prioridades que consideren variables, ya que para algunos casos es importante considerar el valor de estos datos con el fin de entregar una transformación de la red totalmente funcional tomando en cuenta los datos que se incluyan en la consulta.

Este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se describe la arquitectura de la herramienta y el soporte para las consultas. La sección III presenta los experimentos que se llevaron a cabo para probar la aplicabilidad de la herramienta, y se describe un ejemplo. La sección IV presenta los resultados obtenidos. Y finalmente, la sección V presenta las conclusiones y posibles trabajos futuros.

Arquitectura y soporte de consultas

En esta sección se presentan dos bloques, el primero corresponde a la arquitectura de la herramienta CrEstO, donde se describe cada uno de los módulos de la herramienta, sus entradas y salidas, la interacción entre estos, y el segundo corresponde a los aportes realizados para dar soporte a las nuevas consultas.

Arquitectura

La Figura 1 muestra gráficamente como se compone la herramienta CrEstO, y enseguida se describen cada uno de los componentes



Figura 1: Arquitectura de CrEstO

- Intérpretes:
 - a. DAQPL (*Discrete Automata and Query Parsing Library*, Librería Intérprete de Autómata Discreto y Consulta): Esta es capaz de analizar y traducir redes de autómatas y consultas de error a partir del formato JSON transformándolas a estructuras de datos del tipo adecuado que contienen a su vez estructuras u objetos que representan a cada uno de los elementos de la red o de la consulta. Por ejemplo, una red contiene un conjunto de autómatas, estos a su vez contienen objetos aristas (*edges*) y estos contienen objetos locaciones (*locations*) origen y destino, entre otros objetos que son conocidos e identificados fácilmente por la librería. Se utiliza el patrón *Template* [10] para encapsular los algoritmos que se siguen para analizar la red de autómatas y la consulta, el patrón *Factory* [10] para crear y asignar valores para algunos elementos, y el patrón *Visitor* [10] para facilitar la impresión de la red y la consulta. En este módulo se añade soporte para consultas con diferentes formatos que pueden incluir variables de datos y disyunciones por medio de una fórmula, mediante el formato JSON que recibe como entrada, donde la herramienta identifica el formato de la consulta.

- b. Z3-API: Esta es una biblioteca creada en Java [4] que es utilizada para crear la configuración de la red y la consulta en formato SMT-LIB [8] a partir de las estructuras del interprete anterior que contienen la consulta y la red de autómatas, en este módulo se agrega soporte para los diferentes tipos de variables que podrán ser interpretados, así como los operadores matemáticos y lógicos nuevos para que se traduzcan al formato SMT-LIB y sea posible la correcta ejecución en SMT_SolverZ3 [5].
- Solucionador: Este módulo realiza la ejecución de la verificación del modelo y sintetiza las prioridades obtenidas a partir de la configuración realizada en el módulo anterior. El detalle de los algoritmos utilizados para la verificación del modelo puede verse en [1].
 - a. MC (*Model Checking*, Comprobación del modelo): En esta operación se toma la configuración generada previamente de la red y la consulta de error en el formato SMT, y un número dado de pasos máximos que se da como entrada a la herramienta, para calcular el conjunto de pre-errors donde se pueden alcanzar el error indicado en la consulta de error. La verificación del modelo acotado (*Bounded Model Checking*) [6] es la técnica utilizada para el análisis de accesibilidad, donde en cada paso se genera un problema a verificar (actualizando la codificación) y se ejecuta por Z3, obteniendo dos resultados posibles SAT O UNSAT. UNSAT nos indica que no se encontró un pre-error, SAT nos indica que se encontró un pre-error en el paso en ejecución, la configuración correspondiente a éste se guarda en la estructura de salida, que es utilizada en la siguiente operación.
 - b. PS (*Priorities Synthesis*, Síntesis de prioridades): En este se toma el conjunto de pre-errors alcanzables generados y se sintetiza a partir de cada pre-error un conjunto de prioridades con estado. Para obtener las prioridades se toma una configuración de pre-error del conjunto y se configura adicionalmente para obtener las transiciones que deberán ser tomadas para evitar el error de la consulta, se ejecuta en Z3, y se verifican los resultados arrojados para generar la prioridad. En esta sección se extiende para generar un nuevo tipo de prioridad, la cual permite considerar las variables de datos involucradas en la red de autómatas, se hace mediante un patrón de diseño *Strategy* [10] con la finalidad de que la herramienta pueda almacenar las prioridades en una misma estructura con la mínima afectación en los siguientes procesos.
- Transformador: Este módulo se compone por una librería para realizar la transformación de la red de entrada.
 - a. DATL (*Discrete Automata Transformation Library*, Librería de Transformación de Autómatas Discretos): Esta librería se utiliza para generar una red transformada que incorpora prioridades sintetizadas en su estructura. Para este fin, la información de la red original contenida en las estructuras de datos se transforma como se detalla en [1], y se emite en formato JSON. La salida se puede traducir fácilmente a los modelos Uppaal [9]. Esta sección se extiende para que la herramienta sea capaz de identificar si las prioridades contienen variables de datos, cuando esta sea únicamente con estado el comportamiento no cambiará, cuando sea con variables de datos el comportamiento cambiará para que se aplique la prioridad correctamente. Para una fácil transformación e impresión de esta red, se utilizan los patrones de diseño: *Factory*, *Template*, *Visitor* y *Transformer* [10].

Soporte de consultas

En esta sección se detalla el aporte principal a este trabajo, que consiste en el soporte para diferentes tipos de consultas. Debido a la necesidad de incluir variables de datos se modifican tanto el formato JSON correspondiente a la consulta de error, como la herramienta para que esta sea capaz de interpretar dicho formato. Los tipos de consultas que puede interpretar se listan en la Tabla 1 mostrada a continuación:

Tabla 1: Tipos de consultas

Categoría	Descripción
Cat. 1	Consulta con conjunción de locaciones
Cat. 2	Consulta con disyunción de locaciones
Cat. 3	Consulta con conjunción y disyunción de locaciones
Cat. 4	Consulta con conjunción de variables
Cat. 5	Consulta con disyunción de variables
Cat. 6	Consulta con conjunción o disyunción de locaciones y variables

Las variables de datos que pueden ser interpretadas son las siguientes: enteras, booleanas y reales, para las cuales se podrán utilizar los operadores matemáticos de la Tabla 2:

Tabla 2: Operadores aceptados

Operador	Descripción
=	Igual
>	Mayor
>=	Mayor igual
<	Menor
<=	Menor igual
!=	Diferente

El formato JSON para una consulta inicialmente aceptado puede verse en la Figura 2, se interpreta como: Automata0 = 2 and Automata1 = 2, ya que este formato únicamente permitía locaciones deduciendo una operación “and” para las n locaciones en la consulta.

```

1  {
2    "Query": [
3      {
4        "process": "Automata0",
5        "locations": "2"
6      },
7      {
8        "process": "Automata1",
9        "locations": "2"
10     }
11   ]
12 }
    
```

Figura 2: Formato JSON inicial

Para superar este inconveniente, la herramienta se extiende para que el intérprete de consulta sea capaz de interpretar las nuevas claves que contiene el formato JSON para la consulta de error y, por consiguiente, también sea capaz de reconocer los tipos de variables y operadores que pueden ser utilizados en la consulta, donde el usuario puede ingresar una consulta de la categoría que desee sin la necesidad de indicar el formato que ha elegido, la herramienta identifica a partir de las claves, que contienen datos en el formato, que tipo de consulta se está ingresando. Estos datos son tipo, valor, operador y autómatas al que pertenece. Para una consulta que incluya disyunciones se agrega soporte para reconocer la clave “formula” dentro del formato JSON, a cada elemento que conforme la consulta se agrega la clave “alias” que corresponde al identificador para el dato correspondiente sea variable de datos o locación, el contenido de la clave “formula” debe ser una fórmula de operaciones lógicas conjunción y/o disyunción con los alias de los elementos que conforman la consulta. La Figura 3 muestra como ejemplo el formato

que corresponde a una consulta de categoría 6, donde la clave “variables” contiene dos objetos de este tipo; el primero indica que la variable “y” de tipo entera perteneciente al Automata1 tendrá un valor “= 10” en la consulta con el identificador “y” correspondiente a la clave “alias”, y el segundo indica que la variable “z” de tipo entera perteneciente al Automata2 tendrá un valor “= 10” en la

consulta con el identificador “z”. La clave “locations” contiene dos objetos de tipo locación; el primero señala que Automata0 será igual a la locación “2” en la consulta con el identificador “A02”, el segundo señala que Automata1 será igual a la locación “2” en la consulta con el identificador “A12”. La clave “formula” denota la estructura de la consulta de error utilizando los identificadores de los elementos antes mencionados, la cual se interpreta como: $Automata0 = 2 \text{ and } y = 10 \text{ or } Automata1 = 2 \text{ and } z = 10$, siendo este el estado que la red no debe alcanzar.

```

1  {
2    "Query": [
3      {
4        "variables": [
5          {
6            "alias": "y",
7            "name": "y",
8            "type": "integer",
9            "value": "10",
10           "automata": "Automata1",
11           "operator": "="
12         },
13         {
14           "alias": "z",
15           "name": "z",
16           "type": "integer",
17           "value": "10",
18           "automata": "Automata2",
19           "operator": "="
20         }
21       ],
22       "locations": [
23         {
24           "alias": "A02",
25           "loc": "2",
26           "automata": "Automata0"
27         },
28         {
29           "alias": "A12",
30           "loc": "2",
31           "automata": "Automata1"
32         }
33       ],
34       "formula": "((A02 && y) || (A12 && z))"
35     }
36   ]
37 }

```

Figura 3: Formato de consulta para cat. 6

Para obtener resultados que puedan ser aplicables, resulta necesario realizar adecuaciones que permitan que la herramienta realice el proceso completo y entregue como salida una red transformada que tome en cuenta las modificaciones de la consulta. Para esto se llevaron a cabo adecuaciones en el intérprete de Z3 que permiten agregar a la configuración en el formato SMT-LIB las variables de datos, operadores matemáticos y lógicos para la ejecución en Z3, también se realizan modificaciones que permiten obtener de SMT_Solver el valor que tiene cada una de las variables de datos de la red en el paso en ejecución, esto permite crear, mediante adecuaciones en el módulo de síntesis de prioridades, un nuevo tipo de prioridad que indique en qué momento se deberá tomar la transición que ayuda a evitar el estado de error en base al valor de las variables que componen la consulta, a esta se le llama prioridad de estado con variables, y se verá de la siguiente forma: *Take a < b when x = 0, y = 2*. Para minimizar el nivel de impacto en la herramienta, se optó por implementarlo mediante un patrón Strategy[10], lo que permite tener prioridades abstractas que contengan los elementos que ambos tipos comparten, y realizar implementaciones concretas dependiendo de las características particulares de cada una de las prioridades, la herramienta, en base al tipo de consulta, decide qué tipo de prioridad será necesario implementar. Esto entregará como salida un conjunto de prioridades abstractas para su uso posterior.

Finalmente, se adecuó la transformación de la red para que sea capaz de aplicar las nuevas prioridades en la red. Para esto la herramienta toma el conjunto de prioridades sintetizadas, e identifica, para cada una de ellas, si es prioridad con variables y, adicionalmente al comportamiento original, añade a las restricciones de la red los valores de las variables que se deben cumplir para que la red no llegue al estado de error indicado en la consulta.

PARTE EXPERIMENTAL

En esta sección, se muestran algunos experimentos realizados y el proceso que siguen. Los experimentos fueron organizados en 6 categorías. Cada una contiene 2 redes diferentes asociadas a 2 consultas de error diferentes. Cada una de estas redes consta de como máximo 3 autómatas, y cada uno de esos autómatas consta de al menos 2 ubicaciones. Cada una de esas consultas ilustra el nuevo soporte para variables de datos y para conexiones lógicas de ubicaciones y variables de datos. Las categorías y su descripción se muestran anteriormente en la Tabla 1, en la Tabla 3 se ejemplifica una consulta para cada categoría:

Tabla 3: Ejemplo de consulta por categoría

Categoría	Ejemplo
Cat. 1	L1 and L2
Cat. 2	L1 or L2
Cat. 3	L1 and (L2 or L3)
Cat. 4	V1 and V2
Cat. 5	V1 or V2
Cat. 6	(L1 or V1) and (L2 or V2)

Enseguida se detalla un ejemplo paso a paso. La red presentada en la Figura 4 se compone de 3 autómatas, con 2 locaciones y una variable de datos enteros cada uno, la consulta de error que deberá evitar es: $((A02 \ \&\& \ y) \ || \ (A12 \ \&\& \ z))$, donde en el formato JSON correspondiente a la consulta, mediante las claves "alias" se indica la correspondencia de la fórmula, esta consulta indica que la red deberá evitar que el autómata 0 llegue a la locación 2 y el valor de y sea igual a 10 , o que el autómata 1 llegue a la locación 2 y la variable z sea igual a 10.

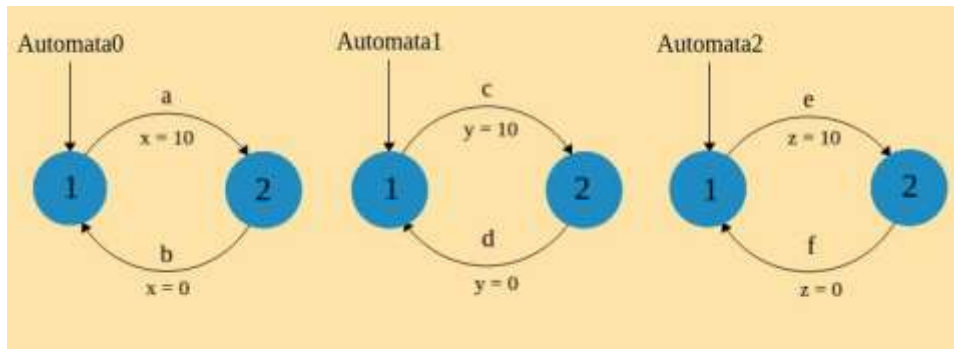


Figura 4: Red de autómatas ejemplo

Al ejecutar la herramienta con la red y consultas anteriores se genera la configuración de la red y la consulta, se ejecutan en SMT-SolverZ3 las veces que indique el número de pasos hacia adelante que se da como entrada, para este ejemplo son necesarios 4 pasos, los pre-errors encontrados se muestran en la Figura 5 e indican en qué estado se encuentra la red un paso antes de llegar al error, a partir de estos se buscan caminos que permitan evitar el error indicado en la consulta dando como resultado las prioridades sintetizadas que se muestran en la Figura 6, estas señalan que se debe tomar la arista mayor sobre la menor cuando ambas estén disponibles y las variables tengan los valores que se muestran.

```
PreError found: {Automata0=1, Automata1=1, Automata2=2} {x=0, y=0, z=10}, step: 1 <-----
PreError found: {Automata0=1, Automata1=2, Automata2=1} {x=0, y=10, z=0}, step: 1 <-----
PreError found: {Automata0=1, Automata1=2, Automata2=1} {x=0, y=10, z=0}, step: 1 <-----
PreError found: {Automata0=2, Automata1=1, Automata2=1} {x=10, y=0, z=0}, step: 1 <-----
PreError found: {Automata0=2, Automata1=1, Automata2=2} {x=10, y=0, z=10}, step: 2 <-----
```

Figura 5: Pre-errors encontrados

```
-- Priorities synthesis DONE! --
Priority synthesized: a<d when x=0, y=10, z=0
Priority synthesized: c<b when x=10, y=0, z=0
Priority synthesized: a<d when x=0, y=10, z=0
Priority synthesized: c<f when x=0, y=0, z=10
Priority synthesized: c<e when x=10, y=0, z=0
Priority synthesized: c<a when x=0, y=0, z=10
Priority synthesized: c<f when x=10, y=0, z=10
Priority synthesized: c<b when x=10, y=0, z=10
```

Figura 6. Prioridades sintetizadas

El paso final arroja la transformación de la red de forma textual con las restricciones que permiten evitar que la red alcance el estado de error, en la Figura 7 se muestra la transformación de la red con las restricciones que corresponden a las aristas que deberán ser bloqueadas cuando se cumplan las condiciones que se indican.

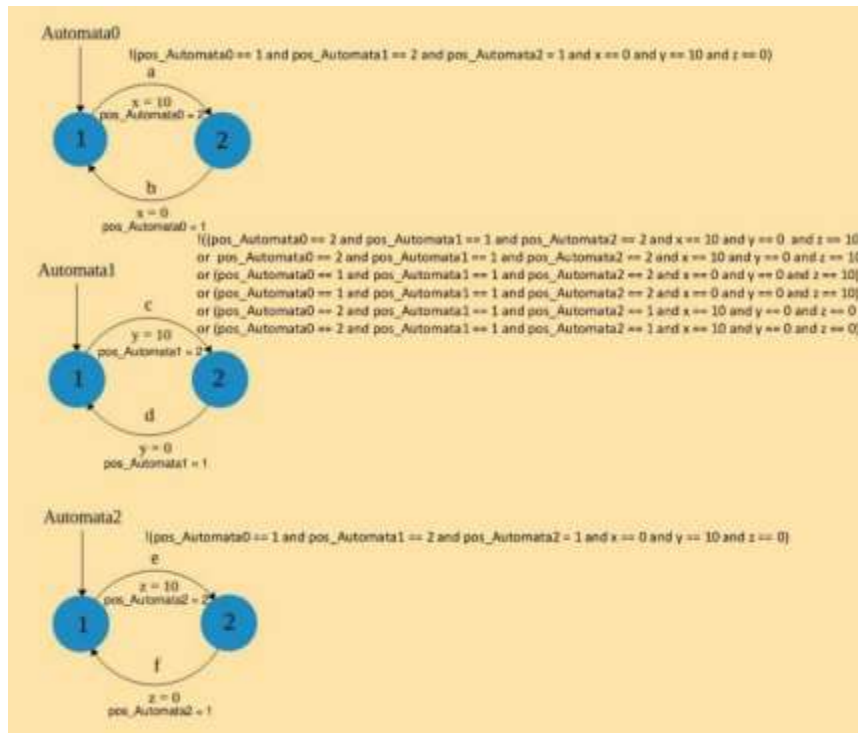


Figura 7: Transformación de la red

RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados obtenidos por nuestra herramienta en la experimentación. La Tabla 4 muestra los resultados donde la columna prioridades indica el número de prioridades sintetizadas para la prueba correspondiente; las siguientes dos columnas indican la memoria consumida y el tiempo que tarda al realizar la ejecución del ejercicio, y por último la columna pasos indica el número de pasos máximos para evitar el estado de error. Puede observarse dos datos interesantes en la tabla, primero, los dos grupos de redes que muestran el mayor número de

prioridades sintetizadas, es decir, Cat.3 y Cat.6, muestran también los mayores costos computacionales (consumo de memoria y tiempo) para sintetizar prioridades. En segundo lugar, se verifican las consultas más complejas (disyunciones y conjunciones) en las mismas categorías, la estructura de estas consultas puede llevar a la herramienta a buscar más de un estado erróneo para la red, lo que origina mayor costo computacional para sintetizar prioridades.

Tabla 4. Resultados de Experimentos

Categoría	Test	Prioridades	Memoria	Tiempo (s)	Pasos
Cat.1	Test_1	2	0.13	2.1	4
Cat.1	Test_2	6	0.15	3.3	4
Cat.2	Test_3	4	0.12	2.2	4
Cat.2	Test_4	5	0.16	3.0	4
Cat.3	Test_5	6	0.14	3.5	4
Cat.3	Test_6	8	0.25	6.2	4
Cat.4	Test_7	4	0.17	3.5	4
Cat.4	Test_8	4	0.17	2.9	4
Cat.5	Test_9	6	0.17	3.3	4
Cat.5	Test_10	6	0.21	5.3	4
Cat.6	Test_11	8	0.17	4.1	4
Cat.6	Test_12	13	0.21	6.6	6

Para comprobación de los resultados obtenidos en la herramienta, se realiza la representación de las redes de autómatas mediante la herramienta Uppaal [3,9] que ayuda a comprobar si la red puede alcanzar el estado de error o no. Se utiliza el ejemplo mostrado en la Figura 4. La representación en Uppaal de la red en su estado original se observa en la Figura 8. En la Figura 9 se puede observar cómo se realiza la consulta directamente y la herramienta nos indica que se satisface la propiedad, es decir que la red original llega al estado de error indicado en la consulta.

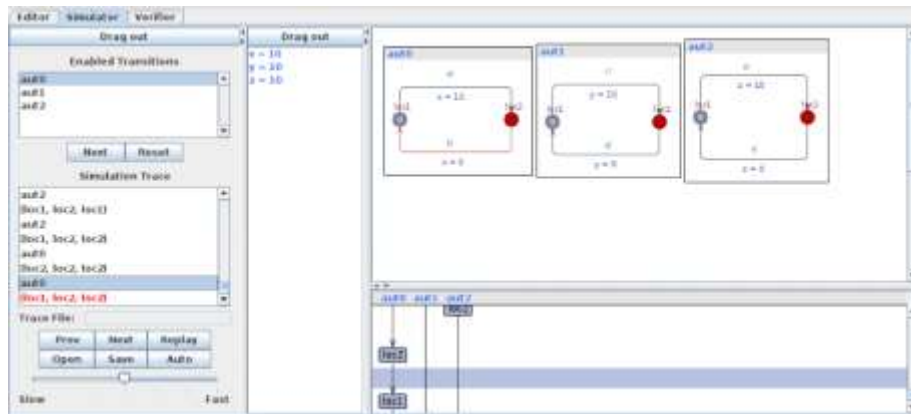


Figura 8. Red original en Uppaal

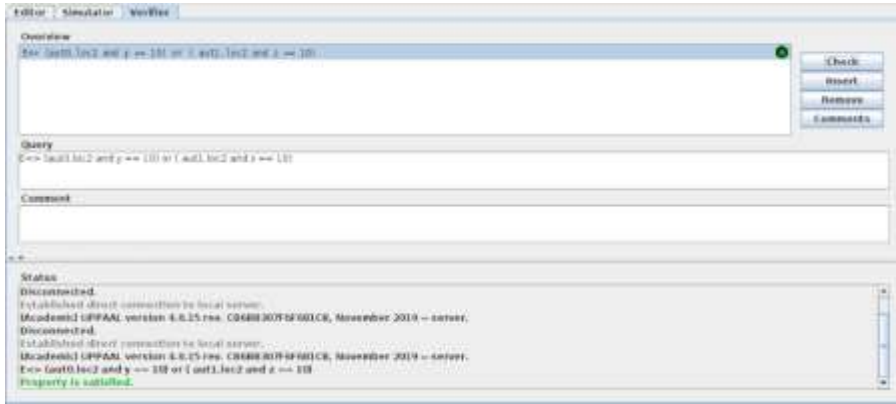


Figura 9: Consulta a red original

La Figura 10 muestra la red de autómatas anterior configurada con la transformación que ofrece como salida la herramienta CrESTo, se crean las variables posicionales *pos_AutomataN* verificar las posiciones de la red y con esto controlar su comportamiento. La transformación arroja una restricción para la transición “a” que indica que la transición no estará disponible cuando *pos_Automata0 = 1*, *pos_Automata1 = 2*, *pos_Automata2 = 1*, *x = 0*, *y = 10* y *z = 0*. Seis restricciones para la transición “c” que indican que no estará disponible cuando *pos_Automata0 = 2*, *pos_Automata1 = 1*, *pos_Automata2 = 2*, *x = 10*, *y = 0* y *z = 10* o *pos_Automata0 = 2*, *pos_Automata1 = 1*, *pos_Automata2 = 2*, *x = 10*, *y = 0* y *z = 10* o *pos_Automata0 = 1*, *pos_Automata1 = 1*, *pos_Automata2 = 2*, *x = 0*, *y = 0* y *z = 10* o *pos_Automata0 = 1*, *pos_Automata1 = 1*, *pos_Automata2 = 2*, *x = 0*, *y = 0* y *z = 10* o *pos_Automata0 = 2*, *pos_Automata1 = 1*, *pos_Automata2 = 1*, *x = 10*, *y = 0* y *z = 0* o *pos_Automata0 = 2*, *pos_Automata1 = 1*, *pos_Automata2 = 1*, *x = 10*, *y = 0* y *z = 0*. Y una restricción para la transición “e” que indica que no estará disponible cuando *pos_Automata0 = 1*, *pos_Automata1 = 2*, *pos_Automata2 = 1*, *x = 0*, *y = 10* y *z = 0*. En la Figura 11 se realiza la consulta en Uppaal con la configuración de la transformación de la red e indica que el estado de error no es alcanzable. Por lo tanto, la transformación que ofrece CrESTo es segura para la red.

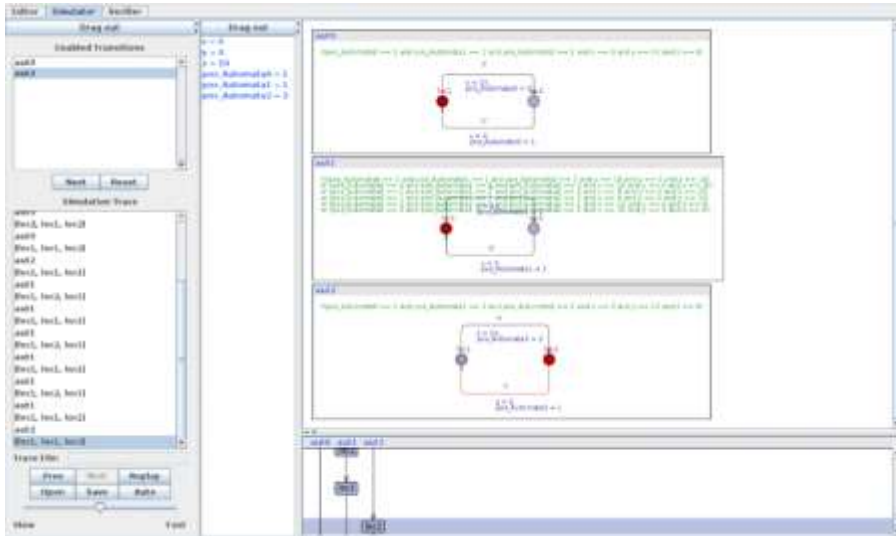


Figura 10: Transformación de la red en Uppaal

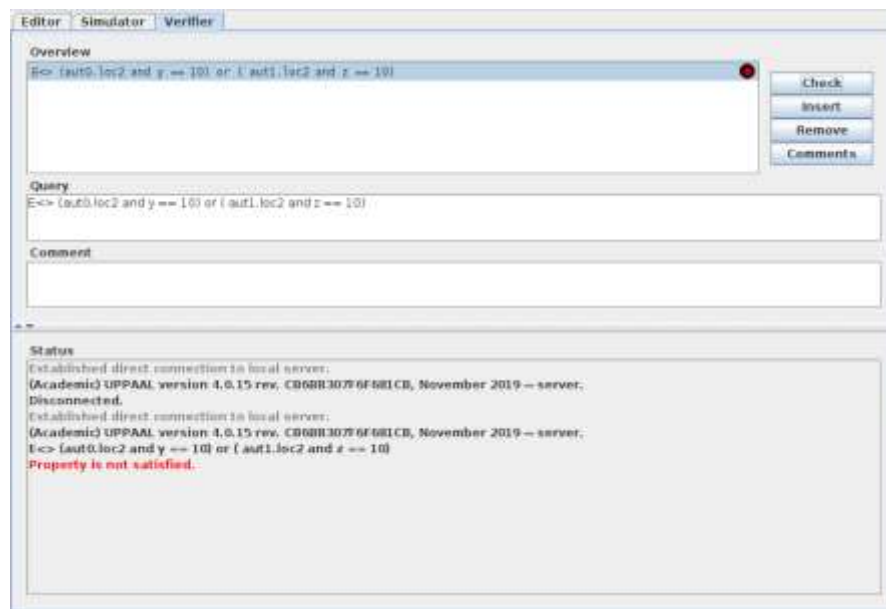


Figura 11: Consulta a la red transformada

Los archivos de los experimentos se comparten en [7], se proporcionan los archivos JSON correspondientes a la red de autómatas y la consulta, así como los modelos Uppaal de las redes originales y transformadas para que pueda ser corroborados los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

Se presenta una extensión para las consultas soportadas por la herramienta CrEstO, que sintetiza prioridades con estado. Con esta aportación, se consideran consultas con variables de datos, que incluyan cualquier conexión matemática entre variables, y disyunciones entre locaciones o variables, contenidas en la red, por lo que se supera un inconveniente importante en la herramienta, ya que este permite al usuario diseñar redes y consultas más acercadas a un escenario real, y ofrece resultados seguros para la red. Resultados para los cuales se puede comprobar su aplicabilidad mediante la herramienta Uppaal con los ejemplos que se comparten. Para trabajos futuros se consideran dos direcciones, 1) hacia redes de autómatas temporizados, y 2) admitir consultas LTL, lo que permitirá admitir una nueva clase de redes para considerar ejemplos industriales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Christian Herrera. From Stateless to Stateful Priorities: Technical Report. CoRR, abs/2002.08646, 2020.
2. C.-H. Cheng, N. Shankar, H. Ruess, and S. Bensalem. EFSMT: A Logical Framework for Cyber-Physical Systems. CoRR, abs/1306.3456, 2013.
3. G. Behrmann, A. David, and K. Larsen. A Tutorial on Uppaal. In SFM, volume 3185 of LNCS, pages 200–236. Springer, 2004.
4. The Z3 Theorem Prover (2019). Recuperado el 23/10/2019. Disponible en: <https://github.com/Z3Prover/z3>.
5. L. Mendonça de Moura and N. Bjørner. Z3: An Efficient SMT Solver. volume 4963 of LNCS, pages 337–340. Springer, 2008.
6. E. M. Clarke, A. Biere, R. Raimi, and Y. Zhu. Bounded Model Checking Using Satisfiability Solving. Formal Methods in System Design, 19(1):7–34, 2001.
7. CrEstO Benchmarks (2020). Disponible en: <https://bitbucket.org/umaya/crestobenchmarks>.

8. Barrett, C., Stump, A., and Tinelli, C. (2010, July). The smt-lib standard: Version 2.0. In Proceedings of the 8th international workshop on satisfiability modulo theories (Edinburgh, England) (Vol. 13, p. 14).
9. Uppaal (2019). Recuperado el 22/01/2020. Disponible en: <http://www.uppaal.org/>.
10. The GoF Design Patterns Reference (2014-2018). Recuperado el 20/04/2020. Disponible en: <http://w3sdesign.com/index0100.php#gf>.

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RIGIDEZ DE BLOQUES DE CONCRETO BASADO EN LA TÉCNICA DE IMPACTO ACÚSTICO Y LA ENTROPÍA DE SHANNON

Yajaira Concha Sánchez¹, Gabriel Arroyo Correa², José Vega Cabrera², Margarito Octavio Anguiano Méndez¹ y Roberto Nahum Olvera Alejo¹

¹Facultad de Ingeniería Civil, UMSNH, ²Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UMSNH.
yconcha@umich.mx

RESUMEN

En el campo de la ingeniería se emplean técnicas destructivas y no destructivas para caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales. El uso de máquinas para aplicar esfuerzos sobre materiales específicos hasta sus límites de ruptura es un ejemplo típico de técnica destructiva. Por otra parte, el empleo de ondas acústicas de baja y alta frecuencia (ultrasonidos) figura entre los métodos no invasivos utilizados con frecuencia en el campo de la ingeniería civil, mecánica y aeronáutica. La técnica del impacto acústico (IA) es un método no invasivo que se puede usar para cuantificar la rigidez de un material, que se emplea ampliamente en la industria frutícola. En la técnica IA el objeto bajo estudio es impactado por un objeto sólido pequeño, aunque también se puede usar un martillo de impacto. El impacto sobre el objeto produce vibraciones en el rango audible que son captadas por sensores de sonido colocados cerca de la superficie del objeto. En este trabajo exploramos la aplicación de la técnica IA a bloques de concreto para analizar las señales acústicas detectadas por dos sensores de sonido, uno colocado en la dirección del impacto y otro a 90 grados con respecto a esta dirección. Se consideran los casos en que el bloque de concreto descansa libremente sobre una superficie horizontal y cuando es sometido a una presión. Se obtienen los espectros de Fourier y se cuantifica un parámetro de entropía, basado en la llamada entropía de Shannon, en el espacio fase definido por las señales acústicas detectadas por los dos sensores. Los resultados experimentales muestran que cuando el bloque de concreto es sometido a presión su espectro de Fourier muestra frecuencias bajas que no aparecen en el caso en que el bloque no sea sometido a presión y también se observa un incremento en la entropía de Shannon.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la interacción entre radiación y materia ha sido un problema clave tanto en la física básica como aplicada. Los esquemas teóricos y experimentales en las bajas energías son muy amplios y variados, aunque en términos generales se puede hablar de análisis destructivos y no destructivos. En el caso de los métodos acústicos, su aplicación en el control de calidad de productos industriales es ya bien conocida¹. La técnica de análisis por impacto acústico (IA) está basada en la dinámica de la colisión elástica entre dos cuerpos en donde la respuesta dinámica del objeto bajo estudio se detecta con sensores de vibraciones colocados sobre diferentes puntos del objeto, y por medio de una tarjeta de adquisición de datos se transfiere la información para ser procesadas posteriormente. Los espectros de Fourier de las señales acústicas muestran frecuencias de resonancia dominantes propias del estado mecánico del objeto, por lo que en principio el análisis de estas frecuencias nos permite identificar características propias del estado mecánico del objeto bajo estudio. La aplicación de la técnica IA es ampliamente en la industria frutícola conocida para caracterizar el estado de madurez de frutos¹, pero su uso para caracterizar la rigidez de materiales como el concreto es más bien limitado, por no decir nulo.

En este trabajo aplicamos la técnica IA para caracterizar la rigidez de bloque de concreto. Adicionalmente al análisis de Fourier convencional, caracterizamos el estado dinámico del bloque mediante la cuantificación de la entropía de Shannon² (E_s). El cálculo de E_s se hace en el espacio de configuración (que no es más que el diagrama de Lissajous) definido por las dos señales acústicas que provienen de dos sensores de sonido colocado en diferentes posiciones cerca del bloque de concreto. Se construye una malla rectangular de puntos. La malla se divide en N celdas rectangulares idénticas. El número de puntos en una celda dividido entre el número total de puntos da la probabilidad de ocupación p_i de la celda. La entropía asociada a cada celda es:

$$E_s = -\sum_{i=1}^N p_i \ln(p_i), \quad (1)$$

en donde \ln representa el logaritmo natural. La regularidad o irregularidad del diagrama de Lissajous correspondiente arrojará diferentes valores de E_s . Este enfoque de la entropía de Shannon lo hemos utilizado para caracterizar la dinámica de sistemas caóticos³.

PARTE EXPERIMENTAL

En la Fig. 1 se muestra un arreglo típico de la instrumentación de la técnica IA. La base mecánica B se usa para colgar la masa pendular P que impacta al objeto bajo estudio O. La instrumentación es de la marca PASCO: dos sensores de sonido colocados en la dirección del impacto (S1) y a 90 grados con respecto a esta dirección (S2); la señal fue registrada durante 0.010 segundos con una interfaz 750 (no mostrada en la figura) a una razón de muestreo de 5000 muestras por segundo. Los objetos estudiados fueron tres bloques similares de concreto en forma de cubo, fabricados en el laboratorio de materiales. Para cada bloque se tomaron tres mediciones para tener una señal promedio de cada sensor. Sobre los promedios de las señales se obtuvo su espectro de Fourier. Con las dos señales acústicas promedio de cada sensor se generó su diagrama de Lissajous para calcular la entropía de Shannon de acuerdo a la Ec. (1). Para analizar la rigidez del bloque, se tomaron mediciones en dos condiciones: i) cuando el bloque reposaba libremente sobre una superficie horizontal; ii) y cuando el bloque era sometido a una presión aplicada sobre su cara superior.

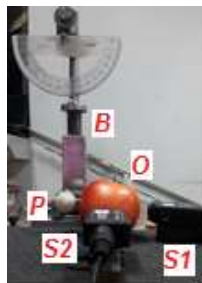


Figura 1. Arreglo típico para instrumentar la técnica del impacto acústico. La masa pendular P impacta el objeto bajo estudio O. El impacto genera vibraciones de la superficie del objeto que se registran con los sensores S1 y S2.

RESULTADOS

En la Fig. 2 se muestran las señales acústicas temporales registradas por el sensor S1 y sus correspondientes espectros de Fourier. Se nota claramente la aparición de una frecuencia baja cuando el bloque fue sujeto a una presión. También se observa un corrimiento en las frecuencias dominantes (indicadas por la fecha) entre los casos sin presión y presión.

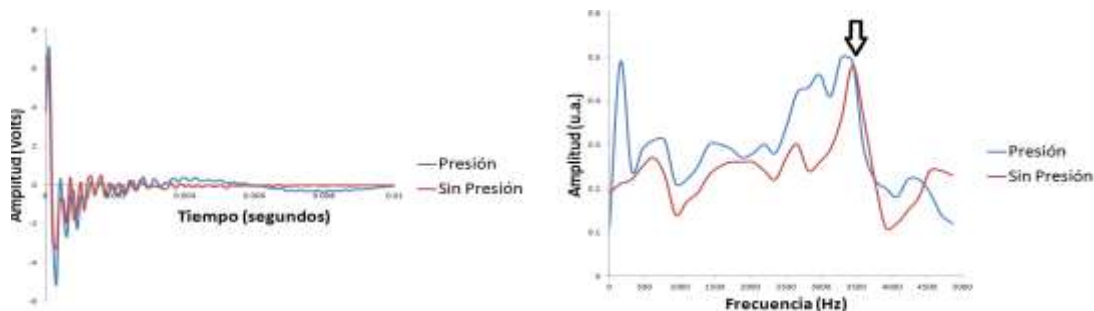


Figura 2. Señales acústicas (gráfico izquierdo) y espectros de Fourier (gráfico derecho) registradas por el sensor S1.

La Fig. 3 muestran los resultados correspondientes para el sensor S2. Se notan también la aparición de una frecuencia baja cuando el bloque fue sujeto a una presión y un corrimiento en las frecuencias dominantes (indicadas por la fecha) entre los casos sin presión y presión.

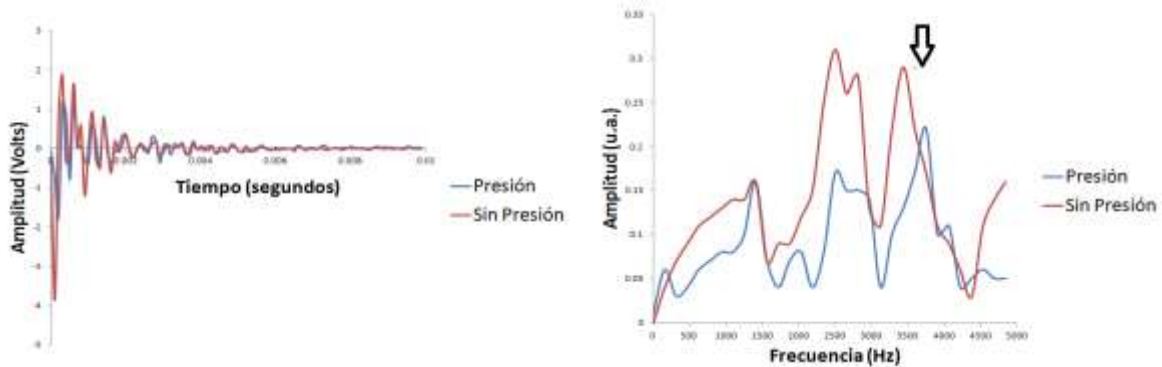


Figura 3. Señales acústicas (gráfico izquierdo) y espectros de Fourier (gráfico derecho) registradas por el sensor S2.

La Fig. 4 muestra el diagrama de Lissajous para el caso sin presión. El eje horizontal registra la señal acústica del sensor S1 y el eje vertical registra la señal acústica del sensor S2. El valor de la entropía de Shannon E_s , calculados de acuerdo a la Ec. (1), está indicado en la figura. La Fig. 5, por su parte, presenta los resultados para el caso con presión. Al comparar estas figuras se puede notar una mayor dispersión de los puntos para el diagrama correspondiente al caso con presión, de aquí que su entropía de Shannon sea mayor. Esto es una consecuencia de la deformación experimentada por el bloque cuando es sometido a la presión. Esta deformación produce una inhomogeneidad en la distribución de la masa del bloque de concreto. Desde luego, a simple vista esto no se puede observar pero los resultados de las Figs. 4 y 5 si explican este hecho.

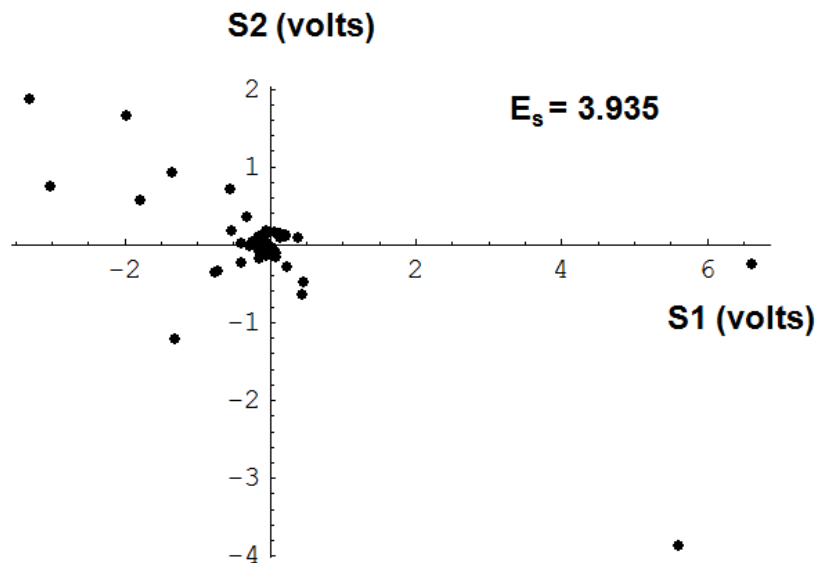


Figura 4. Diagramas de Lissajous formado por las señales acústicas registradas por los sensores S1 y S2. Este caso corresponde al bloque cuando no sin presión.

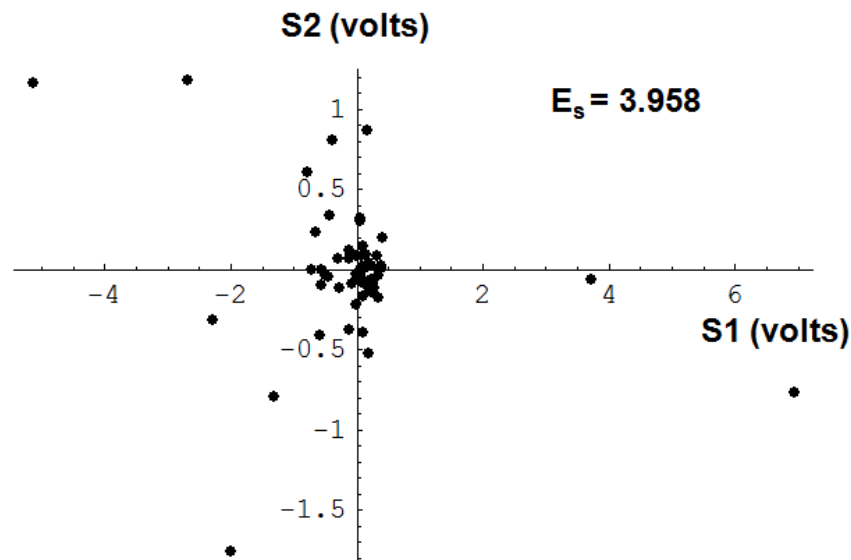


Figura 4. Diagramas de Lissajous formado por las señales acústicas registradas por los sensores S1 y S2. Este caso corresponde al bloque cuando está sometido a una presión.

CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió experimentalmente la rigidez de bloques de concreto mediante la técnica de impacto acústico y la cuantificación de la entropía de Shannon definida en el diagrama de Lissajous de las señales acústicas. Los bloques fueron analizados en condiciones de no presión y de presión. Los resultados experimentales muestran que el efecto de la presión sobre el bloque se manifiesta en los espectros de Fourier por corrimientos en la frecuencia de resonancia dominante y por la aparición de frecuencias de resonancia bajas. La entropía de Shannon de los diagramas de Lissajous muestran un incremento en el caso en que el bloque es sometido a una presión, lo cual es un indicativo de la inhomogeneidad en la distribución de la masa del bloque inducido por el cambio de presión. Los resultados obtenidos nos llevan a concluir que la propuesta descrita en este trabajo puede instrumentarse como una técnica alterna para analizar propiedades mecánicas de estructuras usadas en la Ingeniería Civil.

BIBLIOGRAFÍA

1. F. Duprat, et al., "The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit", J. Agric. Eng. Res., Vol. 66, 1997, pp. 251-259.
2. C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication", The Bell System Technical Journal, Vol. 27, 1948, pp. 379-423, 623-656.
3. G. Arroyo Correa, J. Vega Cabrera, "Efecto de una perturbación magnética local en la estabilidad de dos cadenas caóticas abiertas acopladas", XVI Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia, León, Gto., 2019. Trabajo S3-FMCT09.

EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ALÚMINA-TITANIO EN UNA SOLUCIÓN FISIOLÓGICA DE HANK

Arturo, Apolinar Alejandro¹, Gerardo, Vázquez Huerta², María Elizabeth, Refugio García³ y Enrique, Rocha Rangel⁴

¹Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, ²Universidad Politécnica de Victoria-Tamaulipas
art-ap-al@hotmail.com

RESUMEN

Los materiales metálicos que tienen un recubrimiento cerámico suelen tener una buena biocompatibilidad con el cuerpo humano, dado que el contacto suele ser con el cerámico. La alta compatibilidad del cerámico con el cuerpo humano se enfoca porque es bioinerte, ya que este no interacciona con el tejido; esto es beneficioso al usarse como prótesis, puesto que cualquier material externo suele ser invasivo y perjudicial en el cuerpo humano. Asimismo, el presente trabajo tiene como finalidad evaluar la degradación de los materiales compuestos Al_2O_3 y $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ti}$ en una solución Hank, que fueron fabricados mediante la metalurgia de polvos a una temperatura de sinterización de 1400° , 1500°C y 1600°C durante 2 horas, con los porcentajes de 0, 1, 2, 3% Ti, de la cual tiene como finalidad ser una prótesis. La evaluación se hizo mediante la técnica de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica, utilizando una celda electroquímica con tres electrodos: electrodo de referencia (Ag/AgCl), contra electrodo (grafito) y el electrodo de trabajo que son los materiales compuestos de Al_2O_3 y $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ti}$. Estos compuestos se colocaron en inmersión dentro de una cámara al vacío y posteriormente en un baño de ultrasonido dentro de una solución Hank, con la finalidad de hacer que se humedezca y se llenen los poros en su totalidad con la solución. Los resultados que se obtuvieron fueron comparados con la del hueso compacto bovino, de la cual el material compuesto a una temperatura de sinterización de 1400°C con un porcentaje del 3% Ti, fue la que más se acercó a la resistencia a la polarización (R_p) del hueso compacto bovino.

INTRODUCCIÓN

Recientes investigaciones dan un nuevo panorama en el campo de los biomateriales, ya que implementa requisitos para ser utilizados en el organismo humano, en donde pone en juego la degradación del material, el comportamiento mecánico, la biocompatibilidad, la homogeneidad del material, entre otros aspectos.

Los materiales que se utilizan como implantes en el cuerpo, en general son aleaciones de algún metal. Por lo general los más utilizados son las aleaciones de titanio que desde décadas anteriores son utilizadas con este objetivo. También están las aleaciones con recubrimientos de algún cerámico o polímero, pero, no obstante existen nuevas investigaciones en donde el material es un cerámico con inclusiones metálicas, siendo así lo más novedoso en la actualidad.

La fabricación de las aleaciones o materiales compuestos que son obtenidos por metalurgia de polvos, son materiales con mejores propiedades, dado que su microestructura presenta una mejor homogeneidad, en comparación con las que son fabricadas por medio de la fundición, en donde se obtienen microestructuras no homogéneas, siendo así el empleo de la técnica de la metalurgia de polvos una mejor opción.

De acuerdo a lo anterior, el presente trabajo pretende estudiar la degradación de un material compuesto fabricado por metalurgia de polvos, en donde la matriz base es la alúmina con adiciones de titanio en diferentes cantidades, además de analizar la influencia que tiene la temperatura de sinterización en cada compuesto.

La técnica que se utilizará para determinar la degradación de cada material compuesto será la Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS), en donde el material compuesto estará en contacto con la solución Hank, esta solución tiene componentes similares al fluido sinovial del cuerpo humano, siendo así una buena opción para obtener resultados viables.

TEORÍA

En las últimas décadas, las personas que habitan en el país de México han requerido diversos implantes ortopédicos, de la cual incluye placas, tornillos, clavos, alambres, etc. (Hernández T.,

Palma C., & Piña B., 1999), sin embargo, la mayoría de estos implantes están fabricados por metales, aleaciones, cerámicos o de un metal-cerámico. Siendo así, los principales metales que se utilizan para la fabricación de implantes ortopédicos: níquel, titanio, cobalto, cromo, estaño, aluminio, platino entre otros, que además fueron los primeros biomateriales empleados para la fabricación de implantes. Después, se desarrollaron aleaciones, en donde los más utilizados son las aleaciones de titanio, esta aleación es una de las principales en el campo de los biomateriales, (Giraldo R., 2004), y de igual manera están las aleaciones de magnesio con pequeñas cantidades de paladio, (González & Pellicer, 2012), o las aleaciones de Co-Cr-Mo, (Vázquez Gutiérrez, 2007) entre otros.

A su vez, también están los materiales cerámicos, que son compuestos policristalinos y refractarios, la cual tiene una gran influencia en el campo de implantes ortopédicos. Algunos materiales poseen una alta biocompatibilidad para implantes en el cuerpo humano, ya que estos materiales son inertes en medios acuosos, aunque la principal desventaja es que son frágiles al impacto o de baja resistencia a la fractura, motivo por el cual presentan bajas propiedades mecánicas, baja resistencia a la tensión y a la compresión; por ende, tiene limitaciones prácticas en zonas que se producen grandes cargas, como lo es principalmente la zona de la cadera. A pesar de esto, este tipo de prótesis tiene un amplio uso para implantes en zonas que no producen altas cargas, como lo es en el cabeza, que son utilizados para reparaciones craneales, (Conconi García, 2016).

De igual modo, están los nuevos materiales en donde entrelazan las aleaciones con los materiales cerámicos, generando un nuevo enfoque, como son los recubrimientos de hidroxiapatita en una aleación de Ti-6Al-4V, que son llamados metal-cerámica. Este tipo de recubrimientos genera una buena interacción con los tejidos corporales, lo cual favorece la unión entre el implante y el hueso, dado que el cerámico tiene una alta biocompatibilidad con el cuerpo humano, (Copete, Esperanza López, Vargas, Echavarría, & Rios, 2012). No obstante, a pesar de tener estos nuevos biomateriales que suelen ser aleaciones con recubrimientos cerámicos, estos tienen ciertas desventajas, por ejemplo no se puede tener una buena capa homogénea en la base metálica, lo que ocasiona que al estar en contacto con los fluidos sinoviales se genere un desgaste en las zonas no homogéneas, y por esta desventaja es necesario encontrar un biomaterial que tenga las óptimas condiciones, como son los nuevos materiales compuestos, cerámicos con partículas metálicas.

Estos nuevos materiales compuestos, en donde la matriz base es un cerámico con inclusiones metálicas, son investigaciones recientes en el campo de los biomateriales; el material compuesto de alúmina-titanio que se fabricó mediante la metalurgia de polvos publicado en la revista Journal Of Engineering Research and Development en el año 2016, obtuvo excelentes resultados para un posible uso en aplicaciones biomédicas, dado que al contener alúmina en su totalidad, esta favoreció su posible uso en implantes. Mas aún, no sólo por tener una buena biocompatibilidad, sino también por presentar valores mejorados de tenacidad a la fractura, y además valores de dureza superior al del hueso compacto. Estos compuestos fueron sinterizados a una temperatura de 1400°C durante 1, 2 y 3 horas en una atmósfera inerte con porcentajes de 0.5, 1, 2 y 3% Ti, a un tamaño de partícula de 100nm-100µm (alúmina) y 5-10µm (Ti), en donde la mezcla fue de 300 rpm durante 3 horas. Además, se determinó la densidad y la porosidad por el método de Arquímedes, en donde se observó que, a mayores porcentajes de titanio, presentaban una menor porosidad lo cual lo hace más compacto, y la densidad superó más del 200% con respecto al hueso compacto humano. Estos resultados arrojaron que el compuesto con un porcentaje del 2% y 3% de Ti, durante 2 horas de sinterización presentan los mejores resultados de la investigación, (Refugio García, Olea Mejía, Miranda Hernández, Osorio Ramos, & Rocha Rangel, 2016).

Así mismo, con respecto a la técnica de metalurgia de polvos, el proceso para producir las piezas mediante esta técnica son: obtención de polvos, mezcla, compactación y sinterización. La primera etapa es la producción de polvos, la cual existen diversos métodos para poder obtenerlos: trituración, atomización, pulverización líquida, reducción en estado sólido o por medio de la electrolisis. Luego de obtener los polvos, se prosigue a mezclar los polvos en un cierto intervalo de tiempo para poder homogenizar toda la mezcla, el tiempo del mezclado puede durar desde unas horas o hasta días, dependiendo del material utilizado, y eso se hace en un molino o una mezcladora, siendo así la segunda etapa. La tercera etapa consiste en el prensado o compactado de polvos, mediante una prensa hidráulica o mecánica, con el objetivo de unir las partículas bajo una cierta presión, en donde obtenemos un material en verde. Finalmente, la cuarta etapa consiste en la sinterización, en donde

el material en verde adquiere una resistencia al ser introducida en un horno con una temperatura controlada que no excede la temperatura de fusión, que a su vez se le inyecta un gas inerte para evitar la oxidación del compuesto, produciendo así un compuesto sólido, (Seybolt & Burke, 1969).

No obstante, todos estos compuestos o aleaciones que son fabricados por algún proceso, tienen que ser evaluadas mediante ciertas técnicas para poder determinar su resistencia a la degradación, y con respecto a esto saber que aleaciones o compuestos son viables a ser utilizadas como un biomaterial, puesto que al tener un material externo en el cuerpo puede ser dañino para la salud de la persona. Un artículo de la revista *Clinical Toxicology*, vincula ciertos daños de la salud en una persona que tuvo una cirugía de cadera de una aleación Ti-6Al-4V, donde el paciente presentaba altas concentraciones de vanadio después de la cirugía, lo cual le provocaba dolores. Al realizarle estudios clínicos se observó que la prótesis sufrió un aflojamiento de cadera, lo cual dañó la prótesis generando una excreción significativa de vanadio en la orina y en la sangre; por este motivo es necesario evaluar mediante una técnica de degradación los biomateriales, (Catalani et al., 2013).

Las técnicas electroquímicas más utilizadas que nos permiten evaluar el comportamiento de la degradación de los materiales son: Espectroscopia de Impedancia Electroquímica y la Resistencia a la polarización lineal. Así mismo, con respecto a la Espectroscopia de Impedancia Electroquímica, esta es una técnica electroquímica no destructiva y mediante esta técnica es posible obtener información de los procesos electroquímicos, además de estudiar la degradación de los materiales, en donde obtenemos la resistencia a la polarización (R_p), dicho de otra forma es la resistencia que tiene el material al estar en contacto con una solución; también se obtiene la capacitancia de la doble capa (C_{dl}), resistencia a la solución (R_s), entre otros parámetros, (Báez P., Tristáncho R., Peña B., Vázquez Q., & Anaya P., 2004).

A grandes rasgos, el procedimiento de la EIS, es aplicar una pequeña señal alterna en el potencial del electrodo de trabajo, en donde obtenemos como respuesta una corriente alterna a diferentes frecuencias. No obstante, en ciertas circunstancias es posible aplicar una pequeña señal de corriente alterna y medir el potencial alterno del sistema. En un experimento típico, la medición se realiza a diferentes frecuencias con un intervalo de 100 kHz a 10mHz. Así mismo, la definición de impedancia lo describe la ecuación 1, (Mendoza Flores, Durán Romero, & Genescá Llongueras, 2017).

$$Z = \frac{E}{I} \text{ ----- (Ec. 1)}$$

Donde:

Z es la impedancia del sistema [Ω]

E es el potencial [V]

I es la corriente [A]

Por otra parte, la forma gráfica de representar los resultados de la Espectroscopia por Impedancia Electroquímica, es por medio del diagrama de Nyquist, en donde se gráfica la componente imaginario de impedancia, Z_{im} , con respecto a la componente real, Z_{re} , como se observa en la Figura 1. En este gráfico la información que obtenemos se basa en la forma en que adoptan los espectros, siendo de nuestro interés el eje real, que es en donde ocurren los procesos resistivos (reacciones electroquímicas) mientras que en el eje imaginario suceden procesos de tipo capacitivo e inductivo. Con respecto a los procesos resistivos, están representados en las intersecciones del semicírculo: resistencia a la polarización y la resistencia a la solución, mientras que en el eje imaginario ocurren los procesos de capacitancia e inductancia, (Vázquez Gutiérrez, 2007).

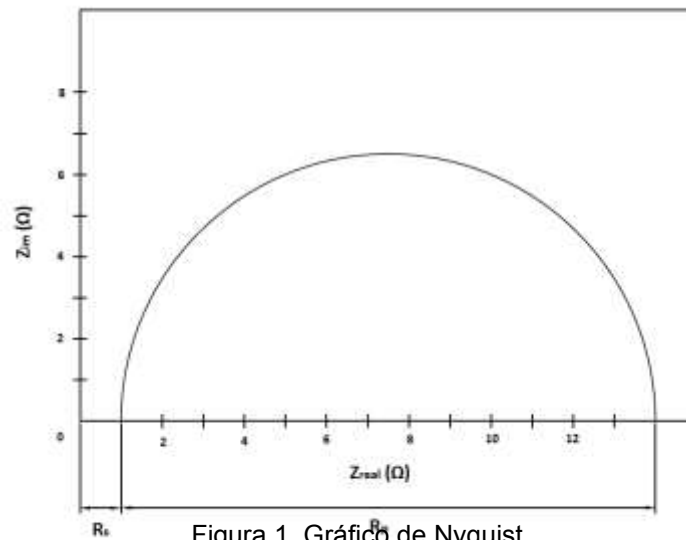


Figura 1. Gráfico de Nyquist.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental se divide en diferentes etapas para poder fabricar cuatro pastillas con diferentes porcentajes para tres temperaturas de sinterización, de la etapa 1 al 3 tiene como finalidad fabricar el material compuesto alúmina-titanio, partiendo de polvos marca Sigma-Aldrich, con una pureza del 98% y con un tamaño de partícula de 5-10 μm , hasta obtener los materiales compuestos sinterizados que presenten una buena resistencia mecánica; posteriormente, las etapas 4 y 5, corresponden a la caracterización mediante la técnica EIS utilizando la solución Hank como medio corrosivo.

En la primera etapa se realizó la mezcla-molienda de los diferentes porcentajes de los compuestos, en donde se pesaron los polvos mediante una balanza de laboratorio, de la cual los pasos fueron: la primera, se pesó 10 gramos de alúmina para 0% de titanio; la segunda, 9.9 gramos de alúmina y 0.1 gramos de titanio; la tercera, 9.8 gramos de alúmina y 0.2 gramos de titanio; la cuarta, 9.7 gramos de alúmina y 0.3 gramos de titanio. Después de obtener los pesos correspondientes, el primer paso fue colocar los polvos del 0% de titanio dentro del molino de bolas, marca Lab Mill-8000, a 400rpm durante 9 horas continuas, en donde la relación de medio de molienda fue de 20:1. Una vez terminado la mezcla-molienda, se retiraron los polvos y se dividieron en tres cantidades de 3 gramos, y de igual manera se hizo para los porcentajes del 1%, 2% y 3% en peso titanio.

La segunda etapa, los polvos obtenidos en cada porcentaje se colocaron en un dado metálico para poder llevar a cabo la etapa de compactación, en donde se aplicó una compactación uniaxial en la prensa PORTER-30T, aplicando una carga de 200MPa durante 20 segundos para poder conformar cada pastilla.

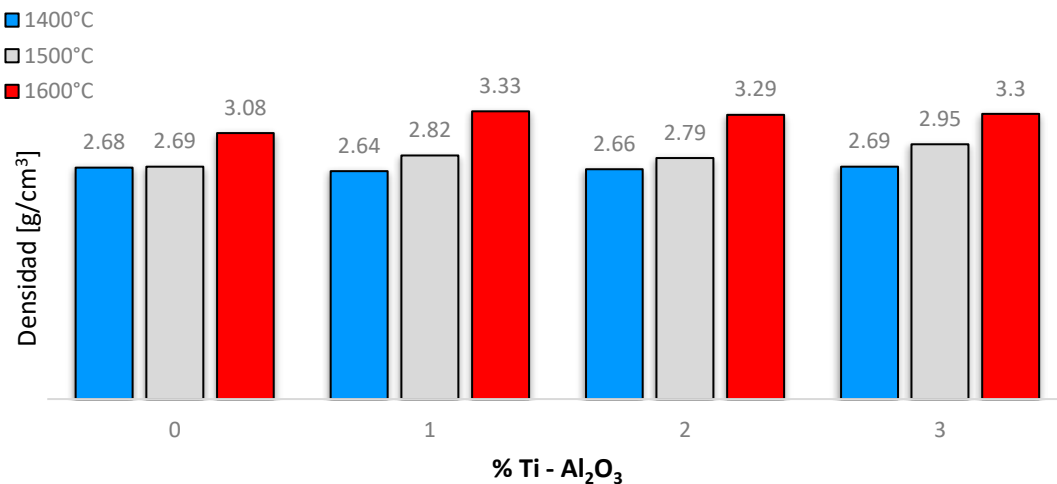
En la tercera etapa se llevó a cabo de la sinterización de las pastillas en un horno de alta temperatura empleando una atmosfera protectora (nitrógeno), para evitar la oxidación del compuesto. La primera temperatura de sinterización fue a 1400°C en donde se colocaron las pastillas con composiciones del 0%, 1%, 2% y 3% en peso titanio durante 2 horas, y de manera análoga se hicieron para las otras dos temperaturas: 1500°C y 1600°C, en donde al finalizar se obtuvieron las dimensiones y los pesos correspondientes de cada pastilla.

Luego de sinterizar los compuestos, se inició con la cuarta etapa, preparación para la caracterización mediante EIS los compuestos alúmina-titanio, la cual consistió en utilizar la solución Hank como medio al que estaría expuesto los compuestos, dado que esta solución se asemeja al fluido sinovial del cuerpo humano y por ende es viable utilizarlo. Siendo así la primera parte para la preparación, hacer que se permee la solución en las pastillas; primero se utilizó una cámara de vacío para extraer todo el aire del compuesto durante 30 minutos y posteriormente permear la pastilla dentro de la

cámara durante 5 minutos; después se utilizó un baño de ultrasonido (Cole-Parmer 8891) para poder hacer que la solución Hank se permee aún más en cada uno de los compuestos durante 30 minutos. Finalmente, la quinta etapa consistió en caracterizar los materiales compuestos de alúmina-titanio mediante la técnica EIS, para poder obtener la R_p de cada uno de los materiales. Así mismo, para poder obtener la R_p se armó una celda electroquímica utilizando tres electrodos: electrodo de referencia (Ag/AgCl), contra electrodo (grafito) y el electrodo de trabajo fueron los compuestos de alúmina, alúmina-titanio. Estos electrodos se conectaron al potencióstato Zanner-IM6, y este potencióstato se conectó a una computadora de escritorio que tiene el programa ThalesZ3.05 para poder realizar las pruebas de impedancia.

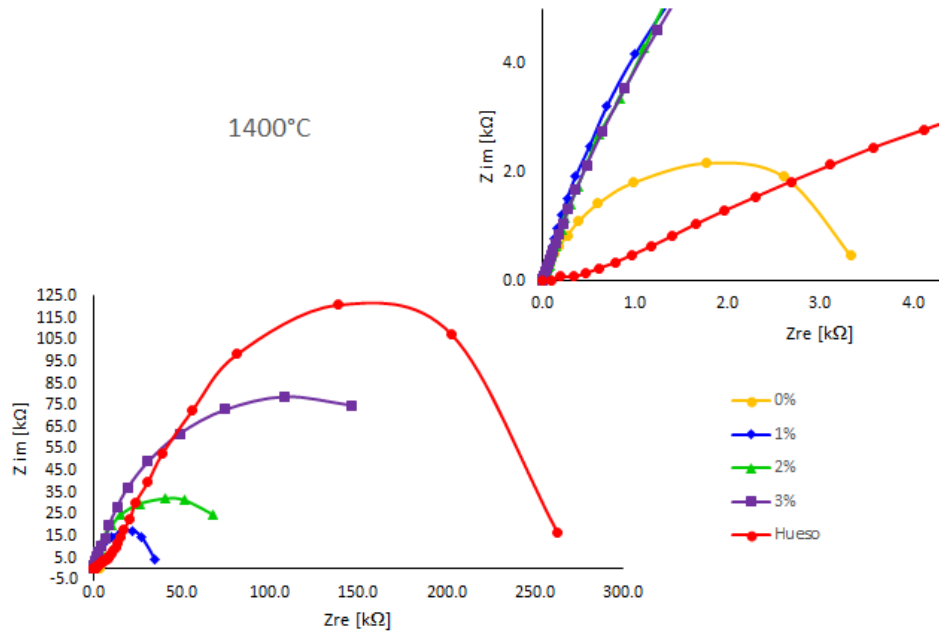
RESULTADOS

Utilizando los datos de las dimensiones y los pesos de los compuestos sinterizados se obtuvieron las densidades de cada uno de los materiales fabricados, gráfica 1; se observa que los materiales más densos son los compuestos sinterizados a una temperatura de 1600°C, mientras que los menos densos son los de 1400°C, lo cual indica que conforme disminuimos la temperatura de sinterización los materiales se vuelven más porosos.

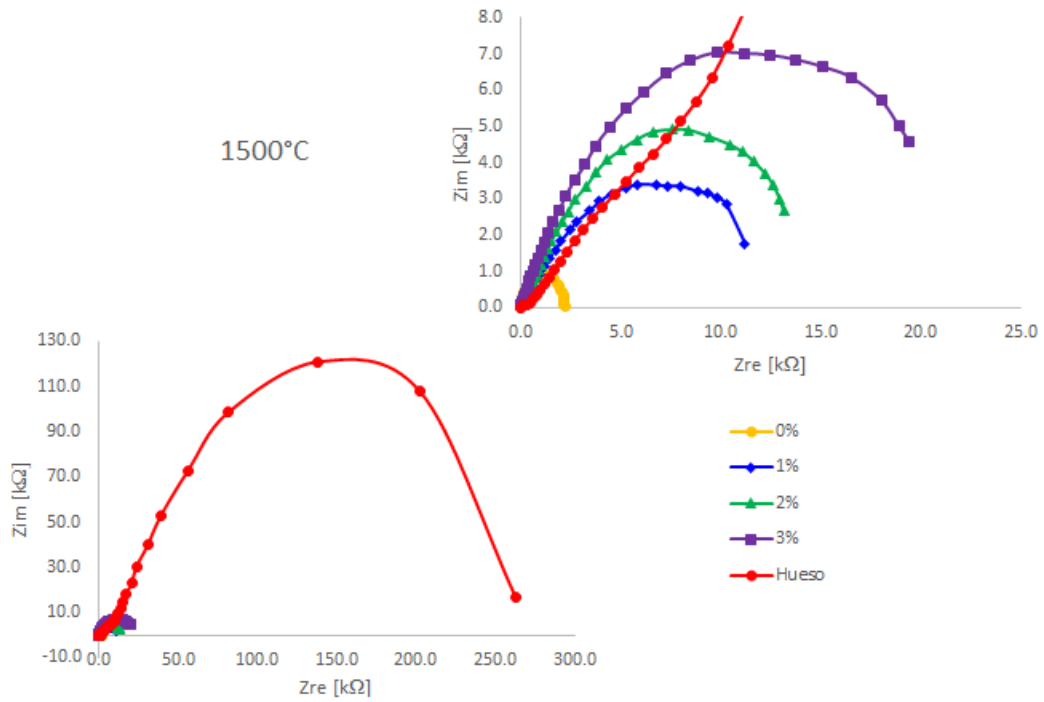


Gráfica 1. Densidades de los materiales compuestos sinterizados a 1400°C, 1500°C y 1600°C.

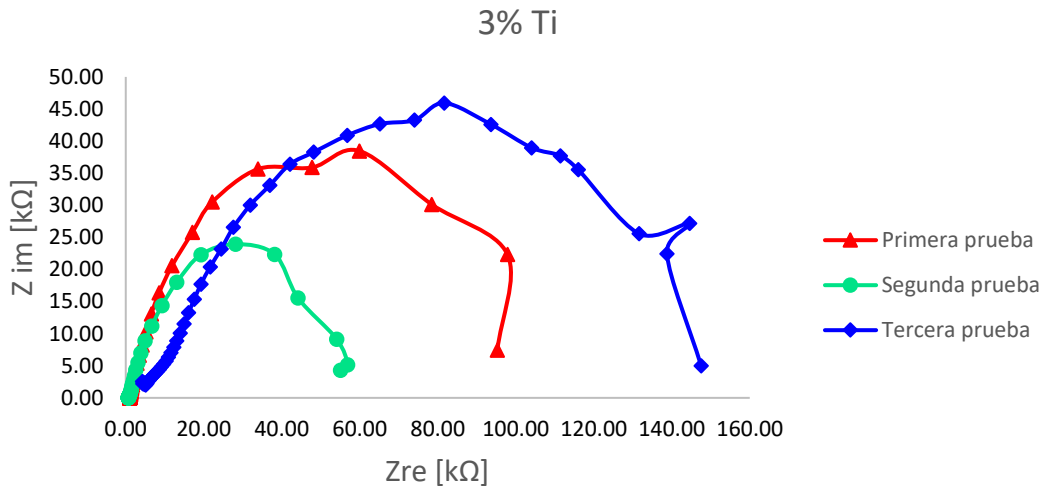
Por otro lado, la caracterización de los compuestos mediante la técnica EIS, los gráficos 2 y 3 mostraron una buena tendencia con respecto al contenido de titanio de forma ascendente para las temperaturas de sinterización de 1400°C y 1500°C, mientras que a una temperatura de sinterización de 1600°C no se logró obtener una buena reproducibilidad como se muestra en la gráfica 4. Esta dificultad está asociado a la porosidad que existe en el compuesto, puesto que no se logra permear de manera adecuada, dado que los poros son más pequeños a altas temperaturas de sinterización, lo cual ocasiona que exista aire en las pequeñas porosidades; a causa de esta variable nos generan ruidos en la proyección de los gráficos de Nyquist y por ende una variación de R_p .



Gráfica 2. Las resistencias a la polarización de los compuestos a una temperatura de sinterización de 1400°C, mediante la técnica de EIS.



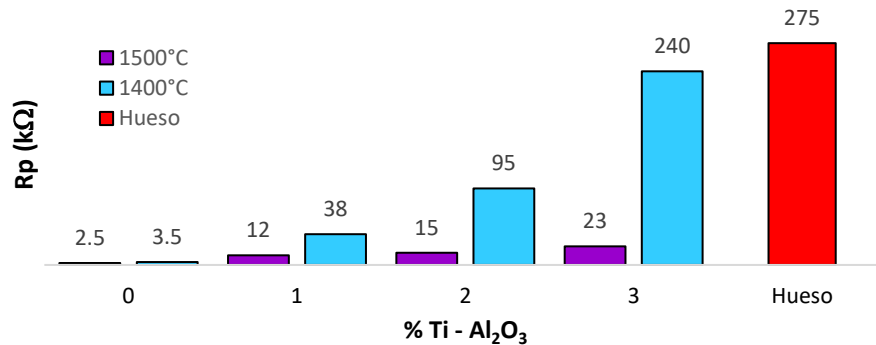
Gráfica 3. Las resistencias a la polarización de los compuestos a una temperatura de sinterización de 1500°C, mediante la técnica de EIS.



Gráfica 4. Las resistencias a la polarización del compuesto con un porcentaje del 3% titanio a una temperatura de sinterización de 1600°C, mediante la técnica de EIS.

Analizando las R_p de los compuestos a una temperatura de sinterización de 1400°C y 1500°C, con respecto a la R_p del hueso compacto bovino que es aproximadamente de 275kΩ, observamos que los compuestos que más se acercan a esta R_p son las sinterizadas a una temperatura de 1400°C, siendo la más cercana con un porcentaje del 3% titanio, R_p de 240kΩ; estos compuestos al ser más porosos, hace que exista un mayor acceso de la solución Hank al permear el compuesto, por lo tanto, el titanio se expone más y por ende, esta se oxidará generando una capa pasivada lo cual ocasiona que con forme se aumente el contenido de titanio en los compuestos, la R_p también incrementa. Por este motivo vemos que las R_p de los compuestos de 1400°C son superiores a los de 1500°C, siendo la R_p máxima de 1500°C con un porcentaje de titanio de 3% (23kΩ), que a su vez se observa que con forme se aumenta la temperatura, la R_p disminuye.

Finalmente, todas estas observaciones las podemos visualizar mejor en la gráfica 5, en donde se comparan las R_p de los compuestos con la del hueso compacto bovino, mostrando como los compuestos de 1400°C son superiores a los de 1500°C, puesto a altas temperaturas los compuestos son menos porosos. Algo semejante ocurre con los compuestos de 1600°C, las porosidades son mucho menores a las de 1500°C, lo cual evita la permeación, favoreciendo que existan pequeñas cantidades de aire en los pequeños poros; ya que el aire tiende a ser un aislante, y por este motivo las respuestas varían para cada prueba del mismo porcentaje del compuesto, como se observa en la gráfica 4.



Gráfica 5. Comparaciones de las R_p del hueso compacto bovino y los compuestos a una temperatura de sinterización de 1400°C y 1500°C.

CONCLUSIONES

- Se logró fabricar los compuestos $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ti}$ con las proporciones de 0%, 1%, 2% y 3% en peso Ti, sinterizados a una temperatura de 1400°C, 1500°C y 1600°C durante 2 horas.
- Se encontró que la densidad de los compuestos aumenta con la temperatura de sinterización; por lo que las muestras más porosas son las sinterizadas a 1400°C, mientras que las menos porosas son las de 1600°C.
- Se encontró que la Rp aumenta con el porcentaje de Ti, debido a que se forma una capa pasivada de óxido de Ti, a su vez la Rp disminuyen al aumentar la temperatura de sinterización, esto debido a que al ser menos porosos los compuestos, se reduce el área de contacto con la solución Hank.
- Al comparar las Rp de los materiales compuestos con la Rp del hueso compacto bovino, se encontró que el Rp del hueso es más alto que los de los compuestos; donde el más cercano es el compuesto con un porcentaje del 3% Ti a una temperatura de sinterización de 1400°C, con un Rp de 240 kΩ, (hueso Rp de 275 kΩ).

BIBLIOGRAFÍA

1. Báez P., S., Trisancho R., J. L., Peña B., D. Y., Vázquez Q., C., & Anaya P., H. A. (2004). La Espectroscopía De Impedancia Electroquímica (Eis) Aplicada Al Estudio Del Mecanismo De La Corrosión En Caliente Por Sales Fundidas. *Dyna*, 71(144), pp. 39–47.
2. Catalani, S., Stea, S., Beraudi, A., Gilberti, M. E., Bordini, B., Toni, A., & Apostoli, P. (2013). Vanadium release in whole blood, serum and urine of patients implanted with a titanium alloy hip prosthesis. *Clinical Toxicology*, 51(7), pp. 550–556. <https://doi.org/10.3109/15563650.2013.818682>
3. Conconi García, R. (2016). *Obtención de recubrimientos de fosfato de calcio biocompatible por el método de sol-gel*. Instituto Politécnico Nacional, pp. 1–74.
4. Copete, H., Esperanza López, M., Vargas, F., Echavarría, A., & Rios, T. (2012). Mediante proyección térmica por combustión oxiacetilénica sobre un sustrato de Ti6Al4V in vitro evaluation of oxy-fuel thermal sprayed hydroxyapatite coatings onto Ti6Al4V substrates. *Dyna*, 10(177), pp. 101–107.
5. Giraldo R., O. L. (2004). Metales y aleaciones en odontología. *Revista de La Facultad de Odontología de La Universidad de Antioquia*, 15(2), pp. 53–63.
6. González, S., & Pellicer, E. (2012). Nueva aleación de magnesio para aplicaciones biomédicas. Retrieved from UAB and ICREA website: https://ddd.uab.cat/pub/uabdivulga/uabdivulga_a2012m5/uabdivulga_a2012m5a3.pdf
7. Hernández T., R., Palma C., R., & Piña B., M. C. (1999). Hidroxiapatita y sus aplicaciones. *Revista Mexicana de Física*, 45(SUPPL. 1), pp. 144–147.
8. Mendoza Flores, J., Durán Romero, R., & Genescá Llongueras, J. (2017). Impedancia Electroquímica. In *Facultad de Química, UNAM*, pp. 1–33.
9. Refugio García, E., Olea Mejía, O., Miranda Hernández, J. G., Osorio Ramos, J., & Rocha Rangel, E. (2016). Improving Toughness of Alumina-Based Composites to Be Used As Bone Substitute. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(10), pp. 58–63.
10. Seybolt, A. U., & Burke, J. E. (1969). *Técnicas de Metalurgia Experimental* (Primera Ed) México: Editorial Limusa, pp. 283–314.
11. Vázquez Gutiérrez, J. L. (2007). *Empleo de la técnica de espectroscopía de impedancias electroquímicas para la caracterización de biomateriales. Aplicación a una aleación biomédica de Co-Cr-Mo* (Universidad Politécnica de Valencia). Retrieved from https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12346/TesisMaster_LuisVazquez.pdf?sequence=1

MATERIAL DE CÁSCARA DE NUEZ DE MACADAMIA Y POLIURETANO CON ACTIVIDAD BACTERICIDA CONFERIDA POR NANOPARTÍCULAS DE PLATA

María Goretty Villanueva Fernández¹, Jesús Ernesto Corona Andrade¹, Ma. Del Carmen Salazar Hernández¹, Juan Carlos Martínez Espinosa¹, Juan Manuel Mendoza Miranda¹, Rosalba Fuentes Ramírez², Raúl Carrera Cerritos¹.

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato, Instituto Politécnico Nacional, Av. Mineral de Valenciana No. 200, Silao de la Victoria, Gto., 36275, México.

²Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Naturales, Noria Alta S/N, Col. Noria Alta, Guanajuato, Gto., 36050, México
goretty.toge@gmail.com

RESUMEN

En este proyecto se reporta el desarrollo de un material compuesto de poliuretano reforzado con cáscara de nuez de Macadamia y modificado con nanopartículas de plata para incorporar propiedades bactericidas, para su potencial uso en el área biomédica. Las nanopartículas de plata (NPs Ag) se sintetizaron por el método de poliol asistido por ultrasonido. Las características morfológicas y de tamaño de las nanopartículas se analizaron por TEM, HRTEM y UV-VIS. Se midió la actividad bactericida de las nanopartículas de Ag por el método de Kirby-Bauer modificado usando la cepa de *Escherichia coli* ATCC. Posteriormente, se fabricaron probetas de material compuesto, el que se modificó adicionando nanopartículas en suspensión durante la polimerización. Finalmente, el crecimiento bacteriano se analizó en el material compuesto modificado. La aparición de bandas de absorción en el espectro UV alrededor de longitudes de onda entre 400-450 nm confirmó la formación de nanopartículas de plata. Se observaron NPs esféricas e irregulares de Ag con un diámetro entre 8 y 34 nm. Las mediciones de las distancias interplanares por HRTEM confirmaron que las nanopartículas están formadas de plata metálica con estructura cúbica centrada en las caras. La presencia de halos de inhibición de entre 3 a 6 mm mostraron que las partículas en suspensión obtenidas por el método poliol asistido por ultrasonido poseen actividad bactericida para *Escherichia coli* ATCC. La cantidad de carga bacteriana disminuida por el material modificado con NP's de Ag se encontró entre 75% y 23%. La mayor capacidad bactericida se obtuvo en las nanopartículas de Ag con los tamaños más pequeños.

INTRODUCCIÓN

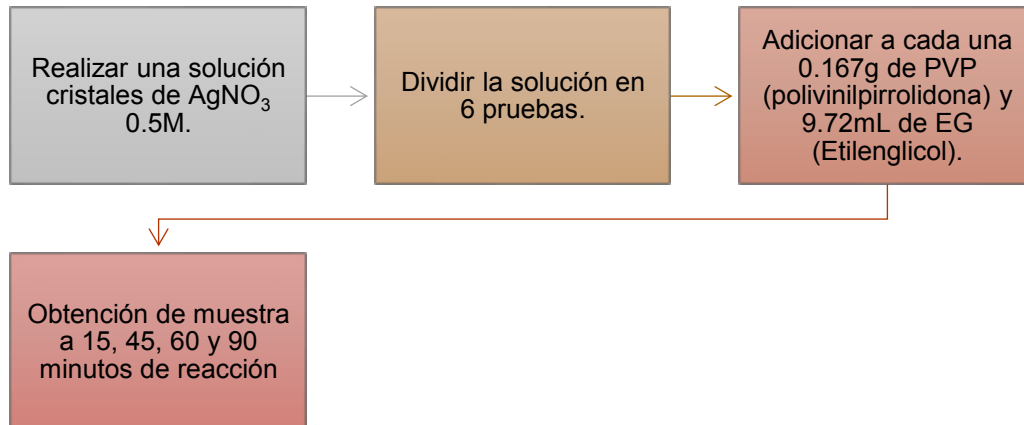
La Organización Panamericana de la Salud define a la Cadena de Frío como el “sistema logístico que comprende los recursos humanos y materiales, necesarios para llevar a cabo el almacenamiento, conservación, transporte de las vacunas en condiciones óptimas de temperatura, desde el lugar de fabricación, hasta el sitio donde las personas son vacunadas”. La peligrosidad de la rotura de la cadena del frío en algunos productos, en particular las vacunas y los biológicos, es muy alta. Por lo que los elementos de trazabilidad térmica, las normas de buenas prácticas y de higiene son mandatorios a la hora de diseñar para evitar roturas de la cadena de frío (Villalobos Córdoba, Domínguez Ortiz, & González Rétiz, 2011).

Con las tecnologías de los materiales enfocada a los polímeros y a los materiales compuestos en la actualidad, es posible obtener materiales con propiedades específicas. Dada la actual demanda de productos y materiales en el área biomédica como la cadena de frío, resulta atractivo producir un polímero biodegradable con resistencia mecánica elevada (alta resistencia a la tracción y de impacto) al reforzarlo con cáscara de Nuez de Macadamia y que al modificarlo con nanopartículas Ag, adquiera propiedades bactericidas. Con estas propiedades mecánicas y antibacterianas sería posible fabricar cajas para transporte de vacunas adecuadas, para evitar o disminuir la contaminación cruzada o contagio de enfermedades durante el manejo de estos productos. Lo anterior motivó el desarrollo del presente trabajo.

PARTE EXPERIMENTAL

Síntesis de nanopartículas

Para sintetizar las nanopartículas en suspensión coloidal se usó el equipo ultrasonido BRANSON 1800, operando a una temperatura de 25°C en todas las reacciones (Leng, Wu, Yang, Zeng, & Xia, 2018). El tiempo de reacción fue analizado con la finalidad de obtener diferentes tamaños de partícula. El siguiente diagrama muestra la ruta de síntesis realizada y las condiciones.



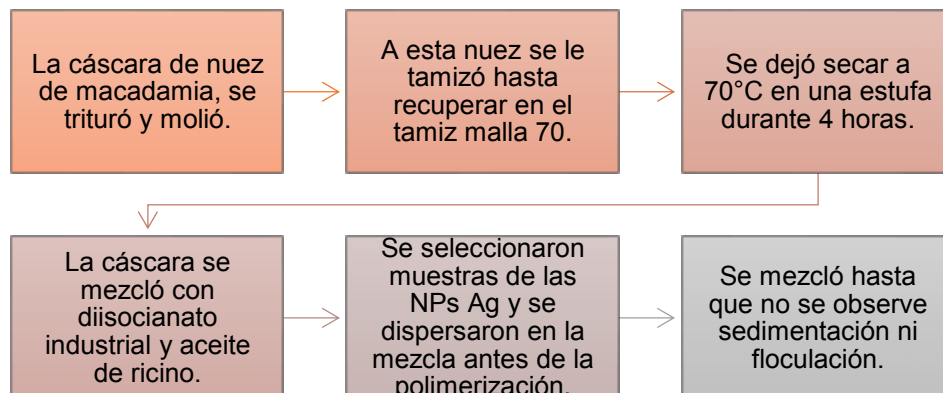
Esquema 1. Condiciones del método de poliol asistido por ultrasonido utilizado para la síntesis de nanopartículas de plata.

Caracterización de nanopartículas

La por Microscopía electrónica de transmisión (TEM-HRTEM) consistió en diluir 1 ml de etanol con 100 μ l de la solución de NPs de Ag, después se depositó una gota de la mezcla en una rejilla de cobre recubierta con carbón y se dejó secar a temperatura ambiente por 24 h antes de analizar en los microscopios JEOL JEM-1010 y JEM-2100. Posteriormente las micrografías HRTEM fueron procesadas para obtener las distancias interplanares (Béjar-Gómez, Medina-Flores, Pérez-López, & Maldonado-Zepeda, 2005). Mediante Espectroscopía UV visible (UV-vis) se analizaron las NPs de Ag con ayuda de un espectrofotómetro Thermo Scientific™, modelo NanoDrop™ 2000/2000c. Las mediciones se realizaron en un rango de 200-800nm con intervalos de medición de 1 nm y volumen de muestra de 1 μ L. Para el tratamiento de los datos se usaron los programas Digital Micrograph y Origin Pro 8.6 versión libre.

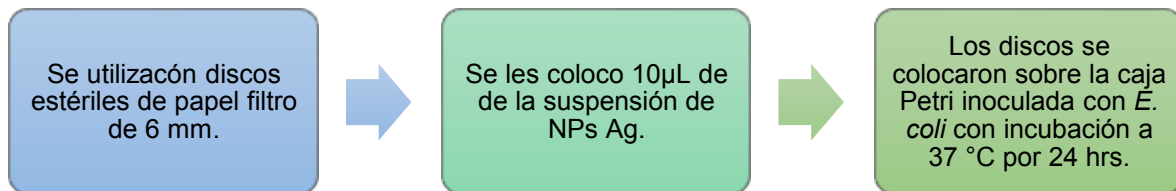
Síntesis del material compuesto y su evaluación microbiológica.

La ruta seguida para la obtención del material compuesto modificado se muestra en el esquema siguiente:



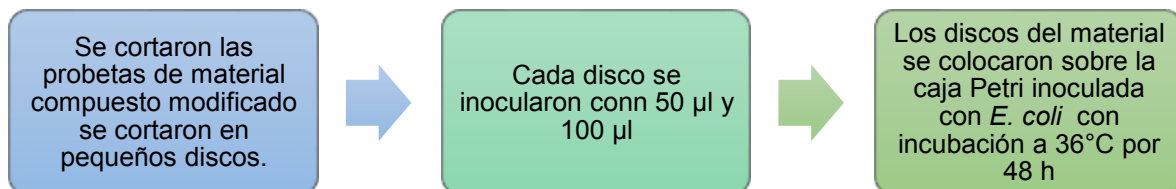
Esquema 2. Condiciones utilizadas para la obtención del material compuesto modificado.

Para preparar el inóculo de las pruebas antimicrobianas se siguió el método de suspensión directa de colonias o Kirby-Bauer modificado, usando cepas de *Escherichia coli* ATCC. Los pasos seguidos se pueden observar en el esquema 3.



Esquema 3. Evaluación antimicrobiana de las nanopartículas de plata en suspensión a realizados a diferentes tiempos de síntesis.

La evaluación de la actividad antimicrobiana del material compuesto modificado con nanopartículas de plata se realizó siguiendo el procedimiento que marca el esquema 4. Para el cálculo de la cantidad de carga bacteriana disminuida por el material se consultaron las normas JIS Z 2801: 2000 e ISO 22196:2011 que determinan la actividad de superficies activas antimicrobianas, mediante la cuantificación de las células bacterianas, que entran en contacto con estas superficies, y las recuperadas después de transcurridas 24 h a 35°C



Esquema 4. Evaluación antimicrobiana del material compuesto modificado con nanopartículas de plata.

RESULTADOS

Caracterización.

Uno de los beneficios de la asistencia del método poliol por ultrasonido es la obtención de nanopartículas con una distribución de tamaño estrecha; por lo cual, es conveniente generar el mayor número de núcleos en el menor tiempo posible para controlar las etapas de crecimiento. Cualitativamente, la formación de nanopartículas se observó con un cambio en la coloración de la mezcla reactiva de transparente a café. Mediante TEM se obtuvieron tres campos por cada muestra para realizar el conteo de las NPs Ag y generar los histogramas de distribución de tamaño de partícula. Se seleccionaron las micrografías más representativas y se muestran a manera de ejemplo en la figura 1 y 2, a la izquierda se muestra el histograma correspondiente.

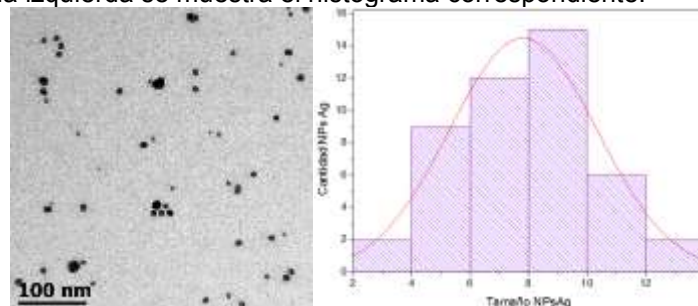


Fig.1 Micrografía TEM con barra de escala 100 nanómetros y su histograma del diámetro de las nanopartículas de plata, correspondiente al tiempo de reacción de 15 minutos.

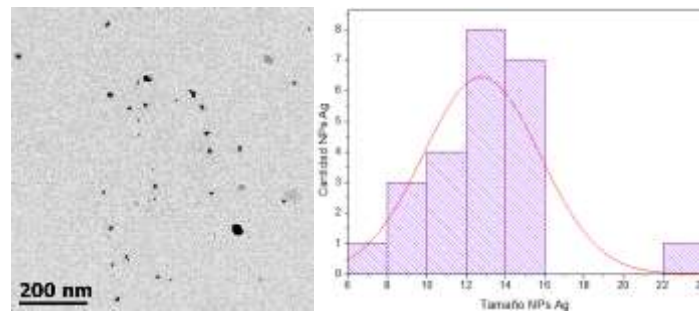


Fig.2 Micrografía TEM con barra de escala 200 nanómetros y su histograma del diámetro de las nanopartículas de plata, correspondiente al tiempo de reacción de 90 minutos.

Se observaron nanopartículas con forma irregular y esférica en todos los tiempos de síntesis. Los tamaños promedio obtenidos de los histogramas correspondientes y su desviación estándar se muestran en la tabla 1. Se puede observar que el diámetro más pequeño se obtuvo en el tiempo más corto de reacción y el diámetro promedio más grande en el tiempo de 45 minutos, las desviaciones estándar fueron pequeñas, mostrando la dispersión angosta de tamaños. Es de notar que el tamaño promedio se va haciendo cada vez más pequeño al avanzar el tiempo, una vez alcanzado el tamaño máximo. Se ha reportado que las nanopartículas de Ag muestran gran variabilidad en sus características en función de su forma y tamaño. Se ha publicado que el poder bactericida de estas NPs se incrementa con la disminución del tamaño, ya que presentan mayor superficie de contacto (Sánchez Moreno, 2017).

Tabla 1. Valores de promedio de tamaño de NPs Ag su respectiva desviación estándar.

Tiempo de síntesis / min	Promedio / nm	Desviación estándar / nm
15	7.8	2.5
45	34.5	4.5
60	16.7	5.6
90	12.5	2.9

En la figura 3 y tabla 2 se muestran los espectros UV-VIS para cada tiempo de reacción. La mayor absorbancia se encontró a tiempo de 90 minutos, lo que podría indicar una mayor concentración de Ag metálica en la suspensión coloidal. La aparición de bandas de absorción en el espectro alrededor de longitudes de onda de 400 a 450 nm indica la presencia de nanopartículas metálicas (Morales, Morán, Quintana, & Estrada, 2009). Como se observa en la figura 3 en todas las muestras, la curva se encuentra en el rango de 350 a 500 nm, que se considera dentro del espectro para NPs Ag, con la mayor concentración de 0.542 en el tiempo de 90 min.

Tabla 2. Resultados de las absorbancias obtenidas a una longitud de onda de 440nm, donde se observa el mayor punto de la curva.

Tiempo de reacción / min	Absorbancia / %
15	0.238
30	0.325
45	0.285
90	0.542

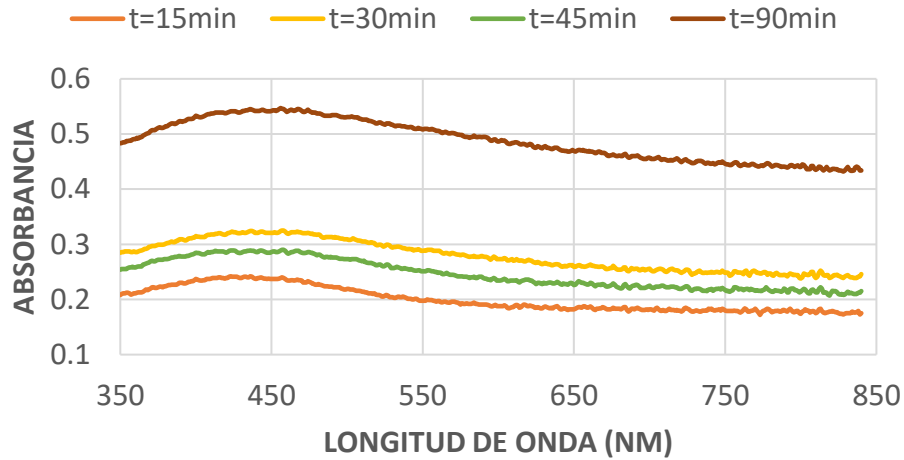


Fig. 3 Longitud de onda vs Absorbancia de muestras representativas de NPs Ag

Las micrografías HRTEM fueron obtenidas en algunas nanopartículas de Ag, los espacios interplanares calculados a partir del patrón de difracción de electrones correspondieron a los planos (1 1 1) y (2 0 0) de la fase metálica de la plata. Este resultado confirmó que la reducción del precursor de plata fue completo y las nanopartículas son de Ag^0 (Béjar-Gómez et al., 2005).

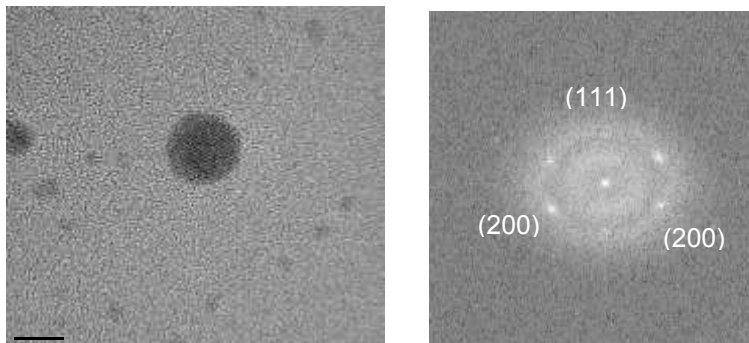


Fig. 4 Micrografías del tiempo de reacción de 15 min en escala de 5nm.

Evaluación antibacteriana

La actividad bactericida de las NPs Ag fue evaluada en suspensión y después de agregarlas al material compuesto. Estas mediciones del halo de inhibición y fotografías fueron obtenidas 24 horas después de la incubación del microorganismo con los discos.

En la figura 5 se observan halos de inhibición en todas las pruebas siendo de diferentes tamaños e intensidades. Al centro en amarillo se observa el disco de papel filtro con NP de Ag y alrededor el halo de inhibición bien marcado y transparente, fuera del halo de inhibición se observa el crecimiento bacteriano. Se realizaron los blancos de control con la solución 0.5M de AgNO_3 y con etilenglicol que son los principales componentes (figura 6) en donde la solución de AgNO_3 mostró un halo significativamente grande pero difuso al alejarse del disco.

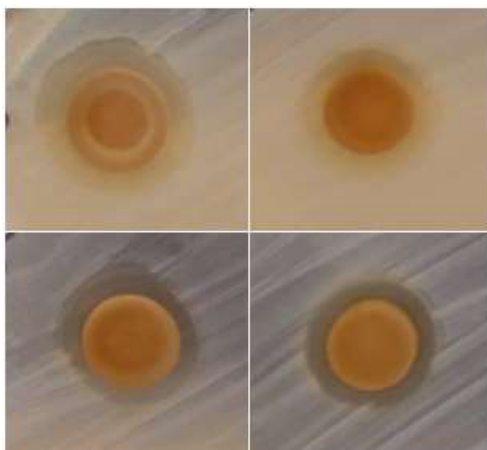


Fig. 5 Halos de inhibición para los tiempos de reacción de 15 min (sup. Izquierda), 30 min (sup. Derecha), 45 min (inf. Izquierda) y 90 min (inf. Derecha).

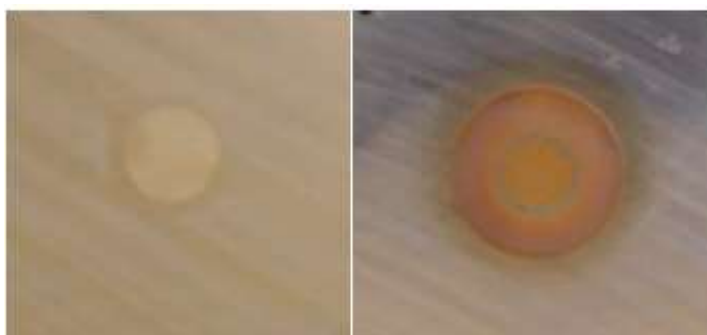


Fig. 6 Halos de inhibición para reactivo etilenglicol (izquierda) y solución de 0.5M de AgNO_3 (derecha).

Para la solución de 0.5M de AgNO_3 el diámetro fue de 8mm y para Etilenglicol 1mm, aunque muy levemente se distingue el halo. Se pudo determinar que la presencia de halos inhibidores en el papel filtro que dio indicios acerca de la actividad de las NPs Ag como agente microbicida en las condiciones establecidas anteriormente.

En la tabla 3 se concentran los halos de inhibición para los distintos tiempos de reacción. Se ha reportado que las NPs Ag de diámetros menores que 10 nm liberan una mayor cantidad de iones $\text{Ag}(+I)$ que las de mayor tamaño, explicando así el mayor efecto microbicida de las nanopartículas más pequeñas (Flores, 2014). Los resultados presentados en el presente trabajo concuerdan con lo reportado, pues el menor tiempo de reacción presentó menor tamaño de partícula y mayor halo de inhibición.

Tabla 3. Comparación del halo de inhibición con los tiempos de reacción.

Tiempo de reacción / min	Halo de inhibición (mm)
15	6
30	4
45	4
90	3

En las siguientes figuras representativas del material compuesto modificado (figura 7 y 8) se observa que no hay halo de inhibición alrededor del material en ninguna de las muestras puestas a incubación, lo cual se podría explicar en términos de la movilidad limitada de las nanopartículas, pues las NPs están embebidas en el material compuesto (Jain & Pradeep, 2005). Sin embargo, al retirar cuidadosamente la muestra de la caja de Petri se observó que en el espacio hubo inhibición de crecimiento bacteriano. No obstante, se identificaron pequeñas formaciones de colonias.

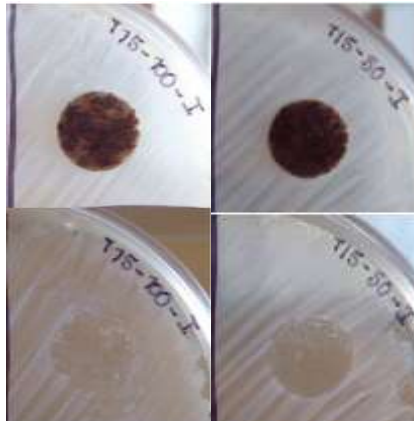


Fig. 7 Material con NPs Ag con tiempo de reacción 15 minutos y los espacios dejados por los discos. El lado izquierdo es el volumen de 100µl y lado derecho de 50µl.

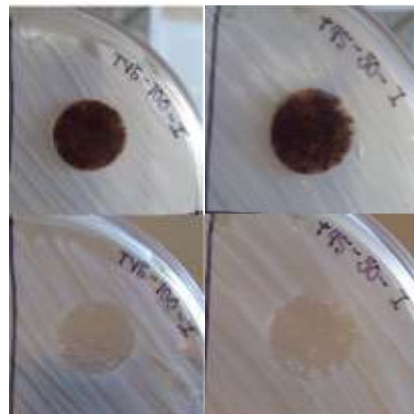


Fig. 8 Material con NPs Ag con tiempo de reacción 45 minutos y los espacios dejados por los discos. El lado izquierdo es el volumen de 100µl y lado derecho de 50µl.

Con la finalidad ampliar el análisis antimicrobiano del material compuesto, se determinó la concentración o cantidad de carga bacteriana disminuida por el material. Este procedimiento consistió en comparar la supervivencia de las bacterias de una superficie tratada con un agente antimicrobiano, con otra no tratada o muestra control (Fontecha Umaña, 2014). En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo de la eficacia o actividad bactericida. La evaluación se realizó con dos volúmenes (50 y 100 µL) para cada tiempo de reacción. Los resultados mostraron que los materiales con nanopartículas sintetizadas con 15 minutos poseen mayor eficacia antibacteriana en un volumen de 100 µL, mientras que la de menor eficacia fue la de 90 minutos, sin afectar el volumen de NP de Ag.

Tabla 4. Relación de actividad bactericida con los tiempos de reacción.

Tiempo de reacción / min	Volumen de NPs Ag / μL	Eficacia bactericida / %
15	50	70
	100	75
30	50	53
	100	59
45	50	60
	100	65
90	50	23
	100	23

CONCLUSIONES

El tiempo de síntesis de NPs Ag con el método de poliol asistido varía el tamaño, a 15 minutos de reacción se obtuvieron los diámetros menores (7.8 nm). Mediante UV-VIS y HRTEM se confirmó la reducción de plata hasta el estado metálico. Se identificó actividad antimicrobiana de todas las nanopartículas sintetizadas a distintos tiempos. Sin embargo, la eficacia de la inhibición resultó mayor en las nanopartículas con el tamaño inferior. Las evaluaciones antimicrobianas del material compuesto modificado con nanopartículas de plata sintetizadas por el proceso poliol con ultrasonido, indican que este material es candidato para fabricar dispositivos de transporte en la cadena de frío.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SIP-IPN por su apoyo a través de proyecto SIP 20171515, al CNMN del IPN por la realización de los análisis HRTEM y a Ma. Lourdes Palma Tirado (UNAM) por el soporte con las micrografías TEM.

BIBLIOGRAFÍA

1. L. Béjar-Gómez, A. Medina-Flores, M. Pérez-López, C. Maldonado-Zepeda, "Caracterización mediante HRTEM de un acero AISI 4140 nitrurado por postdescarga microondas", *Revista de Metalurgia*, Vol.5, 1, 2005, pp. 318–323.
2. M. E. Córdoba, M. L. Domínguez Ortiz, González Rétiz, "Guía Tecnológica No. 42: Equipamiento para la cadena de frío", Secretaría de Salud, Subsecretaría de Integración y Desarrollo del Sector Salud Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud, 2011, pp.18.
3. Y. Flores, "Nanopartículas de plata con potenciales aplicaciones en materiales implantables: síntesis, caracterización fisicoquímica y actividad bactericida" Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Plata, Departamento de Química, 2014, pp. 87-100.
4. F. Fontecha Umaña, J. Rodríguez Jerez, "Estudio de la eficacia bactericida y bacteriostática de productos químicos embebidos en materiales", Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Ciencia de los alimentos, 2014, pp. 94-98.
5. P. Jai, T. Pradeep, "Potential of silver nanoparticle-coated polyurethane foam as an antibacterial water filter" *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 90, 1, 2005, pp. 59–63.
6. Z. Leng, D. Wu, Q. Yang, S. Zeng, W. Xia, "Facile and one-step liquid phase synthesis of uniform silver nanoparticles reduction by ethylene glycol" *Optik*, Vol. 154, 1, 2018, pp. 33–40.

7. J. Morales, J. Morán, M. Quintana, W. Estrada, "Synthesis and characterization of silver nanoparticles by sol-gel from silver nitrate" *Rev. Soc. Quím. Perú*, Vol. 75, 2, 2009, pp. 177–184.
8. M. Sánchez Moreno, "Nanopartículas de plata: Preparación, caracterización y propiedades con aplicación en inocuidad de los alimentos", Tesis de Máster, Universidad Nacional de Educación a distancia, Departamento de Química Inorgánica y Química Técnica, pp. 8, 32-39. J. A. Villalobos

EVALUACION DEL IMPACTO DE LAS AUDITORAS DE PROCESO EN CAPAS LPA'S EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ DEL ESTADO DE TLAXCALA

Evelin Amairani Nava Lozano¹, Rosa Cortes Aguirre², Jorge Luis Castañeda Gutiérrez²

¹Tecnológico Nacional de México, ²Instituto Tecnológico de Apizaco.
amairaninavalozano@hotmail.com¹

RESUMEN

Durante los últimos años, la industria de autopartes experimento un crecimiento vertiginoso, posicionando a México como uno de los productores más importantes del mundo, buscando cubrir las necesidades del cliente, implementando nuevas formas de trabajo y certificándose constantemente ya que son el punto clave para el desarrollo y crecimiento dentro del mercado a nivel global.

El propósito de esta investigación es para analizar las empresas del sector de autopartes de piezas metálicas T1 y T2 (Cadena de suministro por niveles) en el Estado de Tlaxcala y examinar el comportamiento actual y las estrategias que utilizan para poder cumplir con la norma ISO 9001:2015 y la IATF 16949:2016. Se trabaja para que las auditorías de proceso sean realizadas en tiempo y forma, para la detección de los puntos con discrepancia frecuentes, los cuales generen acciones correctivas, y el área de calidad sea la encargada de dar seguimiento a dichas acciones.

La metodología que se usó fue el Ciclo de Deming (Planear, hacer, verificar y actuar) y para determinar las variables de la investigación se utilizó la herramienta Ishikawa o también conocida como diagrama de causa-efecto.

El análisis de los datos se evaluó con el programa estadístico SPSS. El tipo de investigación es descriptiva y exploratoria, con una muestra no probabilística, se llevó a cabo la aplicación de un cuestionario como instrumento para la recolección de datos.

El resultado que arroja el Software es satisfactorio, mostrando una validación de Alfa de Cronbach de 9.27 % de 24 preguntas lo que indica que es aceptable. Los resultados obtenidos muestran la escasez de las auditorías de proceso por capas LPA's, y la falta de aplicación de herramientas que ayudan a tener un proceso documentado, además del poco interés en los riesgos internos y externos que afecten la criticidad de la empresa.

Otro punto a destacar es la falta de comunicación en los departamentos cuando se encuentra un producto de no calidad o bien un error en el proceso. Las empresas que se investigaron no cumplen con la norma IATF 16949:2016 un requisito que se debe desempeñar para este sector. Se propone que la alta dirección detecte los niveles de la estructura empresarial que tienen su organización para poder implementar las auditorías de proceso en capas LPA's y trabajar constantemente para generar una cultura de mejora continua, incorporar herramientas de calidad documentadas para facilitar las certificaciones del sector de autopartes, mantener la comunicación entre el personal para lograr un trabajo en equipo, realizando actividades en conjunto y enfocándose en la causa raíz del problema presentado con ayuda de planes de hallazgo para que no se convierta en un problema constante. Las organizaciones deben de cumplir con la certificación de la norma ISO 9001:2015 y no dejar a un lado la norma IATF 16949:2016 para favorecer el sector de Autopartes a nivel Estado.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas compiten en el mercado por ser líderes a nivel mundial en sus sistemas de gestión de calidad, implementando nuevas herramientas de trabajo y certificándose constantemente.

Durante los últimos años, la industria de autopartes experimento un crecimiento vertiginoso, posicionando a México como uno de los productores más importantes del mundo, buscando cubrir las necesidades del cliente, implementando nuevas formas de trabajo y certificándose constantemente ya que son el punto clave para el desarrollo y crecimiento dentro del mercado a nivel global.

El propósito de esta investigación es para analizar las empresas del sector de autopartes de piezas metálicas Tier 1 (Cadena de suministro por niveles) en el Estado de Tlaxcala y el impacto que tienen

las auditorías de proceso por capas LPA's para examinar el comportamiento actual de las estrategias que se utilizan para poder cumplir con la norma ISO 9001:2015 y la IATF 16949:2016.

Las empresas que se investigaron no cumplen con la norma IATF 16949:2016 un requisito que se debe desempeñar para este sector. Se propone que la alta dirección detecte los niveles de la estructura empresarial que tienen su organización para poder implementar las auditorías de proceso en capas LPA's y trabajar constantemente para generar una cultura de mejora continua, incorporar herramientas de calidad documentadas para facilitar las certificaciones del sector de autopartes, mantener la comunicación entre el personal para lograr un trabajo en equipo, realizando actividades en conjunto y enfocándose en la causa raíz del problema presentado con ayuda de planes de hallazgo para que no se convierta en un problema constante.

La presente investigación muestra los resultados obtenidos del análisis de las empresas del sector de autopartes (Tier 1) en el estado de Tlaxcala, identificando los factores que determinantes y que ayuden a la planeación de programas de auditorías LPA's como herramientas de mejora continua, que se enfoca en los beneficios de la manufactura y desarrollo de las organizaciones

TEORÍA

ISO 9001:2015

La Organización Internacional de Normalización o también llamada Organización Internacional de Estandarización (ISO) es una organización para la creación de estándares internacionales compuesta por diversas organizaciones nacionales de normalización.

La Norma ISO 9001 tiene origen en la Norma BS 5750, publicada en 1979 por la Entidad de Normalización Británica, la [British Standards Institution] (BSI). La versión actual de ISO 9001 (la quinta) data de septiembre de 2015, y por ello se expresa como ISO 9001:2015. Versiones ISO 9001 hasta la fecha:

- Quinta versión: la actual: ISO 9001:2015 (23/08/2015)
- Cuarta versión: ISO 9001:2008 (15/11/2008)
- Tercera versión: ISO 9001:2000 (15/12/2000)
- Segunda versión: ISO 9001:94 - ISO 9002:94 - ISO 9003:94 (01/07/1994)
- Primera versión: ISO 9001:87 - ISO 9002:87 - ISO 9003:87 (15/03/1987)

La base de cualquier crecimiento sólido en empresa es apostar por la calidad. El sistema de Gestión de Calidad (ISO 9001:2015) le facilita los procesos y les hace sencilla a la organización la obtención del certificado de la ISO 9001:2015.

Esta norma internacionalmente aspira a aumentar la satisfacción del cliente a través de la aplicación eficaz del sistema, incluidos los procesos para la mejora continua del sistema, el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente y los reglamentarios aplicables.

Para que una organización funcione de manera eficaz, tiene que determinar y gestionar numerosas actividades relacionadas entre sí.

ISO 9000:2015 3.4.1 Proceso Conjunto de actividades mutuamente relacionadas que utilizan las entradas para proporcionar un resultado positivo.

IATF 16949:2016

La IATF (International Automotive Task Force) 16949:2016 es la norma de Sistemas de Gestión de Calidad (SGC) específica para la industria del automóvil, basada en la norma internacional del Sistema de Gestión de Calidad según la norma ISO 9001. El objetivo que persigue la norma IATF 16949:2016 es el desarrollo de un Sistema de Gestión de Calidad que proporciona una mejora continua, hace hincapié en la prevención de errores y en la reducción de la variación y de los residuos en la cadena de suministro automotriz.

La IATF se compone de nueve miembros fabricantes de vehículos – Ford, GM, Chrysler, BMW, VW, Daimler, Renault, PSA Peugeot Citroen y Fiat. En conjunto con organizaciones nacionales de comercio de automóviles de Estados Unidos, Reino Unido, Francia, Alemania e Italia. (IATF, 2016).

- Estados Unidos (AIAG)
- Reino Unido (SMMT)
- Francia (FIEV)
- Alemania (VDA)
- Italia (ANFIA)

En el apartado 9.2 auditorías internas de calidad en la especificación IATF 16949:2016 establece que la organización debe auditar su sistema de administración de calidad para verificar el cumplimiento de acuerdo a la norma y requerimientos de sistemas de administración de calidad adicionales.

En el apartado 9.2.2.1 menciona que todas las organizaciones del sector automotriz deberán programar sus auditorías internas.

Las auditoras serán:

9.2.2.2 Auditorías de Sistemas de Gestión de calidad

9.2.2.3 Auditorías de proceso de fabricación

9.2.2.4 Auditorías de producto

CQI-8 Auditorías de Proceso por Capas

Las Auditorías de Proceso por Capas (LPA por su nombre en inglés Layered Process Audits) son una técnica de calidad que se enfoca en observar y validar *cómo* se fabrican los productos, en lugar de inspeccionar los productos terminados.

De acuerdo a la norma CQI-8 LPA's establece que las Auditorías de procesos por capas pueden ser consideradas por auditorías de procesos conforme es requerido por IATF 16949: 2016 Sección 9.2.2.3, Auditorías a procesos de fabricación.

De acuerdo a la CQI-8 (2005), las auditorías de procesos por capas son desarrolladas para validar el cumplimiento del proceso de manufactura con pasos existentes y la implementación de cambios o acciones correctivas. Requieren que los múltiples niveles dentro de una instalación de manufactura revisen los mismos controles operacionales clave (dentro del alcance en la autoridad de quienes hacen la revisión) para asegurar la calidad del producto.

El propósito principal de una auditoría de procesos por capas es asegurar que los pasos claves de los procedimientos y/o procesase siguen, ofreciendo a las organizaciones un medio para sostener acciones correctivas, lecciones aprendidas, mejores prácticas, etc. El alcance de una auditoría de procesos por capas se limita a los procesos y pasos identificados que requieren especial atención debido a que son críticos para obtener la satisfacción de los clientes.

En los años anteriores 2005, DaimlerChrysler y General Motors establecieron diferentes enfoques de revisión del proceso, incluyendo diferentes enfoques para el proceso de auditoría por capas, sin embargo bajo el auspicio de la AIAG (Automotive Industry Action Group) desarrollaron un enfoque común para este proceso. El enfoque está documentado en el CQ1-8 Layered Process Audits Guideline – LPA, en español Guía de Auditoría de Procesos por capas o niveles.

Las organizaciones pueden utilizar la guía CQI-8 para el desarrollo de su proceso de auditoría por capas sin embargo deben conocer y cumplir los Requerimientos específicos del cliente.

Las LPA's ofrecen un proceso que agregue valor a las organizaciones dando un impacto en los indicadores Claves de Desempeño, (KPI's), tales como la seguridad, calidad, costo, entrega al cliente y mantenimiento de la moral de las organizaciones.(CQI-8, 2005).

El punto clave para que funcionen las LPA's, es establecer por la alta dirección la participación de todos los empleados de la organización, por ello hace sentido que todos los niveles o capas de la dirección, participen en el despliegue de la auditorías.(CQI-8, 2005).



Figura 1: Auditorías de Proceso por Capas
Fuente: CQI-8

Sector Automotriz

La industria automotriz y de autopartes está íntimamente relacionadas, por tanto, no existiría la segunda sin la primera. La fabricación de automóviles comprende las estrategias de diseño, producción y reemplazo de autopartes, refacciones y accesorios. La industria de autopartes está conformada por aquellas empresas que facturan componentes destinados como equipo original a la industria terminal. Las cuales con el paso del tiempo han sido modernizadas a través de la introducción de mejores prácticas derivadas del sistema de producción Toyota, escalando en funciones de mayor valor agregado. (Villa, 1999)

Sector de autopartes

De los 10 principales fabricantes de equipo originales (OEM) de vehículos ligeros del mundo, 7 tiene planta en México, cuyo principal mercado es de exportación (Estados Unidos principalmente). Las plantas de producción de las OEM de la industria autopartes en México se ubica en 3 regiones principalmente: Centro (Estados de México, Morelos y Puebla) Centro bajo (San Luis Potosí, Guanajuato, Aguascalientes y Jalisco) y Norte (Baja California, Sonora, Chihuahua y Coahuila). (Agenda de Innovación en Tlaxcala, 2015).

Cadena de Suministro para el Sector Automotriz

Las empresas fabricantes de autopartes consideran dos instancias de producción:

- La entrega de autopartes a los ensambladores (clientes) para la fabricación de unidades nuevas (equipo original); y
- La generación de inventarios y venta a las mismas armadoras o a otra agencia económica en los circuitos de distribución (mercado de repuestos).

Un OEM (del inglés, Original Equipment Manufacturer) o fabricante de equipos originales.

Existen en México 24 complejos productivos en 14 estados del país, en los que se realizan actividades que van desde el ensamble y blindaje, hasta la fundición y el estampado de vehículos y motores y ha ido en aumento por la presencia productiva de las principales empresas armadoras de vehículos (ligeros y pesados), tales como: General Motors, Ford, Chrysler, Volkswagen, Nissan, Honda, BMW, Toyota, Volvo y Mercedes-Benz. En México se producen más de 40 modelos de automóviles y camiones ligeros (Escobedo Torres, 2018).

Según un estudio elaborado por ProMéxico el sector automotriz se puede clasificar de la siguiente manera:

1. Tier 1: Que son proveedores directos de las empresas armadoras de vehículos. Entre los componentes que desarrollan encontramos partes del motor, sistemas de dirección y suspensión, sistemas de aire acondicionado, componentes electrónicos, entre otros.

2. Tier 2: Abarca a las empresas proveedoras de los Tier 1. Estas manufacturan equipos y productos que son utilizados en los componentes más avanzados / especializados de la automotriz. Entre los productos encontramos: partes forjadas, partes estampadas, partes de inyección de aluminio, partes fundidas, partes plásticas, partes maquinadas, etc.
3. Tier 3: Son empresas proveedoras de insumos de los Tier 2, que cumplen los requerimientos de calidad necesarios que demanda la industria automotriz.

México

El sector automotriz y de autopartes ha sido impulsado por la presencia de diez de las más importantes ensambladoras de vehículos (pesados y ligeros) del mundo, tales como General Motors, Ford, Chrysler, Volkswagen, Nissan, Honda, BMW, Toyota, Volvo y Mercedes-Benz. Para poder cumplir con fechas de entrega, muchos proveedores se han ubicado alrededor de las grandes armadoras de vehículos en México.

La Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), que aglutina a las armadoras de vehículos nuevos con presencia en México.



Figura 2. Plantas Establecidas en México de Vehículos ligeros y motores
Fuente: AMIA (2018).

También existe la Industria Nacional de Autopartes, A. C. que integra a más de 600 empresas fabricantes de partes y componentes para el sector, desde circuitos electrónicos, arneses y partes de plástico; hasta motores, transmisiones y sistemas de dirección, por mencionar algunos.

Por otra parte, se reconoce que la integración nacional de los bienes manufacturados en el país por parte del subsector de la Industria Maquiladora de Exportación ha aumentado, pasando del 2% a mediados de los 80's a casi el 20%. Esto considerando que se trata de un sector especialmente sensible a los precios de sus materias primas y componentes como lo es la industria

maquiladora de exportación (INEGI, 2013), pues esta industria fácilmente puede importar libre de arancel cualquier producto del exterior, y sólo si encuentra una situación favorable en México lo adquirirá localmente. Sin embargo, es importante puntualizar que, en los últimos 10 años, este porcentaje no ha crecido sustancialmente y más bien se ha quedado estático dando como resultado un estancamiento en la integración nacional y marcando un “tope” a las políticas públicas en este orden (Arteaga García, 2003).

Más aún, tenemos que considerar que la Industria Maquiladora es un componente importante del sub-sector manufacturero de exportación (INEGI, 2013).

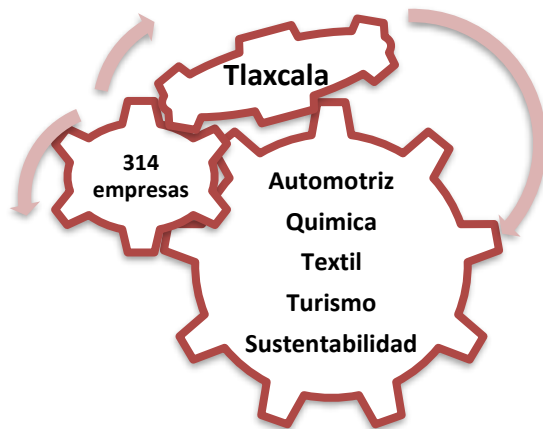
La industria automotriz ha sido estratégica para México desde mediados del siglo pasado. Ya para 1980, en la matriz de insumo-producto que se construyó para esa época, la rama automotriz y su rama auxiliar de proveeduría eran líderes entre todas las demás ramas de dicha matriz en México (López G., 1991).

Esta situación excepcional de la industria automotriz, y su consecuente impacto en muchas ramas de otras industrias como la del acero, plástico, caucho, eléctrica, electrónica, vidrio, química, servicios, etc., debería de tener una mayor integración en su cadena de valor de forma local (Mendoza Cota, 2009).

Tlaxcala

El estado de Tlaxcala limita en su mayor parte con Puebla al norte, este y sur, al oeste con el estado de México y al noroeste con Hidalgo.

La mayor parte de la economía del estado se basa en cinco áreas de especialización: Automotriz, Química, Textil, Turismo y Sustentabilidad (esta última incluye Agroindustria y salud).



El estado concentra a su industria en tres ciudades industriales ubicadas en Tetla, Tlaxco y Huamantla y en los corredores a lo largo de las dos carreteras que unen la capital del estado como la Cd. de Puebla, con un crecimiento acelerado esperado en la zona Huamantla, dada la instalación de la planta de AUDI (en Puebla, en la zona limítrofe con Tlaxcala) y de su grupo de proveedores Tier 1 y tier 2 más importantes. (Agenda de Innovación de Tlaxcala, 2015)

Tres de los principales sectores elegidos (automotriz, química y textil) destacan por su participación al producto interno Bruto del Estado.

Figura 28. Sectores importantes en el Estado de Tlaxcala

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El destino de los productores automotrices de Tlaxcala es en su mayoría armadoras como VW, AUDI, BMW y Mercedes Benz, para modelos de la gama más alta, por lo cual deben cumplir con las más estrictas especificaciones dimensionales, de apariencia y calidad, logística y servicios. Todo esto hace que los esfuerzos de desarrollo e innovación de las empresas del estado estén dirigidos principalmente a la mejora de los procesos de fabricación, logística y servicios, así como a maximizar la eficacia operativa y a la adopción de las tecnologías de fabricación más modernas demandadas por la industria.



Figura 2. Logística de los Sectores Industriales en el Estado de Tlaxcala

Fuente: Agenda de Innovación Tlaxcala, 2015

armadoras situadas en el Estado de México y Bajío, ha impulsado el crecimiento del sector con el estado, cuya tasa es la más alta de todos los sectores relevante a la economía del Estado.

El estado cuenta con una excelente ubicación geográfica estratégica, que permite la conexión con importantes vías terrestres de comunicación, lo que facilita la logística de insumos y productos terminados por vía terrestre y acceso a puertos.

La mano de obra del estado es considerada en la región como dedicada y poco dada a conflictos laborales, aunque poco capacidad.

PARTE EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de la investigación, se utilizará el tipo de investigación descriptiva y exploratoria, esto significa que de acuerdo a Hernández, Fernandez y Baptista (2006), la investigación exploratoria se realiza cuando el objeto consiste en examinar un tema o problema de investigación poco estudiado del cual existen muchas dudas y no se habían estudiado antes y se indaga desde una perspectiva innovadora; y la descriptiva únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren. Debido a la naturaleza esta investigación se le dará un enfoque de tipo transversal, ya que la investigación que se recopilan datos en un solo y único tiempo.

El enfoque de la investigación es Mixto, ya que implica la recolección de datos y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta.

El tipo de investigación que se desarrollará en este trabajo es descriptiva, ya que permite que la recolección de la información, además busca especificar las propiedades, características de los grupos o procesos de cualquier otro tipo de fenómeno que someta su análisis.

El instrumento que se utilizó en la investigación fue un cuestionario de 23 ítems y para el análisis, ocupando una escala Likert (1= Nunca; 2=Raramente; 3=Ocasionalmente; 4= Frecuentemente; 5=Muy Frecuente).para determinar el valor de los resultados.

La industria automotriz, destaca el hecho de que no cuenta dentro Tlaxcala con empresas tractoras (armadoras o Tier 1 grande), sin embargo la cercanía con las armadoras y Tiers 1 de Puebla y la conexión a través del Arco Norte con

Para la identificación de las variables se utilizó el diagrama de Ishikawa. El diagrama de Ishikawa, también conocido como de pescado o de causa y efecto, donde las espinas representan el cuerpo del pescado y ayudan a identificar las variables necesarias mejor conocidas como causas y por medio de ellas poder conocer la información necesaria para las auditorías de proceso por capas LPAs en el Sector de Automotriz en el Estado de Tlaxcala.

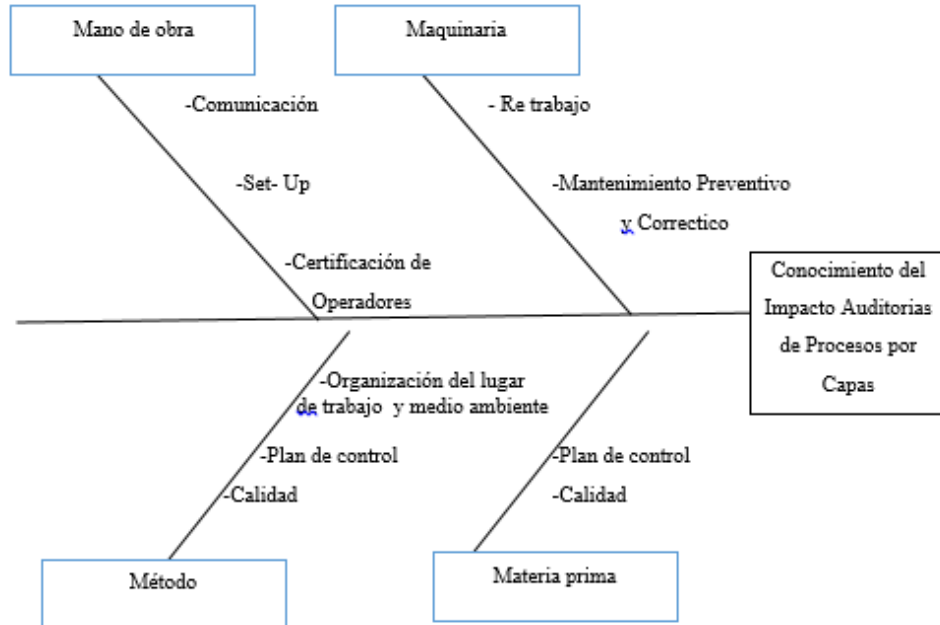


Figura 3. Diagrama de Ishikawa

A continuación se muestra la metodología que se pretende emplear en la Investigación, de tal manera que se utiliza la herramienta del Círculo de PHAV, y se muestran los pasos en forma de un diagrama de flujo.

En la siguiente figura, se presenta el proceso de metodología que se utilizará en la investigación.

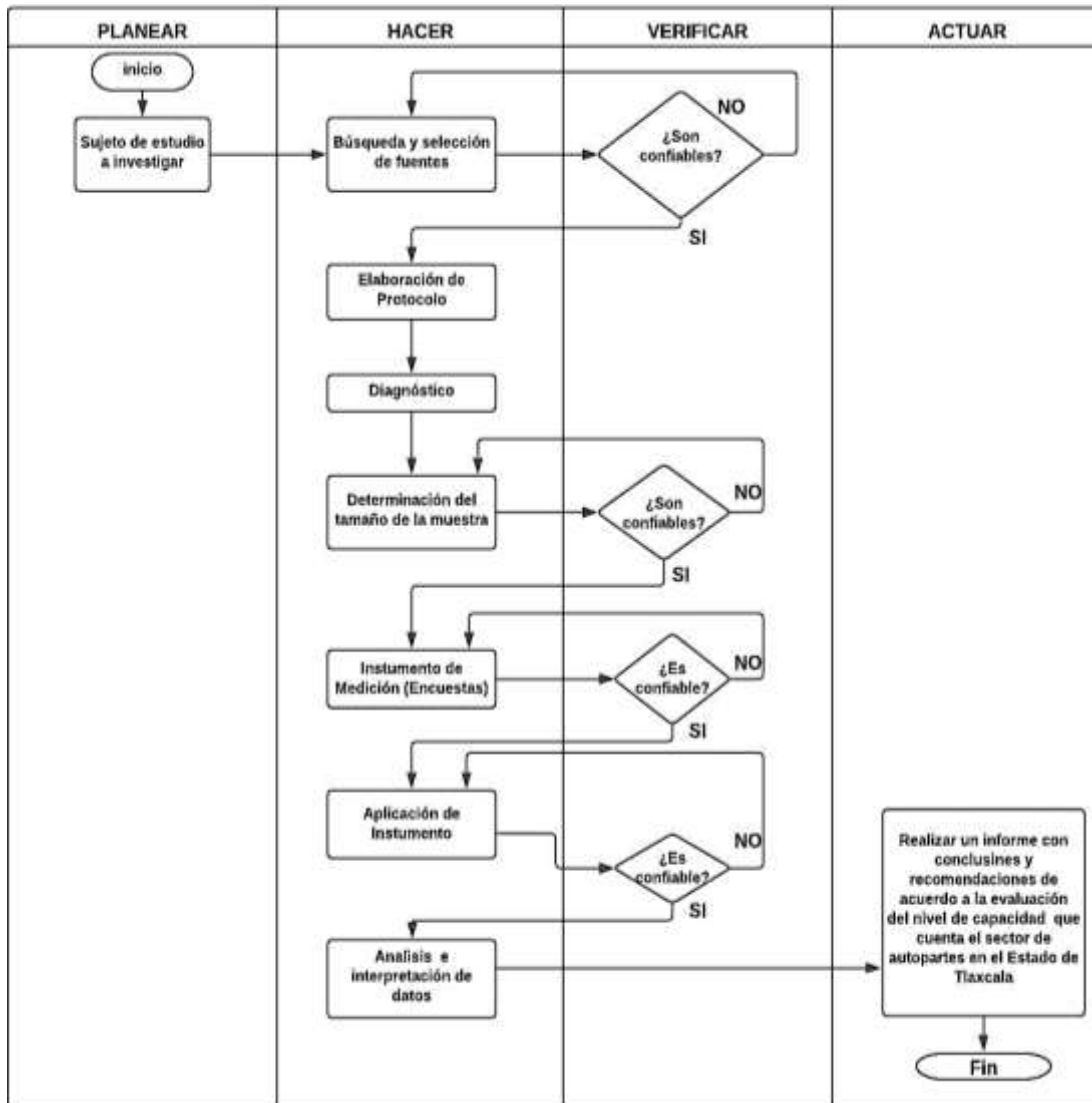


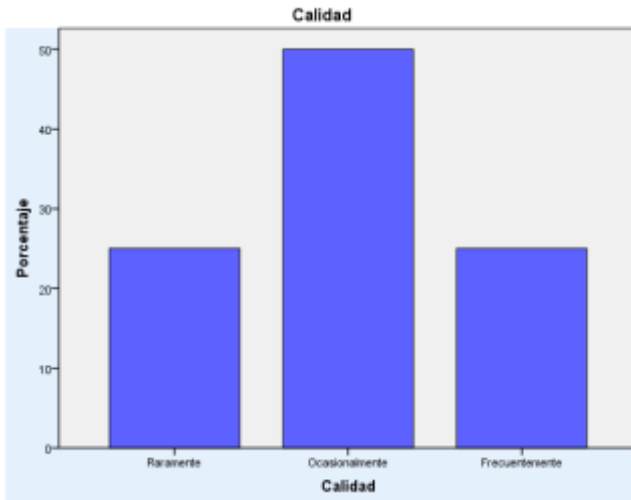
Figura 4. Metodología para el diagnóstico del sistema de auditorías de proceso por capas LPA’s para sector de autopartes en el estado Tlaxcala

Fuente: Elaboración propia (2019)

RESULTADOS

Se presentan en este apartado algunas de las preguntas que generen mayor impacto para la presente investigación

Variable 1: Comunicación



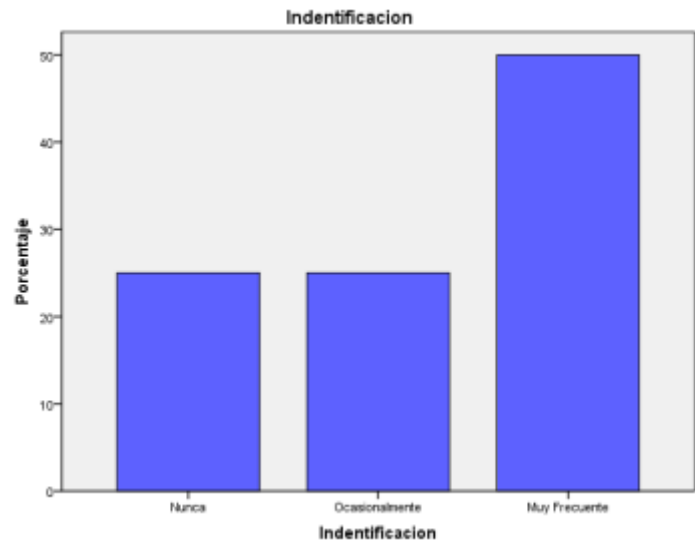
Gráfica. 1 Calidad
Fuente: Elaboración propia, 2019.

1. ¿Los empleados están al tanto de los problemas de calidad / reclamos formales recientes del cliente?

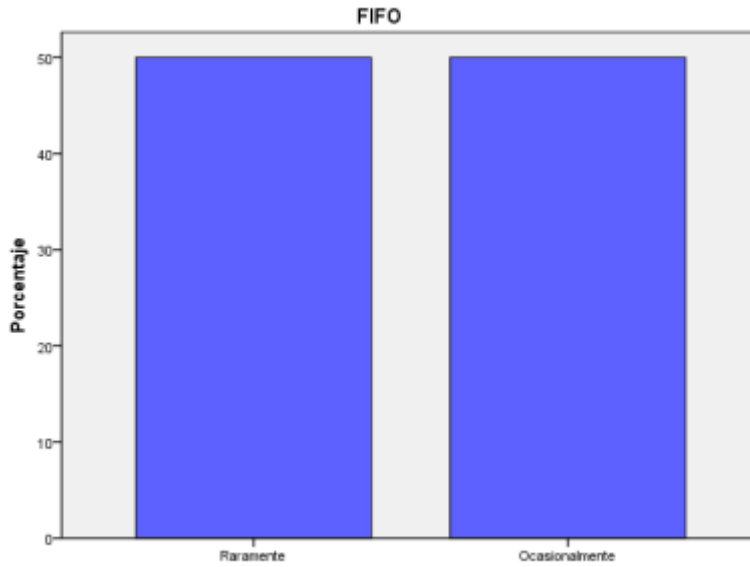
El análisis arroja que de las 4 empresas de autopartes en el Estado de Tlaxcala, los empleados están al tanto de los problemas de calidad / reclamos formales recientes del cliente, lo que respondieron al instrumento de medición, que el 50% han contestado que ocasionalmente, seguido de 25% raramente y 25% ocasionalmente. Como se muestra en la gráfica 1.

Variable 2: Organización de trabajo y medio ambiente

2. ¿El material en proceso y saliente está debidamente identificado?
En la pregunta número 2, se evalúa la segunda variable donde las empresas contestaron que el material en proceso y saliente está debidamente identificado, lo que respondieron al instrumento de medición, que el 50% han sido muy frecuente, seguido de 25% nunca y 25% ocasionalmente. Como se muestra en la gráfica 2



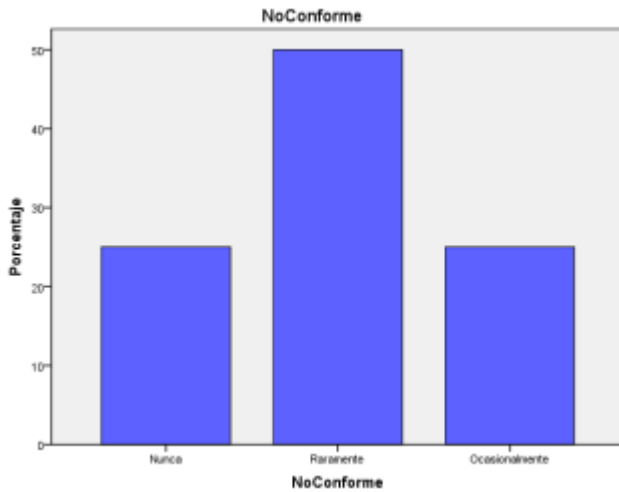
Gráfica. 2 indentificación
Fuente: Elaboración propia, 2019.



Gráfica. 3. FIFO
Fuente: Elaboración propia, 2019.

4. ¿Se utiliza FIFO?

En la pregunta número 4 se les pregunto a las 4 empresas si utiliza FIFO dentro de la organización y nos respondieron que el 50% raramente y el otro 50% restante menciona ocasionalmente. Los resultados se muestran en la gráfica número 3.

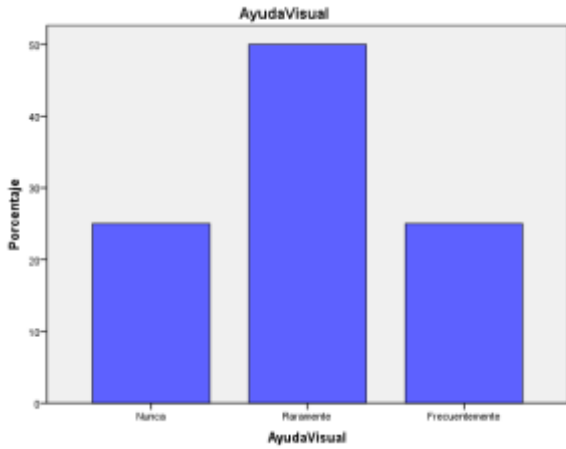


Gráfica. 4. No Conforme
Fuente: Elaboración propia, 2019.

5.- ¿Se identifica y coloca un producto sospechoso o no conforme en un área designada?

En la pregunta número 5, se les cuestiono a las 4 empresas si se identifica y se coloca un producto sospechoso o no conforme en un área designada y esto fue lo que respondieron. El 25% menciono que nunca, 25% ocasionalmente y el 50% menciona que raramente. Se muestra los datos en la gráfica número 4.

Variable 3: Set up

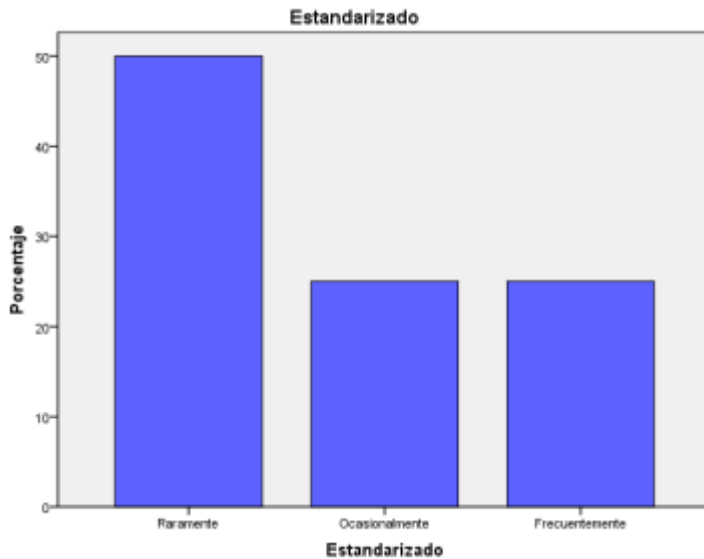


8.- ¿Están disponibles las ayudas visuales (requeridas por el plan de control
En la pregunta número 8 se cuestionó si están disponibles las ayudas visuales (requeridas por el plan de control en las empresas encuestadas y respondieron lo siguiente: el 25% hace mención que nunca, el 25% frecuentemente y el 50% raramente. A si como se muestra en la gráfica número 5.

Gráfica 5. Ayuda Visual
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Variable 4: Certificación del operador/ trabajo estandarizado

A continuación se muestran las preguntas de las tercera variables “Certificación del operador/ trabajo estandarizado”



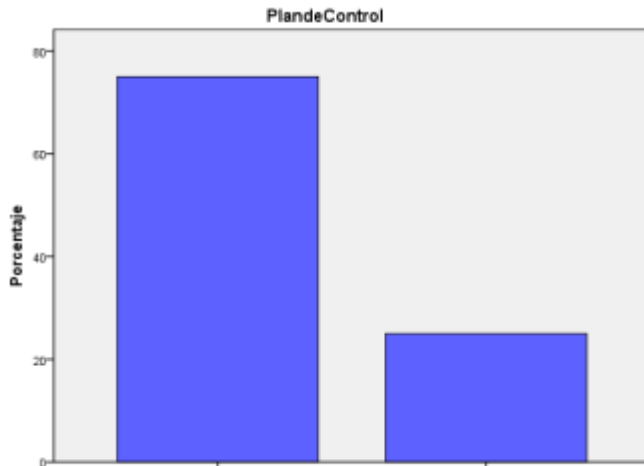
En la pregunta número 10 se les cuestiono a las empresas si sus operadores cuentan con certificación o tienen estandarizado su trabajo de lo que respondieron que el 50% raramente, el 25% ocasionalmente y 25% frecuentemente

Gráfica 6. Estandarizado
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Variable 4: “Plan de control”

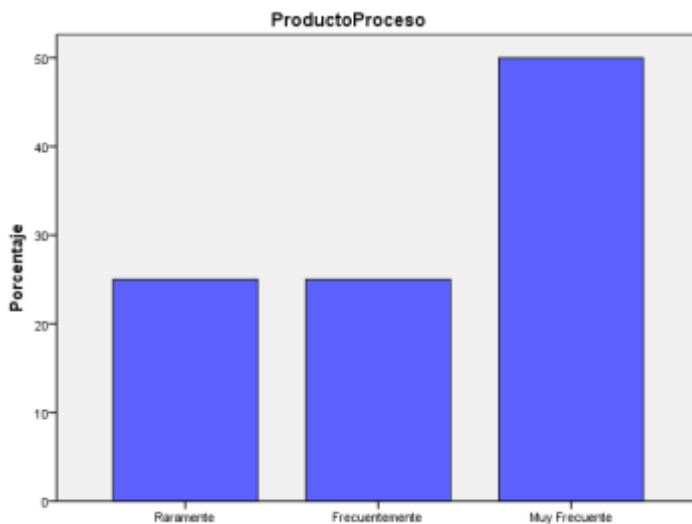
A continuación se muestran las preguntas con la variable 4 que corresponde a Plan de Control

12. ¿Se realizan las verificaciones del plan de control con la frecuencia adecuada, con el tamaño de muestra correcto y en la forma correcta?



Gráfica 7. Plan de Control
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la pregunta 12 se les cuestiono a las 4 empresas si realizan las verificaciones del plan de control con la frecuencia adecuada, con el tamaño de muestra correcto y en la forma correcta en su organización y mencionan que el 75% raramente y el 25% muy frecuentemente. Se observa los resultados en la gráfica número 14.



Gráfica 8. Producto Proceso
Fuente: Elaboración propia, 2019.

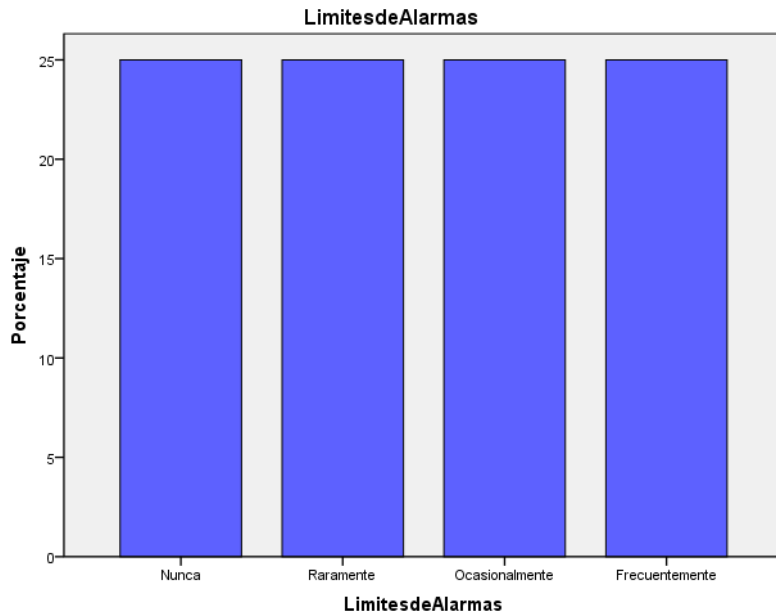
13 ¿Las verificaciones de productos / procesos están dentro de las especificaciones?

Se observa que en la gráfica número 8 los resultados obtenidos las 4 empresas donde se les pregunta si cuentan con las verificaciones de productos / procesos están dentro de las especificaciones y respondieron que el 25% raramente, 25% frecuentemente y el 50% muy frecuente.

Variable 6: “Calidad”

A continuación se muestran las preguntas de la variable 6 que hablan de calidad

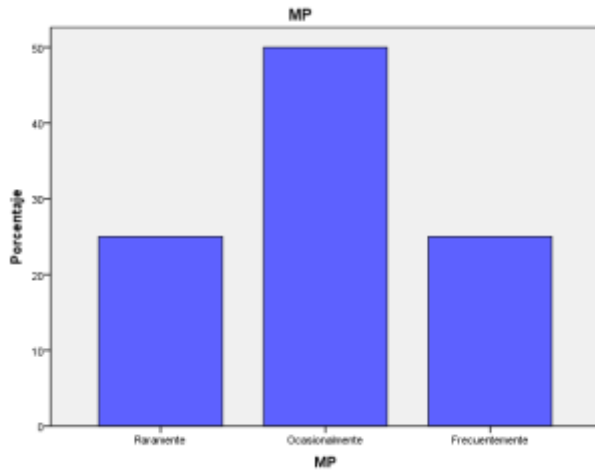
14. ¿Se están utilizando los límites de alarma?



En el gráfico número 18 se muestra el resultado de la pregunta número 16 si se están utilizando los límites de alarma y las 4 empresas encuestadas mencionaron que el 25% nunca, 25% raramente, 25% ocasionalmente y mientras 25% frecuentemente.

Gráfica 9. Límites de Alarma
Fuente: Elaboración propia, 2019.

23 ¿Las actividades de mantenimiento preventivo están completas según lo programado?



En pregunta 23 se les cuestiono a las 4 empresas sobre si las actividades de mantenimiento preventivo están completas según lo programado y el resultado es el siguiente, 25% raramente, 50% ocasionalmente y 25% frecuentemente. Los resultados se muestran en la siguiente grafica 10.

Gráfica 10 MP
Fuente: Elaboración propia, 2019

El análisis de los datos se evaluó con el programa estadístico SPSS.

CONCLUSIONES

Las empresas del sector de autopartes (Tier1) en el estado de Tlaxcala, actualmente juegan un papel muy importante en la economía del país. Es por eso que se tiene que fortalecer sus Sistemas de Gestión de Calidad e implementar herramientas que faciliten la detección y hallazgos de producto que no cumplan con la normativa.

En el desarrollo de las preguntas de investigación se hace mención a ¿Qué beneficio tiene el Sistema de Auditorías de procesos por capas LPA´s en las empresas del Sector de Autopartes (Tier 1) en el estado de Tlaxcala? Se concluye a que facilita a tener la documentación necesaria para certificaciones próximas, a verificar sus procesos y detección de productos no conformes. La segunda pregunta de la investigación es: ¿Cuáles son las necesidades y dificultades que presenta las empresas del Sector de Autopartes (Tier 1) para realizar el Sistema de Auditorías de Proceso por capas LPA´s?, el factor principal que arrojó el análisis fue el desconocimiento de la CQI-8 y los nuevos cambios de la norma IATF 16949:2016. En la tercera y última pregunta ¿De qué manera incide el Sistema de Auditorías de proceso por capas LPA´s en empresas de Sector Automotriz (Tier 1) en el estado de Tlaxcala? Se concluye que al ser bien ejecutadas y programadas se tendrían resultados favorables en las organizaciones, ya que LPA´s participan todos los integrantes de la organización, conociendo sus debilidades en puntos específicos y se trabajarían para evitar fallas en los procesos.

El objetivo general definido como “Evaluar el impacto que genera las Auditorías de Proceso por Capas LPA´s en las empresas del sector de autopartes (Tier 1) en el Estado de Tlaxcala” planteado desde el inicio de esta investigación se cumplió, ya que mediante de nuestro instrumento de investigación valoramos que empresa ejecutaban las LPA´s y el beneficio que garantizaban en su organización.

Al finalizar esta investigación se concluye que las empresas de sector de autopartes en el Estado de Tlaxcala carece del uso de auditorías que inspeccionen el procesos de las organizaciones, la falta de administración de los recursos y la escases de mantenimientos preventivos para evitar fallas oportunas. El impacto de esta investigación radica en la elaboración de un Informe del Sistema de Auditorías de Proceso por Capas LPA´s para el sector de Autopartes en el Estado de Tlaxcala como guía a las empresas que desean implementar las LPA´s dentro de sus organizaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Yañez, J. & Yañez, R. (2012). Auditorías, Mejora continua y normas ISO: factores clave para la evolución de las organizaciones Ingeniería Industrial, actualidad y nuevas tendencias. 83, 92.
2. 9000:2015, ISO. (2015). Sistema de Gestión de Calidad.
3. 2.AEC. Asociación española para la calidad. (Agosto de 2014). *Auditorías de Calidad*. Obtenido de http://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=783d8fbd-12df-43f3-b12c-b1c5ca5ce5d7&groupId=10128.
4. Agenda de Innovación en Tlaxcala . (30 de 3 de 2015). Obtenido de <http://www.agendasinnovacion.org/wp-content/uploads/2015/03/AgendaTlaxcala.pdf>
5. AIAG. (2005). AIAG. En G. A. Action, (*Automotive Industry Action Group*).
6. AIAG. (2019). *core-tools*. Obtenido de <https://www.aiag.org/quality/automotive-core-tools>
7. Asociación española para la calidad (AEC). (2015). *Auditorías de calidad*. 1.
8. Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, A. (2018). Obtenido de <http://www.amia.com.mx/boletin/dlg20182024.pdf>
9. BANCOMEXT. (2014). *Sector Automotriz* . Obtenido de https://www.bancomext.com/wp-content/uploads/2015/08/Automotriz_1er_Informe_2015.pdf
10. CITLAX . (2018). *Consortio de Investigación y de Innovación del Estado de Tlaxcala*. Obtenido de <https://citlax.mx/>
11. CQI-8, N. (2005). *Layered Process Audits* . Obtenido de <http://www.best9000.com/b9000/attachment/CQI-8%20Layered%20Process%20Audits%20Guideline.pdf>

12. Fabián Gómez, Socio de Auditoría de Deloitte. (2019). *Deloitte*. Obtenido de Deloitte: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/Medios/2019/Futuro-Sector-Automotriz.pdf>
13. ISO/TS, 1. (2009). Sistemas de Administración de Calidad - Requerimientos Particulares para la Aplicación de ISO 9001: 2008 para Organizaciones Automotrices de Partes para Producción y Servicios Relevantes. En ISO/TS 16949, *Sistemas de Administración de Calidad - Requerimientos Particulares para la Aplicación de ISO 9001: 2008 para Organizaciones Automotrices de Partes para Producción y Servicios Relevantes* (págs. 29, 30). Suiza: Grupo de Trabajo Automotriz Internacional.
14. ISOTools. (2020). Obtenido de <https://www.isotools.com.mx/iatf-169492016-sistemas-gestion-la-calidad-la-industria-del-automovil/>
15. ITK. (2020). Obtenido de <https://itksuite.com/que-son-las-auditorias-por-capas/>
16. LENDIZABAL, A. E. (2015). Implementación de la norma CQI-8 LPA's en el proceso de inyección de cera perdida . TIANGUISTENCO; MÉX.

MÓDULO DE ILUMINACIÓN LED PARA LA CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA DE MATERIALES AUTOMOTRICES

Danay Hernández-López, Geminiano Martínez-Ponce

Centro de Investigaciones en Óptica A.C.
danayhede@cio.mx

RESUMEN

En espectroscopia, tradicionalmente se emplean fuentes de iluminación convencionales como lámparas de hidrógeno-deuterio, tungsteno y de arco de Xenón, por citar algunos ejemplos¹. Sin embargo, recientemente los diodos emisores de luz (LED) se han consolidado como fuentes espectroscópicas debido a la gran eficacia que han alcanzado. La naturaleza monocromática de estas fuentes de luz ofrece la posibilidad de crear disímiles aplicaciones². En este trabajo se presenta el diseño, montaje y desempeño de un módulo de iluminación LED de múltiples longitudes de onda para la caracterización espectroscópica de materiales automotrices. El sistema está dirigido a dar una solución económica para aplicaciones espectroscópicas orientadas a la determinación de propiedades ópticas como transmitancia, reflectancia y absorbancia en superficies automotrices. El dispositivo final está conformado por un módulo de iluminación multispectral formado por 4 LEDs distribuidos en un arreglo lineal que permite ser expandido a mayor cantidad de longitudes de ondas, en dependencia de las necesidades de la aplicación y que son habilitados cada uno de forma independiente. Las superficies caracterizadas se analizaron a las longitudes de onda de interés para el cliente, o sea, 465nm, 525nm, 590nm y 633nm. La activación y posicionamiento de los LED fue posible a través de una interfaz de usuario informática desarrollada en el entorno de Labview®. En el puerto de salida, la radiación emitida por el LED habilitado se colimaba con un módulo óptico compuesto por lentes condensadoras esféricas, que se diseñó en el programa de diseño óptico OSLO®. Se evaluó cuidadosamente el funcionamiento de la fuente de iluminación mediante sus propiedades estáticas, a fin de satisfacer los requisitos de las normas internacionales sobre fuentes de iluminación. También se realizó una comparación entre las propiedades ópticas medidas utilizando esta fuente y una convencional. Las fuentes comerciales a base de estos elementos no cuentan con las longitudes de ondas implicadas en la caracterización de superficies automotrices, o en su defecto, las longitudes de onda que ofrecen en sus arreglos ópticos no contemplan la combinación de las cuatro longitudes de onda empleadas en este trabajo. Este módulo de iluminación permite prescindir de instrumentación como las fuentes espectrales tradicionales y monocromadores en las mediciones. Los rangos de error de la fuente diseñada con respecto a la fuente de referencia no superan el 1%, para una aplicación final que maneja tolerancias de error en la medición del 5%. El sistema mecánico en el que se basa esta fuente permite ser adaptada para aplicaciones donde se requieran mayor cantidad de longitudes de onda, con una resolución de 30µm/paso.

INTRODUCCIÓN

Al igual que cualquier industria con una línea de producción, la disminución de costos sin afectar la calidad de los productos, observando cuidadosamente las mejores prácticas, es un objetivo constante en la industria del automóvil. Por lo anterior, los grandes fabricantes destinan recursos para la investigación y desarrollo de métodos y/o instrumentos que ayuden a incrementar el margen de ganancia. Un ejemplo es el desarrollo de herramientas computacionales para simular numéricamente la apariencia casi real de los acabados del producto automotriz sin necesidad de consumir materia prima.

Generalmente, estos paquetes informáticos requieren ser alimentados con algunos valores de las propiedades ópticas de las superficies a simular. Para obtener estas mediciones, existen diversas técnicas y métodos ópticos que están siendo aplicadas en campos muy diversos tales como la astronomía, las comunicaciones, la biología y la salud. Esto es posible gracias a los avances en el diseño de fuentes de radiación y detectores, así como dispositivos y sistemas electrónicos cada vez más compactos, rápidos y eficientes³. La espectroscopia visible (VIS) es una de las técnicas más

favorecidas para el control de calidad en la industria actualmente², y esto se hace posible gracias a toda la instrumentación óptica y electrónica que lleva consigo.

La espectroscopia óptica juega un papel principal en la caracterización de materiales de estos tiempos donde el número, la frecuencia y la diversidad de los estudios que rutinariamente se desarrollan en la industria automotriz aumentan constantemente para satisfacer los crecientes requisitos de calidad y de seguridad³. Esta herramienta hace posibles investigaciones, análisis, controles y diagnósticos muy útiles en las líneas de producción de automóviles. Sin embargo, el costo de una caracterización usando equipos destinados a la investigación de frontera muchas veces es prohibitivo por lo que es necesario buscar alternativas más económicas pero que no excedan los límites establecidos en las normas de calidad. Son muchos los elementos que componen un sistema espectroscópico, entre otros: Fuente de iluminación, componentes dispersivos, fotodetectores, componentes ópticas (espejos, divisores de haz, rendijas) y, si es necesario hacer mediciones con resolución angular, sistemas motorizados de rotación.

En particular, la fuente de iluminación es una parte esencial para este tipo de aplicaciones, la cual tradicionalmente es diseñada para emitir un espectro continuo con una distribución de irradiancia estable con características específicas. Algunas de las fuentes convencionales que cumplen este requisito son las lámparas de hidrogeno-deuterio, tungsteno y de arco de xenón, por citar algunas. Sin embargo, un tendencia actual en este campo es el uso de los diodos emisores de luz (LEDs, por las siglas de su nombre en inglés Light Emitting Diode), los cuales ofrecen ciertas ventajas con respecto a las fuentes tradicionales. Este trabajo describe el diseño y la construcción de una fuente de iluminación con aplicación específica basada en diodos emisores de luz (LEDs). La fuente de luz LED permite seleccionar la longitud de onda central de la radiación requerida por el sistema en las mediciones. Según los requerimientos deseables para la caracterización de los materiales de interés, las longitudes de onda para las cuales el sistema debe realizar la simulación de las muestras son 465 nm (azul), 525 nm (verde), 590 nm (ámbar), y 633 nm (rojo). Las fuentes de luz LED utilizadas para espectroscopia, encontradas en la búsqueda de antecedentes no contemplan todas estas longitudes de onda, sino otras en específico. La intención de este proyecto es crear una fuente de iluminación versátil y escalable que cumpla los requerimientos contemplados en la Norma E1164 (Obtaining Spectrometric Data for Object-Color Evaluation).

TEORÍA

La espectroscopia es el estudio de la absorción o emisión de radiación electromagnética en función de la longitud de onda (frecuencia, número de onda) dirigida a identificar la composición de una substancia. Actualmente existen diversas técnicas espectroscópicas que son nombradas según su aplicación o forma en la que se emite o se detecta la radiación electromagnética.

La interacción entre la radiación electromagnética y la materia resulta en la observación de tres procesos fundamentales íntimamente ligados: Reflexión, Transmisión y Absorción.

Los dos primeros tienen lugar debido a una discontinuidad del índice de refracción en la trayectoria de propagación de la onda electromagnética. Si no existen pérdidas, una fracción de la luz incidente es reflejada hacia el medio de incidencia con índice de refracción n_i y la restante es transmitida a través de la interfaz al medio con índice de refracción n_t . El modelo teórico empleado para predecir esta redistribución de la energía considera un campo eléctrico que incide sobre la interfaz a un ángulo θ_i que es separado en dos componentes vectoriales, la primera que es paralela (E_{ip}) al plano de incidencia y la segunda que es perpendicular (E_{is}) al mismo plano. Debido a que los campos eléctricos reflejados y transmitidos deben tener las mismas componentes vectoriales, un conjunto de cuatro ecuaciones (referidas como las Ecuaciones de Fresnel) resultan al aplicar las condiciones de continuidad, y las cuales son escritas como:

$$r_p = \frac{E_{rp}}{E_{ip}} = \frac{n_t \cos \theta_i - n_i \cos \theta_t}{n_t \cos \theta_i + n_i \cos \theta_t}$$

$$r_s = \frac{E_{rs}}{E_{is}} = \frac{n_i \cos \theta_i - n_t \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_i + n_t \cos \theta_t}$$

$$t_p = \frac{E_{tp}}{E_{ip}} = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_t \cos \theta_i + n_i \cos \theta_t}$$

$$t_s = \frac{E_{ts}}{E_{is}} = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_i + n_t \cos \theta_t}$$

donde r_p y r_s son los coeficientes de reflexión calculados a partir de las componentes de campo eléctrico reflejadas con una dirección paralela (E_{rp}) y perpendicular (E_{rs}) al plano de incidencia, respectivamente. De forma análoga, los coeficientes de transmisión t_p y t_s consideran las componentes de campo eléctrico E_{tp} y E_{ts} transmitidas. θ_t está relacionada con θ_i por medio de la ley de Snell. Por último, la absorción es un proceso que depende de la naturaleza electrónica del objeto iluminado e involucra una transformación de la energía electromagnética inicial a otra, que puede incluir procesos tanto radiativos como no radiativos.

Usualmente, los medios con absorción lineal son modelados con la Ley de Beer-Lambert,

$$I = I_0 e^{-\alpha t}$$

donde I_0 es la irradiancia incidente, I es la irradiancia total que resulta transmitida después de interactuar con el medio una distancia o camino óptico t y α es el coeficiente de absorción.

El producto αt es conocido como la absorbancia A .

Generalmente, en el campo de acción de la espectroscopia, las medidas experimentales son obtenidas con un haz incoherente no polarizado de excitación que incide normalmente sobre la interfaz y arrojan, para cada longitud de onda, las medidas de reflectancia

$$R = |r_s|^2 = |r_p|^2,$$

y de transmitancia

$$\left(\frac{n_i}{n_t}\right) T = |t_s|^2 = |t_p|^2$$

Estas cantidades, junto con la absorbancia, están relacionadas mediante el principio de la conservación de la energía, esto es,

$$R + T + A = 1$$

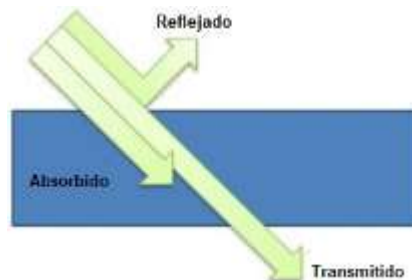


Figura 1. Procesos derivados de la interacción radiación materia: Reflexión, Transmisión y Absorción.

Fuentes de estado sólido: LEDs

Un diodo emisor de luz (LED, Light Emitting Diode), es un dispositivo semiconductor de estado sólido que emite radiación óptica en un espectro reducido. Esto sucede cuando se polariza de forma directa su unión PN y es excitado por una corriente eléctrica⁴. Los LEDs están optimizados para producir la

mayor cantidad de luz del color correcto a la potencia más baja⁵. En sus inicios los LED se emplearon como lámparas indicadoras para sustituir las bombillas incandescentes.

Actualmente estos dispositivos ofrecen disímiles ventajas sobre las fuentes de luz convencionales, por lo que han ganado popularidad y han ido invadiendo el mercado. Esto se debe a su fiabilidad, robustez, tamaño pequeño, bajo consumo, costo relativamente bajo. Además estos dispositivos ofrecen una conmutación mucho más rápida que otras lámparas y sobre todo una vida útil superior a las 5mil horas. Este tipo de lámparas LEDs son usadas para aplicaciones de longitud de onda única, en la determinación de propiedades ópticas como Absorción, Reflexión y Transmisión. Las aplicaciones que cubren los LED son tan diversas que envuelven las principales áreas tecnológicas tales como la Medicina, la Nanotecnología, la Bioingeniería, Aeronáutica y la Industria Automotriz (luces traseras, luces de tráfico, tableros de instrumentos de automóviles, etc)⁶.

La luz emitida por un diodo emisor de luz tiene una longitud de onda específica y por lo tanto un color específico. Este último depende del material semiconductor del LED. Cada LED tiene un color de luz que se limita a una longitud de onda de alcance muy estrecho, denominada longitud de onda dominante, que representa un color de luz específico. La producción de luz blanca puede hacerse mediante fotoluminiscencia o mediante la mezcla aditiva de colores utilizando luz azul, verde y roja⁷.

Sistemas de colimación para fuentes de luz extendida

La luz se considera colimada cuando sus rayos son paralelos entre sí, eliminando totalmente la divergencia y se suele decir que la luz colimada está enfocada en el infinito. La colimación de la luz suele ser un proceso complejo y en la mayor parte de los casos esta no será completa.

Este proceso no depende únicamente de la luz, sino también de los elementos ópticos que se empleen y de fenómenos ópticos tales como las aberraciones cromáticas o las interferencias⁸.

En los diseños de sistemas de imágenes todo el empeño se centra en la óptica de imágenes. Pero la iluminación puede ser un factor igualmente importante en el éxito de tales sistemas. Las principales preocupaciones en la óptica de iluminación no son las aberraciones y la calidad de la imagen, sino el rendimiento óptico, la buena uniformidad espacial o angular, y la capacidad de dispersar la luz de manera eficiente sobre un área específica a una distancia dada de la fuente⁹.

Colimación para fuentes LED

Para colimar un LED con una distribución de intensidad radiante tal que su cono de luz (es decir, el ancho total a la mitad del máximo) sea menor a 180° se puede emplear una lente esférica cuya apertura numérica sea igual o mayor a la del LED. La apertura numérica de la fuente de luz (NA_{haz}) está dada por:

$$NA_{\text{haz}} = n \sin(\theta/2)$$

La condición $NA_{\text{haz}} \leq NA_{\text{lente}}$ maximiza el rendimiento de la luz al garantizar que la mayoría de las emisiones del LED inciden en la lente colimadora⁹. La divergencia después de la lente esférica estará dada por:

$$\theta' = \frac{D_s}{F_l}$$

donde θ' es la divergencia del haz colimado, D_s es el diámetro de la fuente y F_l es la distancia focal de la lente. La divergencia puede ser mejorada disminuyendo el tamaño de la fuente o aumentando la distancia focal de la lente colimadora. Una forma de determinar el diámetro del haz colimado (D_c) después de la lente sería:

$$D_c = 2NA_{\text{haz}}F_l$$

De la relación D_c se puede decir que en la medida que se reduce θ' se aumenta el diámetro del haz colimado debido al aumento de F_l con el diámetro de la fuente constante. Bajo esta misma condición a medida que aumenta la distancia focal de la lente existe un compromiso entre maximizar el rendimiento de la luz y minimizar la divergencia del haz. En casos donde se necesite enfocar la luz

en un punto se puede colocar otra lente esférica, preferiblemente con distancia focal mayor a la de colimación de forma tal que la apertura numérica de la fuente disminuya, y con esto la divergencia en el foco (θ'').

$$S_d = D_s \left(\frac{F_{foco}}{F_l} \right)$$

$$\theta'' = 2NA_{haz} \left(\frac{F_l}{F_{foco}} \right)$$

donde S_d es el diámetro de la mancha en el plano focal, y F_l es la distancia focal efectiva de la segunda lente esférica. El uso de las lentes esféricas no es funcional para fuentes LEDs que tienen emisión de todo un hemisferio (180°), ya que se hace imposible recolectar todo el cono de luz.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se presenta un prototipo de fuente de iluminación LED para la caracterización espectroscópica de materiales automotrices. En esencia se hizo el diseño de modo tal que cumpla con las condiciones necesarias para la caracterización de las muestras, y además con el fin de lograr una variante económica y eficiente para la medición de las propiedades ópticas que se desean obtener. Los módulos que componen el sistema se enlistan a continuación:

- Módulo de iluminación LED
- Módulo mecánico
- Módulo electrónico
- Módulo óptico
- Interfaz de usuario
- Fuente de voltaje externa estándar

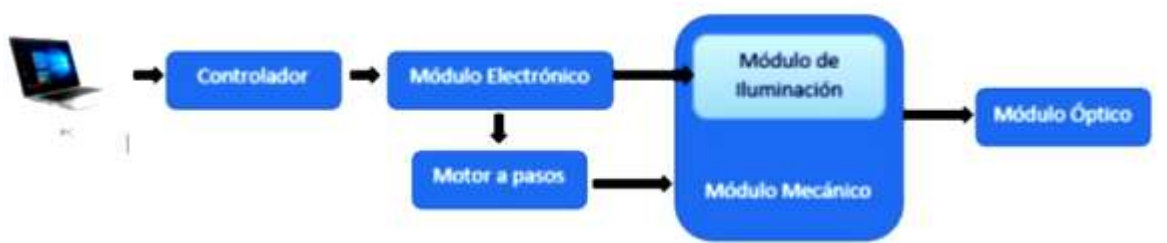


Figura 2. Esquema general de la fuente de iluminación

Módulo de iluminación LED

Actualmente, existe una gran variedad de LEDs en el mercado los cuales se pueden seleccionar teniendo en cuenta las necesidades a satisfacer y las aplicaciones para las cuales serán seleccionados. Para ello se debe tener en cuenta la potencia, longitud de onda de emisión, ancho de banda espectral y voltaje de alimentación. Con la finalidad de que las simulaciones resulten lo más reales posibles, se intencionó diseñar la fuente de iluminación con los LEDs que utilizan en la iluminación de los paneles automotrices. El arreglo consta de 4 LEDs con las longitudes de onda de interés para la caracterización de las muestras, las cuales son 465nm (azul), 525nm (verde), 590nm (ámbar) y 633nm (rojo). Estos LEDs son del tipo TOPLED de montaje superficial, de bajo consumo eléctrico y tienen integrado su propio reflector. El LED azul es de NICHIA y los tres restantes son de OSRAM.

Módulo mecánico.

Este módulo forma una parte importante para el diseño final del prototipo. Esta sección se encarga de posicionar los LEDs a la salida de la fuente. Para esto se emplea un motor a pasos que se encarga

de mover todo el sistema con una resolución angular de 1.8° por paso¹⁰, controlado por una tarjeta Arduino, a través de un driver de micropaso A4988.

El uso de este tipo de motores a paso permite:

- Alta precisión
- Fácil control (este se realiza mediante pulsos)
- Se puede controlar posición, velocidad y sentido de giro.
- Alto torque desde el arranque.

Este sistema cuenta con una base de latón de una longitud de 22cm, sobre la que se desliza una pieza de aluminio gracias a la corredera en forma de cola de milano de 11cm de largo. Al emplear estos tamaños permite que la fuente pueda ser adaptada con facilidad para aplicaciones donde se requiera aumentar el número de LEDs. El motor se une a la varilla roscada de 1mm de paso de rosca mediante un acoplador flexible de aluminio de 5mm x 5mm.

Este acople permite disminuir los efectos que puedan aparecer debido a errores de alineación. En ambos extremos de la base se encuentran los soportes laterales que llevan empotrados un rodamiento 624zz de acero inoxidable con el fin de servir de soporte a la varilla, mantenerla centrada, alineada y además facilitar el giro evitando rozamientos y desgaste en esta.

Para realizar todo el recorrido de extremo a extremo, el motor desarrolla 3500 pasos con una resolución de $30\mu\text{m}$ por paso. Los LEDs están nivelados horizontalmente y distanciados a 2.54cm, lo que hace que la alineación del LED con la salida de la fuente sea viable, sobre todo por la resolución lograda. Para realizar el cálculo de la equivalencia entre la distancia de los LEDs y el número de pasos del motor se llevó a cabo un procesamiento de imágenes de las manchas de luz proyectadas en una pantalla, como se muestra en la figura 3. Se utilizó una cámara Canon EOS-Rebel XSi alineada a la salida con un tiempo de exposición de 1/50 y una sensibilidad ISO de 800 para la captura de las imágenes y el procesamiento se realizó en el programa libre GNU Octave.

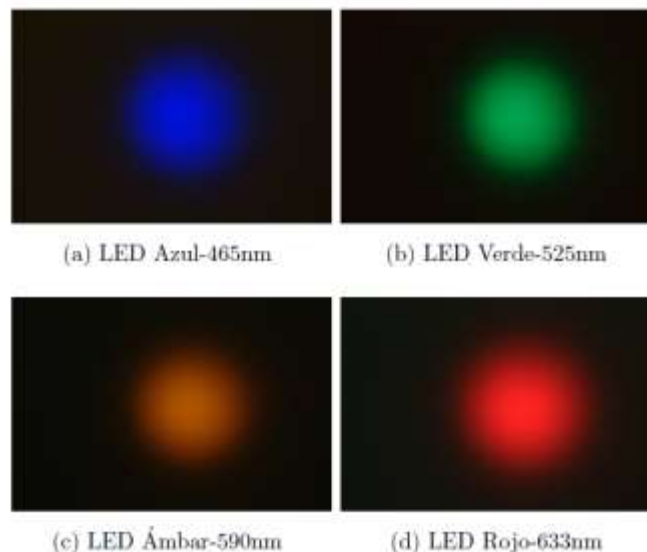


Figura 3. Imágenes de la luz proyectada por cada uno de los LEDs en la pantalla

El análisis consistió en varias corridas de posicionamiento de cada uno de los LEDs y determinar el centroide de cada mancha proyectada en la pantalla a la salida de la fuente.

Módulo óptico

Una condición necesaria para lograr mediciones confiables es la colimación del haz de salida de la fuente de iluminación. En todos los casos de los LEDs empleados, se comportan como emisores Lambertianos, por lo que un patrón de radiación de este tipo hace que los rayos de luz salgan en todas las direcciones. Al tener un encapsulado que contiene una lente primaria y reflector hacen que

los rayos se redireccionen a 120° . Para el fin que se empleará la fuente este patrón de radiación no es conveniente.

Con el objetivo de lograr una divergencia mínima en la salida de la fuente se empleó un sistema de lentes compuesto por dos lentes condensadoras esféricas de Thorlabs (ACL 2520U-DG 15-A, ACL 2520U-A). Estas dos lentes (L1 y L2) presentan una constante de conicidad de -0.6265 , para un perfil de superficie *Elipsoide de revolución cerca del eje mayor*¹¹. Sus diámetros son de 25mm con distancia focal efectiva de $20\text{mm} \pm 8\%$. Los LEDs son colocados a una distancia de 18mm de la lente L1, la cual en su superficie plana cuenta con un difusor para homogeneizar la mancha de luz. La segunda lente (L2) y la tercera lente es plano convexa de 30mm de diámetro y distancia focal equivalente a 105mm. Esta lente está sujeta del extremo de un cañón de salida con 80mm de largo, por lo que L3 no se coloca a su distancia focal, sino a 80mm. Con este arreglo óptico se logra un haz de salida de la fuente de 3cm de diámetro con una divergencia de aproximadamente 2° .

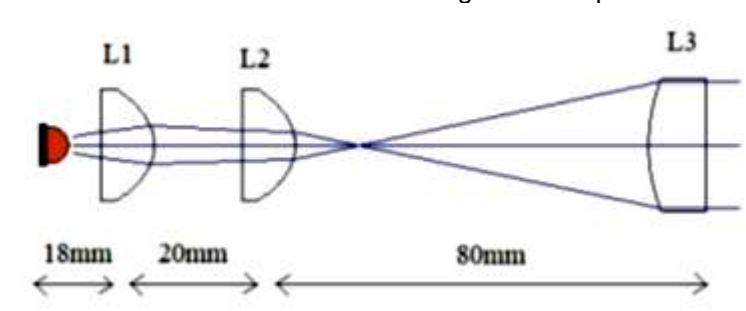


Figura 4. Arreglo Óptico para la colimación del haz de salida de la fuente

Interfaz de usuario

El control de este sistema de iluminación se realiza desde la computadora y a través de una interfaz de usuario. La misma fue desarrollada en Labview 2018 e implementada utilizando una tarjeta Arduino Mega. Esta tarjeta es utilizada para la adquisición de bajas señales y a través de Labview se realiza la gestión por medio de la comunicación serial USB. El usuario puede seleccionar la longitud de onda con la que desea realizar las mediciones, de una forma sencilla y práctica.

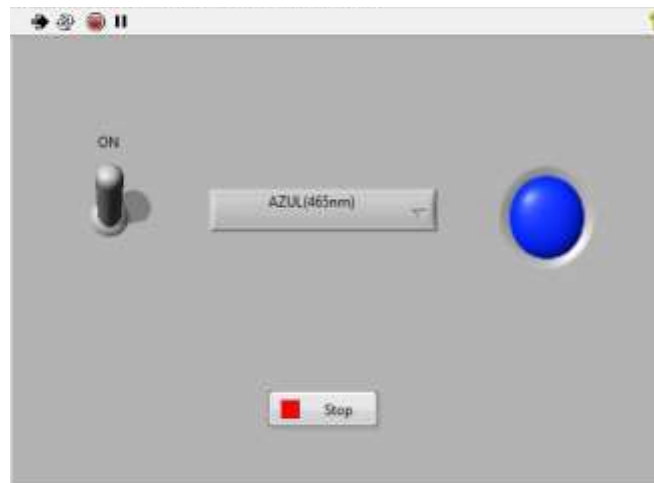


Figura 5. Interfaz de usuario

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la caracterización de fuente de iluminación se hizo un estudio de sus propiedades estáticas.

Estabilidad de los LEDs

Para determinar el corrimiento del pico de emisión de cada uno de los LEDs empleados en la fuente, se obtuvieron sus espectros en diferentes intervalos de tiempo. El periodo de prueba cuenta desde el instante en que fueron encendidos a intervalos de 15min hasta transcurrida 1 hora. En la figura 6 se puede observar que los corrimientos durante las pruebas son relativamente pequeños, siendo así, el rojo desarrolla un corrimiento de 0.98nm, el verde de 2.45nm, el ámbar de 0.79nm y el azul no desarrolla desplazamiento apreciable. Estos resultados apuntan a que las mediciones espectroscópicas realizadas con la fuente no deben tener errores considerables por este concepto.

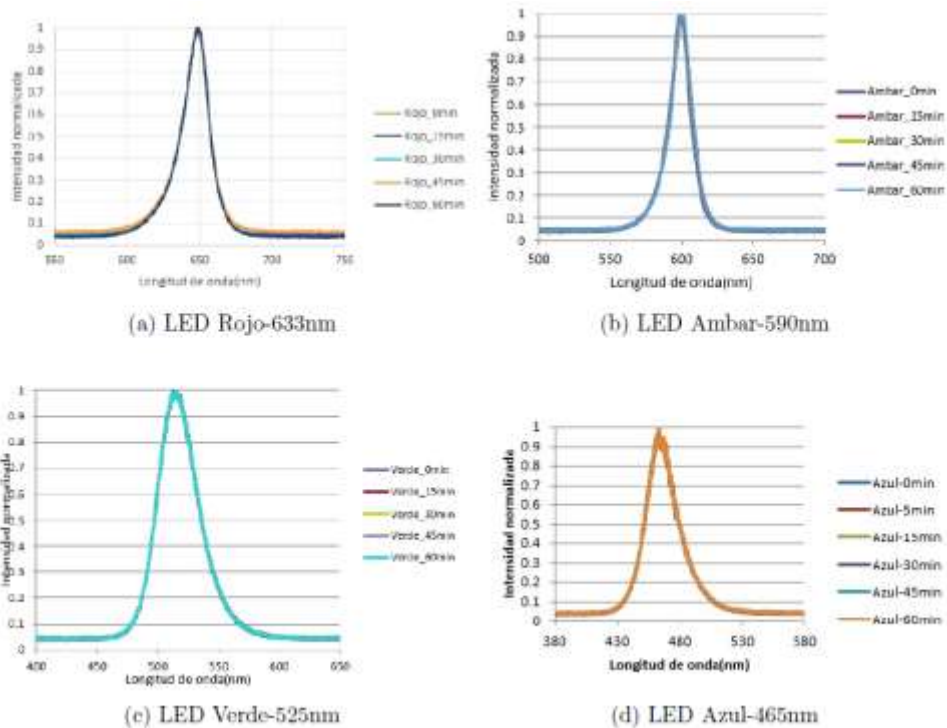


Figura 6. Estabilidad de los picos de emisión de los LEDs empleados.

Repetibilidad del posicionamiento

Para confirmar el correcto posicionamiento de los LEDs se realizó un procesamiento de imágenes como se explicó anteriormente. Para ello se aplicó un igual número de pasos para la distancia entre LEDs de modo que se obtuvieron las mismas coordenadas para el centroide de todas las imágenes tomadas. Se hicieron un total de 12 corridas en las dos direcciones (Rojo ↔ Azul), para un total de 48 imágenes procesadas. Debido a la correcta colocación de los LEDs en la placa deslizante y a la alineación del sistema óptico, el centroide de las imágenes obtenidas siempre se encuentra en la misma posición.

Homogeneidad de la mancha de luz de salida

Las imágenes obtenidas de la mancha de luz de cada uno de los LEDs fueron convertidas en imágenes cuadradas, a las cuales se les extrajo el vector de la diagonal de la matriz que representa a cada una de las imágenes para mostrar su perfil gaussiano.

Luego se sustituyó la pantalla donde se proyectaron las imágenes por un papel milimétrico, de donde se obtuvo una relación de aproximadamente 25 píxeles/mm. Considerando que todos los LEDs no son igual de intensos, se determinó el máximo de amplitud para cada uno y se estableció un criterio de análisis de homogeneidad en 1 cm de diámetro para todos los LEDs, de un haz de salida de 3

cm de diámetro. La figura 7 muestra la mancha proyectada en la pantalla para el LED rojo a la salida de la fuente y el perfil gaussiano que representa su vector diagonal. Cada uno de los perfiles gaussianos tiene marcado en rojo el rango de análisis de homogeneidad para el cono de luz de salida de la fuente.

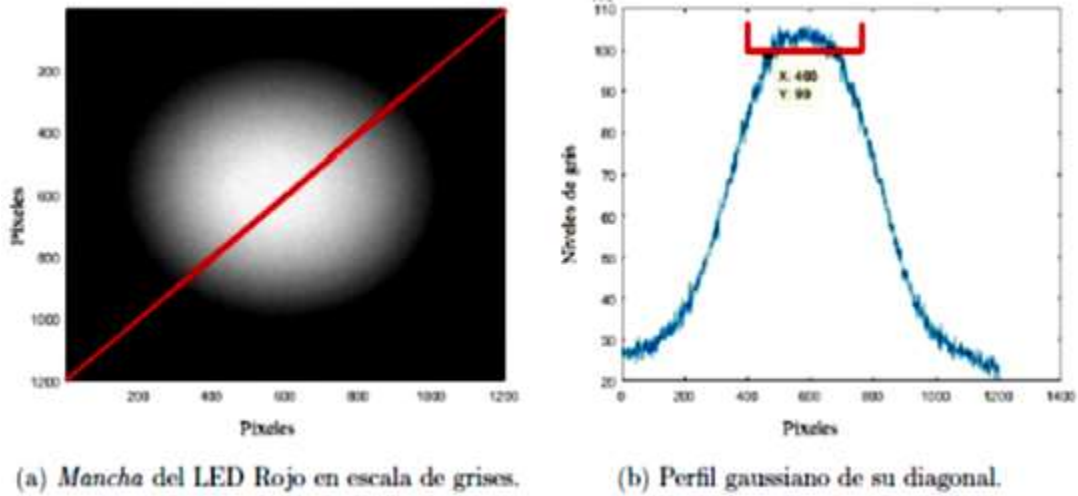


Figura 7. Mancha de luz del LED Rojo con su perfil de intensidad.

En la tabla 1 se muestran las desviaciones estándar de los niveles de gris en el diámetro más efectivo de la mancha (10 mm) de los cuatro LEDs de la fuente.

Color (nm)	Desviación estándar (Niveles de gris)
Rojo(633nm)	2
Ámbar(590nm)	2
Verde (525nm)	2
Azul(465nm)	2

Tabla 1. Desviación estándar de los niveles de gris en el diámetro más efectivo de la mancha de luz.

Medición de propiedades ópticas

Para la medición de las propiedades ópticas se empleó el arreglo que se muestra en la figura 8,

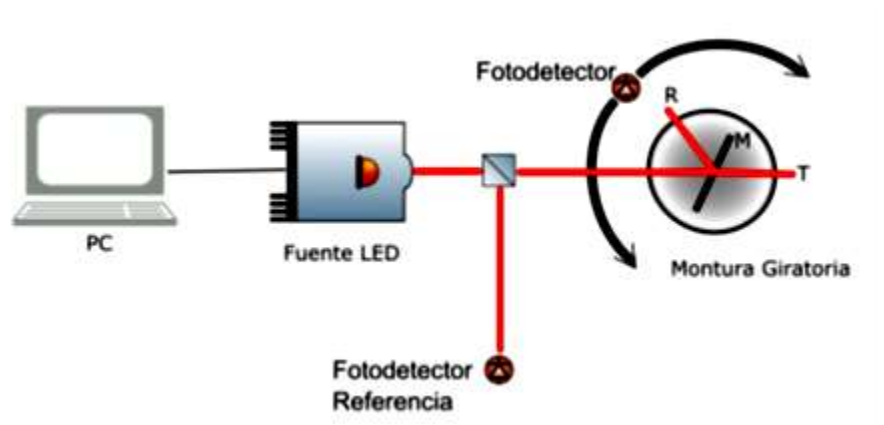


Figura 8. Esquema para la obtención de propiedades ópticas. M: muestra, R: haz reflejado, T: haz transmitido.

Para comprobar la factibilidad de la fuente LED en las mediciones de propiedades ópticas se determinó la reflectancia y la transmitancia de tres divisores de haz con las razones de división de 70/30E, 70/30 y 50/50. Estas propiedades ópticas fueron obtenidas con un goniofotómetro diseñado y maquinado en el laboratorio. La calibración del instrumento se realizó con una referencia blanca difusa obtenida en el laboratorio con reflectancia difusa del 99%. En todos los casos se tomaron 5 mediciones por cada longitud de onda de interés.

Las figuras 9 y 10 muestran las curvas de reflectancia y transmitancia respectivamente, con sus barras de error para cada longitud de onda de interés con la fuente de iluminación LED y comparándola con el Lambda 900.

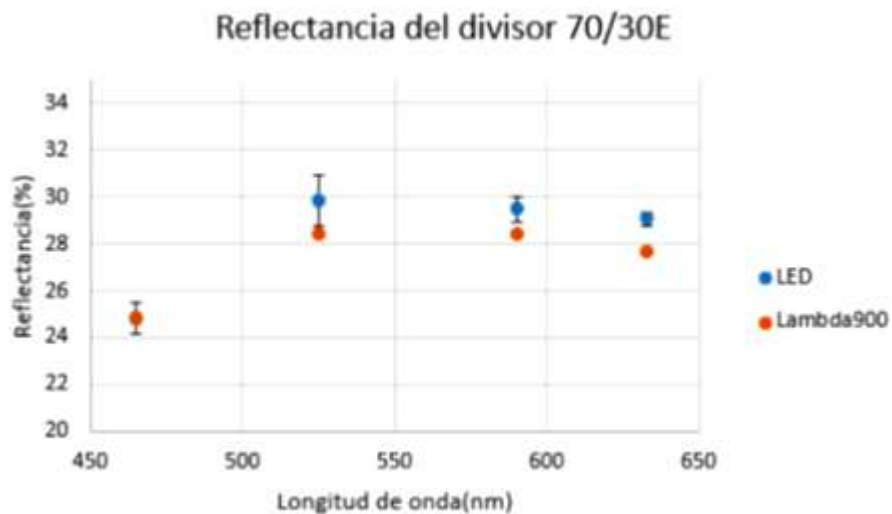


Figura 9. Reflectancia del divisor 70/30E.

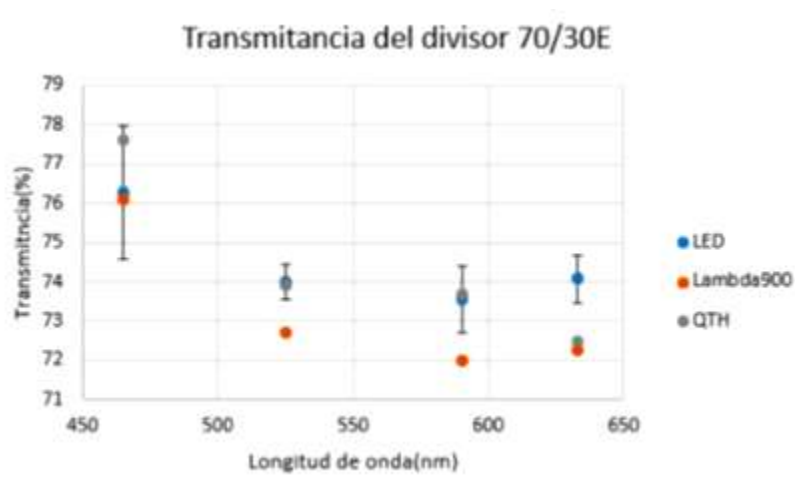


Figura 10. Transmitancia del divisor 70/30E.

En las tablas 2 y 3 se establece una comparación de los resultados obtenidos con la fuente LED contra los obtenidos con el espectrómetro de prueba (Lambda900). Además con el dispositivo multiangular diseñado y fabricado en el laboratorio se hicieron comparaciones entre la fuente LED y la fuente espectral QTH.

Longitud de onda(nm)	de	Reflectancia Prom.(%)	Incertidumbre (%)	LED vs QTH (%)	LED vs Lambda 900 (%)
465		24.84	0.65	1.34	0.04
525		29.88	1.1	2.1	1.48
590		29.48	0.55	1.1	1.08
633		29.06	0.3	1.56	1.6

Tabla 2. Reflectancia obtenida con el divisor 70/30E.

Longitud de onda(nm)	de	Reflectancia Prom.(%)	Incertidumbre (%)	LED vs QTH (%)	LED vs Lambda 900 (%)
465		76.28	1.7	1.31	0.18
525		74	0.45	0.1	1.3
590		73.54	0.85	0.16	1.53
633		74.08	0.44	1.58	1.8

Tabla 3. Transmitancia obtenida con el divisor 70/30E.

De los datos mostrados se obtiene una diferencia promedio en la medición con respecto a la realizada con el espectrómetro Lambda 900 de 1.06% en reflectancia y en transmitancia 1.27% para el Lambda 900 y 0.79% para la fuente QTH.

Estabilidad de las mediciones

Para hacer un análisis de la estabilidad de las mediciones obtenidas con la fuente LED se midió la transmitancia del divisor 50/50 por un periodo de tiempo de 60 minutos en intervalos de 5 minutos. Debido a que el LED verde es el que más se desplaza en su pico de emisión para este mismo periodo de prueba, las mediciones de transmitancia se realizaron para esta longitud de onda (525nm). Los resultados obtenidos se muestran en la figura 11, en la cual no se aprecian derivas, esto debido a que la estabilización de los LEDs es inmediata, condición esta que no se presenta en las fuentes espectrales tradicionales. La desviación estándar obtenida es de 0.35% en el intervalo de medición.

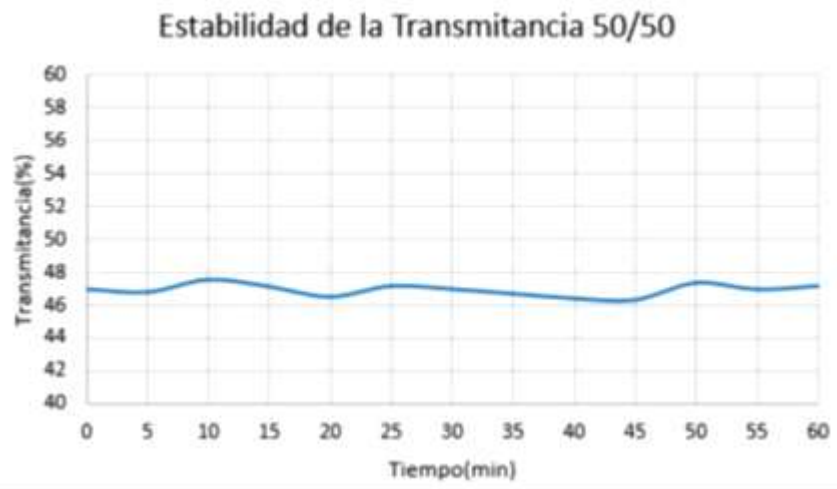


Figura 11. Estabilidad de la Transmitancia para el divisor de haz 50/50.

CONCLUSIONES

El diseño y construcción de un sistema optomecatrónico de iluminación LED para la caracterización espectroscópica de superficies automotrices fue desarrollado en este trabajo. El uso de esta fuente de iluminación crea una alternativa viable y económica para aplicaciones espectroscópicas. El sistema está diseñado con dispositivos semiconductores cuasimonocromáticos LEDs. Las fuentes comerciales a base de estos elementos no cuentan con las longitudes de onda implicadas en la caracterización de superficies automotrices, o en su defecto, las longitudes de onda que permiten combinar en sus arreglos ópticos no contemplan estas cuatro longitudes de onda empleadas en este trabajo (465nm, 525nm, 590nm y 633nm). Debido a las condiciones de monocromaticidad de los LEDs, este módulo de iluminación permite prescindir de instrumentación como las fuentes espectrales tradicionales y monocromadores en las mediciones. Los rangos de error de la fuente diseñada con respecto a la fuente de referencia QTH no superan el 1 %, para una aplicación final que maneja tolerancias de error en la medición del 5 %. El sistema mecánico en el que se basa esta fuente permite ser adaptada para aplicaciones donde se requieran mayor cantidad de longitudes de onda, con una resolución de 30 μ m/paso con oportunidad de mejorar estos valores. Se comprobó que los LEDs utilizados tienen una estabilidad adecuada para el tipo de aplicación en la que son empleados. Este tipo de fuentes basadas en LEDs tienen una velocidad de conmutación alta, y no requieren de un tiempo de estabilización. Debido a esto las mediciones de las propiedades ópticas no se ven afectadas por la deriva de la fuente de radiación, obteniendo una desviación estándar del 0.35% en 1 hora de prueba.

BIBLIOGRAFÍA

1. Malacara, Daniel, Color vision and colorimetry: theory and applications, Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur 28.1 (2003): 77-78.
2. F. J Burgos, M. Vilaseca, E. Perales, E. Chorro, F. Martínez, J. Fernández, J. Pujol, Validation of a gonio-hyperspectral imaging system based on light-emitting diodes for the spectral and colorimetric analysis of automotive coatings, Applied Optics 56(25) (2017) 7194-7203. <https://doi.org/10.1364/AO.56.007194>
3. Marco Antonio González Cantellano and Luis Manuel Montaña Zetina. La espectroscopia y su tecnología: Un repaso histórico y su importancia para el siglo xxi. Latin- American Journal of Physics Education, 9(4):13, 2015.

4. Diario Oficial de la Federación. Norma oficial mexicana nom-030-ener-2016, eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.
5. Ron Lenk and Carol Lenk. Practical lighting design with LEDs. John Wiley & Sons, 2017.
6. Digikey. Iluminación led para horticultura. <https://www.digikey.es/es/producthighlight/w/wurth-electronics/led-it-grow>, 2019. Accedido 27-05-2019.
7. LEDVANCE GmbH. Conocimiento ledvance: los colores de luz led. <https://www.ledvance.es/productos/conocimiento-del-producto/elementos-basicosled/colores-de-luz-led/index.jsp>, 2019. Accedido 27-05-2019.
8. José Manuel Prat Fernández, *Desarrollo instrumental de un microscopio mediante sistemas de iluminación láser y LED*, PhD thesis, Escuela Politécnica Superior. Ferrol. Universidad de Coruña, Junio 2015.
9. Diaz, E., & Knobl, M. (2012). Prototyping illumination systems with stock optical components. Photonik Int., Fellbach, Germany.
10. Schneider Electric Motion USA. NEMA size 17 1.82-phase stepper motor. NEMA17 stepper motor Quick Reference R060210.
11. Alma A Camacho and Cristina Solano. Superficies esféricas aplicadas a la óptica. Revista Mexicana de Física, 45(3):315{321, 1999.

DESARROLLO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL ANÁLISIS DE LA MARCHA HUMANA

Alexander Azpeitia Ponce, Mónica Martínez Olguín, Laura Luz Ortega Cruz, Luis Alberto Zamora Campos, Julio César Ramos Fernández, Javier Hernández Pérez, José Gerardo Benítez Morales y Miguel Ángel Aguilera Jimenez

Universidad Politécnica de Pachuca.

alexander111992@hotmail.com, monicamo@upp.edu.mx, luzortga@upp.edu.mx,
luisalberto@upp.edu.mx, jramos@upp.edu.mx, jahdez@upp.edu.mx, josegerardo@upp.edu.mx,
maaguilera@upp.edu.mx

RESUMEN

De acuerdo con Donald A. Neumann la marcha es una necesidad básica para desplazarse de un lugar a otro y su observación aporta información sobre el resultado de una serie compleja de interacciones “ocultas” entre las funciones sensoriales y motoras. Para que una persona camine, el sistema nervioso central debe generar acciones motoras apropiadas a partir de la integración de las referencias sensoriales visual, propioceptiva y vestibular. Esta observación o propiamente dicho, este análisis de la marcha es posible realizarlo a partir de capturas con una cámara y tanto el conocimiento, como la experiencia de especialistas; o bien, otra posibilidad es con ayuda de sistemas tecnológicos avanzados dentro de un laboratorio especializado.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema mecatrónico de análisis de la marcha humana, que aporta una solución a la necesidad de contar con un sistema tecnológico que permita examinar la kinesiólogía de la marcha. Ya sea para detectar una alteración en la mecánica corporal, aportar información adicional durante la práctica clínica del personal sanitario, o bien, para generar conocimiento en el desarrollo de dispositivos o equipos asistenciales. Particularmente, en esta primera etapa es posible obtener el resultado de un análisis cinemático de la marcha humana, cuyos resultados aportan información acerca del movimiento de pelvis, cadera, rodilla y tobillo. Adicionalmente es posible conocer las magnitudes de los descriptores espaciales y temporales. Es necesario destacar que el sistema de análisis de la marcha desarrollado se empleó en pruebas experimentales con alrededor de 30 sujetos, generando información útil en el proceso de análisis y validación de resultados. Se concluye, por tanto, que la primera etapa del sistema mecatrónico de análisis aporta información oportuna acerca de la cinemática de la marcha y sienta las bases para una etapa posterior donde el estudio de las fuerzas de reacción del suelo y la electromiografía serán parte importante.

INTRODUCCIÓN

Con base en datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), se observa que, en el año 2010 en México, 5.74 millones personas declararon tener dificultad para realizar al menos una de las siete actividades evaluadas: (1) caminar o moverse; (2) ver; (3) hablar o comunicarse; (4) escuchar; (5) atender el cuidado personal; (6) poner atención o aprender; y (7) limitación mental; es decir, en el país había 5.1% de la población con alguna discapacidad. Sin embargo, esta cifra se incrementó hasta aproximadamente 7.1 millones de personas para el año 2014 (6% de la población) y en el año 2018 la cifra fue de 7.7 millones de mexicanos (6.7% de la población). De dicha población el 50.1% reporta que tiene dificultad para caminar, subir o bajar usando sus piernas; el 49.4% para mover o usar sus brazos o manos; 48.7% para ver (aunque se use lentes); 47.7% para bañarse, vestirse o comer; 45.1% para realizar actividades diarias debido a problemas emocionales o mentales; 43.5% para escuchar (aunque se use aparato auditivo); y 33.6% para aprender, recordar o concentrarse, (el porcentaje es mayor del 100%, debido a que una persona puede reportar discapacidad en más de una actividad). Debido a que prácticamente la mitad de las personas con discapacidad presentan dificultad para caminar, subir o bajar usando sus piernas, se presenta la necesidad de aportar un recurso adicional a la atención de tal situación.

En el estado de Hidalgo entre un 6.1% y 6.7% de habitantes presentan alguna discapacidad y diversas instituciones públicas y privadas aportan capital humano y económico para su atención. La Universidad Politécnica de Pachuca no es la excepción y a través de su Clínica Universitaria de

Rehabilitación Integral (CUREI) proporciona atención a personas que presentan alguna discapacidad, ya sea temporal o permanente. En 2019 del 100% de los pacientes atendidos dentro de la Clínica CUREI, casi el 50% presentaron problemas asociados al miembro inferior. Así que, con la finalidad de contribuir a las actividades de detección de alguna alteración en la mecánica corporal, aportar información adicional durante la práctica clínica del personal sanitario, y para generar conocimiento en el posterior desarrollo de dispositivos o equipos asistenciales, es que se realiza la primera etapa del desarrollo de un sistema mecatrónico para el análisis de la marcha humana.

TEORÍA

El ciclo de la marcha humana

Caminar es una de las actividades más comunes que realiza el ser humano para desplazarse de un lugar a otro. De acuerdo con Neumann, en un escenario ideal el caminar o la marcha se realiza con eficacia, para reducir el cansancio, y evitar caídas y lesiones asociadas. Aunque la marcha parece una actividad sencilla, es posible reconocer el desafío que representa si se observa con detenimiento a las personas en ambos extremos de la vida, o bien, a las personas con limitaciones del movimiento. Debido a que la marcha es el resultado de una serie cíclica de movimientos, entonces, se puede caracterizar adecuadamente por una descripción detallada de su unidad más fundamental: un ciclo de la marcha [1]. Dicho ciclo inicia en cuanto el pie entra en contacto con el suelo. Como el contacto del pie suele producirse con el talón, el punto 0% del inicio del ciclo se denomina contacto del talón. El punto 100% o término del ciclo se produce cuando el mismo pie entra de nuevo en contacto con el suelo. Por lo tanto, la observación o análisis del ciclo aporta información sobre el resultado de una serie de interacciones complejas entre funciones sensoriales y motoras.

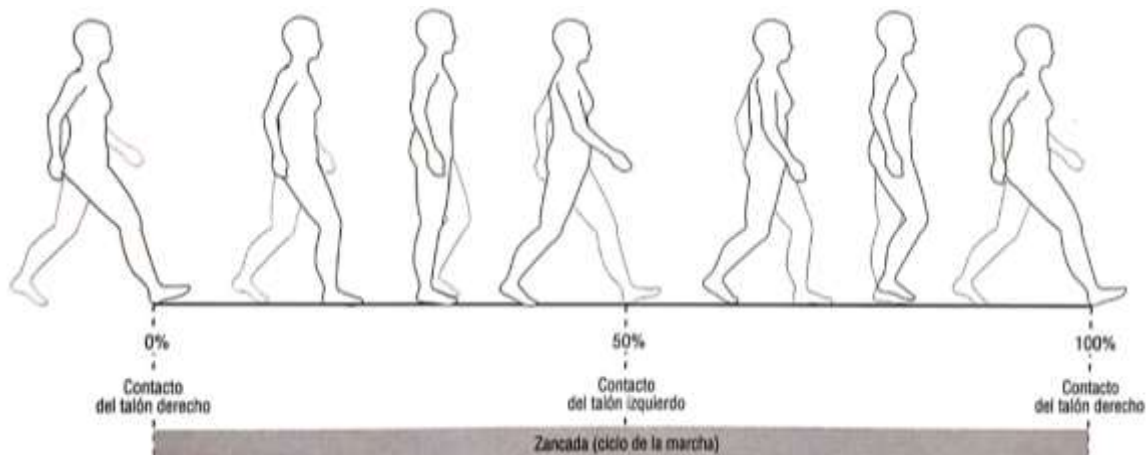


Figura 1. Ciclo de la marcha. Fuente: Neumann [1].

Posición anatómica del cuerpo humano

Los términos anatómicos que describen las relaciones entre las diferentes partes del cuerpo, se basan en la posición anatómica de una persona de pie, con los pies juntos y los brazos a los lados del cuerpo, con las palmas extendidas hacia delante, y se describen a partir del centro de masa de los planos de referencia y los términos que describen las relaciones entre diferentes partes del cuerpo.

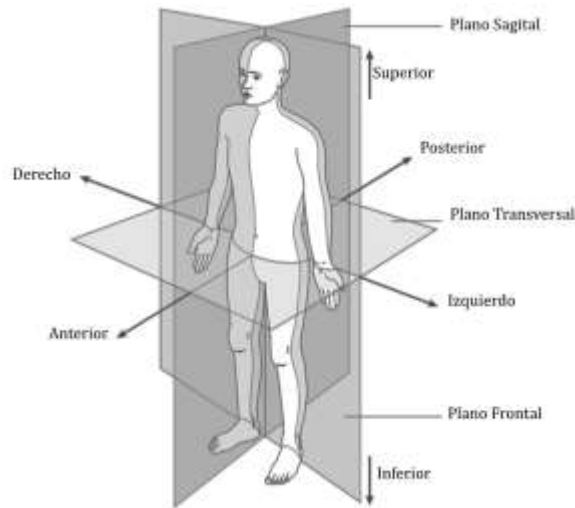


Figura 2. Posición anatómica, con tres planos de referencia y seis direcciones. Fuente: Whittle [2]

Las direcciones de movimiento para la cadera, rodilla, tobillo y el pie son las siguientes:

- Flexión y extensión tiene lugar en el plano sagital; en el tobillo estos movimientos son llamados dorsiflexión y plantiflexión respectivamente.
- Abducción y aducción tiene lugar en el plano frontal.
- Rotación interna y externa tiene lugar en el plano transversal; estos se denominan rotación medial y lateral respectivamente.

Cinemática articular

Durante la marcha, el centro de masa del cuerpo se desplaza linealmente debido a la suma de rotaciones angulares de las articulaciones de las extremidades inferiores. Los movimientos de las articulaciones de las extremidades inferiores se describen en función de la rotación angular. Aunque la rotación angular articular se produzca sobre todo en el plano sagital, existe movilidad importante, aunque de menor magnitud en los planos frontal y horizontal.

El movimiento en el plano sagital de la pelvis es pequeño y por conveniencia se describe como el movimiento de la estructura ósea en sí. Por el contrario, la cinemática en el plano sagital de la cadera, rodilla, y tobillo es de mayor magnitud y se describe como movimiento articular.

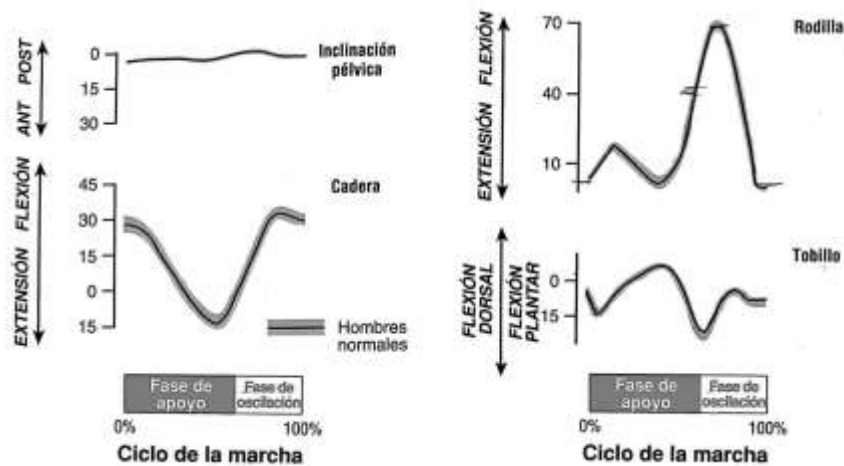


Figura 3. Cinemática articular. Fuente: Neumann [1].

Fases de apoyo y de oscilación

Para describir los acontecimientos que se producen durante el ciclo de la marcha, suele ser habitual subdividir el ciclo de la marcha de 0 a 100 %. Un ciclo completo de marcha de la extremidad inferior derecha se divide en dos fases principales: de apoyo y de oscilación. La fase de apoyo es desde el contacto del talón derecho con el suelo hasta el despegue de los dedos del pie. La fase de oscilación desde el despegue de los dedos hasta el siguiente contacto del talón derecho respectivamente. A una velocidad normal, la fase de apoyo constituye aproximadamente el 60% del ciclo de la marcha, y la fase de oscilación 40%.

Descriptores espaciales

Los descriptores espaciales son aquellos que describen las distancias del ciclo de la marcha: longitud de la zancada, longitud del paso, ancho de la base de sustentación y ángulo del paso.

Descriptores temporales

Los descriptores temporales son aquellos que describen los tiempos de los eventos del ciclo de la marcha: período de apoyo, período de balanceo y periodo de doble apoyo.

Descriptores espaciotemporales

Los descriptores espaciotemporales son aquellos que describen mediciones de tiempo y distancia del ciclo de la marcha: cadencia.

Sistema de captura de movimiento

Existen diversas tecnologías para la captura del movimiento humano tales como: sistemas ópticos, sistemas inerciales, mecanismos de placas de fuerza, zapatos de fuerza, sensores de presión, sensores de electromiografía, sistema de medición goniométrica, sistemas magnéticos, seguimiento acústico y medios portátiles (e.g. teléfonos inteligentes), entre otras. Dichas tecnologías son empleadas para describir distintos aspectos de la marcha humana, como los parámetros cinemáticos, cinéticos, función muscular y más [3].

Particularmente, la tecnología de captura de movimiento por medios ópticos está basada en marcadores y sin marcadores [4]. Los sistemas sin marcadores se consideran con baja precisión y de menor costo, y por el contrario los sistemas con base en marcadores tienen alta precisión y alto costo. Los sistemas ópticos con marcadores también se clasifican en marcadores activos y pasivos, donde el marcador activo emite señales para especificar su posición, mientras que los marcadores pasivos son esferas cubiertas con material reflectante, que refleja la luz incidente, estos marcadores solo se les puede reconocer su posición, pero no identificarlos [5]. La desventaja de los marcadores activos es el uso de cables u otros componentes que pueden afectar el patrón de la marcha del sujeto y la desventaja de los marcadores pasivos es el adicional post-procesamiento.

PARTE EXPERIMENTAL

Colocación de marcadores para identificación de puntos anatómicos

En este trabajo la captura de movimiento se realiza empleando un sistema óptico de alta velocidad con base en marcadores pasivos. Estos marcadores son unas esferas recubiertas con material reflectante, pequeños y ligeros, esto para no afectar los movimientos de la marcha normal y que el paciente no lo note. Su colocación obedece al protocolo de Davis modificado, el cual, considera prominencias óseas como puntos anatómicos de referencia, tales como: el acromion, la espina iliaca anterosuperior, trocánter mayor, cóndilo femoral lateral, cabeza del peroné, maléolo lateral, cabeza del quinto metatarsiano, la séptima vértebra cervical, primera vértebra sacra y calcáneos [6].

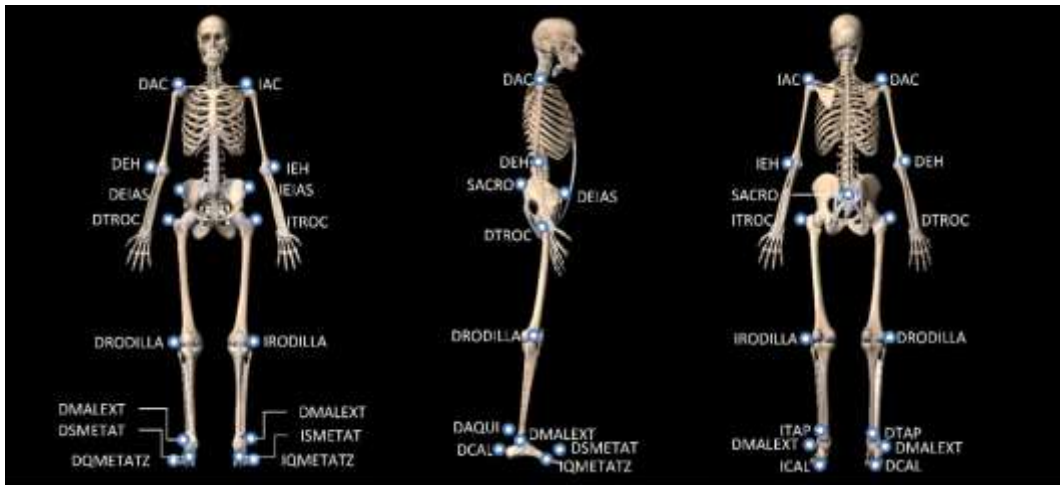


Figura 4. Colocación de marcadores pasivos en puntos anatómicos, para la captura de movimiento.

Los marcadores se colocan sobre los puntos anatómicos seleccionados de una muestra de 30 sujetos. Dicha muestra está compuesta por mujeres cuya edad oscila entre 20 y 22 años, con una altura promedio de 1.6m, sin alteraciones de la marcha, pie normal, sin aparatos ortopédicos y ortésicos, sin cirugías en miembro inferior y sin diagnóstico previo de escoliosis o rectificaciones en algún segmento de la columna.

En la tabla 1 se enlistan los 21 marcadores utilizados para la captura de movimiento. Situación que se debe a que la mayoría de los algoritmos de seguimiento de movimiento se basan en modelos de esqueleto que se han ajustado a una configuración de postura especial y tales primeras identificaciones a menudo requieren de múltiples acciones manuales.

Tabla 1. Marcadores utilizados en la parte experimental de la captura de movimiento.

Marcador	Etiqueta	Descripción
1	DAC	Acromioclavicular derecho
2	IAC	Acromioclavicular izquierdo
3	DEH	Epicóndilo humeral derecho
4	IEH	Epicóndilo humeral izquierdo
5	DEIAS	Espina iliaca anterior superior derecha
6	IEIAS	Espina iliaca anterior superior izquierda
7	SACRO	Primer Vértebra Sacra
8	DTROC	Trocánter mayor derecho
9	ITROC	Trocánter mayor izquierdo
10	DRODILLA	Rodilla (centro en femorotibial externa cara lateral) derecha
11	IRODILLA	Rodilla (centro en femorotibial externa cara lateral) izquierda
12	DMALEXT	Maléolo externo derecho
13	IMALEXT	Maléolo externo izquierdo
14	DAQUI	Tendón de aquiles derecho
15	IAQUI	Tendón de aquiles izquierdo
16	DCAL	Calcáneo derecho
17	ICAL	Calcáneo izquierdo
18	DQMETAT	Cabeza quinto metatarsiano derecho
19	IQMETAT	Cabeza quinto metatarsiano izquierdo
20	DSMETAT	Segundo metatarsiano cara dorsal derecha
21	ISMETAT	Segundo metatarsiano cara dorsal izquierda

Dicha colocación de marcadores se lleva a cabo posterior a la firma de consentimiento informado y la toma de medidas antropométricas de peso, sexo, talla y mediciones en plano frontal, sagital y transversal (Figura 5).



Figura 5. Toma de medidas antropométricas y colocación de marcadores.

Captura de movimiento empleando sistema óptico de alta velocidad

El sistema de captura consta de un espacio cerrado de 8m x 6m, con diez cámaras de alta velocidad (200 fps) y un pasillo de 4.5m x 1m. Una vez colocados los marcadores y con la calibración previa del sistema de captura se inicia una toma de la postura en bipedestación estática de la paciente, durante 20 segundos. Esto con el objetivo de tener una posición de referencia. Después de esta acción se le solicita a la paciente que realice tres recorridos completos sobre el pasillo a marcha normal.



Figura 6. Ejemplo de captura de movimiento mediante el sistema óptico

Tras finalizar el último recorrido, se verifica que el sistema haya capturado toda la nube de puntos asociada a los 21 marcadores y se almacena en la base de datos generada (Figura 7).

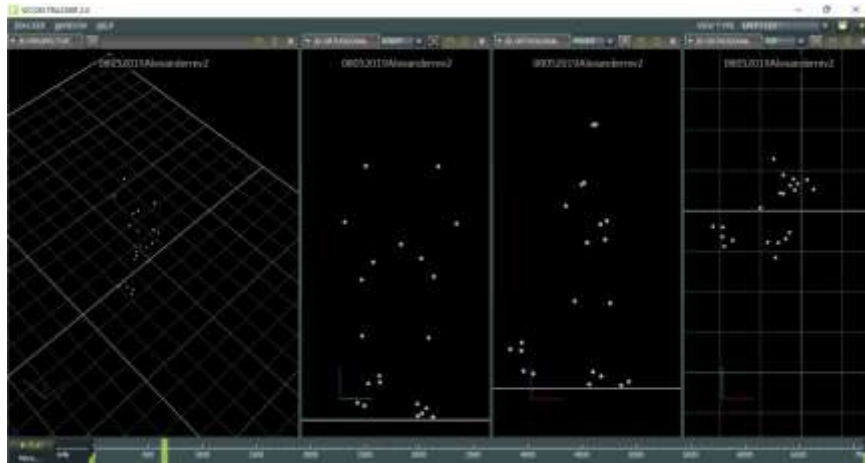


Figura 7. Ejemplo de la nube de puntos obtenida con el sistema de captura.

Procesamiento de datos y desarrollo de aplicación

Después de la captura de datos de los 30 sujetos, se realiza un procesamiento sobre los archivos que conforman la base de datos. Para esto se desarrollan algoritmos pertinentes y también se diseña una aplicación con sus correspondientes interfaces gráficas de usuario. Dichos algoritmos permiten la identificación de marcadores de la pelvis, acromio-claviculares, epicóndilos humerales, trocánter mayor, rodilla, tobillo y pies. Además, la extracción de valores cinemáticos en el plano sagital, tales como: flexión-extensión de brazos, inclinación pélvica, flexión-extensión de cadera, flexión-extensión de rodilla y flexión-extensión de tobillo. Extracción de valores cinemáticos de la marcha en el plano frontal, tales como: descenso pélvico, inversión-eversión calcáneo y contactos iniciales. Cálculo de parámetros espaciales, temporales y espacio-temporales.

A continuación, se presenta un ejemplo del algoritmo desarrollado para calcular la cinemática de brazos, cadera, inclinación pélvica, rodilla y tobillo.

Algoritmo 6 Algoritmo para calcular cinemática de Brazos, Cadera, Inclinación Pélvica, Rodilla y Tobillo

```

Input: (DACX,DACZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 del Maléolo Externo Izquierdo
Input: (IACX,IACZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 de la Vértebra Sacra
Input: (DEHX,DEHZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 del Maléolo Externo Derecho
Input: (IEHX,IEHZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 del Quinto Metatarsiano Izquierdo
Input: (DEIASZ,DEIASZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 de la Espina Iliaca Derecha
Input: (IEIASX,IEIASZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 del Maléolo Externo Izquierda
Input: (DRODILLAX,DRODILLAZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 de la Rodilla Derecha
Input: (DTROCX,DTROCZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 del Trocánter Mayor Derecho
Input: (IRODILLAX,IRODILLAZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 de la Rodilla Izquierda
Input: (ITROCX,ITROCZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 del Trocánter Mayor Izquierdo
Input: (DMALEXTX,DMALEXTZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 del Maléolo Derecho
Input: (IMALEXTX,IMALEXTZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 del Maléolo Izquierdo
Input: (DQMETATX,DQMETATZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 del Quinto Metatarsiano Derecho
Input: (IQMETATX,IQMETATZ) % Coordenadas (X,Z) de mx2 del Quinto Metatarsiano Izquierdo
Output:  $\theta_{BrazoD}$  % mx1 Ángulo Brazo Derecho
Output:  $\theta_{BrazoI}$  % mx1 Ángulo Brazo Izquierdo
Output:  $\theta_{asp}$  % mx1 Ángulo Inclinación Pélvica
Output:  $\theta_{MusloD}$  % mx1 Ángulo Muslo Derecho
Output:  $\theta_{MusloI}$  % mx1 Ángulo Muslo Izquierdo
Output:  $\theta_{RodillaD}$  % mx1 Ángulo Rodilla Derecha
Output:  $\theta_{RodillaI}$  % mx1 Ángulo Rodilla Izquierda
1:  $\theta_{BrazoD} = \text{atand}((DEHX - DACX)/(DACZ - DEHZ))$ 
2:  $\theta_{BrazoI} = \text{atand}((IEHX - IACX)/(IACZ - IEHZ))$ 
3:  $MEIPZ = (DEIASZ + IEIASZ)/2$ 
4:  $MEIPX = (DEIASX + IEIASX)/2$ 
5:  $\theta_{asp} = -(\text{atand}((MEIPZ - SACROZ)/(MEIPX - SACROX)) + (\theta_{N Pelvis}))$ 
6:  $\theta_{MusloD} = \text{atand}((DRODILLAX - DTROCX)/(DTROCZ - DRODILLAZ))$ 
7:  $\theta_{MusloI} = \text{atand}((IRODILLAX - ITROCX)/(ITROCZ - IRODILLAZ))$ 
8:  $\theta_{PiernaD} = \text{atand}((DRODILLAX - DMALEXTX)/(DRODILLAZ - DMALEXTZ))$ 
9:  $\theta_{RodillaD} = \theta_{PiernaD} + \theta_{MusloD}$ 
10:  $\theta_{PiernaI} = \text{atand}((IRODILLAX - IMALEXTX)/(IRODILLAZ - IMALEXTZ))$ 
11:  $\theta_{RodillaI} = \theta_{PiernaI} + \theta_{MusloI}$ 
12:  $ld1 = \sqrt{(DQMETATZ - DRODILLAZ)^2 + (DQMETATX - DRODILLAX)^2}$ 
13:  $ld2 = \sqrt{(DRODILLAZ - DMALEXTZ)^2 + (DRODILLAX - DMALEXTX)^2}$ 
14:  $ld3 = \sqrt{(DQMETATZ - DMALEXTZ)^2 + (DQMETATX - DMALEXTX)^2}$ 
15:  $\theta_{ATobilloD} = -\text{acosd}((ld1^2 - ld2^2 - ld3^2)/(-2 * ld2 * ld3))$ 
16:  $\theta_{TobilloD} = -(\theta_{ATobilloD} + \theta_{CTobilloD} - 90)$ 
17:  $li1 = \sqrt{(IQMETATZ - IRODILLAZ)^2 + (IQMETATX - IRODILLAX)^2}$ 
18:  $li2 = \sqrt{(IRODILLAZ - IMALEXTZ)^2 + (IRODILLAX - IMALEXTX)^2}$ 
19:  $li3 = \sqrt{(IQMETATZ - IMALEXTZ)^2 + (IQMETATX - IMALEXTX)^2}$ 
20:  $\theta_{ATobilloI} = -\text{acosd}((li1^2 - li2^2 - li3^2)/(-2 * li2 * li3))$ 
21:  $\theta_{TobilloI} = -(\theta_{ATobilloI} + \theta_{CTobilloI} - 90)$ 

```

Para una correcta interpretación de los resultados se genera una aplicación que permite la visualización de cada uno de los parámetros de la marcha.

En la figura 8 se presenta un ejemplo de la interface, donde se presenta la extracción de los valores cinemáticos articulares de la marcha.

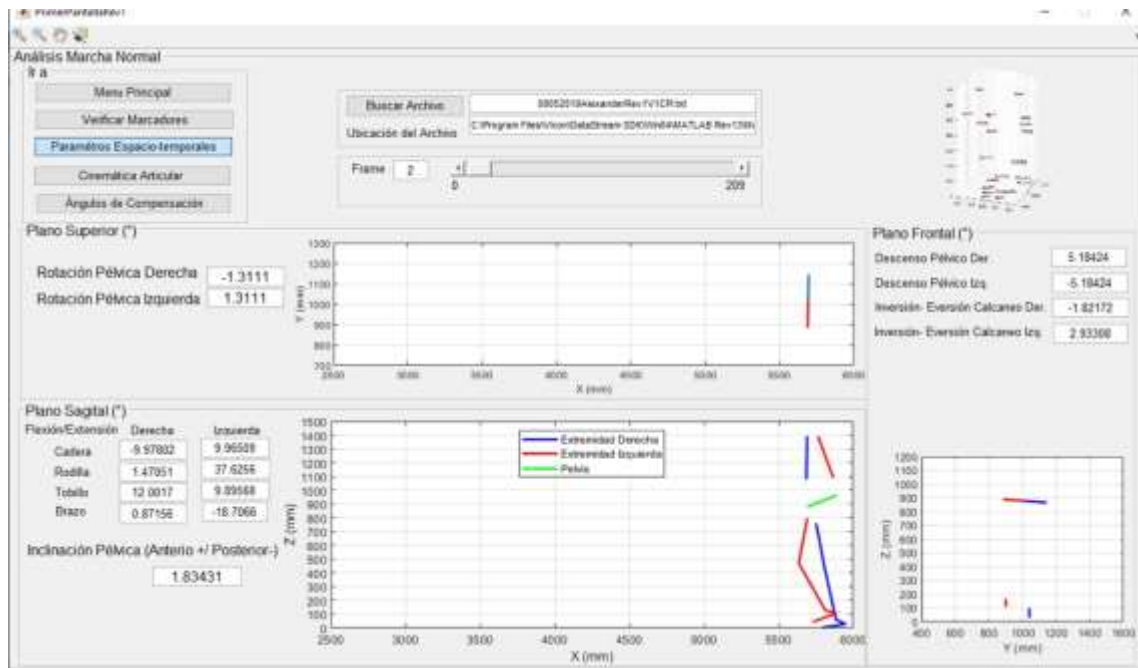


Figura 8. Ejemplo de interface para extracción de valores cinemáticos articulares.

RESULTADOS

El análisis de los resultados se lleva a cabo mediante un tratamiento con estadística descriptiva, donde se hace un comparativo entre los parámetros obtenidos por medio de experimentación y los datos reportados en la literatura especializada. A continuación, se presenta un ejemplo de resultados asociados a los parámetros temporales de una participante.

Tabla 2. Ejemplo de resultados y comparativo con valores presentes en la literatura.

Sujeto 1	Parámetros Temporales		
Parámetros Temporales	Media	D.E	Literatura
Tiempo de zancada derecha (s)	1.246	0.035	Hombres: 0.89-1.32 s,
Tiempo de zancada izquierda (s)	1.24	0.042	Mujeres: 0.87-1.22 s [1]
Tiempo de paso derecho (s)	0.624	0	Hombres: 0.444-0.659 s,
Tiempo de paso izquierdo (s)	0.622	0.021	Mujeres: 0.434-0.61 s [1]
Tiempo total deambulaci3n (s)	1.864	0.056	-

Adem3s de los resultados presentados de forma num3rica, tambi3n se presentan de manera gr3fica para una mejor comprensi3n por parte del personal sanitario en su pr3ctica cl3nica. En la figura 9 se presenta un ejemplo de las gr3ficas articulares que muestran el comportamiento del sujeto, respecto su ciclo de marcha. N3tese que en esta etapa todas las pacientes incluidas en el estudio presentan marcha normal.

De estos resultados ya es posible la extracci3n de valores cinem3ticos en el plano sagital, tales como: flexi3n-extensi3n de brazos, inclinaci3n p3lvica, flexi3n-extensi3n de cadera, flexi3n-extensi3n de rodilla y flexi3n-extensi3n de tobillo. Extracci3n de valores cinem3ticos de la marcha en el plano frontal, tales como: descenso p3lvico, inversi3n-eversi3n calc3neo y contactos iniciales.

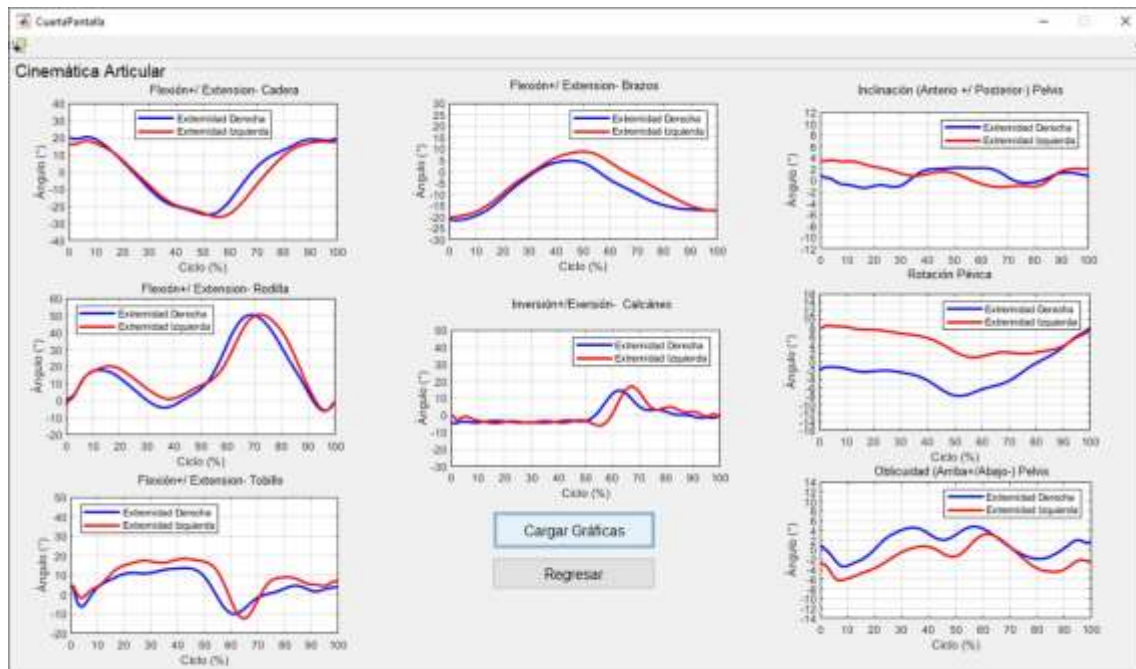


Figura 9. Ejemplo de gráficas articulares del 0 al 100% del ciclo de la marcha.

CONCLUSIONES

La Universidad Politécnica de Pachuca contribuye con este trabajo al incremento del conocimiento de los sistemas de análisis de la marcha, mediante la aportación de la primera etapa de un sistema mecatrónico para análisis de la marcha humana. Dicha aportación permite sentar las bases para posteriores desarrollos que incidan en la detección de alguna alteración de la mecánica corporal en pacientes, información adicional durante la práctica clínica del personal sanitario y el desarrollo de dispositivos o equipos asistenciales.

En esta sección se presentan las conclusiones y se describen las principales aportaciones disponibles, las cuales buscan fortalecer la línea de investigación denominada: Diseño e Innovación en Sistemas Mecatrónicos. Además, se integran algunas recomendaciones que permitirán incrementar los beneficios del sistema desarrollado. Se concluye por tanto que:

1. El conocimiento de los aspectos anatómicos de la extremidad inferior es fundamental, pues de esta manera se logra el manejo de la terminología asociada y la comprensión de lo que los expertos en salud y rehabilitación requieren. Por ejemplo: en la parte experimental, tanto para la obtención de medidas antropométricas como para la colocación de los marcadores ópticos era necesario identificar diversos aspectos anatómicos de interés y el hecho de que se pudiera hablar en los mismos términos con las fisioterapeutas era básico y de gran ayuda. Además, para realizar las mediciones pertinentes fue necesario identificar huesos, articulaciones, ligamentos y músculos.
2. La comprensión de la biomecánica de la extremidad inferior es de gran valor, puesto que ésta nos permite conocer la cinemática y dinámica de la marcha, que son la parte medular de un estudio sobre la marcha humana.
3. Debido a que el conocimiento que se genera en todas las partes del mundo es de gran valor y las aportaciones que hacen los expertos al ámbito científico son recursos poderosos para generar soluciones, se hizo necesario dar una revisión continua a la bibliografía disponible y artículos científicos de algunas bases de datos pertinentes. Esto con la finalidad de aprender de los desarrollos similares, comparar la propuesta aquí presentada e identificar las oportunidades de mejora.
4. El reconocimiento de los marcadores se logró satisfactoriamente, una vez que se fabricaron con las diversas medidas pertinentes. Empleando para ello: diseño asistido por computadora (CAD), manufactura aditiva (impresión 3D) y recubrimiento de la superficie mediante una capa reflectora apropiada. También, se logró de manera favorable su colocación en los puntos anatómicos de

interés, con ayuda de la codirectora del trabajo de tesis, mediante el uso de un protocolo Davis modificado para su ubicación anatómica precisa.

5. El desarrollo de los algoritmos de procesamiento de los datos permitió obtener un sistema de análisis confiable y de valor para posteriores etapas de análisis.

6. La interface proporciona información valiosa para el personal sanitario, en su valoración adicional durante la práctica clínica.

7. La generación de conocimiento en el posterior desarrollo de dispositivos o equipos asistenciales.

BIBLIOGRAFÍA

1. D.A. Neumann, "Fundamentos de rehabilitación física", (Editorial Paidotribo, 2007). Chapter 15. pp. 532-579
2. M. Whittle. "Gait Analysis. An Introduction" (Butterworth. Heinemann. Elsevier Ltd. 2007). pp. 2-5.
3. A. Muro et al, "Gait Analysis Methods: An overview of Wearable and Non-Wearable Systems, highlighting clinical applications" *Sensors*, Vol. 14, 2014, pp. 3362-3394.
4. L. Yang, et al. "3-D Markerless Tracking of Human Gait by Geometric Trilateration of Multiple Kinects. *IEEE Systems Journal*, Vol. 12, 2. 2016, pp. 1393-1403.
5. C. Prakash, et al. "Identification of Spatio-Temporal and Kinematics Parameters for 2-D Optical Gait Analysis System Using Passive Markers". *IEEE 2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications*, 2015, pp. 143-149.
6. R. Davis, et al. "A Gait Analysis Data Collection and Reduction Technique". *Human Movement Science*. Vol 10. 1991, pp. 575-587.
7. R. Baker, "The History of Gait Analysis Before the Advent of Modern Computers. *Gait & Posture*, Vol. 26, 3. 2007, pp. 331-342.
8. S, Collado, "La marcha: Historia de los procedimientos de análisis". *Biociencias. Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud*. Vol 2. 2004, pp. 635-644.
9. R. Morris, et al. "A Review and Evaluation of Available Gait Analysis Technologies, and their Potential for the Measurement of Impact Transmission". *Newcastle University*, 2010. pp. 1-15.
10. M. Akhtaruzzaman, et al. "Gait Analysis: Systems, Technologies, and Importance. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, Vol. 16, 7. 2016, pp.1630003 (45 pages)
11. M. Weber, et al. "Enhancing Motion Capture Performance by Means of an Internal Anthropometric Skeleton Model". *Technical report, SAE Technical Paper*, 2008, pp.1-8.
12. M. Kadaba, et al. "Measurement of Lower Extremity Kinematics During Level Walking". *Journal of Orthopaedic research*, Vol.8,3. 1990, pp.383-392.

AUTOMATIZACIÓN ELECTRONEUMÁTICA DE DISPOSITIVO DOSIFICADOR POR GRAVEDAD PARA PRODUCTOS GRANULADOS Y EN POLVO

Juan Pablo Razón González¹, Dennise Ivonne Gallardo Alvarez², José Miguel García Guzmán³,
Nestor León Vega⁴, Israel Durán Belman⁵

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

jurazo@itesi.edu.mx ¹, degallardo@itesi.edu.mx ², migarcia@itesi.edu.mx ³, neleon@itesi.edu.mx ⁴,
isduran @itesi.edu.mx ⁵.

RESUMEN

En la actualidad la industria demanda soluciones que optimicen el tiempo y la precisión de sus procesos de envasado y dosificación; de esta manera se reduce el desperdicio y se incrementa el margen de ganancia de las empresas. Las necesidades del sector industrial de vanguardia están orientadas a las nuevas directrices de la industria 4.0, misma que involucra un cambio radical para la integración de nuevas tecnologías como la robótica, la analítica, la inteligencia artificial, las tecnologías cognitivas, la nanotecnología y el Internet of Things (IoT), entre otros. Las organizaciones deben identificar las tecnologías que mejor satisfacen sus necesidades para invertir en ellas. Si las empresas no comprenden los cambios y oportunidades que trae consigo la Industria 4.0, corren el riesgo de perder cuota de mercado. En este trabajo se presenta la automatización electroneumática de un sistema dosificador de productos granulados y en polvo usando el programa Festo Fluidsim®. Un dosificador por gravedad se compone de un contenedor elevado que aprovecha la energía potencial y a través de una válvula controla la cantidad de producto en función de la ecuación de flujo másico y de un sistema flexible de control de tiempos de apertura para una mayor precisión en el suministro de producto, evitando de esta manera el desperdicio de producto y las pérdidas económicas derivadas de los tiempos muertos o tiempos de retrabajo al reingresar los contenedores y vehículos a la línea de llenado de productos granulados o en polvo. Este sistema tiene la flexibilidad para modificar los tiempos de llenado de acuerdo a las estimaciones de flujo másico de los diferentes productos. El algoritmo de solución está basado en técnicas de Big Data que manejan diferentes valores de acuerdo a las características de los productos y a la capacidad de cada envase, optimizando los tiempos de recambio entre contenedores y evitando que el sistema trabaje en vacío. La solución presentada permite la implementación de bajo costo, con una técnica simplificada y una precisión alta comparada a los métodos convencionales; además de que incorpora elementos que permiten tener un control de lazo cerrado para monitorear que el producto efecyivamente se esté suministrando y que el sistema no trabaje en vacío.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un gran universo de alternativas ingenieriles que ofrecen soluciones a las necesidades de los sectores productivos a un costo relativamente elevado. Con los avances tecnológicos que se han presentado con el paso del tiempo se ha permitido el desarrollar sistemas más confiables desde el punto de vista de la automatización, esto en aras de optimizar los procesos productivos en industrias tan diversas como la petrolera, metalúrgica, automotriz, alimentaria y agroalimentaria, entre otras. En el caso de la industria agroalimentaria se presenta el caso de un sistema dosificador por gravedad para productos granulados o en polvo, el cual se emplea por ser una alternativa de solución simple que aprovecha la energía potencial de un contenedor elevado; pero también se observa que la dosificación de producto no es eficiente ni precisa al no tener pleno control.

Las necesidades de los sectores industriales de vanguardia están orientadas a las nuevas directrices de la industria 4.0, misma que involucra un cambio radical para la integración de nuevas tecnologías como la robótica, la inteligencia artificial, las tecnologías cognitivas, la nanotecnología, el Internet of Things (IoT), entre otras. Los sistemas automatizados están fundamentados en algunas de estas tecnologías y pretenden hacer más eficientes los procesos productivos. Estas tecnologías se combinan para innovar los procesos productivos, optimizando de esta manera y para optimizar los tiempos de llenado y minimizar el desperdicio de productos.

La electroneumática es una de las técnicas de automatización más utilizadas por el sector industrial, ya que permite procesos de producción rápidos, limpios, seguros y de bajo costo en comparación a otras tecnologías. Los sistemas de producción en serie se basan principalmente en la electroneumática para controlar el movimiento de mecanismos con una alta precisión en operaciones de producción, selección de piezas, pegado de etiquetas, selección y envasado de productos (Airtec, 2019).

Estas soluciones son las que tienen la mayor difusión y el reconocimiento dentro del sector industrial, debido a su pero su elevado costo los hace de difícil acceso para el sector educativo. Los principales fabricantes de estos componentes neumáticos y Electroneumáticos son Festo® y SMC®, quienes desarrollan sus válvulas, mangueras, cilindros y accesorios en general de acuerdo a las normas DIN 43605 e ISO 1219-2 para cubrir las exigencias de la industria actual. (Festo-Didactic, 2019).

Se considera un dosificador de fertilizante en polvo por gravedad para llenar camiones con contenedores abiertos; dicho sistema se emplea en empresas de la región del centro del país, particularmente en el estado de Guanajuato. Este caso particular se emplea como apoyo didáctico a la asignatura de Sistemas Hidráulicos y Neumáticos de Potencia de la carrera de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato del Tecnológico Nacional de México. Se presenta una solución basada en un sistema electroneumático que controla los tiempos de apertura y cierre de una válvula de compuerta para permitir el paso del producto en polvo. El tiempo de apertura dependerá de la densidad y del peso específico del producto, estos factores están ligados a la ecuación de flujo másico.

La solución propuesta permite el cálculo de los tiempos de apertura y cierre de manera intuitiva a partir de un sistema flexible y fácilmente reconfigurable que permite llenar los contenedores sin desperdiciar producto ni tener tiempos muertos por una dosificación errónea. De acuerdo al tamaño de la tubería de descarga de producto se realiza un ajuste en la ecuación de flujo másico para recalcular los tiempos de dosificación de producto y de esta manera poder suministrar la cantidad precisa de fertilizante. Este trabajo presenta una aplicación que emplea técnicas de Big Data para manejar grandes conjuntos de datos complejos procedentes de nuevas fuentes, mismos que no pueden gestionarse de manera convencional; sin embargo, estos datos masivos pueden utilizarse para abordar problemas ingenieriles que antes no hubiera sido posible solucionar (Oracle, Oracle, 2013).

Para comprender el significado de “Big Data”, resulta útil conocer los antecedentes históricos, como la definición de Gartner que lo describe como “datos que contienen una mayor variedad y que se conoce como volúmenes crecientes y a una velocidad superior”. Esto se conoce como “las tres V”: Volumen, Variedad y Velocidad; parámetros a los que se han agregado otras dos “V”: Valor y Veracidad (Sicular, Forbes, 2013). El Volumen en Big Data hace referencia a la cantidad de datos no estructurados de baja densidad que se procesarán. La Variedad hace referencia a los diversos tipos de datos disponibles y la Velocidad es el ritmo al que se reciben y se les aplica alguna acción. Los dos criterios restantes, Valor y Veracidad, agregan un valor intrínseco, y resulta igualmente importante determinar la veracidad de los datos y cuánto se puede confiar en ellos (Oracle, 2013).

METODOLOGÍA

El núcleo académico de la carrera de Ingeniería Electromecánica identificó la importancia de considerar casos prácticos reales para incluirlos como un apoyo didáctico en las asignaturas de Ingeniería de Control y en Sistemas Hidráulicos y Neumáticos de Potencia. Derivado de esta necesidad y considerando las recomendaciones del El Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A. C (CACEI), para mejorar los atributos del perfil de egreso del ingeniero electromecánico se desarrolló en colaboración con una empresa de la región, el estudio de un caso práctico y la propuesta de automatización. El circuito electroneumático fue desarrollado en su totalidad en el programa Festo Fluidsim®. Este sistema de control ofrece controlar el tiempo de

dosificación, suministrar con precisión el fertilizante en polvo y brindar un sistema de control intuitivo y eficiente.

Sistemas de unidades

Para el sistema de control electroneumático se deben considerar diferentes parámetros que se van a traducir en tiempos de apertura y cierre de la válvula dosificadora que controla el flujo del producto en polvo. Uno de estos parámetros es la presión de operación del sistema neumático. Se debe considerar la humedad en el ambiente, ya que podría condensarse y formar grumos en el producto e impedir que pueda ser dosificado. Otro parámetro a considerar es la densidad del polvo para poder determinar los tiempos de llenado.

El flujo másico es la magnitud que expresa la variación de la masa en función del tiempo. Esta característica es utilizada en sistemas de tuberías, toberas, turbinas, compresores, difusores y en válvulas dosificadoras. En este sistema se propone una válvula tipo compuerta para controlar el paso del fertilizante en polvo. Las unidades del flujo másico son las correspondientes a la masa por unidad de tiempo; es decir, los kilogramos/segundo (kg/s). Se puede expresar el flujo másico como la densidad (ρ), por un diferencial de volumen mostrado, como se presenta en la ecuación 1

$$\partial m = (\rho)(\partial V) = (\rho)(Q) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde se refiere el gasto del material que está fluyendo por el sistema y el cual se requiere controlar para la apertura y cierre de la válvula dosificadora. Es de suma importancia tener en consideración la importancia del cálculo del flujo del fertilizante en polvo que vaya a circular por el sistema en todo momento; en caso de no contemplar este cálculo el sistema de dosificación se comportará de manera irregular, esto se traducirá en un suministro impreciso e irregular del producto. También debe considerarse la superficie del sistema por donde será suministrado el fertilizante en polvo, por lo tanto, se debe emplear una variante de la ecuación 1 donde el volumen es modificado.

El volumen se puede expresar como el producto de una superficie (S) que representa el área de sección transversal de la tubería entrante, normalmente esto hace referencia a las tuberías que conectan el sistema dosificador con la válvula dosificadora, mismas que dependen de la posición por un diferencial de longitud, siendo este la porción de dicha tubería cuyo contenido entra en el sistema por unidad de tiempo y donde la expresión se modificará como se muestra en la ecuación 2

$$\partial m = (\rho)(S)(\partial r) \quad \text{Ec. 2}$$

Desde el enfoque del control moderno basado en lógica difusa o fuzzy logic, es más práctico el hecho de generalizar o realizar un análisis basado en un modelo ideal; de acuerdo, se supone que se tiene un flujo unidimensional, es decir, con densidades y secciones constantes e independientes de la posición lo que permite reducirlo como se muestra en la ecuación 3

$$m = \rho VS \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

m= Flujo másico

V= Velocidad de flujo

S= Área de sección transversal del tubo

ρ = Densidad del fluido o material

Simulaciones

Se consideró el amoniaco como fertilizante en polvo y los parámetros de entrada fueron los siguientes:

m= Flujo Másico

V= Velocidad de flujo 1.8287m/s

S= Área de flujo de $2.95 \times 10^{-2} \text{m}^2$ (para tubo de 8pulg)

ρ = Densidad del fluido o material 0.73kg/m³

Para estos datos se generó una relación con los valores de tiempo de apertura para las diferentes dosificaciones de masa y peso. En la tabla 1 se muestra

Tabla 13 Tiempos de apertura en minutos cotejada contra masa y peso dosificado

Tiempo (min)	Masa (kg)	Peso (N)
1	15.7271	154.2824
2	31.4541	308.5649
3	47.1812	462.8473
4	62.9082	617.1297
5	78.6353	771.4122
10	157.2706	1542.8244
15	235.9059	2314.2365
30	471.8117	4628.4731
45	707.7176	6942.7096
75	1179.5293	11571.1827
90	1415.4352	13885.4193
150	2359.0587	23142.3655
180	2830.8704	27770.8385
240	3774.4939	37027.7847
270	4246.3056	41656.2578
360	5661.7408	55541.6771
420	6605.3642	64798.6233

Partiendo de los resultados mostrados en esta tabla se determinaron los tiempos de apertura para reconfigurar el sistema de control de la válvula de compuerta.

Diseño de circuito electroneumático

Durante esta etapa se desarrollaron diferentes sistemas neumáticos para observar y analizar sus características más destacadas y comparar sus principales ventajas y desventajas. El circuito neumático seleccionado presenta el control de un cilindro neumático de doble efecto para cierre/apertura de una válvula de compuerta. El cilindro cuenta con válvulas estranguladoras de flujo unidireccionales para controlar la velocidad de avance y retroceso del vástago del cilindro, además de permitir velocidades diferentes en la apertura y cierre de la válvula. Este circuito cuenta con una válvula con pilotaje neumático y retardo a la conexión que funciona como un temporizador mecánico y que permite en conjunto con un contador de ciclos, en esta configuración se determina que un ciclo equivale a un minuto pero presenta el problema de que al término de cada ciclo la válvula de compuerta se cierra y vuelve a abrirse; esto representa tiempos muertos e imprecisión en la dosificación del producto, como lo muestra la figura 1:

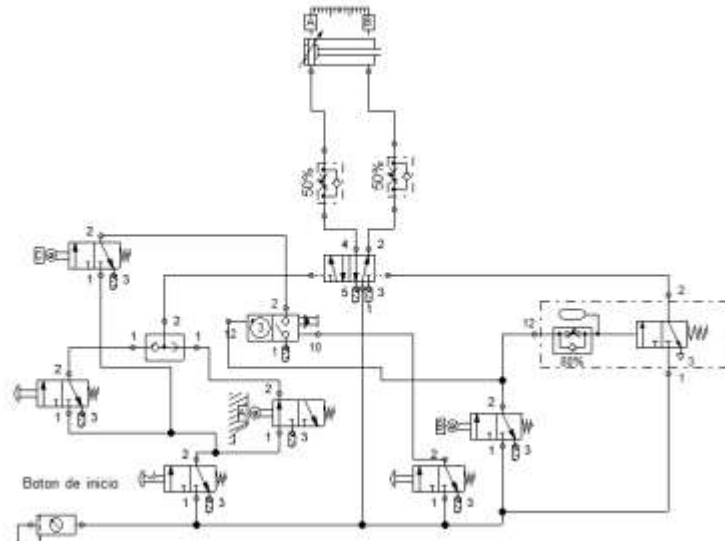


Figura 29 Circuito neumático

Analizando el circuito, se identificaron diferentes elementos de los cuales se puede prescindir para simplificar el sistema sin comprometer su funcionalidad; estos elementos son algunas válvulas 3/2 con accionamiento por rodillo y retorno por resorte, una válvula con accionamiento por botón con enclavamiento y otra con accionamiento por botón pulsador y con retorno por resorte, además de un contador de ciclos y de una válvula selectora. En la figura 2 se ilustran los elementos que serán retirados del sistema para su simplificación previo a la reasignación de las marcas de control y etiquetas

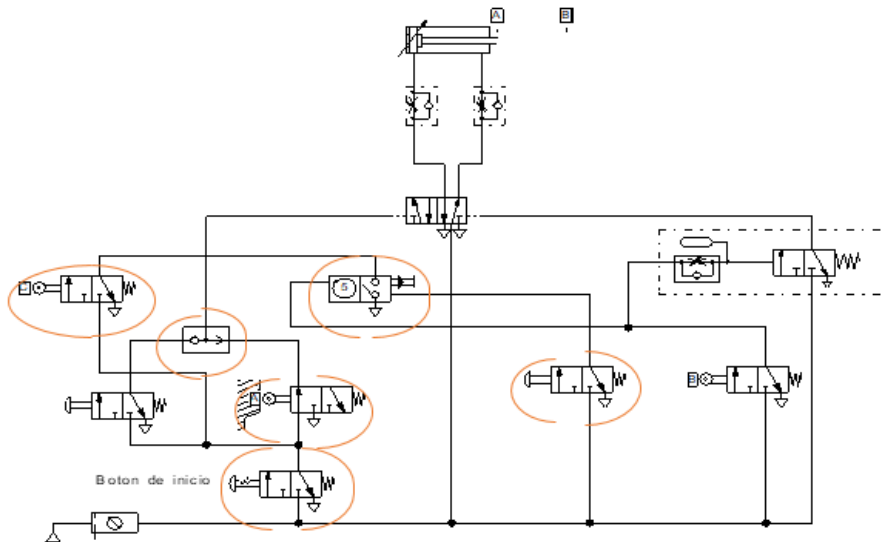


Figura 30 Componentes retirados para simplificación

El sistema simplificado incluye un cilindro de doble efecto, mismo que es controlado por una válvula 5/2 con doble pilotaje neumático que recibe las señales desde una válvula 3/2 accionada por botón

pulsador y desde una válvula con retardo a la conexión que a su vez es controlada por una válvula 3/2 accionada por rodillo y retroceso por resorte. Este circuito cumple con la función medular de controlar el avance y retroceso del vástago que a su vez controlará a la válvula de compuerta. Este sistema simplificado se presenta en la figura 3

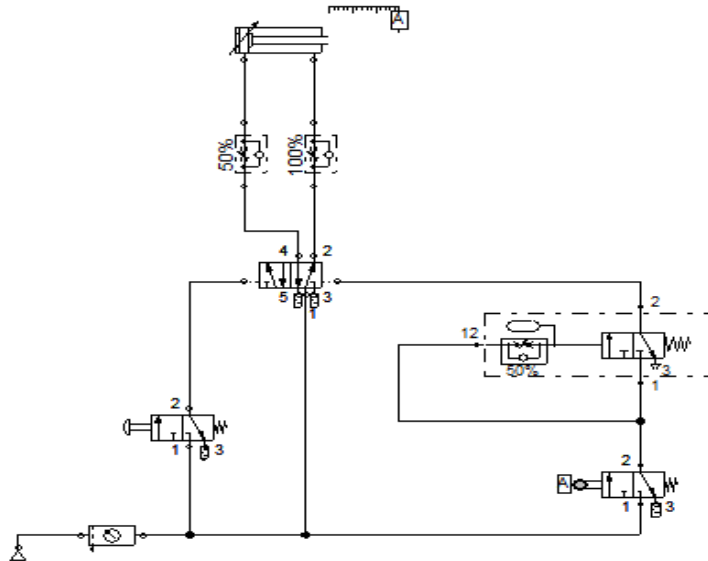


Figura 31 Rediseño del circuito neumático simplificado.

Con el circuito neumático obtenido a partir de la simplificación de elementos se procede al siguiente paso que es convertir el sistema neumático a un sistema electroneumático, el cual tendrá dos circuitos: un circuito neumático y otro eléctrico, mismos que están vinculados a través de etiquetas que relacionan los elementos de control de ambos diagramas y permiten que se controle de manera eficiente a través de un sistema más esbelto de acuerdo a la cantidad de elementos neumáticos, eléctricos y electroneumáticos involucrados para el diagrama de control.

Circuito electroneumático para el control de la válvula de compuerta

El sistema de control se compone de un circuito eléctrico y uno neumático, mismos que se vinculan a través de etiquetas para representar las conexiones físicas y simplificar la interpretación de su representación simbólica y facilitar la comprensión de su funcionamiento. El sistema neumático incluye un cilindro de doble efecto, válvulas estranguladoras unidireccionales, válvula 5/2 con doble pilotaje eléctrico a través de solenoides, válvula 3/2 con botón por enclavamiento para controlar el suministro principal de aire a la línea de alimentación principal de este sistema.

El sistema eléctrico consta de botones para el arranque y paro, contactores, sensores, solenoides/bobinas para cambiar el estado de conmutación de la válvula 5/2, un temporizador, así como rodillos de inicio y final de carrera que envían pulsos eléctricos para el adecuado funcionamiento del sistema. El diagrama electroneumático se presenta en la figura 4

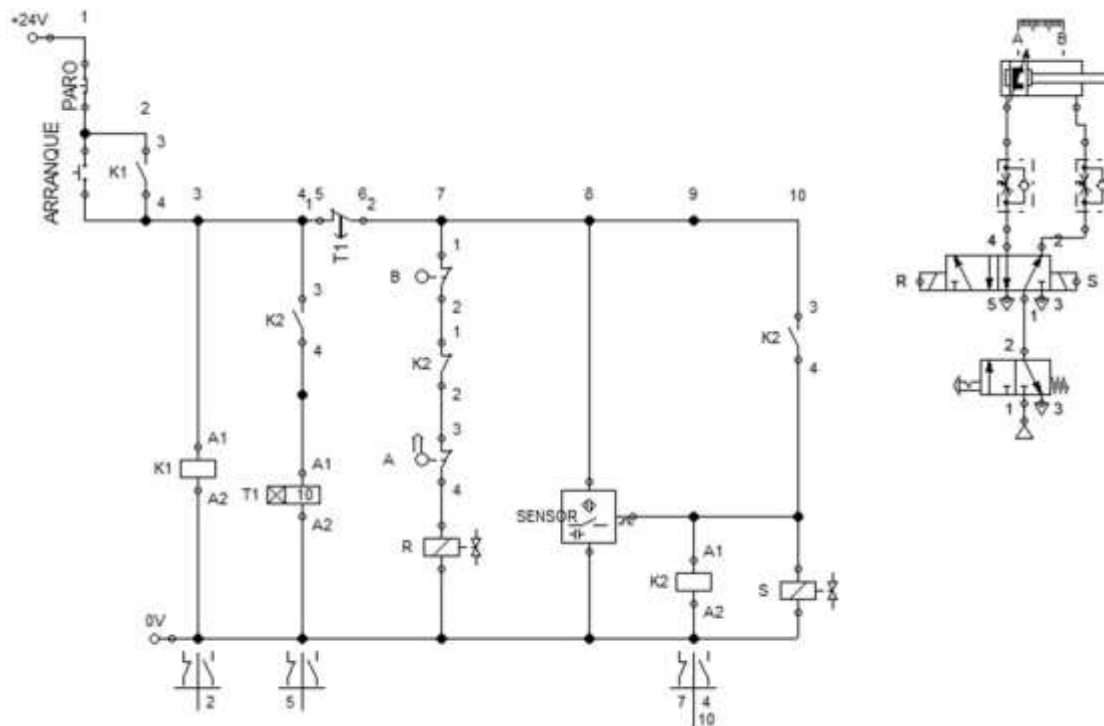


Figura 32 Diseño de circuito electroneumático, diagramas eléctrico y neumático.

Para el accionamiento del control eléctrico se debe presionar el botón de “ARRANQUE”, de esta manera se activa la bobina “R” que realiza el cambio de estado en la válvula 5/2 provocando que salga el vástago de pistón; de esta forma se cierra la compuerta del dosificador de polvo, al mismo tiempo que activa a la bobina “K1”. La bobina “K1” se mantiene activa mediante un contacto abierto de “K1” que cambia de estado y al conectarse en paralelo al botón de arranque mantiene activo el circuito; teniendo conectado su terminal de control al de la bobina “K2”, en el momento en que el sensor manda una señal para activar “K2” y se mantiene activo por un contacto abierto de este mismo que realiza su cambio de estado para que el vástago regrese a su posición de retraído y abra la compuerta para empezar a dosificar el polvo por gravedad.

El sistema se mantiene activo hasta cumplir con el tiempo estipulado, permitiendo que se suministre y dosifique el producto en polvo de acuerdo a la cantidad deseada. El sensor de final de carrera del pistón enviará la señal para iniciar el conteo regresivo y una vez que alcance la meta programada cambiará su estado a normalmente abierto y deshabilitará la bobina “R” y el contacto “K2” a normalmente cerrado para activar el temporizador ON DELAY “T1”, mismo que está conectado en serie entre “T1” y el final de carrera “B”. Este cambiará su estado para desactivar “K2” y en ese momento se realizó el tratamiento térmico que consistió en un templado a 750°C por 50 minutos (figura 7) con enfriamiento en aceite (figura 8), después se le aplicó un revenido a 100°C por 20 minutos con enfriamiento en aire dentro del horno, ya que para concluir la validación de la pieza se sometió a pruebas de dureza Rockwell.

RESULTADOS

De acuerdo a las necesidades de control de dosificación de flujo másico del producto en polvo y analizando diferentes configuraciones, se diseñó un circuito electroneumático simplificado capaz de automatizar los tiempos de apertura y cierre de la válvula de compuerta. En este sistema se implementaron sensores para determinar los niveles máximo u mínimo del contenedor de producto, esto para evitar que el sistema trabaje en vacío; también se incluye un sensor que determina que el

producto está saliendo de la válvula de compuerta, esto para monitorear si el producto está atorado a causa de los grumos formados por humedad o producto mojado.

El sistema electroneumático es más esbelto, preciso y flexible; lo que permite que se pueda implementar en casos prácticos reales, en prácticas de laboratorio y que sea fácilmente reconfigurable para obtener diferentes valores de temporización al momento de dosificar producto granulado o en polvo.

Una solución de control electroneumático puede ser empleada para eficientar los procesos de dosificado y envasado de productos a granel o en polvo. Este sistema aprovecha las ventajas del control moderno basado en aplicaciones simples del concepto de lógica difusa o fuzzy logic que permite resolver problemas cotidianos de manera práctica; además de incluir de esta manera soluciones obtenidas de grandes volúmenes de datos a través del empleo de técnicas de Big Data; esto sin comprometer la confiabilidad de los resultados entre un enorme volumen de datos variables que se seleccionan con velocidad, pero manteniendo la veracidad y el valor de los mismos.

CONCLUSIONES

El sistema electroneumático propuesto como alternativa de control es una solución práctica no sólo a nivel simulación o a nivel didáctico en el laboratorio académico, sino también resulta factible su implementación en el sector industrial al optimizar los tiempos de llenado e incrementar la precisión en las tareas de dosificación de productos granulados y en polvo.

El sistema electroneumático presenta ventajas como esbeltez al tener un bajo número de componentes, reduciendo con esto el costo para su implementación como sistema de control. Además, cuenta con un algoritmo reconfigurable que permite que sea flexible y fácilmente adaptable a los cambios de producto y a la reconfiguración de las cantidades deseadas en el suministro, esto con una simple variación en el tiempo de ejecución del algoritmo que se traduce en una mayor precisión al momento de llenar los contenedores.

Este sistema se implementó en una empresa de la región con apoyo de estudiantes y financiado por capital del sector industrial, por motivos de un acuerdo de confidencialidad entre instituciones se mantiene en el anonimato la mayor cantidad de detalles ya que se encuentra en proceso de registro de patente ante INDAUTOR®.

BIBLIOGRAFÍA

1. Airtec. (2019). *Airtec*. Obtenido de Airtec: <https://airtecvzla.com/post.php?p=21>
2. Festo-Didactic. (Diciembre de 2019). *Festo*. Obtenido de FEsto: https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/dsi_es_identificaci_n_de_referencia_iso_1219_en_81346.pdf
3. Oracle. (2013). Obtenido de <https://www.oracle.com/mx/big-data/guide/what-is-big-data.html>
4. Oracle. (2013). *Oracle*. Obtenido de <https://www.oracle.com/mx/big-data/guide/what-is-big-data.html>
5. Sicular, S. (27 de Marzo de 2013). *Forbes*. Obtenido de <https://www.forbes.com/sites/gartnergroup/2013/03/27/gartners-big-data-definition-consists-of-three-parts-not-to-be-confused-with-three-vs/#5f2ad27542f6>

DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO MICROFLUÍDICO PARA ENFOQUE DE MICROPARTÍCULAS CON APLICACIONES HACIA CITOMETRÍA DE FLUJOR. Olmos-Ramírez^{1,2}, A. Martínez-Bórquez¹, A. Benítez², S. Márquez, R. Castro-Beltrán*¹

¹Universidad de Guanajuato, División de Ciencias e Ingenierías, Leon Guanajuato, Mexico, ²Centro de Investigaciones en Óptica A.C., Leon Guanajuato, Mexico
* olmosrr2015@licifug.ugto.mx, cbrigoberto@fisica.ugto.mx

RESUMEN

La citometría de flujo (CF) es una técnica de soporte importante en medicina para el diagnóstico de enfermedades que requieren del conteo y análisis de la morfología celular, como lo son las leucemias agudas y síndromes linfoproliferativos. La CF es una técnica que facilita el análisis de una población de células ya que cada célula se separa individualmente para estudiar su interacción con la luz a determinadas longitudes de onda. La luz dispersada, se relaciona directamente a propiedades únicas de cada célula, como es su morfología celular. Sin embargo, los equipos actuales de citometría de flujo existentes en el mercado suelen ser robustos y costosos. En la búsqueda de la reducción de costos y tamaño de esta técnica de análisis, es necesaria la miniaturización de sus componentes tanto ópticos como fluidicos. Tal alcance causaría impacto no solo en la portabilidad sino en el uso de estos equipos en lugares donde el acceso a recursos médicos es limitado. En este trabajo presentamos el desarrollo de un sistema microfluídico para aislar, manipular y dirigir micropartículas en solución utilizando la técnica de enfoque hidrodinámico. Dicha técnica confina un flujo central por medio de dos flujos laterales inyectados a diferentes tasas de flujo. La constricción del flujo central provoca que las partículas inmersas en él se aislen. En primer lugar, estudiamos el enfoque hidrodinámico de nuestro sistema a través de simulaciones de elementos finitos para posteriormente evaluar su comportamiento experimentalmente. Las simulaciones nos permitieron comprender el comportamiento del flujo central en relación con la geometría del sistema y a las distintas tasas de inyección de los flujos laterales. A continuación, los dispositivos microfluídicos se fabricaron mediante litografía suave con PDMS (Polidimetilsiloxano) a partir de moldes maestros. Los moldes maestros fueron fabricados por dos técnicas de microfabricación: fotolitografía y por escritura láser directa. Posteriormente, se evaluó el comportamiento del flujo del sistema usando video microscopía. En estos experimentos se analizó el flujo constreñido en relación con los flujos laterales al aplicar diferentes tasas de inyección. Finalmente, se realizó la prueba de concepto del dispositivo al introducir como líquido muestra una solución coloidal de partículas de poliestireno (PE) con diámetros de 10 μm . Encontramos que las partículas siguieron la trayectoria esperada dentro del canal. Concluimos que la constricción mínima del flujo en el canal central depende tanto del ancho del canal como de las razones de tasas de flujo utilizadas. Este trabajo representa un primer acercamiento para la generación de nuevas tecnologías relacionadas a citometría de flujo utilizando técnicas alternativas de fabricación de bajo costo.

INTRODUCCIÓN

El conteo y análisis de micropartículas es ampliamente utilizado en áreas como la farmacéutica, ambiental y medicina. En el área farmacológica, se utiliza para analizar la formación de agregados proteicos que pueden influir en las respuestas inmunogénicas de los medicamentos. Mientras que, en cuestiones ambientales, se utiliza para evaluar la calidad del aire en términos de cierto número de partículas por unidad de volumen. Así mismo, en el área médica, padecimientos como las leucemias, anemias y síndromes linfoproliferativos, tiene un impacto directo en la morfología de células de la sangre y la cantidad de glóbulos rojos y blancos. Por esta razón, el conteo y evaluación morfológica ha tenido gran relevancia en el apoyo al diagnóstico y seguimiento de pacientes, especialmente, del área de hematología e inmunología clínica.

En el área médica, la técnica que se utiliza para la medición rápida de ciertas características físicas y químicas de células o partículas suspendidas en líquido es la citometría de flujo (CF). Esta técnica utiliza luz láser para caracterizar señales individuales que producen las partículas al interactuar con luz a diferentes longitudes de onda. La luz dispersada, se relaciona directamente a propiedades únicas de cada célula, como es su morfología celular. Sin embargo, los equipos actuales de

citometría de flujo suelen ser robustos y costosos. En la búsqueda de la reducción de costos y tamaño, es necesaria la miniaturización de sus componentes tanto fluídicos como de detección. Esto causaría un impacto, no solo en la portabilidad sino, en la posibilidad del uso de estos equipos en lugares donde el acceso a recursos médicos es limitado.

Dentro de las tecnologías desarrolladas para miniaturizar componentes se encuentran los sistemas microfluídicos. La microfluídica es la ciencia y tecnología de sistemas que procesan o manipulan pequeñas cantidades (10^{-9} a 10^{-18} L) de líquidos utilizando canales con dimensiones de decenas a cientos de micrómetros [1]. Este tipo de tecnologías se han usado en el síntesis y análisis químico [2], en biotecnología [3], reometría [4], suministro de fármacos [5], y diagnóstico médico de enfermedades [6,7]. Comúnmente, los sistemas microfluídicos con una técnica o un sistema transductor, que permita la interpretación de señales a partir de un estímulo, se conocen en el estado del arte como sistemas lab-on-a-chip (LOC) [8,9]. Los sistemas LOC, son microsistemas que permiten el estudio de muestras tras la integración de dispositivos microfluídicos con sistemas de sensado ópticos, electrónicos y electromecánicos [10]. Los avances en estas tecnologías a lo largo de los últimos años han traído consigo desarrollos relacionados con la citometría de flujo a escalas micrométricas o microcitometría de flujo. En esta técnica, se plantea manipular y evaluar muestras a través de canales en la escala de micrómetros. Esto además trae como ventaja la cantidad de muestra y reactivos necesarios para el análisis, los cuales son ordenes de magnitud por debajo de aquellos convencionales.

Brevemente, la técnica de CF está basada en tres etapas principales: enfoque, detección y separación. De la Figura 1, de izquierda a derecha, las partículas son ordenadas y enfocadas al centro del canal en una corriente de partículas individuales. De esta forma, cada partícula es aislada y analizada individualmente al pasar por la región de detección. Tras ser detectadas las partículas, se pueden clasificar de acuerdo con sus características.

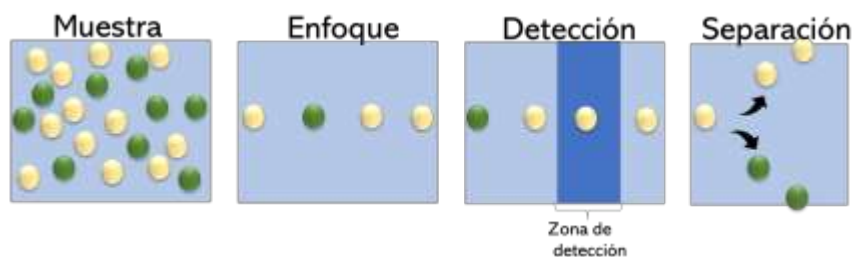


Figura 1. Etapas descriptivas en el funcionamiento de la técnica de enfocamiento de partículas por citometría de Flujo.

En este trabajo presentamos el desarrollo de un sistema microfluídico para aislar, manipular y dirigir micropartículas en solución utilizando la técnica de enfoque hidrodinámico. La impresión de los moldes maestros para la fabricación de los sistemas microfluídicos se llevó a cabo por dos técnicas de microfabricación: fotolitografía y por escritura láser directa. Mientras que los dispositivos microfluídicos se fabricaron mediante litografía suave a partir de procedimientos de unión por *oxygen plasma*. Se presenta la simulación del dispositivo, considerando sus dimensiones reales, utilizando la herramienta COMSOL Multiphysics basada en el método de elementos finitos. Finalmente, la visualización de las partículas y caracterización del dispositivo se llevó a cabo por microscopía de campo claro.

Presentación y simulación del canal microfluídico

Dispositivo de enfoque hidrodinámico

El dispositivo microfluídico de este trabajo se basa en un enfoque hidrodinámico bidimensional. La Figura 2 muestra el diagrama del molde bajo estudio y el detalle geométrico en la región donde se produce el enfoque hidrodinámico, señalado en rojo. El molde tiene una longitud de 14 mm, 8 mm de ancho y espesor que oscila desde 50 μm hasta 180 μm , dependiendo de la técnica de fabricación, Figura 2 a). La estructura de este sistema consiste en dos entradas y una salida. Por una entrada se inyecta el fluido de recubrimiento y por la otra el de la muestra (solución coloidal). El flujo de la entrada del líquido de recubrimiento se divide en dos flujos, que convergen más adelante con el flujo muestra al entrar con tasas de flujo Q específicas por canales laterales. En la Figura 2 b) se representa cómo Q_m es la tasa de flujo de entrada del flujo de la muestra mientras que Q_{l1} y Q_{l2} son las tasas de flujo correspondientes al fluido de recubrimiento por los canales laterales. Los flujos de recubrimiento confinan el flujo muestra en el centro del canal, al ser que $Q_{l1} = Q_{l2}$ para este caso particular.

El ancho del enfoque se obtiene bajo el principio de conservación de la masa, considerando que la

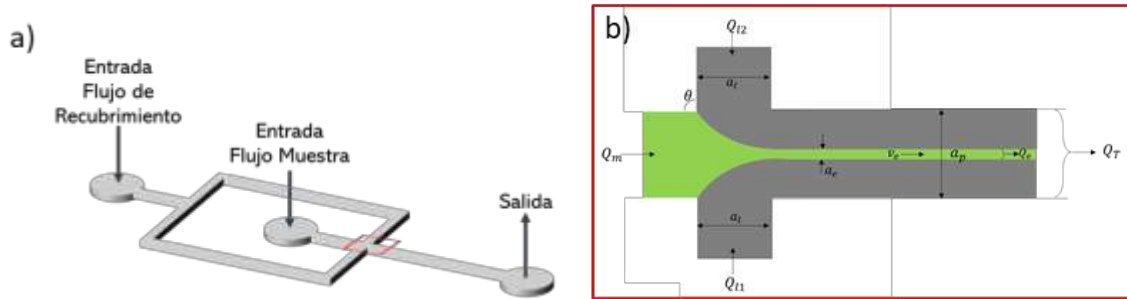


Figura 2. Esquema del molde maestro y los detalles de la zona de enfocamiento con sus parámetros geométricos.

tasa de flujo Q_m de entrada de la muestra se conserva a pesar del confinamiento, por lo que $Q_m = Q_e$. Puesto que la tasa de flujo está definida como la cantidad de volumen que fluye por unidad de tiempo se puede deducir que:

$$Q_m = \bar{v}_m a_m h = \bar{v}_e a_e h = Q_e \tag{1}$$

En donde $a_e = \frac{Q_m}{\bar{v}_e h}$ corresponde al ancho del enfoque, \bar{v}_e la velocidad promedio en el área de enfoque, h la altura del canal. Así mismo, considerando que la altura del canal es la misma en toda su extensión y también la cantidad de fluido que pasa por la salida del canal (Q_T) debe ser igual a la cantidad de fluido entrante $Q_T = \bar{v}_p a_p h = Q_{l1} + Q_{l2} + Q_m$, podemos expresar la relación del ancho del enfoque con respecto al ancho del canal como:

$$\frac{a_e}{a_p} = \frac{Q_e}{\gamma(Q_e + Q_{l1} + Q_{l2})} \tag{2}$$

Donde γ corresponde a la relación de velocidades promedio \bar{v}_e / \bar{v}_p [11]. Estas velocidades promedio se calculan a partir de las ecuaciones de Navier Stokes mediante la simulación de elementos finitos. La tabla 1 resume todas las variables involucradas en el sistema descrito en la Figura 2 b). Además, incluye el valor numérico para el cálculo del número de Reynolds [Re] el cual nos permite asegurar el flujo laminar dentro del sistema y una tasa de difusión baja, entre ambos líquidos.

Variable	Abreviación	Valor numérico
Tasa de flujo de entrada	Q_m	1 $\mu\text{L}/\text{min}$
Tasa de flujo lateral	Q_{l1}, Q_{l2}	5 $\mu\text{L}/\text{min}$
Ancho de canal	a_p	200 μm
Número de Reynolds	Re	1.196

COMSOL Multiphysics como herramienta de simulación

COMSOL Multiphysics es una plataforma de uso fácil para la simulación de las propiedades de flujo de este tipo de dispositivos microfluídicos por el método de elementos finitos. En COMSOL Multiphysics los parámetros para la simulación deben definirse a través de un árbol de modelado. Este árbol de modelado facilita al usuario la identificación de parámetros necesarios para resolver cada una de las ecuaciones diferenciales que modelan a los fenómenos estudiados, Figura 3. Cada sección de este árbol corresponde a un aspecto específico del modelo.

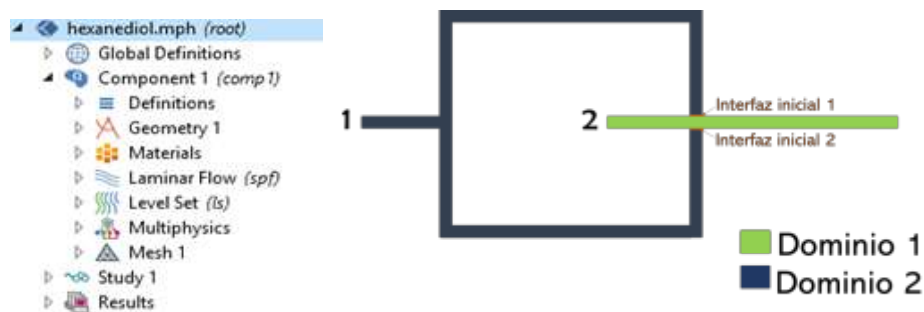


Figura 3. Árbol de modelado y Bosquejo de cómo se definen algunos de los parámetros más importantes en la simulación.

En este trabajo se realizó una simulación en dos dimensiones de un flujo de dos fases por el método de conjunto de nivel para estudiar cómo afecta la geometría y la relación de tasas de flujo en un enfoque hidrodinámico bidimensional a través de un microcanal. El método de conjunto de nivel es un método numérico utilizado para simular el comportamiento de un flujo de dos fases mediante el rastreo de las interfaces móviles entre los dos fluidos [12]. Así pues, COMSOL resuelve las ecuaciones de Navier Stokes y de continuidad considerando las variaciones de densidad y viscosidad en la interfaz líquido-líquido de los dos fluidos mediante el método de conjunto de nivel. La Figura 4 muestra una de las simulaciones 2D de este trabajo en donde se pueden visualizar la forma y los detalles geométricos del enfoque hidrodinámico del dispositivo; la interacción del líquido rojo (muestra) con el líquido azul (recubrimiento) produce el confinamiento del flujo muestra en el centro del canal. En esta simulación establecimos una tasa de flujo de $1\mu\text{L}/\text{min}$ en el flujo muestra (agua) y $5\mu\text{L}/\text{min}$ en cada uno de los flujos laterales (Hexanediol 1M), además de condición límite antideslizante (velocidad cero) en las paredes. Las propiedades de densidad y viscosidad (a 298.15 K) de los líquidos, se establecieron de acuerdo con los valores obtenidos experimentalmente en otros trabajos [13,14]. La simulación muestra que este dispositivo con los parámetros de simulación descritos nos permite contar con una plataforma de enfoque de $13\mu\text{m}$ diámetro, lo cual representa aproximadamente el 6.5% del ancho del canal. Este valor concuerda con lo esperado, pues el tamaño de las partículas que se consideran para enfocar en este caso son del orden del tamaño de una célula sanguínea, es decir de entre 8 y 15 μm .

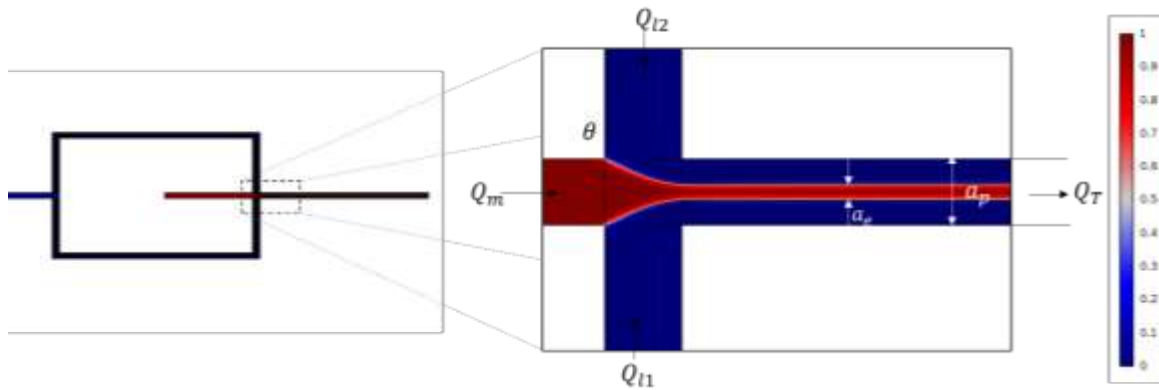


Figura 4. Simulación por COMSOL Multiphysics del funcionamiento del dispositivo propuesto en este trabajo.

PARTE EXPERIMENTAL

La fabricación del dispositivo microfluídico constó de dos etapas (Figura 5.a): la creación del molde maestro y la creación del microcanal. Los moldes maestros de la primera etapa se utilizaron para la creación del microcanal siguiendo un protocolo de litografía suave basado en PDMS. La Figura 5.b muestra un diagrama que resume cómo se llevó a cabo el procedimiento para fabricar el dispositivo total.

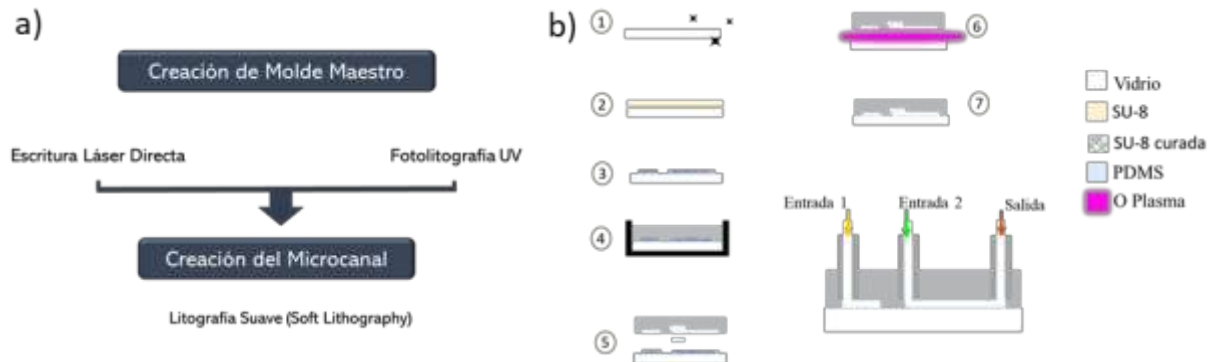


Figura 5. Diagramas de flujo sobre la fabricación del dispositivo.

La fabricación del molde maestro se llevó a cabo mediante dos técnicas de litografía: 1) fotolitografía UV y 2) DLW basada en LOPA. Estas dos técnicas son técnicas de fotolitografía, es decir, utilizan luz para crear patrones de estructuras sólidas a partir de películas delgadas de materiales fotosensibles. Sin embargo, la diferencia sustancial entre ambas técnicas radica en la forma de exposición a la luz de cada una. Brevemente, la fotolitografía UV es la técnica que se utiliza convencionalmente, consiste en la reproducción de un patrón en una resina fotosensible dirigiendo la luz de una lámpara UV a través de una máscara. Estas estructuras opacas llamadas máscaras poseen regiones traslúcidas que permiten el paso exclusivo de luz a través de ellas. Debido a que la exposición a través de estas regiones sucede simultáneamente, se dice que es un proceso en paralelo. Por su parte, la técnica de DLW (a 532 nm) basada en LOPA, consiste en la impresión de patrones al escanear un láser de onda continua enfocado sobre una película de resina fotosensible. El láser que se utiliza en este tipo de DLW es un láser con longitud de onda en la región donde la resina presenta una absorción óptica baja. Esto permite mayor penetrancia de la luz en la película

de fotoresina, y un proceso de absorción distinto al utilizado convencionalmente. Este proceso, por la forma de exposición, es un proceso serial.

Particularmente, en este trabajo, la fotoresina utilizada fue la SU8-2050 (Microchem), la cual presenta un máximo de absorción óptica por debajo de los 400 nm. La película de resina se realizó por spin coating y por una técnica de arrastre con navaja, con las que se lograron espesores de película de $\sim 26 \mu\text{m}$ y $\sim 175 \mu\text{m}$. Las máscaras para la fotolitografía UV se realizaron mediante impresión láser sobre transparencias, y la exposición se llevó a cabo con una lámpara de longitud de onda de 365 nm. Mientras que, para el caso de la DLW, la exposición se realizó escaneando un láser verde (532 nm) sobre la película de fotoresina utilizando una plataforma opto mecatrónica controlada por LabVIEW y Arduino.

Los canales finales se formaron mediante la réplica de los moldes maestros utilizando técnicas de litografía suave con PDMS. Este proceso se realizó con una mezcla 10:1 de base y agente curante, Sylgard 184 (Dowsil), la cual posteriormente se desgasificó utilizando un horno de vacío (DZ-1BC II 02, Hinotek) a 0.08 MPa por 30 min. Después la muestra desgasificada se vació sobre el molde maestro hasta una altura de 5 mm por encima de la base del molde. El PDMS contenido en el molde maestro se curó usando un horno a 60°C por una hora. Los reservorios para entrada de líquido al dispositivo se hicieron mediante agujeros pasantes con un punzón para biopsia. Finalmente, la unión permanente entre ambas superficies (PDMS y vidrio) se realizó mediante un tratamiento con plasma de oxígeno.

La Figura 6 muestra las fotografías correspondientes de los moldes maestros y los dispositivos microfluidicos a partir de las dos técnicas de fabricación expuestas arriba. Las características de cada una de las estructuras varían ligeramente entre sí. Por ejemplo, los moldes maestros fabricados por Fotolitografía UV poseen una altura de $\sim 26 \mu\text{m}$, mientras que aquellos fabricados por DLW alcanzan en promedio $176 \mu\text{m}$. Esto debido que en esta segunda técnica la fabricación de estructuras de menor espesor se vio limitada por alteraciones mecánicas inherentes del sistema. Otro aspecto que se encontró diferente es el ancho de las estructuras, aquellas fabricadas por fotolitografía UV poseen mayor ancho de los canales ($300\text{-}400 \mu\text{m}$), que aquellas fabricadas de por DLW ($\sim 165 \mu\text{m}$). Además, las alteraciones en la geometría encontradas en cada caso muestran aumento de las dimensiones en el caso de la fotolitografía UV y disminución de estas en las estructuras correspondientes a la DLW. Esto lo atribuimos a posibles defectos en las máscaras y a cambios no controlados de velocidad en pequeñas regiones de la trayectoria, respectivamente.

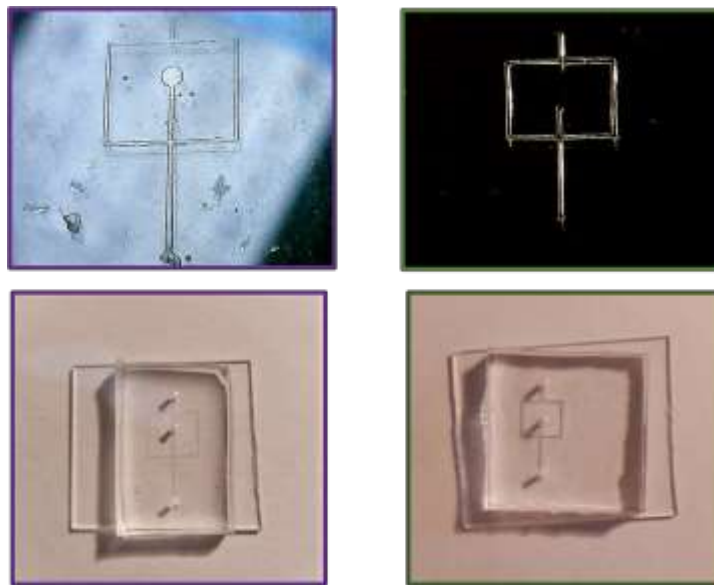


Figura 6. Presentación de moldes maestro y sus dispositivos microfluidicos correspondientes

Para evaluar el comportamiento del flujo experimentalmente, se midió el ancho del enfoque utilizando microscopía de campo claro. En este experimento se usó como fluido de recubrimiento una solución de Hexanediol 1M. Mientras que para el flujo muestra se utilizó una solución acuosa de fluoresceína para crear contraste en la visualización de los dos flujos. El contraste producido por la fluoresceína permitió identificar el ancho del flujo muestra para las diferentes razones de tasas de flujo. Las mediciones del ancho de los flujos de interés se realizaron mediante el software uScope (LabSmith) donde se obtuvo la relación del ancho del flujo central con respecto al del ancho del canal. Encontramos que la previa simulación de elementos finitos refleja muy bien lo que ocurre en los canales experimentalmente.

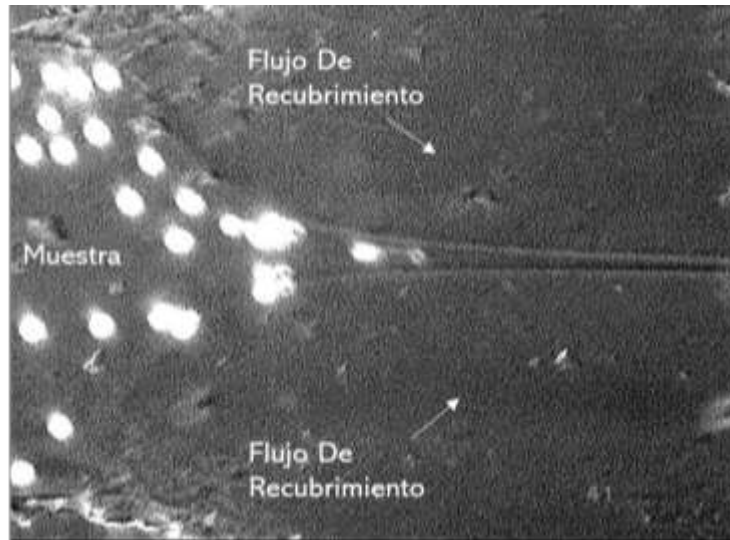


Figura 7. Micropartículas enfocadas.

Finalmente, el funcionamiento del dispositivo se evaluó al introducir como líquido muestra una solución de partículas de poliestireno (PE) de 10 μm . En este experimento encontramos que las partículas siguen la trayectoria esperada dentro del canal (Figura 7), sin embargo, para el caso particular de las estructuras fabricadas por DLW el enfoque hidrodinámico bidimensional no es posible debido a que el tamaño final de los canales es 17 veces más alto que el radio de la partícula, permitiendo que puedan fluir varias partículas al mismo tiempo en el plano vertical.

CONCLUSIONES

De la fabricación de los dispositivos microfluídicos pudimos definir que para la fabricación con DLW se requiere de mayor trabajo ingenieril y tecnológico para la construcción de todo el sistema automático, mientras que con la fotolitografía UV se requiere de mayor trabajo manual durante cada proceso de fabricación.

Particularmente, la plataforma de DLW basada en LOPA construida en la DCI posee potencial para producir moldes maestros de buena calidad para el rápido prototipado de dispositivos microfluídicos. Sin embargo, se debe trabajar en el software controlador de la plataforma y en la corrección de los problemas mecánicos que presenta, para lograr estructuras uniformes y de menor altura, con la finalidad de lograr el enfoque de partículas bidimensional deseado.

Como trabajo futuro, el dispositivo aquí diseñado puede ser utilizado para el análisis individual de partículas en disolución, si se trabaja en el diseño y adaptación de un transductor que permita detectar el paso de las partículas por el flujo central.

BIBLIOGRAFÍA

1. Whitesides, G. M. (2006). The origins and the future of microfluidics. *Nature*, 442(7101), 368–373. <https://doi.org/10.1038/nature05058>
2. Solsona, M., Vollenbroek, J. C., Tregouet, C. B. M., Nieuwelink, A. E., Olthuis, W., Van Den Berg, A., ... Odijk, M. (2019). Microfluidics and catalyst particles. *Lab on a Chip*, 19(21), 3575–3601. <https://doi.org/10.1039/c9lc00318e>
3. Berthier, J., & Silberzan, P. (2006). Microfluidics for Biotechnology. In *Artech House microelectromechanical systems MEMS series (Vol. 1)*. <https://doi.org/10.1002/1521-3773>
4. Hu, X., Boukany, P. E., Hemminger, O. L., & Lee, L. J. (2011). The use of microfluidics in rheology. *Macromolecular Materials and Engineering*, 296(3–4), 308–320. <https://doi.org/10.1002/mame.201000246>
5. Kleinstreuer, C., Li, J., & Koo, J. (2008). Microfluidics of nano-drug delivery. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(23–24), 5590–5597. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.04.043>
6. Fraser, L. A., Kinghorn, A. B., Dirkzwager, R. M., Liang, S., Cheung, Y. W., Lim, B., ... Tanner, J. A. (2018). A portable microfluidic Aptamer-Tethered Enzyme Capture (APTEC) biosensor for malaria diagnosis. *Biosensors and Bioelectronics*, 100(October 2017), 591–596. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2017.10.001>
7. Mercer, C., Bennett, R., Conghaile, P., Rusling, J. F., & Leech, D. (2019). Glucose biosensor based on open-source wireless microfluidic potentiostat. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 290(January), 616–624. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.02.031>
8. Akagi, J., Takeda, K., Fujimura, Y., Matuszek, A., Khoshmanesh, K., & Wlodkowic, D. (2013). Microflow cytometry in studies of programmed tumor cell death. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 189, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.10.124>
9. Hunt, H. K., & Armani, A. M. (2010). Label-free biological and chemical sensors. *Nanoscale*, 2(9), 1544–1559. <https://doi.org/10.1039/c0nr00201a>
10. Bruus, H. (2007). *Theoretical Microfluidics (Oxford Master Series in Physics)*. 18, 40–41. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
11. Lee, G. Bin, Chang, C. C., Huang, S. Bin, & Yang, R. J. (2006). The hydrodynamic focusing effect inside rectangular microchannels. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 16(5), 1024–1032. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/16/5/020>
12. Katopodes, N. D. (2018). Level Set Method. *Free-Surface Flow*, 804–828. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815485-4.00019-x>
13. Paez, M. S., Julio, Ó., Méndez, M., Pérez, D., & Romero, C. M. (2008). Effect of temperature on the viscosities of dilute aqueous solutions of 1,2-hexanediol, 1,5-hexanediol, 1,6-hexanediol and 2,5-hexanediol. *Revista Colombiana de Química*, 37(1), 105–119.
14. Romero, C. M., Páez, M. S., Arteaga, J. C., Romero, M. A., & Negrete, F. (2007). Effect of temperature on the volumetric properties of dilute aqueous solutions of 1,2-hexanediol, 1,5-hexanediol, 1,6-hexanediol, and 2,5-hexanediol. *Journal of Chemical Thermodynamics*, 39(8), 1101–1109. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2007.01.009>

DINÁMICA DE CONECTIVIDAD Y CENTRALIDAD DE EEG EN LOCOMOCIÓN: COHERENCIA VS CORRELACIÓN

Damian A. Villaseñor-Cisneros¹, Griselda Quiroz Compeán², Ricardo A. Salido-Ruiz¹, Aurora Espinoza-Valdez¹

¹Universidad de Guadalajara, ²Universidad Autónoma de Nuevo León.
damian.alf.villa.cis@gmail.com

RESUMEN

En México la discapacidad que tuvo la prevalencia más alta fue la de dificultad para caminar, moverse, subir o bajar escaleras, la cual se puede asociar a enfermedades crónicas no transmisibles, obesidad y accidentes (OMS, 2014). Con el objetivo de identificar la actividad motriz mediante el análisis de la señal electroencefalográfica (EEG), el sujeto mantiene el pie en descanso o extensión isotónica de rodilla, esto se realiza diez veces en diez sesiones continuas. En este trabajo se presenta una metodología basada en teoría de grafos para determinar la dinámica de conectividad funcional cuando sube o baja el pie mediante la matriz de interrelación (correlación, coherencia) para distintas bandas de frecuencia (Delta, Theta, Alpha, Beta, Gamma y Gamma alta). Se analiza la variabilidad en el tiempo de los grados de conexión y centralidad de electrodos. Los resultados muestran para cada vértice del grafo un valor numérico, lo cual permite una comparación de los vértices para determinar el cual es el más importante según la topología del grafo. En coherencia se encontró independientemente de la banda que los vértices dominantes provienen de la región central (motora) tanto para los movimientos de mantener el pie arriba o abajo. Por otro lado, en correlación se encontró que los vértices dominantes se encuentran en fase y están en la región frontal cuando el pie está en descanso y en la región central cuando el pie está en extensión isotónica de rodilla.

INTRODUCCIÓN

Se estima que millones de personas viven con algún tipo de discapacidad, esto es alrededor del 10% de la población mundial según la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1]. En México la discapacidad que tuvo la prevalencia más alta fue la de dificultad para caminar, moverse, subir o bajar usando sus piernas (64.1%). De acuerdo con los datos de la encuesta nacional de salud y nutrición (ENSANUT) 2014, las enfermedades ocasionan cerca de la mitad de las discapacidades reportadas para caminar, subir o bajar usando sus piernas (49%). Con el objetivo de proponer nuevas soluciones tecnológicas para los problemas de discapacidad, se han realizado investigaciones [2]. Para ayudar a los trastornos de trastornos neuromotrices en individuos con problemas de movilidad, se han realizado una serie de estudios, algunos de los cuales han sido abordados desde el punto de vista matemático y computacional [3-7]. Brian, et al., 2011 presentaron un estudio para el reconocimiento de señales EEG en actividad motriz para poder obtener características de espacio-tiempo-frecuencia [5]. En un estudio más reciente Shiman, et al., 2015 estudiaron la descodificación de las señales de EEG de cinco movimientos funcionales realizados con la misma extremidad [6]. El propósito de este trabajo es identificar la actividad motriz mediante el análisis de la señal electroencefalográfica (EEG), obtenido a partir de un experimento controlado de un sujeto donde mantiene el pie en descanso o extensión isotónica de rodilla. El análisis de conectividad se realiza utilizando la herramienta matemática de teoría de grafos por bandas de frecuencia, por métricas, esto es, coherencia o correlación, y por actividad descanso o extensión isotónica de rodilla.

METODOLOGÍA

Protocolo Experimental

Para este trabajo, se utilizaron los datos obtenidos de una tesis de doctorado donde el sujeto sin patologías motoras y con previo consentimiento informado para realizar la actividad [7]. El experimento consistió en: (1) Partiendo de un tiempo de descanso, donde el sujeto estaba sentado cómodamente en una silla; (2) Después de pasados 30 segundos, se le indicó al sujeto que levantara el pie derecho realizando una extensión isotónica de rodilla a su posición máxima por 3 segundos. Se realizaron 10 repeticiones, el sujeto descansó durante otros 30 segundos (véase Figura 1). El sujeto realizó 10 sesiones con 10 repeticiones de la actividad. La adquisición de las señales del

EEG se realizó con el equipo MOBITA-W-32 EEG. El sistema cuenta con registro de nueve electrodos de acuerdo al estándar internacional 10-20 (F3, F4, FZ, C3, C4, CZ, P3, P4, PZ) y la frecuencia de muestreo de 1000 Hz.



Figura 1: Protocolo experimental [7].

El procesamiento de las señales, esto es, el filtrado de ruido de alta y baja frecuencia, así como de artefactos se realizó con el análisis por componentes independientes (ICA, por sus siglas en inglés). Esta es una herramienta muy utilizada para eliminar los artefactos comunes del EEG. Para el análisis de conectividad cerebral entre trabajó se trabajó con las métricas de coherencia y correlación en todas las bandas de frecuencia: Delta (0.5-4 Hz), Theta (4-7 Hz), Alpha (8-14 Hz), Beta (15-30 Hz), Gamma (30-80 Hz) y Gamma alta (80-150 Hz) [8].

La coherencia devuelve que tan bien corresponden dos señales de EEG diferentes para cada banda de frecuencia [8]. En otras palabras, la coherencia indica que tan bien se relaciona el canal i con el canal j , los coeficientes están definidos en $[0,1]$. Por otro lado, correlación varía $[-1,1]$ (aquí normalizamos el intervalo para trabajar en el rango de 0 a 1), donde el signo indica el sentido de la relación entre las dos señales de EEG [9].

Grafos

Un grafo G es una tripla ordenada $(V(G), E(G), \Psi_G)$ que consiste de un conjunto no vacío $V(G)$ de nodos, de un conjunto $E(G)$ de aristas y de una función de incidencia Ψ_G que asocia a cada arista un par ordenado (no necesariamente distintos) de nodos de G . $\Psi_G: E(G) \rightarrow W(G)$ donde $W(G)$ es el conjunto de par de nodos definido como $W(G) = \{\{u, v\} \mid u, v \in V(G)\}$ $\Psi_G(e) = \{u, v\} \Rightarrow e \in E(G)$, esto es e une a u y v [10].

Los valores obtenidos de las matrices de coherencia y correlación representan la matriz de adyacencia en grafos, la cual indica el grado de conectividad entre cada par de electrodos, esto es, la matriz obtenida se puede representar como un grafo para el análisis de conectividad. Esto es, en la matriz de coherencia o correlación, el valor de cada elemento de la matriz representa el peso de la arista que conecta a dos nodos. Ambas matrices de las métricas de coherencia y correlación utilizadas son matrices simétricas, por lo que estaremos trabajando con grafos no dirigidos.

Por otro lado, la centralidad es una función que asigna a cada nodo del grafo un valor numérico, esto permite una comparación de los nodos. Si $C(v_1) > C(v_2)$ se puede decir que v_1 es más central que v_2 , o más importante. Dos cosas deben ser consideradas durante el análisis de centralidad de un grafo:

- Los valores de centralidad son comparables sólo dentro del mismo grafo.
- Algunas medidas de centralidad pueden ser aplicadas sólo a grafos dirigidos.

Definición 1: Sea $G(V,E)$ un grafo no dirigido y conexo. La centralidad por excentricidad está definida como:

$$C_{ecc}(s) = 1 / \max\{dist(s,t) \mid t \in V\} \tag{1}$$

donde $dist(s,t)$ denota la distancia entre los nodos s y t , que es la longitud de la trayectoria más corta entre s y t [11].

Definición 2: Sea $G(V,E)$ un grafo no dirigido y conexo. La centralidad por cercanía está definida como:

$$C_{clo}(s) = 1 / \sum dist(s,t) \tag{2}$$

donde $dist(s,t)$ denota la distancia entre los nodos s y t , que es la longitud de la trayectoria más corta entre s y t [11].

Ambas centralidades están basadas en las trayectorias más cortas, es decir, están basadas en las distancias más cortas entre cada par de nodos para un grado no dirigido.

RESULTADOS

Base de datos: matrices para las 10 sesiones de coherencia o correlación filtradas por bandas frecuencia (Delta, Theta, Alpha, Beta, Gamma y Gamma alta) y por actividad arriba-abajo. Para el análisis de conectividad de la base de datos se siguieron los siguientes pasos, $G_{9 \times 9}$ (Matriz por sesión por métrica, banda de frecuencia, actividad):

1. Suma de cada una de las matrices de las 10 sesiones realizadas por el sujeto discriminando entre su banda (Delta, Teta, Alfa, Beta, Gamma y Gamma Alta) y métrica (coherencia o correlación cada una para descanso o extensión isotónica de rodilla).
2. Matriz promedio, se obtiene con las matrices ya sumadas por cada sesión, banda y métrica se procedió a dividir entre la misma cantidad de matrices que fue sumada anteriormente.
3. Las matrices promedio se umbralizaron de la siguiente forma: $\mu(G) \pm \sigma(G)$.
4. Normalización de la matriz promedio: $a_{ij}/max(G)$.
5. Centralidad por Excentricidad en la matriz promedio resultante (por banda, métrica, descanso o extensión isotónica de rodilla) y se obtiene su nodo o sus nodos más representativos.
6. Centralidad por Cercanía en la matriz promedio resultante (por banda, métrica, descanso o extensión isotónica de rodilla) y se obtiene su nodo o sus nodos más representativos.
7. La matriz resultante promedio umbralizada y normalizada, se obtienen su grafo de conectividad.

Utilizando este procedimiento se obtiene la matriz promedio por banda de frecuencia por métrica para arriba-abajo. Por ejemplo, se muestra la siguiente matriz que corresponde a la matriz promedio de coherencia de la banda delta para descanso.

	F3	F4	Fz	C3	C4	Cz	P3	P4	Pz
F3	0	0.738	0	0.812	0.699	1	0.748	0.293	0
F4	0.738	0	0	0.542	0.912	0.765	0	0.885	0.837
Fz	0	0	0	0.962	0.620	0.495	0	0.788	0
C3	0.812	0.542	0.962	0	0.597	0.371	0.836	0	0.542
C4	0.699	0.912	0.620	0.597	0	0.840	0.969	0	0.613
Cz	1	0.765	0.495	0.371	0.840	0	0.594	0.647	0.686
P3	0.748	0	0	0.836	0.969	0.594	0	0.616	0
P4	0.293	0.885	0.788	0	0	0.647	0.616	0	0
Pz	0	0.837	0	0.542	0.613	0.686	0	0	0

En la Tabla1 podemos observar los valores de centralidad por cercanía y excentricidad para la matriz descrita anteriormente. Obteniendo así que el nodo más central o el más importante para esta matriz en específico es CZ.

Nodo	Excentricidad	Cercanía
F3	0.021	0.8
F4	0.041	0.8
Fz	0.014	0.667
C3	0.066	0.889
C4	0.066	0.889
Cz	0.098	1
P3	0.014	0.727
P4	0.033	0.727
Pz	0	0.667

Tabla 1. Ejemplo de resultados de centralidades de la matriz promedio de coherencia banda delta descanso.

La Figura 1 se muestran los valores de centralidad por cercanía para cada uno de los electrodos en cada una de las bandas de frecuencia para coherencia y correlación para descanso o extensión isotónica de rodilla. Se puede observar que en general los electrodos de la región central son en promedio los que obtienen el valor más alto o bien los más importantes en ambas métricas en todas las bandas de frecuencia. Los valores de cercanía para cada electrodo en la banda gamma y gamma alta se mantienen casi constantes en promedio en 1, lo cual implica que los grafos de conectividad en esas bandas son cuasi completos. Por otro lado, en la Figura 2 podemos observar los valores de la centralidad por excentricidad en cada una de las bandas de frecuencia para coherencia y correlación para descanso o extensión isotónica de rodilla. En excentricidad en ambas métricas de coherencia y correlación los electrodos más importantes también son los de la región central, ya que en promedio son los que tienen los valores promedio más grandes.

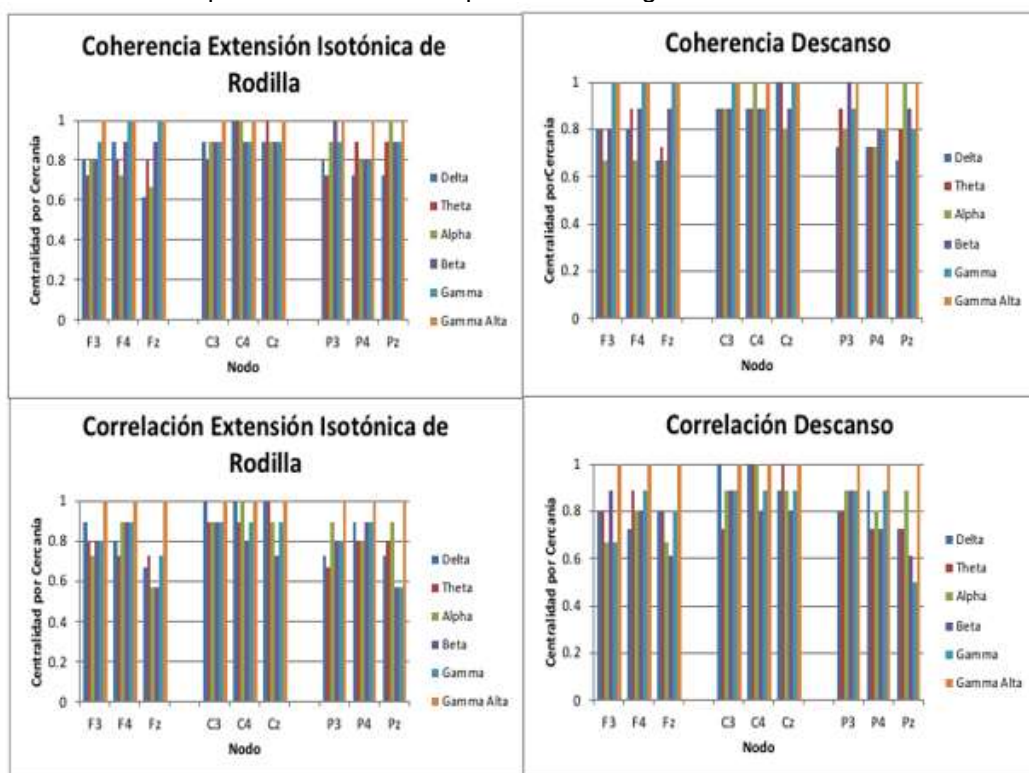


Figura 1. Resultados de la matriz promedio de las 10 sesiones de centralidad por cercanía por banda, métrica y actividad descanso o extensión isotónica de rodilla.

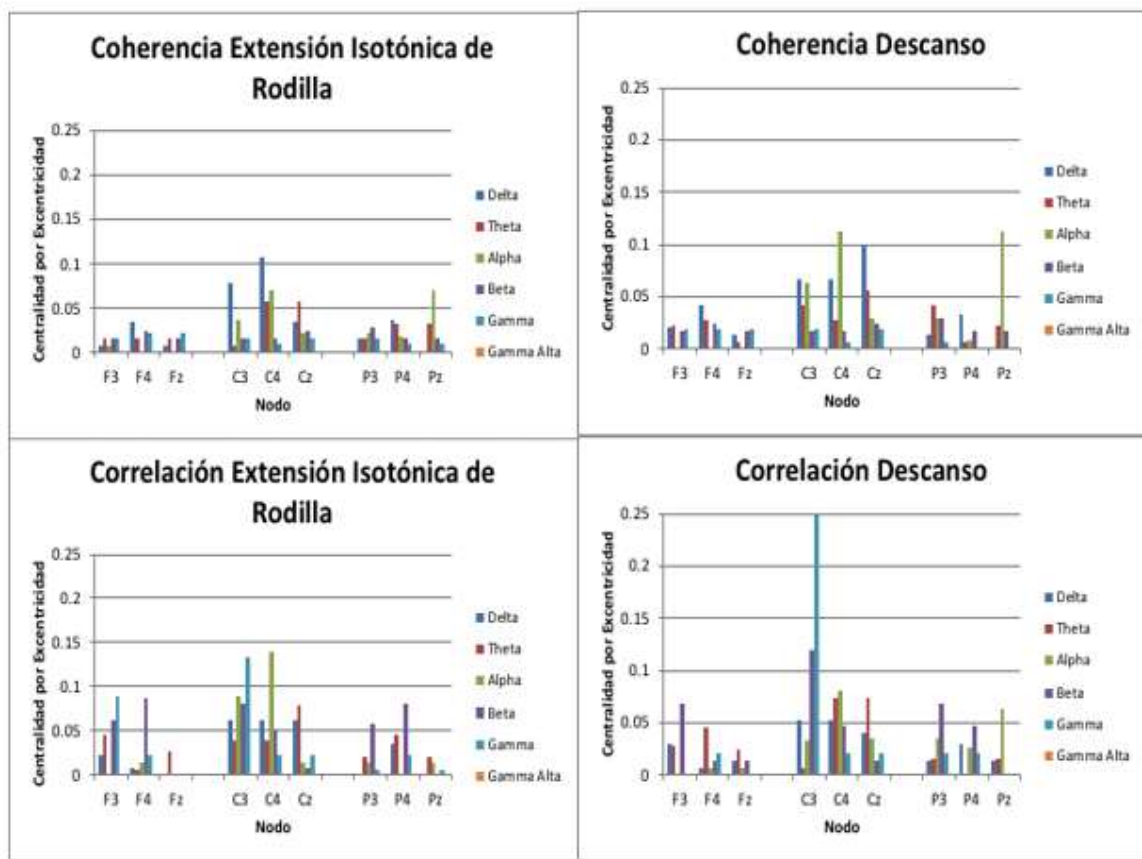


Figura 2. Resultados de la matriz promedio de las 10 sesiones de centralidad por excentricidad por banda, métrica y actividad descanso o extensión isotónica de rodilla.

En base a las matrices promedio para cada una de las bandas de frecuencia, por métrica y actividad descanso o extensión isotónica de rodilla se obtuvieron los grafos de conectividad. Los grafos para las bandas delta y alpha se obtuvieron se muestran en la Figura 2 y Figura 3, respectivamente. Los nodos en color amarillo son los más centrales en excentricidad y cercanía. En la banda delta se puede observar la diferencia en los nodos para la actividad de descanso y extensión isotónica de rodilla para coherencia y correlación, mientras que en la banda alfa podemos ver que los nodos más importantes no muestran diferencias en descanso y extensión isotónica de rodilla en ambas métricas. Las aristas de color rojo son las aristas que están dentro del rango del umbral de acuerdo a cada matriz como se estableció en el procedimiento de análisis de base de datos, mientras que las aristas que no son de línea continua no.

Por otro lado, en la Figura 5 se muestra el grado promedio de conectividad por banda de frecuencia, por métrica y actividad descanso o extensión isotónica de rodilla, se puede observar que para las altas frecuencias tienden a ser valores más grandes y con menor variabilidad que para las bajas frecuencias.

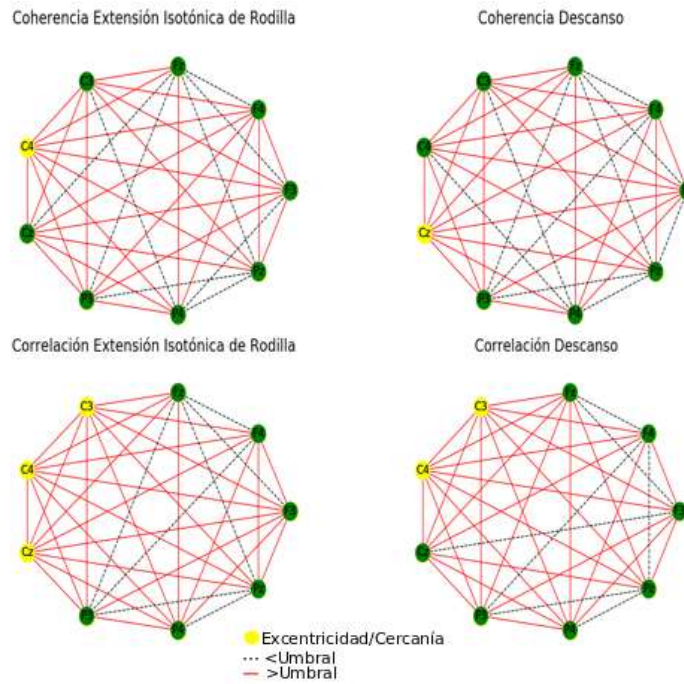


Figura 3: Grafo promedio de las 10 sesiones en coherencia y correlación para la banda delta, se pueden observar diferentes electrodos de acuerdo a la métrica y actividad realizada.

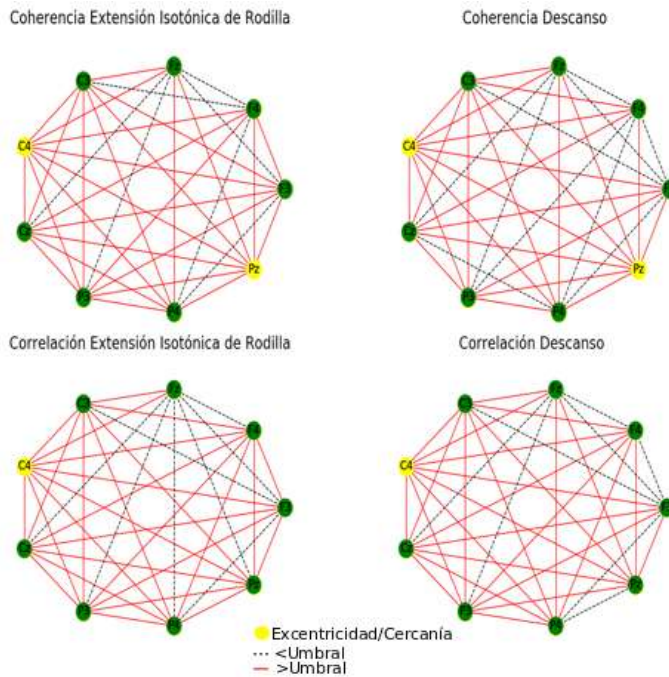


Figura 4: Grafo promedio de las 10 sesiones en coherencia y correlación para la banda alpha, donde se puede observar que no existe diferencia de electrodos de acuerdo a la métrica coherencia y correlación por actividad.

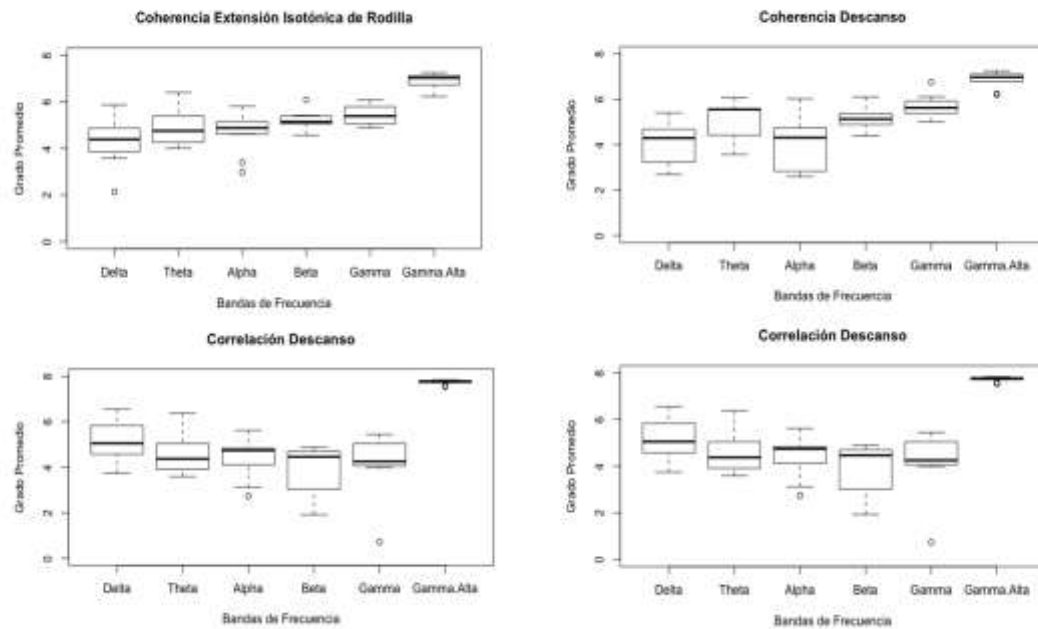


Figura 5: Grado promedio de las 10 sesiones por banda de frecuencia, por métrica y actividad descanso o extensión isotónica de rodilla.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos del experimento de análisis de movimiento de un sujeto, podemos observar que existen diferencias de conectividad en coherencia y correlación para determinar el electrodo más significativo o importante cuando el sujeto está realizando una actividad descanso o extensión isotónica de rodilla. Estas diferencias se pueden determinar en el estudio realizado por bandas de frecuencia, ya que en las bajas frecuencias es más notable, mientras que en las más altas frecuencias se percibe menos la diferencia de conectividad. Por otro lado, los electrodos que mostraron mayor importancia en conectividad fueron los de la región central, los cuales están relacionados con la motricidad, lo cual permite estudiar la dinámica de la actividad motriz del sujeto en estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. <https://www.who.int/>
2. Allen B., Rojas R., Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, Instituto nacional de salud pública, 2012, pp.38-41.
3. Prentice, Stephen D., and Aftab E. Patla. "Modelling of some aspects of skilled locomotor behaviour using artificial neural networks", *Computational Intelligence for Movement Sciences: Neural Networks and Other Emerging Techniques*. IGI Global, 2006, pp. 172-196.
4. Begg, Rezaul, and Marimuthu Palaniswami. "Recognition of gait patterns using support vector machines", *Computational Intelligence for Movement Sciences: Neural Networks and Other Emerging Techniques*, IGI Global, 2006, pp. 243-262.
5. Wu B., Wang Y., Chen W. and Zheng X., "Time-frequency optimized spatial patterns for movement-related EEG decoding", *Neural Engineering (NER), 2011 5th International IEEE/EMBS Conference on, Cancun, 2011*, pp. 84-87.
6. Shiman F., Irastorza-Landa N., Sarasola-Sanz A., Spuler M., Birbaumer N and Ramos-Murguialday A., "Towards Decoding of Functional Movements From the Same Limb Using

EEG", *37 th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Milan, 2015, pp. 1922-1925.*

7. Mercado, L. "Decoding kinematic variables from Electroencephalographic signals during lower limb mobility protocols", PhD thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2019.
8. Quiroz, G., et al., "Coherence analysis of EEG in locomotion using graphs", *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica* Vol. 38,1, 2017.
9. P.J. Benesty, J. Chen, Y Huang, and I. Cohen. "Pearson Correlation Coefficient", Springer Berlin Heidelberg, 2009.
10. D. Reinhard, "Graph theory. 2005". *Grad. Texts in Math*, Vol. 101, 2005.
11. P. Hage and F. Harary. "Eccentricity and centrality in networks", *Social Networks*, 1995, 17:57–63.

CARACTERIZACIÓN COLORIMÉTRICA DE UN OJO ELECTRÓNICO (OE)

Anais Ivonne Gómez Rocha, Juan Manuel Gutiérrez Salgado

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
arochag@cinvestav.mx, mgutierrez@cinvestav.mx

RESUMEN

El creciente interés de los productores de alimentos por evaluar la autenticidad, la calidad y la seguridad de los productos ha motivado el desarrollo de sistemas analíticos eficientes capaces de monitorear estas características en los productos finales. El uso de equipos analíticos ha alcanzado un nivel de sofisticación tal que permite la investigación de las propiedades de los alimentos. La separación cromatográfica, la espectrometría de masas (GC-MS) y espectrometría UV-VIS son técnicas comúnmente utilizadas, sin embargo, a pesar de la precisión y certeza que brindan, poseen desventajas relacionadas con los costosos detectores que emplean, el prolongado tiempo de análisis y la necesidad de instalaciones adecuadas; convirtiendo su uso a valoraciones exclusivas confinadas a un laboratorio especializado con nulas posibilidades de adaptación en aquellas aplicaciones donde se requiere un control de calidad en línea. Una nueva perspectiva de instrumentación analítica se sustenta en el uso de sistemas bioinspirados: Narices Electrónicas (NE), Lenguas Electrónicas (LE) y Ojos Electrónicos (OE) que basan su operación en la emulación de los sentidos humanos para determinar características de los alimentos. Un OE está diseñado para imitar la visión humana y analizar los atributos relacionados con el color y el aspecto de una muestra. Para su operación suele ser común, el empleo de técnicas de visión por computadora, técnicas colorimétricas y la espectrofotometría. Este trabajo describe el diseño de un sistema de espectrometría capaz de caracterizar muestras colorimétricas mediante la medición de absorbancia en la región visible de pequeños volúmenes de muestras líquidas. Para ello se toma en cuenta la técnica cromática integrada de diferentes módulos. El primer módulo consiste en una fuente de luz blanca, que en este caso corresponde a un flash diodo emisor de luz (LED). La luz producida por el LED pasa a través de una rejilla de difracción de 1800 líneas/mm y se descompone en sus diferentes longitudes de onda. La luz blanca del flash LED incide directamente para excitar a la muestra. Después está el módulo de captura de la imagen que opera mediante una cámara Raspberry Pi (RPI) V2. La imagen capturada es posteriormente acondicionada y es enviada al sistema de registro en la tarjeta RPI 3 modelo B+. El control del sistema del OE, la medición de las señales de absorbancia y análisis de las señales incidentes de la muestra, están gestionados por la Raspberry Pi. Se implementó el uso de calibradores de color elaborados con silicón con la intención de garantizar la trazabilidad de las mediciones realizadas. Considerando la necesidad de revisar de forma periódica la exactitud fotométrica del sistema, los calibradores construidos tienen las ventajas de no presentar variaciones asociadas a la variación de la temperatura y degradación del material a lo largo del tiempo. La instrumentación propuesta basada en la adquisición de las imágenes y los espectros obtenidos de ellas resultó útil para corroborar la funcionalidad de los calibradores. Esto representa la primera fase de caracterización del OE en muestras sólidas para después pasar a muestra líquidas, con resultados alentadores que permiten calibrarlo mediante patrones colorimétricos.

INTRODUCCIÓN

La protección de los derechos de los consumidores y la prevención de prácticas fraudulentas o engañosas, así como la adulteración de los alimentos son un desafío importante al que hace frente la industria alimentaria. Hoy en día, todo producto alimentario que sale al mercado debe ser sometido a un riguroso control de calidad que garantice su seguridad para poder ser comercializado. Para este fin, se vuelve indispensable cumplir no solo con estrictas normas de producción sino también con las legislaciones gubernamentales vigentes que los regulan.

El control de calidad en la industria de los alimentos permite limitar la cantidad de fallos que pueden cometerse durante el proceso de fabricación, la selección de materias primas, así como el almacenamiento y la transportación de productos finales. Esta cadena de calidad permite tomar medidas oportunas para disminuir o eliminar estas fallas en los productos que llegan al consumidor.

Uno de los primeros medios para evaluar la calidad de los productos alimentarios ha sido el empleo de los sentidos humanos. Aunque los sentidos de la vista, el oído, el gusto, el olfato y el tacto se usan a diario en todos los aspectos de nuestras vidas, sus aplicaciones analíticas [1] para evaluar las propiedades de los alimentos deben ser llevadas a cabo por un grupo entrenado de panelistas. Esta metodología es muy sencilla y permite obtener resultados rápidamente, sin embargo, se debe tener mucho cuidado con la entrega de muestras para evitar sesgos. Una nueva perspectiva de análisis se sustenta en el uso de instrumentación analítica basada en las llamadas tecnologías bioinspiradas. Los sistemas bioinspirados basan su operación en la emulación de los sentidos humanos para determinar de manera sensorial características de los alimentos. Los sistemas más comunes de estas tecnologías son las Narices Electrónicas (NE), las Lenguas Electrónicas (LE) y los Ojos Electrónicos (OE), que mediante diferentes formas de transducción (energía eléctrica, magnética, química, térmica o de radiación) transforman la información analítica presente en una muestra a una señal eléctrica que posteriormente es interpretada por una herramienta de procesamiento de datos [2-3], dejando de lado las opiniones subjetivas.

TEORÍA

Ojo Electrónico

Un Ojo electrónico (OE) está diseñado para imitar la visión humana y analizar los atributos relacionados con el color y el aspecto de una muestra. Suele ser común, el empleo de técnicas de visión por computadora, técnicas colorimétricas y recientemente la espectrofotometría [4]. De forma general, un ojo electrónico se compone de tres bloques principales: el primero se relaciona con la adquisición de la información analítica, el segundo con el procesamiento de la información adquirida y finalmente el tercer bloque está asociado con el análisis de imágenes obtenidas [5], como se puede ver en el diagrama a bloques de la Figura 1. La etapa de adquisición de imágenes consiste en capturar una imagen real y transformarla en una imagen digital utilizando dispositivos como cámaras, escáneres, videos, etc.

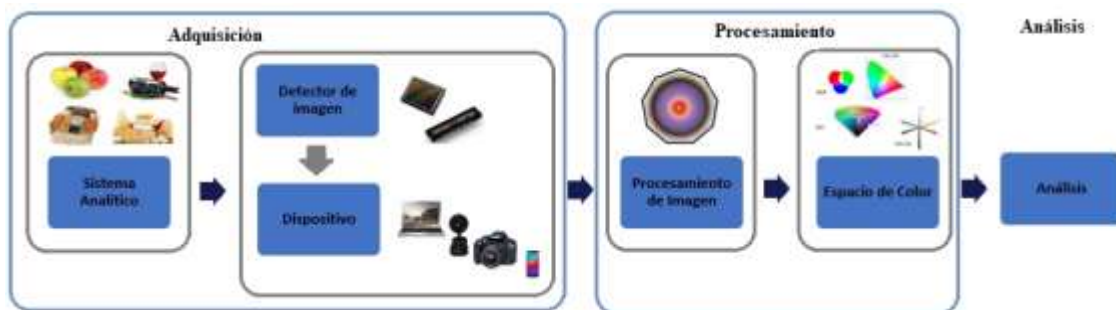


Figura 1. Estructura esquemática de un sistema de análisis de imagen.

Una imagen digital es una representación numérica capaz de procesarse computacionalmente [6]. Esta etapa de procesamiento tiene como objetivo mejorar la imagen adquirida y resaltar las características o regiones de interés, eliminando así las distorsiones y el ruido sin agregar más información a su contenido. En este contexto, existen una gran variedad de técnicas a partir de las cuales es posible analizar la imagen, dentro de las más empleadas se encuentra el uso de la escala de grises y la transformación de color, el umbral y el filtrado empleando espacios de color como lo son: "RGB" (siglas en inglés de *Red, Green, Blue*, en español rojo, verde y azul), "CIE LAB" (siglas en inglés International Commission on Illumination, donde L^* es la luminosidad de un objeto que va desde un valor 0 a 100, A^* representa la variación de verde a rojo, y B^* representa la variación de azul a amarillo), "CIE XYZ" (Y es iluminancia, Z tendencia al azul y X es una mezcla de curvas ortogonales a la luminancia y no negativas) y "HSV" (siglas en inglés Hue, Saturation, Value, en español tonalidad, saturación y brillo). Después de esta etapa, la imagen está lista para la extracción de características donde se hace un análisis de la imagen para clasificarla en 4 categorías: morfológicas, cromáticas, texturales y estructurales [7-8].

Una clara ventaja del OE es su capacidad de analizar imágenes resaltando características no evidentes durante el análisis de muestras, pues es capaz de analizar el color, la forma, el tamaño y la textura de los alimentos de manera efectiva sin requerir fases de pretratamiento. Más importante aún, es una técnica confiable eficiente, no destructiva y de relativa simple operación [9]. Como método de detección es objetivo y rápido, demostrando ser una excelente herramienta en la evaluación de la calidad en las bebidas alcohólicas adulteradas, en el análisis de maduración de frutas, vegetales, granos, productos cárnicos, pescados y mariscos, vinos rojos, café, té, entre otros más [5].

Un sistema de OE basado en la técnica de espectrofotometría servirá para determinar agentes extraños que se puede encontrar en medios cromáticos. Donde la propiedad cromática del análisis de la imagen es parte esencial del desarrollo de este trabajo, debido a que describe el color o la composición espectral de la radiación emitida o reflejada por los objetos. Así mismo, la intensidad de los píxeles coadyuvará en el análisis de las diferentes bandas espectrales.

La calibración de los equipos es indispensable para realizar un adecuado control de calidad y se opta por usar calibradores de soporte, para obtener mediciones precisas. Si la calibración es correcta se puede conseguir una calibración exacta. Para asegurar la trazabilidad de las mediciones realizadas con un espectrómetro se calibra el instrumento mediante una serie de pruebas y cada prueba usa un patrón distinto. Estos patrones pueden ser de: óxido de holmio en ácido perclórico, sulfato de cobre en ácido sulfúrico, dicromato potásico en ácido sulfúrico y nitrato de sodio. Por lo cual se opta por usar patrones colorimétricos para obtener patrones de medida que servirán para poder identificar el color de la muestra y relacionarla con una muestra líquida alimentaria.

En general, los sistemas de medición como los espectrómetros y colorímetros se utilizan para evaluar una amplia gama de productos alimenticios, pero una de las características principales es que funcionan mejor para pinturas, tintas, bebidas homogéneas o extractos alimenticios que para productos alimenticios sólidos, debido que el problema clave que impide mediciones de color precisas y reproducibles es que la mayoría de los alimentos tienen superficies no uniformes y composición heterogénea, con profundos efectos en la reflexión, percepción de la luz y el color por lo cual es una de las ventajas que tiene el análisis de líquidos es evaluar el color manteniendo un ángulo de medición constante, para que la lectura del color sea uniforme.

PARTE EXPERIMENTAL

Diseño y construcción del Ojo Electrónico

El ojo electrónico diseñado en este trabajo opera bajo un sistema espectrofotométrico de UV-Vis tomando como base el espectro reportado en la literatura [10]. El diseño general del equipo se divide en diferentes etapas y el diagrama de bloques principal del dispositivo se muestra en la Figura 2.

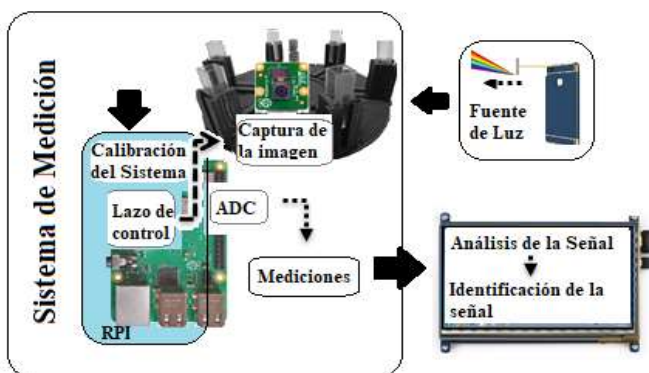


Figura 2. Distribución de los canales del sistema óptico (Flecha negra control electrónico y flecha punteada control interno).

Para la caracterización del ojo electrónico se toma en cuenta la técnica cromática que consta de diferentes módulos. El primero módulo consiste en una fuente de luz blanca, que en este caso corresponde a un diodo emisor de luz (LED) modelo 19239-1. La luz producida por el LED pasa a

través de una rejilla de difracción de 1800 líneas/mm y se descompone en sus diferentes longitudes de onda. La luz blanca del flash LED incide directamente para excitar a la muestra. Después está el módulo de captura de la imagen que basa su operación en una cámara Raspberry Pi V2 para posteriormente acondicionar la señal que es enviada al sistema de registro en la tarjeta Raspberry Pi (RPI) 3 modelo B+. El control del sistema del OE y análisis de las señales incidentes de las muestras, están gestionados por la Raspberry Pi y la medición de las señales de absorbancia se obtiene después de extraer las características cromáticas de cada una de las imágenes de las muestras.

Los materiales utilizados para la fabricación del instrumento tienen una alta resistencia química y aíslan apropiadamente de la luz externa del proceso de medida, con la finalidad de reducir interferencias ópticas que afecten al sistema óptico diseñado. El chasis del prototipo se diseñó para ser impreso en 3D utilizando filamento de impresión ABS (3Dpinplastic) color negro mate con un diámetro exterior de 1.75 mm. Para manipular las muestras por analizar, se utilizaron cubetas de plástico desechables de la marca BRAND, especiales para los análisis espectrofotométricos en la región UV-VIS con un volumen de llenado de entre 1.5 ml a 3.0 ml y con dimensiones externas de 4.5 mm x 23 mm. Estos recipientes deben estar libres de polvo y suciedad para obtener resultados fiables de cualquier etapa experimental.

Recepción de Luz

El módulo de detección de luz está basado en una cámara V2 HD compatible con Raspberry 3B+. Este módulo integra un sensor Sony IMX219 de 8 megapíxeles. Se conecta mediante un cable plano de 60 cm al puerto CSI (del inglés: Camera Serial Interface, o Interfaz de Cámara Serie) de la Raspberry Pi. La resolución útil es de 3238 x 2464 píxeles y una lente óptica de ¼ de pulgada. Las dimensiones de la cámara son: 25 mm x 23 mm x 9 mm.

Sistema mecánico

El prototipo desarrollado dispone de 6 canales; 5 de ellos se utilizan para colocar las celdas de caracterización de medios crómicos, realizando una comparativa de la medición de la muestra de referencia (blanco) y aquella en la que se determinarán los atributos colorimétricos.

El sistema mecánico consta de los siguientes componentes: un sistema giratorio de celdas basado en un engranaje planetario tomado de un motor para aplicaciones automotrices (A), un motor reductor de engranaje DC (12 Volt/1 A) para hacer el funcionamiento de giro (B), un control de velocidad que emplea el sensor L298P (C) junto con un codificador magnético de efecto hall SS466a (D) para el control de la posición; y finalmente la rejilla de difracción en reflexión seleccionada que cuenta con 1800 líneas por milímetro con dimensiones de 25 mm x 25 mm (E). La Figura 3 muestra los componentes descritos.

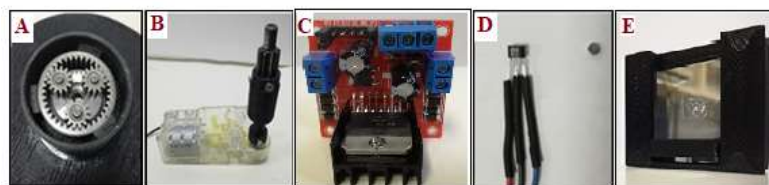


Figura 3. A. Sistema Planetario; B. Motor reductor; C. Sensor de Velocidad; D. Codificador Magnético; E. Rejilla de Difracción.

Preparación de las muestras colorimétricas

Se elaboraron un conjunto de muestras calibradoras para probar el dispositivo diseñado. Se utilizó una mezcla de dos compuestos de caucho de silicón RTV615A y RTV615B (Momentive Performance Materials). Este material permite hacer un encapsulado con la gama de colores del espectro visible al combinarse con tintas colorimétricas genéricas de la marca HP H8940 de colores rojo, azul y amarillo. En la tabla 1 se muestra una relación de los calibradores elaborados para el experimento.

No.	Calibrador	Etiqueta
1	Blanco	CB
2	Rojo	C1
3	Naranja claro	C2
4	Naranja	C3
5	Amarillo	C4
6	Verde claro	C5
7	Verde oscuro	C6
8	Verde	C7
9	Azul	C8
10	Morado	C9
11	Morado claro	C10

Tabla 1. Relación de calibradores colorimétricos.

Un total de 10 muestras patrón fueron analizadas, junto con una muestra de referencia (silicón sin tinta) actuando como blanco. En la Figura 4, se muestran las soluciones elaboradas contenidas dentro cubetas para análisis espectrofotométrico.



Figura 4. Conjunto de calibradores colorimétricos.

RESULTADOS

Procesamiento de imagen en la rejilla de difracción

Para la montura y sujeción de la rejilla de difracción y la cámara Raspberry Rev2 se realizaron diseños de ensamble en una impresora 3D, para posicionar adecuadamente el plano del patrón de difracción. La cámara es un sensor CMOS y está equipada con un dispositivo CCD (siglas en inglés Charge Coupled Device, en español dispositivo de carga acoplada), el cual no es más que un conjunto de píxeles ordenados en una matriz bidimensional. Cada uno de estos píxeles miden la intensidad de la luz que sobre ellos incide, la cual es una parte pequeña de la escena que enfoca la cámara. De esta forma la imagen continua se discretiza en una matriz de valores de intensidad. Cada píxel este cubierto con uno de tres tipos de filtros, rojo (R), verde (G) o azul (B), en un patrón conocido como mosaico de Bayer para producir imágenes a color. Por lo tanto, a cada píxel le corresponde tres valores de intensidad RGB.

El experimento se realizó de forma que la cámara Raspberry Pi V2 recoja la señal reflejada por la rejilla de difracción, al hacer incidir el haz de luz blanca que previamente fue centrada con respecto a la montura construida. La Figura 5 muestra la captura de la imagen de la rejilla.

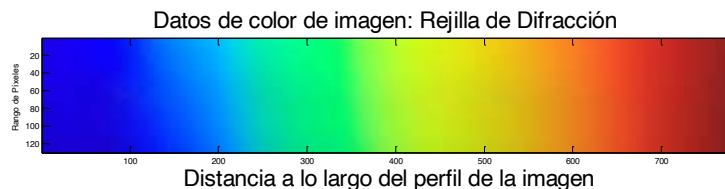


Figura 5. Captura de la imagen de la Rejilla de difracción.

Sensitividad espectral de la cámara Raspberry Pi V2

Empleando un algoritmo programado en la plataforma Matlab® 2014, es posible detectar el perfil de intensidad a lo largo de un segmento de línea de la imagen capturada por la cámara. Se extrajo una fila de píxeles de la región de mayor calidad de la imagen del sensor con el fin de graficar la intensidad plasmada en cada píxel en una escala de 0 a 255 (correspondiente a una imagen de 8 bits). En la Figura 6 se encuentran tres graficas separadas por las intensidades roja, verde y azul

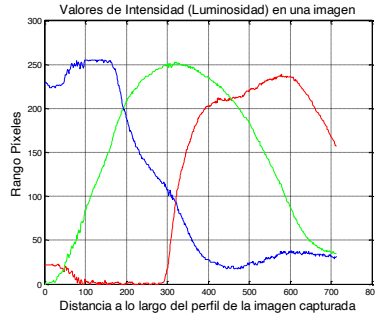


Figura 6. Perfil de Intensidad de la Rejilla de difracción.

En la tabla 2 se aprecian las componentes del modelo RGB de cada uno de los patrones de silicón preparados con variaciones de color, los valores obtenidos del modelo corresponden a la sensibilidad para cada canal de color.

Muestra	R	G	B
CB	248	239	248
C1	220	168	242
C2	234	213	199
C3	234	179	168
C4	238	224	190
C5	236	231	214
C6	114	216	170
C7	197	221	199
C8	208	232	228
C9	186	191	219
C10	218	219	228

Tabla 2. Componentes RGB para cada calibrador.

En la Figura 7 se puede observar que para el calibrador CB, el cual proporciona una imagen blanca, los canales de color se encuentran muy próximos entre sí, principalmente el canal rojo y azul. Para el calibrador C1 el canal que predomina es el rojo lo cual también se observa en la imagen con esta misma tonalidad. Para la muestra de tonalidad verde los canales que predominan son el verde y el azul.

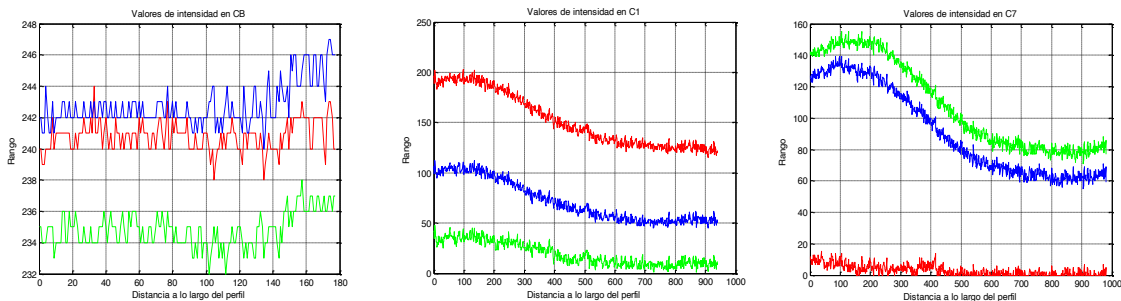


Figura 7. Perfil RGB de las muestras calibradoras: CB, C1, C7.

Perfil de Absorbancias de los calibradores colorimétricos en un espectrómetro comercial

Para esta parte del trabajo, se realizó un barrido espectral desde los 190 nm a los 1100 nm con un espectrómetro comercial UV-Visible Agilent Mod. 8453. Los valores de absorbancia medidos se muestran en la tabla 3. La figura 8 muestra el espectro de absorción de los calibradores colorimétricos construidos. Si se realiza un acercamiento a la imagen en el intervalo de 700 a 840 nm, es posible observar una separabilidad de los patrones diseñados, aquí se puede establecer que a una longitud de onda de $\lambda=740$ nm, se encuentra el máximo de absorbancias que permite identificar y caracterizar cada uno de los calibradores. La muestra de referencia CB se calibró a 0 nm

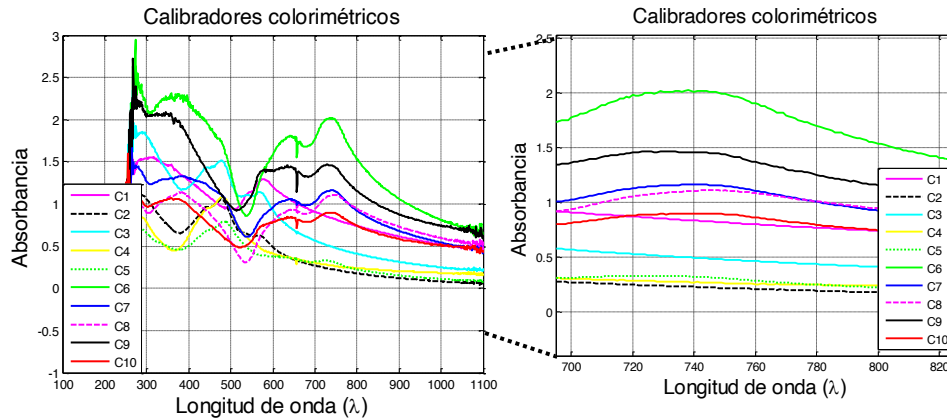


Figura 8. Mediciones de Absorbancias

Tonalidad	Etiqueta	Absorbancia M_{max}
Rojo	C1	0.8373
Naranja claro	C2	0.2296
Naranja	C3	0.4977
Amarillo	C4	0.2734
Verde claro	C5	0.3241
Verde Oscuro	C6	2.025
Verde -azul	C7	1.162
Azul	C8	1.102
Morado	C9	1.458
Morado claro	C10	0.8965

Tabla 3. Absorbancias máximas.

Perfil de Absorbancias de los calibradores colorimétricos en el sistema óptico

Partiendo del análisis de las muestras con el sistema desarrollado, se examinó la cantidad de radiación electromagnética absorbida por cada patrón colorimétrico. La potencia del haz transmitido por la solución del analito es comparada comúnmente con la potencia del haz transmitido por una celda idéntica que contiene solamente solvente. En este caso el solvente es la muestra patrón CB. Para determinar la absorbancia experimental [11], se emplea la definición:

$$A_{experimental} = -\log \frac{I_{solución\ analito}}{I_{muestra\ patrón}}$$

En esta definición, interviene la intensidad de la solución referencia (blanco) y la solución muestra de interés. En este sentido, el sistema permitió adquirir imágenes a color de cada una de las muestras calibratoras, con las que es posible obtener los histogramas de intensidad RGB para cada una de ellas, además del blanco. Las imágenes a color consisten regularmente de una composición de tres imágenes separadas en escala de grises, cada una representa los tres colores primarios; rojo, verde y azul. Una vez adquiridos, se realizaron 10 repeticiones de lectura por cada muestra con

el fin de observar la repetibilidad en el registro. Dado que las variaciones observadas fueron mínimas, se decidió realizar un promedio para cada una de las pruebas en cada rango de la muestra colorimétrica.

De esta forma se tiene un total de 10 muestras colorimétricas considerando las 3 componentes del espacio de color de las imágenes de color (RGB). La dimensión máxima de datos disponible está formada por 50 repeticiones por medida de cada imagen de color x 3 rangos de espacio de color x 10 calibradores colorimétricos.

En la tabla 4 se muestran las absorbancias conseguidas de cada calibrador. Así mismo, se puede observar que existe una distinción de absorbancias máximas por la tonalidad de la muestra de color si se compara con las componentes RGB. De esta forma, solo 5 de las 10 muestras analizadas cumplen con esta condición de absorbancias, en comparación de las muestras en tonalidad azul, puesto que la mayoría de estas arrojan una absorbancia en la componente roja.

Tabla 4. Pruebas de Absorbancias máximas en el OE

CA L.	TONALI DAD	PRUEBA 1			PRUEBA 2			PRUEBA 3			PRUEBA 4			PRUEBA 5			PROMEDIO			GENE RAL
		R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
c1	Rojo	<u>3.0</u> 75	2.5 34	2.7 84	<u>3.0</u> 08	2.5 21	2.7 42	3.0 37	2.5 21	2.7 4	<u>2.6</u> 43	2.2 58	2.4 27	<u>2.6</u> 24	2.2 48	2.4 07	2.8 77	2.4 16	2.6 2	2.637 8
c2	Naranja claro	2.6 3	2.4 58	2.9 23	2.5 08	2.4 29	2.7 39	2.5 06	2.4 26	2.7 53	2.5 6	2.4 38	2.8 04	2.5 66	2.4 43	2.8 42	2.5 54	2.4 39	2.8 12	2.601 7
c3	Naranja	<u>2.7</u> 33	2.6 17	2.5 22	<u>2.7</u> 43	2.6 18	2.5 32	<u>2.7</u> 62	2.6 24	2.5 97	2.9 45	2.7 88	3.1 01	<u>2.9</u> 56	2.7 91	2.6 92	2.8 28	2.6 88	2.6 89	2.734 6
c4	Amarillo	2.9 36	<u>3.0</u> 26	2.4 74	2.9 08	<u>3.0</u> 12	2.3 4	2.7 65	<u>2.9</u> 6	2.0 89	2.7 44	<u>2.9</u> 57	2.0 61	2.8 11	<u>2.9</u> 53	2.1 33	2.8 33	<u>2.9</u> 82	2.2 2	2.678
c5	Verde claro	2.4 9	<u>2.7</u> 06	2.4 74	2.5 33	<u>2.7</u> 29	2.5 45	2.5 23	<u>2.7</u> 29	2.5 45	2.4 68	<u>2.6</u> 9	2.4 55	2.4 71	<u>2.6</u> 95	2.5 02	2.4 97	<u>2.7</u> 1	2.5 04	2.570 3
c6	Verde Obscuro	2.8 01	3.1 4	<u>3.3</u> 02	2.8 1	3.1 3	<u>3.2</u> 87	2.8 76	3.1 75	<u>3.3</u> 39	2.8 2.8	3.1 3	<u>3.2</u> 83	2.7 48	3.1 08	<u>3.2</u> 65	2.8 07	3.1 37	<u>3.2</u> 95	3.079 6
c7	Verde - azul	2.5 35	2.3 89	2.1 07	2.0 61	2.3 83	2.4 64	2.3 68	2.3 62	1.9 88	2.4 44	2.3 81	2.0 87	2.7 26	2.4 35	2.3 61	2.4 27	2.3 9	2.2 02	2.339 4
c8	Azul	3.1 51	2.9 56	<u>3.1</u> 56	2.3 5	2.3 32	2.2 24	2.4 23	2.3 2	<u>2.5</u> 33	2.3 02	2.2 76	2.2 05	2.2 96	2.2 72	2.2 02	2.5 04	2.4 31	2.4 64	2.466 4
c9	Morado	2.4 19	2.2 19	<u>2.4</u> 67	2.4 45	2.2 35	<u>2.4</u> 85	2.5 18	2.2 31	2.4 73	2.3 5	2.2 03	2.3 3	2.6 23	2.2 58	2.4 56	2.4 71	2.2 29	2.4 42	2.380 7
c10	Morado claro	2.4 05	2.2 8	2.3 22	2.2 25	2.2 13	2.1 95	2.2 05	2.2 12	2.1 93	2.4 26	2.2 87	2.3 36	2.2 25	2.2 13	2.1 95	2.2 97	2.2 41	2.2 48	2.262 1

En este sentido el CMC (Comité de Medición del Color de la Sociedad de Tintes y Colorantes de Gran Bretaña) provee un mejor acuerdo entre la evaluación visual y las diferencias de color instrumentalmente [12]. Las consideraciones propuestas por esta organización, permite establecer un mejor sistema para evaluar la percepción del color del ojo humano avalado por Teunis X-Rite, Grandville, Michigan. Es necesario recalcar que la percepción del color del ojo humano es más tolerante en la región verde, pero menos tolerante en la región azul oscuro. Relacionando lo anterior y tomando en consideración los resultados arrojados de la absorbancia experimental por componente RGB del sistema OE, es posible evidenciar que para las muestras colorimétricas en tonalidades azules/moradas tienen una absorbancia representativa en la componente roja (no tolerable/no aceptable) y para las muestras colorimétricas en tonalidades verdes/amarilla arroja el color en la componente verde (tolerable/aceptable), por lo que el sistema desarrollado muestra tolerancias acordes con las relacionadas a la tonalidad del color rojo y verde.

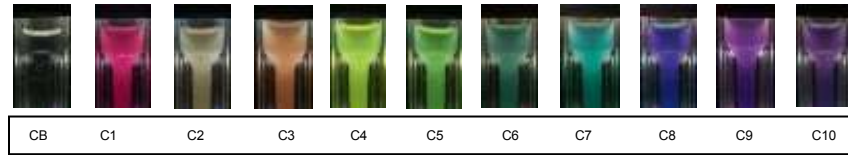


Figura 10. Fotografías capturadas por la cámara Raspberry Pi. Dimension:1458 x1944 píxeles; Representación del color sRGB; Distancia focal 3 mm; Punto focal f/2; Tiempo de exposición: 1/15 s; Velocidad ISO-320; Apertura máxima: 2

Con los datos integrados en la tabla 5 y representados en la figura 10, es posible mostrar una comparativa de la desviación estándar de los calibradores, donde es posible notar que la dispersión de los datos para al menos 7 calibradores es mínima. El calibrador 6 con tonalidad verde oscuro en lo particular, presenta una mejor respuesta en comparación con el resto de las muestras gelificadas.

CALIBRADOR	TONALIDAD	Desviación Estándar General			Desviación Estándar
		R	G	B	
c1	Rojo	0.200537228	0.133634	0.166493452	0.027314574
c2	Naranja claro	0.04539815	0.0111749	0.066297885	0.022721941
c3	Naranja	0.100575277	0.0830672	0.214730954	0.058379415
c4	Amarillo	0.07649127	0.0310235	0.160537684	0.053650144
c5	Verde claro	0.026663953	0.016516	0.036385217	0.008112205
c6	Verde oscuro	0.040974597	0.0217	0.024988189	0.008418809
c7	Verde -azul	0.218564028	0.0244445	0.180071515	0.083920464
c8	Azul	0.326491559	0.2634179	0.368065007	0.043021515
c9	Morado	0.093281454	0.0183749	0.056809274	0.030583962
c10	Morado claro	0.097256375	0.0348307	0.066107591	0.025485188

Tabla 5. Comparativa en desviación estándar por RGB y general

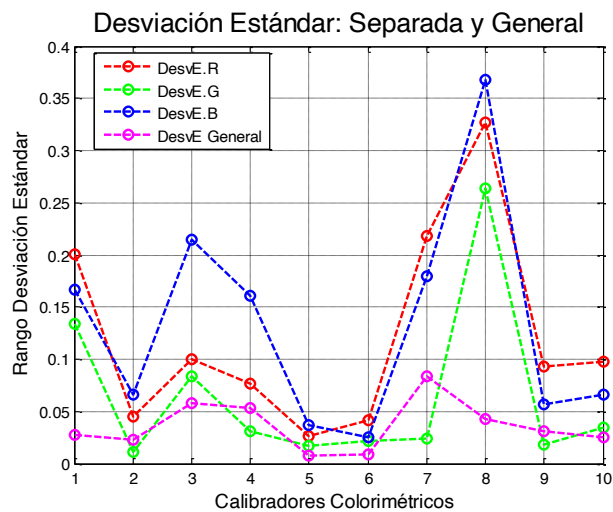


Figura 9. Comparación de desviación estándar: separada y general

CONCLUSIONES

En este trabajo se implementó el uso de calibradores de color, basados en muestras colorimétricas elaboradas con silicón que permiten garantizar la trazabilidad de las mediciones realizadas. Considerando la necesidad de revisar de forma periódica la exactitud fotométrica y longitud de onda del sistema, los calibradores construidos tienen las ventajas de no presentar variaciones asociadas al cambio de temperatura y degradación a lo largo del tiempo. Así mismo, la instrumentación propuesta basada en la adquisición de las imágenes y los espectros de una muestra resultó útil para corroborar que los calibradores de absorción tienen separabilidad entre ellas, permitiendo diferenciar entre muestras colorimétricas a partir de espectro y absorbancia. El procesamiento de imagen que permite obtener la respuesta espectral del sensor CCD, favorece la identificación de los canales de color del modelo RGB para cada píxel de la cámara Raspberry Pi V2 empleada. El procedimiento en su conjunto representa la primera fase de caracterización del OE para muestras de color en estado sol-gel, en donde los resultados obtenidos son alentadores porque permiten calibrar el OE a partir de patrones colorimétricos, brindando la pauta para establecer absorbancias experimentales a partir de las imágenes de color de cada una de las muestras colorimétricas.

BIBLIOGRAFÍA

1. H. Zumbado. "Análisis químico de los alimentos. Métodos Clásicos" *Principales campos de aplicación de la química analítica en el área de los alimentos*. (Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad la Habana, 2004). Capítulo 1, pp.17-19.
2. S. Buratti et al, "E-nose, e-tongue and e-eye for edible olive oil characterization and shelf life assessment: A powerful data fusion approach", *Talanta*, Vol. 182, 2018, pp. 131-141.
3. G. Orlandi et al, "Data fusion of electronic eye and electronic tongue signals to monitor grape ripening", *Talanta*, Vol. 195, 2019, pp. 181-189.
4. Di Wu, Da-Wen Sun, "Colour measurements by computer vision for food quality control – A review", *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 29, 2013, pp. 5-20.
5. Changhua Xu, "Evaluation Technologies for Food Quality". *Electronic eye for food sensory evaluation* (Ed. Jian Zhong, Xichang Wang. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition), Chapter 4. 2019, pp. 37-59.
6. Juliana Freitas Santos Gomes, Fabiana Rodrigues Leta. "Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: a review", *European Food Research and Technology*. Vol. 235, 2012, pp 989–1000.
7. Karsten Rodenacker and Ewert Bengtsson. "A feature set for cytometry on digitized microscopic images". *Analytical Cellular Pathology*. Vol. 25, 2002, pp 1–36.

8. Tomás Kratochvíl and Jan Melo. "Utilization of matlab for tv colorimetry and color spaces análisis", Institute of Radio Electronics, Brno University of Technology.2006
9. Giorgia Orlandi et al, "Electronic eye for the prediction of parameters related to grape ripening", Talanta, Vol. 186, 2018, pp. 381-388.
10. Gómez Rocha Anais Ivonne, Gutiérrez Salgado Juan Manuel. Tesis "Desarrollo de un pHmetro óptico para medidas in-situ". Departamento de Ingeniería Eléctrica, Sección de Bioelectrónica. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, 2016.
11. Brunatti Carlos, Martín Ana María. Introducción a la Espectroscopia de Absorción molecular ultravioleta, visible e infrarrojo cercano. Recuperado de <http://materias.fi.uba.ar/6305/download/Espectrofotometria.pdf>. 19/06/2020
12. Socaciu Carmen, Diehl A. Horst. "11. Instruments to Analyze Food Colors". Handbook of Food Analysis Instruments. 2008. Doi. 10.1201/9781420045673.ch8

DIFERENCIA TOPOLOGICA EN CONECTIVIDAD FUNCIONAL EN BAJAS FRECUENCIAS DURANTE PROTOCOLOS DE MOVIMIENTO EN MIEMBRO INFERIOR: ESTUDIO EN COHERENCIA EEG

Jashua R. Amaro-Lechuga¹, Miguel A. Lozano-López¹, Griselda Quiroz-Compeán², Aurora Espinoza-Valdez¹ y Ricardo A. Salido-Ruiz¹,

¹Universidad de Guadalajara, ²Universidad Autónoma de Nuevo León.
pluck656@gmail.com

RESUMEN

Una de las aplicaciones más interesantes de la interfaz cerebro máquina (BCI, en inglés) es el control de dispositivos de asistencia para la rehabilitación de patologías neuromotoras. Esto significa que los dispositivos de asistencia (prótesis, órtesis o exoesqueletos) pueden detectar la intención de movimiento del usuario, mediante la adquisición e interpretación de señales electroencefalográficas (EEG). En este trabajo, se desean estudiar los cambios de conectividad funcional cerebral producidos durante un protocolo de movimiento síncrono del miembro inferior: flexión y extensión de la cadera en sujetos sentados. De manera más puntual se desean conocer los estados de conectividad funcional cerebral para dos estados en este movimiento que son cuando la cadera esté flexionada y en reposo. Para ello, se registra la actividad electroencefalográfica y se genera una matriz de interrelaciones a partir del cálculo de la coherencia entre la actividad eléctrica de los electrodos de registro para cada uno de los dos estados. En el estado 1 la pierna se encuentra en descanso (D), en el estado 2 la cadera está en flexión isométrica (FI). La matriz de coherencia para ambos estados es obtenida promediando el contenido energético de distintas bandas de frecuencia δ (0.5-4 Hz), θ (4-7 Hz), α (8-14 Hz), β (15-30 Hz), γ (30-80 Hz) y γ_{alta} (80-150 Hz) y cada una es representada por un grafo. Se calcularon las diferencias entre los grafos que representan el estado 1 y 2 utilizando la distancia Hamming. Entre los resultados más interesantes se observa que la distancia Hamming en altas frecuencias (β , γ y γ_{alta}) es cercana a cero, lo que significa que los grafos son muy parecidos cuando la cadera está flexionada o en posición de descanso. Esto, desde el punto de vista de la coherencia que mide la similitud en el contenido frecuencial de dos señales, quiere decir que en las conexiones del grafo se observa el mismo contenido frecuencial en altas frecuencias, es decir no existe mucha diferencia en la conectividad funcional entre mantener flexionada o en reposo la cadera. Por otro lado, la distancia Hamming entre los grafos de ambos estados para bajas frecuencias exhibe diferencias de interconexión, es decir, existe diferencia en la conectividad funcional entre mantener arriba o abajo la pierna. Es posible utilizar ésta información para generar señales de control espacio-temporales de baja frecuencia para activar dispositivos de asistencia a la rehabilitación del miembro inferior.

INTRODUCCIÓN

La restauración del movimiento en miembros inferiores en pacientes con discapacidad en las mismas utilizando interfaces cerebro computador (BCI, por siglas en inglés) es aún un desafío científico y tecnológico. Uno de los paradigmas en la actualidad es el uso de robots portátiles en la asistencia del movimiento físico y la rehabilitación en miembros inferiores en personas discapacitadas a fin de ayudarlos a recuperar sus capacidades de locomoción [1,2]. Por otro lado las Interfaces Humano Máquina (BMI, por sus siglas en inglés) eferentes, la idea principal es que el dispositivo de asistencia pueda interpretar la intención del movimiento del paciente y llevarla a cabo. Para tal efecto, la caracterización de la actividad neuronal durante el movimiento del miembro inferior es clave para la interpretación del movimiento voluntario. En este sentido, algunos enfoques explorados a partir de señales electroencefalográficas son la clasificación de características, ya sea en el dominio del tiempo o de la frecuencia [3,4] y la clasificación de tareas de locomoción a partir de patrones espaciales en conjunto con las características en el dominio de la frecuencia de la señal EEG [5]. Esta última se basa en análisis de conectividad cerebral con grafos obtenidos a partir de matrices de interrelación entre las regiones cerebrales cuyos coeficientes indican que tan fuerte es la relación entre dos regiones. En el caso de la EEG éstas matrices muestran la relación de la actividad eléctrica entre todos los pares de electrodos utilizados en el registro. La coherencia entre señales se ha

utilizado para obtener este tipo de matrices de interrelación y ha probado ser capaz de mostrar diferencias en los patrones de conectividad que permiten diferenciar tareas de locomoción [5]. Cuantificar las diferencias en estos patrones de conectividad es necesario para poder discernir qué tan robusto es utilizar este tipo de características espacio-frecuenciales en distintos tiempos de movimiento. Es por ello que en este estudio se pretende cuantificar las diferencias topológicas de los grafos obtenidos a partir de matrices de coherencia y de una medida de distancia en dos estados de movimiento del miembro inferior que suceden en un tiempo 1 y un tiempo 2.

El documento está organizado de la siguiente manera. Las bases teóricas se encuentran en la sección de Teoría. Las herramientas computacionales, el protocolo experimental, procesamiento de los datos junto con la metodología para el análisis de conectividad mediante grafos se describe en la sección Parte Experimental. Al final se presentan los resultados y las conclusiones de este estudio.

TEORÍA

En esta sección presentaremos un marco teórico mediante ecuaciones que definen y ejemplifican los conceptos teóricos en los cuales está basado este estudio.

Métodos matemáticos

Coherencia

La coherencia es una función en el dominio de la frecuencia (ω) cuyas magnitudes se encuentran normalizadas entre 0 y 1, y que indican que tanto corresponde una señal (*entrada*) a otra (*salida*) $x(t)$, $y(t)$ para cada valor de frecuencia ω . En otras palabras, la coherencia es un coeficiente de correlación cuadrático que estima la consistencia de amplitud y fase relativas entre un par de señales [6]. Su ecuación viene dada por:

$$S_{xy}(W) = \frac{|S_{xy}(\omega)|^2}{S_{xx}(\omega) S_{yy}(\omega)} \quad (1)$$

Donde $S_{xx}(\omega)$, $S_{yy}(\omega)$ son las densidades de los espectros de la series de tiempo x e y y $S_{xy}(\omega)$ define la densidad del espectro cruzado de ambas señales.

Grafos

Denotaremos un grafo como una pareja de conjuntos $G = (V, E)$, donde V es el conjunto finito no vacío de vértices o puntos v_i , y E el conjunto de aristas o líneas que unen dos puntos de V ; E puede ser vacío [7].

Distancia entre grafos

La distancia entre dos vértices v_1 y v_2 de G , denotados como $d(v_1, v_2)$, se define como la longitud de la vía más corta entre esos dos vértices. Esta distancia es una cantidad positiva y toma sólo valores enteros. Si no existe conexión entre alguna pareja de vértices v_1 y v_2 se dice que $d(v_1, v_2) = \infty$ [7].

Distancia Hamming

La distancia de Hamming es dada por un número de conexiones poco comunes sobre el número de posibles conexiones y así, para dos grafos $g1$ y $g2$ con el mismo número de nodos N , es dado por [7]:

$$H_D(g1, g2) = \frac{|E_{g1} \cup E_{g2}| - |E_{g1} \cap E_{g2}|}{N(N-1)/2} \quad (2)$$

PARTE EXPERIMENTAL

En esta sección presentaremos las herramientas computacionales, el protocolo experimental, procesamiento de señales EEG para la obtención de las matrices de coherencia y la metodología

que fue empleada para la realización de este estudio de donde serán obtenidos los grafos de conectividad cerebral.

Herramientas computacionales

Se utiliza el lenguaje Python para generar los algoritmos que permitirán el manejo eficiente de la información tanto por su facilidad de programación como por la integración de librerías de terceros, adicionando funciones y tipos de datos con un consumo mínimo de recursos [8].

Numpy es el paquete fundamental para la computación científica con Python, que integra herramientas útiles para el manejo de matrices n-dimensionales así como una vasta colección de funciones de álgebra lineal [9,10].

La biblioteca de SciPy, provee funciones específicas para el procesamiento de señales en conjunto con los tipos de dato matriciales de NumPy que además incluye herramientas de lectura y escritura de archivos *.mat [11].

Protocolo Experimental

Para la obtención de los datos electroencefalográficos durante la realización de una tarea motora en miembro inferior se pidió de forma oral a un sujeto sin patologías motoras que diera consentimiento para llevar a cabo una tarea motora en miembro inferior que se describe a continuación [12]. La tarea consistió mientras permanecían cómodamente sentados en una silla en elevar la rodilla realizando una flexión isotónica en la articulación de la cadera siguiendo una secuencia temporal que comenzaba con:

(1) Un tiempo de descanso con el muslo haciendo un ángulo de 45° con la horizontal, logrando también un ángulo de 45° entre la pantorrilla y el muslo (ver Figura 1) durante 30 segundos.

(2) Después de haber tomado este periodo de descanso el sujeto recibía la instrucción de elevar la pierna derecha mediante un movimiento isotónico a su posición máxima, manteniéndola en esa posición mediante un ejercicio isométrico durante 3 segundos.

(3) Después de este periodo, se le indicó al sujeto bajar la pierna derecha mediante un movimiento isotónico a la posición inicial y mantenerla allí durante otros 3 segundos.

Para llevar un control de las pruebas, al sujeto se le mostraba un video con indicaciones ilustradas para elevar o bajar la pierna en los tiempos y duraciones solicitados. De esta secuencia de movimientos se realizaron 10 repeticiones consecutivas y justo después el sujeto descansaba por otros 30 segundos cumpliendo así con una sesión de movimientos.

El registro final consistió de la actividad eléctrica cerebral obtenida para 10 sesiones de este movimiento. Este se llevó a cabo con el equipo MOBITA-W-32 EEG utilizando 9 electrodos (F3, F4, FZ, C3, C4, CZ, P3, P4, PZ) posicionados de acuerdo al estándar internacional 10-20, registrando a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz.

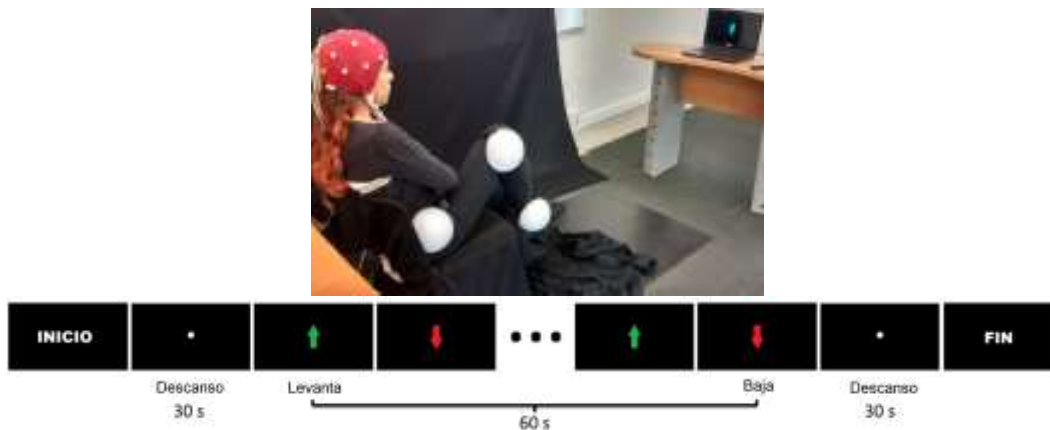


Figura 1. Posición inicial de la tarea motora en miembro inferior llevada a cabo en este estudio donde se observan 3 marcadores esféricos colocados en cadera, rodilla y tobillo (Arriba). Indicaciones visuales para llevar a cabo la tarea motora (Abajo).

Procesamiento de Señales

Las señales EEG son susceptibles a la contaminación por distintos tipos de artefactos; es decir señales ajenas al estudio como puede ser ruido u otro tipo de bioseñales registradas al mismo tiempo y que degradan la señal impidiendo obtener buenas interpretaciones sobre los datos registrados. Es por ello que se utilizó el método computacional FastICA el cual permite obtener componentes independientes en registros multi-variable. Los artefactos al ser externos e independientes de las señales de interés (en este caso EEG) pueden ser separados como componentes independientes de la señal y eliminados tras una reconstrucción de la señal sin estos componentes. Se pidió a un experto seleccionar las componentes independientes asociadas a artefactos para su posterior eliminación de forma manual [13,14].

Una vez eliminados los artefactos de los registros se calculó la coherencia entre los 9 canales registrados utilizando la ecuación (1) que dieron lugar a 81 espectros de coherencia correspondientes a las combinaciones de estimación entre los 9 canales que pueden ser representados por una matriz tridimensional donde los renglones y las columnas contienen los coeficientes de coherencia para cada una de las frecuencias representadas por cada una de las capas de profundidad de la matriz tridimensional. De esta representación se seleccionaron intervalos de frecuencia (capas de profundidad) correspondientes a las conocidas bandas de estudio del EEG (δ (0.5-4 Hz), θ (4-7 Hz), α (8-14 Hz), β (15-30 Hz), γ (30-80 Hz) y γ_{alta} (80-150 Hz)) y promediaron para así obtener una matriz de coherencia de 9×9 elementos por cada una de las bandas del EEG [15]. Cada coeficiente de estas matrices de coherencia representan el grado de conectividad entre cada par de electrodos y ésta matriz puede ser representada como un grafo que permita simplificar un análisis de conectividad.

METODOLOGÍA

A continuación se describen los pasos de la metodología (ver figura 2):

1. Se lee la matriz de datos que contiene los registros EEG de cada sesión, éstos contienen a su vez 10 repeticiones del movimiento de miembro inferior descrito anteriormente.
2. Se segmenta cada registro en sus 10 repeticiones respectivas y a su vez cada repetición se segmenta en dos tipos de intervalos: tiempo en que la cadera se empieza flexionada y tiempo en el que la pierna se encuentra en descanso.
3. Por cada segmento de flexión o descanso de cada repetición se calcula la coherencia entre los 9 canales del EEG descritos en el protocolo experimental, agrupando los coeficientes resultantes por las bandas de frecuencia descritas en la sección anterior.
4. Se promedian las matrices de coherencia de las 10 repeticiones de subida y las 10 de bajada en cada una de las bandas de frecuencia propuestas.
5. Se umbralizan todas las matrices promedio obtenidas omitiendo los coeficientes de la diagonal (p.ej. al ser todos unitarios no aportan información) para obtener las conexiones más representativas y eliminar las menos representativas.
6. Se binariza la matriz.
7. Para cada par de matrices binarizadas de flexión o descanso respectivamente en cada una de las bandas de frecuencia se calcula la distancia Hamming.
8. Al final se grafican los pares de grafos provenientes de las matrices de coherencia a comparar junto con su valor de distancia Hamming.
9. Guardar los resultados.

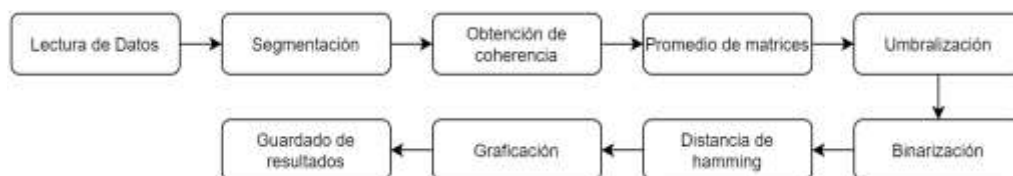


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología propuesta.

RESULTADOS

Se obtuvieron pares de grafos de conectividad cerebral respectivos al ejercicio isotónico con la cadera flexionada y en posición de descanso (puntos 2 y 3 de la secuencia de movimiento descrita en el protocolo experimental) a partir de las matrices de coherencia obtenidas para las bandas de frecuencia EEG descritas en la sección Parte Experimental. En la Figura 3 se presenta un ejemplo de los grafos obtenidos para la banda δ y la banda γ . En esta figura se observa tanto cualitativamente (grafo de conectividad) como cuantitativamente (distancia Hamming) que en la banda δ tenemos dos grafos distintos en su topología en función del estado en el que se encuentra la cadera: flexión isométrica (FI) o descanso (D). Cualitativamente se observa una disminución en la conectividad cerebral cuando la cadera está flexionada y un aumento en la conectividad cuando la cadera está en descanso. Cuantitativamente observamos un coeficiente que pondera estas diferencias con un valor de 0.1389. Por otro lado, en la banda γ tenemos dos grafos idénticos en su topología para los dos estados en el que se encuentra la cadera. Cualitativamente se observa el mismo número de conexiones en ambos grafos cuando la cadera se encuentra arriba en extensión isométrica o cuando la cadera se encuentra en descanso y cuantitativamente observamos un coeficiente igual a cero que efectivamente nos indica que ambos grafos son idénticos, es decir su distancia o diferencias topológicas son nulas.

Se calculó la distancia Hamming entre todos los pares de grafos obtenidos en las 10 repeticiones efectuadas por el sujeto para cuantificar estadísticamente las diferencias topológicas entre ambos estados de este protocolo de movimiento de miembro inferior. En la Tabla I se presentan las distancias obtenidas entre los grafos obtenidos para estos 2 estados para cada una de las repeticiones realizadas y en las bandas de frecuencia estudiadas. Se observa que existe casi la misma leve variabilidad de la distancia en función de la realización en todas las bandas de frecuencia, sin embargo, en promedio las distancias entre ambos grafos (FI y D) tienden a ser mayores en bajas frecuencias (bandas δ , θ y α) y menores para altas frecuencias (bandas β , γ y γ_{alta}). La moda de estos datos reafirma también que se obtuvieron distancias mayores en mayor cantidad para las bandas de baja frecuencia δ , θ y α y distancias menores en mayor cantidad para las bandas de alta frecuencia β , γ y γ_{alta} .

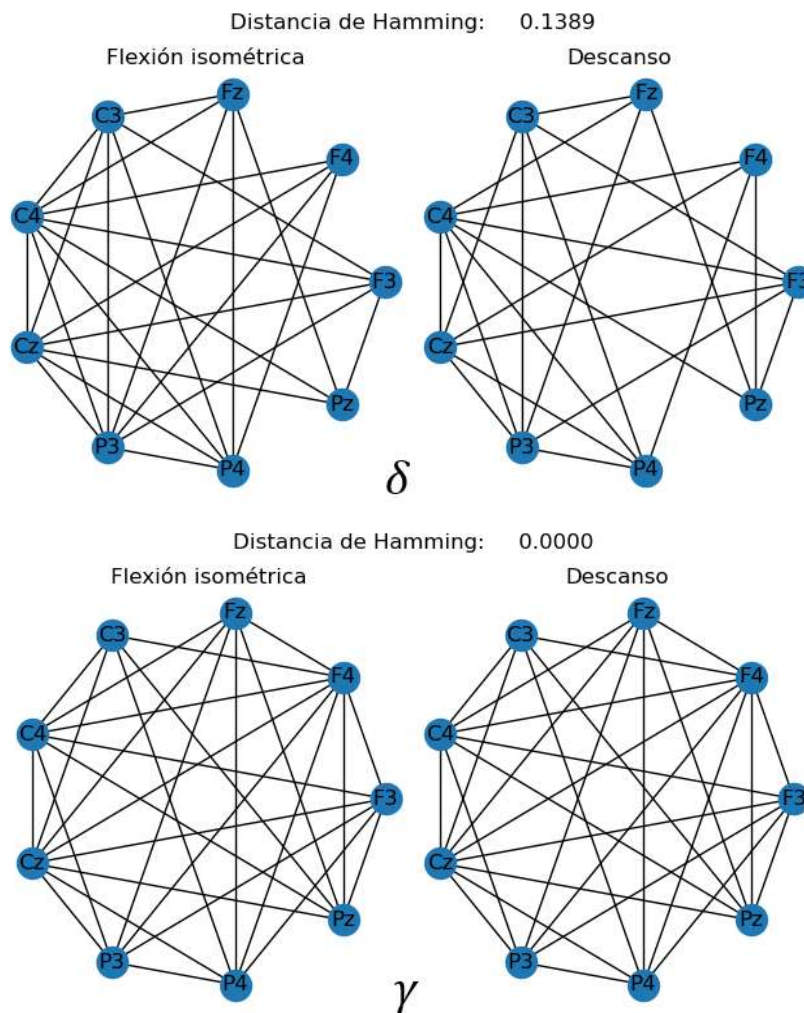


Figura 3. Grafo de conectividad en estados de movimiento basado en coherencia EEG. A) Diferencias topológicas en los estados flexión isométrica (FI) y descanso (D) de la pantorrilla en la banda δ . B) Diferencias topológicas en los estados FI y D de la cadera en la banda γ .

Se llevó a cabo un análisis de la varianza de los datos presentados en la Tabla I que se resume en la Figura 4. En esta figura se puede apreciar cómo se distribuyen los valores de distancia Hamming para cada una de las bandas de frecuencia. Claramente se observa que los rangos en los valores de distancia entre los estados FI y D se pueden agrupar en dos grupos: Baja Frecuencia (BF) y Alta Frecuencia (AF). Observamos que entre las bandas de frecuencia pertenecientes al grupo BF (δ , θ y α) o al de AF (β , γ y γ_{alta}) no existen diferencias realmente significativas $p=0.06 > 0.05$ y $p=0.26 \gg 0.05$, mientras que si las hay entre los grupos AF y BF $p = 2.59 \cdot 10^{-16} \ll 0.05$.

Los resultados quieren decir que se presenta el mismo contenido frecuencial en todas las regiones cerebrales registradas para bandas de alta frecuencias en ambos estados FI y D generando así topologías idénticas de conectividad incapaces de detectar el estado en el que se encuentra la cadera.

Por otro lado, los resultados indican que se presentan contenidos frecuenciales distintos en algunas regiones cerebrales registradas para bandas de bajas frecuencias en ambos estados FI y D generando así topologías distintas de conectividad capaces de detectar el estado en el que se encuentra la cadera.

Tabla I. Distancia Hamming entre estados EIA y RA (H_D)						
No. Repetición	δ	θ	α	β	γ	γ_{alta}
1	0.194	0.222	0.305	0.166	0	0
2	0.166	0.250	0.250	0.027	0	0.055
3	0.222	0.250	0.222	0.055	0.055	0
4	0.083	0.277	0.333	0.083	0.027	0
5	0.194	0.138	0.250	0	0.194	0.027
6	0.138	0.166	0.194	0.027	0.027	0.055
7	0.166	0.166	0.194	0	0.055	0
8	0.277	0.138	0.250	0.027	0.027	0.055
9	0.222	0.250	0.166	0.083	0.055	0.027
10	0.027	0.277	0.194	0.055	0.055	0
$\mu \pm \sigma$	0.16 \pm 0.07	0.21 \pm 0.05	0.23 \pm 0.05	0.05 \pm 0.04	0.04 \pm 0.05	0.02 \pm 0.02
Moda (Frec.)	0.1(5)	0.2(6)	$H_D > 0.2(6)$	0.0(9)	0.0(9)	0.0(10)

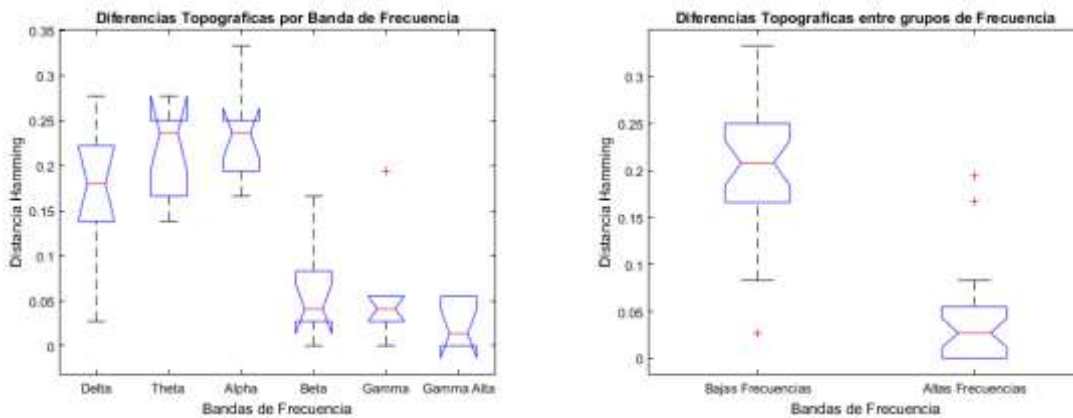


Figura 4. Diferencias topográficas en función de la frecuencia. Diferencias topográficas por Banda de Frecuencia (Izquierda). Diferencias topográficas por Grupo de Frecuencia (Derecha).

CONCLUSIONES

El estudio realizado hasta ahora en un solo sujeto muestra que es posible diferenciar de manera cualitativa y cuantitativa los patrones espaciales producidos durante el registro de la actividad eléctrica cerebral en distintos estados de movimiento. Esto se logra mediante la estimación de la conectividad cerebral en términos de la coherencia y del análisis por medio de grafos donde las

métricas juegan un papel importante. Hasta ahora se evaluaron 2 estados (FI y D) en un sujeto, sin embargo es de nuestro interés evaluar los cambios durante la transición del movimiento para así poder cuantificar espacio temporalmente la realización de este movimiento. Como trabajo a futuro se pretende implementar primeramente ésta metodología en un grupo de sujetos que no presenten ningún tipo de patologías motoras y posteriormente en sujetos con un mismo tipo de patología motriz.

BIBLIOGRAFÍA

1. W. Huo, S. Mohammed, J. C. Moreno, Y. Amirat, "Lower limb wearable robots for assistance and rehabilitation: a state of the art", IEEE systems Journal, Vol. 10, 2016, pp. 1068-1081.
2. G. Onose, V. Cardei, S. T. Craciunoiu, V. Avramescu, I. Opris, M. A. Lebedev, M. V. Constantinescu, "Mechatronic wearable exoskeletons for bionic bipedal standing and walking: a new synthetic approach", Frontiers in Neuroscience, Vol. 10, 2016, pp. 1-9.
3. B. S. Lin, J. S. Pan, T. Y. Chu, B. S. Lin, "Development of a wearable motor-imagery-based brain-computer interface", Journal of Medical Systems, Vol. 40, 2016, pp. 71.
4. N. J. Huan, R. Palaniappan, "Neural network classification of autoregressive features from electroencephalogram signals for brain computer interface design", Journal of Neural Engineering, Vol. 1, 142, 2004, pp. 150.
5. G. Quiroz, A. Espinoza-Valdez, R. A. Salido-Ruiz, L. Mercado. "Coherence analysis of EEG in locomotion using graphs." Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica Vol. 38, 1, 2017, pp. 235-246.
6. Marple Jr, S. Lawrence, and William M. Carey. "Digital spectral analysis with applications." (1989): 2043-2043. Pag. 390.
7. D. Reinhard, "Graph theory. 2005." Grad. Texts in Math, Vol. 101, 2005.
8. K. Jarrod Millman and Michael Aivazis. Python for Scientists and Engineers, Computing in Science & Engineering, 13, 9-12 (2011), DOI:10.1109/MCSE.2011.36 (publisher link)
9. Travis E. Oliphant. A guide to NumPy, USA: Trelgol Publishing, (2006).
10. Stéfan van der Walt, S. Chris Colbert and Gaël Varoquaux. The NumPy Array: A Structure for Efficient Numerical Computation, Computing in Science & Engineering, 13, 22-30 (2011), DOI:10.1109/MCSE.2011.37 (publisher link)
11. Virtanen, Pauli, et al. "SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python." Nature methods 17.3 (2020): 261-272.
12. Mercado Cerda, Luis Antonio. *Decoding kinematic variables from electroencephalographic signals during lower limb mobility protocols*. Diss. Universidad Autónoma de Nuevo León, 2019.
13. T. P. Jung, S. Makeig, C. Humphries, T. W. Lee, M. J. Mckeown, V. Iragui, and T. J. Sejnowski, (2000). "Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation", Psychophysiology, Vol. 37, 2, 2000, pp.163-178.
14. R. N. Vigario, (1997). "Extraction of ocular artefacts from eeg using independent component analysis". Electroencephalography and clinical neurophysiology, Vol. 103, 2, 1997, pp. 395-404.
15. S. Torres-Ramos, "A brain connectivity characterization of children with different levels of mathematical achievement based on graph metrics", PLoS one 15, 1, 2020, ppe0227613.

SISTEMA INTEGRAL DE RESGUARDO DE DATOS VÍA WIFI.

María de Lourdes Zárate Viveros¹, Blanca Nicandria Ríos Ataxca², José Ángel Nieves Vázquez²,
David Ramírez Pérez¹, José Daniel Hernández Ventura¹

¹Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, ² Instituto Tecnológico de San Andrés Tuxtla.
mlourdes.zavi@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo propone un sistema electrónico que permite recabar la información proveniente de sensores cuyas salidas sean del tipo analógico y digital serie, donde las variables consideradas son temperatura, humedad, presión barométrica e iluminación, y registrar los valores medidos en una base de datos de manera inalámbrica. Así, se hace uso de un sistema embebido que dispone del módulo ESP8266 para utilizar el protocolo de comunicación IEEE 802.11, además de que es capaz de realizar conversión analógico – digital y comunicación serial síncrona I2C. Al tener los valores de las diversas variables disponibles para transmitir vía inalámbrica, se hacen llegar a una computadora personal, para ser almacenados en una base de datos, desarrollada en MySQL. Con la ayuda de una interface construida con la herramienta de desarrollo gratuita Lazarus, permite al usuario consultar los datos por intervalos de fechas, para desplegarlos en tablas por marca de tiempo y tipo de variable, además de permitir graficar los mencionados valores. Todo el sistema se creó empleando elementos de hardware y software de código abierto, con el objetivo de contar con una herramienta disponible para todo aquel interesado en obtener mediciones de sensores, registrar los datos a analizar, y tomar las decisiones que a sus intereses convengan. La construcción de este sistema permitió observar el desempeño de sensores de temperatura, humedad, presión e iluminación tales como LM35, VEML6030, LDR, RHT03, BMP180, BME280 y BME680, para elegir los elementos adecuados a utilizar en una serie de estaciones meteorológicas automáticas, cuyo propósito es brindar información para su gestión y consulta desde un punto central de administración.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de adquisición de datos y monitoreo tienen un amplio uso en el mundo actual. Es importante destacar que los datos recopilados provienen de fuentes con diversas características eléctricas (e.g. debido a la naturaleza de los parámetros a medir), por lo que una vez que el sistema de adquisición de datos los presenta en formato digital, listos para ser procesados, estos deben estar disponibles de manera uniforme para ser consultados por diferentes plataformas[1], tales como computadoras personales y dispositivos móviles. Para facilitar las consultas por parte de los clientes, el resguardo de datos es vital, donde se llega a hacer uso de cómputo en la nube, apoyado en el uso de tecnologías GPRS/WiFi, con la finalidad de obtener sistemas estables y los datos sean confiables[2].

Así, la meteorología es una disciplina que garantiza su correcta operación a través de la obtención de datos de calidad, de variables físicas tales como temperatura, humedad, presión atmosférica, etc. La Organización Meteorológica Mundial en su guía de prácticas climatológicas[3], propone que los entes destinados a analizar los datos climatológicos cuenten con un sistema de gestión de datos, donde establece la relación que deben tener las estaciones de observación, la adquisición de datos, la recopilación y organización de datos, el control de calidad aunado al almacenamiento, con la finalidad de obtener bases de datos que puedan ser utilizadas por usuarios actuales y futuros.

Lo anterior no ocurre en entidades tales como la Conagua o Protección civil del Estado de Veracruz, ya que su información la recopilan de acuerdo a la infraestructura actual, así como sus recursos disponibles. Por lo tanto, su información obtenida se encuentra en múltiples formatos, por ejemplo, libretas, archivos de formato Excel, formularios PHP, como consecuencia del origen de los datos, recopilados en procesos no homogéneos.

Por consiguiente, se hace evidente que es muy conflictivo el no disponer de una plataforma que permita recopilar la información de múltiples sensores de manera sistematizada, para brindar las mediciones a una base de datos con la finalidad de resguardarlas, para favorecer la consulta de registros con lo cual las partes interesadas puedan tomar decisiones.

Entonces, el presente trabajo propone el diseño un sistema que sea capaz de recopilar y resguardar información meteorológica de forma digital vía WiFi, donde los datos sean confiables, además que la ejecución del sistema sea estable. El núcleo del sistema es la placa de desarrollo NodeMCU.

Cabe resaltar el hecho de que el hardware es de fácil adquisición, tanto por el costo económico, así como la disponibilidad con los distribuidores de estos productos, y el sistema de almacenamiento y gestión se realiza con software libre para ser puesto en operación en diferentes plataformas en equipos de cómputo, siendo un punto importante el hecho de que el software de gestión de datos se elabora a partir de las características de la información que proviene de los sensores empleados.

TEORÍA

Como elemento central de procesamiento se emplea el NodeMCU ESP8266, ya que cuenta con un ADC de un canal, comunicación SPI, I²C, además de que soporta el protocolo IEEE802.11 b/g/n. Una de las ventajas de este dispositivo es su voltaje de operación, típicamente 3.3 V, así como su corriente de operación, que en promedio es de 80 mA[4], lo cual lo convierte en una excelente opción para energizar con baterías o sistemas fotovoltaicos. Al elemento de procesamiento se le suministran señales por parte de fotorresistencias, DHT11 y BME280. El propósito es medir las variables físicas iluminación, temperatura, presión barométrica, y humedad. Una vez que se obtienen los datos en forma digital, el controlador se encarga de establecer la comunicación inalámbrica para resguardar la información en la base de datos. En términos generales, el trabajo se compone de dos bloques, siendo el primero la adquisición y resguardo de la información en la base de datos, resultando que el segundo bloque es la interface humano-máquina (HMI) que permite al usuario realizar las consultas de la información resguardada por el sistema desarrollado.

a. Adquisición y resguardo de datos.

Para el caso de las variables temperatura, presión y humedad, las mediciones se realizan con el BME280, que es un dispositivo que puede realizar las tres mediciones con un bajo consumo de energía y un alto desempeño gracias a la resolución (temperatura/presión 20 bits, humedad 16 bits), y mínimo efectos del ruido durante su operación. Se utiliza la comunicación serial I²C. Para verificar el desempeño del ADC del elemento central de procesamiento, se mide la iluminación a través de una fotorresistencia, haciendo uso de un divisor de voltaje. De manera experimental, la información se envía cada 5 segundos a la base de datos, teniendo una variación de hasta un segundo, dependiendo de los tiempos de conversión, conexión y envío de los datos. La figura 1 muestra el diagrama de flujo del programa ejecutado por el controlador.

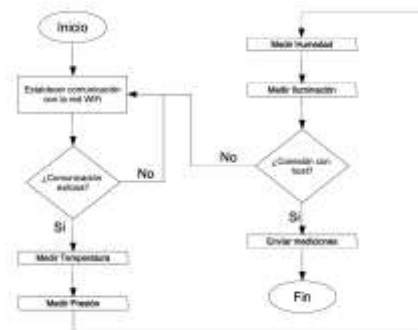


Figura 1. Diagrama de flujo de la medición y envío a la base de datos de las mediciones.

Se verificó el funcionamiento del proceso con los sensores DHT11, BMP180 y BME680, obteniendo un envío exitoso de las variables medidas a la base de datos. Para esta sección del proyecto se elaboró un chasis que considera almacenar las baterías, el cargador de baterías, la NodeMCU y los sensores, permitiendo conectar el cable micro-USB para programar la tarjeta, el conector para energizar al cargador de las baterías, led indicador de estado de la carga de las baterías, así como el botón de encendido/apagado.

La base de datos se construye a partir de hacer uso de MAMP, con el apoyo de la herramienta phpMyAdmin, no habiendo mayor problema para resguardar la información proveniente del sistema de adquisición de datos. Una vez que ya se dispone de información almacenada, se requiere que el usuario pueda consultarla, a través de una serie de funcionalidades tales como elegir la variable a mostrar, el periodo de consulta, graficar y exportar a CSV.

b. Desarrollo de HMI.

Para tener acceso a la información por parte de los usuarios, se realizó una aplicación, construida con la interface de desarrollo Lazarus, basada en Object Pascal. El software desarrollado tiene la capacidad de conectarse a la base de datos, elegir entre diferentes tablas, considerando que múltiples sistemas de adquisición de datos pueden enviar información. Adicionalmente, se pueden elegir las fechas, por día o por rango de días de los datos que se quieren visualizar. Para visualizar la información, se hace uso de un control que emula a una hoja de cálculo, donde se muestra la variable seleccionada, con los campos fecha y variable. También se dispone del botón graficar, para que los datos se muestren en un control chart y tener otra forma de visualizar la información.

Finalmente, se agregó la funcionalidad de exportar, en caso de que el usuario final requiera hacer otro tipo de procesamiento a los datos. Este botón realiza la exportación del contenido mostrado en el contenedor StringGrid a un archivo en formato CSV. La figura 2 muestra las funcionalidades de la HMI.



Figura 2. Funcionalidades de la HMI.

PARTE EXPERIMENTAL

El sistema se fue probando por funcionalidades, siendo la primera parte el obtener mediciones de las variables, para posteriormente enviarlas en forma inalámbrica a la base de datos. Una vez que funcionó el resguardo de la información, se optó por diseñar el chasis para los componentes electrónicos y de suministro de energía del sistema. Se consideró tener dos secciones para almacenar los componentes del sistema, para albergar por un lado los componentes electrónicos (Ver figura 3), mientras en la otra sección se dispone para la batería, su cargador, indicadores luminosos del estado del proceso de carga, interruptor de encendido/apagado y el conector para energizar el cargador de la batería (Ver figura 4).



Figura 3. Componentes electrónicos del sistema.



Figura 4. Energía para alimentar el sistema.

Previo a definir las dimensiones del chasis, se realizó el diseño de la placa de circuito impreso que contiene a la tarjeta NodeMCU, el sensor BME280, y la fotorresistencia conectada en un divisor de voltaje. Posteriormente, se realizaron pruebas con una batería de litio, con capacidad de 4.2 V a 8800 mAh, con un cargador de baterías basado en el controlador de carga TP4056, capaz de proporcionar una corriente constante de 1 A. El funcionamiento del sistema enviando y resguardando datos fue adecuado, tanto su versión en tabilla de pruebas como ya encapsulado en su chasis (Ver figura 5).



Figura 5. Sistema de adquisición y envío de datos encapsulado en chasis.

Por el lado de la implementación de la HMI, se realizaron las consultas sin mayores contratiempos. Se determinó que el usuario puede visualizar cada una de las variables en un contenedor que emula a una hoja de cálculo, y en caso de requerirlo, también graficar la información. La figura 6 muestra la interface desarrollada en el software Lazarus. Se verificó el funcionamiento de hardware y software al mismo tiempo, teniendo un desempeño óptimo tanto en el guardar información como las consultas.

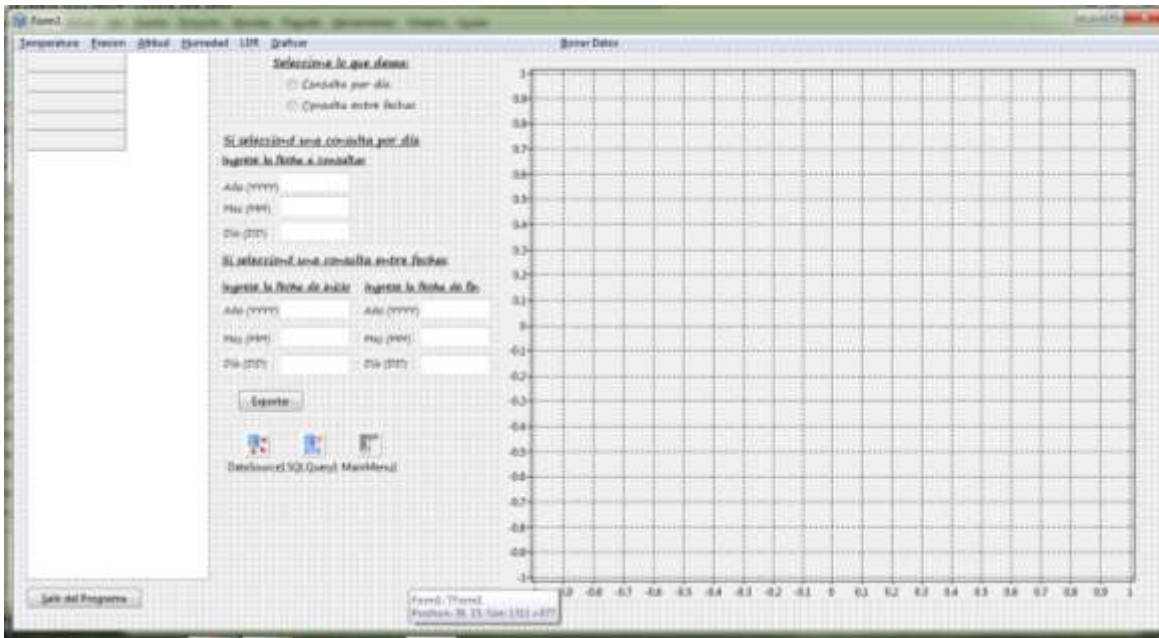


Figura 6. Interface HMI del sistema de resguardo de datos vía WiFi.

RESULTADOS

El dispositivo se evaluó funcionando con batería, y su duración promedio fue de 5 horas. Pasado este tiempo es necesario cargar la batería de litio. La comunicación fue exitosa, ya que se recibían los datos de acuerdo a lo programado en el software, aunque al consultar los datos aparecieron algunos valores alejados de las condiciones ambiente. Estas situaciones se pueden percibir de manera simple al graficar el conjunto de datos. La interface tuvo un desempeño confiable, ya que al invocar las funciones se ejecutan sin mayor sobresalto. En la figura 7 se puede ver un caso de consultas de fechas pasadas, desplegándose la información en los dos controles y mencionados.

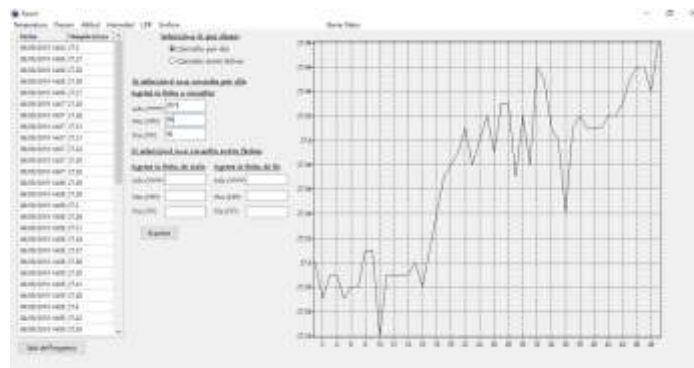


Figura 7. Caso de consulta de datos en la HMI.

CONCLUSIONES

Una vez evaluado el sistema desarrollado encapsulado en su chasis, se determinó que el desempeño fue el esperado, dado que se obtiene la información y se puede resguardar en la base de datos de manera eficiente. Es de gran ayuda para el usuario la HMI, dado que puede ver en formato numérico y gráfico los datos resguardados. A su vez, el brindar la portabilidad de la información a través del formato CSV es otra herramienta de utilidad para no acotar la consulta y análisis de información a la aplicación desarrollada en Lazarus. Como trabajos futuros, se considera

optimizar los códigos del controlador y de la HMI, así como también considerar el desarrollo de un empaque que pueda ser utilizado en la intemperie, de acuerdo a la norma IEC 60529.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Li, "Design of Multi-network Data Acquisition System Based on Cloud Platform," 2019 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems (ICVRIS), Jishou, China, 2019, pp. 98-100, doi: 10.1109/ICVRIS.2019.00033.
2. B. Zhou and W. Chou, "Design of Cloud Data Storage and Processing System," 2018 International Conference on Big Data and Artificial Intelligence (BD AI), Beijing, 2018, pp. 6-9, doi: 10.1109/BD AI.2018.8546667.
3. Organización Meteorológica Mundial: Guía de prácticas climatológicas. OMM-N° 100. Ginebra, Suiza: 2018.
4. Espressif Systems. (2020, Mayo 7). ESP8266EX Datasheet [Online]. Disponible https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
5. S. C. A. Leal, L. M. L. Munguía and C. M. V. Gutiérrez, "Radio link to connect weather stations with IP Technologies," 2017 IEEE 37th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVII), Managua, 2017, pp. 1-6.
6. M. E. Treter, L. P. Pietta, P. Xavier and L. Michels, "Data acquisition and cloud storage system applied photovoltaic systems," 2015 IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), Fortaleza, 2015, pp. 1-6.
7. C. A. Beltran Encio, J. A. Chica Garcia and J. Cifuentes, "Influence of man on the meteorological conditions of the CORONCORO wetlands located in the city of Villavicencio using multiparameter datalogger and IoT technology," 2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI), Buenos Aires, 2018, pp. 1-5.

DISEÑO DE UN SISTEMA RECOLECTOR DE DESECHOS SÓLIDOS EN CUERPOS DE AGUA

Tomás Ramos Santos¹, Benjamín Hernández Briones¹, Luis Antonio Bonilla Jiménez¹, Gregorio Castillo Quiroz²

¹Universidad Tecnológica de Xicotepéc de Juárez, ²Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango

e-mail: manuel_briones@live.com.mx

RESUMEN

Existen factores que provocan la contaminación del agua una es debida a procesos naturales como arrastre de hojarasca, o por el ingreso de gases atmosféricos transportados por la lluvia, pero de acuerdo a la CONAGUA esta contaminación es mínima comparada con la contaminación que se genera por actividades humanas como el arrojamiento de desechos sólidos a los cuerpos de agua. En las cuencas, el ciclo del agua, las corrientes y los ciclos biogeoquímicos, participan en un proceso natural de depuración de los contaminantes en los cuerpos de agua, sin embargo, cuando su cantidad exceden ciertos niveles, la capacidad natural de autodepuración, no es suficiente para revertir las afectaciones. La contaminación del agua provoca severo impacto en los ecosistemas y en la salud. Es preciso reducir los volúmenes, no sólo para procurar el bienestar social y la protección ambiental, sino también por razones económicas y de seguridad nacional. El presente proyecto busca sumarse a campañas de limpieza de cuerpos de agua realizando la actividad de forma eficiente reduciendo el tiempo de trabajo, el número de personas, abarcando zonas de difícil acceso y poder realizar la actividad en repetidas ocasiones manteniendo siempre la conciencia hacia el medio. Se han desarrollado modelos recolectores de basura, principalmente en Europa y Oceanía, esto por las necesidades y condiciones geográficas, dichos modelos sumergibles cuentan con un sistema mecánico de movimiento controlados por un sistema de posicionamiento global, que recolectan basura y la vierten en contenedores especiales de forma automatizada. Como primer punto fue elegir el diseño y las dimensiones apropiadas de forma general, para ello se tomó como referencia a un animal acuático que es una tortuga marina teniendo dimensiones de 70 x 120 cm. Aproximadamente. Dentro del DTM se contempló un recipiente acoplado para la recolección de desechos sólidos, así como el sistema mecánico para la transmisión del movimiento gobernado por el sistema de control a distancia dentro del cuerpo de agua. El modelo final de DTM enfocado a la recolección de desechos sólidos se desarrolló en BLENDER 2.81 para la parte externa del prototipo y para la transmisión de movimiento, sistema de control y demás accionamientos se desarrollaron en Autodesk inventor professional 2017. Se logró el diseño del prototipo de acuerdo a las dimensiones planteadas, realizando ligeros ajustes en el sistema de mecánico considerando las diferentes condiciones de los cuerpos de agua y tipos de desechos sólidos a recolectar. El DTM para la recolección de desechos sólidos en su etapa de simulación cumple con los objetivos establecidos satisfactoriamente lo cual permite implementarse de forma física para beneficio del medio ambiente a la par de generar conciencia ambiental e involucrar a las generaciones jóvenes en la solución de estas problemáticas. El trabajo, producto de la experimentación mediante simulación y pruebas técnicas, se demuestra la eficacia del DTM, la cual se potenciará mediante la integración de sistemas de gobierno teledirigidos, que manipularán en tiempo real el sistema de control incorporando sensores para una constante evaluación de los parámetros del cuerpo de agua.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua tanto en México como en el mundo, es un problema con el que día a día se buscan diferentes soluciones que puedan reducir dicha contaminación. En México existen diversas aportaciones de la ciencia y la tecnología para lograr el saneamiento de los cuerpos de agua, como por el ejemplo, el estudio del uso de carbones activados obtenidos de cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*) como alternativa para reducir la contaminación de agua por colorantes de la industria textil, otro estudio puede ser, el uso de microalgas para reducir emisiones de gases tipo invernadero en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Así como estos dos ejemplos existen también diferentes aplicaciones tecnológicas enfocadas en el intento por la descontaminación del agua de desechos sólidos, pero hay que tomar en cuenta que un cuerpo de agua puede ser

considerado un río, una laguna, una presa o el mar y para cada uno existen diferentes tipos de contaminantes así como diferentes condiciones en cuanto estructura y condiciones climáticas, esto, en un momento dado se vuelve complicado para el ser humano en su intento por descontaminar el agua ya que puede poner en riesgo su propia integridad.

En México, de acuerdo a la publicación *Estadísticas del agua en México en el 2018*, La calidad del agua se determina mediante la caracterización física y química de muestras de agua y su comparación con las normas y estándares de calidad. De esta forma se puede identificar si el agua es idónea para los requerimientos de calidad asociados a un uso determinado. El deterioro de la calidad del agua ocurre por procesos naturales o antropogénicos. En el 2017, la Red Nacional de Monitoreo contaba con 5028 sitios, distribuidos a lo largo y ancho del país. La evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo con base a cuatro indicadores: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Coliformes Fecales (CF). La DBO5 y la DBO son indicadores de la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua. Los SST miden la cantidad de sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal. El incremento de las SST, hace que el cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van: desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta el agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales. De los 5028 sitios para el monitorio de la calidad del agua mencionados anteriormente, 3752 sitios son utilizados para la evaluación de las SST. Como apoyo al intento por la descontaminación de los cuerpos de agua se propone en este trabajo un diseño de un prototipo que servirá para poder retirar ciertos desechos sólidos de un cuerpo de agua y de eso forma intentar recuperar la calidad de la misma de acuerdo a las normas y estándares en México.

PARTE EXPERIMENTAL

Diseño del prototipo (forma)

Para lograr que el prototipo se mantenga por encima del agua implica la forma del elemento flotante, para ello se eligió un animal acuático que es una tortuga marina, por su forma y dimensiones logra la flotación debido a que las patas y cuerpo tienen la apariencia del casco de un barco que le permite la flotabilidad.

La elección de este tipo de animal acuático para la forma del prototipo es por la buena estabilidad y resistencia hidrodinámica del mismo. El casco principal del prototipo es el cuerpo de la tortuga y los cascos auxiliares son las patas de la tortuga que sirven de soporte para evitar el desbalanceo y la escora de nuestro prototipo al estar sobre el agua.

Con respecto a la resistencia hidrodinámica las patas al trabajar como cascos del prototipo logran que el DTM trabaje con multicascos ofreciendo menor resistencia al avance, por lo tanto se necesitan de menor potencia para la propulsión ayudando al casco principal que es el cuerpo de la tortuga marina que tiene mayor peso.

Los tres cascos que forman el prototipo están unidos de acuerdo a la forma física de la tortuga siendo el cuerpo la base de todos los sistemas y los componentes que forman el prototipo.

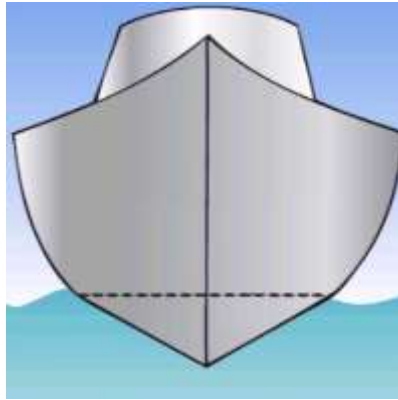


Figura 1. barco



Figura 2. Tortuga marina

Para las dimensiones principales se consideraron las medidas comunes de una tortuga marina prieta por su gran tamaño, este tipo de tortuga anidan principalmente en playas de Michoacán, México, donde la longitud recta del caparazón de esta tortuga es de 100 cm. aproximadamente. Por lo tanto, se toma como referencia este dato para un prototipo de tortuga tamaño real, destinando un largo de 120 cm contemplando la cabeza y cola de la tortuga y un ancho de 70 cm considerando las patas extendidas como posición para nadar.

A partir de la forma y tamaño estándar de una tortuga marina se ha creado un modelo en Blender 2.8 de las patas y cuerpo de la tortuga que son los cascos principales del prototipo para lograr que la embarcación logre flotar.

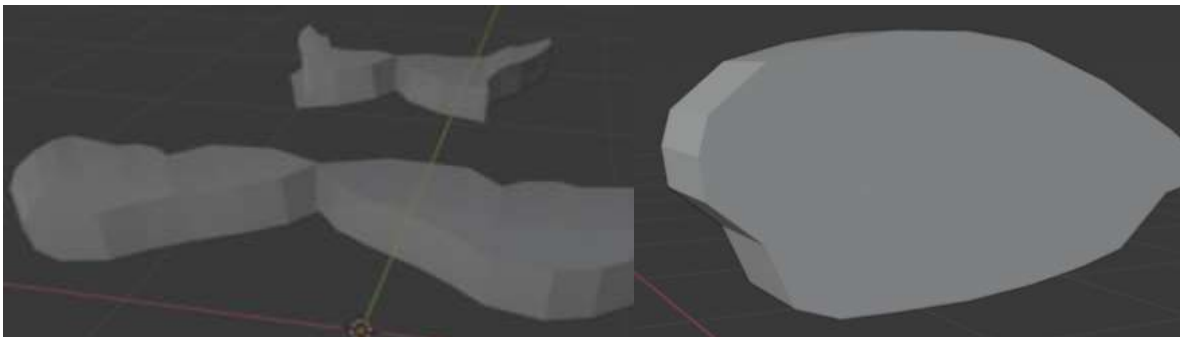


Figura 3. Patas de tortuga

Figura 4. Cuerpo de tortuga

Una vez diseñados los cascos de la tortuga marina (patas y cuerpo), se representa el prototipo DTM ensamblado con vista superficial. Para llevarlo a la parte física se utilizará fibra de vidrio el cual será colocado sobre unos moldes de yeso previamente formados con el aspecto físico de la tortuga.

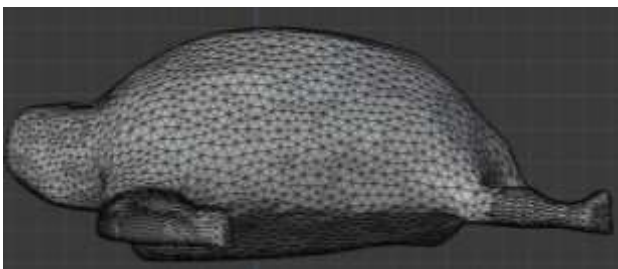


Figura 5. Vista lateral

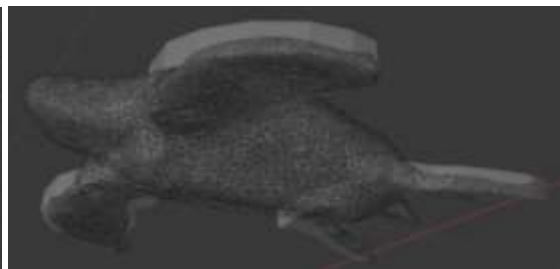


Figura 6. Vista inferior.

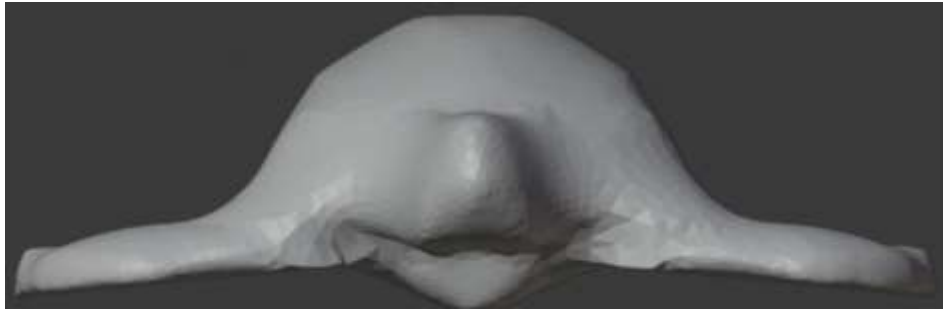


Figura 7. Vista Frontal

Cubierta central

En la parte interna del DTM se colocarán refuerzos de solera metálica de $\frac{1}{2}$ " de ancho para sujetar los componentes de cada uno de los sistemas que se ubican en el interior herméticamente sellados para no permitir el paso de agua y partículas sólidas dentro de la tortuga marina.

Sistema de propulsión

Se utilizarán baterías de litio para suministro de la energía eléctrica en el prototipo; por lo tanto la propulsión del prototipo será mediante un motor eléctrico que tendrá acoplado un eje para transmitir el movimiento a una hélice.

Los factores a tomar en cuenta al momento de elegir el motor para el prototipo son:

- Velocidad y fuerza que se requiere para el prototipo.
- El voltaje disponible para la alimentación del motor
- Peso del motor.
- Tipo de conexión.
- Potencia eléctrica.
- Consumo eléctrico.

El motor estará sujeto a la base del prototipo con un soporte y tornillos en un punto específico para que cumpla su función a cierto grado de inclinación. Así como también se contará con un variador de tensión para poder regular las rpm del motor eléctrico.

Arbotante.

Debido a la posición de colocación del motor en el prototipo se diseña un soporte de metal el cual sostiene al eje de la hélice y el diámetro de este eje depende del diámetro del eje del motor seleccionado.



Figura 8. Motor eléctrico de CD.

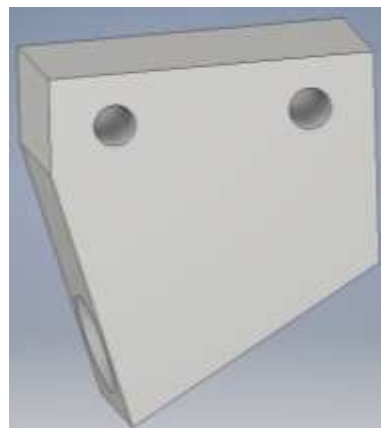


Figura 9. Soporte eje de motor Hélice.

La hélice es uno de los componentes importantes del DTM, porque es el elemento que empuja al prototipo y logra que se pueda desplazar sobre el agua. El tamaño de la hélice debe ser de dimensiones adecuadas para provocar que el prototipo avance con la energía necesaria. Por lo que las características del motor dependen del tamaño de la hélice y viceversa.

Características a considerar para una hélice con las correctas dimensiones son:

- Girar a las mínimas rpm posibles
- Mínima cavitación
- Mínimo número de palas posibles
- Máximo diámetro posible.
- El material a utilizar para la fabricación.

Se debe tomar en cuenta la distancia de los componentes a su alrededor como el arbotante y el timón.



Figura 9. Hélice del DTM

Sistema de mando (timón)

El sistema para gobernar el prototipo se compone de una pala dirigida y controlada por un servomotor. Por lo que será un sistema con codaste, el cual se encontrará en la cola de la tortuga marina, donde solo se sujeta una pala por la parte superior de la estructura del prototipo.

La superficie de la pala del timón debe ser de un tamaño considerable grande y sumergido para vencer la presión hidrostática a la cual se someterá cuando el prototipo se disponga a girar.

Para poder sujetar la pala del timón se contempla un soporte que debe ir unido al arbotante que sostiene al eje de la hélice y se encuentra fijo a la estructura del DTM.



Figura 10. Pala del timón

Sistema electrónico

Uno de los principios del prototipo es que sea conducido sin piloto a bordo por las dimensiones del mismo, debido a esto será necesario utilizar tecnología y componentes adecuados para poder realizar esta función de control manual a distancia.

Al ser un prototipo no tripulado, es necesario un sistema de recepción de datos en tiempo real los cuales pueden ser: velocidad, posición, distancia del punto de partida, dirección, tamaño de la carga. Además contemplando un sistema de procesamiento de datos que se obtienen de la colocación de varios sensores. Los sistemas y componentes sujetos a la estructura del prototipo deberán ir protegidos para evitar el contacto con el agua y ser dañados al momento de su funcionamiento.

Para lograr la protección de los sistemas, en el diseño del prototipo se consideró ubicarlos dentro del cuerpo de la tortuga marina la cual estará herméticamente sellada mediante una cúpula con fibra de vidrio formando parte de la cubierta del prototipo quedando fuera del alcance del agua y demás partículas.

RESULTADOS

Una vez realizadas las etapas de estudio y diseño, solo falta llevarlo a la parte física y poner en funcionamiento el prototipo en el entorno adecuado.

Para el diseño de la parte de propulsión y de mandos del timón se tomó en cuenta los elementos de unión, las dimensiones y alineación de los componentes considerando que si en la parte física existiera desalineación se pueda ajustar haciendo uso de tornillería de sujeción tanto para el motor, hélice y timón.

Los factores a considerar en el diseño para cumplir con la parte física del DTM. Son para el diseño de la estructura la flotabilidad, resistencia y estabilidad. Y para el diseño del sistema de propulsión el avance y giro.



Figura 11. Sistema de propulsión

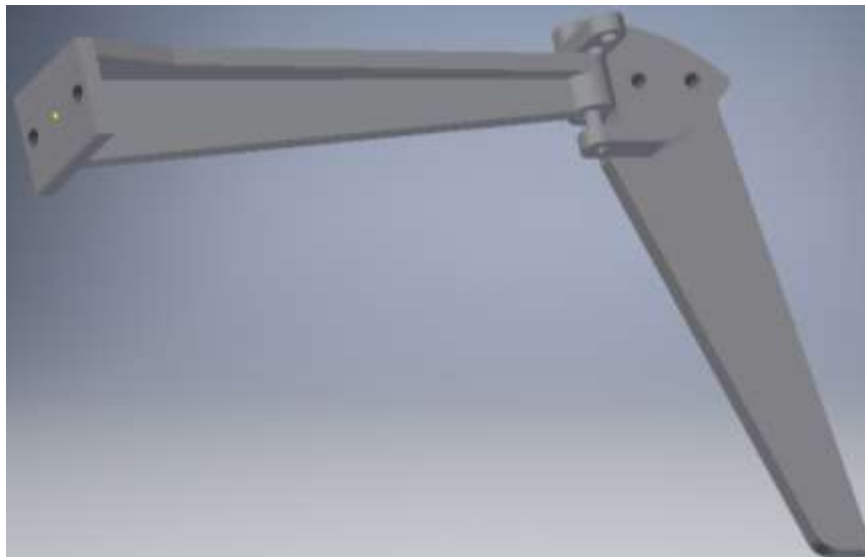


Figura 12. Sistema de mando

CONCLUSIONES

Uno de los principales objetivos planteados fue el de contar con un diseño adecuado que sirva como guía para poder llevar a cabo la fabricación del prototipo DTM. Este ha sido cubierto al 100%, algunos de los componentes no fueron tarea fácil, se necesitó reforzar conocimientos de diseño tanto en el programa inventor 2017, como con Blender 2.81

La etapa que sigue es la fabricación, esta es un poco más difícil pero no imposible dado que se deben contar con todos los materiales y herramientas para la manufactura como en todo trabajo surgen contratiempos pero sabremos resolverlos durante la marcha.

En la etapa de ensamblaje y pruebas, se detallará la forma de conexión del sistema eléctrico y el acoplamiento con el sistema mecánico.

El proyecto demostró ser viable su diseño y construcción, permitiendo incorporar dispositivos para obtener parámetros y medidas en tiempo real con base a las características básicas del cuerpo de agua en lo que refiere temperatura, acides, PH, nivel de agua.

De igual forma demostró su fácil acoplamiento a diferentes características de entornos naturales es decir lagos, lagunas, presas. Otro aspecto a considerar es el hecho de su versatilidad y fácil acople con respecto a las ideologías de conservar el medio ambiente, se demostró con base a encuestas y estudios virtuales que por su diseño tiene una adecuada recepción en grupos de jóvenes, de ambientalistas o de personas involucrados en el cuidado de la flora y la fauna que persisten en dichos cuerpos de agua.

De igual forma derivados de los resultados se aprecia que la inversión inicial para construir el modelo y equiparlo con los diferentes sensores, motores y actuadores requeridos para su utilización permitirá una réplica a escala o considerando mejores utensilios brindando características esenciales para gobernar y teledirigir adecuadamente, la base de datos recolectada por dicho instrumento puede servir o servirá para análisis y mejora de otros procesos en los que involucre biólogos marinos o demás actividades de carácter local.



Figura 13. Ensamble de sistemas (propulsión y mando)

RECOMENDACIONES

Incorporar tecnologías de control y automatización que permitan monitorear y gobernar a distancia el mecanismo antes descrito.

Adecuar sensores de temperatura, PH, acides, entre otras variables que permitan monitorear los parámetros físicos de los cuerpos de agua en tiempo real y con base a estos estadísticos generar modelos que permitan establecer estrategias para contribuir a la reducción de contaminantes en cuerpos de agua.

Establecer un protocolo general de mantenimiento preventivo y correctivo, para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema sin importar el medio o características físicas del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA / REREFRENCIAS

1. “*Estadísticas del Agua en México*”, edición 2018, pp. 58-65
2. “*El Gran Libro de Solidworks*”. Gómez, S. (2015). México; Ed. II Alfaomega. Pp. 50 – 88.
3. “*SolidWorks Práctico I*”. Gómez, S. (2017). México; Ed. II Alfaomega. Pp. 45 – 78.

NOTAS BIOGRÁFICAS

Ing. Tomás Ramos Santos. -Profesor de tiempo Completo del Área Mantenimiento Industrial de la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez, estudios de especialidad en automatización y control, con participación en Congreso Centro de Investigaciones Ópticas A.C.

Ing. Benjamín Manuel Hernández Briones. - Profesor de tiempo Completo del Área Mantenimiento Industrial de la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez, estudios de especialidad en automatización y control, acreditado "Consultor PYME" por la secretaría de Economía y Certificado por la Red CONOCER para la impartición de cursos de forma presencial. Esto permite publicar en plataformas diversas como Academia Journals, Centro de Investigaciones Ópticas A.C, Revista emprendedores de la UNAM.

Ing. Luís Antonio Bonilla Jiménez. -Profesor de tiempo Completo del Área Mantenimiento Industrial de la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez, estudios de especialidad en automatización y control, con participación en Congreso Centro de Investigaciones Ópticas A.C.

Dr. Gregorio Castillo Quiroz. – Docente de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Huachinango, con estudios de doctorado en Ciencias Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUEAP).

CUESTIONARIO DE APOYO EMPLEADO EN LA INVESTIGACIÓN

1. ¿Es viable el diseño de un sistema recolector de desechos sólidos en cuerpos de agua?
2. ¿Cuál es el impacto más importante que se vislumbra con la implementación del sistema?
3. ¿El sistema propuesto permite concientizar a la población sobre el cuidado del medio ambiente?
4. ¿El diseño presenta versatilidad para su adecuación a etapas del módulo es versátil para su adecuación a procesos de investigación y desarrollo tecnológico?
- 5.- ¿Considera viable adaptar el sistema para aguas marinas?

DISEÑO EN SOLIDWORKS® 2018 DE UN MECANISMO PARA LA EXTRACTORA DEL SUERO DE LA CUAJADA DE LA LECHE

Martín Rolando Parra Quiñonez, Scottie Rubio Peñuelas, Jorge Rosario Villareal Serrano, Victoria Paola Cabrera Madera, Rommel Arel Leal Palomares

Instituto Tecnológico Superior de Guasave

mrparraq@gmail.com, scottierubiopeñuelas_27@gmail.com, serranojorge927@gmail.co

RESUMEN

Actualmente en la industria productora de queso y productos derivados de la leche se utiliza maquinaria de grandes proporciones y costos, por lo que resulta de difícil adquisición para los pequeños productores, que, de no poder dar valor agregado a sus productos, terminan vendiendo la materia prima a las grandes compañías. Tomando en consideración lo anterior, en comunidades rurales del municipio de Guasave, Sinaloa, se realizaron una serie de entrevistas a los pequeños productores de queso y productos derivados de lácteos, observando que uno de los problemas principales en la producción y elaboración de quesos, es el proceso de extracción de suero de la cuajada de la leche, ya que un exceso de este disminuye la calidad del producto final.

Para mejorar este proceso, se diseñó un mecanismo que facilita la extracción total del suero de la cuajada de la leche, considerando las dimensiones promedio de los utensilios que se utilizan de manera artesanal (para reducir el monto de la inversión) y el tiempo promedio en el que se debe realizar la actividad. Estos factores se consideran como requisitos de diseño, los cuales se definieron con base en las entrevistas realizadas a los potenciales usuarios finales (pequeños productores).

Con base en los criterios o requisitos de diseño definidos, el prototipo del mecanismo extractor, se diseñó en el software SolidWorks® 2018, donde se le realizó un análisis de fallas por cargas estáticas para determinar donde es posible que falle la pieza (importante para establecer el plan de mantenimiento, el cual debe ser lo más sencillo posible). Para la realización de este análisis se tuvo en cuenta que, sobre la placa, durante el proceso de extracción, se ejerce una fuerza de 588.4 N (fuerza promedio de un humano).

Las dimensiones de esa placa no son arbitrarias, se determinaron, con base en los diámetros promedio de los recipientes utilizados de manera artesanal, por lo que, en promedio, la placa debe medir 0.5 m para que se ejerzan de manera uniforme los 588.4 N, y así lograr la completa extracción del suero.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en la industria productora de queso y productos derivados de la leche se utiliza maquinaria de grandes proporciones y costos, por lo que resulta de difícil adquisición para los pequeños productores, que, de no poder dar valor agregado a sus productos, terminan vendiendo la materia prima a las grandes compañías.

Tomando en consideración lo anterior, se realizó una serie de entrevistas a los pequeños productores de queso y productos derivados de lácteos, observando que uno de los problemas principales en la producción y elaboración de quesos es el proceso de extracción de suero de la cuajada de la leche, ya que un exceso de este disminuye la calidad del producto final.

Por ello se presenta como propuesta para mejorar el proceso, una máquina que facilite la extracción total del suero de la cuajada de la leche, considerando la NOM-121SSA1-1994, que establece las especificaciones sanitarias sobre los quesos frescos, madurados y procesados. La propuesta de diseño está fundamentada en un sistema de compresión, que facilitará el proceso de extracción del suero.

TEORÍA

Para llevar a cabo este proyecto se investigaron los antecedentes más relevantes sobre maquinarias y dispositivos para la extracción de suero en la industria de producción de queso, para así crear un diseño óptimo que cumpliera con especificaciones de tamaño, material resistente y accesible económicamente.

Para llegar a ese diseño óptimo, se utilizó la metodología de Mott (2016), basándose en cuatro etapas, las cuales son: definición de especificaciones, creación de conceptos de diseño, toma de decisiones y diseño detallado.

Para la selección del material que se presentaría en las propuestas de diseño y con el cual se hacen las simulaciones, se consideró el acero AISI 316L (Marlin Wire 2017), ya que es particularmente adecuado para el contacto con alimentos, porque tiene una gran resistencia a ácidos, bases y cloruros, como la sal. Sin embargo, la principal consideración, fue la NOM-121-SSA1-1994 que establece las especificaciones sanitarias para el procesamiento de quesos.

Prensado de quesos

El prensado permite la eliminación de suero y darle al queso la consistencia final deseada. No todos los quesos son prensados mecánicamente, algunos solamente son colocados en una mesa para que su propio peso actúe como prensa.

En el caso de los quesos que sí pasan por el proceso de prensado, la masa de cuajada se exprime y se compacta adentro del molde, para extraer el suero residual que aún contiene, esta compactación se hace con prensas mecánicas o neumáticas.

La mayor o menor fuerza en el prensado desarrolla características en los quesos, como dureza o blandura y sequedad o humedad. Cuanto más duro se desea el queso, mayor presión se le debe aplicar.

Prensas

La prensa es un equipo, compuesto de tres partes que son:

Diafragma: Comprende una membrana elástica, constituye la cara superior de la cámara de trabajo, con la posible interposición de un tapón de desgaste y sirve de interconexión entre el fluido bajo presión y la pieza a conformar; asimismo, está sometido a tensiones mecánicas considerables y debe sustituirse periódicamente

Plato de presión: Es el elemento que nos facilita el acoplamiento de todo el conjunto al volante de inercia por medio de un disco de fricción

Estructura o Armadura: es el conjunto de pieza sobre elementos que sirve como soporte rígido de la prensa.

Prensa para queso PQV – 301

Durante la revisión bibliográfica, se encontró que una de las máquinas existentes que cumplen una función similar al proyecto propuesto, es la prensa para queso PQV – 301 el cual es un equipo de prensado para la extracción de suero construido en acero inoxidable y plásticos de ingeniería. Consta de una prensa de posicionamiento horizontal, con accionamiento mecánico por medio de tornillos laterales que ejerce un cuadro de presión progresiva de acuerdo a su requerimiento.

Esta prensa es una tiene una estructura rígida y presenta varios modelos, incluido uno que es para prensado de 30 moldes; además cuenta con un sistema completo de drenaje de suero con terminales para manguera.}

PARTE EXPERIMENTAL

Con base en la metodología de Mott (2006), se determinaron las siguientes métodos y técnicas para el desarrollo de este proyecto.

Identificación de los requisitos de diseño:

Se realizó mediante una entrevista al usuario final, la cual es como fue como sigue:

¿Qué dimensiones deberá tener la máquina?

¿Qué capacidad volumétrica requiere para la máquina?

¿Qué capacidad de producción?

¿Qué material se requiere para la manufactura del contenedor?

¿Qué condiciones de inocuidad requiere?

¿Qué tipo de productos lácteos procesa?

Con las respuestas dadas a estas preguntas, se logró definir que el usuario final requiere una máquina compacta, con capacidad de 15 litros por carga o bien, procesamiento de 30 L por hora,

además que cuente con filtros que eliminen las impurezas de la leche, así como que la presión sea suficiente para elaborar quesos, asaderas y requesón. Así mismo, se determinó que el material a utilizar para su manufactura, tenga tolerancias térmicas y de presión, de 65 °F o 72 °C y 600 N, respectivamente.

Rediseño del mecanismo:

Con base en máquinas ya existentes se modificará para que su uso sea más accesible al usuario final, al considerar que tenga más facilidad de transporte y que requiera poco espacio.

Determinación y selección del diseño de los materiales para la manufactura de la máquina

En esta primera etapa, la determinación y selección de materiales se hace con base en las normatividades y en las características mecánicas del material.

Completar el diseño detallado

El diseño detallado de la máquina se hizo en el software SolidWorks® 2018, lo que permitió realizar las simulaciones pertinentes.

RESULTADOS

Con base en los criterios o requisitos de diseño definidos, el prototipo del mecanismo extractor, se diseñó en el software SolidWorks® 2018, donde se le realizó un análisis de fallas por cargas estáticas (figura 1) para determinar donde es posible que falle la pieza (importante para establecer el plan de mantenimiento, el cual debe ser lo más sencillo posible). Para la realización de este análisis se tuvo en cuenta que, sobre la placa, durante el proceso de extracción, se ejerce una fuerza de 588.4 N (fuerza promedio de un humano).

También se realizó una simulación de pandeo para observar donde se concentre el mayor esfuerzo al estar utilizando la máquina (imagen 2).

Las dimensiones de esa placa no son arbitrarias, se determinaron, con base en los diámetros promedio de los recipientes utilizados de manera artesanal, por lo que, en promedio, la placa debe medir 0.5 m para que se ejerzan de manera uniforme los 588.4 N, y así lograr la completa extracción del suero.

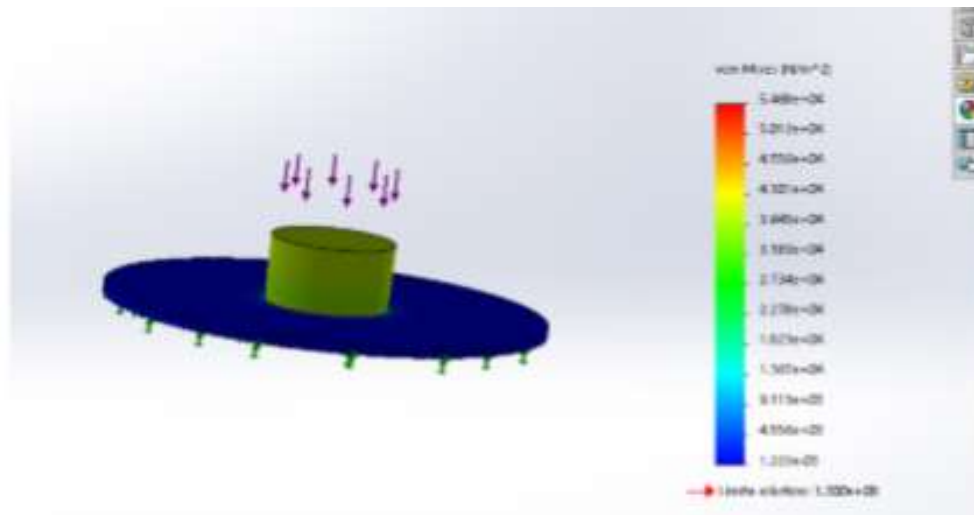


Figura 1.- Simulación por cargas estáticas.

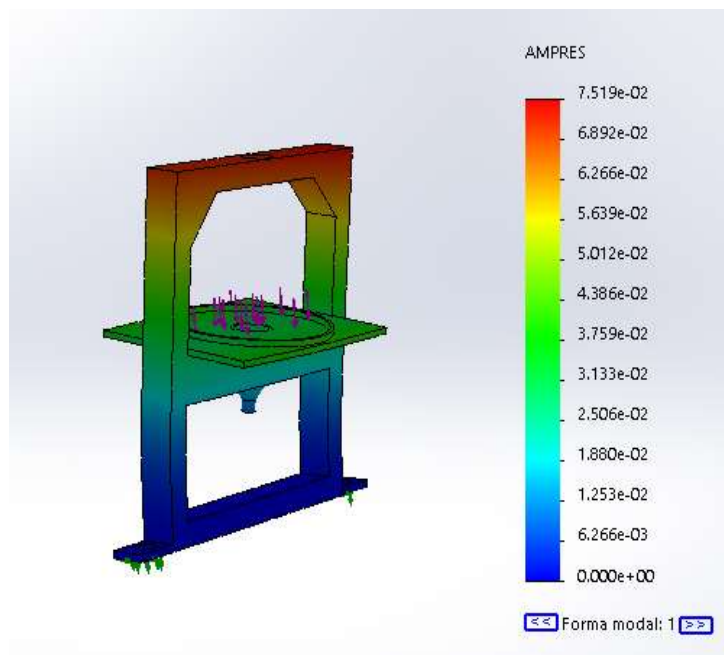


Figura 2.- Simulación de pandeo.

Se utilizó el análisis de cargas estáticas para que se pudieran apreciar los puntos críticos donde se ejerce mayor esfuerzo a la deformación, observándose que es el centro de la placa de la prensa. El material seleccionado cumple los requisitos de las especificaciones, ya que al realizar la simulación no representa daño significativo en el diseño.

Correspondiente a los tipos de cargas aplicadas se puede distinguir que, a mayor presión del pistón, el acero puede generar mayor deformación; por ello se seleccionó el acero AISI 316L, ya que, como se observó en la simulación, no se deforma al aplicar la presión.

CONCLUSIONES

Para definir las dimensiones de la placa de la prensa, se consideraron los diámetros de los recipientes, de tal manera, que sobre los 0.5 m de la placa, se ejerzan de manera uniforme los 588.4 N que en promedio es la fuerza de un humano, y así lograr la completa extracción del suero.

Se utilizó el análisis de cargas estáticas para que se pudieran apreciar los puntos críticos donde se ejerce mayor esfuerzo a la deformación, observándose que es el centro de la placa de la prensa.

El material seleccionado cumple los requisitos de las especificaciones, ya que al realizar la simulación no representa daño significativo en el diseño.

Correspondiente a los tipos de cargas aplicadas se puede distinguir que, a mayor presión del pistón, el acero puede generar mayor deformación; por ello se seleccionó el acero AISI 316L, ya que, como se observó en la simulación, no se deforma al aplicar la presión.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mott, R. L. (2016) Diseño de elementos de maquinas. México: Pearson edition.
2. Marlin Steel. (April 13, 2017). What is the Best Food Grade Stainless Steel?. 6 september 2019, de Marlin Steel Sitio web: <https://www.marlinwire.com/blog/what-is-the-best-food-grade-stainless-steel>
3. NOM-121-SSA1-1994. Bienes y servicios. Quesos: frescos, madurados y procesados. Especificaciones sanitarias.

IMPORTANCIA DE LA ESTABILIDAD TÉRMICA EN LA CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA Y ALIMENTARIA

Patricia Mendoza Méndez, Laura Luna Rivero, Juan Nieto Frausto y Honorina Ruiz Estrada

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
pmendoza@fcfm.buap.mx

RESUMEN

El este trabajo se aplican los principios de la termodinámica a productos de la industria farmacéutica y alimentaria y se proponen posibles soluciones a los problemas de conservación de medicamentos y productos alimenticios. Aunque son diversos los aspectos que rigen los procesos de conservación, por ejemplo; aspectos fisicoquímicos, bioquímicos, microbiológicos, etc., nosotros sólo nos enfocamos en estudiar aquellos que involucran la estabilidad térmica y de humedad ya que son parámetros importantes en el almacenamiento y preservación de alimentos y medicamentos.

Uno de los parámetros que se emplean en la industria farmacéutica es la temperatura cinética media (TCM), la cual ayuda a determinar el tiempo de vida útil de un medicamento, establecer la fecha de caducidad y comprobar si se cumple con las correctas temperaturas de almacenamiento. Aplicamos el modelo matemático de Haynes en un estudio de perfil térmico y de humedad de un almacén farmacéutico localizado en la ciudad de Puebla. Observamos que, en el almacén se presentan fluctuaciones en la temperatura y humedad, registrándose zonas en las que la temperatura disminuye alcanzando los 5°C en la madrugada (humedad alta) y en el día llega a incrementarse hasta los 32°C (humedad baja), sin embargo, estas fluctuaciones parecen no influir mucho en el valor de la TCM. Por lo anterior, se hace necesaria la comparación de este modelo con otros reportados en la literatura con el fin de poder determinar cuál es el más adecuado, proponer alguna modificación o deducción de uno nuevo, ya que la industria alimentaria está tratando de utilizar este mismo parámetro para determinar las temperaturas de almacenamiento de los productos alimenticios y prevenir riesgos a los consumidores.

INTRODUCCIÓN

Los estudios de estabilidad en la industria farmacéutica son de suma importancia ya que determinan las condiciones de almacenamiento, de distribución y vida útil de los medicamentos. En estos estudios se realizan pruebas y reúnen evidencias, durante un periodo de tiempo determinado, del impacto que los factores ambientales como la temperatura, la humedad o la luz tienen sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de un medicamento, fármaco o remedio herbolario. De esta información se desprende su periodo de vida útil y se determina su fecha de caducidad. Las especificaciones del tipo de prueba al que se someten este tipo de productos se describen en la Norma Oficial Mexicana vigente NOM-073-SSA1-2015, "Estabilidad de fármacos y medicamentos, así como de remedios herbolarios," y deben ser acatadas por las fábricas o laboratorios de: materias primas para la elaboración de medicamentos, medicamentos, productos biológicos, remedios herbolarios, que se comercialicen en los Estados Unidos Mexicanos¹.

Existen diferentes aspectos relevantes relativos a la estabilidad de los medicamentos y las formas de dosificación, a saber, los relacionados con los procesos de degradación química de principios activos, problemas de estabilidad física y problemas de estabilidad biofarmacéutica. En los procesos de degradación química se puede producir una pérdida de eficacia terapéutica de la formulación debido a la reducción del contenido en principio activo. Si los productos de degradación son tóxicos, la degradación química puede provocar riesgos graves en un paciente. Los procesos de estabilidad física están relacionados con las alteraciones físicas que pueden sufrir los excipientes, las cuales se pueden observar en las propiedades mecánicas y en el aspecto de las formas de dosificación. Finalmente, la estabilidad biofarmacéutica hace referencia a las modificaciones en la biodisponibilidad del principio activo, las cuales pueden originar desde la pérdida de eficacia hasta la posible aparición de efectos tóxicos debido a la liberación del principio activo, incorporado a una forma de liberación controlada, a velocidad mayor que la programada².

Los estudios de estabilidad son de dos tipos. El primero se refiere a la estabilidad en pre-formulación, su objetivo es determinar los factores que afectan la estabilidad física y química del principio activo y su compatibilidad con los excipientes de uso habitual. El segundo tiene que ver con la estabilidad en la forma de dosificación donde el principio activo del medicamento tiene que permanecer estable y eficaz desde su fabricación hasta su utilización por parte del paciente. Es en este último que se estudian la estabilidad química del fármaco, la estabilidad física y la estabilidad biofarmacéutica. Esto con el propósito de establecer la fecha de caducidad del medicamento. Los estudios pueden ser acelerados o a largo plazo. Los primeros son denominados en la norma NOM-073-SSA1-2015 como; *estudios de estabilidad acelerada*. Estos son diseñados bajo condiciones extremas de almacenamiento para incrementar la velocidad de degradación química, biológica o física. Los segundos son llamados *estudios de estabilidad a largo plazo*. Son diseñados bajo ciertas condiciones de almacenamiento de temperatura y humedad, que permitan comprobar la conservación de las propiedades del medicamento, fármaco o remedio herbolario durante su periodo de vida útil bajo las condiciones de almacenamiento y de vida de anaquel, a través de un programa de tiempos de muestreo y de evaluación. Establecidas las condiciones de almacenamiento y caducidad del producto, descritas detalladamente en la norma NOM-059-SSA1-2015, corresponde a los establecimientos dedicados a la fabricación y/o importación de medicamentos para uso humano comercializados en nuestro país y/o con fines de investigación, así como los laboratorios de control de calidad, almacenes de acondicionamiento y depósito el cumplirlas debidamente¹⁻³.

En este trabajo presentamos un estudio de estabilidad a largo plazo. Realizamos un mapeo de perfil térmico y de humedad relativa del área de almacenamiento de un almacén farmacéutico ubicado en la ciudad de Puebla. Se desea de determinar, antes de su uso, si éste cumple con las condiciones de almacenamiento que garanticen al consumidor que el producto que recibe no se ha salido del rango de los parámetros especificados por el fabricante y asegurar la eficacia del principio activo del producto. La metodología teórico-práctica, los criterios de aceptación empleados, los resultados y las conclusiones se describen en las siguientes secciones.

METODOLOGÍA TEÓRICO-PRÁCTICA

Metodología práctica

El espacio estudiado corresponde a un almacén de 45.35 m largo, 31.8 m ancho, 7 m alto, con dos zonas para el almacenamiento de medicamentos. La primera tiene una superficie de 18 m de ancho por 31.8 m de largo, en la que están distribuidos estantes de 4.92 m de largo, 1 m de ancho y 2.20 m de alto. La segunda zona tiene una superficie de 7.6 m de ancho por 11 m de largo, donde están distribuidos anaqueles. Para realizar el estudio de mapeo térmico, las dos zonas de almacenamiento fueron divididas en subzonas y para su adecuada identificación se les asignó una etiqueta. Se usaron data-loggers Temperature/RH, calibrados, con una precisión en temperatura $\pm 6^\circ\text{C}$, rango -40 a 85°C y precisión de humedad relativa ± 3 RH, rango 1% a 99%, los cuales fueron colocados en puntos estratégicos (parte superior, media e inferior) de cada subzona. La frecuencia de muestreo fue en intervalos de cinco minutos durante 24 horas, con una duración total de 23 días, en la que se realizó el monitoreo de temperatura y humedad relativa de las dos zonas de almacenamiento.

Se estudió la estabilidad de la temperatura del aire y humedad relativa de las áreas monitoreadas así como la magnitud de las fluctuaciones experimentadas. Para el análisis de las fluctuaciones de temperatura y humedad relativa, se consideraron los siguientes factores:

- Variaciones de los equipos de medición (utiliza margen de error reportado en certificado de calibración).
- Variaciones sobre planos verticales y horizontales, dependiendo del tamaño de la zona y la distribución de los equipos de medición.
- Ubicación de las variaciones cerca de fuentes de calor o frío, comparada con regiones lejanas a éstas.

Una vez obtenidos los datos del muestreo, se identificaron las regiones críticas en las que se presentaron los puntos de temperatura y humedad relativa máximas y mínimas acontecidas durante el período de estudio. Mediante la obtención de la temperatura y la humedad relativa promedio por región medida (subzona) se identificaron los puntos más calientes o fríos, húmedos o secos del

almacén. Se elaboraron gráficas comparativas y al final del análisis se hizo un reporte con los resultados y recomendaciones de uso del almacén.

Metodología teórica

Los datos obtenidos en la metodología práctica se analizaron mediante las funciones básicas de la estadística descriptiva. Se calcularon medidas de tendencia central (media aritmética) y de dispersión (varianza y desviación estándar) para identificar de los puntos críticos de temperatura y humedad relativa, así como las fluctuaciones de estas propiedades experimentadas durante el periodo de estudio⁴.

Además de este análisis estadístico, se determinó la temperatura de almacenamiento por medio de la solución del modelo matemático de Haynes (1971). El modelo está dado por la ecuación (1) y toma en cuenta las condiciones climáticas, así como los factores cinéticos propios de las reacciones de degradación,

$$T_{CM} = \frac{\Delta H/R}{-\ln\left(\frac{e^{\left(-\frac{\Delta H}{RT_1}\right)} + e^{\left(-\frac{\Delta H}{RT_2}\right)} + \dots + e^{\left(-\frac{\Delta H}{RT_n}\right)}}{n}\right)} \quad (1)$$

donde ΔH es la energía de activación, R la constante universal de los gases, T_n es el valor de la temperatura medida a diferentes intervalos de tiempo t_n y n es el número total de periodos de tiempo en los cuales los datos son colectados⁵. De acuerdo con (Gallardo,2004), la ecuación (1) se puede aplicar a periodos de tiempo diarios, semanales y anuales. Haynes tomó los datos promedios mensuales ya que se mantenían las condiciones de almacenamiento controladas y por tanto no se justificaba utilizar datos de temperaturas diarias^{6,7}.

Esta temperatura de almacenamiento, denominada como *temperatura cinética media* (T_{CM}), se define como *una temperatura tal, que si se mantiene en un periodo de tiempo definido, produciría el mismo cambio térmico a una sustancia o producto farmacéutico como habría sido experimentado en un rango de temperaturas altas y bajas, durante un periodo de tiempo equivalente*. Es un parámetro que se utiliza para homogeneizar los estudios de estabilidad a los que se someterá el producto y que simulen el ambiente al que será expuesto. Dada su importancia en la Industria Farmacéutica, recientemente se han realizado estudios sobre su posible uso en el control microbiológico de alimentos⁶⁻⁸.

Energía de activación

Se le denomina energía de activación a la energía mínima que requieren las moléculas para romper los enlaces existentes durante una reacción química y se usa normalmente para determinar el impacto del cambio de temperatura en las pruebas de estabilidad de productos farmacéuticos. Su valor varía de acuerdo al tipo de medicamento de 5 a 240 kJ/mol, con un valor medio de 83 kJ/mol^{9,10}.

Criterios de aceptación

De acuerdo con la clasificación realizada por la Organización Mundial de la Salud, México se encuentra en la zona climática II (subtropical, con posible humedad relativa), por esta razón, la Norma Oficial Mexicana NOM-073-SSA1-2015 señala que las condiciones de almacenamiento de un medicamento conocido, en un estudio de estabilidad a largo plazo, deben ser:

Opción 1- 25°C ± 2°C / 60 % ± 5% HR

Opción 2- 30°C ± 2°C / 65 % ± 5% HR

El período mínimo debe ser de 12 meses con una frecuencia de análisis de 0,3,6,9 y 12 meses¹.

Estos valores se aplican en general, excepto cuando la etiqueta del producto particular indique una temperatura de almacenamiento diferente basada en estudios de estabilidad para esa formulación. De acuerdo con el documento expedido por la Secretaría de Salud, Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (FEUM), las condiciones de almacenamiento en un ambiente controlado, ubican a la temperatura en un rango de 20°C a 25°C donde el valor de la temperatura cinética media no rebasa los 25°C. Esto permite desviaciones entre 15°C y 30°C experimentadas en farmacias, hospitales, bodegas y depósitos. Siempre que la temperatura cinética media permanezca en el intervalo permitido, se permiten elevaciones pasajeras de temperatura no superiores a los 40°C, con

la condición que dichas elevaciones no duren más de 24 horas. El periodo de estudio es en dos temporadas, invierno y primavera, o cuando haya cambios significativos en el almacén¹¹.

La zona se considera apta sí el valor de la temperatura cinética media y el de humedad relativa oscilan entre los límites establecidos.

RESULTADOS

Análisis Estadístico

El resultado del análisis estadístico de los datos obtenidos en cada subzona monitoreada se muestra en la Tabla 1. Las subzonas identificadas con las etiquetas A, B y C pertenecen a la zona de almacenamiento 1 y las identificadas con la etiqueta Anaquel conforman la zona de almacenamiento 2.

Tabla 14. Registro de temperaturas mínima, máxima, promedio, media, varianza y desviación estándar. Los valores mostrados corresponden a la media del monitoreo que se realizó en cada subzona. La primera columna muestra la etiqueta de identificación y la segunda columna tiempo total de muestreo.

Etiqueta	Fecha	T Min (°C)	T Max (°C)	T Promedio	Media	Varianza	Desv Est
A1	26-29 nov	10.3666667	26.5333333	17.4366667	17.4366667	31.7710037	5.594094
A2	29 nov 03 dic	10.575	26.575	16.94	16.94	29.9092475	5.44431525
A3	03-06 dic	8.15	25.4	15.675	15.675	34.157103	5.843724
A4	07-12 dic	8.05	23.75	14.675	14.675	27.590628	5.25190875
A5	11-15 dic	7.725	22.475	14.26	14.26	23.6949223	4.85794075
B1	26-30 nov	10.1	28.775	17.8325	17.8325	42.1135365	6.44551983
B2	30 nov 04 dic	9.725	29.225	17.2325	17.2325	43.7510498	6.60157185
B3	04-07 dic	7.63333333	27.5666667	16.0133333	16.0133333	46.148506	6.790352
B4	07-10 dic	7.26666667	25.6333333	14.8833333	14.8833333	39.0911353	6.249865
B5	11-15 dic	7.5	24.925	14.715	14.715	33.927248	5.8007305
C1	26-29 nov	9.56666667	31.4333333	18.3833333	18.3833333	57.9144363	7.58052733
C2	29 nov 03 dic	9.475	31.625	17.8475	17.8475	55.4065323	7.43436925
C3	03-07 dic	7.1	31.05	16.575	16.575	63.7274378	7.97913475
C4	07-11 dic	6.675	28.95	15.585	15.585	57.050258	7.54817775
C5	11-15 dic	6.825	27.75	15.2325	15.2325	49.7689758	7.021555
Anaquel 1	15-18 dic	7.9	26.3	15.3133333	15.3133333	39.6030937	6.28916467
Anaquel 2	15-18 dic	7.86666667	26.1	15.2333333	15.2333333	39.741598	6.2753117
Anaquel 3	15-18 dic	7.6	25.2333333	15.24	15.24	36.1794297	5.93166733
Anaquel 4	18-19 dic	4.75	26.15	12.985	12.985	51.94847	7.203684

De los datos presentados en la tabla se identificó que en la zona de almacenamiento 1, la región crítica corresponde a las subzonas de C1 a C5. En ellas se localizan los puntos de temperatura mínima (6.67°C) y máxima (31.62°C) experimentados durante el estudio. Por otro lado, la región que presentó una menor diferencia de temperatura comprende las subzonas de A1 a A5 en el que la temperatura varió de los 8°C a 26°C. Seguida por la región comprendida por las subzonas de B1 a B5 con una variación en la temperatura de 7°C a 29 °C. Por otro lado, en la zona de almacenamiento 2, la variación de la temperatura oscilo entre los 5°C a 26 °C.

Una cantidad más apropiada para medir la dispersión de los datos, es su dispersión relativa. Obtenida del cociente de la desviación estándar entre la media. Si los datos están en las inmediaciones del valor promedio, el resultado del cociente es pequeño comparado con la unidad.

En este caso se dice que los datos muestran poca dispersión y como consecuencia están apilados alrededor de la media. En este caso el resultado del cociente en todos los casos es menor que 1. Aunque hemos centrado la discusión de los resultados solo a la temperatura un comportamiento similar ocurre con la humedad relativa, con la particularidad que a temperaturas bajas la humedad relativa es alta y a temperaturas altas la humedad relativa es baja.

Durante el muestreo, el dispositivo datalogger puede indicarnos cuando una lectura está fuera de los límites preestablecidos. Si analizamos el caso particular de la subzona identificada con la etiqueta Anaquel 4 en el que el descenso de la temperatura es más dramático, podemos ver que es en durante la noche cuando más control debe tenerse para mantener la temperatura constante en la zona de almacenamiento. Esto esta en acuerdo con la estación del año (invierno) en la que se realizó el estudio. En la Figura 1 se muestra la dependencia temporal de la temperatura y de humedad relativa, así como la identificación de la región crítica en la que la temperatura es demasiado baja y la humedad demasiado alta.

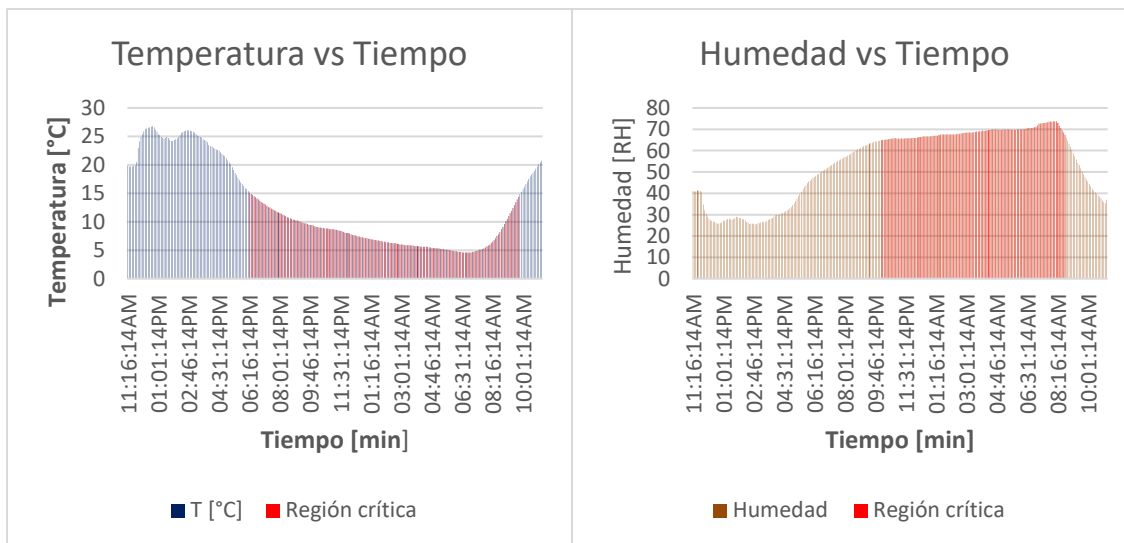


Figure 1. Dependencia temporal de la temperatura y humedad, la región sombreada en rojo representa el intervalo

Uno puede observar claramente de las gráficas que hay una relación entre temperatura y humedad, justo en el intervalo de tiempo en el que la temperatura desciende, la humedad aumenta.

Temperatura Cinética Media

Dado que el propósito es determinar, antes de su uso, si el almacén cumple con las condiciones de almacenamiento, para la solución de la ecuación (1) el valor de ΔH se consideró constante e igual al valor promedio $\Delta H=83$ kJ/mol del rango de valores que puede tomar de acuerdo con el tipo de medicamento estudiado. El valor de la constante real de los gases es $R=8.314472$ J/Kmol.

Cabe señalar que se está obteniendo un solo valor de la T_{CM} para fines del estudio, pero en realidad se debe determinar un rango de temperaturas para T_{CM} que dependerá del valor de los diferentes ΔH correspondientes a los medicamentos almacenados.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2. Se comparan la temperatura promedio y la temperatura cinética media.

Tabla 15 Temperatura cinética media y temperatura promedio.

Etiqueta	T Promedio	MKT (°C)
A1	17.4366667	19.23
A2	16.94	18.6775
A3	15.675	17.635
A4	14.675	16.2825
A5	14.26	15.88
B1	17.8325	20.225
B2	17.2325	19.7975
B3	16.0133333	18.6766667
B4	14.8833333	17.18
B5	14.715	16.695
C1	18.3833333	21.6506667
C2	17.8475	21.0875
C3	16.575	20.265
C4	15.585	18.9175
C5	15.2325	18.1375
Anaquelel 1	15.3133333	17.6333333
Anaquelel 2	15.2333333	17.57
Anaquelel 3	15.24	17.3366667
Anaquelel 4	12.985	16.08

Los resultados nos indican que aún cuando se presentan variaciones en la temperatura en las zonas de almacenamiento, la temperatura del aire promedio está ente los 15°C y 18°C para la zona 1 y mientras que en la zona 2 se mantiene en 15°C. En el caso de la temperatura cinética media, ésta varía de entre 18°C a 22°C en la zona de almacenamiento 1 y de 13°C a 15°C en la zona 2.

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos realizado un estudio de estabilidad a largo plazo en un almacén farmacéutico. Realizamos un mapeo de perfil térmico y de humedad relativa a fin de determinar si cumple con las condiciones de almacenamiento que garanticen la conservación de las propiedades de los medicamentos.

De la información presentada en la sección de resultados, se concluye lo siguiente:

- Los valores de la temperatura promedio del aire en las dos zonas de almacenamiento quedan fuera del rango establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-073-SSA1-2015 y por la FEUM. Se recomienda la instalación de aire acondicionado o sistema de calefacción para estabilizar la temperatura. En Física, de acuerdo con la termodinámica clásica, la analogía que podemos establecer, identifica a las zonas de almacenamiento como un sistema termodinámico rodeado por paredes adiabáticas (no permiten entrada ni salida de calor). Es importante que las paredes del almacén sean de materiales que ofrezcan resistencia a los cambios de temperatura.
- Debido a que el valor de la temperatura cinética media no excede los 25°C, se considera que el almacén es adecuado para el almacenamiento de medicamentos e insumos para la salud, siempre y cuando se atienda a las recomendaciones indicadas en el inciso a).
- Para determinar el valor de la temperatura cinética media utilizamos el modelo propuesto por Haynes. Como una continuación de este trabajo, realizaremos una comparación de los resultados obtenidos mediante este modelo con otros reportados en la literatura con el propósito

de determinar posibles similitudes o diferencias, proponer alguna modificación o deducción de uno nuevo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Norma Oficial Mexicana NOM-073-SSA1-2015, Estabilidad de fármacos y medicamentos, así como de remedios herbolarios. Diario Oficial de la Federación.
2. Fonseca González L. Cinética química aplicada a los procesos de descomposición de los fármacos: principios básicos de estabilidad de medicamentos, capítulo 5. 1ra Edición, Editorial de la Universidad de Costa Rica, 2004.
3. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SSA1-2015, “Buenas prácticas de fabricación de medicamentos”, punto 16, Buenas prácticas de Almacenamiento y distribución. Diario Oficial de la Federación.
4. Erwin Kreyszig, Introducción a la Estadística Matemática, Editorial, Limusa, 1982.
5. Haynes, John. (1971) Worldwide Virtual Temperatures for Product Stability Testing. *J. Pharm. Sci.* 60 (6): 927-929.
6. Satinder Ahuja y Stephen Scypinski (2001), Handbook of modern pharmaceutical analysis, San Diego, California, USA, Academic Press.
7. Cecilia Gallardo C, Jhon J. Rojas C y Oscar A. Flores A., La temperatura cinética media en los estudios de estabilidad a largo plazo y almacenamiento en los medicamentos, *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, Vol. 11, No. 1 (2004).
8. De Silvestri A, Ferrari E, Gozzi S, Marchi F and Foschino R (2018), “Determination of Temperature Dependent Growth Parameters in Psychrotrophic Pathogen Bacteria and Tentative Use of Mean Kinetic Temperature for the Microbiological Control of Food” *Front. Microbiol.* 9:3023. doi: 10.3389/fmicb.2018.03023
9. Anderson, G., and Scott, M. (1991). Determination of product shelf life and activation energy for five drugs of abuse. *Clin. Chem.* 37, 398-402.
10. Kommanaboyina, B., and Rhodes, C. T. (1999). Effects of temperature excursions on mean kinetic temperature and shelf life. *Drug. Dev. Ind. Pharm.* 25, 1301-1306.
11. Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, 12ª Edición (2018).

DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA ESTELA DE VÓRTICES EN LA OSCILACIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO POR VORTICIDAD

Dulce María Graciano Graciano, Juan Carlos García Castrejón, José Alfredo Rodríguez Ramírez

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas.
dulce.gracianograaem.edu.mx

RESUMEN

Actualmente se encuentra en desarrollo una tecnología de máquinas eólicas carente de álabes, basada en la interacción fluido-estructura de vibraciones inducidas por vórtices (VIV, por sus siglas en inglés) capaz de aprovechar la energía cinética del viento mediante oscilaciones en el dispositivo debidas a la resonancia inducida por el viento (Yáñez,2016).

En el presente trabajo se determinó el efecto de la estela de vórtices mediante una simulación numérica fluido-estructura con el fin de conocer los desplazamientos en el mástil de un aerogenerador VIV ocasionados por la estela de vórtices, cuando la fuerza de excitación se encuentra cercana a la frecuencia natural del sistema.

La geometría de trabajo está basada en el modelo a escala propuesto por (Cajas,2016), que consiste en un monoposte semirrígido de forma cónica en tres dimensiones.

En la simulación FEM (método de elementos finitos) se modeló el aerogenerador anteriormente descrito, esta simulación permitió determinar la frecuencia natural del sistema y los desplazamientos en este debidos al contacto del fluido (aire) con el aerogenerador.

Por otra parte, la simulación numérica CFD (dinámica de fluidos computacionales) se consideró en estado transitorio cuyo paso de tiempo fue de 0.0125 segundos, el cual corresponde al 10% del periodo de desprendimiento de vórtice esperado. Por otra parte, el fluido modelado es aire a condiciones estándar, considerándose como flujo incompresible. Para el modelo desarrollado se emplearon dos modelos de turbulencia; laminar y Spalart-Allmaras. La velocidad del fluido se calculó a partir de la relación entre el número de Strouhal y Reynolds, considerando el diámetro mayor del aerogenerador como la longitud característica para el desprendimiento de vórtices.

La frecuencia natural del aerogenerador obtenida de la simulación modal (FEM) es de 8 Hz, dando como resultado una velocidad de desprendimiento de vórtice de 2 m/s (de acuerdo con la relación Reynolds-Strouhal). Por otra parte, en las simulaciones CFD se monitoreó el desprendimiento de vórtices en 8 alturas del aerogenerador.

El modelo laminar presenta una frecuencia de desprendimiento de vórtice de 7.2 Hz en todas las alturas monitoreadas, mostrando diferencia únicamente en la amplitud de dicha frecuencia respecto a la altura monitoreada, la mayor amplitud se presenta al 85% de la altura del aerogenerador. El modelo Spalart presenta dos frecuencias de desprendimiento de vórtice; 3.2 y 7.2 Hz, mostrando diferencia de amplitud respecto a la altura monitoreada, la mayor amplitud se presenta al 85% de la altura total del aerogenerador en ambas frecuencias de desprendimiento.

Las formas modales obtenidas de las simulaciones FEM presentan la forma esperada en los primeros modos (desplazamientos en los ejes X y Z). La velocidad calculada a partir de la primera frecuencia natural (simulación FEM) genera; en las simulaciones CFD con modelo laminar, una frecuencia de desprendimiento con una diferencia del 10% respecto al valor calculado analíticamente con la relación de los parámetros adimensionales Reynolds y Strouhal. Con lo que respecta a las simulaciones CFD con el modelo Spalart, se encontraron dos frecuencias de desprendimiento y la amplitud de la primera forma modal es la mayor.

INTRODUCCIÓN

Existen diversas tecnologías capaces de generar energía eléctrica a partir de la energía eólica, entre las que destacan las turbinas eólicas de eje vertical, las cuales han mejorado su eficiencia con base al desarrollo tecnológico. Sin embargo, la energía eólica obtenida a través de grandes aerogeneradores de eje vertical origina altos costos de mantenimiento, impacto ambiental negativo y gastos de distribución. Por lo que es necesario desarrollar generadores eólicos más simples, que puedan trabajar de manera conjunta con otros generadores de energías renovables, y de este modo compensar mutuamente los periodos de ausencia de viento, luz, etc.

Actualmente se encuentra en desarrollo un aerogenerador por vorticidad sin aspas que minimiza el uso de partes móviles, capaz de aprovechar la energía cinética del viento mediante oscilaciones debidas a la resonancia inducida por el viento (Yáñez, 2016). Sin embargo, para satisfacer la demanda energética (con esta tecnología) de residencias y sitios de consumo energético similar, será necesario disponer de estos aerogeneradores conjuntamente (granja eólica) como se hace con los paneles solares. Implicando con esto la necesidad de caracterizar su respuesta al viento, es decir, estudiar el efecto aerodinámico que genera un cuerpo aguas arriba sobre otro, bajo la misma dirección de viento. Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado en cilindros de altura infinita (igual a la del dominio estudiado) mediante modelación numérica y pruebas experimentales. No obstante, para este caso de estudio la altura y el cuerpo son distintos, ya que la altura de éste debe ser menor a la del dominio estudiado y, la forma es un arreglo cono-cilindro.

Por tal motivo en este trabajo, mediante el uso de herramientas de modelación numérica, CFD (dinámica de fluidos computacionales, por sus siglas en inglés)-FEM (Método de elementos finitos, por sus siglas en inglés), se obtendrá el estudio de los desplazamientos de oscilación (debidos a los efectos del viento) de 2 aerogeneradores por vorticidad dispuestos en serie, cuando la fuerza de excitación se encuentre cercana a la frecuencia natural del sistema. Los desplazamientos en el primer aerogenerador (colocado aguas arriba del segundo aerogenerador) serán comparados con estudios previos reportados por (Cajas, 2016).

TEORÍA

Los flujos alrededor de cuerpos es un tema de alta relevancia para el diseño de estructuras expuestas al flujo de un fluido, el estudio del comportamiento del fluido (número de Reynolds y Strouhal) en las zonas cercanas a las superficies de la estructura, brinda la posibilidad de conocer las frecuencias de oscilación a la que es sometida dicha estructura por efectos del flujo del fluido. Diversos autores han estudiado ampliamente las estructuras turbulentas de la estela tridimensional para un cilindro de sección transversal cuadrada y circular mediante pruebas experimentales y simulaciones numéricas (López, 2002) (Cengel & Cimbala, 2006) (Salinas Vázquez, 2007) (Bearman, 1969) (Achenbach, 1974) (Kundu & Cohen, 2002) (Holmes, 2015) (Martínez Piquer, 1988), de lo que se tiene que para estructuras con sección circular a medida que el número de Reynolds aumenta, las capas límite comienzan a separarse antes de alcanzar el punto de remanso, causando que las capas desprendidas giren formando torbellinos que gradualmente crecen de tamaño. Para valores cercanos a $Re=50$, comienzan a aparecer unas perturbaciones en el fluido que está situado aguas abajo del cilindro, y son de tal intensidad que da lugar a una estela que tiene una serie de movimientos periódicos oscilantes y, cuando éste toma un valor de 90, uno de los torbellinos fijos que permanecían adheridos a la parte superior del cilindro se desprende y comienza a moverse aguas abajo arrastrado por la corriente. Cuando el número de Reynolds alcanza un valor mayor de 90, los vórtices situados detrás del cilindro comienzan a ser difícilmente reconocibles. Para valores de Re por encima de 150, las capas de fluido libres producidas en cada generación giran formando vórtices que tienen un carácter puramente viscoso. En los valores de Re comprendidos en el rango 150-300 en los que se produce la transición a turbulento de las capas libres de fluido antes de su conversión en vórtices, éstos son turbulentos y se difuminan con más facilidad a medida que se mueven con la corriente. Para valores de $Re=2500$, la estela es turbulenta ya desde regiones situadas justo detrás del cilindro. La oscilación periódica del flujo cercano al cilindro es detectable hasta que el número de Reynolds alcanza un valor próximo a 4×10^5 , condición para la cual la capa límite próxima al cilindro llega a ser turbulenta.

Todo esto ha sido bastante estudiado con el objetivo de evitar que la frecuencia de desprendimiento de vórtices se aproxime a la frecuencia natural de la estructura inmersa en el fluido y minimizar la posibilidad de que ésta entre en resonancia provocando así su fallo, como sucedió con el Puente de Tacoma Narrow en 1940. Lo sucedido con este puente demuestra que una estructura que no ha sido diseñada para absorber energía del viento es capaz de absorber dicha energía hasta el punto de llegar al colapso estructural.

Pese a que un prolongado estado de resonancia puede considerarse dañino para cualquier estructura, Yáñez (United States Patent No. US 9.444,372 B2, 2016) diseñó deliberadamente una estructura en forma de mástil semirrígido (aerogenerador Vortex Bladeless) para fomentar tal efecto

y aprovechar la energía absorbida del viento, basada en la interacción fluido-estructura de vibraciones inducidas por vórtices (VIV), Figura 1.

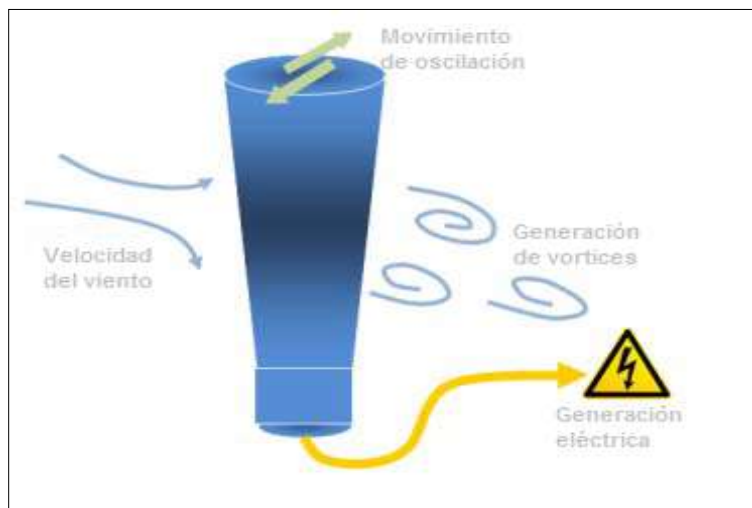


Figura 1. Esquema de funcionamiento de aerogenerador Vortex Bladeless (Hidalgo, 2007)

Esta tecnología se encuentra en desarrollo por la empresa española Vortex Bladeless quien estima que una vez industrializado su aerogenerador "Vortex Tacoma" (de 2.75 metros de altura) la potencia nominal de éste será de 100 vatios.

Debido a que la energía que aprovecha este aerogenerador es la ocasionada por la oscilación de éste cuando se encuentra en estado de resonancia, es de suma importancia su forma y longitud característica, debido a que esto impacta directamente en la frecuencia de oscilación. (Chizfahm, 2018) Realizó el cálculo numérico de la interacción fluido estructura en 4 prototipos de aerogeneradores VIV usando ANSYS Fluent y ANSYS FEM, donde propone 2 tipos de formas de mástil (cónica - cilíndrica) y 2 estructuras de montaje, dichos prototipos fueron estudiados de forma separada (no estaban dispuestos en serie).

Verificó que la amplitud de las vibraciones del aerogenerador aumenta significativamente cuando el desprendimiento de vórtice se sincroniza con la frecuencia natural de la estructura y reporta que los aerogeneradores cónicos tienen un mayor rendimiento en la región posterior a la sincronización (altas velocidades del viento), mientras que el cilindro circular muestra un mejor rendimiento en la región de pre-sincronización (bajas velocidades del viento).

(Cajas, 2016) realizó comparativas de resultados experimentales de túnel de viento con resultados de simulación numérica realizada en el sistema Alya (código multifísico desarrollado en el Centro de Supercomputación de Barcelona, escrito en el lenguaje FORTRAN y basado en formulación de elementos finitos) para un aerogenerador VIV a escala, Figura 2. Para la simulación numérica el cuerpo sólido fue considerado de dos distintos, la parte flexible (base) con un módulo de Young $E=0.97 \times 10^{11}$ y densidad $\rho=1365 \text{ kg/m}^3$, y la parte rígida (superior) con un módulo de Young de $E=3.0 \times 10^{11}$ y masa de 0.091 kg. Los resultados muestran un margen de error menor al 10% entre la simulación numérica y los datos experimentales.

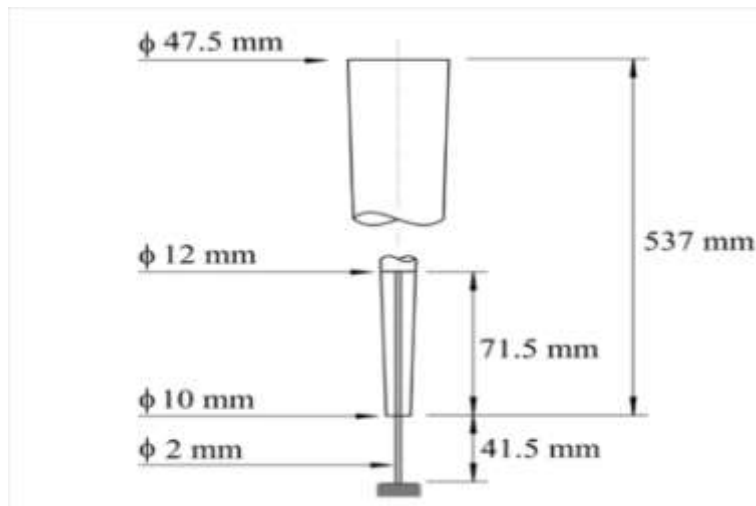


Figura 2. Modelo a escala de aerogenerador VIV empleado en pruebas experimentales y en la simulación numérica (Cajas, 2016)

(Parada, Herrera, Flores, & Parada, 2017) (MirHassani & Yarahmadi, 2017) (Kusiak & Song, 2010) Reportan que la perturbación de la corriente de viento aguas abajo en turbinas eólicas se debe principalmente a la distancia entre ellas y la dirección del viento, razón por la cual algunos aerogeneradores deben instalarse respetando una gran distancia entre ellos. Esto no afecta del mismo modo a los aerogeneradores por oscilación, implicando menos limitaciones asociadas con el “efecto estela”, debido a que su geometría es diferente y su funcionamiento no depende de la dirección del viento.

Por tales motivos los desarrolladores de los dispositivos Vortex esperan que éstos funcionen muy bien en conjunto e interaccionen positivamente siempre que se respete una distancia mínima entre ellos, estimada en la mitad de la altura total del dispositivo, sin embargo, en la literatura no se encuentra reportado ningún estudio respecto a la distancia mínima entre aerogeneradores VIV.

METODOLOGÍA

Estudios de métodos de elementos finitos (FEM)

Para los estudios de simulación de FEM, el aerogenerador VIV modelado consta de dos elementos principales; el mástil, que es la parte rígida de forma cónica y la estructura de montaje, parte flexible, de sección transversal circular, Figura 3.

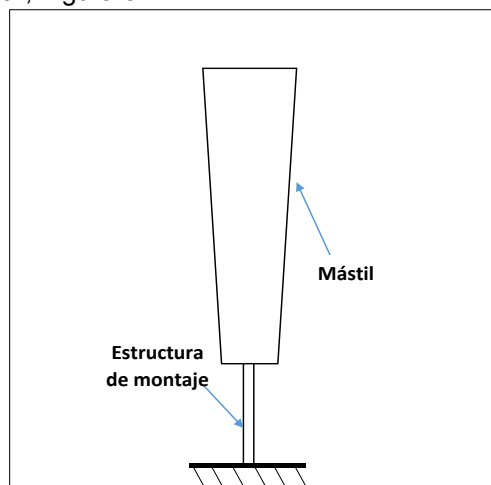


Figura 3. Esquema de aerogenerador VIV de estudio

La discretización del modelo para los estudios de FEM, se realizó con malla tipo no estructurada. Este modelo es un montaje, es decir se consideran dos elementos de naturaleza (materiales de distintas propiedades mecánicas), por lo cual se declaró un contacto entre los elementos.

En la Figura 4 se presenta la malla de FEM no estructurada, de 8,061 elementos de tipo tetraédricos y 14,385 nodos.

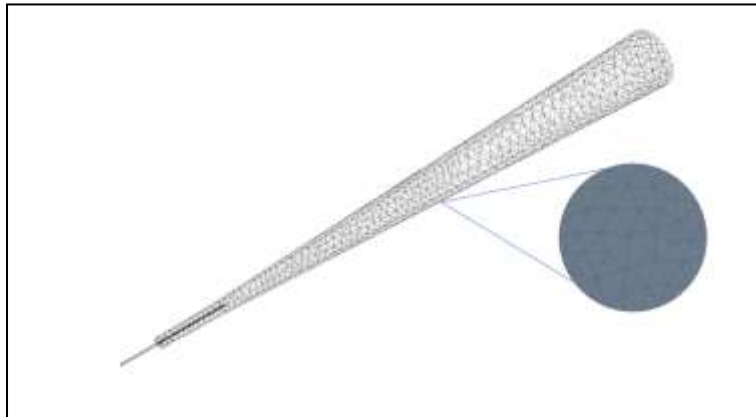


Figura 4. Malla no estructurada, estudio FEM

Los cálculos por el FEM tienen como principales objetivos determinar; la frecuencia natural del mástil del aerogenerador (que brinda la información necesaria para determinar la velocidad del fluido capaz de generar el fenómeno de resonancia en el aerogenerador, dada la relación entre la relación Strouhal-Reynolds descrita previamente) y posteriormente los desplazamientos debidos al flujo del fluido en los aerogeneradores VIV (colocados uno detrás del otro).

Para la simulación numérica, el modelo se consideró de dos distintos materiales, la parte flexible en la base con un módulo de Young $E=0.97 \times 10^{11}$ y densidad $\rho=1365 \text{ kg/m}^3$, y la parte superior (más rígida) con un módulo de Young de $E=3.0 \times 10^{11}$ y masa de 0.091 kg.

En la simulación para el estudio modal se consideró solo una restricción, el aerogenerador se fijó de la base del cilindro (parte flexible).

Por otra parte, para determinar el efecto fluido-estructura de un aerogenerador se realizó un estudio de una vía, para lo que se obtuvieron los perfiles de presión total sobre su superficie (cada 2 pasos de tiempo) de la simulación CFD, posteriormente fueron introducidos como condición de frontera en el análisis FEM, donde se obtuvieron los máximos desplazamientos en el aerogenerador ocasionados por estas presiones para cada instante de tiempo.

Estudios de dinámica de fluidos computacionales (CFD)

Respecto a las geometrías generadas para los estudios de CFD en tres dimensiones, se consideró un dominio que está en función de la altura del aerogenerador (h), como se observa en la Figura 5.

En este caso, un dominio que representa una sección del túnel de viento empleado en pruebas experimentales (Cajas, 2016) de 2m^2 de área transversal y 6 alturas de largo. El sólido de los aerogeneradores fue extraído del dominio quedando de esta manera únicamente las superficies en contacto con el viento.

La discretización en volúmenes de control se realizó con una malla no estructurada de elementos tetraédricos con refinamiento en las superficies de los aerogeneradores en contacto con el viento. Los tamaños máximo y mínimo fueron; 40 y 0.02 mm respectivamente. Posteriormente Fluent los elementos se transformaron de tetraédricos a poliédricos para ajustar los resultados a criterios de convergencia cercanos a cero (0.000001).

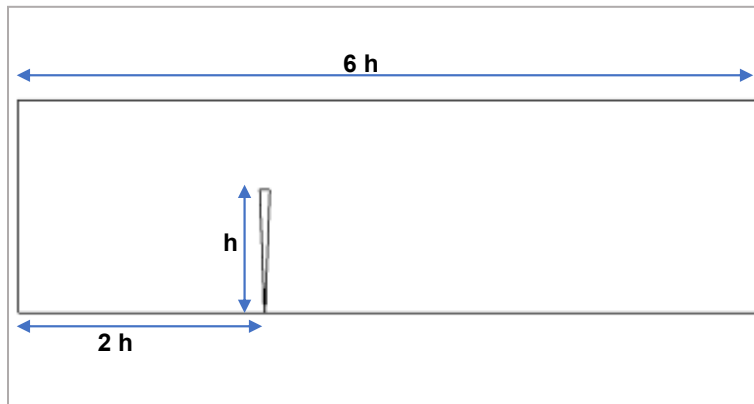


Figura 5. Dominio de estudio (vista lateral)

En la Figura 6, se muestra la malla tipo poliédrica (592,155 elementos).

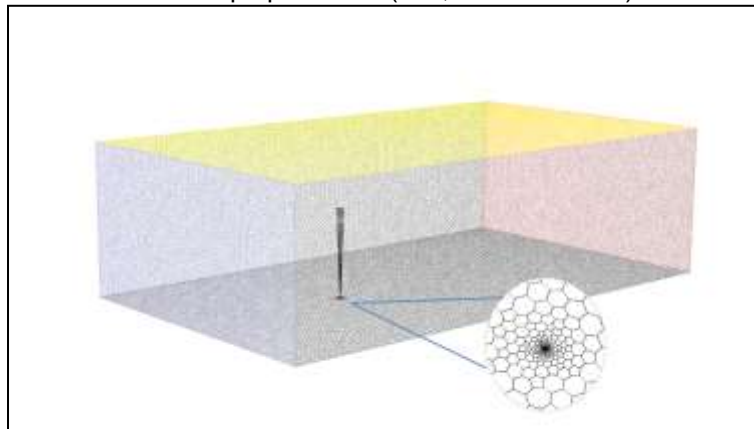


Figura 6. Malla tipo poliédrica, estudio CFD

La simulación numérica se consideró en estado transitorio para medir las fluctuaciones de viento en el tiempo y de esta manera calcular la frecuencia de desprendimiento de vórtice. El paso de tiempo fue de 0.0125 segundos, el cual permite capturar la frecuencia de desprendimiento de vórtice esperado, ya que estas frecuencias son menores a 10 Hz. Por otra parte, el fluido modelado fue aire a condiciones estándar, considerándose como flujo incompresible.

La velocidad del fluido se calculó a partir de la relación entre el número de Strouhal y el número de Reynolds, se consideró el diámetro mayor como la longitud característica para el desprendimiento de vórtices. Se emplearon 2 modelos; laminar y Spalart-Allmaras.

Para las simulaciones en 3D se consideró constante a la velocidad en todas las alturas del dominio. En la Tabla 1 se muestra el resumen de las condiciones de frontera para la simulación en 3D.

Tabla 1. Condiciones de frontera simulación de CFD en 3D

Longitud característica (m)	Viscosidad cinemática del fluido (kg/ms)	Velocidad del fluido (m/s)	Densidad del fluido (kg/m ³)	Número de Reynolds
0.0475	1.7894e ⁻⁵	2	1.225	6.5x10 ³

Para las simulaciones de CFD en 3D, se registró el desprendimiento de vórtices en 8 alturas del aerogenerador, en la Figura 7 se presentan estas alturas donde; H1 está al 98.5% de la altura total

del aerogenerador, H2 al 87.5%, H3 al 75%, H4 al 62.5%, H5 al 50%, H6 al 37.5%, H7 al 25% y H8 al 12.5%.

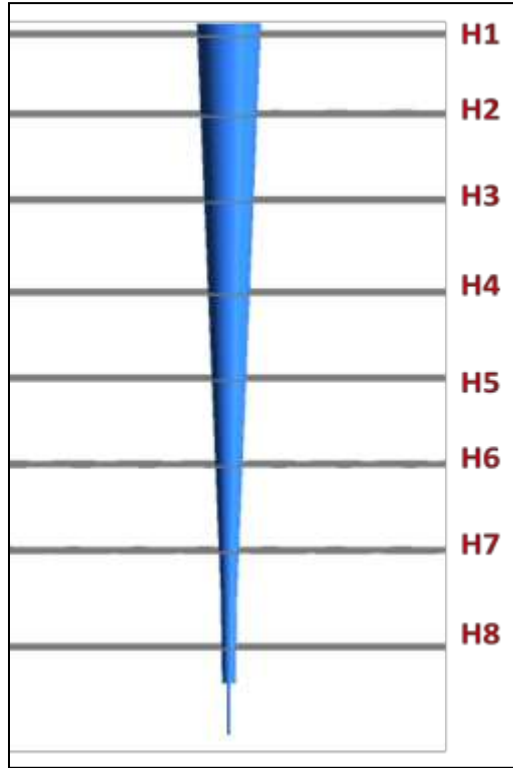


Figura 7. Alturas monitoreadas en aerogenerador VIV

RESULTADOS

Estudios de métodos de elementos finitos (FEM)

Los resultados de la simulación modal se presentan en la Tabla 2. los cuales como se mencionó anteriormente permiten determinar la velocidad del fluido que ocasiona el fenómeno de resonancia en la estructura. En la Figura 8 se observan las deformaciones debidas al primer modo, en la cual se observa que la máxima deformación (13.9 cm) está en la parte más alta del aerogenerador y empieza a disminuir respecto a la altura.

Tabla 2. Modos de aerogenerador VIV

Modo	Frecuencia (Hz)
1	4.9863
2	8.1531
3	207.11
4	211.11
5	339.91
6	1398.1

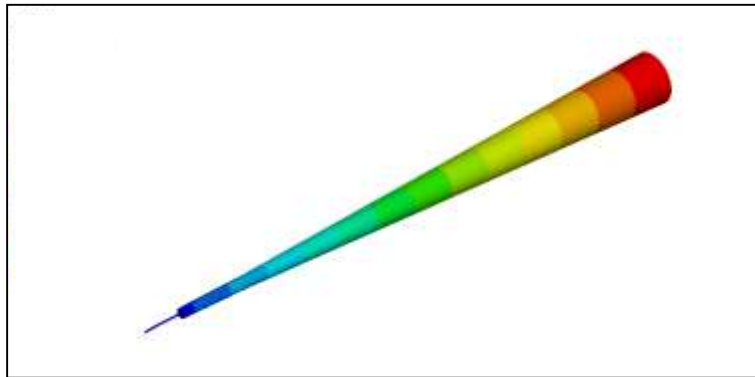


Figura 8. Deformaciones debidas al primer modo en el aerogenerador VIV

Estudios de dinámica de fluidos computacionales (CFD)

Cálculos de CFD sin modelo de turbulencia

El modelo laminar presenta una frecuencia de desprendimiento de vórtice de 3.5 Hz en todas las alturas monitoreadas, Figura 9, mostrando diferencia únicamente en la amplitud de dicha frecuencia respecto a la altura monitoreada. En las Figuras 10 y 11 se observa como la estela tiene mayor amplitud entre las alturas H2-H4, mientras que la amplitud en H1 se ve afectada por el llamado efecto cabeza (el flujo se ve perturbado por la punta del aerogenerador).

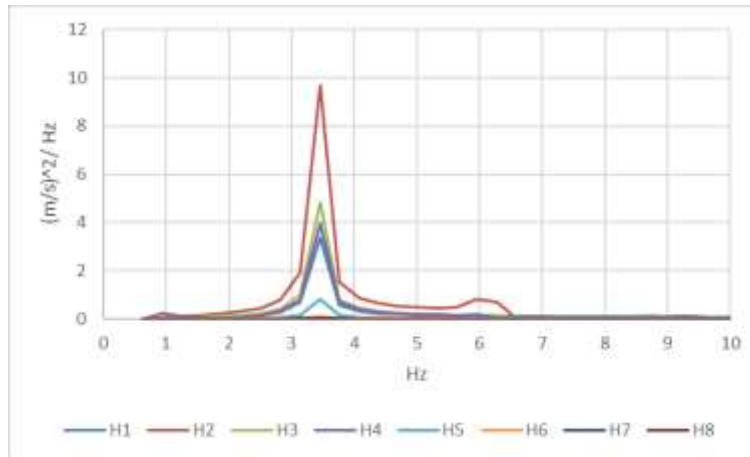


Figura 9. Espectros de la Frecuencia de desprendimiento de vórtice con modelo laminar

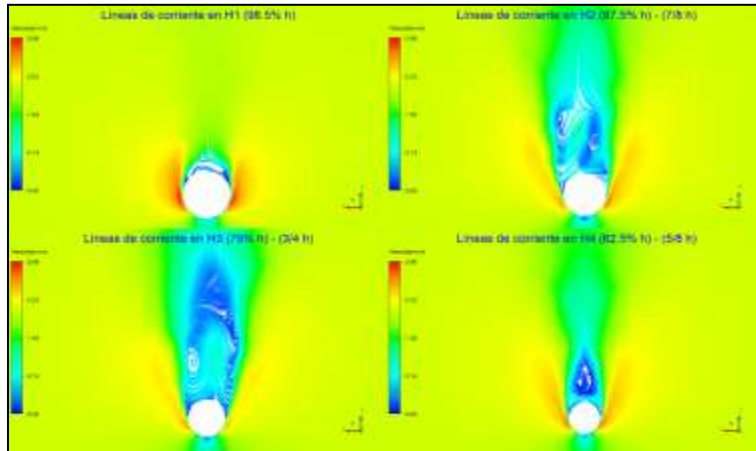


Figura 10. Líneas de corriente H1-H4 (Laminar)

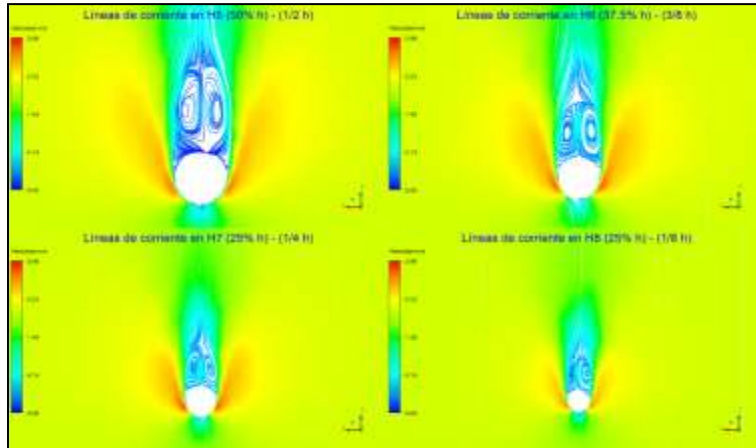


Figura 11. Líneas de corriente H5-H8 (Laminar)

Cálculos de CFD con modelo Spalart-Allmaras

El modelo Spalart presenta dos frecuencias de desprendimiento de vórtice; 1.9 y 3.5, Figura 12, mostrando diferencia de amplitud respecto a la altura monitoreada. Se observa que la mayor amplitud se presenta en H2 en las dos frecuencias, pero en 1.9 Hz se presenta la mayor amplitud en todas las alturas.

En las Figuras 13 y 14 se observa como la estela es mayor entre las alturas H2-H4, mientras que H1 se ve afectada por el llamado efecto cabeza, el flujo se ve perturbado por la tapa del aerogenerador.

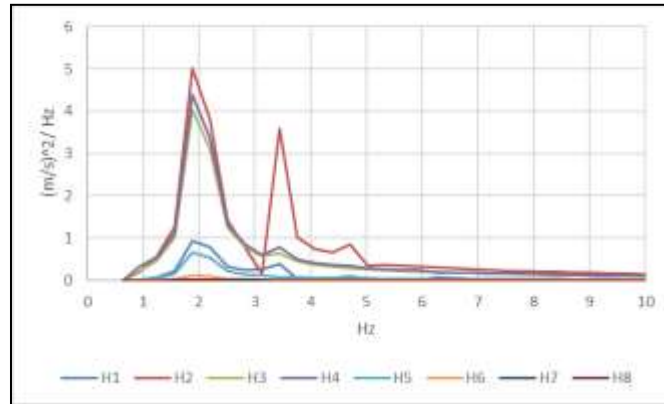


Figura 1233. Espectros de la Frecuencia de desprendimiento de vórtice con modelo Spalart

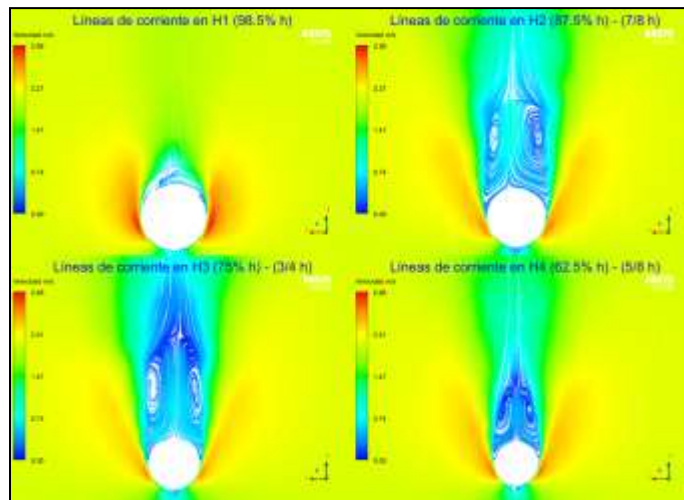


Figura 13. Líneas de corriente H1-H4 (Spalart)

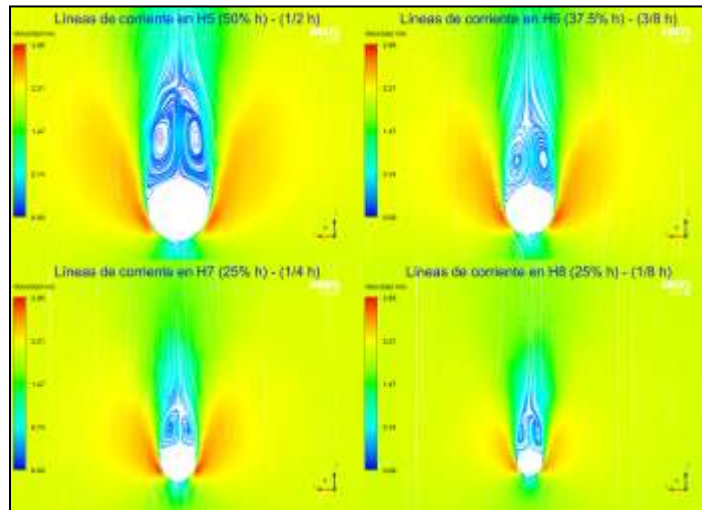


Figura 14. Líneas de corriente H5-H8 (Spalart)

Estudio Fluido-Estructura de un aerogenerador en 3D

Como se mencionó en el apartado de metodología, para obtener los desplazamientos ocasionados por el viento sobre la estructura de los aerogeneradores, se usaron los perfiles de presión total generados de la simulación en 3D laminar con la velocidad de 2 m/s, esto generó desplazamientos máximos en la zona más alta de la estructura, como se observa en la Figura 15.

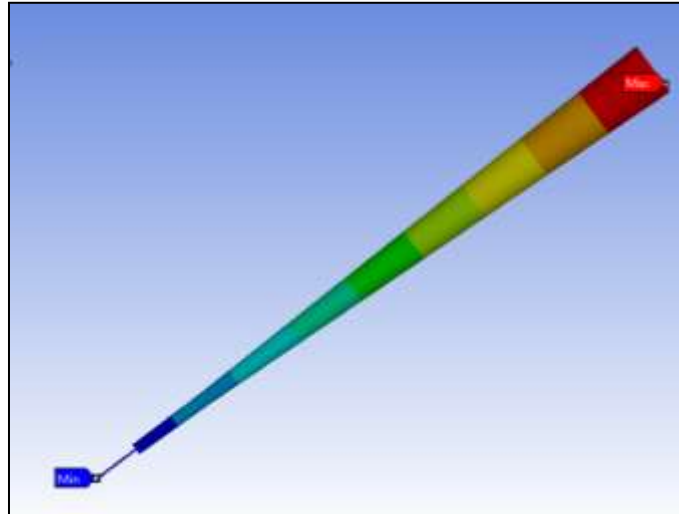


Figura 15. Gráfico de desplazamientos Fluido-Estructura

En la Figura 15 se observa que tales desplazamientos oscilan entre -3.2 y 3.4 mm respecto al origen del aerogenerador en el eje paralelo a la dirección del flujo.

La frecuencia de desplazamientos en la simulación de FEM es de 3.125 Hz, Figura 16, la cual representa el 90% de la frecuencia de desprendimiento de vórtice de la simulación de CFD (3.5 Hz).

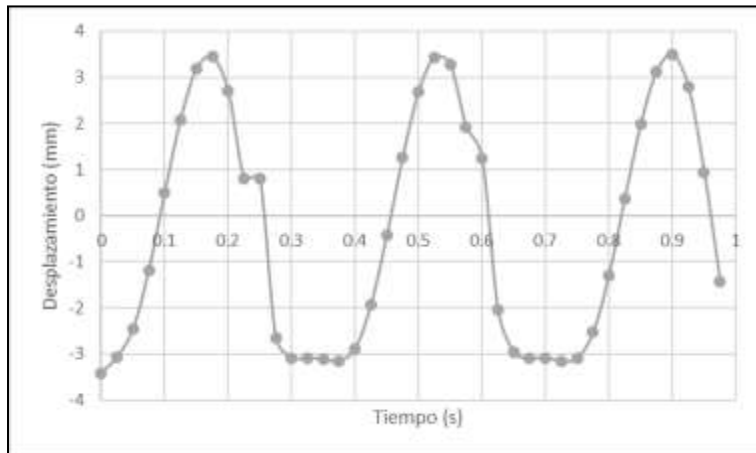


Figura 16. Desplazamiento de aerogenerador en simulación FEM

CONCLUSIONES

De la simulación modal se tiene que la primera frecuencia natural del aerogenerador es de 5 Hz y para que la estructura entre en resonancia es necesario tener la velocidad de viento adecuada para generar el desprendimiento de vórtices a esta frecuencia. La velocidad calculada analíticamente para generar una frecuencia de desprendimiento de 5 Hz en este aerogenerador es de 1.25 m/s, mientras que la velocidad calculada para alcanzar la segunda frecuencia natural 8 Hz es de 2 m/s.

Puesto que ambas frecuencias se encuentran cercanas a la frecuencia de resonancia en la simulación 3D de un aerogenerador se optó por utilizar la velocidad de 2 m/s sin embargo, en las simulaciones sin modelo de turbulencia se presentó una frecuencia de 3.5 Hz que corresponde al 60% de la frecuencia obtenida en la simulación 2d y al 70% de la primera frecuencia natural del sistema. Por otra parte, las simulaciones CFD con modelo de turbulencia presentan dos frecuencias de desprendimiento por cada altura monitoreada, que representan el 38 y 70% de la primera frecuencia natural, teniendo mayor amplitud la frecuencia más cercana a cero.

De las simulaciones fluido estructura de un aerogenerador se encontró una diferencia del 10% entre la frecuencia de desprendimiento de vórtice y la frecuencia de oscilación de la estructura, se espera que al aumentar la velocidad del fluido en la simulación CFD 3D la frecuencia aumente y al encontrarse cercana a la frecuencia natural los desplazamientos se amplifiquen.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abasolo, M., Aguirrebeitia, J., Coria, I., & Heras, I. (2017). Guía práctica de Elementos Finitos en estática. Madrid: Ediciones Paraninfo.
2. Achenbach, E. (1974). Vortex shedding from spheres. *Journal of Fluid Mechanics*, 209-221.
3. Alam, M., & Meyer, J. (2011). Two interacting cylinders in cross flow. *Physical Review E* 84, 056304 (2011), 056304-16.
4. Bearman, P. (1969).
5. On vortex shedding from a circular cylinder in the critical Reynolds number régime. *Journal of Fluid Mechanics*, 577-585.
6. Bhatt, R., & Alam, M. (2018). Vibrations of a square cylinder submerged in a wake. *Fluid Mech.* 853, 301-332.
7. Bilbao, P. A. (2013). Dimensionamiento óptimo de sistemas de almacenamiento para centrales eólicas. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas.
8. Cajas, J. (2016). SHAPE Project Vortex Bladeless: Parallel multi-code coupling for Fluid-Structure Interaction in Wind Energy Generation. Partnership for Advanced Computing in Europe.
9. Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill Interamericana.
10. Chizfahm, A. (2018). Dynamic modeling of vortex induced vibration wind turbines. *Renewable Energy* 121, 632-643.
11. Cubo Pérez, J. M. (2010). Aplicación del "análisis por elementos finitos" en la Ingeniería Naval. Cádiz: Universidad de Cádiz.
12. Derakhshandeh, J., & Alam, M. (2019). A review of bluff body wakes. *Ocean Engineering* 182, 475-488.
13. Giancoli, & Giancoli, C. (2006). *Física. Principios con aplicaciones*. España: Progreso.
14. Hibbeler, R. (2006). *Mecánica de materiales (sexta ed.)*. México: Pearson Educación de México.
15. Hidalgo, M. Á. (2007). Nuevo concepto de generación eólica. *Tecnología y desarrollo. Revista de ciencia, tecnología y medio ambiente*, 1-18.
16. Holmes, J. D. (2015). *Wind Loading of Structures*. Australia: Taylor & Francis Group.
17. K.Lam. (1995). The effect of interference of four equispaced cylinders in cross flow on pressure and force coefficients. *Journal of Fluids and Structures*, 195-214.
18. K.Lam. (2003). Force coefficients and Strouhal numbers of four cylinders in cross flow. *Journal of Fluids and Structures* 18, 305-324.
19. Kahil, Y. (2019). Simulation of subcritical-Reynolds-number flow around four cylinders in square arrangement configuration using LES. *European Journal of Mechanics / B Fluids*, 111-122.
20. Kumar, M. (2014). Simulation of vortex shedding from groups of three. Kurukshetra, Haryana: Department of mechanical engineering.
21. Kundu, R. K., & Cohen, I. M. (2002). *Fluid Mechanics*. USA: Elsevier Science.

22. Kusiak, A., & Song, Z. (2010). Design of wind farm layout for maximum wind energy capture. *Renewable Energy*, 685-694.
23. Lee, S.-W., Jung, H.-J., & Jang, D.-D. (2009). Feasibility study on a new energy harvesting electromagnetic device using aerodynamic instability. *Magnetics, IEEE Transactions*, 4376-4379.
24. Lin, Z. (2008). Large-eddy simulation of flow around cylinder arrays at a subcritical reynolds number. *Journal of Hydrodynamics* 20, 403-413.
25. López, O. (2002). Modelamiento computacional de la calle de vortices de Karman por dinámica de vorticidad. *Mecánica Computacional Vol.XXI*, 274-292.
26. Martínez Piquer, T. (1988). Medida de velocidad por desprendimiento de vortices. Aportación a la medida de caudales máxicos. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
27. MirHassani, S., & Yarahmadi, A. (2017). Wind farm layout optimization under uncertainty. *Renewable Energy*, 288-297.
28. Munson, B., Young, D., & Okiishi, T. (1990). *Fundamentals of*. New York.
29. Parada, L., Herrera, C., Flores, P., & Parada, V. (2017). Wind farm layout optimization using a Gaussian-based wake model. *Renewable Energy*, 531-541.
30. Paz, M. (2002). *Dinámica estructural*. Barcelona: Editorial Reverté.
31. Qin, B., Alam, M., & Zhou, Y. (2019). Two tandem cylinders of different diameters in cross-flow: flow-induced vibration. *Fluid Mech* 829., 621-658.
32. RAO, S. (2012). *Vibraciones mecánicas*. México: Pearson.
33. Roache, J. (1998). *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics*. Albuquerque, Nuevo Mexico: Hermosa.
34. Rodríguez Pestaña, C. (2015). Simulación Numérica de la Estela tras un Cuerpo de Base Roma a Números de Reynolds Altos: La Influencia de los Modelos de Turbulencia. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
35. Salinas Vázquez, M. e. (2007). Simulación de la turbulencia de un flujo que pasa alrededor de un cilindro de. *Revista Mexicana De Física*, 461-469.
36. Soto Valle, R. A. (2016). *Conversión de energía eólica mediante vibraciones inducidas*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas.
37. Tokoro, S., Komatsu, H., Nakasu, M., Mizuguchi, K., & Kasuga, A. (1999). study on wakegalloping for stay cables of extradosed bridges employing full aeroelastic cable model. *Proceedings of Wind Engineering into the 21st Century*, 1055-1062.
38. Villarreal, Y. (2016). United States Patent No. US 9.444,372 B2.
39. Vortex Bladeless. (s.f.). Obtenido de <https://vortexbladeless.com>
40. Yáñez Villareal, D. (07 de Junio de 2018). Vortex Bladeless. Obtenido de <https://vortexbladeless.com/es/>
41. Zahari, M., & Dol, S. (2015). Effects of different sizes of cylinder diameter on vortex-induced. *Journal of Applied Sciences*, 15(5):783.

CREACIÓN DE MODELO DE NEGOCIO INNOVADOR BASADO EN ECONOMÍA CIRCULAR. CASO DE ESTUDIO: RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTIZ GUANAJUATENSE.

María de la Lluvia Castillo Vera, Diana Mayte Rivera Blancarte, Luz Elena Arrieta Valdivia, David Aarón Rodríguez Alejandro, José Roberto Razo Hernández

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato
Castillo_lluvia@yahoo.com.mx

RESUMEN

Los residuos industriales comenzaron a tener un papel importante a partir de la revolución industrial. La industria del plástico y del hule en México ha crecido en los últimos años. Para diciembre del 2019 presentó un incremento significativo, llegando a alcanzar un Indicador Mensual de Actividad de 120.4 (considerando como índice base 2013=100), de acuerdo con datos del INEGI, dicho instituto señala también una existencia total de 436,851 unidades económicas dedicadas a la manufactura. A lo cual se estima que la generación de residuos industriales peligrosos en México alcanza la cifra de 8 millones de toneladas al año, de las cuales, sólo 26% recibe un manejo adecuado. En el 2016 el sitio Plastics Technology México publicó una nota en la que hacía alusión al crecimiento de la industria del plástico en Guanajuato, en ella, se menciona cómo dicha industria registró un crecimiento por encima del 50% del 2013 al 2016. La problemática de los desechos plásticos en la región puede ser aminorada con la economía circular (EC), que tiene como objetivo preservar el medio ambiente contemplando también la prosperidad económica, siendo una alternativa a la economía lineal. Para la implementación de la EC, se plantea un modelo de negocios de innovación abierta para el aprovechamiento de los residuos plásticos policarbonato / acrilonitrilo-butadieno-estireno y el elastómero de poliéster termoplástico de la empresa ELAY, ubicada en Celaya Gto., utilizando el modelo CANVAS y proponiendo un modelo de valuación rápida de viabilidad para fabricación de productos en una EC, tomando como referencia el modelo Vega-González y Rivera-Velasco (2016) y elementos de la metodología del Design Thinking y la cadena de valor. El modelo CANVAS se llevó a cabo para evaluar en dónde se podría reinsertar el plástico de desecho como recurso, encontrando que el segmento de clientes para el plástico de desecho correspondería a empresas dedicadas a la manufactura de artículos como mangueras industriales, bandas, entre otros. Por su parte, el modelo de valuación permitió, mediante la aplicación de una serie de filtros, identificar qué productos resultan más convenientes para su fabricación con el plástico de desecho, hallando conveniente el uso del plástico de desecho para fabricar escritorios o mesabancos escolares. Se obtuvo que la identificación de alternativas de uso para los residuos plásticos permite revalorizarlos, evitando que se vuelvan desechos contaminantes y ayudando a que se conviertan en nuevos recursos, lo que resulta en un beneficio ambiental y económico para el entorno. Durante el desarrollo del presente trabajo se formalizó una nueva unidad de negocio basada en economía circular con modelo tradicional de tratamiento de residuos y redireccionamiento, con una inversión aproximada de \$350,000.00 en las máquinas de molienda, y con apertura en diciembre 2019.

INTRODUCCIÓN

La contaminación es un tópico cada día más preocupante y urgente. El ritmo de consumo es cada vez más acelerado, por lo que la velocidad de producción también, y por consecuencia, la tasa de desechos generados por las industrias aumenta rápidamente.

Entre uno de los contaminantes más problemáticos se encuentra el plástico. El plástico se ha convertido en parte esencial de la vida cotidiana, puede encontrarse en casi cualquier lugar o producto, se ha vuelto un material prácticamente indispensable para la vida como la conocemos. El crecimiento de esta industria ha sido tal que la producción pasó de 1.7 millones de toneladas en 1950 a 288 millones de toneladas en 2012, según reportes de Plastics Europe (Góngora Pérez, 2014)

El problema del incremento global en la producción de plásticos se ve acompañado de la poca atención al manejo y disposición de éstos como residuo. De acuerdo con los datos recopilados por Geyer, Jambeck, & Kara (2017) sobre la disposición de los residuos plásticos de 1980 a 2015, para

el 2015, solo el 9% de los plásticos producidos de mundialmente eran reciclados. El 12% eran incinerados y el 79% restante eran simplemente desechados en el entorno, donde generan daños al medio ambiente y riesgos a la salud pública.

No es de sorprender que en años recientes se ha insistido en reducir el consumo de productos de plásticos, en especial de aquellos de un solo uso, y pese a que es una medida necesaria y pertinente, cambiar las tendencias y el ritmo de consumo lleva tiempo y puede llegar a ser complicado. Además, existen industrias que aún no pueden prescindir de este material. Tal es el caso de la industria automotriz, en la que el uso de polímeros como el ABS (Acrilonitrilo-butadieno-estireno) o el TPE (Elastómero de poliéster termoplástico) es necesario, pues se utilizan para fabricar ciertas partes de los automóviles como parachoques, revestimientos interiores, entre otros. (Ramos Rivero, 2018)

Un ejemplo de lo anterior es Guanajuato, donde la llegada del sector automotriz ha generado un incremento notorio en la industria del plástico y hule, en la que el estado tuvo el mayor crecimiento a nivel nacional, registrando de 2013 a 2016 un crecimiento por encima del 50% (Plastics Technology México, 2016)

Por ello, como estrategia complementaria a la reducción de uso y consumo de productos plásticos, se deben proponer alternativas que permitan mitigar el daño ambiental del plástico. Una de ellas es la economía circular (EC), a diferencia de la economía lineal cuyo flujo de recursos se basa en tomar-transformar-desechar, la EC busca que el flujo de los recursos consista en extraer-transformar-distribuir-usar-recuperar (Castroviejo, 2016)

En Guanajuato existe una oportunidad de aprovechar los desechos de las empresas de la industria del plástico y el hule, revalorizando los residuos que éstas generan para que puedan ser comercializados y aprovechados en la creación de nuevos productos, obteniendo así un beneficio económico y ambiental.

Teniendo en consideración lo expuesto previamente, el presente artículo plantea una idea de negocio consistente en la molienda y comercialización del plástico desechado por una empresa proveedora de la industria automotriz ubicada en el municipio de Celaya, Guanajuato, el cual se presenta en un CANVAS, de igual manera se propone un novedoso concepto para medir y evaluar la viabilidad de fabricación de diferentes productos usando el plástico residual de dicha empresa como nueva materia prima a través de un redireccionamiento a nuevos mercados, esto ha permitido encontrar un producto idóneo para que este sea aprovechado.

METODOLOGÍA

El modelo de negocios CANVAS es una herramienta creada por Alexander Osterwalder e Yves Pigneur la cual se basa en la descripción del modelo de negocio a través de nueve bloques que reflejan la lógica que sigue una empresa para conseguir ingresos (AVANZA, 2017), cada bloque identifica una parte primordial de la empresa y responde preguntas esenciales sobre cómo se conforma o desempeña para ejecutar dicha actividad primordial (Figura 1)

<p>SOCIOS CLAVE</p> <p>El principal proveedor es la empresa CELAY S.A. de C.V. del Grupo Elay u otras fabricantes de partes plásticas para el sector automotriz en Guanajuato.</p>	<p>ACTIVIDADES CLAVE</p> <p>Molienda y comercialización de polímeros residuales (ABS y TPE)</p>	<p>PROPUESTA DE VALOR</p> <p>Se entrega a los clientes plástico ABS y TPE de elevada calidad, recuperado de una empresa que cumple con los estándares para proveer a la industria automotriz de la región.</p>	<p>RELACIONES CON CLIENTES</p> <p>Emails, redes sociales, página web, directorio electrónico</p>	<p>SEGMENTOS DE CLIENTES</p> <p>Empresas dedicadas a la manufactura de artículos como sellos de seguridad, bandas y mangueras industriales, baleros, retenes, entre otros, además se propone el uso de este plástico a fabricantes de mesabancos y escritorios</p>
<p>RECURSOS CLAVE</p> <p>ABS (Acrilonitrilo-butadieno-estireno) o el TPE (Elastómero de poliéster termoplástico)</p>			<p>CANALES</p> <p>Offline: Punto de venta en instalaciones. Servicio a domicilio. Online: Página web.</p>	
<p>ESTRUCTURA DE COSTOS</p> <p>Costos de recolección, descuentos por alianzas estratégicas. Inversión en molinos de plástico. Costos por ejecución de actividades clave.</p>			<p>FUENTE DE INGRESOS</p> <p>Pago por venta del producto de acuerdo con la cantidad y tipo de polímero que el cliente solicite. Precio competitivo.</p>	

Figura 1. Ejemplificación del Modelo CANVAS aplicado al caso de estudio.

El uso del modelo CANVAS permite conocer los aspectos esenciales de cómo funciona la empresa planteada en el caso de estudio, sin embargo, no cumple la función de identificar cómo el plástico de desecho puede ser revalorizado y reintegrado a una nueva industria como recurso. Al no contar con un modelo que permitiera responder esas cuestiones, se propone un Método para la evaluación de viabilidad (MEV) para productos de economía circular (Figura 2)

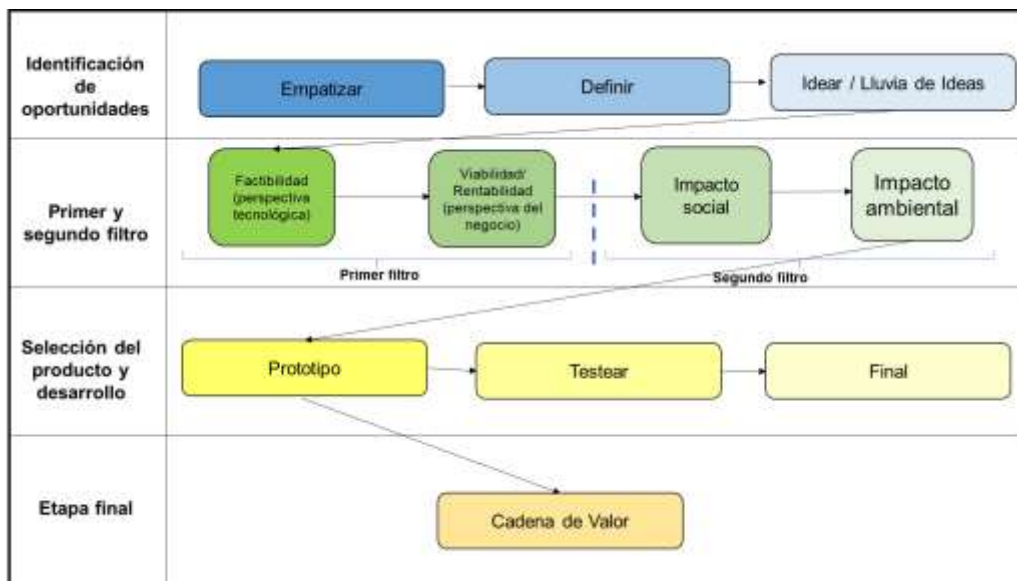


Figura 2. Método para la evaluación de viabilidad para productos de economía circular (MEV).

Este nuevo método toma como referencia el diseño propuesto por Vega-González y Rivera-Velasco en 2016 en su Metodología para la valuación rápida de tecnología con ingresos restringidos, la cual se divide en diferentes etapas y propone el uso de una matriz para valorar tecnología con base en sus aplicaciones comerciales. Además, integra metodologías y herramientas como lluvia de ideas, el Design Thinking (DT) y la cadena de valor para su constitución.

El modelo consta de cuatro etapas. La primera etapa se basa en los primeros 3 pasos de la metodología de Design Thinking explicados por Hasso Plattner. De la primera etapa: el paso 1 de se refiere a observar el entorno e identificar las necesidades, el paso 2 habla sobre definir el problema a resolver y el paso 3 integra además la metodología de lluvia de ideas.

En la etapa 2 se realiza el primer y segundo filtrado de productos. Una vez que se cuenta con las necesidades identificadas en los usuarios, la definición del problema y las ideas de propuestas de productos para solucionarlo se realiza el primer filtro, el cual se compone por los 3 aspectos de importancia de DT para la innovación en negocios citados de Chasanidou, Gasparini, & Lee (2015). De la segunda etapa: el paso 1 evalúa la factibilidad vista desde la perspectiva científica. Para evaluar este indicador se realizó la investigación de la cantidad de patentes libres para cada artículo sugerido, infiriendo que el disponer de patentes de diseño libres aumenta la factibilidad técnica de la elaboración de estos productos, ya que no se requiere de realizar nueva inversión para el diseño del producto.

El segundo paso se refiere a la viabilidad para el negocio, o bien, la rentabilidad que se puede obtener de los productos. Este aspecto se evalúa con 3 indicadores:

- El precio promedio (calculado obteniendo el promedio de precios mostrados en plataformas de comercio electrónico).
- La oferta de productos en plataformas de comercio electrónico. Este indicador es considerado de relevancia debido a que brinda una noción de los agentes comercializadores de los productos fabricados.
- Cantidad de unidades económicas en el estado se dedican la fabricación de los productos en cuestión o productos similares. (Recuperado de la base de datos SAIC del INEGI, brinda una noción del tamaño del mercado).

Ya que se tengan filtrados los productos que obtengan los más altos puntajes en esos aspectos se procede a los siguientes dos pasos de la etapa, es decir, el segundo filtro.

El paso 3 es relativo al impacto social del producto. Este se calcula con un indicador de a cuántas personas se puede llegar a impactar de manera positiva o beneficiar con la fabricación del producto en cuestión. Finalmente, el paso 4 hace referencia al impacto ambiental, el cual es calculado investigando y evaluando el ciclo de vida de los productos en cuestión.

La aplicación de la metodología puede limitarse a la segunda etapa, como se hace en el caso de estudio del presente proyecto, sin embargo, también puede continuar con otras dos etapas que complementan su aplicación.

Para obtener los puntajes, todos estos indicadores deben ser ajustados a una escala para poder realizar el proceso de filtrado inicial de los productos. Se recomienda tomar como referencia el Manual práctico de elaboración de escalas tipo Licker de Maldonado (2007).

Una vez que se ha obtenido el filtrado de artículos que presentan mayor margen de valor, en la etapa 3 se retoman los pasos 4 y 5 de la metodología de DT de Hasso Plattner, correspondientes al desarrollo de prototipos y a testear (comprobar) la aprobación que estos puedan tener con el mercado meta. Finalmente, los productos que presenten mayor aprobación llegarán a la fase final de fabricación.

La etapa 4 sugiere la aplicación de la cadena de valor, esta nos permitirá identificar qué actividades ofrecen el mayor margen de ganancia o ventaja competitiva. Para llevarla a cabo se debe contar con datos como los costos que implicarían la fabricación de los productos por conceptos como logística de entrada, operaciones, logística de salida, marketing y ventas, servicio post-venta, así como el costo que implicarían las actividades complementarias como la infraestructura de la empresa, la gestión de RH, el desarrollo de tecnologías y compras.

PARTE EXPERIMENTAL

La aplicación del modelo de negocios CANVAS consistió en responder las preguntas planteadas en el mismo, por su parte, la aplicación del Método para la evaluación de viabilidad para productos de economía circular se explica de manera detallada a continuación. Etapa 1, Paso 1: Empatizar. Este paso se realizó primero con observación, se observó que, en el entorno local como se explica anteriormente, existe la presencia de empresas que fabrican partes plásticas, por lo que tienen desechos de grandes cantidades de este tipo. Al conocer esta situación, así como el deseo de algunos miembros de la iniciativa privada a aprovechar estos recursos en un intento de beneficiar al ambiente, pero también generar utilidad.

Paso 2: Definir: Se concluyó que el problema a resolver era encontrar alternativas de negocio viables para la inversión de la IP tomando en cuenta las consideraciones previamente mencionadas.

Paso 3: Idear. Se llevó a cabo una lluvia de ideas obteniendo primero 60 productos, los cuales fueron reducidos a 20 tras una consulta con un experto del tema.

Para la etapa 2 se requiere de realizar investigación en fuentes electrónicas, sitios de compra y algunas bases de datos como se explica a continuación.

Paso 4: Primer filtro. Factibilidad (perspectiva tecnológica). Se realizó una investigación de las patentes liberadas de los productos seleccionados.

Paso 5. Primer filtro. Rentabilidad (perspectiva del negocio). Se consideraron 3 indicadores precio promedio, oferta en plataformas digitales y unidades económicas dedicadas a la fabricación de ese producto o similares (con base en las registradas en la base de datos SAIC INEGI).

Tabla 1. Resultados obtenidos de los pasos 1 y 2 de la segunda etapa previo a la aplicación de la escala.

Nombre comercial	RENTABILIDAD			
	PRECIO PROMEDIO	OFERTA (Resultados)	SAIC (PLÁSTICOS)	SAIC (OTROS)
Protectores de puertas y ventanas	\$142	344	28	4 (tubos y postes de acero)
Bases de cama	\$2,296	20	28	1094
Organizador de zapatos	\$125	200	28	47
Sillones	\$252	576	28	1094
Complementos de inodoro	\$56	104	72	N/A
Carcasa de laptop	\$345	345	0	0
Barras de cocina	\$402	166	5 (laminados)	156 (cocinas integrales)
Puertas	-	0	5 (laminados)	5 (industria básica del aluminio)
Ventiladores	\$716	2,597	5 (laminados)	16 (moldeo fundición hierro y no ferrosas)
Drones	\$155	741	5 (laminados)	16 (moldeo fundición hierro y no ferrosas)
Prótesis	\$2,009	2	4 (tubos y laminados)	N/A
Maletas de viaje	\$854	320	0	0
Respiradores (mascarilla)	\$442	104	0	0
Equipo de oficina (escritorios)	-	0	4 (tubos y laminados)	47
Cabinas	\$140	470	5 (laminados)	5 (industria básica del aluminio)
Estantes	\$236	2,576	4 (tubos y laminados)	47 (muebles y estantería)
Techos montables	-	0	4 (tubos y laminados)	4 (tubos y postes de acero)
Ferulas	\$214	100	0	0
Detector de metales	\$2,278	61	0	0
Carpetas de alta duración.	\$1,400	5	0	0

Para crear la escala se analizaron los valores obtenidos máximos y mínimos. Con la finalidad de crear 5 intervalos que pudieran corresponder a una escala del 1 al 5, el valor máximo fue dividido entre 5 obteniendo la escala que se observa en la Tabla 6.

Tabla 2. Escala para realizar el primer filtro.

Comportamiento	Indicador	Valores	Intervalos	Valor
Factibilidad	Número de patentes liberadas	Mínimo: 0	0-289	1
		Máximo: 1448	290-579	2
			570-869	3
			870-1159	4
			1160-1449	5
Rentabilidad	Precio promedio	Mínimo: 0	0-455	1
		Máximo: 2278	456-911	2
			912-1367	3
			1378-1833	4
			1834-2289	5
	Cantidad de productos ofertados	Mínimo: 0	0-519	1
		Máximo: 2597	520-1039	2
			1040-1559	3
			1560-2079	4
			2080-2599	5
	Empresas del sector en SAIC	Mínimo: 0	0-14	1
		Máximo: 72	15-29	2
			30-44	3
		45-59	4	
		60-74	5	

Se aplica la escala y se realiza una sumatoria para obtener los 5 productos que pasen el primer filtro.

Tabla 3. Resultados del primer filtro.

Nombre comercial	FACTIBILIDAD		RENTABILIDAD			SUMATORIA
	PATENTES LIBRES ABS	PATENTES LIBRES TPE	PRECIO PROMEDIO	OFERTA	SAIC (PLÁSTICOS)	
Protectores de puertas y ventanas	1	4	1	1	2	9
Bases de cama	1	1	1	1	2	6
Organizador de zapatos	1	1	1	1	2	6
Sillones	1	1	1	2	2	7
Complementos de inodoro	1	1	1	1	5	9
Carcasa de laptop	1	1	1	1	0	4
Barras de cocina	1	1	1	1	1	5
Puertas	2	4	1	1	1	9
Ventiladores	1	5	2	5	1	14
Drones	1	1	1	2	1	6
Prótesis	1	2	5	1	1	10
Maletas de viaje	1	3	2	1	1	8
Respiradores (mascarilla)	1	5	1	1	1	9
Equipo de oficina (escritorios)	5	5	1	1	1	13
Cabinas	1	3	1	1	1	7
Estantes	1	5	1	5	1	13
Techos montables	1	2	1	1	1	6
Ferulas	1	1	1	1	1	5
Detector de metales	1	5	5	1	1	13
Carpetas de alta duración.	1	5	4	1	1	12

El segundo filtro de la segunda etapa (Paso 6) considera el impacto social del artículo. El impacto social es difícil de calcular considerando que debe atribuirse a los usuarios finales que se ven beneficiados del producto, sin embargo, este es un dato difícil de conocer, por ello, se determinó que los valores para este rubro se basarían en la cantidad de unidades económicas que se dedican a la

venta de productos en la región, es decir, la cantidad de empresas que funcionan como vínculo entre el fabricante y el usuario final, asumiendo que mientras más empresas dedicadas a la venta de ese artículo existen, mayor es el alcance a usuarios finales.

Nota: Para el caso de escritorios se consideraron las escuelas que podrían ser posibles usuarios finales.

Tabla 4. Empresas comercializadoras de productos.

Ventiladores	14
Equipo de oficina (escritorios)	2621
Estantes	225
Detector de metales	155
Carpetas de alta duración.	2,686

Tabla 5. Escala para la evaluación de impacto social.

Comportamiento	Indicador	Valores	Intervalos	Peso
Impacto social	Número de usuarios potenciales del producto en la región (escuelas o empresas)		0-537	1
		Mínimo: 0	538-1075	2
		Máximo:	1076-1613	3
			1614-2151	4
			2152-2689	5

Tabla 6. Aplicación de la escala de impacto social.

Ventiladores	1
Escritorios	5
Estantes	1
Detector de metales	1
Carpetas de alta duración.	5

Como se puede observar, los artículos de mayor impacto social son los escritorios y las carpetas de alta duración.

Para el aspecto de impacto ambiental (paso 7) se debe considerar el ciclo de vida de los artículos. Para evaluar el impacto ambiental se consideraron los aspectos que constituyen un ciclo de vida de acuerdo con la revista Expansión (2019) con lo que se pudo generar la escala correspondiente.

Tabla 7. Escala para la evaluación de impacto ambiental.

Impacto ambiental	Indicador	Descripción	Escala	
			Nivel	Peso
Impacto ambiental	A) Extracción de materias primas	Impacto de extraer materias primas del medio ambiente	Bajo	5
			Medio	3
			Alto	1
	B) Procesamiento de las materias primas	Impacto del tratamiento de la materia prima para realizar procesos de polimerización	Bajo	5
			Medio	3
			Alto	1
	C) Transporte de productos	Eficiencia de sistemas logísticos y medios de transporte	Bajo	1
			Medio	3
			Alto	5
	D) Transformación de resinas	Impacto de los procesos de calentamiento y presión de las resinas para producir piezas	Bajo	5
			Medio	3
			Alto	1
	E) Uso de productos por el consumidor final	Aprovechamiento de los beneficios, eficiencia en las aplicaciones	Bajo	1
			Medio	3
			Alto	5
	F) Fin de vida	Se convierte en residuo y se otorga un tipo de tratamiento	Bajo	1
			Medio	3
			Alto	5
G) Vida útil del producto	Cantidad de años que se puede aprovechar el producto de manera funcional	Bajo	1	
		Medio	3	
		Alto	5	

La aplicación de la escala es fue realizada mediante una entrevista con un ingeniero ambiental, el cual mencionó que la mayoría de los productos presentarán ponderaciones similares al ser fabricados con el mismo material, el cual ha sido obtenido de la misma fuente (plástico de desecho de la industria Elay) siendo el principal factor diferenciados la vida útil que tendrán los productos. Arrojando los siguientes resultados.

Tabla 8. Aplicación de la escala de impacto ambiental.

	A	B	C	D	E	F	G	TOTAL
Ventiladores	1	3	3	3	3	3	3	19
Escritorios	1	3	3	3	5	5	5	25
Estantes	1	3	3	3	5	5	3	23
Detector de metales	1	3	3	3	5	3	3	21
Carpetas.	1	3	3	3	3	1	1	15

RESULTADOS

El Método para la evaluación de viabilidad para productos de economía circular permitió encontrar que los escritorios y mesabancos son un artículo viable para ser fabricado con el plástico que comercializará la empresa caso de estudio, pues pasan los filtros propuestos por el método, teniendo como ventaja que tendrán el menor impacto ambiental de todos los artículos propuestos, aspecto importante considerando que se trata de un modelo de economía circular.

Por su parte, gracias al Modelo CANVAS se identificaron cuatro elementos eje de la empresa de EC. Primero, ¿Qué?, es decir, la oferta con la propuesta de valor que se plantea es ofrecer un plástico ABS y TPE de muy alta calidad, pues la empresa de la que se recuperará dicho plástico cumple con los estándares para proveer a la industria automotriz de la región.

Cómo la empresa podrá realizar sus actividades, es decir, cuál será la infraestructura necesaria, las actividades y recursos clave para poder obtener nuestro producto. Claramente necesitaremos de nuestro principal proveedor, la empresa Elay. La actividad clave que desempeñará la empresa caso de estudio consiste en la molienda de residuos de ABS y TPE que reciba por parte de Elay, convirtiéndose estos en sus recursos clave.

Las personas interesadas en el producto de la empresa caso de estudio y que estén dispuestos a pagar por el son los clientes, se espera que sean empresas dedicadas a la manufactura de artículos como sellos de seguridad, bandas y mangueras industriales, baleros, retenes, entre otros, además se propone el uso de este plástico a fabricantes de mesabancos y escritorios, sustentado por el Método para la evaluación de viabilidad para productos de economía circular aplicado previamente. La estructura de costos implicaría los costos de recolección de los polímeros en cuestión. Estos se pueden obtener a una tarifa mínima debido a la alianza con la empresa proveedora, la cual se ahorrará los gastos de disponer correctamente de su plástico de desecho, a la vez que la empresa caso de estudio se beneficia obteniendo el recurso clave. La inversión más fuerte consiste en la compra de los molinos para tratar el plástico, consistiendo de de \$350,000.00 MXN. La ejecución de actividades requiere de costos como instalaciones, servicios y salarios.

La fuente de ingresos contempla el pago por venta del producto de acuerdo con la cantidad y tipo de polímero que se solicite, manteniendo un precio competitivo debido a que hablamos de un polímero que se ha obtenido como residuo.

CONCLUSIONES

Aplicado al entorno local, la realidad actual del estado representa un facilitador para el modelo de negocios que se plantea, pues como se ha mencionado previamente, el crecimiento en la industria de plásticos y hules, originado como consecuencia del crecimiento de la industria automotriz puede llegar a representar riesgos y amenazas, especialmente en el ámbito ambiental, sin embargo, genera también un sector de oportunidad, el cual consideramos no está siendo aprovechado en su máximo potencial.

La implementación de economía circular ofrece la oportunidad de agregar un valor a los residuos plásticos para darles una nueva vida. Los emprendedores deben de contemplar una responsabilidad ambiental para el desarrollo de sus proyectos, ya que las empresas pensadas con conciencia

ambiental ofrecen un valor agregado como marca y en sus productos, por ello la creación de empresas orientadas a la economía circular resulta necesaria considerando los retos ambientales a los que nos enfrentamos en la actualidad.

La integración de metodologías como el Design Thinking y el MEV al modelo CANVAS en forma de ciclo, sustentar y respaldar ideas de modelo de negocios de economía circular destacando las ventajas que presentan, pues se espera que este tipo de modelos de negocio representen un impacto positivo, influenciando de manera positiva en los aspectos económicos y ambientales. En el entorno económico, la implementación del modelo de negocios para el aprovechamiento de residuos implica la oportunidad de obtener utilidad económica y la posibilidad de generar empleos en el entorno. Por su parte el beneficio ambiental se verá reflejado en la reducción de riesgos generados por la incorrecta disposición del equipo, así como reducción de la contaminación originada por desechos plásticos no controlados en el entorno.

Por su parte, el diseño y aplicación del Método para la evaluación de viabilidad para productos de economía circular permite identificar artículos factibles para su fabricación con el tipo de plástico que se desee, lo que permite a las empresas de economía circular identificar posibles cliente (fabricantes de dichos artículos a los cuales ofertar el plástico recurso) o bien, plantear nuevos emprendimientos para la fabricación de dichos artículos aprovechando las ventajas de la economía circular y oportunidades de la zona donde se desee aplicar.

El caso de estudio fue validado y aplicado con los indicadores de la región bajo, en específico el sector automotriz, dentro del corredor Celaya – León, el cual corresponde al estado de Guanajuato, por lo que los resultados podrían variar dependiendo del lugar donde se aplique el método.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVANZA. (2017). Mi modelo de negocio: canvas y plan de empresa. Obtenido de https://emprendimientoymicrofinanzas.com/wp-content/uploads/2018/05/3_Mi_modelo_de_negocio_canvas_y_plan_de_empresa.pdf
2. Castroviejo, M. (2016). Economía circular: objetivo cero residuos. *Ambienta*. Obtenido de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM/PDF_AM_Ambienta_2016_117_completa.pdf
3. Chasanidou, D., Gasparini, A., & Lee, E. (2015). *Design Thinking Methods and Tools for Innovation*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/273319018_Design_Thinking_Methods_and_Tools_for_Innovation
4. Geyer, R., Jambeck, J., & Kara, L. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made*. Obtenido de <https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>
5. Góngora Pérez, J. P. (Septiembre-Octubre de 2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*, 64(5). Obtenido de http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf
6. INEGI. (2019). *Indicador mensual de la Actividad Industrial*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/imai/>
7. Plastics Technology México. (2016). *Crece la industria del plástico en Guanajuato*. Obtenido de pt-mexico.com: <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/crece-la-industria-del-plastico-en-guanajuato>
8. Programa Expertemprende. (2017). *Guía didáctica: Modelo CANVAS*. Obtenido de Región Emprendedora Europea: http://culturaemprededora.extremaduraempresarial.es/wp-content/uploads/2012/09/Guia-Did%C3%A1ctica_Modelo-Canvas-1.pdf
9. Ramos Rivero, V. L. (2018). Evolución del Uso de los Materiales Plásticos en la Industria Automotriz. *INNOVA Research Journal*, 3(12). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6828564.pdf>
10. SEMARNAT (2017) Residuos. México. SNIARN. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf

PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ DE ALUMINIO A356 REFORZADOS CON PARTÍCULAS DE SiC, PREPARADOS MEDIANTE ALEACIÓN MECÁNICA.

Ociel Rodríguez Pérez, Guillermina González Mancera, José Alejandro García Hinojosa, Francisco Javier Rodríguez Gómez y Sergio García Galán.

Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México, 04510.
ocirp@hotmail.com

RESUMEN

La aleación mecánica (AM) es una técnica importante para la preparación de materiales compuestos de matriz metálica (MMC). La AM sobre la ruta de fusión se considera una técnica prometedora y comercial porque garantiza una distribución homogénea de los elementos de aleación y de los materiales de refuerzo, sin los fenómenos de segregación típicos de los procesos de fundición o la aglomeración de las partículas de refuerzo submicrónicas. Los materiales compuestos de matriz de aluminio (AMCs) son materiales ideales para aplicaciones estructurales en la industria automotriz, aeroespacial, construcción naval y militar debido a su alta relación resistencia-peso, resistencia al desgaste, baja densidad, alta dureza y rigidez [1]. En este estudio, la aleación de aluminio A356 se reforzó con el 5, 10 y 15 % en peso de SiC (38 μm) para producir un material compuesto A356/SiC por aleación mecánica con el fin de modificar la dureza y resistencia al desgaste del material. El procedimiento experimental consistió en la mezcla de polvos de aluminio A356 como matriz y partículas de carburo de silicio (SiC) como refuerzo, utilizando un molino de bolas planetario de alta energía (Fritsch-P7). Las mezclas de polvos se molieron durante 10 h a 280 rpm en una atmósfera de argón. Los polvos molidos fueron prensados en frío uniaxialmente en matriz de acero cilíndrica a 400 MPa, la sinterización de las muestras se realizó a 500 °C durante 5 h bajo una atmósfera de argón. La microestructura de las muestras consolidadas se investigó mediante las técnicas de difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB). La densidad, porosidad y microdureza de las muestras consolidadas se investigaron en función del contenido de SiC. Se analizó la pérdida de masa con respecto al tiempo en un tribómetro universal PIN-ON-DISK siguiendo las características de la norma ASTM G99-05. Las imágenes de mapeo (EDX) revelan que las partículas de refuerzo de SiC se distribuyeron homogéneamente en la matriz de aluminio A356. La densidad teórica y final aumentaron al incrementar la fracción en peso de las partículas de SiC. Los ensayos de microdureza Vickers mostraron que al aumentar la cantidad de partículas de SiC el material se ve afectado positivamente obteniéndose un incremento en la dureza, el valor de dureza más alto es de 112 HV y se atribuye a la muestra que contiene 15 % en peso de SiC, en comparación al valor de dureza de la aleación A356 sin reforzar de 48 HV. La pérdida de masa por desgaste de las muestras consolidadas disminuyó al aumentar el contenido de SiC en la matriz de aluminio A356. El compuesto con el 15 % en peso de SiC mostró la mejor resistencia al desgaste debido al incremento de dureza y resistencia que le da la intercara partícula-matriz, exhibiendo una mejora del 57.7% en rendimiento con respecto a la aleación sin reforzar.

INTRODUCCIÓN

El aluminio y sus aleaciones se han reforzado con partículas cerámicas que los convierten en materiales compuestos de matriz metálica (MMC) para mejorar propiedades como el comportamiento al desgaste o la resistencia mecánica [2-4].

El aleado mecánico (AM) es una técnica en estado sólido para la fabricación de aleaciones nanocristalinas homogéneas y de materiales compuestos, que implica la repetida deformación de diferentes partículas, su fractura y la soldadura en frío continua entre estas partículas para finalmente formar polvo aleado [5]. Las principales aplicaciones del aleado mecánico incluye la fabricación de engranajes, rotores de bombas, materiales porosos como filtros metálicos, además de una amplia variedad de piezas en la industria automotriz, como tambores de freno, bielas y pistones hidráulicos. La aleación de aluminio A356 se ha elegido para este estudio debido a sus atractivas propiedades físicas y químicas, que incluyen baja densidad, moldeabilidad, buena soldabilidad, alta resistencia a

la corrosión, y buena ductilidad. Entre los materiales como refuerzo se ha elegido al carburo de silicio (SiC) debido a su bajo precio, alto punto de fusión (2300 °C), alta rigidez (480 GPa), buena estabilidad térmica, alta dureza (9.7 Mohs), además de que proporciona al compuesto alta resistencia y módulo elástico [6]. Sin embargo, hoy en día hay una cantidad muy limitada de trabajos de investigación relacionados con materiales compuestos de A356/SiC preparados por aleado mecánico, la mayor información proviene de materiales compuestos fabricados en estado líquido por fundición.

Es por este motivo que este estudio tiene como objetivo producir materiales compuestos A356/SiC con diferentes porcentajes en peso de partículas de carburo de silicio mediante la técnica de aleación mecánica, seguido de una compactación uniaxial y la sinterización del material, así como investigar la microestructura y propiedades mecánicas en el material compuesto en función del contenido de SiC.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental consistió en la mezcla de polvos de la aleación A356 y de partículas de SiC (5, 10 y 15% en peso) utilizando un molino planetario de bolas de alta energía (Fritsch-P7). Los polvos se molieron durante 10 horas a 280 rpm en atmósfera de argón, se usaron 2 ml de etanol como agente de control del proceso (ACP) para evitar el exceso de soldadura en frío durante la molienda de las partículas de polvo. El tamaño de las bolas de acero inoxidable utilizadas para la molienda fue de 10 mm de diámetro y la relación de bolas: polvos fue de 5:1.

Los polvos molidos se prensaron en frío uniaxialmente en una matriz de acero cilíndrica a 400 MPa para obtener muestras con 10 mm de diámetro y 5 mm de altura. Las piezas verdes se sinterizaron a 500 °C durante 5 h en una atmósfera de argón. Además, se produjo una aleación de aluminio A356 sin reforzar por la misma ruta para propósitos comparativos.

La microestructura de las muestras consolidadas se investigó por medio de difracción de rayos X (DRX) utilizando un difractómetro D2 PHASER (30 kV y 10 mA) con radiación Cu-K α ($\lambda=1.54184$ Å) y microscopía electrónica de barrido (MEB) JEOL JSM-5900LV (15kV) con un detector de energía dispersiva (EDX).

La densidad experimental (ρ_{EX}) de los compactos se determinó utilizando el método de Arquímedes, mientras que la densidad teórica (ρ_T) se evaluó mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_T = (wt_{A356} \cdot \rho_{A356}) + (wt_{SiC} \cdot \rho_{SiC}) \quad (1)$$

Donde, ρ_T = Densidad Teórica, wt_{A356} = fracción en peso de A356, ρ_{A356} = densidad de A356, wt_{SiC} = fracción en peso de SiC, y ρ_{SiC} = densidad de SiC.

El porcentaje de porosidad de los compuestos se determinó de acuerdo con (16) utilizando la siguiente relación:

$$\% \text{ porosidad} = \{(\rho_T - \rho_{EX}) / \rho_T\} \times 100 \% \quad (2)$$

Donde, ρ_{EX} = Densidad Experimental (g/cm^3), y ρ_T = Densidad Teórica (g/cm^3).

Para la medición de la microdureza Vickers se empleó el equipo (Shimadzu HMV Micro Hardness Tester, Japón) y se informó el valor promedio de 5 mediciones. Las pruebas de desgaste en seco se llevaron a cabo en un tribómetro universal PIN-ON-DISK de acuerdo con el método de prueba estándar ASTM G99-05. La pérdida de peso de las muestras se determinó con una balanza analítica de precisión en función del tiempo de la prueba con intervalos de 15 minutos.

RESULTADOS

La composición química de la aleación de aluminio A356 utilizada en este estudio se presenta en la Tabla 1. La morfología de los polvos de aleación de aluminio A356 y de las partículas reforzantes de SiC se muestra en la figura 1 (a, b). La morfología de los polvos A356 tienen una forma equiaxial y las partículas de SiC son generalmente de forma angular con bordes afilados. Las gráficas de distribución del tamaño de partícula para el polvo de la aleación A356 y del SiC se muestran en la figura 1 (c, d) respectivamente.

Tabla 1. Composición química de la aleación de aluminio A356 en % en peso.

Al	Si	Fe	Mg	Mn	Cu	Zn	Ti	Sr
Restante	7.26	0.36	0.31	0.012	0.01	0.02	0.013	0.0002

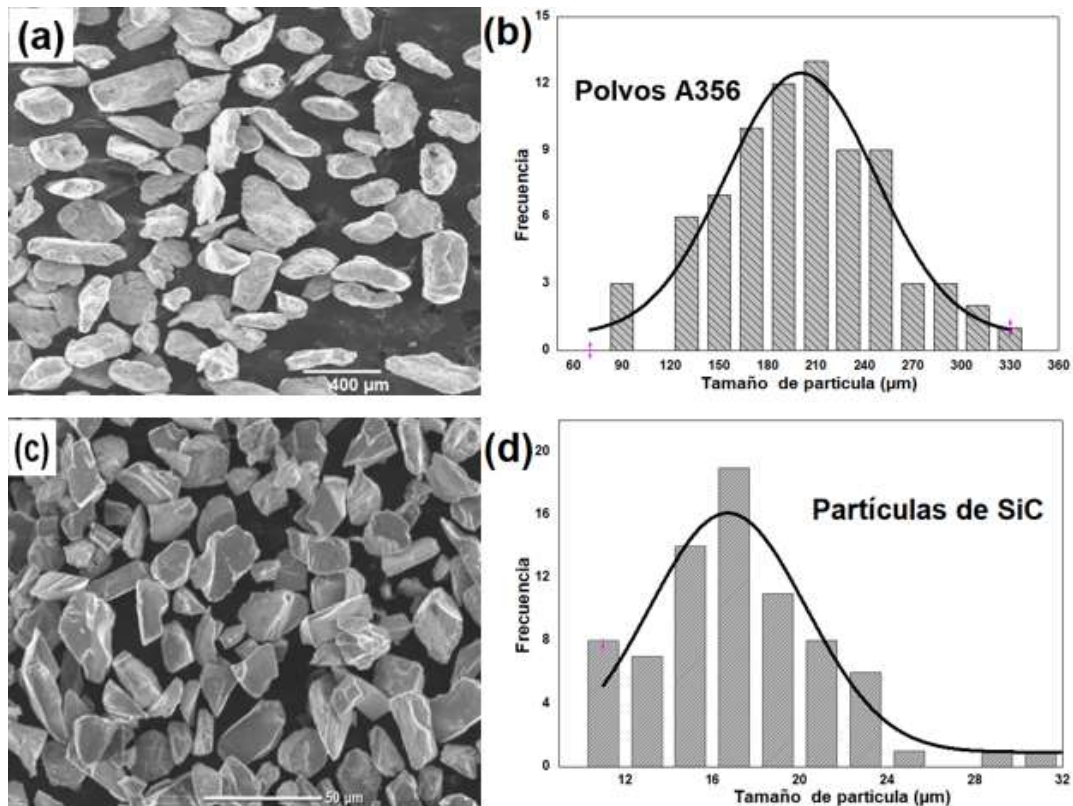


Figura 1. (a, b) Morfología y distribución del tamaño de los polvos de la aleación A356, (c, d) Morfología y distribución del tamaño de partícula de SiC.

La figura 2 (a-d) presenta micrografías por electrones retrodispersados de las muestras consolidadas que contienen 0, 5, 10 y 15% en peso de SiC. En la microestructura se muestra la presencia de porosidad asociada como resultado del prensado en frío y de la temperatura de sinterización. Además, muestra que al incrementar la cantidad de SiC se produce la presencia de grano más fino en las muestras [7]. La dureza del SiC ha impedido el crecimiento de grano en la etapa de sinterización, lo que lleva a una reducción en el tamaño del grano y por lo tanto una mejora en la dureza de las muestras consolidadas. La reducción en el tamaño de grano maximiza el número de límites de grano, lo que mejora las propiedades mecánicas [8].

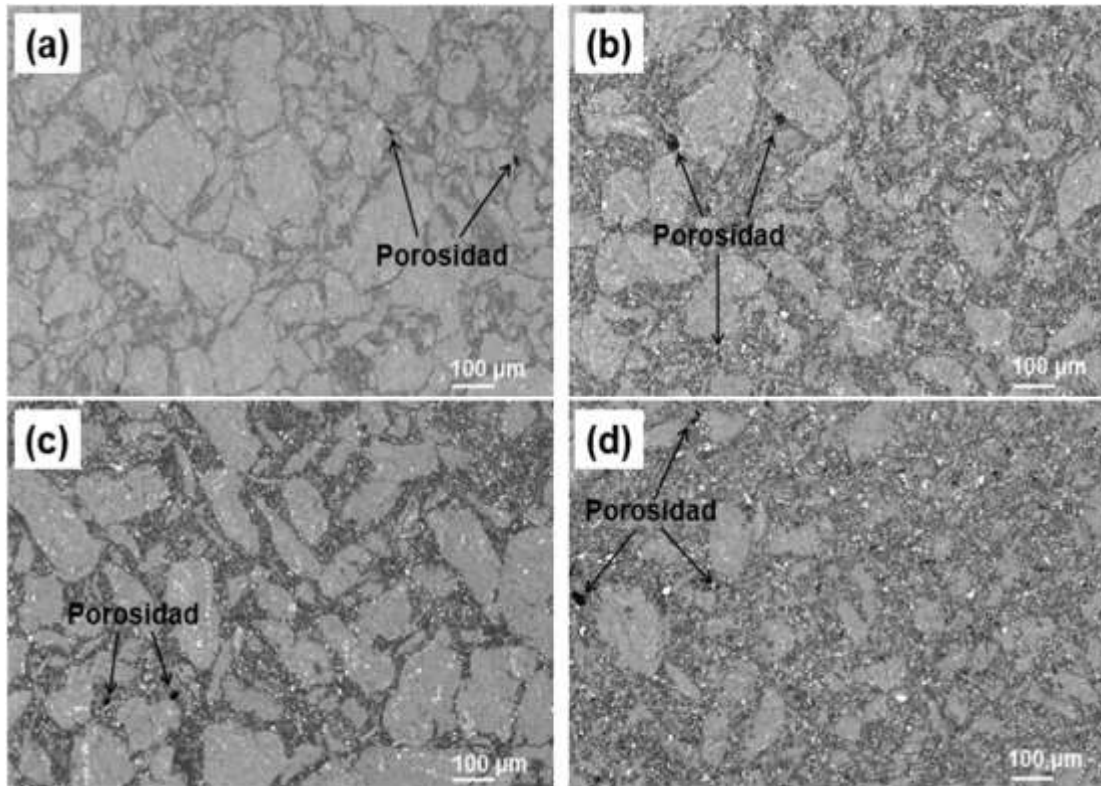


Figura 2. Micrografías MEB de las muestras consolidadas en función al contenido del SiC: (a) 0 % peso SiC, (b) 5 % peso SiC, (c) 10 % peso SiC, y (d) 15 % peso SiC.

La figura 3 representa la microestructura y el correspondiente mapa de composición para el material compuesto que contiene el 15% en peso de SiC. La distribución elemental de los elementos Al, Si, C se puede observar como puntos en estos mapas. El estudio revela la distribución homogénea de partículas de SiC en la matriz A356. Es importante obtener una distribución homogénea de las partículas de SiC en la matriz de aluminio para mejorar propiedades como la dureza y el comportamiento al desgaste de los materiales compuestos.

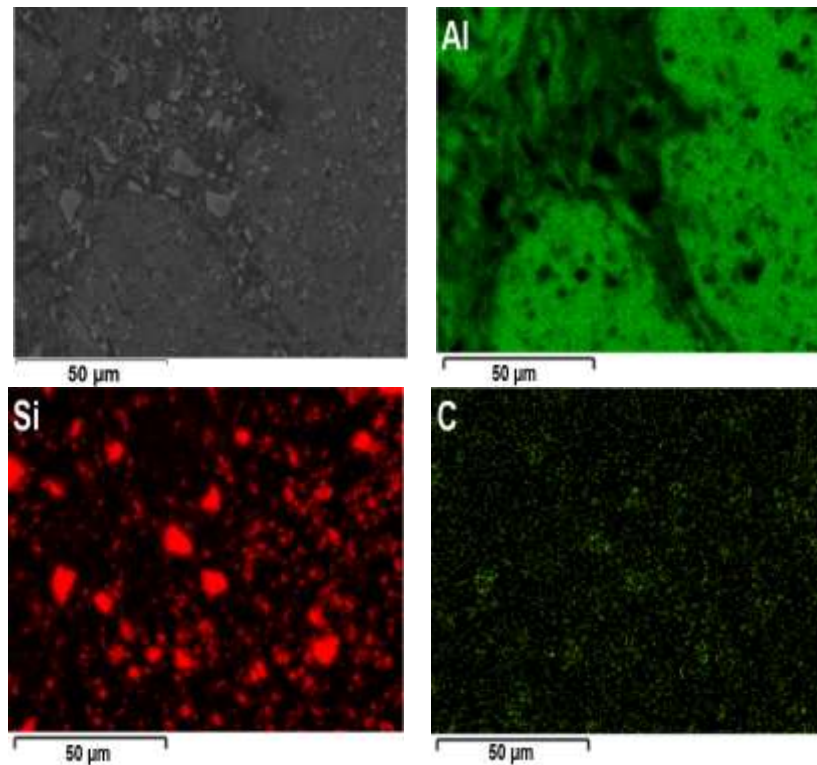


Figura 3. Micrografía (MEB y EDX) del material compuesto con el 15% en peso de SiC.

La Tabla 2 muestra la variación de densidad y porosidad de las muestras consolidadas en función del contenido de SiC. Se observa que, al aumentar el porcentaje en peso de partículas de SiC en la matriz de aluminio A356, la densidad teórica y experimental aumentan gradualmente como se esperaba a través de su cálculo por la regla de las mezclas. De los datos obtenidos de la tabla 2 se aprecia que la densidad experimental presentó valores más bajos que la densidad teórica debido a la porosidad que presentan las muestras. La porosidad en las muestras aumento debido al incremento en el porcentaje en peso de partículas de SiC. La mayor porosidad se encuentra en el material compuesto que contiene el 15% en peso de partículas de SiC. Una observación similar fue reportada por Sajjad Arif y colaboradores [9] sobre el aumento en la porosidad al incrementar el porcentaje de refuerzo en la síntesis de un compuesto de Al/SiC/ZrO₂.

Tabla 2. Densidad y porosidad de las muestras consolidadas en función del contenido de SiC.

Muestra	Densidad teórica (g/cm ³)	Densidad experimental (g/cm ³)	Porosidad (%)
A356-0 wt.% SiC	2.686	2.605 ± 0.04	3.02
A356-5 wt.% SiC	2.7127	2.619 ± 0.04	3.45
A356-10 wt.% SiC	2.7394	2.625 ± 0.04	4.18
A356-15 wt.% SiC	2.7661	2.636 ± 0.05	4.70

La figura 4 muestra los valores promedio de microdureza de las muestras consolidadas en función del contenido de SiC. Se puede apreciar a través de este grafico que la microdureza mejora al aumentar el porcentaje en peso de partículas de SiC en la aleación de aluminio A356, principalmente porque las partículas de SiC se distribuyeron homogéneamente endureciendo la matriz de aluminio.

La muestra compuesta que contiene 15% en peso de partículas de SiC presenta el mayor valor de dureza de 112 HV, un incremento del 133% en comparación a la aleación A356 sin reforzar. Resultados similares de un aumento en la dureza fue reportado por Knowles y colaboradores [10] revelando que la adición de 15% en peso de SiC a la matriz A6061 aumentó la dureza de la aleación de 57 HV a 102 HV.

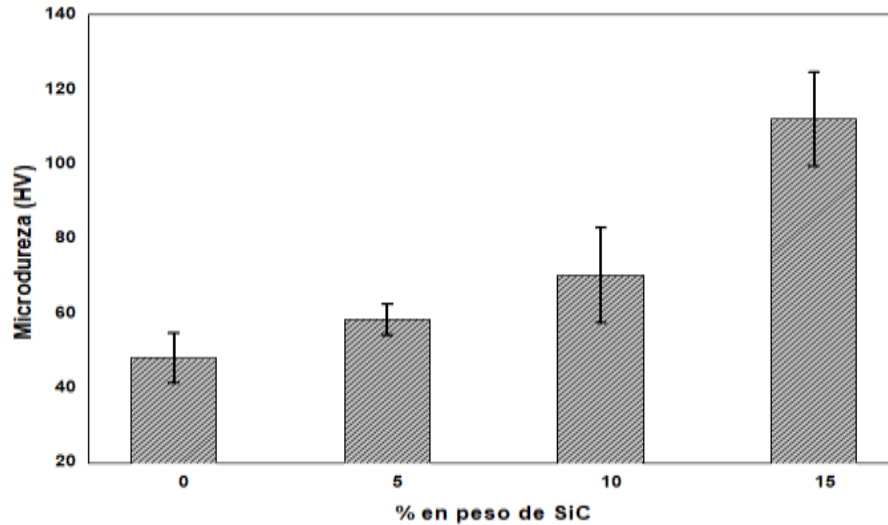


Figura 4. Microdureza Vickers de los materiales compuestos en función del contenido de SiC.

El tiempo de prueba de desgaste con respecto a la pérdida de peso de los materiales compuestos se presenta en la figura 5 aplicando una carga constante de 38 N. Se ha descubierto que la aleación de aluminio A356 sin reforzar producida como muestra de referencia presenta la mayor pérdida de peso en comparación con los materiales compuestos enriquecidos con partículas de SiC. La pérdida de peso por desgaste de todas las muestras aumenta al incrementar el tiempo en la prueba de desgaste. Sin embargo la pérdida de peso por desgaste en el material compuesto con el 15% en peso de SiC resultó ser el más bajo, debido a que el alto contenido de partículas de SiC propicio a una mejora en la resistencia al desgaste, por la alta dureza que posee el SiC. Los compuestos con el 5, 10, 15 % en peso de SiC exhibieron una mejora en el rendimiento del 37.9%, 43% y 57.7% con respecto a la aleación base A356 sin reforzar. Resultados similares de mejora en el comportamiento de desgaste han sido reportados por Sareh y colaboradores [11] que sintetizaron compuestos de Al6061/SiC por aleación mecánica que contienen 1, 2 y 3% en volumen de SiC, donde el compuesto con el 3% de SiC exhibió el valor mínimo de pérdida de desgaste, siendo aproximadamente un 77% menor que el de la aleación base.

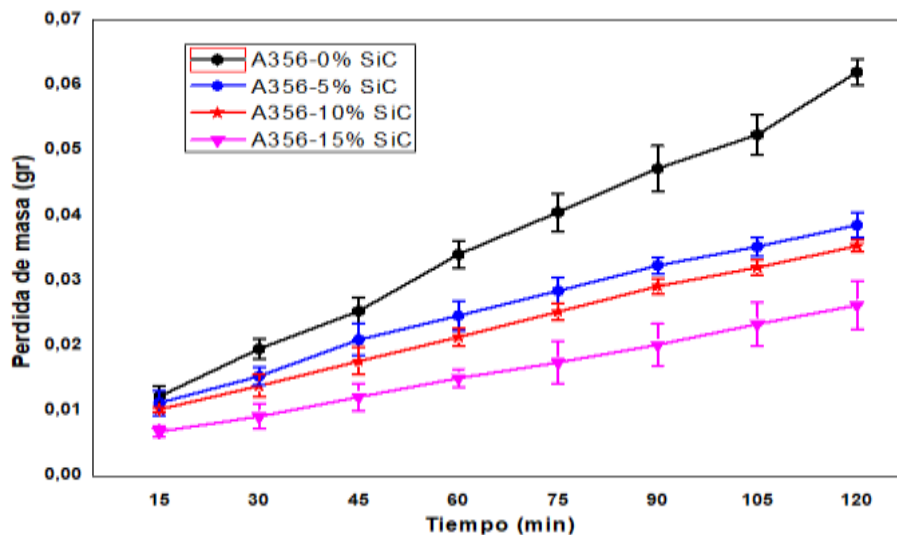


Figura 5. Efecto del tiempo de la prueba de desgaste en la pérdida de masa de los materiales compuestos.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que al aumentar la cantidad de SiC se promueve una mejor dureza y mayor resistencia al desgaste en los materiales compuestos. Las imágenes de mapeo (EDX) muestran que las partículas reforzantes fueron distribuidas homogéneamente en la aleación de aluminio A356, a través del aleado mecánico.

AGRADECIMIENTOS

Ociel Rodríguez Pérez agradece la beca postdoctoral otorgada por DGAPA-UNAM. Además también agradezco al Departamento de Ingeniería Metalúrgica de Facultad de Química por las facilidades brindadas para el desarrollo de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Nan Kang, Pierre Coddet, Hanlin Liao, et al., "Wear behavior and microstructure of hypereutectic Al-Si alloys prepared by selective laser melting", *Appl Surf Sci.*, Vol. 378, 2016, pp. 142-149.
2. Hassan Tazari, Mohammad Hossein Siadati, "Synthesis and mechanical properties of aluminum alloy 5083/SiCnp Nanocomposites", *J. Alloy Compd.*, Vol. 729, 2017, pp. 960-969.
3. Omya El-Kady, A. Fathy, "Effect of SiC particle size on the physical and mechanical properties of extruded Al matrix nanocomposites", *Mater. Design*, Vol. 54, 2014, pp. 348-353.
4. X. Yao, Z. Zhang, Y.F. Zheng, C. Kong, et al., "Effects of SiC Nanoparticle Content on the Microstructure and Tensile Mechanical Properties of Ultrafine Grained AA6063-SiCnp Nanocomposites Fabricated by Powder Metallurgy", *J. Mater. Sci. Technol.*, Vol. 33, No. 9, 2017, pp. 1023-1030.
5. M. H. Enayati, F. A. Mohamed, "Application of mechanical alloying/milling for synthesis of nanocrystalline and amorphous materials", *Int. Mater. Rev.*, 2014, 59:(7):394-416.
6. Edil DA Costa, C., Velasco López, F., Torralba Castello, J.M., "Materiales compuestos de matriz metálica. I parte. Tipos, propiedades, aplicaciones", *Rev. Metal.*, Vol. 36, 2000, No. 3.
7. M. Khakbiz, F. Akhlaghi, "Synthesis and structural characterization of Al-B₄C nano-composite powders by mechanical alloying", *J. Alloy. Comp.*, Vol. 479, No. 1-2, 2009, pp. 334-341.
8. M.A. Meyers, A. Mishra, D.J. Benson, "Mechanical properties of nanocrystalline materials", *Progress in Materials Science*, Vol. 51, No. 4, 2006, pp. 427-556.

9. Sajjad Arif, Md Tanwir Alam, Akhter H Ansari, et al., "Study of mechanical and tribological behaviour of Al/SiC/ZrO₂ hybrid composites fabricated through powder metallurgy technique", *Mater. Res. Express.*, 2017, 4:076511.
10. A.J. Knowles, X. Jiang, M. Galano, et al., "Microstructure and mechanical properties of 6061 Al alloy based composites with SiC nanoparticles". *J. Alloy Compd.*, 2014, 615:S401-S405.
11. Sareh Mosleh-Shirazi, Farshad Akhlaghi, Dong-yang Li, "Effect of SiC content on dry sliding wear, corrosion and corrosive wear of Al/SiC nanocomposites", *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 2016, 26:1801-1808.

SÍNTESIS POR SOL-GEL DE RECUBRIMIENTOS HÍBRIDOS DE SiO_2 -PMMA DEPOSITADOS POR ASPERSIÓN SOBRE SUSTRATOS METÁLICOS

Elsa Emilia Uicab Córdova^{1,2}, Antonia del Rocío López Guemez², Fabiola Del Carmen Gómez Torres², Anabel González Díaz², Saúl García López², Roberto Hernández Córdova², Laura Lorena Díaz Flores^{2*}

¹Universidad Tecnológica de Tabasco, Carretera Villahermosa-Teapa km 14.6 s/n, C.P. 86288, Parrilla II, Centro Tabasco, México. euicab.tc@uttab.edu.mx

²Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán – Jalpa de Méndez s/n, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.
roberto.hernandezc@ujat.mx, *laura.diaz@ujat.mx

RESUMEN

En este trabajo se reporta la obtención de un recubrimiento híbrido de SiO_2 – PMMA depositado sobre soleras de acero al carbono SAE 1036. Este material híbrido tiene valores de viscosidad y densidad que le permiten ser aplicado en áreas metálicas desde 0.015 m² hasta mayores a 1 m² por el método de aspersión convencional, con el cual, se obtienen espesores de capa que oscilan entre 75 y 100 µm de espesor de película seca, sin que exista un proceso de tratamiento térmico para el proceso de secado, permitiendo su aplicación en accesorios, placas, equipos o estructuras metálicas, sin modificar el acabado superficial de los mismos. La elaboración del material inorgánico (SiO_2) se realizó a través de la polimerización (hidrólisis y condensación) del tetraetilortosilicato (TEOS) con etanol y agua destilada. A través de la polimerización por radicales libres del monómero metilmetacrilato (MMA), se obtuvo el polimetilmetacrilato (PMMA) empleando al peróxido de benzoilo (BPO) como catalizador. Se mezclaron en un matraz Erlenmeyer las soluciones obtenidas de SiO_2 y el PMMA, empleando como agente acoplante de ambos compuestos al 3-(Trimetoxisilil) propil metacrilato. Esta solución híbrida de SiO_2 – PMMA presentó una viscosidad de 15 cP y una densidad de 0.9764 g/ml lo que permitió su aplicación por aspersión convencional sobre soleras de 10 x 15 cm de acero al carbono SAE 1036. Obteniéndose una capa uniforme, homogénea, sin porosidad y sin agrietamientos. Se caracterizó la calidad óptica del recubrimiento por UV-VIS, la composición química por FTIR y por las técnicas de AFM y SEM la morfología superficial del híbrido depositado. La adherencia del recubrimiento híbrido de SiO_2 – PMMA al sustrato metálico es de grado 5B (el más alto) con base en el criterio de aceptación y rechazo de la norma ASTM D3359. El espesor de las películas se determinó con un medidor de espesores ultrasónico modelo Positector 6000.

INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos son materiales que se emplean para realizar la función de una barrera entre los sustratos metálicos y los diferentes medios en los que estos se encuentren, ya sea enterrados, superficiales, sumergidos o en zonas tierra/líquido, tierra/aire, aire/líquido, estos materiales aislantes pueden presentar características estéticas, anticorrosivas, de resistencia al desgaste o a la abrasión o ser semiconductores. En híbridos orgánicos-inorgánicos, la fase de polímero ayuda a reducir las grietas y la formación de poros durante el secado y promueve capas homogéneas; en tanto la dureza es proporcionada por la parte inorgánica. Los materiales compuestos se han dividido en 2 clases principales, en función de la estructura y la unión de fases. Híbridos de clase I corresponden a materiales en los que se encuentran los dominios inorgánicos, simplemente se dispersa en la matriz y solo muestra interacciones débiles entre las dos fases, como el enlace de hidrógeno o acoplamiento de van der Waals. Se pueden preparar híbridos de clase II mediante la introducción de una fuerte interacción química, como la unión covalente entre los componentes. Dependiendo del híbrido, la conectividad puede mejorar la dispersión y la cohesión de la estructura y así mejorar las propiedades mecánicas y ópticas[1].

TEORÍA

Con el proceso sol-gel se han realizado las síntesis de recubrimientos híbridos orgánicos, inorgánicos, debido a que se puede controlar el proceso de síntesis para obtener características específicas, a partir de los precursores alcóxidos metálicos que participan en las reacciones de hidrólisis y condensación. Dentro de estos precursores los más usados son los que contienen Silicio como el TEOS (tetraóxido de silicio, tetraetoxisilano o tetraetil ortosilicato) usado frecuentemente por el grado de adherencia que se obtiene con el sustrato. Sin embargo, en espesores $\geq 1 \mu$ tienden a presentar agrietamientos debido a la liberación de solventes durante el proceso de secado, el cual debe ser controlado a través del tiempo y la temperatura [2][3].

Para las películas orgánicas se usan glicidiltrimetoxisilano (GPTMS[4]), aminopropiltrimetoxisilano (APTES)[5] metacrilato (MMA)[6] entre otros. Algunas mezclas de precursores orgánicos e inorgánicos para formar recubrimientos híbridos, son TEOS:GPTMS, TEOS:PDMS (polidimetildisiloxano), TEOS:MMA por mencionar algunos, empleándose como agentes de acople entre las partes orgánicas e inorgánicas el GLYMOS (3 Glicidoxipropil-trimetoxisilano), el VTMS (Viniltrimetoxisilano) y TMSPM 3-(trimetoxisilil) propil metacrilato); y como iniciadores de la polimerización el peróxido de benzoilo [7][8]. Debido a que las reacciones por sol-gel son lentas se emplean catalizadores tales como di-butil-dilaurato de estaño (DTBL) [9] y ácidos inorgánicos HCl, HNO₃, H₂SO₄ o bases NaOH, NH₄OH, KOH, actualmente se han investigado procesos duales de curado combinando el tratamiento térmico con los rayos UV [10].

Habitualmente, el material híbrido resultante presenta mejores características que las de sus precursores, como la resistencia al desgaste y abrasión, mayor incremento de la temperatura de transición vítrea, mayor flexibilidad, mayor densidad, mayor dureza.

Los recubrimientos obtenidos por sol-gel pueden ser aplicados fácilmente por los métodos de inmersión (dip coating), spin coating, print coating, brocha y aspersión. La solución híbrida es depositada (sol) sobre el sustrato (el cual puede ser metálico, vidrio, cerámico) y sometida a un proceso de secado (gelificación) a través de un equipo de laboratorio o a temperatura ambiente durante un tiempo determinado formándose finalmente una película híbrida.

En nuestro trabajo, buscamos eliminar la fase de curado térmico, mediante la síntesis de un recubrimiento híbrido con viscosidad y densidad adecuadas, de tal manera que este pueda aplicarse directamente sobre la superficie a recubrir y dar el tiempo de secado a temperatura ambiente, sin demeritas las propiedades de adhesión y protección anticorrosiva.

PARTE EXPERIMENTAL

Se sintetizó por sol-gel un recubrimiento híbrido formulado a partir del material inorgánico de dióxido de silicio (SiO₂) obtenido al hidrolizar con 23 ml de etanol (C₂H₅OH al 99.5%) durante 15 min y adicionando después 23 ml de agua destilada durante 15 minutos más a 23 ml del tetraetilortosilicato (TEOS al 98%), con agitación media, empleando 0.4 ml de ácido nítrico (HNO₃ al 68-70%) al 5% en volumen como catalizador, dejando agitar hasta obtener un cambio de coloración transparente de la solución, la relación molar de TEOS con etanol y agua fue de (0.1:0.4:1.2). La parte orgánica del material híbrido el polimetilmetacrilato (PMMA) se obtuvo al colocar en un matraz Erlenmeyer 50 ml de metilmetacrilato (MMA, al 99%) con 0.4 g hidróxido de sodio (NaOH $\geq 97\%$), empleado como inhibidor de la polimerización espontánea del MMA, para posterior filtrado y adición de 0.2 g del peróxido de benzoilo (BPO $\geq 98\%$) como catalizador de la reacción de polimerización por radicales libres, esta reacción se llevó a cabo a baño María con una temperatura de 65° C.

Después de obtener los precursores inorgánico SiO₂ y orgánico PMMA, se mezclaron en un matraz Erlenmeyer agitándose y manteniendo la temperatura de 65°C a baño María, posterior a 20 minutos se adicionó el agente de acoplamiento, el 3-(trimetoxisilil) propil metacrilato (TMSPM al 98%) el cual permite la unión de ambos precursores, la adición del mismo se realizó lentamente añadiendo 0.1 ml/s, al finalizar la adición de 36 ml se dejó en agitación la solución por 30 min más, la relación en porcentaje en volumen de los precursores y el agente de acoplamiento fue de (SiO₂:PMMA:TMSPM, 0.5:0.21:0.29).

La viscosidad se midió con un viscosímetro marca Brookfield LV empleando la aguja 1 NDJ-5S que es específica para determinar viscosidades entre 10 cp a 100 cp a una velocidad de 60 rpm y a una temperatura de 20°C, empleando 250 ml del recubrimiento y realizando la prueba por triplicado para

obtener una repetibilidad de los resultados. La densidad del híbrido se determinó mediante picnometría, en breve se colocó a peso constante por 24 h un picnómetro de 10 ml (m_p), comparándose la masa del híbrido (m_{p+d}) con la masa del agua (m_{p+w}). Como referencia se utilizó la densidad del agua a 20°C (ρ_w). La densidad del recubrimiento híbrido (ρ_d) se calculó utilizando la ecuación (Ec.1) para obtener la densidad del híbrido

$$\rho_d = \frac{m_{p+d} - m_p}{m_{p+w} - m_p} \times \rho_w \quad (\text{Ec. 1})$$

La caracterización estructural del material sintetizado se realizó en un equipo marca Shimadzu modelo Irapinity-1 empleando la técnica conocida de Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). La determinación de las características ópticas se realizó empleando un equipo UV-1280 marca Shimadzu, en un rango de 200 a 800 nm. La película híbrida $\text{SiO}_2 - \text{PMMA}$ depositada en el sustrato metálico fue caracterizada con un microscopio de fuerza atómica Marca Park System Modelo XE7 con técnica de modo no contacto, así como con un microscopio de barrido electrónico JSM-6010LA marca JEOL a condiciones de bajo vacío, debido a que no se realizó el baño de oro en el material híbrido para hacerlo conductor, por estar depositado en un sustrato metálico. Para corroborar la adherencia de la película al sustrato se empleó un peine de ranuras de 11 dientes con 1.5 mm de profundidad marca Precision gage & tool Company. Los espesores de película seca fueron determinados por ultrasonido con un equipo modelo Positector 6000.

RESULTADOS

El recubrimiento híbrido obtenido es una solución incolora a la cual se le determinaron sus propiedades físicas de viscosidad y densidad, obteniéndose una viscosidad de 15 cp promedio, y después de sustituir las mediciones determinadas en la balanza analítica en la ecuación 1 señalada anteriormente

$$\rho_d = \frac{18.52g - 8.15g}{18.74g - 8.15g} * 0.99713 g/ml = 0.9764 g/ml$$

Se determinó una densidad del híbrido ρ_d de 0.9764 g/ml

En el análisis estructural por FTIR se detectaron los espectros característicos del polímero PMMA (parte orgánica) y del SiO_2 (parte inorgánica) que conforman el material híbrido obtenido (ver Figura 1) [11][12] las bandas del material inorgánico son ubicadas en las bandas 459.71 cm^{-1} , 794.54 cm^{-1} , 1073.9 cm^{-1} y 1165.63 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de deformación, vibración de estiramiento simétrico, vibraciones de estiramiento asimétrico de enlaces de Si-O-Si respectivamente. Existe una banda amplia de 3289 cm^{-1} a 3697 cm^{-1} que indica la presencia de enlaces OH de silanoles SiOH, y en 1073.9 cm^{-1} . Se observa la existencia de OH indicativo de agua molecular. Los picos característicos del PMMA se ubican en 698.57 cm^{-1} que corresponde al enlace CH del grupo CH_2 , en 1003.55 cm^{-1} correspondiente al estiramiento de los enlaces C-C, en 1227.48 cm^{-1} correspondiente a enlaces C=C. Se aprecia una coincidencia en las señales del espectro 900 a 1650 cm^{-1} correspondientes a enlaces Si-O-Si, C-C, C=C y otros. Lo cual genera que en la gráfica del híbrido se observen espectros más intensos y un poco más anchos, Este efecto también se debe a la adición del agente de acoplamiento el TMSPM ($\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CO}_3\text{Si}(\text{CH}_3)_3$) que promueve la formación de enlaces de tipo Si-O-Si, OH y C-C en las bandas, no se visualiza la formación de enlaces distintos a los esperados por la unión del SiO_2 , el TMSPM y el PMMA.

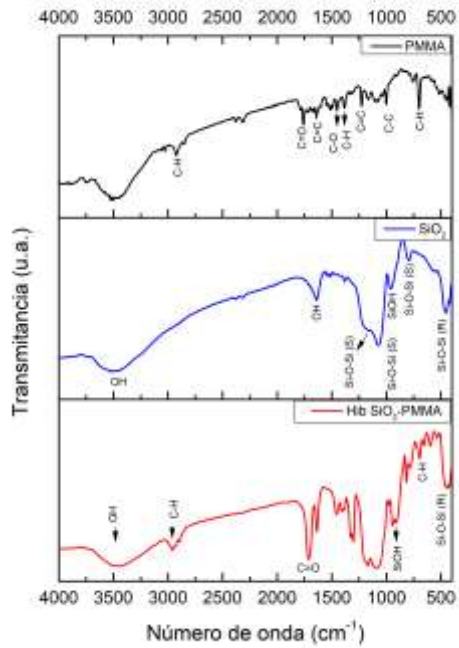


Figura 1. Espectros FTIR

La determinación de las características ópticas se realizó empleando un equipo UV-1280 marca Shimadzu, en un rango de 200 a 800 nm, la gráfica de la Figura 2, la cual indica una alta transparencia del híbrido depositado en vidrio, teniendo su valor máximo de absorción en el rango correspondiente de 212 a 259 nm.

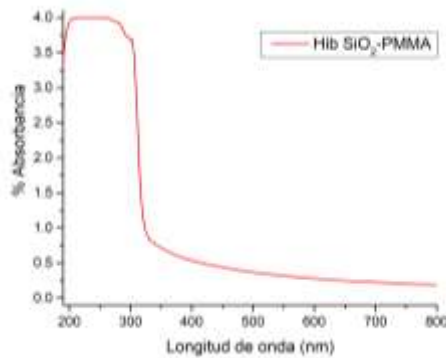


Figura 2. Espectro UV-Vis del recubrimiento híbrido

Previo a la aplicación del híbrido se realizó la preparación de la superficie metálica SAE 1036 con limpieza mecánica empleando una carda metálica, hasta obtener una superficie limpia libre de óxido, grasas, y cualquier otra suciedad existente en el mismo de acuerdo a lo estipulado en la norma SSPC SP No. 3 Limpieza con herramientas manuales mecánicas. La aplicación del recubrimiento se realizó por aspersión a 90° respecto a la horizontal, a una distancia mínima de 30 cm para evitar escurrimientos de la película, se dejó secar a la intemperie por un lapso de 48 horas sin ningún proceso de calentamiento para acelerar el secado (Figura 3).



Figura 3. Limpieza mecánica y placa recubierta con el híbrido

La película híbrida depositada fue monitoreada con las técnicas microscópicas de AFM y SEM, la Figura 4 muestran las micrografías obtenidas de la morfología superficial del híbrido depositado.

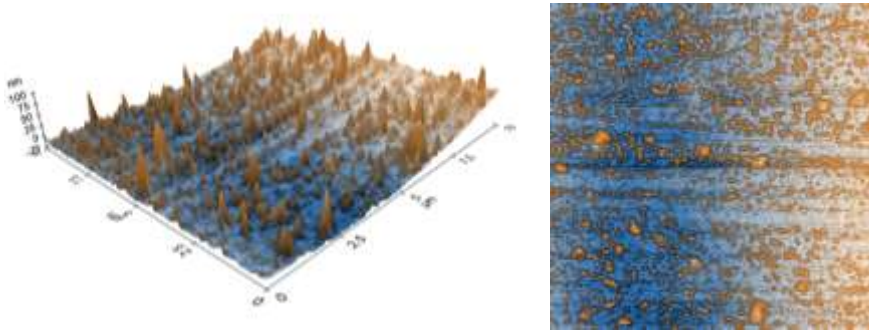


Figura 4. Micrografías AFM del recubrimiento híbrido aplicado

Se observó en la micrografía obtenida con el microscopio de fuerza atómica, que las superficies del híbrido presentan una rugosidad promedio $r_a = 16 \text{ nm}$, y la rugosidad $r_z = 134 \text{ nm}$ la cual equivale a la distancia de los picos más altos y los valles más profundos. Esta rugosidad existente en la superficie de la película híbrida le puede permitir incluso sostener las gotas de agua en la crestas de los picos evitando que exista el contacto de las mismas con los valles llenos de aire creando un efecto hidrofóbico en la película [13]. No se aprecia una separación de fase entre los precursores ni con el agente de acople.

La imagen SEM de la Figura 5, muestra el análisis de la película híbrida depositada en el acero al carbono SAE 1036, la superficie se observa uniforme lo que infiere la existencia de una película homogénea sin que se aprecien agrietamientos o fracturas del material híbrido.

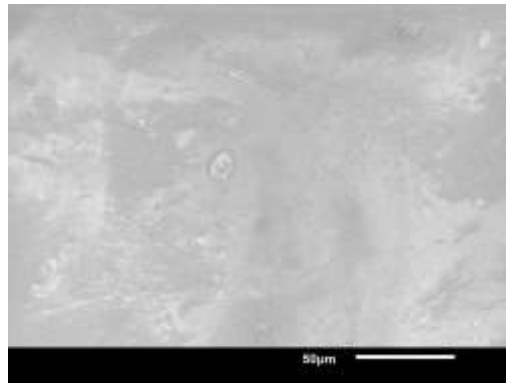


Figura 5. Micrografía del recubrimiento híbrido aplicado

De acuerdo con la prueba de adherencia conforme a la norma ASTM D3359 (Figura 6), la adherencia del recubrimiento al sustrato metálico es de grado 5B, lo cual representa el mayor puntaje en esta prueba. Esto, además es un indicador de la homogeneidad de la película protectora formada sobre el sustrato.

Los espesores de la película híbrida del SiO_2 -PMMA fueron medidos por ultrasonido (Figura 7), obteniendo el promedio de 5 lecturas por cada placa recubierta, encontrándose espesores en algunas placas desde 75 μm y en otras hasta de 100 μm (3 y 4 milésimas de pulgada respectivamente).



Figura 6. Prueba de adherencia



Figura 7. Medición de espesores

CONCLUSIONES

Se sintetizó un recubrimiento híbrido de SiO_2 - PMMA, con una densidad menor a la del agua y viscosidad baja a 20°C lo que le permiten ser aplicado por aspersion empleando compresores de aire, evitando con estas propiedades físicas que se presente la atomización seca (partículas del recubrimiento parcialmente secas cuando alcanzan el sustrato a recubrir). Por otro lado, el recubrimiento presenta alta transparencia, buena adherencia sobre placas de acero al carbono y no se requiere un proceso de secado con temperatura para poder curar la película depositada. Aunado al método de aplicación, se pueden recubrir áreas grandes, sin que se presenten agrietamientos al depositar películas con espesores de hasta 100μm.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. Sanchez, F. Ribot, and B. Lebeau, "Molecular design of hybrid organic-inorganic nanocomposites synthesized via sol-gel chemistry," in *Journal of Materials Chemistry*, 1999.
2. S. Zheng and J. Li, "Inorganic-organic sol gel hybrid coatings for corrosion protection of

- metals," *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, vol. 54, no. 2, pp. 174–187, 2010.
3. C. Nieves, E. N. Remolina, C. A. Hernández, L. M. Rueda, A. E. Coy, and F. Viejo, "Síntesis, caracterización y evaluación de la resistencia a la corrosión de recubrimientos híbridos Sol-Gel base TEOS/MPS sobre la aleación AA2050-T8," *Rev. Metal.*, vol. 53, no. 4, pp. 1–12, 2017.
 4. C. Genet, M. J. Ile Menu, O. Gavard, F. Ansart, M. Gressier, and R. Montpellier, "Innovative formulation combining Al, Zr and Si precursors to obtain anticorrosion hybrid sol-gel coating," *Molecules*, vol. 23, no. 5, 2018.
 5. F. Hernandez B, Carlos A., Hernández E, Leidy M., Coy E., Ana E., Duarte P, Nayda Z., Peña B, Darío Y., Viejo A, "Síntesis, caracterización y evaluación de recubrimientos híbridos porosos sol-gel dopados con acetato de cerio sobre la aleación de magnesio WE54-AE," *ITECKNE*, vol. 10, no. 2, pp. 249–258, 2013.
 6. V. H. Martínez-Landeros, B. E. Gnade, M. A. Quevedo-López, and R. Ramírez-Bon, "Permeation studies on transparent multiple hybrid SiO₂-PMMA coatings-Al₂O₃ barriers on PEN substrates," *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, vol. 59, no. 2, pp. 345–351, 2011.
 7. U. Schubert, N. Hiising, and A. Lorenz, "Hybrid Inorganic-Organic Materials by Sol-Gel Processing of Organofunctional Metal Alkoxides," *Chem. Mater.*, vol. 7, no. 11, pp. 2010–2027, 1995.
 8. S. Senani, E. Campazzi, M. Villatte, and C. Druetz, "Potentiality of UV-cured hybrid sol-gel coatings for aeronautical metallic substrate protection," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 227, pp. 32–37, 2013.
 9. C. Salazar Hernández, M. Salazar Hernández, E. E. Pérez González, H. J. Ríos, and M. Carrera Rodríguez, "Recubrimiento anticorrosivo tipo ormosil empleando DBTL como catalizador de policondensación," 2014.
 10. G. Malucelli, "Hybrid organic/inorganic coatings through dual-cure processes: State of the art and perspectives," *Coatings*, vol. 6, no. 1, 2016.
 11. J. R. Gonzalez Hernández, J. , Pérez Robles, J. F. , Ruiz, F., Martínez, "Vidrios SiO₂ nanocompuestos preparados por sol-gel: revisión," *Superf. y vacío*, no. 11, pp. 1–16, 2000.
 12. S. Ahmad, S. Ahmad, and S. A. Agnihotry, "Synthesis and characterization of in situ prepared poly (methyl methacrylate) nanocomposites," *Bull. Mater. Sci.*, vol. 30, no. 1, pp. 31–35, 2007.
 13. A. Madhan Kumar, S. S. Latthe, P. Sudhagar, I. B. Obot, and Z. M. Gasem, "In-situ synthesis of hydrophobic SiO₂-PMMA composite for surface protective coatings: Experimental and quantum chemical analysis," *Polymer (Guildf)*, vol. 77, pp. 79–86, 2015.

CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y MECÁNICA DE LAS TRANSFORMACIONES DE FASE DE UN ACERO QP

Alfonso Mauricio Trejo Cristerna¹, Regina López Rosales², Dario Alberto Sigala García³,
Víctor Manuel López Hirata⁴

¹Instituto Politécnico Nacional, ²ESIQIE, ³DIIM.
mauriciotrejo.ipn@gmail.com

RESUMEN

Los últimos 30 años surgió la primera y segunda generación de AHSS, cumpliendo con las demandas de la industria automotriz, pero gracias al progreso en estos aceros y las regulaciones ambientales y de seguridad cada vez más exigentes han llevado a la aparición de la tercera generación de AHSS. Una vez de esta tercera generación de AHSS se encuentran el acero de temple y partición (QP) y el acero de temple-partición-templado (QPT). El proceso de preguntas y respuestas se puede dividir en tres pasos. Durante el primer paso, el acero está completamente austenizado. El acero se enfría entre temperaturas de Ms y Mf. Después del enfriamiento inicial, la microestructura del acero consiste en martensita y austenita (y posiblemente ferrita intercrítica). Durante la tercera parte del tratamiento, el acero se mantiene a la temperatura de enfriamiento inicial (Q&P de un paso) o a una temperatura elevada, denominada temperatura de partición (Q&P de dos pasos), después de que el acero se enfría a temperatura ambiente. El paso de partición tiene como objetivo estabilizar la austenita por difusión de carbono de martensita a austenita de modo que la austenita esté presente después del enfriamiento final a temperatura ambiente. El propósito de estabilizar la austenita es aumentar la ductilidad sin reducir la resistencia que la martensita le da al acero QP. Es por esto, que el enfoque de este trabajo es la caracterización microestructural y mecánica de un acero QP avanzado, analizando la evolución microestructural y su relación con sus propiedades mecánicas. Para lograr el objetivo, se aplicarán dos metodologías de manera similar.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo e investigación de nuevos materiales y aleaciones que ha llevado a cabo la industria automotriz durante los últimos años, principalmente, se han realizado con el fin de disminuir las emisiones de CO₂ y aumentar la seguridad de los tripulantes de los automotores, la industria automotriz se ha visto obligada a investigar y desarrollar nuevas aleaciones metálicas como la primera y segunda generación de los Aceros Avanzados de Alta Resistencia y Aceros con Plasticidad Inducida por Transformación (AHSS y TRIP por sus siglas en inglés, respectivamente), que cubrieron los principales problemas, descritos anteriormente. Sin embargo, el progreso tecnológico, el calentamiento global y la demanda en los estándares de seguridad, ha hecho evolucionar estos aceros en la tercera generación.^[1,2] Actualmente, se están desarrollando e investigando la tercera generación que incluye un nuevo integrante a la familia, los Aceros de Temple y Partición (QP, por sus siglas en inglés, Quenching and Partitioned) y los Aceros de Temple, Partición y Revenidos, (QPT, por sus siglas en inglés, Quenching, Partitioning and Tempering).

Los aceros con la denominación QP y QPT, nacieron de los estudios posteriores sobre las transformaciones isotérmicas presente en los aceros TRIP con alto contenido en Silicio que inducen la plasticidad. La austenita retenida ofrece una mejora en la tenacidad a la fractura en aplicaciones estructurales y la martensita otorga la resistencia a la deformación. El Proceso QP fue concebido para emplear este mecanismo de enriquecimiento en un modo intencional de desarrollar nuevas microestructuras en el acero con fracciones controladas y estabilizadas de austenita. Los esfuerzos por desarrollar el proceso QP se enfoca primero en el entendimiento potencial de la partición de carbono dentro de la austenita después de la transformación a martensita. Los aceros QP son de potencial interés cuando la austenita retenida es considerada para ofrecer un aumento en las características de desempeño y han sido aplicadas a una gran variedad de productos incluidos, rolado en frío y placas de acero. La atención inicial e interés industrial en el proceso QP ha involucrado a la industria automotriz en la aplicación de placas de acero, donde el mercado demanda productos con alta resistencia y con mejor formabilidad para lograr mejorar el gasto económico en combustible y la resistencia a choques. ^[2,3]

Es por lo antes mencionado que el enfoque de este trabajo es la caracterización microestructural y mecánica de un acero avanzado QP, analizando la evolución microestructural y su relación con sus propiedades mecánicas. Para alcanzar el objetivo antes mencionado, se aplicarán de manera análoga dos metodologías.

TEORÍA

Acero de temple & partición o QP

Los aceros de Temple & Partición han recibido gran atención como posible candidato para la tercera generación de los aceros AHSS y su desarrollo se encuentra en investigación. Estos aceros fueron diseñados para tener buenas propiedades mecánicas que le otorga su microestructura martensítica, austenita estable a temperatura ambiente y carburos. Los aceros QP pueden desarrollar rangos de resistencia a la cedencia de entre 900 a 1400 MPa. En la actualidad ya existen aceros QP comerciales siendo utilizados en los pilares de automóviles. Un perfil esquemático del tratamiento térmico del proceso QP se muestra en la Figura 1. El proceso QP se puede dividir en 4 etapas. ^[4]

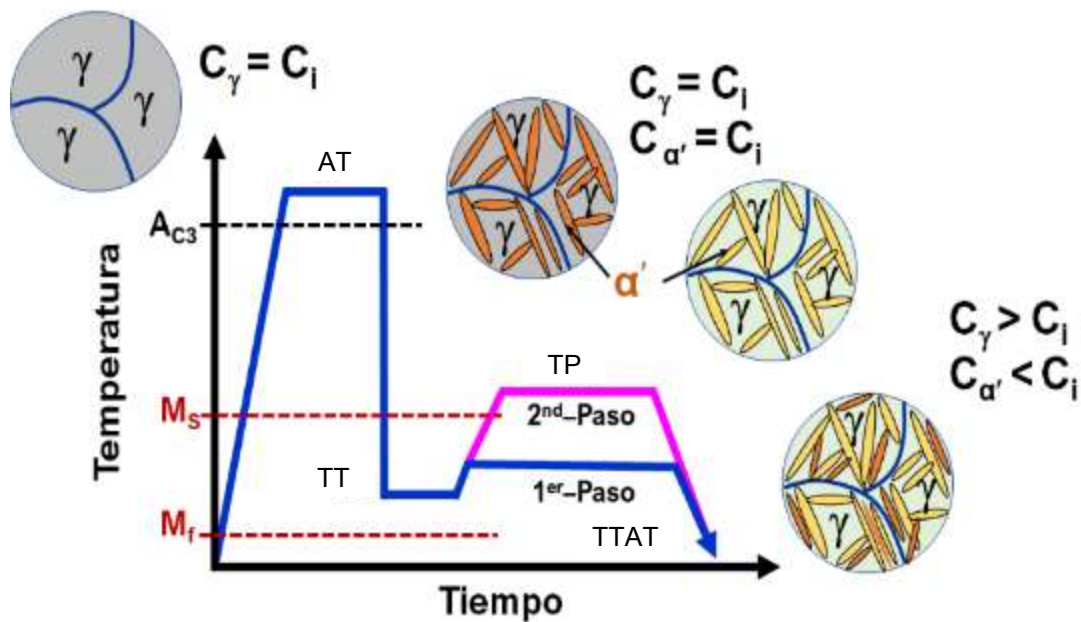


Figura 1. Esquema del perfil de temperatura seguido para obtener el proceso de Temple & Partición o QP. (1) TA es la temperatura de austenización. (2) TT es la temperatura de temple. (3) TP es la temperatura de partición. (4) TTA es el temple a temperatura ambiente. Ms y Mf son el inicio y final de la transformación a martensita, respectivamente. Ci, Cγ, y Cα representan el contenido de carbono en el inicio, en la austenita y en la martensita, respectivamente.

- (1) La primera etapa es llevar al acero a una región intercrítica o una completa austenización.
- (2) La segunda etapa es el temple del acero que usualmente es en un baño de sales. El temple será entre Ms y Mf unos 50 a 100 grados menor de la línea Ms, la microestructura que se desarrolla en esta etapa es martensita y austenita (posiblemente también ferrita intercrítica).
- (3) La tercera etapa es la partición del carbono que consiste en mantener la temperatura a la misma temperatura de temple 1er-paso QP o elevando la temperatura de partición 2nd-paso QP manteniéndolo por un tiempo determinado. El objetivo de la etapa de partición es

estabilizar a la austenita por difusión del carbono de la martensita hacia la austenita, logrando estabilizar a la austenita en el temple final a temperatura ambiente.

(4) Por último, la cuarta etapa es templar el acero a temperatura ambiente. La microestructura aproximada final será, ~70% de martensita, ~20% de Austenita y ~10% de ferrita. [4,5,6]

Las propiedades mecánicas que le otorga la microestructura anteriormente mencionada son, una alta resistencia gracias a la fase martensítica y una buena ductilidad debido a la austenita estable. La estabilización de la austenita retenida es de suma importancia en los aceros QP para obtener la combinación deseada de resistencia y ductilidad. [7,8]

PARTE EXPERIMENTAL

La Figura 2, corresponde al diagrama de flujo seguido en el desarrollo experimental de este trabajo.

Composición química del acero QP

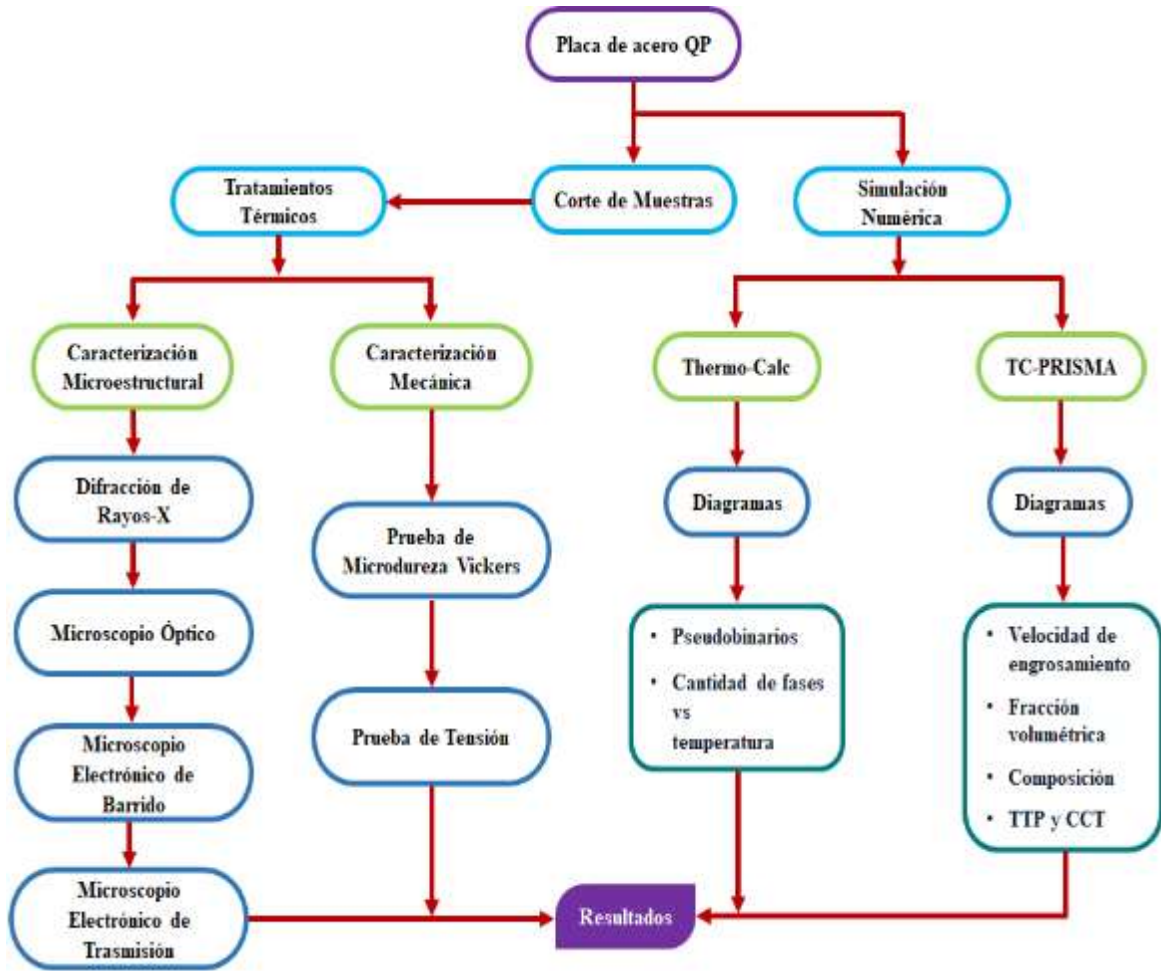


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología experimental y numérica.

El material de estudio es un acero AHSS de tercera generación clasificado dentro de los aceros de Temple y Partición, (Quenching & Partitioning o QP, por sus siglas en inglés). [9,10] El material en su estado de fábrica viene en forma de placa. Las dimensiones de la placa son: 340 mm de largo x 64 mm de alto y 4 mm de espesor. La composición química de este acero se conoce del certificado que nos proporcionó el fabricante, Tabla 1.

Tabla 1. Composición química de la placa de acero QP de estudio.

Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	W	Co
95.16	0.419	2.154	0.700	1.338	0.039	0.054	0.041	0.013	0.019	0.014

Muestras

Con el fin de obtener las muestras necesarias para los tratamientos térmicos y su posterior caracterización microestructural, las placas se cortarán en una cortadora metalográfica para obtener secciones rectangulares con dimensiones de 15 mm de alto x 64 mm de largo. Posteriormente estas secciones se cortarán en una cortadora de precisión, marca Struers® modelo Minitom con disco de diamante, con el fin de obtener muestras con dimensiones de 1.5 cm². Aproximadamente 50 muestras se cortarán. ^[11,12]

Tratamientos térmicos

De las muestras cortadas, dos de ellas se mantendrán en estado original. Los 48 restantes se utilizarán para los tratamientos térmicos de Temple y Partición (QP) y Temple-Partición-Revenido (QPT).

Tratamiento térmico de Temple y Partición o QP

El tratamiento de Temple y Partición se realizará en hornos. El tratamiento QP se dividirá en 4 etapas:

- (1) La primera de ellas es llevar la muestra a su temperatura de austenización, en este caso será de 900 °C y se mantendrá por 45 minutos.
- (2) La segunda etapa es el temple de las muestras, en un baño de sales con la siguiente composición: (45% de Nitrato de potasio, 45% Nitrito de sodio y 10% nitrato de sodio) ^[14] y las sales se fundirán en un contenedor metálico que se encuentra dentro de la mufla a 250 °C por 5 segundos.
- (3) La tercera etapa será la partición que se realizará a la misma temperatura del temple, también llamada de primer paso o de baja temperatura a 250°C con tiempos de permanencia de 10, 20, 30, 60, 300, 600, 1800, 3600 segundos.
- (4) Por último, la cuarta etapa será el temple de la muestra a temperatura ambiente en agua con hielos.

La Figura 3, (a), es una representación esquemática de este tratamiento térmico. Se escogerán las muestras con los tiempos de 10 y 3600 segundos, además se les realizará la caracterización microestructural a todas las muestras tratadas para así conocer y escoger las dos mejores muestras que contengan la mayor cantidad de austenita en su microestructura, con el fin de optimizar el material para el tratamiento térmico QPT y los ensayos de tensión.

Tratamiento térmico de Temple-Partición-Revenido o QPT

El tratamiento de Temple-Partición-Revenido se llevará a cabo tomando 4 muestras provenientes del proceso QP: la de 10, 3 600 segundos y dos muestras con la mayor cantidad de austenita. El proceso QPT consistirá en realizarles un revenido a las muestras a 400°C por diferentes tiempos ^[14,15] que van de 10, 20, 30, 60, 300, 600, 1800 y 3600 segundos. La Figura 3, (b), es una representación esquemática de este tratamiento térmico. Nuevamente se tomarán las muestras de 10 y 3600 segundos y dos más con las mejores características microestructurales, para elaborar las probetas de la prueba de tensión, optimizando así el material.

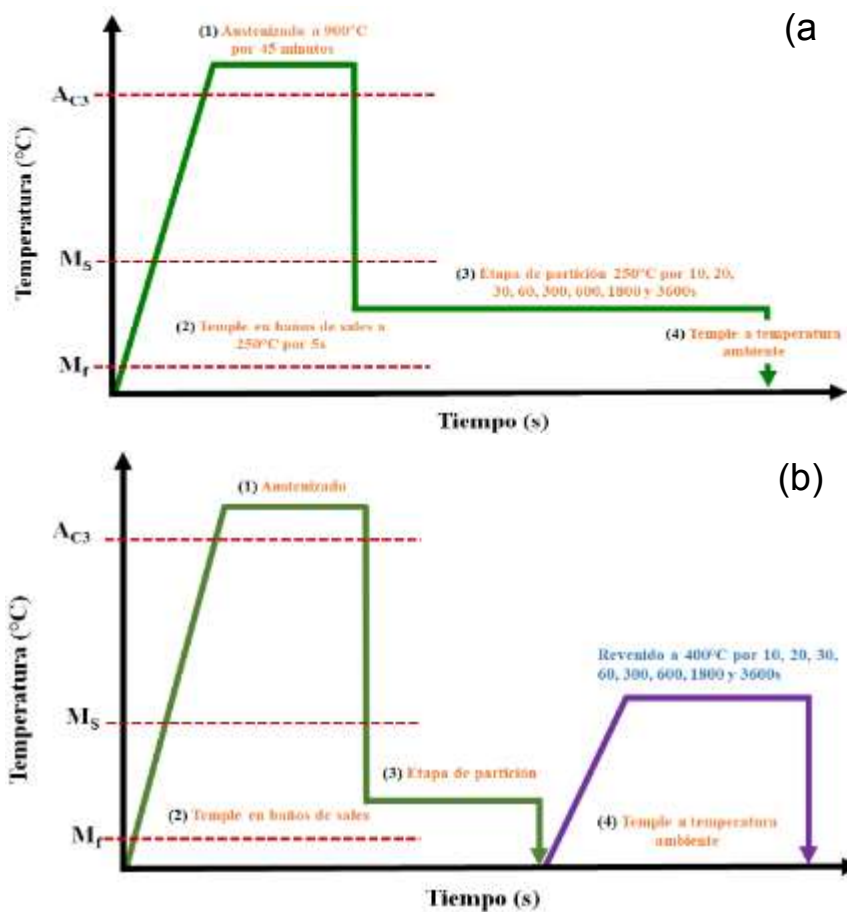


Figura SEQ Figura * ARABIC \s 1 3. Esquemas de trabajo para el tratamiento térmico. (a) Esquema para el tratamiento térmico de Temple y Partición QP. (b) Esquema de trabajo para el tratamiento térmico de Temple-Partición-Revenido QPT.

Caracterización microestructural

Todas las muestras serán preparadas metalográficamente de acuerdo con la norma ASTM E3 – 11 [18]. El desbaste se realizará con lijas de carburo de silicio hasta el grado 1500. El pulido se llevará a cabo utilizando alúminas de 1, 0.5, 0.03 micras y sílica coloidal. Se llevarán a un baño ultrasónico antes del ataque. El pulido se hará en un equipo marca STRUERS® modelo LaboPol-5. El ataque se realizará a temperatura ambiente con Nital 5 (5 mL HNO₃ y 95 mL de etanol) por un tiempo de 15 a 35 segundos por inmersión de acuerdo con la norma ASTM E407 [19].

Caracterización mecánica

Debido a que uno de los objetivos de este trabajo es conocer y observar la resistencia mecánica del acero QP de estudio, es necesario caracterizar mecánicamente el material a través de ensayos de tensión. Además, para entender el efecto que tienen los precipitados presentes en la microestructura sobre la dureza del material después de los tratamientos térmicos realizados, se realizarán ensayos de microdureza Vickers. Al final de la caracterización mecánica, se establecerá la relación de la microestructura con las propiedades de resistencia mecánica y dureza. [20,21]

Simulación numérica con el programa Thermo-Calc

Se realizará un análisis mediante el software Thermo-Calc® versión 2019b. Se efectuará ingresando la composición química de acero QP, Figura 4. El programa requiere de una base de datos para los cálculos que son la TCFE 7 y TCFE 10

El proceso que se seguirá para la simulación es el siguiente: primero se simulara en “single point” a varias temperaturas, el programa entrega información cada diez cálculos. Segundo será la simulación de los diagramas pseudobinarios, utilizando la composición química del material y las temperaturas de los tratamientos térmicos.^[16,17]

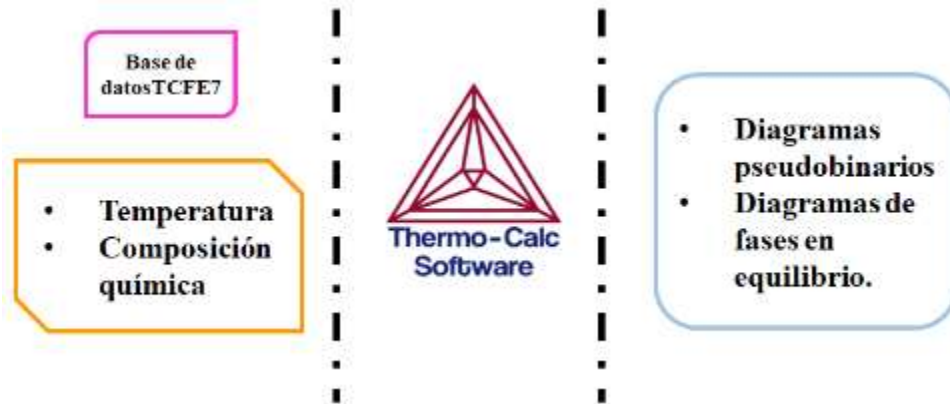


Figura 4. Datos de entradas y salidas del programa Thermo-Calc®.

Simulación numérica con el programa TC-PRISMA

El análisis que se realizará con el software TC-PRISMA®; Figura 5. De igual manera se ingresará al software la composición química del acero QP y se utilizarán los tiempos de los tratamientos térmicos experimentales (10s, 20s, 30s, 60s, 300s, 600s, 1800s, 3600s). La simulación se llevará a cabo utilizando como sitios de nucleación los límites de grano y dislocaciones.^[16,17]

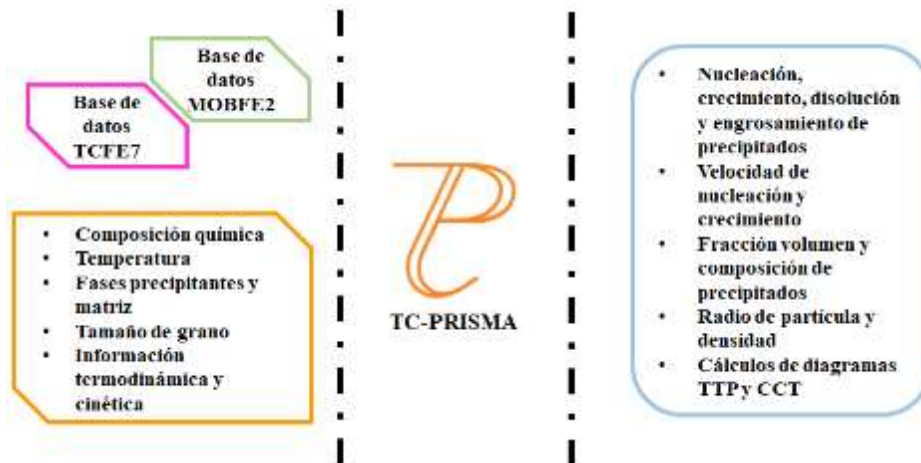


Figura 5. Datos de entradas y salidas del programa TC-PRISMA®.

RESULTADOS PRELIMINARES

Caracterización por simulación y microestructural

Diagrama pseudobinario del acero QP

Con el programa de simulación numérica Thermo-Calc®, se calculó el diagrama de fases pseudobinario Fe-Fe₃C del acero QP mostrado en la Figura 6.

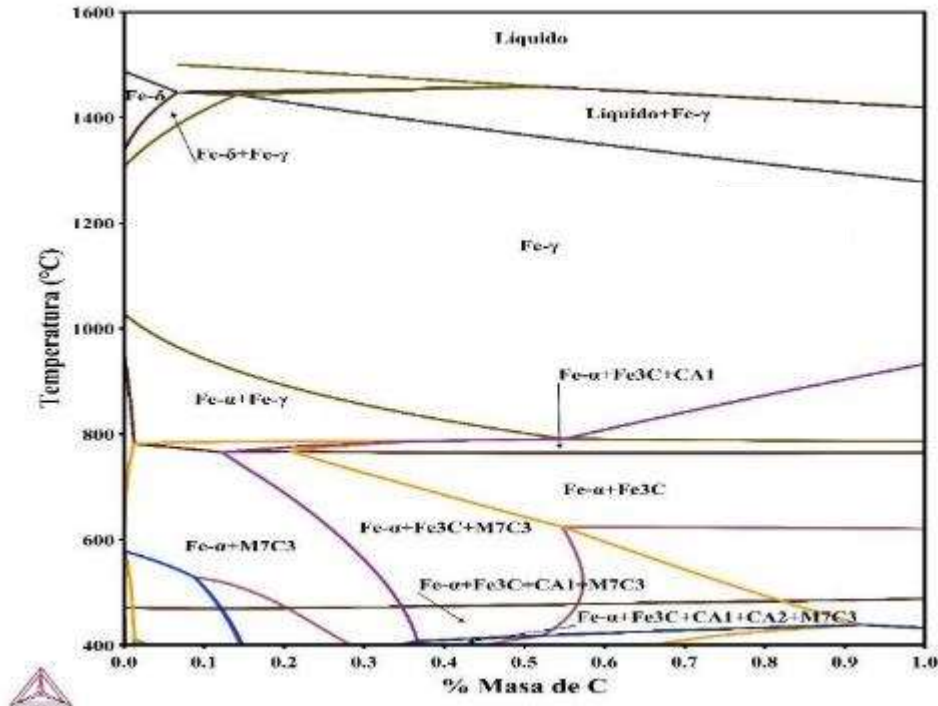
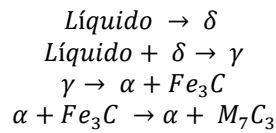


Figura 6. Diagrama de equilibrio pseudobinario Fe-Fe₃C del acero QP.

La Figura 7 corresponde al diagrama de equilibrio de cantidad de fases presentes vs. temperatura. Las fases estables en el rango de 500 a 1500 °C son la fase líquida Fe-□□ seguido del primer sólido formado Fe-δ, después Fe-α, Fe₃C, y carburo del tipo M₇C₃. Por lo tanto, la secuencia de reacciones es la siguiente:



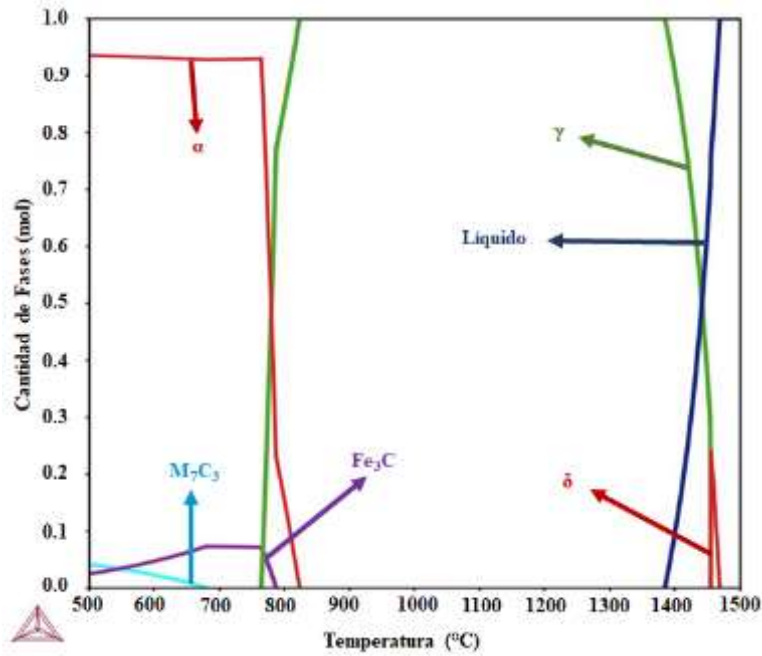


Figura 7. Diagrama de equilibrio de Cantidad de fases (mol) vs. Temperatura (°C) en el rango de temperatura de 500 a 1500 °C.

La Figura 8 corresponde al diagrama de equilibrio de cantidad de fases presentes vs. temperatura. Las fases estables en el rango de 100 a 400 °C son la Fe-γ, Fe-α, F₃C, y carburo del tipo M₇C₃. Además, se calculó el valor del comienzo de la martensita o Ms con la ecuación propuesta por Mahieu et al.

$$M_s = 539 - 423C - 30.4Mn - 7.5Si + 30A$$

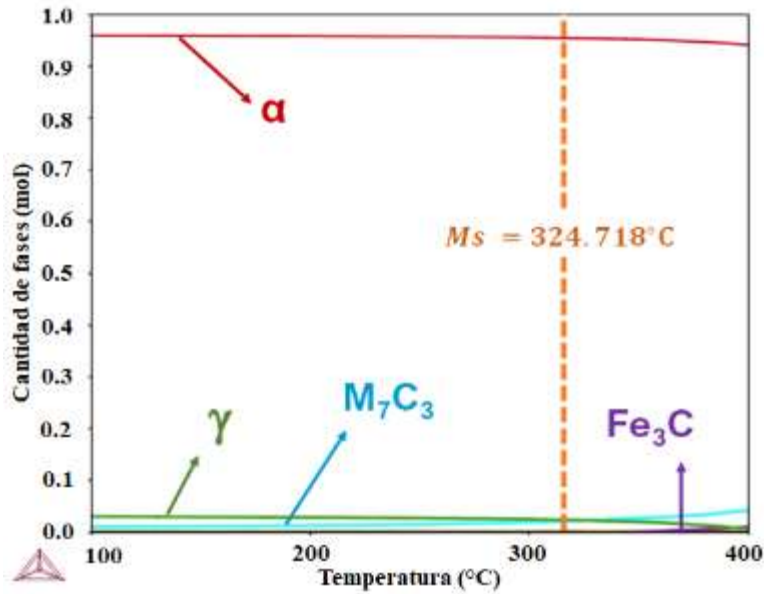


Figura 8. Diagrama de equilibrio de Cantidad de fases (mol) vs. Temperatura (°C) en el rango de temperatura de 100 a 400 °C.

Acero QP es estado de fabrica

Se tomo una muestra previamente cortada en estado de fabrica para su caracterización microestructural y mecánica. Las pruebas que se han realizado hasta el momento son DRX, M.O. y ensayo de microdureza Vickers. Los resultados preliminares son los siguientes. La Figura 9, se observa un patrón de difracción de la muestra en estado de fábrica. Los picos indexados con ayuda del programa ¡Match! 3, indican que las fases presentes en el acero en estado de fábrica son la Fe-α y carburo del tipo M₇C₃. Lo cual concuerda con los resultados predichos por Thermo-Calc, Figura 8.

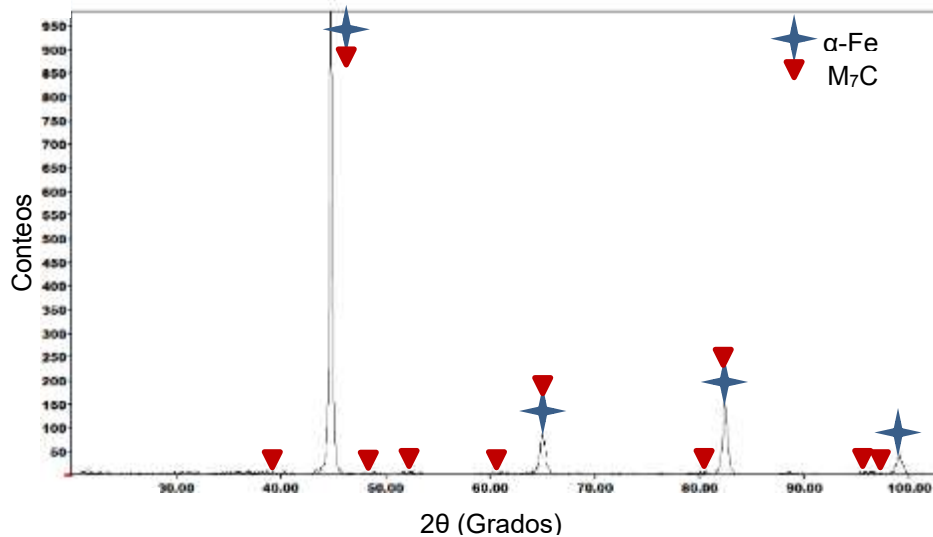


Figura 9. Patrón de difracción de la muestra en estado de fábrica.

La muestra en estado fabrica fue preparada metalográficamente, atacada y analizada por microscopia óptica. La Figura 10 corresponde a las microestructura de la muestras en estado fabrica tomada a 500x. Se ve claramente que la microestructura predominante son granos de ferrita y precipitados del carburo M_7C_3 . De acuerdo con los resultados obtenidos por Thermo-Calc® del diagrama de cantidad de fases, Figura 8, además de los granos de ferrita y el carburo M_7C_3 establece la presencia de la austenita $Fe-\gamma$, que debido a su historial termomecánico, la austenita debió trasformar a ferrita.

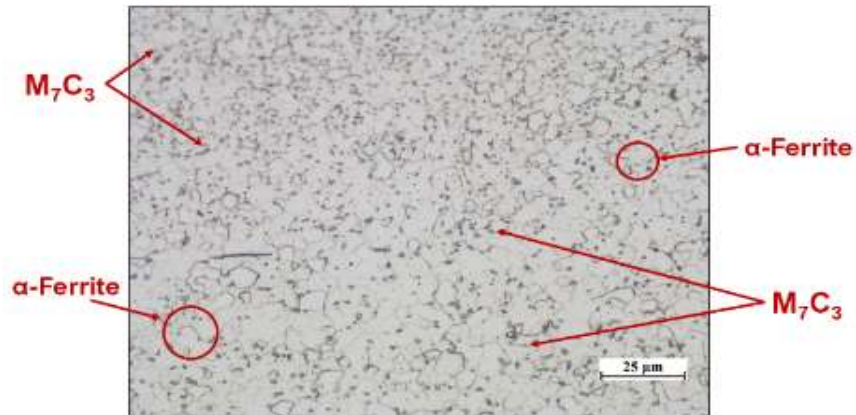


Figura 10. Micrografía de la muestra en estado de fábrica, donde se observa granos ferríticos y precipitados de carburo M_7C_3 .

Recocido total y Normalizado

Se tomaron muestras para tratarlas térmicamente para conocer la microestructura que esta desarrolla mediante un recocido total y un normalizado, ambos a una temperatura de $900^{\circ}C$ por 1 hora. Para conocer las fases presentes que se formaron durante estos procesos de tratamientos térmicos, se les analizo por difracción de rayos-X. La Figura 11, se observan el patrón de difracción correspondiente al recocido total (a) y el normalizado (b), ambas muestras presentas las mismas fases que la muestra en estado de fábrica, la única diferencia son las intensidades y cantidad de picos del precipitado M_7C_3 que desarrollo la muestra normalizada, indicando un aumento en la fracción volumen del carburo M_7C_3 .

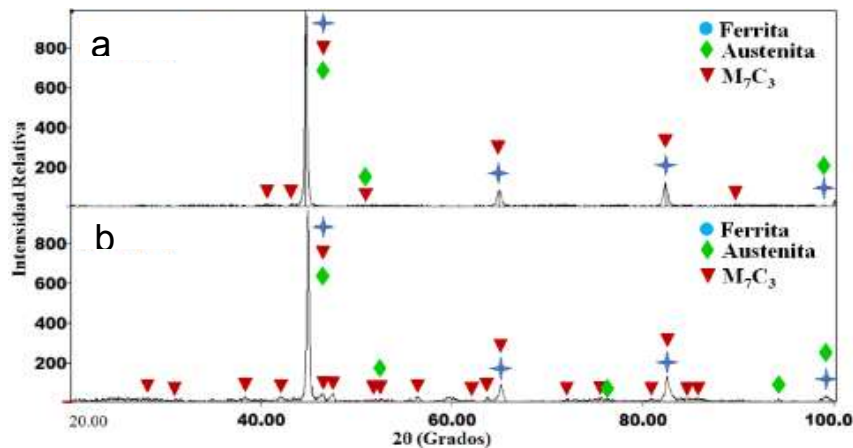


Figura 11. Patrón de difracción de la muestra recocida (a) y muestra

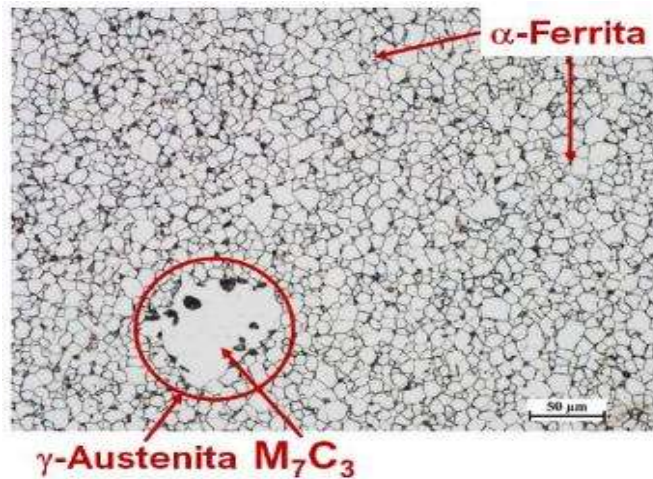


Figura 12. Micrografía de la muestra recocida a 900 °C por 1h. Se observan granos de austenita (mayor tamaño), granos de ferrita (menor tamaño) y dentro de los granos austeníticos están los carburos M₇C₃.

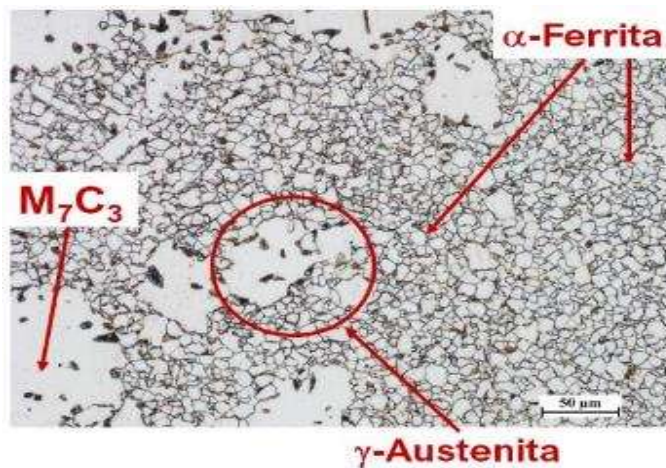


Figura 13. Micrografía de la muestra normalizada a 900 °C por 1h. Se observan granos de austenita (mayor tamaño), granos de ferrita (menor tamaño) y dentro de los granos austeníticos están los carburos M₇C₃.

Las micrografías tomadas por MO de la muestra recocida, Figura 12 y la muestra normalizada, Figura 13. Se observan las mismas fases resueltas por DRX, las cuales son ferrita, austenita y el carburo M₇C₃ que de igual forma estas concuerdan con lo predicho por Thermo-Calc.

Temple y revenido

De las dos muestras que se trataron térmicamente por temple y temple y revenido, de igual forma se les analizó por difracción de rayos-X para conocer las fases que se desarrollan por estos tratamientos. La Figura 14, muestra los patrones de difracción de las muestras tratadas por temple (a) y temple y revenido (b). Las fases que se obtuvieron son, la martensita, austenita Fe-γ y el carburo M₇C₃, para ambas muestras. En el patrón de difracción (b) se observa que debido al tratamiento de revenido los picos del carburo M₇C₃ lo cual sugiere el aumento en la fracción volumen del carburo.

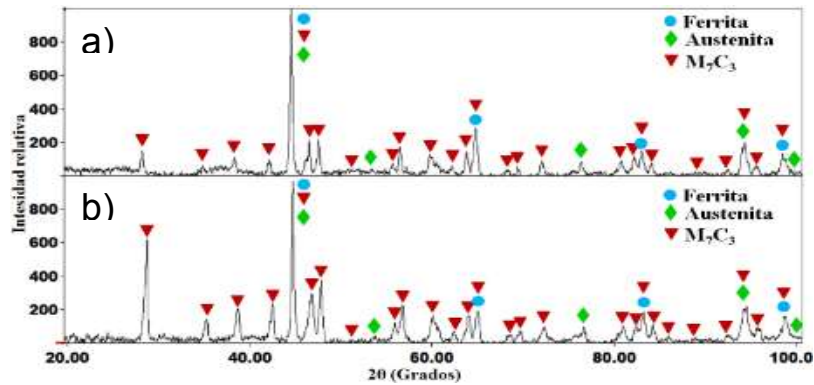


Figura 14. Patrón de difracción de la muestra templada (a) y muestra templada y revenida (b).

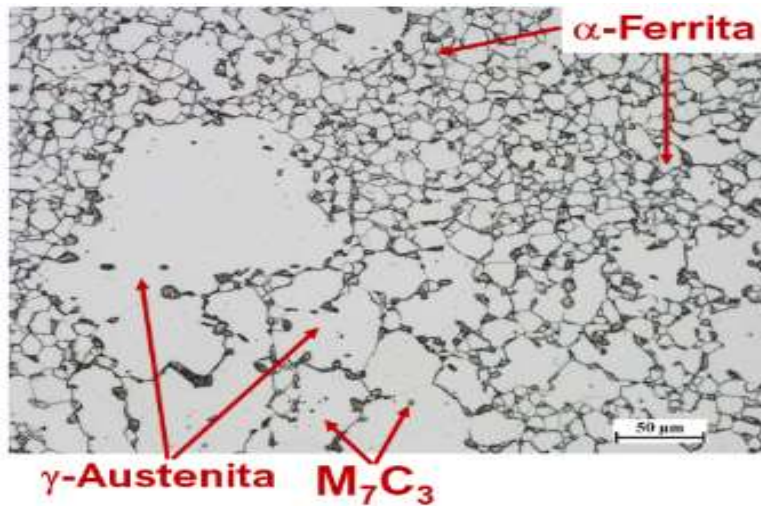


Figura 15. Micrografía de la muestra templada a 900 °C por 15 minutos. Se observan granos de austenita (mayor tamaño), granos de ferrita (menor tamaño) y dentro de los granos austeníticos están los carburos M7C3.

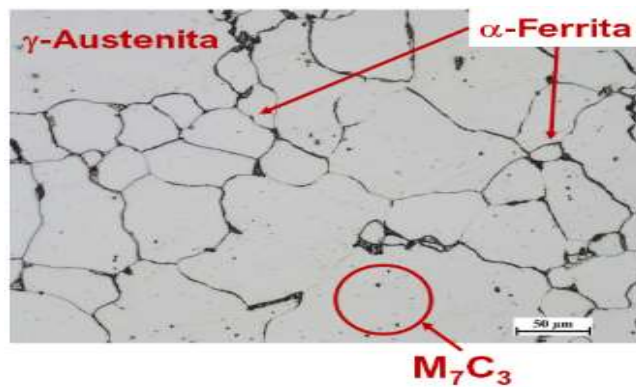


Figura 16. Micrografía de la muestra templada y revenida a 400 °C por 1h. Se observan granos de austenita (mayor tamaño), granos de ferrita (menor tamaño) y dentro de los granos austeníticos están los carburos M7C3, además los granos ferríticos crecieron de tamaño debido al tratamiento de revenido.

Las micrografías tomadas por MO de la muestra templada, Figura 15 y la muestra normalizada, Figura 16. Se observan las mismas fases resueltas por DRX, las cuales son ferrita, austenita y el carburo M_7C_3 . No se observa la fase martensítica esto debido a tres factores, el primero que la temperatura de austenización no fuera el adecuado, segundo que el tiempo de permanencia a la temperatura de austenización no haya sido suficiente y tercero que hayan sido ambas.

Caracterización mecánica

Microdureza Vickers

La Figura 17, muestra la variación en las microdureza Vickers de las muestra original y las muestras tratadas térmicamente por recocido total, normalizado, temple y temple-revenido.

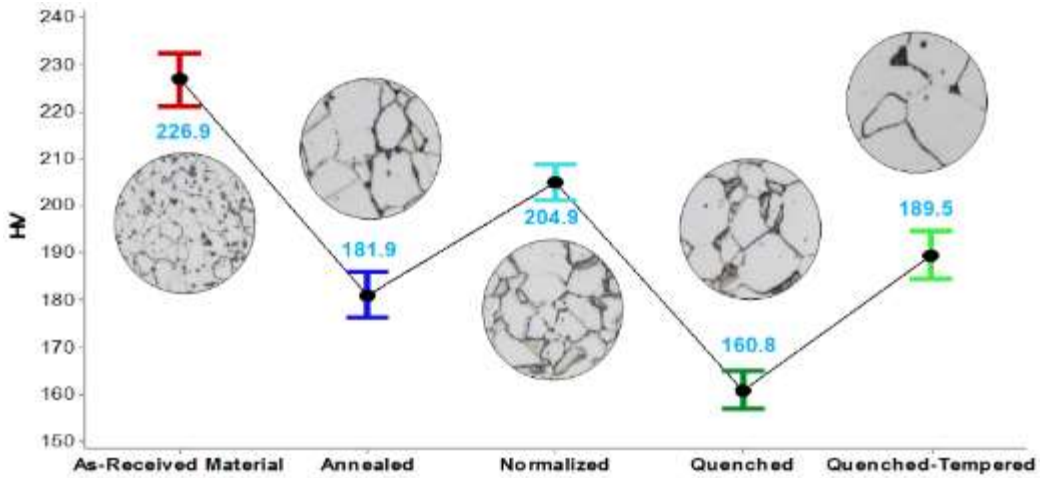


Figura 17. Grafica de los valores de microdureza Vickers del acero de estudio en diferentes estados. Las condiciones de operación fueron de 200 gf y 12 s.

Ensayo de tensión

Se realizó una prueba de tensión a la muestra original como se indica la norma ASTM E8/E8M tomando las dimensiones para el espécimen para materiales de lámina. La Figura 18 es la curva de esfuerzo ingenieril vs. deformación ingenieril de la muestra original, donde están valores de límite de cedencia, esfuerzo de cedencia, resistencia a la tensión, etcétera. La Tabla 2 son algunos de los valores obtenidos de la curva.

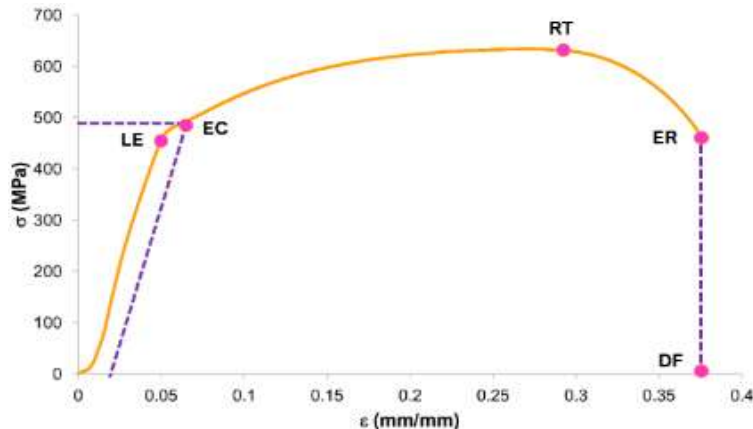


Figura 18. Curva de esfuerzo vs. deformación ingenieril de la muestra en estado original. Velocidad de deformación fue de 0.5

Tabla 2. Muestra algunos valores obtenidos de la curva esfuerzo vs. deformación ingenieril de la muestra original.

Límite de cedencia	Esfuerzo a la cedencia	Resistencia Máxima	Esfuerzo a la fractura	Módulo elástico	Módulo de resiliencia	Ductilidad %EL	Deformación a la fractura
470 MPa	494 MPa	634.34 MPa	454.16 MPa	934 GPa	130.64 J/m ³	20	0.377

CONCLUSIONES

De acuerdo con el objetivo planteado en este estudio y del análisis de los resultados preliminares de la simulación numérica y experimentales se tienen las siguientes conclusiones:

De acuerdo con el programa de simulación numérica Thermo-Calc® y el submódulo incluido TC-PRISMA®. La secuencia de precipitación durante el envejecido indica que el carburo M₇C₃ es el precipitado estable en el acero de estudio.

El tratamiento térmico de recocido total y normalizado destruye la microestructura original, observándose la fase austenítica en las micrografías y comprobado por DRX. La disminución de dureza con respecto a la dureza de la muestra original se debe a la aparición de la fase austenítica. El aumento de dureza en la muestra normalizada con respecto a la recocida se debe a la mayor cantidad de ferrita y el carburo M₇C₃.

El tratamiento térmico de temple y revenido fue ineficaz ya que la fase martensítica deseada no trasformo, pero mostro que el tratamiento térmico QP puede llevarse a cabo en el acero de estudio debido a la presencia de la fase austenítica a temperatura ambiente después del temple y revenido, indicando la estabilidad de la austenita. La mayor cantidad de austenita se notó en la caída de dureza con respecto a la muestra original, recocida y normalizada.

De acuerdo con el ensayo de tensión se puede concluir que el acero de estudio cuenta con buenas propiedades mecánicas principalmente su ductilidad del 20% y una resistencia máxima de 634.34 MPa. Se espera que estos valores aumenten cuando se les realice los tratamientos térmicos QP y QPT.

BIBLIOGRAFIA

1. Radhakanta, Rana. & Shiv Brat, Singh., (2016). *Automotive Steels Design, Metallurgy, Processing and Application*. (1st ed., págs. 1-481). Woodhead Publishing.
2. Mahmoud, Y. Demeri, (2009). *Advanced High-Strength Steels Science, Technology and Applications*. ASM International.
3. Pereloma Elena, Edmonds David V. (2012). Phase Transformations in Steels Volume 2: Diffusionless transformations, high strength steels, modelling, and advanced analytical techniques, (1st ed., page 247-268), Cornwall, U.K, Woodhead Publishing in Materials.
4. John G. Speer, Fernando C. Rizzo Assunção, David K. Matlock, David V. Edmonds, (2005). The “Quenching and Partitioning” Process: Background and Recent Progress, (Materials Research, Vol. 8, No. 4, page 417-423)
5. J. Speer, D.K. Matlock, B.C. De Cooman, J.G. Schroth, (2003). Carbon Partitioning into Austenite after Martensite Transformation, (Acta Materialia 51, page 2611-2622), Miami, USA, Published by Elsevier Science.
6. J. G. Speer, A. M. Streicher, D. K. Matlock, and F. C. Rizzo, “Quenching and Partitioning: A Fundamentally New Process to Create High Strength TRIP Sheet Microstructures,” in *Austenite Formation and Decomposition*, pp. 505–522, 2003.
7. Aggen et al. (1993). Classification and Designation of Carbon and Low-Alloy. En Aggen et al., *Properties and Selection: Irons, Steel, and High-Performance Alloys* (10th ed., Vol. 01, págs. 328-354). OH, Materials Park, U.S.A.: ASM International.

8. Porter, D., Easterling, K., & Sherif, M. (Reprinted 2009). *Phase Transformations in Metals and Alloys* (3rd ed.). FL, Boca Raton, U.S.A.: CRC Press.
9. Enomoto, M., I. Aaronson, H., & K. Lee, J. (2010). *Mechanisms of Diffusional Phase Transformations in Metals and Alloys* (1st ed.). Boca Raton, F.L., U.S.A.: CRC Press.
10. D. P. Koistinen and R. E. Marburger, "A general equation prescribing the extent of the austenite martensite transformation in pure iron-carbon alloys and plain carbon steels," *Acta Metallurgical*, vol. 7, pp. 59–60, 1959.
11. Branstetter, B. L., & Benscoter, A. O. (2002). Introduction to Steels and Cast Irons. En B. L. Branstetter, & A. O. Benscoter, *Metallographer's Guide Practices and Procedures for Irons and Steels* (1st ed., págs. 1-41). OH, Materials Park, U.S.A.: ASM International.
12. B. Kim, J. Sietsma, M.J. Santofimia, (2017). The role of silicon in carbon partitioning processes in martensite/austenite Microstructures, (*Materials and Design* 127, page 336-345), The Netherlands.
13. Shuhui Li, Danqing Zou, Cedric Xia, Ji He, (2016). Effect of Strain Rate on Deformation-Induced Martensitic Transformation of Quenching and Partitioning Steels, (*Steel Research in* 87, No. 87, page 1302-1311), Weinheim, Germany.
14. Berns, H., & Theisen, W. (2008). Fundamentals of Ferrous Materials, Ferrous Materials and their Applications. En H. Berns, & W. Theisen, *Ferrous Materials Steel and Cast Iron* (C. Scheibelein, Trad., págs. 3-63,352-369). Leipzig, Germany: Springer.
15. T. Y. Hsu (Xu Zuyao), (2008). Quenching–Partitioning–Tempering Process for Ultra-High Strength Steel, (*International Heat Treatment and Surface Engineering*, Vol.2, No.2, page 62-67), USA.
16. Kozeshnik, E. (2007). Modeling Precipitation as a Sharp-interface Phase Transformation. En K. G. F. Janssens, D. Raabe, E. Kozeshnik, M. A. Miodownik, & B. Nestler, *Computational Materials Engineering An Introduction to Microstructure Evolution* (1st ed., págs. 179 - 215). Oxford, U.K.: Elsevier Academic Press.
17. Thermo - Calc Software. (2019). *User's Guide Thermo - Calc and TC - PRISMA 2019b*.
18. Designación ASTM. (Revisión 2011). *E3 - 11, Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. U.S.A.: ASTM International.
19. Designación ASTM. (Revisión 2007). *E407 - 07e1, Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*. U.S.A.: ASTM International.
20. Designación ASTM. (Revisión 2016). *E8/E8M-16a, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*.
21. Designación ASTM. (Revisión 2011). *E384 - 11, Standar Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials*. U.S.A.: ASTM International.

PROCESOS DE FABRICACIÓN AUTOMOTRIZ SUSTENTABLES

Itzel Guadalupe Del Valle Reynoso, Guillermo Urriolagoitia Sosa, Beatriz Romero Ángeles, Jacobo Martínez Reyes

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, idelvalle910430@outlook.com

RESUMEN

En la última década, los residuos ocasionados por los automóviles, cuando concluye su vida útil, han sido un problema que ha llamado mucho la atención. Sin embargo, la realidad es que el fin de la vida útil del mismo no es el único problema ocasionado al medioambiente. Situaciones como las emisiones contaminantes, los tratamientos y lubricantes utilizados, el uso de combustible y el ruido que generan al momento de ser empleados, son de suma importancia y requieren acciones inmediatas. Durante las distintas fases del ciclo de vida de un automóvil, se genera un gran impacto ambiental. Actualmente existen diversas legislaciones relacionadas con los impactos que se generan directamente proporcionales a la etapa del ciclo de vida del automóvil. De acuerdo a este análisis se expresan las contramedidas posibles a realizar para disminuir los problemas que se presentan. En los últimos años diversas compañías automotrices han realizado esfuerzos para obtener resultados importantes y contribuir a que el impacto ambiental sea menor. Algunas de ellas son niveles bajos en emisiones de gases invernadero, menor cantidad de residuos y la reducción considerable del uso del agua en las instalaciones de producción. Esto se ha llevado a cabo gracias al enfoque en materia de reciclaje, algunas iniciativas sustentables de los empleados contribuyendo a una unidad de trabajo más limpia con métodos de producción más modernos. Estudios revelan que se han disminuido 12% el volumen de materia prima por unidad requerida por algunas armadoras desde el año 2014 hasta la actualidad y en un 21% desde el 2003. A esto se le añade una disminución del 22% en el acero requerido para producir un vehículo y el 11% menos en el consumo de pintura durante el mismo periodo. Para poder reutilizar algunos materiales desechados, se debe conocer la clasificación existente para separarlos, por ejemplo, el acero recubierto de Zinc no utilizado, en la mayoría de los casos es enviados al país de origen de la armadora. Los materiales a desechar que nos son reutilizados o reciclados son incinerados o enterrados. En cuestión al consumo de agua se han implementado medidas para preservarla, esto incluye la participación de los empleados en cuestión de hábitos higiénicos, de acuerdo con los informes de algunas armadoras se redujo en un 5% el uso del agua. Gracias a estas contramedidas en general han disminuido las emisiones de dióxido de Carbono que proviene de cada uno de los procesos de producción, ya que tienen un impacto generalizado, la disminución se presenta en un 2% desde 2008. A su vez los contaminantes nocivos como partículas de pintura, compuestos orgánicos volátiles, partículas de polvo y gases de combustión han disminuido.¹

INTRODUCCIÓN

Propiamente dicho la industria automotriz se integra por dos ramas primordiales: la industria terminal, que es aquella que se encarga de fabricar el motor, la transmisión y algunos conjuntos mecánicos, y principalmente de ensamblar finalmente el vehículo para ponerlo en venta bajo su marca, y la industria auxiliar, encargada de realizar las demás partes del automóvil. Entre estos dos grupos la producción es mejor conocida con el nombre de industria horizontal y es, principalmente, el ejemplo norteamericano, integrado de manera vertical, con una organización en la que en una sola fábrica se concreta la producción completa. Un vehículo automotor está integrado, actualmente, por un aproximado de 500 partes, algunos son conjuntos o grupos de partes, según los datos arrojados por la misma industria automotriz. En la etapa de ensamble en México se producen el 25% de los componentes. En los últimos 20 años, se le ha dado especial atención a la problemática de los residuos generados por los automóviles al final de su vida útil, siendo un acontecimiento muy relevante la creación de normativas y asociaciones referentes a los vehículos que están fuera de uso. Por ejemplo, la Comisión Europea de la Directiva 2000/53/CE. Se sabe que los vehículos automotores que llegan al fin de su vida útil generan millones de toneladas de residuos. Esta directiva

antes mencionada tiene como objetivo reducir al mínimo el impacto sobre el medio ambiente, y reforzar una mejor reutilización de los materiales para mejorar la conservación de la energía. Sin embargo, el fin de la vida útil de un automóvil no es el único problema medioambiental generado por esta industria. Característica como las emisiones atmosféricas, la gestión de los aceites utilizados, el consumo de combustible, y la contaminación acústica, durante su etapa de uso, son importantes de la misma manera y requieren acciones preventivas y correctivas.²

La sustentabilidad adquiere mayor importancia conforme avanzan los años y cuando se menciona el sector automotriz es imposible no mencionarla, ya que a medida que la población se incrementa, también incrementa la producción automotriz, esto conlleva un mayor consumo de materiales como: plástico, vidrio, acero, gasolina, diésel, u otro tipo de combustible, generando así un gran impacto en el medio ambiente. Aunque existen diversas alternativas para reducirlo, por ejemplo, la tecnología ha evolucionado para permitir la fabricación de vehículos más nobles con el medio ambiente y priorizar la relación con el entorno. El sector automotriz según un informe de las armadoras, encara un proceso de transformación sin retorno donde el objetivo principal es buscar que la energía que se encarga de la movilidad de los vehículos evolucione de ser derivada de combustibles fósiles a energías limpias. El motivo se presenta a través de los niveles elevados de contaminación que se registran en importantes centros urbanos del mundo, como la Ciudad de México. Es por eso, que se ha ido estableciendo un futuro ecológico con la implementación de mejoras como lo son: mejores combustibles, carros híbridos, materiales livianos, materiales reciclables, vehículos eléctricos, por mencionar algunos. El impacto ambiental que se produce a lo largo de las etapas del ciclo de vida de un automóvil van desde el procesado de las materias primas hasta su retiro y tienen distinto grado de importancia. Algunas armadoras han estudiado los diferentes impactos, en función del ciclo de vida del automóvil. De acuerdo a este análisis, se llevan a cabo posibles medidas que se llevan a cabo para disminuir los problemas que se identifican con anterioridad.³

TEORÍA

El sector automotriz es considerado el más exitoso del país a nivel económico, constantemente está en busca de tecnologías innovadoras que resuelvan dos problemáticas: la primera, disminuir el peso del vehículo y la mejora de sus componentes, y la segunda es el desarrollo de instalaciones lo más sustentables posibles. Un aproximado de 60 compañías del ramo automotriz dispuestas en México, han hallado en el coprocesamiento una opción sustentable para la adecuada manipulación de los residuos industriales que producen como textiles, agua, plásticos sucios, lodos de pinturas, resinas, emulsiones y lodos de plantas de tratamiento de aguas. La era moderna de la movilidad va estar definida por la conectividad, la conducción autónoma y la sustentabilidad. Deberá ser un eje indispensable la sustentabilidad para gobiernos, compañías y la ciudadanía. En todos los procesos automotrices debe estar presente, desde la extracción de la materia prima, hasta la finalización del producto. Se define la sustentabilidad como la integración de los aspectos sociales, económicos y ambientales en la toma de decisiones de negocios, con el objetivo de afianzar el futuro de la compañía en cuestión.⁴

PARTE EXPERIMENTAL

Es un eje a destacar la aplicación tecnológica como cimiento del desarrollo sustentable del sector automotriz. Dado que es una condición para que todos los ejes sean posibles, hay aparatos innovadores que destacan una diferencia. Por ejemplo, en Fiat, se realizó la instalación de ecotubos, laminas reflectantes que se colocan en los tubos fluorescentes para disminuir el consumo y, aunado a esto, el monto a pagar por el servicio de luz. Con respecto a las emisiones de CO₂, la armadora Ford empezó a medir y publicar su inventario de carbono, de acuerdo a los lineamientos del GHG Protocol, para implementar acciones que reduzcan los niveles del mismo. Una política parecida puso en práctica Toyota, monitorea las emisiones de todo su transporte interno.⁵

Bayerische Motoren Werke

La sustentabilidad es un tema muy complejo que va mucho más allá del cuidado del medio ambiente. En el Foro de Sustentabilidad, Movilidad Urbana y Eléctrica, que data del año 2017, BMW Group mencionó su experiencia como la compañía lleva a la práctica la sustentabilidad. En México está

establecida la planta de BMW Group, con exactitud en el estado de San Luis Potosí, según Úrsula Mathar, Vicepresidente BMW Sustainability, comenta que su planta tiende a ser la más sustentable de la marca en todo el mundo. La marca compartió durante el foro algunas características de la planta, por ejemplo, el uso de 71,000 paneles solares, un aproximado del 20% de energía competente para la línea de ensamble. Otra característica importante es el uso de luces LED, jardines propios de la región esto para evitar el mantenimiento y gasto de agua, separación de pintura, laguna de evaporación, entre otras medidas. De este modo, la empresa busca la certificación como empresa limpia ante la Semarnat y la Profepa. Una prueba del uso de materiales ligeros que se fabrican de manera sostenible, se encuentra en sus vehículos i8. Sus componentes son fabricados a partir de materias primas renovables, no solo se trabaja en el producto final para lograr que sea sustentable. Un claro ejemplo es la planta de Leipzig en Alemania, el proceso de producción del i3 y el i8, es sustentable. Considerada una de las plantas más eficientes a nivel mundial, debido al uso óptimo de recursos naturales, energía eléctrica y recursos como el agua. La fibra de carbón empleado que es extraída en los Estados Unidos mediante un proceso que tiene menos emisiones en el ambiente. Otro ejemplo en cuestión es la energía eólica que esta alrededor de la planta y que es totalmente visible, ya que se tienen las plantas que generan esta energía que es empleada precisamente en la construcción y en el proceso productivo.⁶

Kia Motors

Kia Motors, se describe a sí misma como una empresa comprometida con el medio ambiente y la sustentabilidad, buscando en todo momento la mejora y el perfeccionamiento de sus procesos para lograr el 100% en la creación de sus automóviles, amigables con el medio ambiente, una característica de este decreto es su proceso de pintura, donde los compuestos volátiles orgánicos son trasladados por medio de su sistema Regenerative Thermal Oxidizer (ROT), dicho sistema purifica el aire para que al momento de ser liberado al medio ambiente esté libre de residuos contaminantes. El sistema empleado en su nave de pintura, es considerado uno de los procedimientos más limpios de la industria automotriz, no solo pensando en la estética de los automóviles bajo los más altos estándares de calidad, sino también disminuir el impacto ecológico a través de la creación de procesos sustentables. En Kia Motors México, la nave de pintura es la parada número tres y cuenta con 3 pisos de estructura 48 robots a lo largo del recorrido de sellado. El sistema de transporte por el cual pasa cada unidad, donde se realiza cada fase del proceso de ensamble cuenta con una longitud de 7.5 km. Dicha nave está enfocada en la producción del Kia Forte en sus dos versiones sedán y hatchback, se tiene la oportunidad de pintar de 12 colores diferentes con alta calidad. Cabe destacar que la planta de Kia Motors México está equipada con la más avanzada tecnología, ya que cuenta con la certificación ISO-14001:2015, esta certificación afianza la integración completa de la gestión ambiental y las estrategias de negocio. Dentro de los aspectos y prácticas se puede presumir la operación eficiente en torno al cumplimiento del 100% de la legislación ambiental, ya que se puede encontrar la instalación al 100% con alumbrado LED en sus interiores y en el exterior del complejo en puntos claves del complejo industrial, ubicado en Pesquería, en el estado de Nuevo León. Parte del equipamiento son sus muros, paredes y ventanas hechas de material térmico para no consumir energía eléctrica excesivamente. Aunado a esto, Kia Motors México cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales con una capacidad aproximada de 27,000 metro cúbicos al día, para lograr la reincorporación del agua limpia al medio ambiente. Kia Motors México sigue trabajando para lograr utilizar menos agua, en la producción de emisiones de CO2 y de contaminantes atmosféricos. El informe anual de sostenibilidad "MOVE" de Kia Motors Corporation, ha progresado de manera importante en cuestiones de reducción del impacto ambiental en el interior de sus plantas de producción. En los últimos meses Kia ha obtenido resultados sobresalientes, por ejemplo; niveles más bajos de emisiones de gases invernadero, menos residuos y menor consumo de agua a través de sus instalaciones de producción nacionales. Logrado a través del fuerte enfoque en el tema de reciclaje, la proactividad de los empleados, la disminución de residuos y una planta más limpia con métodos de producción más actuales. La perspectiva continua en sostenibilidad por medio de las unidades de fabricación de la marca ha disminuido al mínimo el impacto ambiental durante el proceso de crecimiento de Kia en todo el mundo. En temas de reutilización de materiales que se desechan, es primordial conocer los tipos de clasificación que hay para poderlos separar adecuadamente, el acero cubierto de Zin es enviado

a Corea. Aunque hay posibilidad de que el acero sin recubrimiento sea reciclado para su uso en la fundición de la planta ubicada en Gwangju en Corea del Sur de Kia. Es así como la compañía inserta programas para el reciclaje y la reutilización de diluyentes y pinturas, mientras otros residuos están siendo utilizados para hacer cemento utilizado en la construcción, entre otros materiales. Algunos materiales que son desechados debido a que no pueden ser reutilizados o reciclados son enterrados o incinerados, según convenga, un total del 1% del universo de residuos de la fábrica. En Sohari, Corea del Sur cuentan con una capacidad de producción de 340,000 vehículos al año, y ha generado 0% de residuos desde el año 2008.⁷

Otras armadoras

Otros ejemplos de armadoras en México son; Nissan el 100% de agua en sus plantas en los estados de Aguascalientes y Cuernavaca, es reciclada. Continental cuenta con las llamadas tecnologías verdes, que sirven para la conservación y reciclado de envases, aunado a esto el uso de materiales biodegradables; y por último Toyota y su armadora en Celaya, actualmente en construcción, con la visión de ser la más verde en todo el mundo. En temas de fabricación, si tomamos en cuenta que en la gran mayoría de los vehículos su funcionamiento es con motores de combustión interna: generan hidrocarburos, gases y residuos. La cantidad de emisiones contaminantes depende de muchos factores. Este fin solo podría ser posible con un motor que consumiera una gran cantidad de combustible, es por eso que, para lograr este objetivo, se requiere reducir el peso del vehículo y mejorar sus componentes. Es un trabajo constante de las armadoras diseñar y construir motores más eficientes y con materiales más ligeros. Una opción actualmente es el desarrollo de motores de aluminio, en lugar de acero y fundición de hierro, siendo más eficientes, con un sistema electrónico mejorado y transmisiones evolucionadas que impiden el desperdicio de energía de los mismos motores. En la actualidad el sector automotriz tiene en mente sustituir los materiales pesados por plásticos y compuestos, tales como polímeros muy específicos de alta tecnología. En estos momentos las armadoras y proveedoras automotrices se encuentran en un proceso de incorporación de tecnologías nuevas en lo que al uso de energías se refiere. En este proceso, sustituyen la electricidad convencional, que es posible que sea suministrada por una carboeléctrica o una termoeléctrica, para utilizar electricidad de plantas eólicas. Otra característica que será tendencia es la sustitución en casi todos los edificios con la implementación de tecnologías inteligentes, para controlar la entrada de aire, agua y luz. Aunado a esto casi todas las marcas están comenzando con el cambio a paneles solares. Cabe destacar que esta electricidad no se emplea para realizar los procesos productivos, ya que no tienen la capacidad para lograr sostener la operación de los equipos. Un punto importante es el reciclado de agua en cualquier nivel. En las armadoras la pintura es a base de agua y no de solventes como antiguamente se estilaba. Al finalizar el proceso de pintura, se hace un tratamiento especial y se termina reciclando para cualquier proceso secundario. Los procesos de manufactura, en específico la línea de producción de las armadoras, se encuentra en una etapa de mejoramiento y depuración, para lograr reducir el tiempo de ensamble, con la finalidad, de reducir el consumo de energía y disminuir la contaminación. Pertenecen a estos programas empresas de nivel 1. Pero las empresas de niveles 2 y 3 paulatinamente se verán obligadas a implementar el uso de nuevas tecnologías. Bajo un concepto de clúster, las armadoras mexicanas están trabajando, esto significa, que comparten instalaciones y servicios. Bajo este contexto, el uso del papel para impresiones se evita lo más posible con archivos electrónicos; compartiendo servicios de copias, alimentarios y otras obligaciones de disminución del impacto ambiental. Otro tema importante es la logística. Las armadoras y las distribuidoras de autopartes comparten el transporte del vehículo ya terminado a sus centros de distribución y venta, esto con el fin de reducir las emisiones contaminantes.⁸

RESULTADOS

El enfoque de Kia para mejorar los métodos de producción ha dado resultados, como la disminución de 12.4% en el volumen de materias primas que son requeridas por vehículo desde el año 2014 y una reducción del 21.5% desde el 2003. Con respecto a la cantidad de acero necesaria para producir cada unidad se presentó una caída del 22.1%, y con respecto al consumo de pintura una caída del 11.7% dentro de un mismo período desde el año 2003. Con la finalidad de que este resultado de una mayor eficiencia, Kia registro una disminución del 1.2% en la producción de residuos por vehículo

desde el año 2014 y una reducción del 30% desde 2003. Datos arrojados en el año 2015, de las tres plantas que producen en México generaron un total de 233,442 toneladas de residuos, aproximadamente un 0.2% menos con respecto al años 2014 pese al crecimiento de la producción, obteniendo así que las tasas de reciclaje continúen en aumento, gracias a la proactividad de la compañía para hallar usos alternos del material de desecho logrando aprovechar el 93.7% equivalente a 219,000 toneladas. En las plantas de producción de KIA en el año 2015, se visualizó un recurso limitado en el agua, esto permitió poner en marcha una serie de medidas para conservarla, añadidas las campañas de preservación para los empleados. Aunque se presentó un crecimiento en la producción de las tres plantas de fabricación, el consumo del agua de KIA disminuyó en un 5.5% en volumen total para el año 2015, paso de 6.3 millones de m³ a 5.957 millones de m³, un 6.5% por vehículo. Traducido a una reducción en el consumo del 38.5% desde el año 2003. Para finalizar en las últimas cifras de KIA se puede observar que las emisiones de dióxido de carbono que provienen directamente del proceso de producción también disminuyó. KIA se ha transformado en la primera empresa coreana en poner en práctica la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero con sus instalaciones de servicio y producción por parte de un tercero, fueron vigilados los niveles de emisiones por la Korea Energy Management Corporation. En el año 2015, las emisiones generadas de CO₂ en la producción tuvieron una reducción del 2.8% año tras año y han disminuido en un 29.6% desde el año 2008. También se ha presentado una disminución en el nivel de contaminantes atmosféricos nocivos producidos por cada unidad durante el proceso de fabricación, esto incluye compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas de polvo, gases de combustión y partículas de pintura. Con respecto a los niveles de COV son al día de hoy un 54.2% menor que el año 2005, aunado a que las emisiones contaminantes del aire disminuyeron en un 5% desde el año 2014 hasta el año 2015, actualmente un 53% menor a las del año 2003.⁹

Éxitos destacados de algunas empresas

Fiat: desde hace cinco años ha sido la marca automotriz con menores emisiones contaminantes en Europa, debido al uso de motores MultiAir y MultJet. Algunos de sus programas como RSE, direccionados a la comunidad en Argentina, dieron paso a suscribirse al Pacto Global de las Naciones Unidas. Ford: en el año de 1988 fue líder en temas ambientales en el sector automotriz cuando obtuvo la certificación ISO 14001 encargada de los sistemas de gestión ambiental en sus plantas alrededor del mundo, para extender así su cadena de valor. General Motors: alrededor del mundo cuenta con aproximadamente 100 plantas, que ya han sido declaradas "landfill-free". Que el 100% de sus plantas operan bajo esta condición es parte de su objetivo en este año 2020. Honda: con su proyecto "Blue skies for our children" que tiene como objetivo eliminar el uso de combustibles, desarrollar vehículos híbridos, altamente duraderos, para cuidar el planeta. Toyota: líder en el mercado, responsable del 80% de las ventas de híbridos alrededor del mundo. Responsable de los 2.2 millones de emisiones de CO₂ del total de 19 millones que disminuyeron, gracias a la venta de Toyota Prius.¹⁰

CONCLUSIONES

En estos momentos tan críticos para el planeta tierra, la industria impacta en cualquier sector industrial debido al uso de energía, es de gran preocupación la contaminación ambiental generada en las plantas, afectando aire, agua y suelo, para las empresas trasnacionales el factor ecológico se ha vuelto primordial. A partir de esta idea, la industria ha puesto en práctica un conjunto de transformaciones tecnológicas que ayudan a mejorar la competitividad y priorizar la relación con el entorno. Es un hecho que aquellas marcas que quieran sobrevivir y competir sanamente en este mercado, deberán estar haciendo investigación, desarrollando nuevos motores para no perder potencia, lograr la reducción de materiales para la pérdida de peso y que la contaminación generada debido a sus procesos sea la menor posible. El hecho de que la industria automotriz sea el séptimo fabricante de vehículos a nivel mundial, requiere el cumplimiento de altos estándares en el tema ambiental es por ello que las empresas necesitan procesos y tecnología de punta que les permita tratar adecuadamente sus residuos, aquellos generados en sus procesos de producción. Es vocera de importantes inversiones en nuestro país la industria automotriz, debido a su constante crecimiento en niveles de producción, es generadora de empleos y uno de los pilares de la economía mexicana.

La industria automotriz a nivel mundial está migrando hacia opciones amigables con el medio ambiente para asegurar que las generaciones futuras tengan los mismos recursos naturales que hoy gozamos los seres humanos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Instituto Politécnico Nacional y a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, las facilidades para la redacción de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. Conraud Koellner, M. G. Arredondo Hidalgo, "Desempeño sustentable de la industria automotriz en México: nuevas perspectivas de creación de valor para el consumidor millennial", Universidad de Guanajuato México (2017).
2. Javier Rodríguez Labastida, "¿Qué hace la industria automotriz para ser verde?", Revista Alto Nivel (2015).
3. "Kia Motors México realiza proceso de pintura sustentable en planta", Portal Automotriz (2016).
4. "Más de 60 compañías de la industria automotriz utilizan el coprocesamiento como alternativa sustentable" Portal Automotriz (2015).
5. Valle, "Impacto ambiental y social en la industria automotriz", Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga (2017).
6. "La sustentabilidad: una tendencia en alza en la industria automotriz", Revista Estructurplan (2013).
7. F. Díaz, "Kia y el impacto ambiental en la fabricación de vehículos", Revista Autocosmos (2016).
8. K. Ochoa Valladolid, "La industria automotriz de México: las expectativas de competitividad del sector de autopartes", Universidad de Guadalajara, México (2005), pp 33-58.
9. M. D. L. A. Pozas Garza, "La industria automotriz de México: las expectativas de competitividad del sector de autopartes", (2006), pp 96-103.
10. M. A. Arroyo Arazola, "La Sostenibilidad en el Sector Automotriz", Universidad Iberoamericana México, 2015.

REDUCCIÓN DEL KPI DE SCRAP EN LAS KOMAX 488 DEL ÁREA DE CORTE DE UNA EMPRESA DE ARNESES ELÉCTRICOS AUTOMOTRICES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LEANSIX SIGMA

Beatriz Adriana Esparza Ramírez¹, Luz Cecilia López Ureta², Edgar Javier Silva Refulio² y Andrea Martínez Centeno¹

¹Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Lagos de Moreno, ²Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Campus Zapopan.
beatriz.esparza@lagos.tecmm.edu.mx

RESUMEN

El presente proyecto de investigación compila los resultados obtenidos a través de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, particularmente del DMAIC para disminuir el scrap en las máquinas Komax 488 (trenzadoras) del área de corte de una empresa de arneses eléctricos automotrices. Dicha empresa opera como proveedor de primer nivel para Volkswagen y BMW por lo que resulta necesario y conveniente la adopción de estrategias que permitan hacer sus procesos más esbeltos y robustos. La finalidad sobre la que versa el desarrollo del presente proyecto es la de lograr reducir el scrap en las máquinas de trenzado, que alcanzaron los 8.35 gr/min en los meses de mayo a septiembre sobrepasando la meta establecida de 6.5 gr/min en 1.85 gr/min. Para el desarrollo del proyecto se emplearon distintas herramientas dentro de las que se encuentran: diagrama de SIPOC, diagrama CTQ (Critical to Quality), VSM, diagrama de Ishikawa, Pareto, matriz de causas, AMEF, y otras técnicas de la filosofía lean para lograr reducir el scrap a 7.578 gr/min disminuyendo el valor de este indicador, incrementar la productividad del área y, por ende, brindar mayor satisfacción al cliente.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra la aplicación de Lean Six Sigma como metodología de tipo ingenieril para la reducción del KPI (indicador Clave de Desempeño) en las máquinas Komax 488 del área de corte en una empresa de arneses eléctricos automotrices durante el periodo mayo-diciembre 2019. Mediante la herramienta DMAIC, se definió la problemática asociadas a la generación de scrap consultando bases de datos de la empresa, así como haciendo uso de herramientas como diagrama de SIPOC, Critical to Quality (CTQ). Se establecieron métricas e indicadores con estudios de campo de los que se obtuvo un Mapeo de la Cadena de Valor (VSM) del que se desprendió un minucioso (AMEF, diagramas de Ishikawa, Pareto, matriz de causas) análisis para poder plantear, desarrollar, proponer y gestionar un conjunto de medidas que permitan mejorar y controlar los niveles de scrap haciendo el proceso más esbelto y robusto eliminando todo aquello que no agrega valor y da satisfacción al cliente.

Además, se desarrollaron propuestas extensivas para las demás máquinas y departamentos que integran el área, los cuales tienen impactos significativos no solo en el ámbito económico, sino también humano y medioambiental.

Finalmente, se pudo comprobar que, a través de la rigurosa aplicación de esta metodología, así como de la investigación científica es posible obtener beneficios en las organizaciones, orientándose hacia una cultura de mejora continua y garantizar su permanencia en un mercado tan demandante como lo es el de la industria automotriz moderna.

TEORÍA

El entorno de la industria del siglo en turno, se caracteriza por la competitividad, la velocidad de los cambios, y la inestabilidad de la demanda. Esto, en gran parte es debido al alto nivel de exigencia por parte de los clientes en mercados maduros, los cuales demandan bienes y servicios de calidad que cumplan necesidades particulares, a la vez que requieren entregas más frecuentes y rápidas. Empresas de giro automotriz y electrónico responden a través del aumento de la variedad productos o servicios que ofrecen, así como también mediante el ajuste de su sistema productivo el cual dejó de ser en masa, para nivelarse con la demanda de sus clientes.

Las organizaciones que han acogido los principios de lean manufacturing han catapultado su éxito, logrando un auge sin precedentes en las últimas décadas

“El conjunto de herramientas y técnicas de este concepto representa una oportunidad de desarrollo para la manufactura actual. Si su implementación se lleva a cabo de manera correcta, se puede añadir flexibilidad y confiabilidad a la producción, satisfacer mejor las necesidades y requisitos de los clientes, responder más rápido a la variación de la demanda, reducir el desperdicio y reducir los costos. Lo que se traduce en mayor competitividad, más contratos o pedidos obtenidos, mayores beneficios económicos y supervivencia de la empresa”. (Carbajal Suárez, Almonte, & Mejía Reyes, 2016).

La presencia de empresas autopartistas se extiende a 21 estados de la República Mexicana las cuales se encuentran distribuidas en las zonas centro y norte del país. Sin embargo, es en la región del Bajío (Querétaro, San Luis Potosí, Aguascalientes) donde se concentra el mayor número de fábricas.

En 21 estados de la República Mexicana se tiene presencia de empresas autopartistas, distribuidas en la zona centro y norte del país. Sin embargo, es la región del Bajío la que concentra el mayor número de fábricas.

“En el país se producen principalmente partes eléctricas (22% del total), telas, alfombras y asientos (10%), transmisiones, embragues y sus partes (8%); accesorios y partes de uso automotor (8%) y motores a gasolina (5%)”. (Valdenebro Covarrubias, 2014).

Industrias como la del vidrio, el plástico, los textiles y la metalmecánica se han visto inmersos en el sector automotriz, logrando encadenamientos productivos que dinamizan la economía de las regiones donde se encuentran ubicadas.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el sector contribuye con 2.9% del Producto Interno Bruto (PIB) total nacional y 17.1% del manufacturero. Además, genera 3.3% del empleo total nacional y 14.2% del manufacturero concentra 17.5% del total de las remuneraciones monetarias y, en 2013, las ventas automotrices al exterior representaron 25.2% del total de las exportaciones mexicanas, superando a las petroleras y a las de equipo y aparatos eléctricos y electrónicos.

Asimismo, la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz puntualiza que, de 1999 al segundo trimestre de 2016 este sector de la industria fue uno de los mayores receptores de Inversión Extranjera Directa (IED), al lograr captar 45,687.5 millones de dólares, lo que representa 10.2% de la IED durante ese periodo y 21% del total de la recibida por el sector manufacturero.

Particularmente, los estados de Jalisco y Querétaro (zona occidental) se han visto favorecidos por el establecimiento de este tipo de industrias como proveedores de primer y segundo nivel, buscando de este modo consolidarse como miembros del corredor industrial de la zona Bajío (Aguascalientes, Querétaro y San Luis Potosí) gracias al consenso entre organismos gubernamentales y diferentes empresas extranjeras.

La industria automotriz (IA) es un sector que además de dinamizar la economía, ha captado importantes inversiones, convirtiéndose así en una plataforma de exportación importante a escala mundial.

PARTE EXPERIMENTAL

En ingeniería se aplican diversas herramientas y metodologías para la solución de problemas, así como la optimización de los diferentes procesos que se gestan en la industria.

Dentro de éstas metodologías, se encuentra Seis Sigma, la cual puede aplicarse a cualquier tipo de proceso con la finalidad de eliminar la causa raíz de los problemas mediante la medición de variabilidad y desempeño de la calidad en un proceso. Dentro de los beneficios que se obtienen al aplicarlo se encuentran: reducción de costos, mejora en el tiempo de ciclo, eliminación de defectos, mejorar el nivel de satisfacción del cliente y un incremento considerable de beneficios.

Una de las vertientes de Seis Sigma consiste en una serie de 5 etapas interconectadas que sistemáticamente ayudan a las organizaciones en la solución de problemas y mejora de sus procesos, las cuales son:

- Definir / Define
- Medir / Measure

- Analizar / Analyze
- Mejorar / Improve
- Controlar / Control

O comúnmente denominado DMAIC por sus siglas en inglés y el cual fue desarrollado con la finalidad de reducir el KPI de scrap en las máquinas Komax 488 (Figura 1) del área de corte de una empresa de arneses eléctricos automotrices.



Figura 1: Máquinas Komax 488

Son diversas las variables que intervienen ya sea de manera directa o indirecta en la generación de scrap, por ejemplo: las condiciones del material de trabajo (defectos de fabricación), la capacidad de los operadores en turno (experiencia), condiciones y parámetros de las máquinas, análisis de fuerza de crimpado (CFA), programación del trabajo, capacidad de los departamentos que brindan soporte a producción, entre otras.

Todo lo anterior, conduce a la formulación de una hipótesis sujeta a rechazo o aceptación durante el desarrollo del proyecto, la cual, debe versar en análisis y estudios detallados que respalden o avalen la posibilidad de reducir el scrap que se genera en las máquinas Komax 488 del área de corte.

El área de corte de rige por diferentes KPI dentro de los cuales el scrap se cataloga como prioritario, ya que éste trae consigo un impacto negativo que afecta a cada uno de los 3 turnos que operan a lo largo del día en mayor o menor medida.

Por la naturaleza del proceso que desempeñan, existen máquinas que generan mayor cantidad de scrap que otras. Dentro de dicha condición se encuentran las máquinas Komax 488 (trenzadoras), las cuales trabajan simultáneamente 2 cables, y por lo general, 2 aplicadores, 2 terminales, 2 rieles y 2 estampadoras mientras que las máquinas Komax 355 (lineales) y máquinas Schleuniger (cables de calibre grande) procesan solamente un cable a la vez, de 1 a 2 aplicadores y 1 estampadora con su respectivo riel o rieles según sea el caso, por lo cual las primeras se vuelven un factor potenciador de la cantidad de scrap que se genera diariamente.

Como tal en las máquinas trenzadoras (Komax 488) el scrap se presenta bajo 3 modalidades:

- Set-up: es el scrap resultante de los ajustes que se deben realizar a la máquina para que el cable pueda procesarse correctamente, por ejemplo: muestras para el ciclo de aprendizaje de la máquina y muestras al realizar cambios de carrete.
- Daño en proceso: representa el cable que está fuera de especificación, o que durante el proceso resultó dañado, por ejemplo: cables enredados, cables con terminal ausente, con filamentos embarrados, mal crimpados, con insulación dañada, etc.
- Merma: dentro de ésta categoría se encuentra el cable que durante el proceso productivo la máquina marcó como mal o dañado y que se acumula en la bandeja trasera de la máquina.
- Una última modalidad de scrap se presenta cuando los departamentos que dan soporte a producción como mantenimiento e ingeniería de procesos manipulan las máquinas, a los cuales se les carga el scrap generado durante su intervención para solucionar problemas asociados a su campo de acción.

A partir del desarrollo del presente proyecto se pretende:

- Definir la situación actual, así como todos aquellos factores que intervienen en la generación de scrap en las máquinas Komax 488 (trenzadoras) a través de consulta de datos históricos, estudios de campo y entrevistas al personal del área (supervisores, líderes, operadores, relevos, ajustadores, materialistas y departamentos que brindan soporte).
- Medir a través de estudios de tiempos y observaciones de campo el trabajo que se desempeña en el área para la detección de inconsistencias y áreas de oportunidad.
- Analizar las causas-raíz más relevantes que generan scrap.
- Generar propuestas de valor que permitan controlar y disminuir el scrap en las máquinas Komax 488.
- Desarrollar métodos o sistemas de control que permitan mantener las mejoras implementadas.

El soporte del proyecto descansa en la propuesta hecha por la empresa Motorola a finales del siglo XX: Lean Six Sigma, la cual busca obtener un proceso esbelto y robusto minimizando problemas específicos y posteriormente, optimizarlos mediante la aplicación de herramientas ingenieriles que se agrupan en una metodología concreta, la cual hoy en día se conoce como DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar).

RESULTADOS

Como resultado del análisis realizado se plantearon una serie de mejoras desde tres vertientes: en cuanto el operador se refiere (Tabla 1), para las máquinas y propuestas de tipo medioambiental. Todas persiguen como fin último el control y disminución del scrap que se genera en las máquinas de corte Komax 488 y, por ende, lograr un incremento de productividad.

Tabla 1: Propuestas para el factor máquina que ayudan a la disminución de scrap en las máquinas Komax 488.

Propuestas	Justificación y ventajas que ofrece
Colocación de un dispositivo (cámara o sensor) que permita acomodar la terminal adecuadamente al realizar la medición de la altura de crimpado.	A través de la colocación de una micro cámara en el micrómetro se busca realizar una medición más certera y precisa de la altura de crimpado de conductor y evitar que la aguja baje hasta que la terminal esté correctamente posicionada, disminuyendo así la posibilidad u ocurrencia de errores.
Colocación de un Poka Yoke cuando se realiza la prueba de fuerza con el Pull Tester.	Se busca evitar la manipulación de las pruebas de calidad manteniendo ocupadas las manos de los operarios mientras ésta se realiza, garantizando así que la prueba se hace correctamente.
Elevación de las torretas en las máquinas de trenzado o	Las torretas son poco visibles debido a que las dimensiones de las máquinas inhiben la luminosidad de los focos para solicitar soporte a otras áreas, y por

<p>su colocación en puntos más visibles.</p>	<p>ende, ajustadores, relevos o mantenimiento no detectan en ocasiones la existencia de fallos o se tardan en llegar.</p>
<p>Colocación de más botes de acrílico antes de que se termine la tarea.</p>	<p>Con la finalidad de disminuir los tiempos de cambio, resulta conveniente que el material entrante ya esté listo y así solamente introducir el cable, eliminando el cambio de botes de un carrete al otro por lo que el tiempo de ajuste será menor y se obtendrá mayor eficiencia.</p>
<p>Colocación de botes de acrílico transparentes en los carretes de cable de las máquinas.</p>	<p>Los botes de acrílico permitirán visualizar el estado del carrete, especialmente a visualizar cuando está por terminarse. De este modo, se procurará tener carretes disponibles y en el tiempo requerido.</p>
<p>Colocación de un contador en la parte frontal de las máquinas.</p>	<p>El contador estará conectado a la máquina central y mostrará el tiempo en el cual entrarán cambios o se realizarán ajustes en las máquinas de modo que se tengan los materiales listos. Dicho contador manejará ayudas visuales a través de colores donde el color verde indica tiempo de holgura antes de que entre el ajuste, el amarillo que falta un tiempo moderado para el cambio y el rojo que queda muy poco tiempo para que entre el ajuste, buscando disminuir los tiempos muertos por falta de material así como obtener apoyo de otros relevos o personal.</p>
<p>Colocación de una cámara en la prensa .</p>	<p>Un problema importante asociado a la generación de scrap es el mal posicionamiento de la terminal ya que puede estar desalineada con el cable por hacerlo al tanteo. Con la cámara se obtendrá un panorama más</p>

	<p>amplio que mostrará que tan centrada o alejada se encuentra del posicionamiento correcto y sin necesidad de estar levantando constantemente la guarda, sino que desde la pantalla será visible y en tiempo real.</p>
<p>Volver rotatorio el espacio donde se colocan los carretes de terminales .</p>	<p>Tambien se busca agilizar el tiempo de cambio, pues la terminal entrante y saliente estarían colocadas en paralelo y solamente se giraría la base sin tener que cambiar el carrete de terminal para introducir el siguiente.</p>
<p>Pull tester que mida las 4 fuerzas de desprendimiento simultáneamente.</p>	<p>En cada ajuste, así como cada 500 piezas es necesario realizar pruebas de calidad que toman un tiempo estándar de 136.347 segundos, donde la prueba de fuerza es la que abarca un lapso de tiempo más extenso. Sin embargo, si estas mediciones (4 en total) pueden hacerse simultáneamente se minimizará el tiempo de ciclo de aprendizaje de la máquina incrementando los minutos de corte y garantizar una medición más certera.</p>
<p>Guarda con ventanillas que permita realizar ajustes sin necesidad de levantarla.</p>	<p>La guarda es parte de los mecanismos de seguridad con los que cuentan las máquinas, sin embargo, en numerosas ocasiones se deben realizar ajustes simples por los que los operadores deben levantar la guarda completa hasta en 3 o 4 ocasiones seguidas perdiendo tiempo, por lo que se tiene una ventanilla el acceso sería más rápido y eliminaría la espera para que la guarda suba y baje completamente.</p>

<p>Vernier digital</p>	<p>Los vernieres que se manejan de acuerdo al departamento de metrología están calibrados. Sin embargo, cuando los operadores realizan la medición manualmente son altamente susceptibles de manipulación por parte del operador, por lo cual es conveniente que la medición sea digital.</p>
<p>Conectar el vernier a la pantalla principal de las máquinas para registrar el ancho de crimpado de conductor y la altura de crimpado de insulación pasando a formar parte del ciclo de aprendizaje de la máquina.</p>	<p>Evitar mandar material mal es un punto muy importante, ya que algunas características de los cables son susceptibles de manipulación, por lo que disminuir esa posibilidad es importante. Además así se contará con un registro confiable que permita generar un historial de cada operador.</p>
<p>Poka Yoke para el escaneo de materiales</p>	<p>Los operadores deben escanear su material antes de iniciar la producción con la finalidad de garantizar que el material es el correcto, sin embargo, al buscar ganar eficiencia y minutos, lo hacen con la máquina en marcha exponiéndose a riesgos (atrapamiento de extremidades) o procesar materiales incorrectos. La finalidad del Poka Yoke es evitar en la medida de lo posible este tipo de riesgos y procesar el material correcto.</p>
<p>Mantener los parámetros cuando hay cambio de tarea pero se mantiene el ajuste.</p>	<p>Evitar tener que volver a dar parámetros cuando hay cambio de tarea pero los ajustes se mantienen para disminuir el tiempo de inactividad de la máquina.</p>
<p>Que en las pantallas aparezcan en tiempo real las máquinas que requieren apoyo de ajustadores y mantenimiento.</p>	<p>Hacer más visible la ocurrencia de fallos en las máquinas de modo que su detección sea sencilla y rápida.</p>

La gestión del factor humano, se torna más complicada, debido a que se deben tomar medidas de control y acciones que regulen la actitud y su comportamiento, el cual es altamente variable de un individuo a otro. Sin embargo, se sugieren las siguientes medidas (Tabla 2) de modo que se controle el nivel de scrap generado:

Tabla 2: Propuestas estratégicas de mejora para los recursos humanos o personal

Propuestas	Justificación y ventajas que ofrece
Establecer un límite para la reposición de cables (penalizaciones).	El operador en muchas ocasiones no notifica la existencia de problemas en su máquina, por lo que cuando se arroja material mal, solamente lo repone desmedidamente, y aunque manda el producto completo no es consciente del desperdicio que se genera.
Cronometrar al personal durante el entrenamiento para disminuir el tiempo al operar las máquinas.	Al personal de nuevo ingreso se le da un entrenamiento con un tiempo definido para la realización de ajustes el cual debe descender hasta quedar dentro de un valor aceptable. Sin embargo, cada actividad no tiene un tiempo específico de ejecución y por ejemplo, los relevos deben poseer más habilidad al realizar cambios
	(rieles, aplicadores, y terminales), pero los estudios de tiempos revelaron lo contrario.
Panel visual de reconocimientos cuando el personal obtiene buenos resultados y tiene tacto al dirigirse a ellos cuando aparecen problemas.	A veces al operador se le llama la atención sin saber qué es lo que está sucediendo, lo cual de cierta manera los desmotiva o disminuye su lealtad y buena voluntad. Dirigirse de una manera tranquila y sensible es un motivante y ayuda a la confianza entre mandos y subordinados.
Diseño de programa de capacitación en el desarrollo de habilidades blandas como la comunicación efectiva, trabajo en equipo, responsabilidad y actitud.	Se pueden tener las mejores herramientas y los mejores equipos, sin embargo, si no existe comunicación y trabajo en equipo no se obtendrán los resultados esperados, y esto aplica también a la inversa. Especialmente en los turnos A y B.

<p>Diseño de notificación de penalización a quien mande terminales mal (muestras).</p>	<p>Cuando salen los aplicadores de las máquinas deben estar acompañados de la última muestra, sin embargo, esto no siempre sucede ya que toman muestras que no corresponden, o buscan la mejor muestra de las disponibles. Esto representa un problema ya que en ocasiones por la cantidad de aplicadores con que se trabaja no es posible dar una revisión tan detallada por lo que si la muestra se encuentra en buenas condiciones no realizan la inspección o correcciones en el momento oportuno.</p>
<p>Diseño de alerta para pantalla en la estación de</p>	<p>Al trabajar con muchos aplicadores simultáneamente, en pre ajuste en ocasiones confunden las alturas o características que deben cumplir los aplicadores por lo</p>
<p>pre ajuste indicando que las alturas no son las correctas.</p>	<p>que las mandan así a las máquinas y esto representa problemas después en la máquina. Tener un mecanismo para determinar o avisar cuando se mandan mal ajustados los aplicadores ayudaría en la reducción de fallos.</p>
<p>Diseñar programa de capacitaciones a los relevos contemplando los tiempos y estándares de trabajo establecidos.</p>	<p>Se debe contar con un tiempo predefinido para cada actividad. Especialmente, los relevos deben poseer cierta habilidad para realizar ajustes, que sin embargo, a veces no sucede.</p>
<p>Diseño de programación de tiempos de receso de modo que los relevos, ajustadores y mantenimiento salgan de uno en uno a comer.</p>	<p>Evitar dejar el área sola o sin apoyo ya que cuando se van al desayuno se van en grupos y en ocasiones dejan sin soporte suficiente el área. Contar con personal flotante (un relevo y un ajustador) dentro del área cuando se van a desayunar.</p>
<p>Diseño de la programación de descanso para los sábados.</p>	<p>Evitar tener personal ocioso cuando se terminó la producción programada y evitar tener que regresar gente por falta de trabajo.</p>

Las propuestas medioambientales (Tabla 3) se dirigen no sólo al área de corte sino, que son extensivas a toda la organización. Además, no precisamente persiguen la disminución del scrap, sino minimizar el impacto negativo que la organización tiene sobre el medio ambiente, las cuales en

el mediano y largo plazo también, representan un ahorro de recursos. Dentro de éstas propuestas se encuentran:

Tabla 3: Propuestas medioambientales para el área de corte y la organización.

Propuestas	Justificación y ventajas que ofrece
Digitalizar el registro de los paros de las máquinas para la posterior alta en el sistema.	Durante el transcurso del día los capturistas deben registrar una gran cantidad de paros manualmente, los cuales son llevados por los líderes hasta la computadora cada hora. Si se digitalizan los paros, teniendo un dispositivo o programa desde las máquinas no solo ahorraría esta tarea en captura, sino también se eliminaría el uso de papel para el registro de paros.
Desarrollar un material o dispositivo de sujeción que reemplace la película estirable de plástico.	La película de plástico es un insumo vital en el área de corte ya que agrupa el producto terminado de modo que sea más sencilla su manipulación. Sin embargo, ésta ya no puede reutilizarse y está elaborada a base de plástico. Por esta razón se propone trabajar con un material que al igual que los vasos protectores sea reutilizable, como una especie de cincho o liga que se ajuste a las características del producto sin dañarlo.
Eliminar el uso de unicel en el comedor	El unicel tarda hasta 500 años en degradarse y en el comedor diariamente se tiran cientos de charolas que solo fueron utilizadas por 30 minutos aproximadamente, volviéndose un foco de contaminación importante dentro de la empresa. Una sugerencia es otorgar a cada empleado un conjunto de vajilla (molde, plato, vaso y cubiertos) que cada día utilicen y los cuales laven en su domicilio. Además de representar un ahorro para quienes ofrecen el servicio de comida también
	representa kilogramos o toneladas de unicel que cada año dejan de ser desechados.

<p>Eliminar las bolsas de plástico del comedor</p>	<p>La bolsa es otro elemento que se consume indiscriminadamente en el comedor para poner tortillas, pan u otras cosas y esto también es un foco de contaminación importante por lo que si se reemplaza la bolsa por servilletas a base de materiales textiles representa un ahorro para los proveedores del servicio de comedor y una disminución significativa del impacto ambiental negativo.</p>
<p>Disminuir el desperdicio de tortillas en el comedor</p>	<p>Diariamente se desperdician tortillas en el comedor, ya que los operadores no los consumen todas, resulta conveniente dosificar la cantidad de tortillas que se da a cada persona de acuerdo a sus necesidades.</p>

CONCLUSIONES

Hoy en día, las organizaciones deben ser capaces de responder ante una sociedad cada vez más heterogénea y exigente garantizando su permanencia en un mercado globalizado, a través de estrategias que coordinen los esfuerzos no solo de empresas, sino también de gobierno e instituciones educativas.

El uso de Lean Six Sigma como directriz para orientar las organizaciones hacia una cultura de mejora continua ofrece un conjunto de impactos que benefician significativamente no solo en el aspecto no solo económico, sino también humano y ambiental.

Esto solamente es posible si se hace una rigurosa aplicación de metodologías de rigor científico, así como de la investigación aplicada con el fin de resolver las diferentes necesidades que puedan surgir. Una de ellas es DMAIC, el cual mediante un conjunto de pasos y herramientas proporciona una visión sistémica que permite direccionar los esfuerzos de todos los entes involucrados hacia un objetivo común, especialmente en un entorno tan demandante como es la industria automotriz moderna.

A través del desarrollo del proyecto bajo el enfoque lean six sigma se demostró que es posible reducir el scrap en las máquinas Komax 488 del área de corte pasando de 8.430 gr/min a 7.578 gr/min mediante la definición de problemáticas asociadas a la generación de scrap, el establecimiento de métricas e indicadores, así como estudios de campo, el análisis de datos, el desarrollo de propuestas con múltiples enfoques y la adopción de medidas que permitan mantener el control sobre las propuestas de mejora adoptadas haciendo el proceso más esbelto y robusto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abreu, J. L. (2012). Hipótesis, método y diseño de investigación. *International Journal of Good Consciense*, 187-197.
2. Bravo, K. L., Meléndez, J., & Peñaherrera, F. (2018). Importancia de los estudios de tiempos en el proceso de comercialización de las empresas. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 32.
3. Carbajal Suárez, Y., Almonte, L. d., & Mejía Reyes, P. (2016). La manufactura y la industria automotriz en cuatro regiones de México. Un análisis de su dinámica de crecimiento. *Economía: Teoría y Práctica*, 39-66.
4. Castelló Martínez, A. (2019). Del ROI al IOR: el retorno de la inversión de la comunicación empresarial y publicitaria en medios sociales. *Tecnología Educativa*.

5. Corzo, C. (2014). Aplicación del pensamiento lean a la Unidad de Estudios Previos en una empresa estatal como herramienta de diagnóstico, control y mejoramiento en la interacción con sus clientes. Estudio de caso. Bogotá: Universidad de Bogotá D.C.
6. Dos Santos, K. (2019). Propuesta de mejora en los procesos de charcutería en el centro de distribución de Excelsor Gama. Bolivia: Ilustre Universidad Simón Bolívar.
7. Hurtado Valencia, A. C., & Lozada Luna, O. O. (2016). Plan de emprendimiento para la creación de una empresa de servicios de limpieza, aplicando normas de seguridad ambiental, para optimizar los procesos y analizar los KPI respectivos. Guayaquil: Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Administrativas.
8. Jordán Guillen, C. M. (2015). Análisis e interpretación financiero, liquidez y rentabilidad como herramienta para la evaluación de la gestión empresarial. Machala: Universidad Técnica de Machala.
9. M., V., Devadasan, S., D.T., S., & Thilak, V. (2015). Six Sigma through Poka Yoke: a navigation through literature arena. *Introduction to Mnaufacturing Advanced Technologies*, 315-327.
10. Montalban Loyola, E., Arenas Bernal, E. J., Talavera Ruz, M., & Magaña Iglesias, R. E. (2015). Herramienta de mejora AMEF (Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial) como documento vivo en un área operativa. Experiencia de aplicación en empresa proveedora para Industria Automotriz. *Aplicaciones de la ingeniería*, 230-240.
11. Oropesa, M., García Alcaraz, J. L., & Macías, M. (2015). Efectos del compromiso gerencial y la formación en los beneficios de la implementación del Kaizen, en su etapa de planeación. *Manufactura Inteligente*, 1-11.
12. Ortega, J. G., Baeza Serrato, R., & Morales, R. L. (2017). Development of a system dynamics model based on Six Sigma Methodology. *Ingeniería e Investigación*, 80-90.
13. Tolentino Oivera, S. (2015). Principio de Pareto, su uso en la industria cervecera y su posible vinculación con la enseñanza en matemáticas. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
14. Valdenebro Covarrubias, A. (2014). Explosión de la industria automotriz en México: de sus encadenamientos actuales a su potencial transformador.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPUESTOS HIDROXIAPATITA-MAGNESIO COMO TEJIDOS ÓSEOS

Miriam Hernández Cruz¹, José G. Miranda Hernández², Vladimir Vázquez Ulloa¹, Alejandra Nuñez Contreras¹ y Elizabeth Refugio García¹

¹ Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, ² Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM-Valle de México).
miriam.hdzc@outlook.es

RESUMEN

La metalurgia de polvos se ha enfocado en crear compuestos de alta tecnología, entre los que se destacan, la obtención de aleaciones resistentes que puedan trabajar a alta temperatura [1] o la obtención de diferentes materiales que puedan ser aplicados en diversas ramas, tal es el caso de la medicina, donde es viable mediante metalurgia de polvos obtener compuestos de propiedades mecánicas semejantes a los tejidos óseos. La Hidroxiapatita (HA) posee una composición similar a la parte mineral del tejido óseo, es biocompatible y bioactiva [2]. Por otro lado, el Magnesio (Mg) es el metal estructural más ligero y tiene una alta resistencia específica y rigidez [3]. En este trabajo se evaluó el efecto del porcentaje de magnesio en una matriz de hidroxiapatita, en el cual se fabricaron mediante el método de metalurgia de polvos diferentes compuestos de 0, 0.5, 1, 3, 5, 10 % en peso de magnesio en una matriz de hidroxiapatita, conformados mediante compactación uniaxial a 350MPa y posterior sinterización a 1300°C durante 2 horas, los compuestos resultantes se caracterizaron mediante pruebas de dureza, densidad, porosidad y resistencia a la fractura, para comparar los resultados obtenidos con los resultados de las propiedades de un hueso cortical.

Algunas de las pruebas como la densidad y porosidad aumentaron con el incremento de porcentaje de magnesio, mientras que la dureza y la resistencia a la fractura incrementan hasta el compuesto de 5% de Mg y disminuyen en 10% de este. El compuesto que presenta propiedades más semejantes al hueso cortical corresponde al compuestos de HA-5% Mg, siendo la resistencia a la fractura una de las propiedades mecánicas que tuvo una mejoría notable comparada con los demás compuestos. Finalmente, la adición de magnesio en la matriz cerámica de hidroxiapatita influye significativamente al disminuir la fragilidad de los compuestos.

INTRODUCCIÓN

El empleo de diferentes tipos de implantes para su uso interno dentro del cuerpo humano en la actualidad conlleva al continuo trabajo para el desarrollo de nuevos materiales que presenten características similares al sistema óseo.

Dando como resultado diferentes opciones de materiales con este fin, ya sea metales, cerámicos, polímeros o compuesto es decir una combinación de estos componentes que da lugar a uno nuevo con propiedades características específicas. Actualmente existe una gran variedad de materiales que se utilizan con este mismo fin, algunos como las aleaciones de Titanio, Cobalto, Alúmina, Hierro, entre otros.

Debido a la importancia en el desarrollo de los materiales, aquí se presentan algunos materiales destacables dentro de este trabajo son los cerámicos que se han utilizados en diferentes sectores para su uso en implantes, esto se atribuye a sus excelentes propiedades como la compatibilidad biológica, un ejemplo claro de esto es la Hidroxiapatita pues ella es el mayor componente inorgánico del hueso y se considera el material más atractivo para implante óseo, debido a su similitud tanto en composición como en características biológicas con el hueso natural.

Otros materiales que se debe mencionar son los metales que a pesar de la gran cantidad de metales y aleaciones que se pueden producir en la industria, solo unos pocos son biocompatibles y pueden tener éxito a largo plazo como material de implante; Como lo es el Magnesio que se caracteriza por excelente biocompatibilidad además de que presente similitudes a las del sistema óseo en cuanto propiedades mecánicas hablamos[4].

Cabe mencionar en el presente trabajo los componentes fundamentales de los huesos que conforman el esqueleto los cuales son dos principalmente, la componente orgánica que está integrada por fibras de colágeno en su mayor parte y la componente inorgánica compuesta de

hidroxiapatita que comprende aproximadamente el 70% en peso del hueso y es de la que depende la dureza y la rigidez del hueso.

Es importante destacar los dos tipos de hueso o arreglos que son el compacto (cortical) que representa un 80% de la masa ósea total, y el esponjoso (trabecular), que es altamente poroso, proporcionando una fuerza considerable, sin aumentar en gran medida el peso del hueso. Que constituye aproximadamente el 20% de la masa ósea, los cuales tienen propiedades distintas [5,6]. Estos dos tipos de huesos no difieren en su composición, pero presentan diferencias en su morfología y comportamiento, es decir el hueso cortical soporta cargas como la flexión y torsión, mientras que el hueso esponjoso absorbe los efectos de cargas repetitivas [7].

Por lo anterior en este trabajo de investigación se presenta un análisis a un compuesto base Hidroxiapatita (HA) con diferentes porcentajes de Magnesio (Mg), determinando así sus características físicas y mecánicas para su potencial uso como biomaterial.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se parte de polvos de Hidroxiapatita (HA) y polvos de Magnesio (Mg) que se mezclan para crear diferentes compuestos, con diferentes porcentajes de Magnesio de 0, 0.5, 1, 3, 5 y 10% en peso. Dichas mezclas se sometieron al proceso de mezcla-molienda en un molino de bolas durante 9 horas a 400 rpm. Las mezclas resultantes se sometieron al proceso de compactación uniaxial en frío con una presión de 200 MPa. Las muestras se sinterizaron a 1100°C durante 1 hora con una velocidad de calentamiento de 10°C /min en contacto con una atmósfera protectora de Nitrógeno. Consecutivamente se observó la microestructura y se determinó densidad, porosidad, dureza y resistencia a la fractura.

RESULTADOS

Microestructura

Realizado el proceso de sinterización se realizó la caracterización metalográfica de las diferentes muestras obtenidas para de esta manera comprender la conducta de los diferentes porcentajes de magnesio en hidroxiapatita, los cuales corresponden a 0, 0.5, 1, 3, 5 y 10% en peso; Las cuales se pueden observar en la figura 1 donde se pueden apreciar dos fases notables, la fase oscura corresponde a la matriz cerámica mientras que la fase clara corresponde al refuerzo del material metálico. En la figura 1a se observa una morfología homogénea ya que se trata de 100% hidroxiapatita. Por otro lado, la figura 1b corresponde a la morfología microestructural del compuesto de Hidroxiapatita con contenidos de 0.5% wt de magnesio, se logra apreciar la distribución homogénea de la parte metálica en forma de pequeños puntos brillantes distribuidos a lo largo de la matriz cerámica. Mientras que la figura 1c, 1d y 1e, se aprecia la morfología microestructural de los compuestos de hidroxiapatita con adiciones de 1, 3 y 5% wt de magnesio, en donde es posible observar una distribución homogénea del material de refuerzo, pero en menor cantidad de puntos brillantes correspondientes a la parte metálica siendo estos de mayor tamaño comparada con la del compuesto que contiene 0.5% wt de magnesio. En la figura 1f se observa la morfología microestructural de los compuestos con 10% wt de magnesio, en este caso se logran ver zonas brillantes de mayor tamaño lo que nos indica que el magnesio se segrega para formar zonas ricas de este.

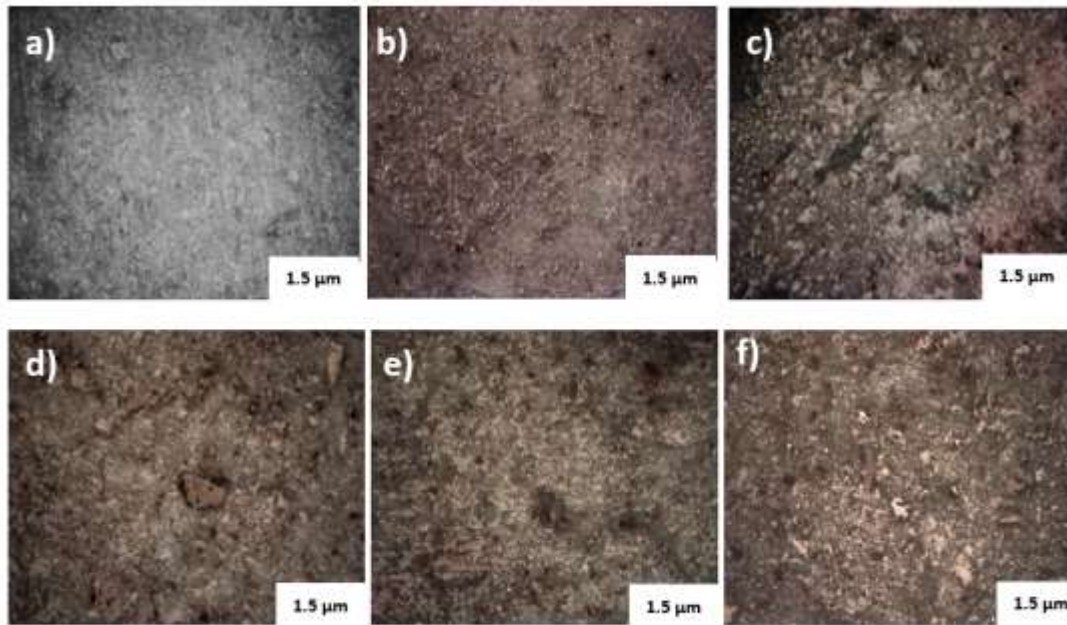


Figura 1. Microestructuras de compuestos hidroxiapatita-magnesio

Densidad y porosidad

Realizada la caracterización metalográfica se determinó la densidad teórica, densidad y porosidad por el método de Arquímedes de cada una de las muestras. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para la densidad y densidad teórica en donde se puede notar pequeñas diferencias entre ellas, estas diferencias se pueden explicar a que existe una porosidad inherente en los compuestos hidroxiapatita-magnesio que aquí fueron fabricados empleando la técnica de metalurgia de polvos. Mientras que en la tabla 2 se reportan los valores de porosidad, que han sido comparados con los resultados de densidad, donde se puede observar que a mayor contenido de magnesio en los compuestos mayor será la densidad y porosidad de estos, este comportamiento no es el esperado, pues normalmente cuanto mayor es la densidad de un material, menor porosidad suele tener, sin embargo, el comportamiento que exhiben los compuestos de no cumplen esta regla, esto se puede explicar relacionándolo con la morfología microestructural que presentan los compuestos; es decir, que a mayores contenidos de magnesio, aumenta la densidad experimental de los compuestos pero a su vez aumenta el porcentaje de porosidad en los compuestos que presentan una mayor segregación microestructural provocando que el magnesio se desplace y forme zonas ricas en magnesio pero deje la mayor cantidad de espacios libres en la base cerámica, generando un aumento en la porosidad del compuesto.

Tabla 16. Densidad experimental y densidad teórica.

Muestras	Densidad [g/cm ³]	Densidad Teórica [g/cm ³]
0%Mg-100%HA	3.04 ± 0.02	3.15 ± 0.05
0.5%Mg-99.5%HA	3.06 ± 0.01	3.14 ± 0.05
1%Mg-99%HA	3.02 ± 0.05	3.14 ± 0.05
3%Mg-97%HA	3.02 ± 0.01	3.11 ± 0.05
5%Mg-95%HA	3.03 ± 0.02	3.08 ± 0.05
10%Mg-90%HA	3.04 ± 0.01	3.01 ± 0.05

Tabla 17. Porosidad de los compuestos.

Muestras	Porosidad [%]
0%Mg-100%HA	6.87 ± 1.29
0.5%Mg-99.5%HA	10.02 ± 0.30
1%Mg-99%HA	7.75 ± 2.28
3%Mg-97%HA	10.84 ± 0.45
5%Mg-95%HA	12.92 ± 3.23
10%Mg-90%HA	16.00 ± 1.29

Dureza

En la tabla 3 se nota que, al añadir diferentes porcentajes de Magnesio en la matriz cerámica de hidroxiapatita, hay una variación en la dureza que van desde 328 hasta 261 Vickers; donde el compuesto con mayor dureza es el de 5% de Magnesio-95% de Hidroxiapatita con una dureza de 359 Vickers, mientras que el compuesto con 10% de Magnesio-90% de Hidroxiapatita muestra una dureza menor de 261 Vickers. En general, el efecto que presenta el adicionar magnesio sobre la matriz cerámica de hidroxiapatita, es que, a mayor contenido de magnesio, menores valores de dureza se obtendrán para los compuestos HA-Mg.

Tabla 18. Dureza de los compuestos de Hidroxiapatita-Magnesio.

Muestras	Dureza [HV]
0%Mg-100%HA	472 ± 30.38
0.5%Mg-99.5%HA	328 ± 79.60
1%Mg-99%HA	329 ± 62.53
3%Mg-97%HA	267 ± 27.04
5%Mg-95%HA	359 ± 52.34
10%Mg-90%HA	261 ± 70.63

Resistencia a la fractura

En la tabla 4 muestra los resultados de la resistencia a la fractura de los compuestos hidroxiapatita-magnesio, en esta tabla es posible apreciar que para la hidroxiapatita-100% se presentan los valores más bajos de resistencia a la fractura, por lo cual al ir adicionando magnesio se observa un efecto de mejoría significativa de la resistencia a la fractura, es decir, para el caso de la Resistencia a la fractura, pasa el mismo efecto que en las anteriores propiedades de los compuestos, que al incrementar el porcentaje de Magnesio en el cerámico de hidroxiapatita, los valores de la resistencia a la fractura aumentan.

Tabla 19. Resistencia a la fractura de los compuestos de Hidroxiapatita-Magnesio.

Probetas	Resistencia a la fractura [MPam ^{1/2}]
0%Mg-100%HA	1.35 ± 0.02
0.5%Mg-99.5%HA	1.40 ± 0.01
1%Mg-99%HA	2.00 ± 0.01
3%Mg-97%HA	3.10 ± 0.05
5%Mg-95%HA	4.06 ± 0.06
10%Mg-90%HA	3.56 ± 0.01

A continuación, se muestra un gráfico comparativo de las propiedades del hueso humano de tipo cortical con las de los compuestos de 3, 5 y 10% wt de Magnesio, destacando que este compuesto muestra resultados similares a los esperados.

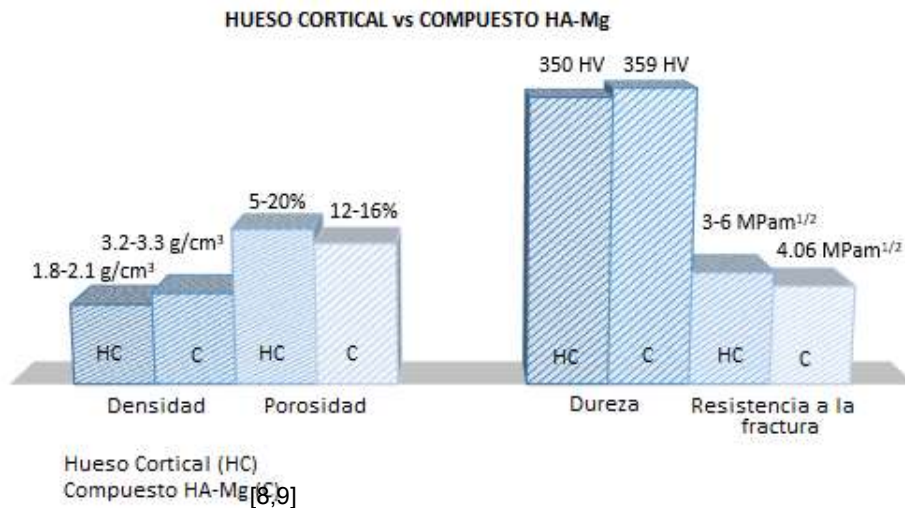


Figura 2. Gráfico comparativo del Hueso Cortical vs Compuesto HA-Mg

CONCLUSIONES

- Se desarrollaron compuestos fabricados por metalurgia de polvos de Hidroxiapatita-Magnesio con el fin de obtener propiedades similares a las del sistema óseo en donde se puede notar la influencia del Magnesio sobre la Hidroxiapatita, haciendo que las propiedades como la resistencia a la fractura, la densidad y la porosidad aumentan al incrementar el contenido de magnesio en la base cerámica, lo cual es deseable ya que lo que se desea es mejorar las propiedades de los cerámicos para proporcionar una alternativa de material para su uso como Biomaterial.
- Se encontró que en los compuestos hidroxiapatita-magnesio, la adición de magnesio refuerza y mejora las propiedades de los compuestos, de forma tal que, para contenidos de 3, 5 y 10% wt de Magnesio se presentan los mejores resultados, destacando el compuesto HA-5%wt Mg que presenta las mejores propiedades comparándolo con los demás compuestos HA-Magnesio.

BIBLIOGRAFIA

1. C. M. Villar, «Pulvimetalurgia: En busca de nuevos materiales,» Met. Actual, pp. 4-9, 2009.
2. C. Gema González, «Hidroxiapatita: el biomaterial ideal,» Rev. Latinoam. Metal. Y Mater., pp. 4-7, 2012.

3. X. T., Y. Yang, X. Peng, J. Song y F. Pan, «Overview of advancement and development trend on magnesium alloy.,» ELSEVIER, pp. 1-9, 2019.
4. Duffo Gustavo «Materiales y materias primas - Materiales compuestos. Mater. y Mater. primas» 7–11 (2011). doi:789. C1229ACE
5. T. Hernandez, R. & Palma, C. P. «Hidroxiapatita y sus aplicaciones.» Rev. Mex. Fis. 144–147 (1999).
6. Mescher, A. L. «Junqueira's Basic Histology.» (2019).
7. JIMÉNEZ QUIROZ, J. «Propiedades mecánicas del hueso esponjoso porcino en pruebas de tracción.» (2008)
8. M. Staiger, P., Pietak, A. M., Huadmai, J. & Dias, G. «Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review.» ELSEVIER 27, 1728–1734 (2006).
9. Jerban, S. et al. «Collagen proton fraction from ultrashort echo time magnetization transfer (UTE-MT) MRI modelling correlates significantly with cortical bone porosity measured with micro-computed tomography.» NMR Biomed. 32, 1–10 (2019).

CELIDAS SOLARES A BASE DE OXIDO DE TUNGSTENO

Karla Marisa Partida Hernández¹, Juan López Hernández², Eddie Nahúm Armendáriz Mireles²

¹Universidad Politecnica de Victoria, ² Universidad Politecnica de Victoria B.
1430061@upv.edu.mx

RESUMEN

En la actualidad es demandante la creación y desarrollo de nuevas tecnologías para la generación de energía limpia de forma sustentable. En ese trabajo se estudian las propiedades mecánicas y eléctricas del óxido de tungsteno (WO₃) como material semiconductor prospecto en la fabricación de celdas solares. La obtención del WO₃ requirió del tratamiento térmico de electrodos de tungsteno puro pulverizados (AWS A5.12 WESTON). Para igualar el tamaño de partícula del material se realizó una molienda de alta energía en un molino tipo planetario durante 2 horas a 300rpm, obteniendo tamaños inferiores a 10 micras. Mediante un análisis termo gravimétrico se determinó que el polvo de tungsteno empieza un proceso de oxidación a partir de una temperatura de 605°C. Se utilizó un horno tipo mufla (Thermo Scientific) para alcanzar 1150°C y asegurar la oxidación del polvo. Un análisis de absorción infrarroja (FTIR) mostró que el WO₃ se encuentra en una banda ubicada entre 450cm⁻¹ y 850cm⁻¹. El WO₃ fue compactado en pellets para su caracterización eléctrica, donde se obtuvo una resistividad de $11.3 \times 10^6 \Omega \cdot m$ y una constante dieléctrica de 6.232. El WO₃ obtenido presenta una resistividad eléctrica en el rango de los materiales semiconductores, por lo que es un buen candidato para la elaboración de celdas solares. El tamaño de partícula es idóneo para la obtención de películas finas necesarias para el desarrollo de celdas solares de tercera generación. Se demostró que es factible la obtención de un cerámico semiconductor mediante un proceso simple en base al tratamiento térmico de polvo de tungsteno.

INTRODUCCIÓN

Las crecientes necesidades en materia energética de las sociedades modernas han originado todo un sistema para la búsqueda de procesos que permitan el aprovechamiento de recursos renovables. Estas fuentes de energía contribuyen casi una cuarta parte a la generación mundial, alcanzando, por ejemplo, a modos tradicionales como el gas natural, pese a que son grandes los retos para superar las fuentes convencionales basadas en combustibles fósiles. Dentro de las diversas tecnologías de producción de energía renovable se destaca, por su potencial virtualmente ilimitado y bajo impacto ambiental, la energía solar.

Antecedentes

Generaciones de celdas solares

Para hablar sobre la evolución de los Paneles Solares, nos referiremos a las cuatro generaciones de celdas solares. Actualmente, las celdas solares más populares son las basadas en silicio, que gradualmente están siendo reemplazadas usando otros materiales y tecnologías avanzadas.

El objetivo en general de los avances científicos en este campo es aumentar la eficiencia energética de estos dispositivos, reducir sus costos de producción y ampliar la variedad de aplicaciones que les permita competir con los combustibles fósiles.

Primera generación

Las celdas solares fotovoltaicas se basan en dos láminas con materiales semiconductores. Ambas utilizan elementos químicos, denominados «dopantes», que originan un exceso de electrones en una de las láminas (carga negativa, N) y una falta de estos en la otra (carga positiva, P). Esta unión P-N induce una corriente eléctrica continua o corriente directa (efecto fotovoltaico).

El alto precio y fragilidad de las celdas fotovoltaicas actuales han llevado a los investigadores a probar nuevos materiales y sistemas

Cuando se expone esta unión P-N a la radiación solar, los fotones de la luz transmiten su energía a los electrones. Con este aporte energético los electrones rompen la barrera de potencial y salen del semiconductor por un circuito exterior, de manera que se produce corriente eléctrica continua. Las

placas fotovoltaicas se componen de celdas, que son el módulo más pequeño capaz de producir electricidad por efecto fotovoltaico.

El silicio es el material más utilizado para estos paneles fotovoltaicos, si bien se fabrica de formas diferentes. El silicio puro monocristalino permite un rendimiento en los paneles comerciales del 16%, pero su precio es caro. El silicio puro policristalino, reconocible por su aspecto granulado, es más barato pero logra un rendimiento del 14%. El silicio amorfo se utiliza en pequeños aparatos, como calculadoras, relojes o paneles portátiles de menor tamaño. Su rendimiento es del 8%. Los científicos trabajan actualmente con otros materiales, como el telururo de cadmio o los sulfuros y seleniuros de indio para ampliar el abanico de posibilidades en la fabricación de celdas.

Las celdas solares pueden ser fijas, muy típicas en los tejados, o dinámicas, gracias a los seguidores solares. Estos dispositivos mejoran el rendimiento de los paneles, ya que su misión consiste en seguir el recorrido del sol. También se puede aumentar la eficiencia con sistemas híbridos, combinando celdas solares fotovoltaicas con otros sistemas renovables: un sistema mixto eólico-solar o solar fotovoltaico-térmico son algunas posibilidades.

Hoy en día las celdas solares de silicio puro monocristalino son las más comercializadas, debido a su alta eficiencia, que teóricamente tendría un máximo del 33%. Sin embargo, el costo y operación son factores limitantes.

Segunda Generación

Esta se basa en un método de producción epitaxial (depósito de una sobre capa cristalina sobre un sustrato cristalino, donde hay registro entre la sobre capa y el sustrato) para crear láminas mucho más flexibles y delgadas que sus predecesoras. Por ello se las denomina de celdas de lámina delgada. La eficiencia, entre el 28% y el 30%, es otra de sus principales ventajas, pero su elevado costo las limita hoy en día a los sectores aeronáutico y espacial.

Las investigaciones más recientes refieren al uso de materiales distintos al silicio, tales como las microestructuras CIGS o CIS (cobre, indio, galio y selenio). Otros investigadores han creado tecnologías como las celdas orgánicas fotovoltaicas (OPV), unos polímeros (plásticos) orgánicos capaces de reaccionar a la luz solar.

Las posibilidades de estos materiales son enormes. Sin embargo, la eficiencia de estas celdas es todavía más baja que las de primera generación.

Tercera Generación

Estas celdas solares se encuentran en fase experimental, pretendiendo obtener mayores porcentajes de eficiencia que los paneles de celdas delgadas. Investigadores y empresas de todo el mundo trabajan en varias tecnologías, como las denominadas de huecos cuánticos (cuabits o "qubits"), nanotubos de carbono (grafeno) o nano estructuras de óxido de titanio sensibilizadas con colorante (DSSC, *Dye-Sensitized Solar Cell*).

Con el principio usado en las celdas sensibilizadas con colorante se podría crear una pintura que recubriría las casas o las carreteras para la captación de energía solar; así como tintes para todo tipo de aparatos electrónicos, prendas textiles o recubrimiento de vehículos. La eficiencia teórica de estos sistemas es de entre el 30% y el 60%.

A esta categoría pertenece la presente investigación.

Cuarta Generación

En esta generación de paneles solares, se unirían nanopartículas con polímeros para conformar sistemas de celdas solares más eficientes y baratas. El panel se compondría de varias capas con la capacidad de aprovechar un mayor rango del espectro luminoso, incluyendo la región infrarroja. La NASA ha utilizado esta tecnología multi-unión en sus misiones a Marte.

En teoría, los paneles solares podrían convertir en electricidad 93% de la luz solar, pero el costo de producción tendría que disminuir drásticamente para competir con los combustibles fósiles y otras formas de producción de energía eléctrica.

TEORÍA

La creciente demanda energética de nuestra sociedad, así como el exceso de emisiones de gases (principalmente CO₂) que favorecen el efecto invernadero, han propiciado en gran manera la investigación de nuevas fuentes de energía renovable, como alternativa a los combustibles fósiles. En particular, la energía solar es la energía renovable menos aprovechada por el hombre, si se tiene en cuenta el flujo de dicha energía que llega a la superficie terrestre. De forma natural la fotosíntesis tanto en organismos terrestres como marinos, produce energía para abastecer aproximadamente ocho veces los requisitos energéticos del mundo. Con la tecnología actual de dispositivos solares, se podría abastecer dos veces a toda la humanidad, empleando un 1% de la superficie terrestre con celdas solares de un 10% de eficiencia.

En la Universidad Politécnica de Victoria se han elaborado celdas solares sensibilizadas con pigmentos naturales. Entre las que destacan la de ING. JESSICA ARACELY CASTILLO MARTÍNEZ, con título SÍNTESIS DE LA PEROVSKITA CaTiO₃ PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CELDAS SOLARES DSSC. y la del ING. PABLO CÉSAR CARBÓ VELA titulada ESTUDIO DE LAS CELDAS SOLARES DE DIÓXIDO DE TITANIO NANOCRISTALINAS SENSIBILIZADAS CON COLORANTE, investigaciones donde se buscó incrementar la eficiencia de la celda utilizando pigmentos de color en el espectro azul-violeta.

El trióxido de tungsteno (W₂O₃) es un compuesto formado por tungsteno y oxígeno. Tiene reportado en 2006, que se obtiene en forma de capa fina por deposición atómica a temperaturas entre 140 - 240 ° C usando W₂(N(CH₃)₂)₆ (Hexametilendiaminawolframio) como un precursor.

PARTE EXPERIMENTAL

Se describe la metodología empleada para el estudio del proceso de la oxidación del tungsteno, los materiales y equipos a utilizar para llevar a cabo la experimentación.

La obtención del WO₃ requirió del tratamiento térmico de electrodos de tungsteno puro (AWS A5.12 WESTON, pulverizados, desbastándolos con un dremel con una lija de punta de diamante para no contaminar el material (Figura 1).



Figura1. Electrodo de Tungsteno.

Inicialmente se pesó el crisol, en la báscula digital, para posteriormente restar ese valor (peso) a la próxima medición con el polvo de tungsteno (Figura 2).



Figura 2. Báscula digital.

Se tomó la diferencia, que es el dato que se ocupa en el Software, para obtener el TGA, análisis termo gravimétrico (Figura 3).



Figura 3.

Para igualar el tamaño de partícula del material se realizó una molienda de alta energía en un molino tipo planetario durante 2 horas a 300rpm (Figura 4).



Figura 4. Molino tipo planetario.

Se utilizó un horno tipo mufla (Thermo Scientific) para alcanzar 1150°C y asegurar la oxidación del polvo (Figura 5).



Figura 5. Horno tipo mufla.

Del proceso se obtuvo WO_3 , Trióxido de tungsteno (Figura 6).

WO₃



Figura 6. WO₃

Posteriormente fue compactado en pellets para su caracterización eléctrica.

RESULTADOS

Resistividad de $11.3 \times 10^6 \Omega \cdot m$

ΔM = Resistividad

RM = Resistencia del material

Método de Wenner

$$RM = \frac{RT \cdot VS}{VT} \quad RM = \frac{1021.8 \times 10^6 (7.96)}{4.5} - 1021.8 \times 10^6$$

$$RM = 785.65 \times 10^6$$

$$\Delta M = 2 \pi \text{ (Distancia entre puntas) } RM (\Omega \cdot m)$$

$$\Delta M = 2 \pi (.00229) 785.65 \times 10^6 (\Omega \cdot m)$$

$$\Delta M = 11.3 \times 10^6 \Omega \cdot m$$

Constante dieléctrica de 6.232.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.1316)^2}{4}$$

$$A = .0001033583$$

$$K = \frac{C \cdot d}{e_0 A} \quad K = \frac{7.5 \cdot 7.6 \times 10^{-4}}{8.85 \cdot .0001033583}$$

$$e_0 = 8.85 \times 10^{-12}$$

A = Área en metros cuadrados

$$K = 6.232.$$

d = Separación entre placas

C = Capacitancia

K = Constante dieléctrica

Análisis FTIR mostro una banda ubicada entre 450 cm^{-1} y 850 cm^{-1} .

FTIR (Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier) (Figura 7).



Figura 7. FTIR

Análisis termo gravimétrico del polvo de W (Tungsteno).

En la gráfica se muestra como pierde peso y a los 605°C aprox comienza a ganar, es entonces cuando el material se empieza a oxidar, cuando a las partículas de tungsteno se les pega el oxígeno, y el resultante es WO₃, Oxido de tungsteno (Figura 8).

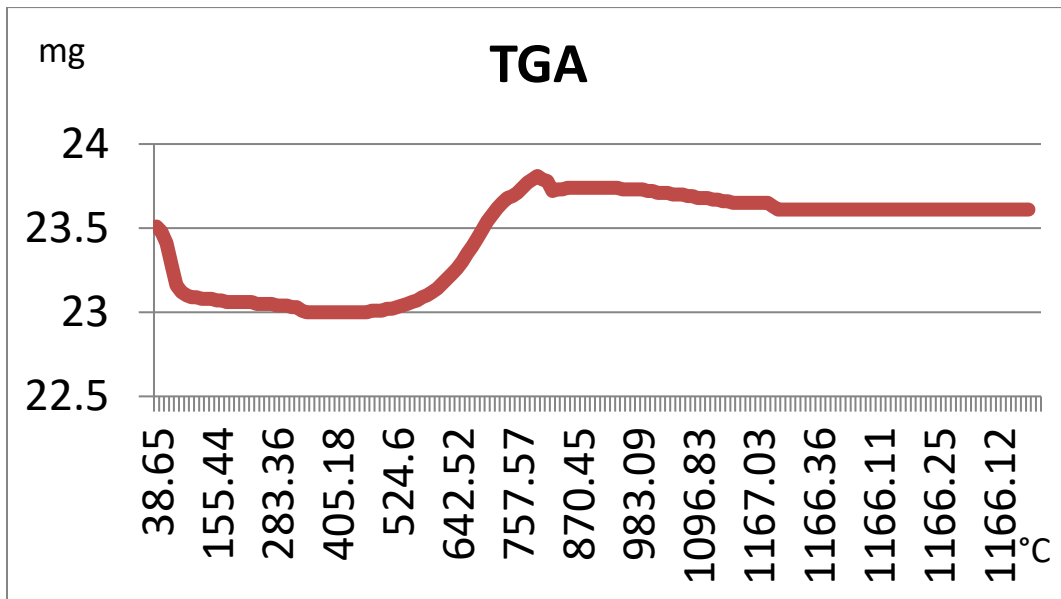


Figura 8. TGA.

Tamaño de partícula, inferiores a 10 micras

CONCLUSIONES

El tamaño de partícula de trióxido de tungsteno menor a 10 micras obtenido en el molino tipo planetario es idóneo para la obtención de películas finas necesarias para el desarrollo de celdas solares de tercera generación. Se demostró que es factible la obtención de un cerámico

semiconductor mediante un proceso simple basado en el tratamiento térmico del polvo de tungsteno, además la materia prima es de fácil obtención y el proceso completo genera un costo accesible.

BIBLIOGRAFÍA

1. <http://panelsolares.blogspot.mx/2013/08/marco-teorico.html>. Consultado el 30 de mayo de 2019.
2. Secretaría de Energía, recuperado 30 de abril, 2019, <https://www.gob.mx/sener/prensa/nuevas-medidas-para-el-autoabasto-con-energias-limpias>
3. Secretaría de Energía, recuperado 30 de abril, 2019, <https://www.gob.mx/sener/articulos/inventario-nacional-de-energias-limpias?idiom=es>
4. <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/ambiente/20782-consecuencias-ambientales-derrame-hidrocarburos>
5. <https://www.todini.com/es/productos-quimicos/tungsteno/tungsteno-trioxido>
6. http://www.tungsten-powder.com/spanish/tungsten_oxide.html
7. http://www.tungsten-powder.com/spanish/Blue_Tungsten_Oxide.html
8. http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2013_260.html
9. <https://polaridad.es/sensor-radiacion-ultravioleta-arduino-indice-uv-uvvm30a-guva-s12sd/>
10. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000100009
11. SÍNTESIS DE LA PEROVSKITA CaTiO_3 PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CELDAS SOLARES DSSC, Universidad Politécnica de Victoria, 2017
12. ESTUDIO DE LAS CELDAS SOLARES DE DIÓXIDO DE TITANIO NANOCRISTALINAS SENSIBILIZADAS CON COLORANTE, Universidad Politécnica de Victoria, 2011
13. Chandra S. and Pandey R. K., (1982) Semiconductor Photoelectrochemical Solar Cells Phys. Stat. Sol. (a) (72), 415-474.
14. M. Sahal, B. Marí, M. Mollar, CuInS_2 thin films obtained by spray pyrolysis for photovoltaic applications, Thin Solid Films (2008).
15. International Energy Agency. OECD/IEA, «RENEWABLE ENERGY Medium-Term Market Report 2016», Paris, 2016
16. REN21, «REN 21. Renewables 2017 global status report», Paris, 2017
17. <http://www.panelessolares.com.mx/>, Consultado el 12 de Mayo de 2019.
18. <http://www.solarfotovoltaica.galeon.com/ARCHIVOS/efecto.htm/> Consultado el 1 de junio de 2019
19. Lensmann, F.O. y Kroon J.M., (2007) Recent advances in Dye-Sensitized Solar Cell, 5.
20. Lewis N. S(2001) New Directions and Challenges in Electrochemistry: Frontiers of Reserch in Photo electrochemical Solar Energy Conversion, Journal of Electroanalytical Chemistry (508)1-10
21. Toivola, M., (2010) Dye- Sensitized Solar Cells on Alternatives Substrates. Doctoral Dissertation. Aalto University School of Science and Technology, Finland.
22. Zumeta, I., (2004). Estudio de capas nano estructuradas de TiO_2 para celdas foto electroquímicas. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias físicas, Universidad de Habana, Cuba.
23. www.oilcare.org.uk, Consultado el 3 de junio de 2020.

EL USO DE OPTOACOPADORES EN SU REGIÓN ACTIVA COMO UNA ALTERNATIVA DE SENSAR VOLTAJE Y CORRIENTE DE CA

Miguel Roque Vasquez Hernández¹, Víctor Quintero Rojas²

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

¹ roque.vasquez@umich.mx, ² victor.quintero@umich.mx.

RESUMEN

Los optoacopladores son operados regularmente dentro de las regiones de corte y saturación del fototransistor (BJT), ya sea para activar algún dispositivo de forma aislada a un sistema de control, o también para ser utilizados como una forma de comunicación digital entre dos sistemas aislados, y en el caso de la Corriente Alterna (CA) se utiliza comúnmente como un detector de cruce por cero, donde existen distintas topologías y optoacopladores para cada aplicación, por ejemplo, la salida del optoacoplador puede ser tipo: Darlington, Diac, FET, SCR, compuerta digital ó driver para CMOS, etc. Aun con el gran avance de la tecnología donde ya existen optoacopladores analógicos con distintas salidas e incluso amplificadores con aislamiento óptico, el presente trabajo se enfoca en los optoacopladores con salida tipo transistor BJT y en su operación dentro de la región activa, este tipo es muy utilizado como señal de realimentación en fuentes conmutadas con aislamiento magnético por medio de un transformador. Los optoacopladores estándares con salida BJT aún que no están diseñados para manejar señales analógicas, si pueden trabajar dentro de una región casi lineal si se cuenta con la información de cada fabricante y observar las gráficas de respuesta de corriente del diodo LED y del fototransistor, para que se pueda sensar variaciones de la misma, tanto en el LED como punto de entrada de CA, así como también limitar la corriente del fototransistor en su región activa, para que posteriormente esta información analógica pueda ser procesada mediante un ADC, microcontrolador, DSP, FPGA, ARM o alguna tarjeta de adquisición de datos (DAQ), que operen dentro de los rangos de voltajes pequeños, como de 0 a 3.3 Vcd o 5 Vcd. Con estas pruebas se observa que los optoacopladores son muy lineales en una cierta región de la zona activa del fototransistor tanto en CC como CA, utilizando circuitos simples para sensar voltajes y Transformadores de Corrientes (TC) con amplificadores para el registro y procesamiento de corriente, a bajo costo y asegurando que las variaciones de voltaje o de corriente no afecten al dispositivo de procesamiento.

INTRODUCCIÓN

Después del descubrimiento del efecto fotoeléctrico, publicado por Albert Einstein en 1905, donde de manera general él explica, que si un fotón que se impacta en un metal, la reacción es la liberación de un electrón, de similar manera esto ocurre para semiconductores llamados fotoconductores, sean: fotorresistencias, fotodiodos, fototransistores y fototiristores; algunos otros derivados como salida Darlington, Diac, FET, SCR, otros con salida driver para control de MOSFET o IGBT's, algunos con salida de compuestas lógica, etc. Desarrollados principalmente para la industria como parte de los sistemas de control, que regularmente es implementan en controles ON-OFF, en dispositivos electrónicos llamados optoacopladores, formados por un emisor y receptor. El emisor transforma las señales eléctricas en óptica (fotones o emisor de LUZ) que se transferirán una señal de LUZ al receptor, el cual recogerá y volverá a transformar en una señal eléctrica, tal como se muestra en la Figura 1.

Los optoacopladores más utilizados están formados por emisores de Luz como diodo LED de luz infrarroja o diodo láser, y como receptor sería un fotodiodo o un fototransistor generalmente, sin embargo depende de su aplicación.

El avance en la industrial y en la electrónica digital han permitido ampliar las aplicaciones de los optoacopladores o optoaisladores, permitiendo interconectar grandes señales de datos a altas velocidades con fuentes eléctricas diferentes, como por ejemplo: internet de alta velocidad, activadores de motores industriales de forma remota, transmisión de datos entre distintos tipos de microprocesadores o microcontroladores con voltajes variados, control de switcheo de elementos de electrónica de potencia, control de inversores de interconexión para fuentes alternas de energía, etc.

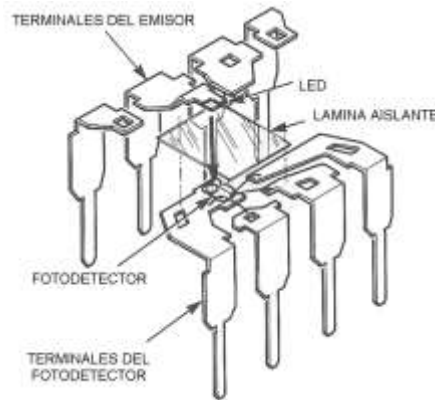


Figura 1.- Representación de un optoacoplador encapsulado.

En la actualidad existen optoacopladores análogos, como el HCNR200 y HCNR201 o los PhotoMOS, que activan MOSFET, o IGBT's de forma de arranque suave, que a su vez presentan un comportamiento análogo y casi lineal, tal como muestran su diagrama en la Figura 2-(A). El desarrollo ha evolucionado al tener en la actualidad amplificadores de aislamiento óptico, como: HCPL-7800, ACPL-7900 y ACPL-C87AT/BT, que se observan en la Figura 2-(B).

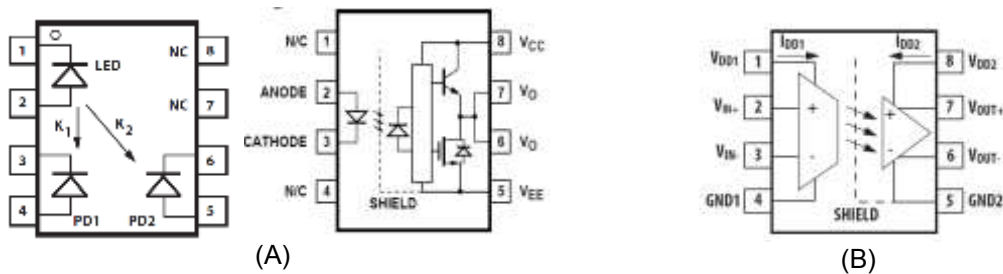


Figura 2.- (A) Optoacopladores analógicos y (B) Amplificadores de aislamiento óptico.

El presente trabajo de investigación se enfoca en los optoacopladores de salida transistor (sea un fototransistor o fotodiodo con transistor BJT), existen varios dispositivos, así como de diferentes marcas: con diferentes tamaños, diferentes niveles de tensión tanto de operación como de aislamiento. El propósito de la siguiente propuesta es también reutilizar mucho de los dispositivos que existen en el mercado, fáciles de conseguir e incluso son abundantes en electrónica industrial de desecho, ya que las nuevas tecnologías han provocado que tarjetas completas de control sean descontinuadas muy rápidamente, en caso de fallas ocurren regularmente en los sistemas de potencia, ya que son los que sufren el principal daño, en cambio los sistemas de control y sus optoaisladores de aislamiento de señales permanecen intactos, y pueden ser re-utilizables.

TEORÍA

El funcionamiento de los optoacopladores salida transistor BJT, se basan en salidas con fotodiodos, donde estos elementos se comportan como un diodo semiconductor, el cual conduce una cantidad de corriente proporcional a la cantidad de luz incidente sobre la lente condensadora o en la parte foto sensible generadora (fotogeneradora), tal como se muestra en Figura 3. Su región de operación es un solo sentido, de tal manera que sólo opera en Corriente Continua o Directa (CC ó CD), ya que está limitada a una región de polarización inversa, tal como se muestra una de sus curvas características de la Figura 4.

En cambio los fototransistores BJT presenta una unión fotosensible en la unión P-N de colector a base, donde la corriente inducida por efector fotoeléctrico, la cual viene a ser la base del transistor, tal como se observa en la Figura 5. Teniendo similitud con el transistor BJT, solo que la corriente del colector (I_c) depende de la presencia e intensidad de un haz de luz, que al aumentar la iluminación

aumentará de manera proporcional la corriente en el colector y se obtienen así las curvas características del colector, tal como se observan en la Figura 6.

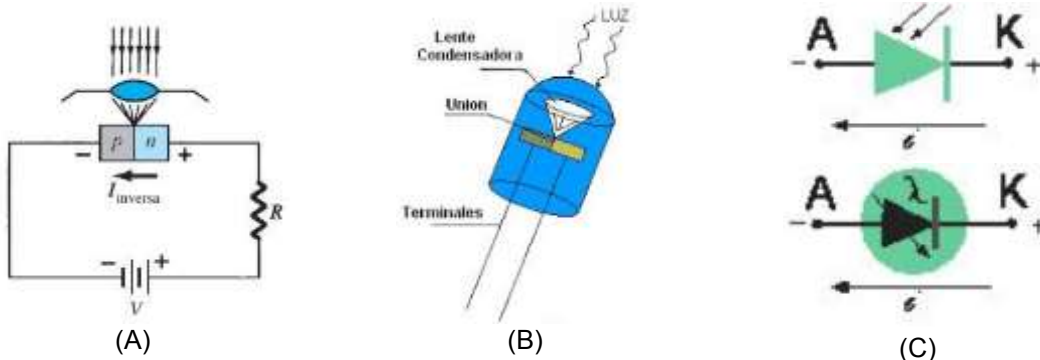


Figura 3.- (A) Arreglo de polarización del fotodiodo, (B) Constitución y (C) Símbolos de un fotodiodo.

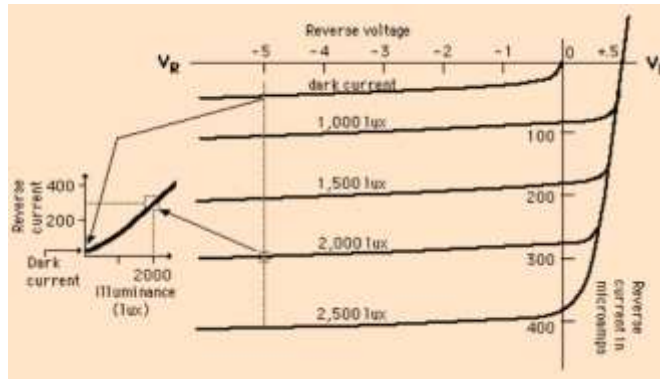


Figura 4.- Curva característica del fotodiodo.

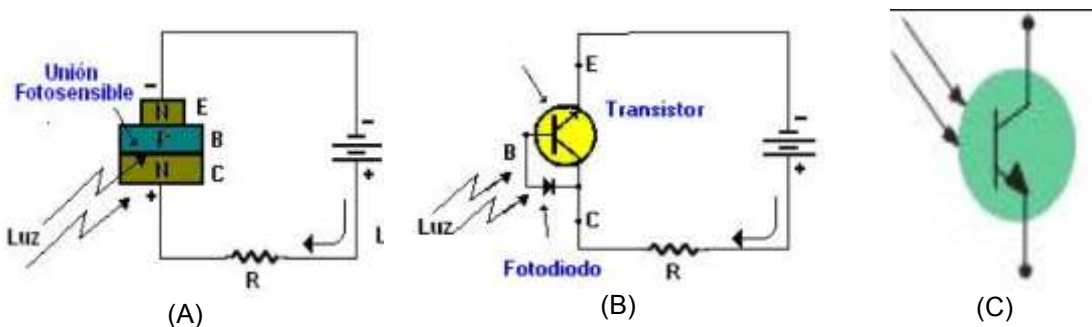


Figura 5.- (A) Estructura interna, (B) Circuito equivalente y (C) Símbolo del Fototransistor.

En el caso de los optoacopladores, no se debe olvidar que el emisor de Luz es un LED, el cual presenta su propia curva característica que puede observar en la Figura 7, donde su comportamiento es similar a cualquier semiconductor de silicio, el cual debe superarse el voltaje de conducción en la capa de valencia (voltaje de polarización directa V_F), el cual debe ser superior a los $V_F \approx 0.8\text{v}$ o 800mV . El origen de la presente investigación surgió debido a una de las aplicaciones más importantes de los optoacopladores con salida fototransistor (optoacoplador-BJT) en CD, los cuales son utilizados en las fuentes conmutadas con aislamiento galvánico (Fuentes CD-CD con transformadores), como dispositivo de retroalimentación de forma aislada, entre el voltaje de salida y con el sistema de

control que se encuentra a distintos niveles de tensión, así como con diferentes puntos de referencia, tal como se observa en la Figura 8.

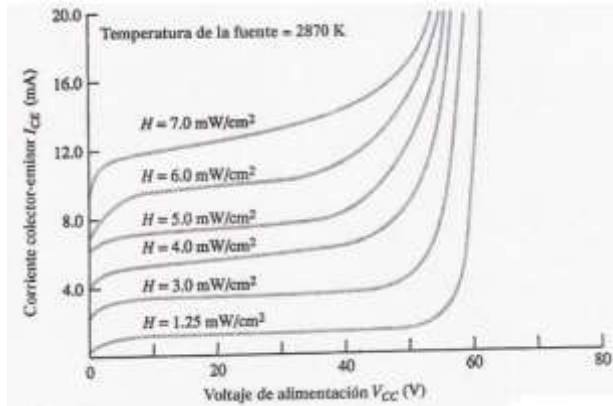


Figura 6.- Curva característica de colector de Fototransistor.

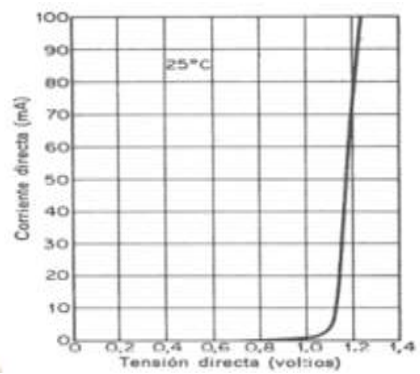


Figura 7.- Curva característica general de los LED's, los cuales comienzan a operar a los $V_f \approx 0.8V$.

Otra de las aplicaciones de los optoacopladores-BJT en Corriente Alterna (CA) es en los sistemas de realimentación para el control de TRIAC's o SCR's, en aplicaciones de detectores de cruce por cero que se observa en la Figura 9, ya sea detectando solo un ciclo de CA con el 4N25 o PC817, incluso existen optoacopladores especiales para detectar ambos ciclos con la misma configuración, pero con doble LED en antiparalelo a la entrada y a salida un solo fototransistor como: PC814 o el H1AA11.

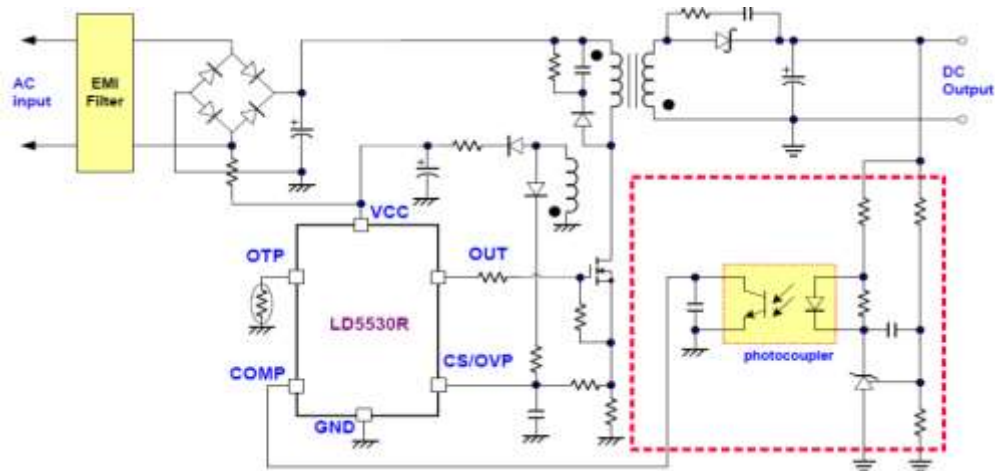


Figura 8.- Aplicación de optoacopladores como sistema de retroalimentación en Fuentes CD-CD.

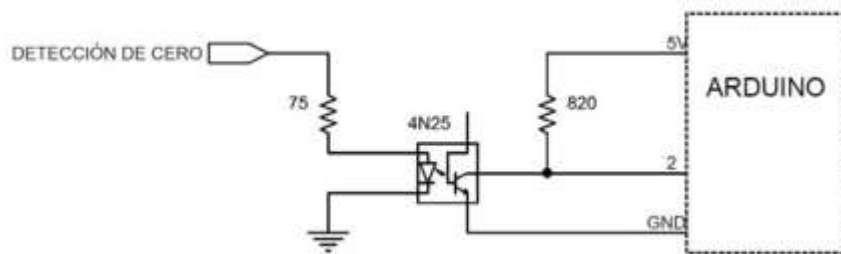


Figura 9.- Detección de cruce por cero con optoacoplador-BJT, detectando solo un ciclo de CA.

PARTE EXPERIMENTAL

Con base en principio de aplicación de los detectores de cruce por cero, utilizando la configuración Emisor Común (E-C) a la salida fototransistor, donde se tiene un pulso positivo V_{CC} , sea de 3.3V o voltaje TTL (5V), cuando el LED no puede conducir a voltajes menores de $V_F < 0.8V$. En la aplicación del sensor de retroalimentación para las fuentes de CD-CD, existen dos posibles configuraciones: una igual que el caso anterior una configuración E-C y la otra que es la de Colector Común (C-C). En ambas configuraciones se pueden realizar ajustes a los optoacopladores conociendo primero sus característica de operación, por ejemplo si nos basamos en: PC817, PC814 y el TLP521, donde todos ellos soportan una corriente máxima en la entrada del LED de $I_F = 50mA$, aunque este tipo de optoacopladores está diseñado para ser manejados en su condiciones de corte y saturación, tal como se muestran en los datos extraídos de las hojas de los fabricantes (datasheet) que muestran en la Tabla 1.

Tabla1.- Datos generales del optoacoplador PC817 y el TLP521, extraído de los datasheet.

Optoacoplador	Parámetro	Condición	Típico	Máxima	
PC817 óPC814 $V_{CE0}=35V$ $V_{iso}= 5000V_{rms}$	Entrada (LED)	V_F	$I_F=+20mA$	1.2V	1.4V
	Salida (BJT)	$V_{CE(sat)}$	$I_F=20mA, I_C=1mA$	0.1V	0.2V
TLP521 $V_{CE0}=55V$ $V_{iso}= 2500V_{rms}$	Entrada (LED)	V_F	$I_F=+10mA$	1.15V	1.3V
	Salida (BJT)	$V_{CE(sat)}$	$I_F=8mA, I_C=2.4mA$ $I_F=1mA, I_C=1mA$	0.2V	0.4V

Realizando ajustes a paso de la corriente del LED de los optoacopladores, no basta con dejar pasar $I_F = 20mA$ o $I_F = 10mA$, ya que a estos niveles de intensidad y a los niveles de tensión de CA, seria

mucha potencia pico, donde se disiparía mucha potencia en forma de calor, tal como se muestra en la ecuación (Ec)1.

$$P_{pico} = \sqrt{2}V_{CA} * I_F = (\sqrt{2} * 127V_{RMS}) * 0.01A = 1.79 \text{ Watts}_{pico} \quad \text{Ec. 1}$$

Si se disminuye el flujo de la corriente pico de CA a la entrada del LED en el optoacoplador-BJT, se puede hacer un detector de cruce por cero, con resistencias más pequeñas que disipen menos calor, para ellos los fabricantes no registran un comportamiento claro del optoacoplador en tales condiciones, tal como se observa en la Figura 10, que son: las gráficas de respuesta de la corriente de colector (I_C) contra el voltaje colector-emisor (V_{CE}) y dependiendo la corriente de entrada del LED (I_F), tanto del PC817, PC814 y como el de TLP521.

Considerando la similitud a un transistor BJT, el cual puede trabajar en regiones casi lineales (cuasi-Lineales), como una resistencia variables que depende de la corriente en la Base (I_B) dentro de las regiones de corte y saturación, de tal forma el optoacoplador con salida BJT puede operar dentro de esta región, aunque no sea definido en las hojas del fabricante, pero se puede realizar un acercamiento a ese modo de operación, por la zona remarcada de color rojo de las curvas $I_C - V_{CE}$ de la Figura 11, donde las condiciones de voltaje debe ser $V_{F-min} > 0.8V$ hasta $V_F < V_{F-Max}$ y a una de corriente de entrada $I_{F-min} < 5mA$, tal como se muestra en las rectas de las cargas generalizadas de las respuestas $I_C - V_{CE}$ de un optoacoplador-BJT en configuración C-C, así mismo en la Figura 12 de observa como lo optoacoplador-BJT puede sensor solo señales de voltaje superiores a $V_{F-min}=0.8V$.

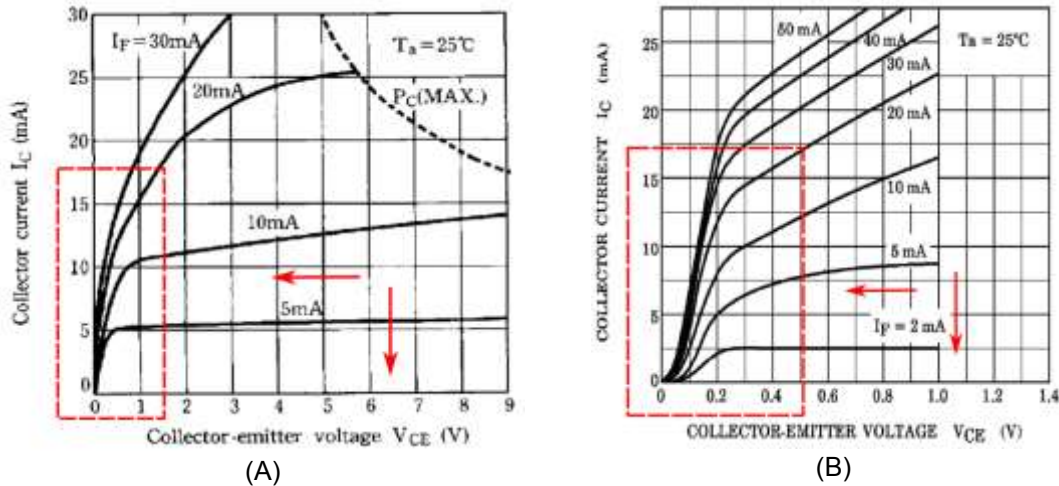


Figura 10.- (A) Grafica $I_C - V_{CE}$ del PC814 o PC817 y (B) Grafica $I_C - V_{CE}$ del TLP521.

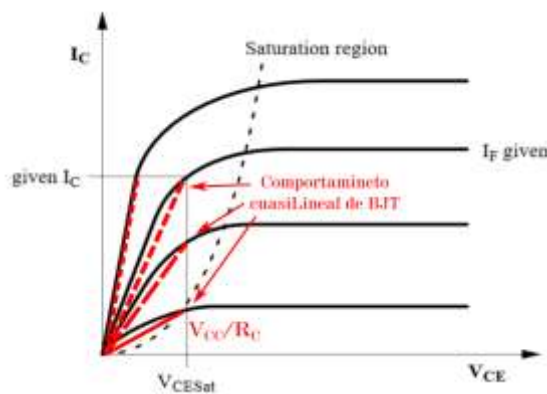


Figura 11.- Rectas de carga genéricas de optoacoplador-BJT C-C.



Figura 12.- El optoacoplador-BJT puede sensor señales de voltajes $V_F > 0.8V$.

Para esta experimentación se utilizaron tres posibles configuraciones de los optoacopladores-BJT que se observan en la Figura 13, con una configuración C-C en fototransistor, para que sence la CA, como una alternativa de control de sobre voltaje o sobre corriente con algún Transformador de Corriente (TC por si siglas en inglés: current transformer), para que se utilicen como señales análogas en CD, de forma segura en los convertidores analógicos a digitales (ADC por si siglas en inglés: *Análogo-to-Digital Converter*), que se pueden utilizar con microcontroladores, DSP, FPGA, ARM o alguna tarjeta de adquisición de datos (DAQ), donde no debe superarse el voltaje máximo de alimentación de los convertidores ADC, que es $V_{CC} \approx 3.3V$ o $5V$, y tenga una respuesta cuasi-Lineal con las limitaciones que observa en la Figura 12.

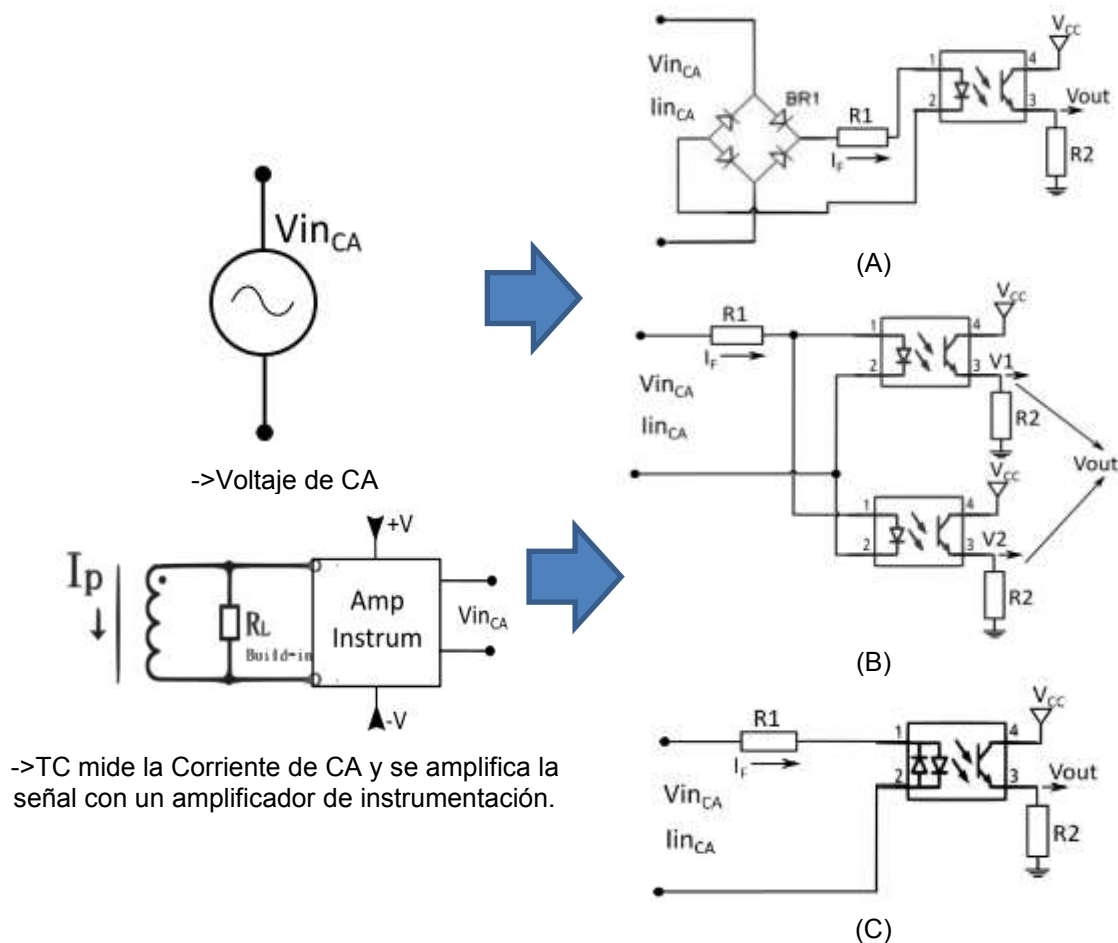


Figura 13.- Esquema alternativo para sensor de CA con optoacopladores-BJT (A) Utilizando un solo optoacoplador y usando un rectificador de onda completa, (B) Utilizar dos optoacopladores y (C) Un optoacoplador con doble LED entrada.

RESULTADOS

En cada una de las tres propuestas (A), (B) y (C) de la Figura 13 para sensor CA, al registrar las corrientes pico a la entrada del LED, que sea $I_F < 5\text{mA}$, considerando que LED de entrada necesita como voltajes mínimos de $V_F \approx (0.8\text{V} - 1.4\text{V})$, que depende de I_F , tal como se muestra en la Figura 14 donde al variar la resistencia limitadora R1, cambiaría el flujo de I_F , por lo cual es necesario estimar o medir para hacer el ajuste del sensor, la Ec. 2 estima de forma general el valor pico de I_F , de acuerdo a las leyes de kirchhoff en la malla principal de entrada al optoacoplador-BJT para los tres esquemas de las Figuras 13 y de igual manera para el circuito equivalente de la Figura 14.

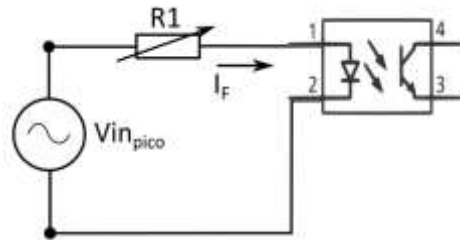


Figura 14.- Circuito equivalente de ajuste para sensor el voltaje y corriente pico de CA en la entrada del optoacoplador-BJT.

$$V_{in_pico} = (I_F * R1) + V_F$$

$$I_{pico} = I_F \cong \frac{V_{in_pico} - V_F}{R1} \tag{Ec. 2}$$

De acuerdo a la Ec. 2, es primordial sensor o limitar el flujo corriente de CA, ya sea que venga de una fuente de voltaje o al sensor una corriente con un TC y con su acondicionamiento con algún amplificador operacional o de instrumentación, que permita elevar los niveles de tensión a cerca de sus valores de alimentación diferencial (por ejemplo +12V y -12V). Ya que si se entregan valores picos en CA demasiado grandes que podría dañar la estructura interna de los ADC's de cualquier microcontrolador, siendo los más susceptibles a daños los que se alimentan a voltajes bajos como: $V_{CC} = 1.5\text{V}$ ó 3.3V .

Por esa razón una alternativa de usar optoacopladores-BJT para sensor señales rectificadas de CA, generando a la salida del fototransistor en configuración C-C un voltaje en CD que no superé el voltaje V_{CC} , tal como se muestra en la Figura 15, de tal forma que la señal de voltaje de entrada en CA en el canal 1 (CH1-Azul) con un valor pico de $5.44V_{pico}$, cuando su resistencia limitadora es $R1 \approx 10\text{K}\Omega$ para los dos esquemas de la Figura 13 (B) y (C), y para el esquema de la Figura 13 (A) $R1 \approx 8\text{K}\Omega$ ya que existe una caída de tensión adicional en el puente rectificador, limitando todos los casos a una corriente $I_F = 204.9\mu\text{A}_{RMS}$. Que por consecuencia en el canal 2 (CH2-Rojo), se observa la señal de voltaje saturada a la salida del BJT con una carga de $R2 \approx 18\text{K}\Omega$, que no supera la tensión de alimentación $V_{CC} = 5\text{V}$ y se puede calcular con la Ec. 3.

$$V_{out_pico} = V_{CC} - V_{CE}$$

$$V_{out_pico} = 5\text{V} - 0.2\text{V} = 4.8\text{V} \tag{Ec. 3}$$

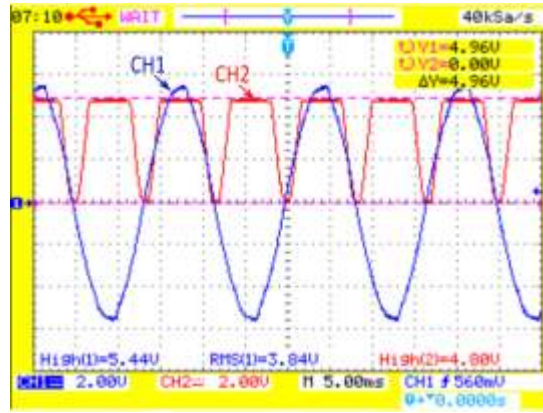


Figura 15.- Entrada y salida en saturación al sensor voltaje de CA, cuando $I_F = 204.9\mu A_{RMS}$ y $R_2 \approx 18K\Omega$.

Al incrementar $R_1 \approx 11K\Omega$ los esquemas de la Figura 13 (B) y (C) y $R_1 \approx 10K\Omega$ en el esquema de la Figura 13 (A), se modifica ahora el flujo de corriente $I_F = 180.7\mu A_{RMS}$, que permite no saturar la señal de salida del BJT con un carga de $R_2 \approx 18K\Omega$, tal como se observa en la Figura 16, donde el canal CH1-Azul muestra la señal de entrada de CA ($5.52V_{pico}$) y CH2-Rojo ($4.7V_{pico}$) es la señal de salida del optoacoplador-BJT.

En el caso de sensar la corriente en CA con un TC y con un ajuste señal a uno a uno (1:1) con amplificadores operacionales, donde al tener a 1 amperio RMS ($1 A_{RMS}$), se tiene su equivalente a $1V_{RMS}$, así mismo un $V_{pico} \approx I_{pico} \approx 1.42$, tal como se observa en la Figura 17. Donde el canal 1 (CH1-Azul) se muestra el voltaje de entrada del optoacoplador-BJT y en el canal 2 (CH2-Rojo) se observa cómo se satura la señal de salida a $V_{CH2} = 4.8V_{pico}$ (V1), cuando $R_1 \approx 470\Omega$ y $I_F = 224\mu A_{RMS}$, utilizando el esquema la Figura 13 (B), donde se observa la respuesta de uno de los dos optoacopladores BJT (solo el ciclo positivo). La propuesta topológica de la Figura 13 (B) es la única donde se puede observar, procesar, controlar e identificar cada uno de los ciclos de la CA (V1 ciclo positivo y V2 ciclo negativo) de manera individual, ya sea sensando los niveles de tensión o de corriente (valores pico).

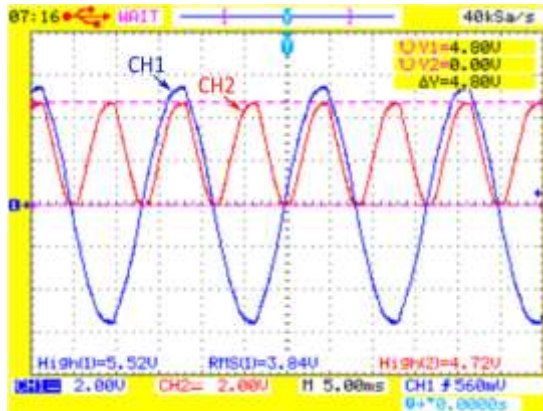


Figura 16.- Entrada y salida en saturación al sensor voltaje de CA, cuando $I_F = 180.2\mu A_{RMS}$ y $R_2 \approx 18K\Omega$.

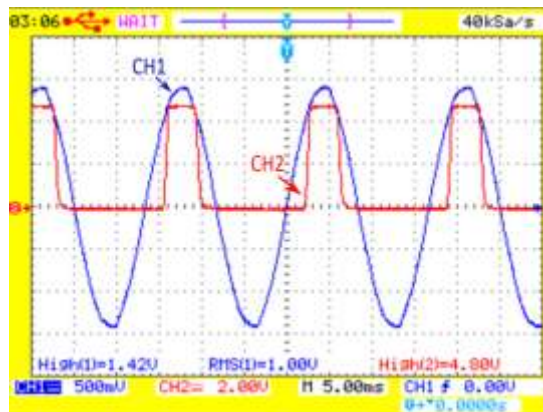


Figura 17.- Entrada y salida en saturación al sensor corriente de CA con u TC, cuando $I_F=224.2\mu A_{RMS}$ y $R_2\approx 18K\Omega$.

Si en la anterior propuesta de sensor corriente de CA con TC y la topología (B) de la Figura 13, donde ahora se deja pasar $I_F = 163\mu A_{RMS}$, cuando $R_1 \approx 570\Omega$ y en ambos caso la carga del BJT es $R_2 \approx 18K\Omega$ a la salida del fototransistor con configuración C-C, se muestra su respuesta en la Figura 18, donde CH1-Azul es la señal de entrada de CA ($1.42V_{pico}$) y CH2-Rojo ($4.7V_{pico}$) es la salida del BJT.

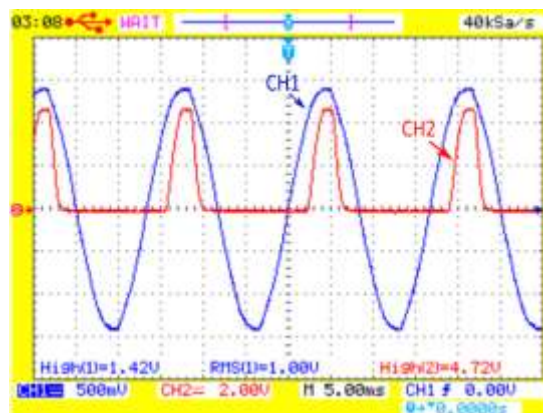


Figura 18.- Entrada y salida en saturación al sensor corriente de CA con u TC, cuando $I_F=163\mu A_{RMS}$ y $R_2\approx 18K\Omega$.

En realidad la propuesta para sensor CA, se basa en observar el incremento o decremento del valor pico a la salida de los optoacopladores-BJT en configuración de C-C, donde de acuerdo a la teoría de semiconductores al modificar el flujo de corriente (Carga resistiva) que pasa por un BJT o un fototransistor en este caso, también se modifica la corriente que pasa por el colector (I_C) y a su vez modifica el voltaje de colector-emisor (V_{CE}), que puede ser $V_{CE} \approx (0.1V - 0.5V)$ o más grande dependiendo I_C . Al tener un esquema general de ajuste para variar la carga R_2 en el BJT que se observa en la Figura 19, que es el mismo circuito para las tres topologías (A), (B) y (C) de la Figura 13.

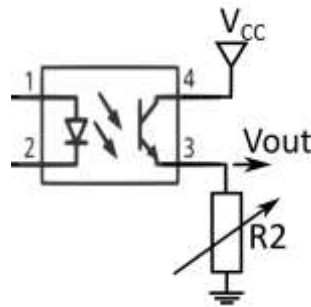


Figura 19.- Circuito equivalente para hacer ajustes a la salida del optoacoplador-BJT al sensar la corriente CA.

A modificar R_2 y la corriente I_c , se modifica la forma de la señal de salida del optoacoplador-BJT, permitiendo hacer acondicionamientos más amplios que solo al controlar el flujo de la entrada I_F . En el caso de sensar un voltaje de CA más grande, como el que se observa en la Figura 20, donde ahora el voltaje de entrada del sensores con optoacopladores-BJT es $V_{in_RMS} = 248V_{RMS}$ que se observa en CH1-Azul ($356V_{pico}$) al ajustarse $R_1 \approx 300K\Omega$ y deja pasar hasta una corriente $I_F = 862\mu A_{RMS}$, se puede ajustar el voltaje de salida (V_{out}) con una $R_2 = 1.3K\Omega$ y deje pasar I_c cercano a los $1.17mA$ o $2.18mA$ (depende el optoacoplador), para que entregue voltajes picos hasta de solo $V_{out} \approx 3.12V_{pico}$, que se muestran en CH2-Rojo.

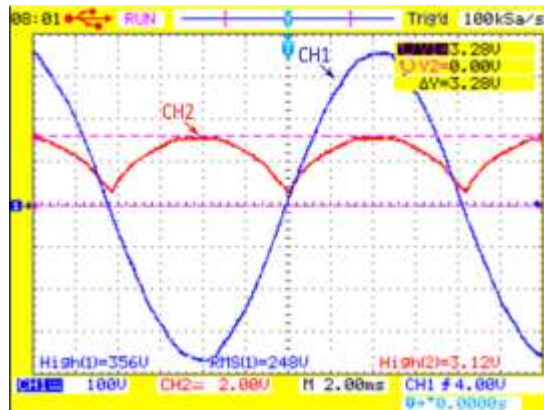


Figura 20.- Entrada y salida sensando voltaje de CA de $248V_{RMS}$, cuando $I_F = 868.2\mu A_{RMS}$ y $R_2 \approx 1.3K\Omega$.

De similar manera se puede modificar el sensado de la corriente CA con su TC y acondicionamiento 1:1, permitiendo sensar corrientes más altas que $1A_{RMS}$, por ejemplo en la Figura 21 se deja pasar a $1.44A_{RMS}$ o $1.44V_{RMS}$ en CH1-Azul ($2A_{pico}$), al dejar pasar en optoacoplador $I_F = 471\mu A_{RMS}$, cuando $R_1 \approx 270\Omega$, y salida del BJT tiene una carga de $R_2 = 5K\Omega$ y puede observar en CH2-Rojo un voltaje pico hasta de $V_{out} = 1.08V_{pico}$.

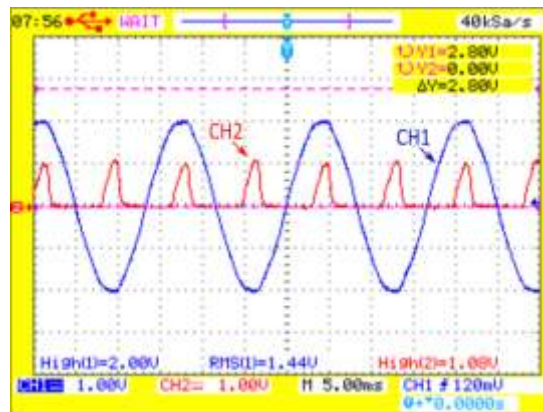


Figura 21.- Entrada y salida sensando corriente de CA de $1.44A_{RMS}$, cuando $I_F = 471.2\mu A_{RMS}$ y $R_2 \approx 5K\Omega$.

CONCLUSIONES

Aunque los optoacopladores-BJT no están diseñados plenamente para sensar señales analógicas y menos en CA, esta propuesta es una alternativa para poder registrar valores pico, que permitirá procesar de manera segura este tipo de señales sin tener un riesgo de daño para un microcontrolador de bajo voltaje.

BIBLIOGRAFÍA

1. Stanley Wolf, Richard F.M Smith, Guía para mediciones electrónicas y practicas de Laboratorio, primera edición, prentice-hall, hipanoamericana. 1992.
2. Silicon Photodiode, BPW21R, Vishay semiconductors.
3. Boylestad, R. L. y Nashelsky, L., Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos, Prentice Hall, décima edición.
4. Ivette, Avila Cordoba Liliana. "3.1 Materiales para aplicaciones optoelectricas." (2019).
5. Watson, J., Francisco J. Rodríguez Ramírez, and Hugo Villagómez Ramírez. Optoelectrónica. Limusa, 1993.
6. Petkova, Elena N., and Ivan S. Kolev. "Optocouplers and Optoelectric Elements Controlled by Sensors.", 2006.
7. Constantino, John R., and Peter A. Perniciaro. "Bi-directional optical coupler." U.S. Patent No. 6,556,750. 29 Apr. 2003.
8. Silvestre Bergés, Santiago. "Optoelectrónica, fotónica y sensores." (2016).
9. Candia, J. Contreras, C. Robles, J.L. Arizpe, M de Gante, "Convertidro semicontrado Ca-CD", Coloquio de Investigación Multidisciplinaria_Science, Technology and Educational Research_Volumen 6, Número 1_pag.334-342_ISSN 2007-8102, 2018.

SATITL

Juana María Camarillo Escobedo, Axel David Neave Velázquez, Rosa María Camarillo Escobedo,
Humberto Hernández Sing, Alejandra Tello

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de la Laguna.
jmce06@hotmail.com

RESUMEN

Hoy en día la contaminación ambiental es uno de los grandes problemas que se tiene a nivel mundial y cada día aumenta más, debido al desarrollo de nuevas industrias, al consumo diario de combustibles fósiles, la falta de conciencia y la cultura vial entre otros. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana de Salud 025, establece que los efectos de la contaminación del aire son amplios, en particular en los sistemas respiratorios y cardiovasculares, siendo los grupos de mayor riesgo: los niños menores de 5 años, los adultos mayores de 65 y las personas con padecimientos previos. La contaminación del aire es la mezcla de partículas sólidas y gases contaminantes generados por la cantidad de automóviles que se utilizan y a la inmensa industria nacional que se tiene Met-Mex Peñoles en la zona, la emisión de compuestos químicos, polvo y polen. El campo de investigación del proyecto se deriva del “Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Región de la Comarca Lagunera 2010-2015”, donde la segunda estrategia relaciona la Prevención y Control de la contaminación de vehículos automotores. En la medida 5 de ésta estrategia define el Implementar programas de transporte público de pasajeros y de transporte no motorizado, con el objetivo de reducir las emisiones de contaminantes en el sector de transporte. Al considerar la necesidad de un sistema de control vehicular se implementa el sistema de transporte compartido en el Instituto Tecnológico de la Laguna (SATITL), el cual consiste en el uso compartido del vehículo particular como alternativa de movilidad eficiente y aceptable basada en herramientas colaborativas como lo son el Javascript y el Ionic Framework, en la que el diseño de la plataforma tecnológica “Carpool TecNMLaguna” permiten conectar pasajeros y conductores en línea, usuarios con rutas en común y acordar viajes en grupos ahorrando tiempo, dinero y mejorando la calidad del viaje, pero sobretodo evitar la contaminación del aire por un excesivo uso de automóviles dentro de la ciudad y la comunidad estudiantil.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que la contaminación atmosférica urbana causa en todo el mundo 1.3 millones de muertes al año.

En México unas 14 mil 700 personas a causa de la contaminación atmosférica, están relacionados a enfermedades pulmonares y cardiovasculares de los cuales, 13 mil 800 fallecimientos, son ocasionadas por la inhalación de partículas menores a 10 micras.

Entre el año 2001 y el 2005 se estima que murieron en México 38 mil personas por cáncer de pulmón, enfermedades cardiopulmonares e infecciones respiratorias relacionados con la exposición a la contaminación atmosférica, generada principalmente por automotores. En el país los índices de contaminación ambiental del aire, se han estado incrementando, en Mayo 2019, en la Ciudad de México, se declara estado de emergencia por la gran contingencia ambiental que se suscitaba en el momento; En la región Lagunera, no es ajena ante esta situación, ya que presenta altos índices de contingencia ambiental, que representan un riesgo para la salud de la población, por lo que es necesario aplicar medidas de control que correspondan a una contingencia.

Una alternativa de movilidad conocida mundialmente es el “Carpooling”, que consiste el uso compartido de un vehículo particular que con el uso de las plataformas tecnológicas permiten conectar pasajeros y conductores en línea y con gran facilidad. Carpooling, es una tendencia internacional que ayuda a reducir el tráfico y caos vehicular, y cuidar el ambiente. A través de una plataforma digital, conductores y pasajeros pueden buscar viajes disponibles y autos con asientos libres, respectivamente. Es decir, una fórmula sencilla: viajar varias personas en un mismo vehículo para llegar a un destino común. Su objetivo es claro y preciso: optimizar el uso del auto al maximizar la cantidad de asientos utilizados.

En los Estados Unidos en 1970, surge esta iniciativa ante la crisis del petróleo, y como una alternativa y necesidad para disminuir costos. Se popularizó como un hábito que, además del ahorro económico, promueve la reducción del tráfico y disminuye el impacto ambiental de los gases emitidos. En Argentina, se presenta como una solución a un tráfico en ascenso. En todo el país, el 70% de las personas hacia el trabajo viajan en auto y lo hacen solos. En Buenos Aires, 1.5 millones de autos ingresan por día, dando un promedio de seis millones de asientos vacíos, lo que equivale decir, que ingresa tres veces la cantidad de personas que llegan a la ciudad en transporte público. La diferencia de la aplicación entre la iniciativa de Europa y la Argentina, radica en el problema de la inseguridad; En los países europeos o en Estados Unidos, el carpooling se realiza entre individuos que no se conocen, en Argentina busca la garantía a su uso para lograr implementar la iniciativa localmente, algunas de ellas son Sincropool, Comparto Coche y Vayamos Juntos.

Mediante un sistema de transportación, que permita trasladar un grupo de personas de un mismo plantel y en que el conductor sea miembro del mismo, se diseña la aplicación web-móvil (app) SATITL, la cual consiste en designar un punto de partida hasta trasladar a los involucrados a la Institución Educativa y viceversa, con la diferencia a la alternativa de movilidad Carpooling, que es principalmente la seguridad de los pasajeros, debido a que el transporte se comparte con un grupo de personas que son identificadas y registradas, además de tener la ventaja en flexibilidad al ser participe como conductor o pasajero. De esta manera, el objetivo de este proyecto es colaborar con la disminución de la contaminación del aire que se genera día a día con transporte público o particular y que ocasiona problemas serios en la salud como lo es el sistema respiratorio y que además es una alternativa que en la comarca lagunera no se ha aplicado, por lo que se desarrolla el programa SATITL, en el Instituto Tecnológico de la Laguna.

TEORÍA

Herramientas colaborativas.

La revolución tecnológica avanza rápidamente en la actualidad. El internet no solo ha cambiado la forma de comunicación social y profesional, sino también la manera de trabajar internamente en equipo, eficaz, eficiente y a las necesidades concretas que se desean, administrativas, operativas o procesos, reduciendo costos y mejorando la productividad con el albur de la web 2.0 que cuenta con un sinnúmero de herramientas colaborativas online. Herramientas necesarias para el desarrollo de una aplicación web a considerar son: La metodología Scrum, metodología ágil que permite la facilidad y la rapidez; La plataforma Web, por lo que el lenguaje de programación para este será JavaScript, tanto para la presentación como para el backend del mismo; El marco de trabajo (framework) que se va a utilizar es Ionic; Para la parte del backend, se utilizarán servicios rest (Representational State Transfer), que permite la creación de servicios que pueden ser usados por cualquier dispositivo o cliente que entienda HTTP y se hará uso del API de Google Maps, para la elaboración de los mapas de las rutas y la geo localización. la elaboración de los mapas de las rutas y la geo localización.

Lenguaje de programación.

El lenguaje de programación es una herramienta que permite el desarrollo de software, que son empleados para diseñar e implementar programas encargados de definir y administrar el comportamiento de los dispositivos físicos y lógicos de una computadora; mediante la creación e implementación de algoritmos de precisión, es posible escribir programas que permiten la comunicación usuario-máquina. En la programación, donde el proceso de análisis, diseño, implementación, prueba y depuración de un algoritmo, se compila y genera un código fuente ejecutado en la computadora, en programas especiales (compiladores o intérpretes) convierten las instrucciones escritas en código fuente, en instrucciones escritas en lenguaje máquina (0 y 1), por último, se obtiene un programa ejecutable. El Lenguaje C, se caracteriza de uso general, de sintaxis compacta y portable, por lo que los hace una herramienta informática que permite desarrollar programas para computadoras. Por otro lado, se requiere profundizar en el lenguaje de programación que se utiliza en el diseño de la aplicación, el cual es *JavaScript*, utilizando como marco de trabajo el *Ionic framework*,

JAVASCRIPT. Es un lenguaje de programación que puede ser aplicado a un documento HTML y usado para crear interactividad dinámica en los sitios web. Inventado por Brendan Eich, co-fundador del proyecto Mozilla, Mozilla Foundation y la Corporación Mozilla. Entre las cosas que puede realizar con JavaScript, desde pequeñas cosas como carruseles, galerías de imágenes, diseños fluctuantes, y respuestas a las pulsaciones de botones y con mayor experiencia, JavaScript es capaz de crear juegos, animaciones 2D y gráficos 3D, aplicaciones integrando bases de datos, etcétera. Es bastante compacto aunque muy flexible. Todos los navegadores modernos incluyen un intérprete o motor de JavaScript, que traduce e interpreta las instrucciones escritas en este lenguaje en las páginas, esto permite la rapidez que no es posible en otros lenguajes como PHP que se ejecutan en el servidor web.

El navegador reconoce las instrucciones de JavaScript de dos formas:

- ✓ Insertadas dentro de las etiquetas `<script></script>`.
- ✓ Como atributos de elementos precedidos por la instrucción: "javascript:"

IONIC FRAMEWORK. Ionic, es una herramienta gratuita y open source, para el desarrollo de aplicaciones híbridas en HTML5, CSS y JS. Esta construido con Sass y optimizado con AngularJS. Sus principales características son:

- ✓ Alto rendimiento. Ionic, está construido para ser rápido gracias a la mínima manipulación del DOM, con cero jQuery y con aceleraciones de transiciones por hardware.
- ✓ AngularJS & Ionic. Ionic utiliza AngularJS con la finalidad de crear un marco más adecuado para el desarrollo de aplicaciones robustas
- ✓ Centron nativo. Inspirado en las SDK de desarrollo móviles nativos más populares, por lo que es fácil de entender para cualquier usuario que ha construido una aplicación nativa para iOS o Android.
- ✓ Bonito. Ionic ha sido diseñado para poder trabajar con todos los dispositivos móviles actuales.
- ✓ Un potente CLI. Permite crear, construir, probar y compilar tus aplicaciones en cualquier plataforma.

Aplicaciones carpooling.

Carpooling, es la última tendencia en la que se comparten autos con otras personas que van al mismo sitio, se realiza entre conocidos o mediante aplicaciones, algunas de ellas son:

[Citty mapper.](#) Es una opción ideal para aquellos que quieren sustituir el vehículo por el transporte público.

[Bikemap](#) Esta app viene muy bien para evitar usar automóvil y fomentar más el uso de la bicicleta, Carpooling web. En la Universidad Complutense de Madrid se desarrolló el proyecto Servicio Web de Carpooling que tiene el fin conseguir una serie de objetivos como son la disminución de la emisión de CO₂ y la contaminación, desplazamientos más eficientes para reducir el tráfico o el ahorro en combustible, para así alcanzar una serie de ventajas y beneficios tanto para el usuario como para la sociedad mediante la implementación de un servicio web de Carpooling.

[Carpooling.com.](#) Es una plataforma multimodal, que impulsa la práctica de carpooling, donde los conductores pueden ofrecer asientos vacíos, los pasajeros pueden reservar un viaje a su destino y y la gente pueda comparar y elegir la forma más conveniente de viajar en autobús, tren o avión. Se aplica en Alemania, Francia, Austria, Suiza, Bélgica, República Checa, Polonia, Italia, España y Holanda, en 25 países alrededor de toda Europa.

[Aventones.com.](#) Es una red privada que promueve y facilita la cultura de compartir el auto y taxis dentro de comunidades de confianza.

[Encamello.com](#) Es una plataforma 2.0 gratuita de Argentina, que permite a sus usuarios contactarse entre sí para compartir los gastos de un viaje en auto.

[Autocompartido.com](#) plataforma permite publicar y buscar trayectos con el fin de compartir un auto, además permite que los usuarios den una retroalimentación del servicio con el fin de asegurar un mejoramiento continuo. eventos en países como Ecuador, Colombia y Perú.

[Vayamosjuntos.com.ar](#) Es la primera red de Argentina que promueve el concepto de viaje compartido. Ayudan a los conductores a compartir sus autos de manera rápida, cómoda y segura; y a los pasajeros a encontrar con quien viajar, para que todos puedan disminuir gastos, hacer nuevos amigos y cuidar el medio ambiente.

Compartecodhe.com. A través de esta página tú podrás marcar la ruta de inicio a fin y compartirla. Si alguien o tú mismo encontraste a un conductor que pasa por algún punto en común, podrán incorporarse dándole click al perfil. Es importante que tú tengas auto y tu perfil dado de alta para compartir y que te compartan.

Carrot A diferencia de la anterior, Carrot presta sus servicios a todas las personas con o sin auto, esto con el fin para hacer una comunidad grande y erradicar el tráfico. En Carrot podrás rentar el auto por hora o por día y la compañía paga la gasolina y el seguro. El sistema es muy parecido al de ecobici en donde hay terminales para tomar y dejar el vehículo.

Aventones Esta aplicación se enfoca únicamente a las empresas y es una gran alternativa para transportar a los empleados de una manera segura, eficaz, reduciendo el tráfico y puntual. Mejor la interacción y facilita la movilidad de todos.

BLABLACAR. El más reciente de todos en México pero de los más conocidos a nivel mundial es BlaBlaCar. Con esta app tendrás seguridad y confianza en cada uno de los trayectos que estarán al mando de un chofer capacitado y de la información que comparten los demás pasajeros.

Tripda Tripda busca cumplir con todas las necesidades, al formar parte de esta comunidad podrás realizar viajes dentro y fuera de la ciudad con tan solo indicar tu ruta y con quien deseas compartir viaje y gastos. Además tiene la opción llamada “solo para ellas” que es dedicada a las mujeres.

PARTE EXPERIMENTAL

Nace una idea: “SATITL” El proyecto se basa inicialmente con el tema de contaminación del aire, en el que surge la idea de contribuir en la descongestión vehicular aplicado en una institución educativa.

Su diseño o app es atractivo y seguro, e involucra las disciplinas de ingeniería de electrónica, sistemas computacionales y mecatrónica.

Para el desarrollo de la parte experimental se realiza mediante tres etapas. La primera es la “Captura de la información”, donde se utilizan técnicas de recolección de datos para la captura y levantamiento de la información. La segunda etapa es el “Desarrollo del producto”, donde se hace uso del equipo tecnológico al igual que las herramientas colaborativas para la recolección de la información y diseño de la app. Y la tercerag etapa corresponde a las “Producto entregable”, donde se realizan las pruebas de operación de la app y obtención del resultado final.

Captura de la Información.

Para realizar esta actividad se realiza a través de medios digitales (on line) y físicos (encuestas), obteniendo la información requerida y ser capturada como referencia en el documento final, en el apartado de *la Identificación de las necesidades*, se obtienen los datos, con información importante que permitirá obtener las necesidades del cliente, el cual permitirá conocer si el proyecto es factible y/o aplicar una mejora al mismo.

Desarrollo del Producto.

Se realiza diseño y desarrollo de las funciones de la app,: Se crean los prototipos y la programación de las funciones; Se diseña el Modelo de datos, donde se describe la estructura y la información contenida en la base; Ahora basado en los resultados obtenidos en la recolección de información por parte de los usuarios, se identifica los requerimientos esenciales para ser considerados en el producto, enseguida se lleva a una fase de cierre donde con la participación de equipo interdisciplinario del recurso humano, se diseña y se crea la app SATITL.

El desarrollo del proyecto se basa en la metodología Scrum, metodología ágil que permite el fácil y rápido desarrollo del proyecto.

El desarrollo de la app, se basa en el diseño de una plataforma Web, por lo que el lenguaje de programación a aplicar es JavaScript, tanto para la presentación como para el backend del mismo. En el marco de trabajo (framework) el programa a utilizar es el Ionic.

Para la parte del backend, se utilizan los servicios rest (Representational State Transfer), que permite la creación de servicios que pueden ser usados por cualquier dispositivo o cliente que entienda HTTP.

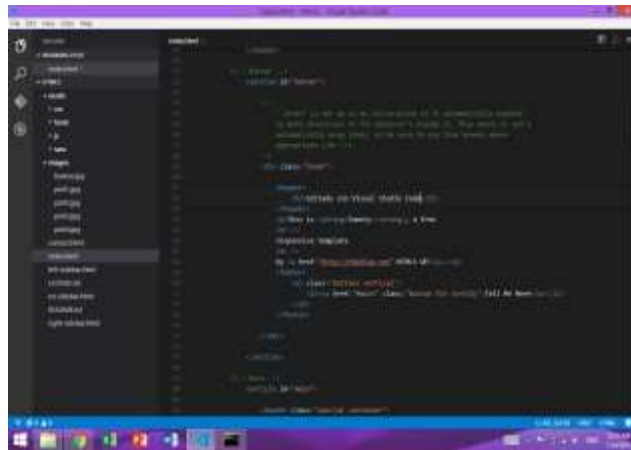
Y por último se hace uso del API de Google Maps, para la elaboración de los mapas de las rutas y la geo localización.

Prueba y resultados.

Se aplican encuestas en línea y de manera presencial; Se identifica el nivel de confianza para determinar el tamaño muestra a considerar; se inicia con la solicitud de usuarios a SATITL e incorporarse en la base de datos de la plataforma denominada Carpool TecNMLaguna. Se desarrolla un análisis cuantitativo para determinar los resultados obtenidos y finalmente un Análisis de diagnóstico para identificar las oportunidades y las posibles amenazas presentada e iniciar una mejora continua, para un mejor servicio y operación de la aplicación SATITL

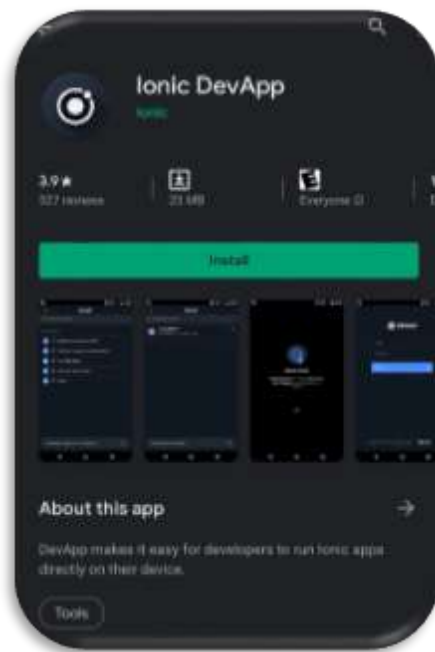
RESULTADOS

Aplicando JavaScript, Visual Studio Code y con Ionic Framework como marco de trabajo, se procede a realizar el diseño de la interfaz de aplicación y el código de pantalla y chat.



Visual Estudio Code (2019). Construyendo el código.

<https://somostechies.com/content/images/2015/11/Screenshot--15-.png>

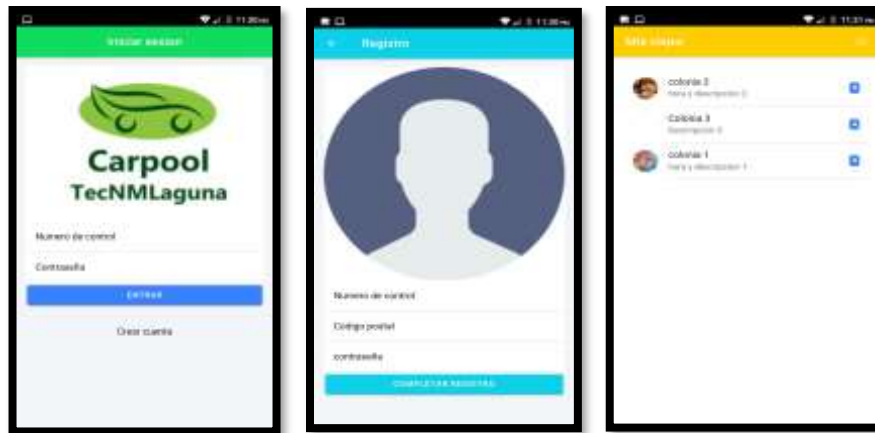


Google Play Store (2019). Instalación de la aplicación Ionic DevApp

Desarrollo de SATITL

Se construye el código en el programa *Visual Studio Code*, donde utilizando el marco de trabajo Ionic de JavaScript, permite dar opción al diseño de la aplicación al gusto del diseñador. La aplicación es visible en aparatos móviles descargando la aplicación *Ionic DevApp* y sincronizándola desde una computadora hasta el aparato móvil del usuario.

Utilizando el servicio *Canva*, el cual es un sitio web de herramientas de diseño gráfico simplificado se inicia con el diseño de un logotipo atractivo para la aplicación SATITL y que además se ajustara a los objetivos del proyecto, por lo que se diseña la plataforma Carpool TecNMLaguna, por lo que se procede a diseñar la interfaz de la aplicación para después iniciar con la construcción del código, donde se considera parte de la interfaz, a sus elementos de identificación, de navegación, de contenidos y de acción. Se presentaron algunos errores en fallos y problemas de sintaxis que no permitían el correcto desarrollo de la app, sin embargo corregidos se realizan pruebas para determinar el correcto funcionamiento de la misma.



J.Camarillo, A.Neave (2019). Pantalla1: Home / Inicio de la aplicación. Pantalla2: Registro de cada usuario en la aplicación. Pantalla3: Viajes de cada usuario a su respectivo destino, indicando hora y descripción del viaje.

Desarrollo de la interfaz con Ionic Framework.

La plantilla de Ionic permite crear aplicaciones móviles en diferentes plataformas que pueden instalarse en teléfonos con Android e iOS, aunque Ionic puede iniciar su uso justo después de descomprimir sus librerías, para facilitar el uso de esta herramienta, en nuestro sistema, se añade una interfaz o CLI basada en Node.JS.

Para el desarrollo de la interfaz con ionic framework, se diseñan los códigos:

- Código construido para la realización de la pantalla de registro.
- Código construido para la realización de la pantalla de viajes.
- Código construido para la realización de la ventana de cada chat.

- ***Código construido para la realización de la pantalla de registro.***

```

<ion-header>
  <ion-toolbar color="success">
    <ion-title class="ion-text-center ion-text-capitalize">Iniciar sesion</ion-title>
  </ion-toolbar>
</ion-header>

<ion-content class="ion-padding" color="light">
  <ion-img src="../../assets/carpool.jpg"></ion-img>
  <ion-item>
    <ion-label position="floating">Numero de control</ion-label>
    <ion-input type="number" [(ngModel)]="email" name="email"></ion-input>
  </ion-item>
  <ion-item>
    <ion-label position="floating">Contraseña</ion-label>
    <ion-input [(ngModel)]="password" type="password" name="password"></ion-input>
  </ion-item>
  <ion-button (click)="OnSubmitLogin()" expand="block">Entrar</ion-button>
  <br>
  <p (click)="irRegistro()" class="ion-text-center">Crear cuenta</p>
</ion-content>

```

- ***Código construido para la realización de la pantalla de viajes.***

```

<ion-header>
  <ion-toolbar color="warning">
    <ion-button color="warning" fill="outline" slot="end" (click)="Onlogout()">
      <ion-icon color="light" name="power"></ion-icon>
    </ion-button>
    <ion-title>
      Mis viajes
    </ion-title>
  </ion-toolbar>
</ion-header>

<ion-content class="ion-padding">
  <!-- List of Text Items -->
  <ion-list>
    <ion-item *ngFor="let chat of chatRooms" (click)="openChat(chat)">
      <ion-avatar slot="start">

```

- **Código construido para la realización de la ventana de cada chat.**

```

<ion-header>
  <ion-toolbar color="tertiary">
    <ion-button color="tertiary"
fill="outline" (click)="closeChat()"
slot="start">
      <ion-icon name="arrow-back"
color="light"></ion-icon>
    </ion-button>
    <ion-title class="ion-
padding">{{chat.name}}</ion-title>
  </ion-toolbar>
</ion-header>

<ion-content color="light" class="ion-
padding">
  <!-- <ul *ngIf="room">
    <li style="list-style: none;"
*ngFor="let mensaje of room.messages">
      {{mensaje.content}}</li>
  </ul> -->
  <div *ngIf="room">
    <ion-card *ngFor="let mensaje of
room.messages">
      <ion-card-content>
        {{mensaje.content}}
      </ion-card-content>
    </ion-card>
  </div>

</ion-content>
<ion-footer class="ion-padding">
  <ion-item>
    <ion-textarea
[(ngModel)]="mensaje"></ion-textarea>
    <ion-button color="success"
(click)="sendMessage()">
      <ion-icon name="send"
color="light"></ion-icon>
    </ion-button>
  </ion-item>
</ion-footer>

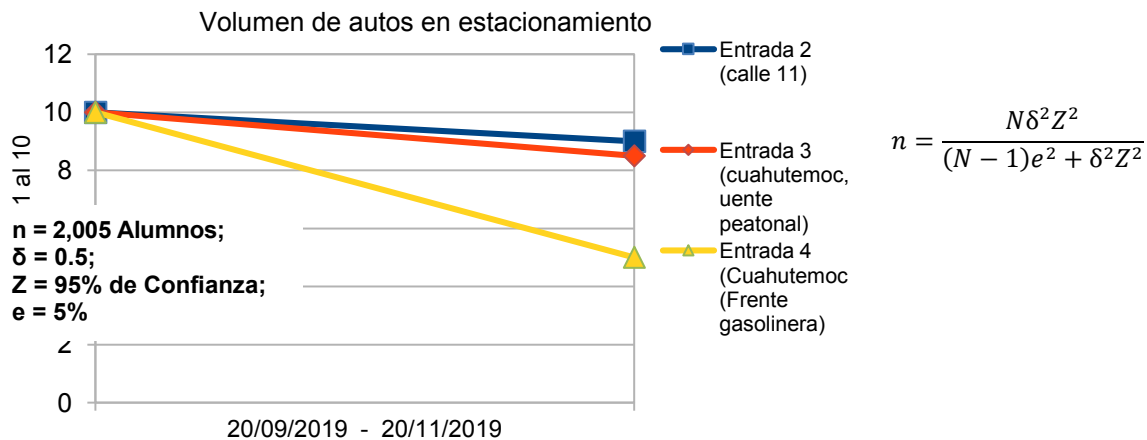
```

J.Camarillo, A. Neave: (2019). Programas del marco de trabajo para interfaz de pantalla de registro, pantalla de viajes y ventana para cada chat

Nivel de confianza.

Una encuesta es realmente valiosa cuando es confiable y representativa. Uno de los factores para lograr esto es el tamaño de la muestra. El tamaño de la muestra es una porción significativa de la población que cumple con las características de la investigación reduciendo los costos y el tiempo. Según datos obtenidos en Universia.net.mx El Instituto Tecnológico de la Laguna tiene 4,662 Alumnos y 826 Profesores.

Como tamaño de la población, solo se toma la cantidad de alumnos que usan auto en el ITL el cual es el 43%= 2,005 Alumnos, excluyendo a los profesores y a el 53% de alumnos restantes. En la desviación estándar, valor constante, se tomaron valores predeterminados que suelen usarse en esta fórmula, y solo se tomó un margen de error del 0.5.



H.Hernández, (2019) Gráfica de la reducción de automóviles 2019

Las pruebas de la aplicación muestran que se alcanza disminuir el número de vehículos en el interior del plantel y por consiguiente el tráfico vehicular en las áreas del estacionamiento, en particular en el área de la entrada 4, además se observa que la mayoría de los autos son de reciente modelo, y por consiguiente mayor control en contaminante por partículas CO2.

CONCLUSIONES

El uso de las nuevas tecnológicas y de comunicación que están a nuestro alcance, permitieron la realización del proyecto SATITL, donde el concepto de Carpooling, tiende a ser una novedad en nuestra región, ya que no existe ninguna aplicación similar, además de ser incorporada como un medio de transporte colectivo de la Institución Educativa, Permitiendo la reducción de la congestión vehicular en el estacionamiento y por ende la contaminación ambiental.

SATITL, es una aplicación de fácil uso, económica y segura para quien disponga de él, ya que conecta los pasajeros con los conductores de vehículos registrados en su servicio; Es una nueva forma de compartir el vehículo en una comunidad de una misma institución educativa, a través de una app móvil que podrá ser usada con el Android, cuyo objetivo es transportarse de una manera diferente, que ayude a mejorar la movilidad, el transporte y la calidad de aire y de vida de las personas. Es una gran ventaja contar con software en línea y de acceso gratuito como lo son los cursos tutoriales, material útil y equipo móvil para el desarrollo de una app, al igual de importante el contar con un equipo interdisciplinario de trabajo que facilita el desarrollo de aplicaciones programadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. D. J. Barnes, M. Kolling, "Programación orientada a objetos con Java. Una introducción práctica usando BlueJ", Pearson Educación, S.A., 3a. ed., 2007, Madrid, pp. 337-425.
2. C. R. Jaimez Glz., "Programacion de Web Dinámico", *De la Colección de una Década*, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa, México, 2015, pp. 60-88.
3. J. D. Gauchat, "El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript", Marcombo, 1a. ed., 2012, Barcelona, España, pp. 87-103.
4. M. Torres Remon, "Desarrollo de aplicaciones móviles con Android", Marcombo, 1a. ed., 2017, pp. 21-60, ISBN: 9788426724670.
5. M. Sanchez, L. Teruel, "Herramientas colaborativas y Aplicaciones 2.0 en la Enseñanza de Méodos y Técnicas de Investigación, en Comunicación", *Dialnet*, 2013, Universidad de Málaga, pp. 87-99.

6. A.J. Gallego, "Manual de introducción a Ionic Framework" *Manuales de Computación en PDF*, 2017, pag.88.
7. J. Pavón Mestras, "Estructura de las Aplicaciones orientadas a objetos. Interfaces gráficas de usuarios, *Facultad de Informática UCM*, Madrid, España, pp. 61-72.
8. L. F. Gonzalez, H. Recamen, "Implementación de un Framework de Código Abierto Utilizando una Nueva Metodología de Desarrollo", 16°. LACCEI International MultiConference for Engineering, Education and Technology, ResearchGate, 2018, Lima, Perú, pp. 1-7.
9. J. Rengifo, C. Betancourt, "Frameworks y Herramientas para el desarrollo de Aplicaciones Orientadas a Dispositivos Móviles", (Tesis de Ingeniero de Sistemas y Computación), *Universidad Tecnológica de Pereira*, 2011, pp. 18-40.
10. J. Barba, "Diseño y Desarrollo Web. Análisis de Casos", (grado en Bellas Artes), Universitat Politècnica de Valencia Facultad de Bellas Arts de San Carles, pp.14-30.
11. A. Vargas, (27 de octubre de 2015), "Calidad del aire en Torreón y sus efectos en la Salud", Torreón Coahuila Mex., *IMPLAN*, Recuperado de <http://www.trcimplan.gob.mx/blog/calidad-del-aire-en-torreon-y-sus-efectos-en-la-salud.html> [último acceso 20 Mayo 2019].
12. L. Alegsa, (2007), "Diccionario de informatica y tecnologia", *ALEGSA.com.ar*, Recuperado de http://www.alegsa.com.ar/Dic/aplicacion_movil.php [último acceso 15 Noviembre 2019].
13. A. Vargas, (30 de enero de 2018), "Torreón y sus Indicadores Ambientales", Torreón Coah. Mex., *IMPLAN*, Recuperado de <http://www.trcimplan.gob.mx/blog/torreon-y-sus-indicadores-ambientales.html>, [último acceso 24 Junio 2019].

OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS ADMINISTRATIVOS PARA GESTIONAR VISITAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA A TRAVÉS DEL USO DE TIC'S

Juan Antonio Magdaleno Zavala, Israel Duran Belman, Nestor León Vega, Dennise Ivonne Gallardo Alvares y Juan Pablo Razón Gonzalez

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. anmagdaleno@itesi.edu.mx

RESUMEN

La administración y manejo de información para las organizaciones, sin importar su giro, es crucial para sus operaciones cotidianas y las TICs son pieza fundamental para lograr la sincronización, almacenamiento y distribución de esta información. En el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato se cuenta con el programa "Laboratorio Itinerante", un proyecto que realiza diversas actividades de divulgación de la ciencia que son ofertadas a instituciones educativas del estado de Guanajuato. Aquellos interesados en solicitar una visita tenían que contactarse a través de alguno de los canales de comunicación disponibles: dirección general, los gestores del proyecto, o el departamento de investigación de ITESI. Sin embargo, la mala comunicación entre estos llevó a diversos problemas que impidieron otorgar los servicios de este laboratorio itinerante; en el año 2017 se realizaron un total de 32 solicitudes por parte de escuelas primarias y secundarias, de las cuales solo se atendieron 12, debido a la falta de organización y el tiempo que tomaba la realización del trámite. Con el fin de mitigar estos retrasos y aumentar el número de visitas, se decidió realizar una investigación para descubrir los problemas e implementar tecnologías de información para agilizar el proceso, motivo por el cual se desarrolló un sistema web a través del cual las instituciones educativas puedan solicitar visitas, y los departamentos involucrados puedan tener acceso inmediato a la información, así como reportes que ayuden a la toma de decisiones y estrategias que incrementen la divulgación de la ciencia. Con el cual se logró administrar eficientemente las solicitudes de visitas, así como las actividades lúdicas existentes además de proporcionar reportes de atención y cantidad de personas beneficiadas, dando como resultado un incremento en las solicitudes recibidas en un 30% y la atención a éstas con un incremento del 40% comparadas con el año anterior.

INTRODUCCIÓN

La informática ha contribuido de manera esencial a la automatización de procesos, cuyo principal objetivo es mejorar la eficiencia de la empresa en relación con las expectativas de los clientes. En un proceso de automatización, la computadora es la herramienta fundamental, y deberá ser potenciado con la plataforma adecuada, todo ello en consonancia con la visión y la estrategia corporativa a nivel de informática.

Un gran riesgo que se corre en la automatización, es adquirir productos sin haber establecido la estrategia de manejo de la información. Muchas veces se adquieren sistemas preestablecidos que no se adaptan completamente a la organización, y que terminan por formar grupos aislados o generar montones de información inutilizable; así mismo se confunden los conceptos y se cree que un mar de información será la solución; no sólo es cuestión de velocidad, sino de tener la información que realmente se requiere: información vital y oportuna.

Además de los beneficios que aporta un sitio web a todos los usuarios interesados provenientes de una institución educativa que pueden ser primaria, secundaria, preparatoria e incluso universidades que desean tener los servicios de "Laboratorios de divulgación", cuyo concepto de transportar y difundir la ciencia y tecnología no tiene igual en el estado.

Teniendo en Guanajuato 10,608 instituciones de educación básica, 1,217 de educación media superior y 232 superior disponibles para obtener los beneficios que otorga la difusión de ciencia y tecnología en cada uno de los participantes, estimulando las vocaciones científicas en la niñez y la juventud del estado, además de fortalecer la cultura científica de los ciudadanos y vincularlos a la comunidad científica y tecnológica, mediante actividades y experiencias educativas basadas en enfoques interactivos, experimentales y participativos.

TEORÍA

Sistema de información

Un sistema de información es un conjunto de elementos que interactúan entre sí, con el fin de apoyar las actividades de una empresa o negocio (Esposito, 2016). Estos elementos son de naturaleza diversa e incluyen:

- El equipo computacional: es el hardware necesario para que el sistema de información opere. Lo constituyen y el equipo periférico
- El recurso humano que interactúa con el sistema de información: las personas que utilizan el sistema, lo alimentan con datos o utilizan los resultados que genere.
- Los datos o información fuente: son todas las entradas que el sistema necesita para generar la información que se desea.
- Los programas que ejecuta la computadora y que producen diferentes tipos de resultados: los programas procesan los datos de entrada y generan los resultados que se esperan.
- Las telecomunicaciones: básicamente el hardware y el software que transmiten en forma electrónica texto, datos, imágenes y voz
- Procedimientos: que incluyen las políticas y reglas de operación, tanto en la parte funcional del proceso de negocio, como los mecanismos para hacer trabajar una aplicación en la computadora

Un sistema de información realiza cuatro actividades básicas, las cuales se definen a continuación.

- Entrada de información: Es el ingreso de los datos en el sistema de información. Las entradas pueden ser manuales, las proporciona el usuario o automáticas, datos o información que provienen o se toman de otros sistemas o módulos, lo que se denomina interfaces automáticas
- Almacenamiento de información: es una de las capacidades más importantes de una computadora, ya que permite al sistema recordar la información guardada en la sesión anterior. Esta información se almacena en estructuras de información denominadas archivos, en su versión simple, y bases de datos, en su modalidad
- Procesamiento de información: Es la capacidad del sistema de información para efectuar cálculos de acuerdo con una secuencia de operaciones pre-establecidas. Estos cálculos trabajan con datos de recién ingreso o con datos ya almacenados.
- Salida de información: es la capacidad de un sistema de información para convertir la información procesada o los datos de entrada en información para el exterior.

Ciclo de vida en cascada

Primer modelo de proceso de desarrollo de software se derivó de procesos de ingeniería de sistemas más generales (Guillermo & Ludmila, 2015). Este modelo se nombra así debido a la cascada de una fase a otra, sus principales actividades son:

1. Análisis y definición de requerimientos.
2. Diseño del sistema y del software.
3. Implementación y prueba de unidades.
4. Integración y prueba de unidades.
5. Funcionamiento y mantenimiento.

Descripción del Método

Análisis y definición de requerimientos.

La primera fase de este ciclo consiste en conocer y detallar las características funcionales y principales que el sistema de información tendrá, para este proyecto se realizaron entrevistas, y de estas se obtuvieron los requerimientos funcionales y no funcionales, así como las diferentes páginas que debería contener el sistema web. El siguiente diagrama se representa las ventanas del sistema y mediante flechas las navegaciones entre las mismas. Se ha de representar los caminos más significativos Fig.1



Figura 34 Diagrama Sistema Web

Diseño del sistema y del software.

Durante esta etapa se construye un esquema conceptual representado por los objetos del dominio, las relaciones y colaboraciones existentes establecidas entre ellos. La idea principal es unificar una serie de tareas para obtener el diseño de navegación de la aplicación. En base a la obtención de requisitos funcionales del sistema se desarrollaron las siguientes interfaces.

En la sección actividades de divulgación, las actividades son presentadas en “Cartas”, las cuales contienen la información general de cada actividad. Fig.2.



Figura 35 Actividades Disponibles

El registro del sistema de Laboratorios de Divulgación está destinado a aquellas instituciones educativas del estado de Guanajuato las cuales deseen obtener los servicios de Laboratorios de Divulgación. Dicho registro requiere ciertos datos divididos en Fig.3:

- Datos del usuario: Datos de aquella persona proveniente de la Institución educativa puede o no ser el encargado de la institución, el cual hará uso del sistema
- Datos de la institución: Datos de la institución relacionada al usuario que realiza dicho registro.



Figura 36 Registro Usuarios

Cuando un usuario realice una solicitud de visitas lo cual se explicará más adelante, los administradores pueden visualizar dichas solicitudes, teniendo así la opción de aceptarlas o denegarlas Fig.4.



Figura 37 Gestión de Solicitudes

De igual forma los administradores del sistema pueden agregar y eliminar actividades según con las que se cuenten para su impartición de los talleres de divulgación Fig.5.



Figura 38 Edición de Actividades

PARTE EXPERIMENTAL

Después de la realización del sistema web, se procedió a realizar la instalación del servidor que lo ejecutara, dentro de las instalaciones del Instituto tecnológico superior de Irapuato. El cual se probó durante un semestre agosto diciembre 2018 en el cual se pudieron realizar correcciones a bugs del sistema, así como contemplar la funcionalidad del mismo y la integridad de la información.

A continuación, podemos ver el correo generado por el sistema que reciben los solicitantes, así como una de las cartas de solicitud de servicios.Fig.6 y Fig.7.



Figura 39 Correo Solicitante



Figura 40 Solicitud de Servicio

Se realizaron encuestas basadas en las características del modelo estándar ISO 9126 el cual es un estándar internacional para la evaluación de la calidad del software cuyas características se pueden observar en la tabla de la Fig 8.

Características	Subcaracterísticas
Funcionalidad	Aplicabilidad, exactitud, seguridad interoperatividad.
Fiabilidad	Madurez, tolerancia a fallos, capacidad de recuperación.
Usabilidad	Capacidad para ser entendido, capacidad para ser operado, capacidad para ser aprendido, capacidad de atracción.
Eficiencia	Comportamiento temporal, utilización de recursos.
Mantenibilidad	Capacidad para ser analizado, capacidad para ser cambiado, estabilidad, capacidad para ser probado.
Portabilidad	Adaptabilidad, facilidad de instalación, coexistencia, capacidad para ser reemplazado, cumplimiento de la portabilidad.

Figura 41 ISO 9126

RESULTADOS

Sin el uso de sistema y su sitio web se tienen las siguientes tareas manuales como parte del procedimiento de solicitud de visita las cuales fueron descritas en la problemática del presente documento:

- Contactar a las personas provenientes de instituciones educativas para dar a conocer el proyecto y las actividades disponibles – 15 minutos
- Notificar al departamento de investigación y a los integrantes de Laboratorios de divulgación la solicitud de una visita – 45 minutos
- Generar documentos de solicitud de visita y agradecimiento, y enviarlos a los solicitantes -60 minutos
- Consultar las visitas realizadas -30 minutos
- Generar gráficos recopilando información del proyecto -30 minutos
- Notificar a las personas que realizaron una solicitud que la misma ha sido aceptada o rechaza - 15 minutos

Con la implementación del sistema, tenemos el siguiente nuevo número de tareas manuales a realizar con su tiempo invertido cada una:

- Mantener las actividades actualizadas – 5 minutos
- Verificar que los usuarios registrados provengan de una Institución educativa -10 minutos
- Actualizar el estado de una solicitud -1 minuto

Como puede observarse el número de actividades manuales se reducen y cambian, esto se debe a la automatización de las mismas dentro de la programación del sistema.

En cuanto a las encuestas se realiza una tabla con el porcentaje obtenido de cada característica de calidad evaluada, obteniendo así el promedio de la evaluación de calidad del sistema.

Resultado obtenido (% Cumplimiento)	
Encuesta 1 Usabilidad	$X = 13 / 15 * 100 = 86.66\%$
Encuesta 2 Seguridad	$X = 3 / 4 * 100 = 75 \%$
Encuesta 3 Mantenibilidad	$X = 6 / 6 * 100 = 100\%$
Encuesta 4 Portabilidad	$X = 4 / 6 * 100 = 66\%$
% Total de cumplimiento	81.9%

Como se puede observar se tiene una disminución de tareas manuales por consiguiente un menor tiempo invertido para el proceso de solicitud de visita, lo cual lleva a una reducción de esfuerzo, un aumento en los beneficios en cuanto a la divulgación del proyecto, almacenamiento de la información y la mejora de procesos, se concluye que el sistema afecta positivamente a las actividades de Laboratorios de divulgación. Además, que este sistema tiene un cumplimiento de calidad del 81.9% lo cual indica la satisfacción del cliente al obtener un producto bajo normas de calidad dentro de su ramo.

El sistema web también cuenta con reportes los cuales ayudaran a la toma de decisiones futuras que puedan beneficiar al ITESI, al crecimiento de laboratorio de divulgación y a toda la comunidad de estudiantes de los niveles básicos. Se muestra el reporte de actividades solicitadas por las instituciones Fig.9.

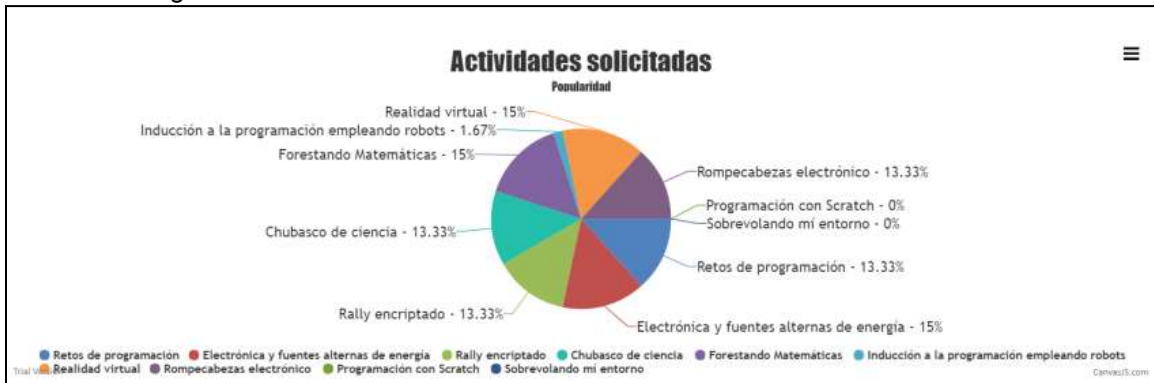


Figura 42 Reporte Actividades Solicitadas

De igual forma se puede tener acceso a información referente a las solicitudes por mes, para sí ver cuáles son los meses con mayor afluencia de estas. Fig.10.

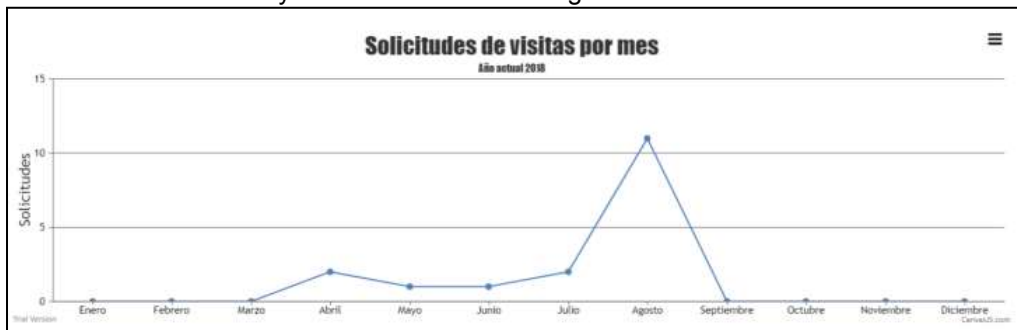


Figura 43 Reporte de Visitas Realizadas

CONCLUSIONES

Con la implementación del sistema se logró un incremento en las solicitudes recibidas en 42 solicitudes que representa un 30% y la atención a éstas con un incremento del 40% atendiendo un total de 17 comparada con el año anterior, esperando esto siga incrementado. Teniendo en cuenta una mejora continua del proyecto, se recomienda a desarrolladores interesados contribuir a la adición de más herramientas y servicios que este sistema pueda otorgar. Como vimos el ISO-9126, el cual establece una guía para la evaluación de calidad del software, sin embargo, es necesario que cada empresa trabaje en establecer su modelo de calidad que le permita valorar el nivel de excelencia de sus productos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Esposito, D. (2016). *Modern Web Development*. Microsoft Press .
2. Guillermo, P., & Ludmila, R. (2015). *Ingeniería de Software*. Autonomía de Buenos Aires: Alfaomega Ediciones.
3. LÓPEZ ROMÁN, L. (2006). *Metodología de la Programación Orientada a Objetos*. México: Alfaomega.
4. usr.code. (16 de 05 de 2019). *ingsw.pbworks.com*. Obtenido de <https://ingsw.pbworks.com/f/Ciclo+de+Vida+del+Software.pdf>
5. Vidal, C. L., Cabezas, C., Parra, J. H., & López, L. P. (2015). Experiencias Prácticas con el Uso del Lenguaje de Programación Scratch para. *Centro de Información Tecnológica*, 23-32.

CONTROL DE VELOCIDAD DE AGITACIÓN DIFUSO EN UN BIOREACTOR

Gonzalo Guillermo Martínez Oliva, Flores Solorzano Diego Antonio, Gilberto Silos Chincoya, Héctor García Estrada, María Guadalupe Ramírez Sotelo y Agustín Ignacio Cabrera Llano

Instituto Politécnico Nacional – UPIBI
gmtzoliva29@gmail.com

RESUMEN

La agitación del medio interno de un biorreactor es importante para la determinación de la velocidad de propagación de cultivos celulares y el aumento o disminución de la biomasa. Un control difuso permite una mayor contabilidad de condiciones mediante el uso de variables lingüísticas. En este trabajo se presenta el diseño, desarrollo y construcción de un control de la velocidad en un biorreactor de flujo ascendente. El procedimiento realizado se describe a continuación: primeramente, se adquiere la velocidad del motor utilizando un inductor electromagnético como sensor, este valor es comparado con el valor de referencia (set point), obteniendo la señal de error; la cual es introducida a un algoritmo de control difuso que clasifica estos errores en siete tipos: alto negativo, medio negativo, bajo negativo, cero, bajo positivo, medio positivo y alto positivo; este algoritmo cuenta con una señal de salida que determina el grado de corrección de PWM, modificando la velocidad del motor. La clasificación de la señal de salida está dada por medio de siete funciones etiquetadas de la manera siguiente: alta negativa, media negativa, baja negativa, sin corrección, baja positiva, media positiva y alta positiva. Posterior a una serie de repeticiones de este proceso al medir y comparar, llegando a la regulación de la velocidad deseada en el medio. El proceso es verificable mediante la medición de la velocidad utilizando gráficas en tiempo real proporcionadas por la plataforma LabVIEW mediante la tarjeta de adquisición NI myRIO-1900, obteniendo un margen de error: velocidad baja de ± 0.75 rpm, velocidad media de ± 0.95 rpm y velocidad alta de ± 1 rpm. Se compararon los resultados obtenidos por este sistema con un control de velocidad en lazo abierto, en el que los estados estacionarios tuvieron un intervalo mayor. Además, este sistema se realizó en dos tipos de esquemas: primeramente, en forma “remota” y el segundo esquema mediante una estructura de sistema “dedicado”, teniendo opción de monitoreo PC. Estos resultados demuestran que los sistemas de control de velocidad difusos permiten obtener un mejor desempeño que los sistemas clásicos.

INTRODUCCIÓN

Biorreactor

Un biorreactor es un equipo que realiza procesos de cultivo de organismos vivos o sustancias bioquímicamente activas para su fermentación, proliferación o reacción con sustancias químicas (3). El biorreactor de flujo ascendente consta de un recipiente donde se encuentra el medio con una entrada y salida que permite el flujo de agua y así el cambio de temperatura.

Dentro de los procesos de cultivo los parámetros a controlar son la temperatura, el nivel de pH, concentración de oxígeno y la agitación del medio. Esto para mantener en óptimas condiciones el ambiente donde está creciendo el cultivo. Debe de ser lo más aspectico posible para evitar la contaminación del medio y poder mantener los parámetros en un estado estacionario ideal para cuidar al cultivo.

Lógica difusa

La lógica difusa es utilizada en sistemas de control modernos que se diferencian de los sistemas de control clásicos siendo capaz de reaccionar a cambios continuos en el sistema y otorgar valores diferentes a la lógica booleana (0 y 1) (4). Está diseñada para poder interpretar y expresar el lenguaje ambiguo humano para que no sea necesario un análisis de modelo y solo siga indicaciones del especialista. La lógica difusa es el principio de control utilizado para inteligencia artificial.

El diseño de un control difuso consta de seleccionar las variables de entrada y salida (sea para un SISO, SIMO, MISO O MIMO) posteriormente dividir las en sus valores de pertenencia, que son asignadas con base en el rango en el cual se ejecutará dicho valor. Finalmente, las reglas de

inferencia que basándose en los valores de pertenencia que por medio de condiciones AND genera un THEN que pondera un valor de pertenencia a la salida.

LabVIEW

El programa NI LabVIEW permite el diseño de sistemas de control mediante programación gráfica con una visualización en tiempo real en formato numérico, gráfico y con esquemas de control. La plataforma es capaz de conectarse a varias tarjetas de adquisición y obtener un reporte de datos para su muestreo y cálculo de errores.

La plataforma cuenta con la herramienta '*Control and Simulation*' que a su vez tiene la aplicación '*Fuzzy System Designer*', la cual es un creador de un control difuso donde se pueden ingresar las entradas, salidas, valores de pertenencia, reglas de inferencia y da una muestra de la respuesta del sistema a manera de simulación.

NI myRIO-1900

Es una tarjeta de adquisición de *National Instruments* reconfigurable I/O para sistemas de embebido, diseño de controladores, sistemas mecatrónicos y robótica (2). Cuenta con entradas analógicas, salidas analógicas, líneas de E/S digitales, LEDs, un push-button, un acelerómetro interno, un FPGA Xilinx, un procesador dual-core ARM Cortex-A9 y soporte para WiFi.

PARTE EXPERIMENTAL

Este proyecto se diseñó por medio de cuatro partes principales: adquisición de datos, diseño del actuador, control de lazo abierto y control difuso.

Adquisición de datos

Para la medición de la velocidad se obtuvo una señal analógica de un sensor inductivo de proximidad CHE-4NA-A710. Cuando se le acerca un objeto metálico al sensor de proximidad, se envía una señal de control por medio de un transistor PNP. Por lo cual, al detectar un objeto la salida del sensor será Vcc y en estado de reposo será GND permitiendo generar un pulso que será leído posteriormente por la tarjeta NI MyRIO 1900. Esta tarjeta envía los datos a una PC mediante una conexión WIFI.



Fig. 1. Esquema de conexiones del sensor de proximidad CHE-4NA-A710.

Para alimentar al sensor se utilizó un divisor de voltaje con una salida de 5V con el fin de que este mismo voltaje se muestre a la salida cuando se muestre la señal de control.

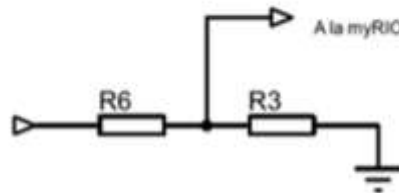


Fig. 2. Esquema del divisor de voltaje utilizado para la alimentación del sensor de proximidad.

Se desarrolló un código para el tratamiento de la señal a través de la plataforma NI LabVIEW, en la cual se genera un resultado en revoluciones por minuto, listo para su despliegue y control.

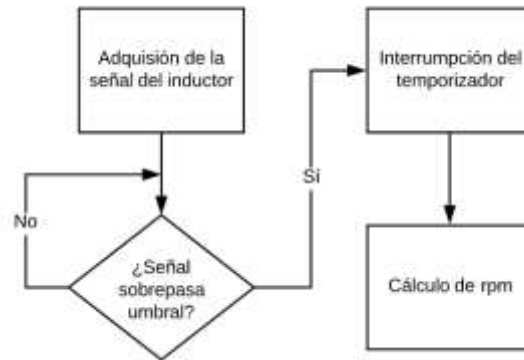


Fig. 3. Tratamiento de la señal generada por el sensor inductivo para obtener un valor de revoluciones por minuto.

Diseño del actuador

El sistema de velocidad de agitación consta de un motorreductor a 12 V regulado mediante un puente H L298. De esta manera, se puede manipular la velocidad de giro del motor mediante una señal de PWM que proviene de la MyRIO.

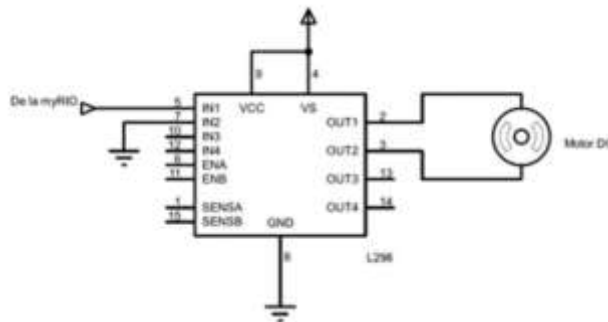


Fig. 4. Esquema de conexión del motor mediante un puente H L298.

Sistema de lazo abierto

El primer control de velocidad que se consideró fue por medio de una regresión lineal. Se realizó la prueba del motor para medir el valor de la velocidad a diferentes valores de PWM y así poder hacer la caracterización de este. Posteriormente, se empleó este sistema en el diagrama de NI LabVIEW para el control de la velocidad y se obtuvieron los datos por medio de la tarjeta de adquisición, generando una hoja de datos en Excel para poder hacer el análisis de los datos.

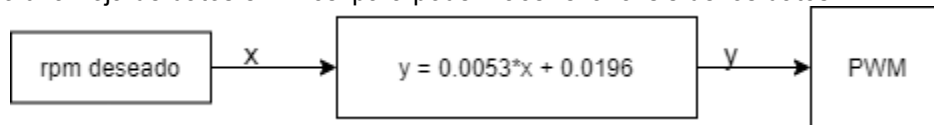


Fig. 5. Diagrama de bloques del sistema en lazo abierto.

Sistema difuso.

El diseño del sistema de control difuso se realizó por medio de NI LabVIEW. Primeramente, se definieron las variables de entrada en función de la comparación del error entre la señal adquirida y el valor deseado de revoluciones por minuto. Se establecieron siete variables: alto negativo, medio negativo, bajo negativo, cero, bajo positivo, medio positivo y alto positivo. Se evaluaron los datos de entrada en un rango desde -100 hasta 100 rpm de error.

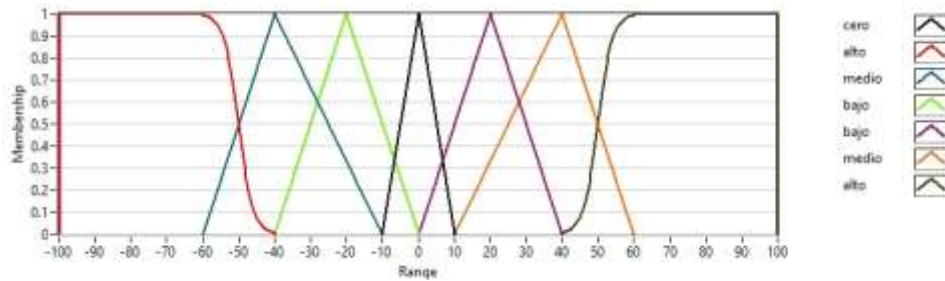


Fig. 6. Funciones de membresía de la variable de entrada 'Error' del sistema difuso para el control de velocidad.

De igual manera, se definieron las variables de salida del sistema en función del grado de corrección de la Modulación del Ancho de Pulso (PWM) que se debe hacer por parte del sistema. En este caso, se definieron siete variables: alta negativa, media negativa, baja negativa, sin corrección, baja positiva, media positiva y alta positiva. Se evaluaron los datos de salida en un rango desde -0.05 hasta 0.05 del valor de PWM.

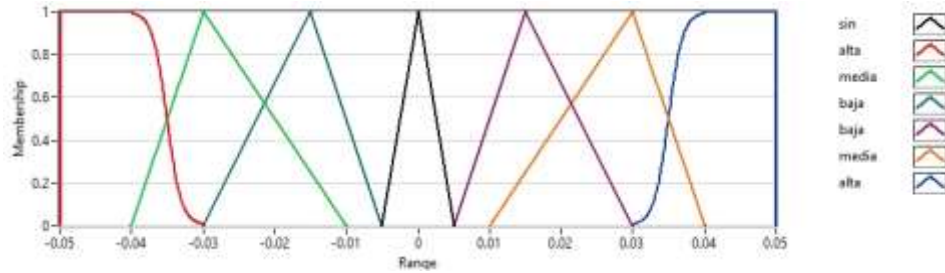


Fig. 7. Funciones de membresía de la variable de salida 'Grado de Corrección' del sistema difuso para el control de velocidad.

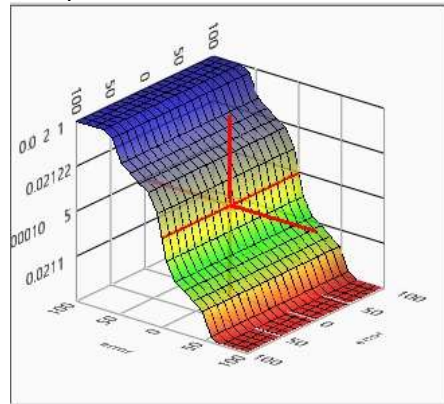


Fig. 8. Respuesta del sistema difuso.

Este sistema se implementó en el código de NI LabVIEW mediante los bloques 'Control and Simulation', con los cuales se generó un registro de los datos generado por Excell y así poder analizar los resultados obtenidos.

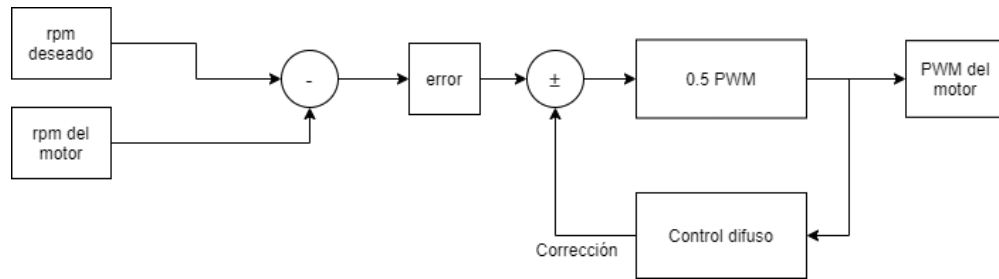


Fig. 9. Diagrama de bloque del control difuso.

Dentro del código se obtiene la señal analógica por medio de la tarjeta de adquisición, se procesan los datos y se obtiene un grado de error. Este grado de error funciona como entrada para el sistema difuso el cual a la salida tiene un grado de corrección. Este grado de corrección sirve como retroalimentación del sistema para así modular el Ancho de Pulso.

RESULTADOS

Se obtuvieron los datos a tres velocidades diferentes: baja (80 rpm), media (100 rpm) y alta (120 rpm) y se hizo la comparación entre el control difuso y el control de lazo abierto. A partir de las hojas de datos generadas por LabVIEW se obtuvieron las gráficas de cada una de ellas.

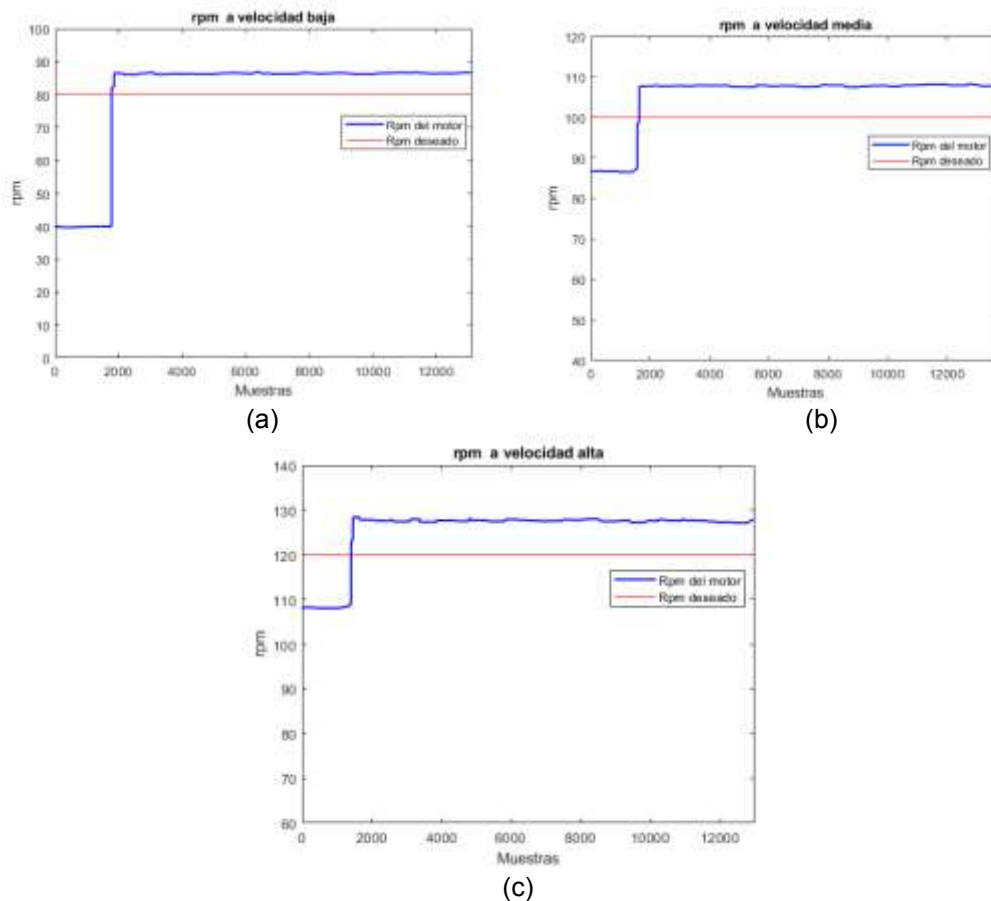


Fig. 10. Respuesta de velocidad con lazo abierto. El trazo de color azul representa la velocidad obtenida por el sensor mientras que el trazo de color rojo indica la velocidad requerida por el sistema. Se observa una diferencia considerable que aumenta de manera directa al aumentar la velocidad. Velocidad baja (a); velocidad media (b); velocidad alta (c).

Para calcular el error entre la velocidad obtenida y la velocidad deseada, se tomaron los datos a partir del estado estacionario en donde se obtuvieron los siguientes resultados: a velocidad baja se obtuvo un error de ± 6 rpm; a velocidad media de ± 7 rpm; y a velocidad alta de ± 8 rpm. Para graficar la respuesta a cada una de las velocidades con el control difuso, se consideraron los datos desde el periodo de overshoot hasta alcanzar el periodo estacionario.

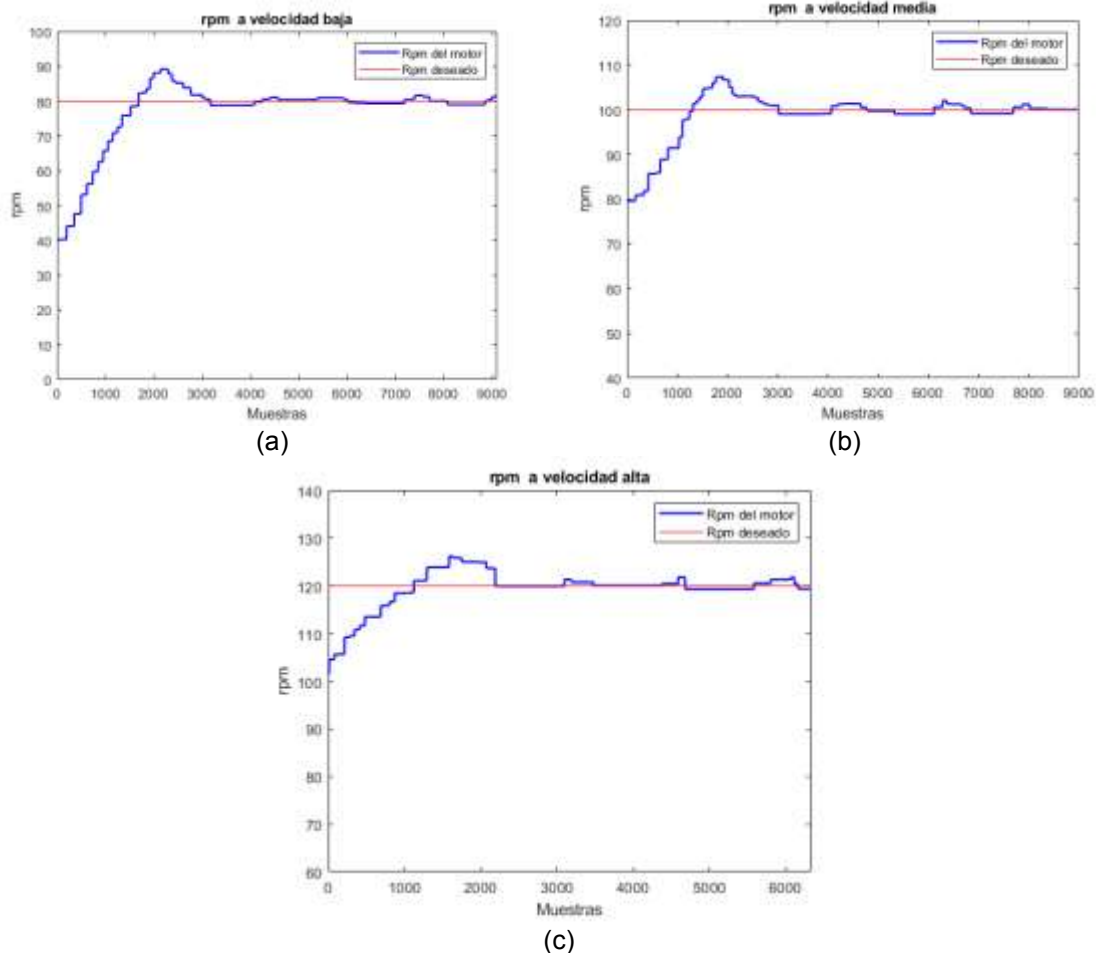


Fig. 11. Respuesta de velocidad con control difuso. El trazo de color azul representa la velocidad obtenida por el sensor mientras que el trazo de color rojo indica la velocidad requerida por el sistema. Se observa una oscilación alrededor del valor de velocidad deseado que disminuye considerablemente el error obtenido. Velocidad baja (a); velocidad media (b); velocidad alta (c).

A partir del periodo estacionario se tomaron los datos para poder calcular el error, en donde se obtuvieron los siguientes resultados: en la velocidad baja con control difuso se obtuvo un error de ± 0.75 rpm, en la velocidad media con control difuso de ± 0.95 rpm; y a velocidad alta con control difuso se obtuvo un error de ± 1 rpm.

CONCLUSIONES

En este estudio se logró desarrollar un control de velocidad de agitación difuso para un biorreactor mediante las herramientas proporcionadas por NI LabVIEW. A partir de la comparación realizada entre el sistema difuso desarrollado y el sistema de lazo abierto se observa que se redujo considerablemente el error obtenido con lo que se demuestra que los controles difusos permiten obtener un mejor desempeño que los sistemas clásicos. Los resultados de este estudio muestran un

gran potencial para el desarrollo de otros proyectos basados en la controlabilidad de sistemas con la finalidad de obtener una respuesta óptima.

REFERENCIAS

1. Jantzen, J., "Foundations of Fuzzy Control", Inglaterra: John Wiley & Sons, 2007.
2. National Instruments, "User guide and specifications NI myRIO-1900", Mayo 2016 [En línea] Aavailable: <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>.
3. Ruíz, H., et al., "Diseño de biorreactores para fermentación en medio en medio sólido", Revista Mexicana de Ingeniería Química, vol. 6, pp. 33-35. 15 de marzo de 2007.
4. Tejada, G. "Tutorial de Lógica Fuzzy". Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 2000.

CLASIFICACIÓN INTER-SUJETO E INTRA-SUJETO DE SEÑALES SVEMG UTILIZANDO REDES NEURONALES PARA LA INTENCIÓN DEL HABLA.

Valeria Silva-Acosta, Héctor H. Alfaro-Cortés, Ricardo Emmanuel García-Manzo, Ricardo Antonio Salido Ruiz, Israel Román Godínez, Sulema Torres Ramos

Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.
valeria.silva@alumnos.udg.mx

RESUMEN

La comunicación oral humana puede verse afectada en al menos dos situaciones, la primera, cuando las señales de voz están en presencia de un ambiente excesivamente ruidoso o donde no exista el medio adecuado para la producción del sonido, ejemplos de estas son: operaciones espaciales, subacuáticas, militares o de rescate; dichas situaciones demandan el uso de sistemas de respiración que distorsionan el habla. La segunda situación se da cuando las señales de voz son alteradas por una patología fisiológica que limita su producción como la afonía. El registro de la actividad eléctrica de los músculos de la región subvocal (svEMG) resulta ser una alternativa (o complemento) a la comunicación oral, sin embargo, es necesario contar con un dispositivo que sea capaz de diferenciar la actividad eléctrica generada por cada palabra que se intenta pronunciar. Trabajos previos han demostrado que la diferenciación entre palabras pronunciadas de manera subvocal es posible, lo anterior mediante la extracción de características obtenidas mediante fórmulas estadísticas, tales como la media aritmética, valor RMS, desviación estándar, varianza, moda y sumatoria de las señales registradas. Estas características fueron suficientes para que una red neuronal pudiera distinguir entre 4 palabras de un mismo sujeto. En este trabajo se propone una metodología a fin de diferenciar entre 6 palabras pronunciadas de manera subvocal (hola, gracias, ayuda, por favor, sí, no). Para ello, se registraron señales EMG provenientes de músculos de la región subvocal de 8 sujetos sanos, 4 hombres y 4 mujeres, los cuales repitieron 10 veces cada palabra. Dichas señales se caracterizaron en el dominio del tiempo utilizando métricas como la media, el valor medio absoluto, la desviación estándar, la varianza, la media cuadrática y en el dominio de la frecuencia utilizando la sumatoria de los valores del espectro en distintas bandas de frecuencia; como última característica se calculó la norma del vector formado por las características obtenidas en el dominio del tiempo y de la frecuencia. Sesenta instancias por sujeto fueron utilizadas para entrenar un perceptrón multicapa utilizando una metodología de validación cruzada con $k=8$, para llevar a cabo la clasificación de todas las palabras. Los promedios obtenidos por sujeto fueron: 80%, 76%, 67%, 61%, 65%, 79%, 67%, 75%. Estos resultados muestran que a pesar de ser una clasificación multiclase, y con pocas instancias de cada palabra, es posible caracterizar y clasificar señales svEMG con una exactitud promedio superior a 71% entre sujetos. Este trabajo tiene el potencial de ser la base para nuevas metodologías, tales como clasificación bi-clase, que sean capaces de mejorar el desempeño del modelo aquí presentado.

INTRODUCCIÓN

El habla es la forma de comunicación más común para el ser humano (Meltzner et al., 2018). La efectividad en la emisión de un mensaje de voz está sujeta a la capacidad del emisor para generarlo. Ésta puede verse afectada cuando se presenta algún trastorno que limita o impide la producción de la voz, cuando el ruido del ambiente distorsiona o imposibilita su transmisión, o cuando se requiere privacidad en el mensaje que se comunica. Una comunicación alternativa que no dependa de la generación de señales audibles sería eficaz para eludir las vulnerabilidades de la comunicación verbal (Mendoza et al., 2013).

El habla subvocal se define como la intención de producir fonemas o palabras, con el objetivo de transmitir un mensaje sin que éste sea generado acústicamente por el emisor. La intención del habla puede ser detectada a través del registro de la actividad eléctrica de los músculos del rostro y el cuello involucrados con el habla (Gamma et al., 2015). Posteriormente las señales de estos registros pueden ser procesadas y analizadas para poder identificar el mensaje que se intenta transmitir. Por esto, el lenguaje silencioso o habla subvocal es considerada como una alternativa para la comunicación oral (Meltzner et al., 2008).

Estudios previos utilizan las señales de electromiografía subvocal (svEMG) como una alternativa de comunicación efectiva en ambientes extremos y con altos niveles de ruido acústico, por ejemplo, situaciones de emergencia donde participan cuerpos de rescate. En dichas situaciones existen varios factores que afectan la transmisión del habla, tales como una respiración abrupta, uso de mascarillas o respiradores, el sonido de las sirenas, entre otros (Betts et al., 2006). El área de la investigación médica ha utilizado señales svEMG con el objetivo de desarrollar dispositivos médicos de apoyo para la comunicación de personas con algún trastorno funcional de la voz, como la disfonía (Vamsi et al., 2019). Este y otros trastornos ocurren cuando la calidad, el tono y el volumen de la voz difieren o son inapropiados para la edad del individuo, su género, trasfondo cultural o su localización geográfica, lo cual genera un impacto en su calidad de vida (American Speech-Language-Hearing Association).

A continuación, se describen algunos trabajos previos que han abordado esta problemática haciendo uso de diversas herramientas para caracterizar y clasificar estas señales.

En 2005, Jorgensen et al., utilizaron la clasificación de señales de svEMG para controlar la interfaz de un navegador de internet. Las señales fueron procesadas mediante una ventana de tiempo utilizando la transformada corta rápida de Fourier y transformadas wavelet del tipo Daubechie, entre otras, para la obtención de características. Trabajaron con seis palabras de control, 10 dígitos, 17 sonidos vocales y 23 fonemas consonantes. Para la clasificación se utilizó una red neuronal y una máquina de soporte vectorial. La precisión obtenida para cada conjunto de fonemas fue de 92%, 73.13%, 33% y 50%, respectivamente.

Por otro lado, Meltzner et al., 2008, presentaron el reconocimiento de señales svEMG de 65 palabras en inglés, pronunciadas de manera normal y subvocal, utilizando los coeficientes de la transformada inversa de Fourier, aplicada al logaritmo del espectro de la señal de voz (cepstral), como características significativas en un Modelo Oculto de Markov. Reportaron una precisión de 92.1% y 86.7% para cada modo de habla.

Cinco años más tarde, en 2013, Mendoza et al., describieron los resultados obtenidos para la clasificación de seis palabras en español a través del análisis de señales de svEMG. Se extrajeron características en el dominio del tiempo y frecuencia utilizando la Transformada Discreta de Wavelet Packet; con las cuales se entrenó un perceptrón multicapa de retropropagación. Se reportó una tasa de clasificación correcta de 75%.

Por otra parte, Champaty et al., en 2014 reportaron el desarrollo de un amplificador de biopotencial que adquiriría señales de svEMG. Extrajeron características temporales como la longitud de la señal, energía, media y desviación estándar, en conjunto con características frecuenciales utilizando la transformada de wavelet discreta. La clasificación de señales se llevó a cabo utilizando el método de Bosques Aleatorios, cuya precisión fue del 95%.

Recientemente, Vamsi et al., 2019, diseñaron un amplificador de biopotenciales para la adquisición y procesamiento de señales de svEMG. La clasificación de las señales registradas se realizó mediante la extracción de características temporales como la media aritmética, RMS, desviación estándar, varianza, moda y sumatoria. Los resultados fueron analizados mediante árboles de decisiones (CART, BT, RF), y ANOVA; las características significativas fueron utilizadas para alimentar una red neuronal (MLP), obteniendo un desempeño de 97.5% al clasificar.

TEORÍA

Producción de la voz

En la Figura 1 se muestra un diagrama del aparato fonador, el cual es responsable de la producción de la voz. Esta producción comienza con los pulmones ya que al respirar se genera una presión negativa que aspira aire. Después, al exhalar, ese aire genera la vibración de las cuerdas vocales (Benninger et al., 2006). Por último, el aire pasa por el tracto vocal, el cual puede definirse como un tubo acústico desigual, ya que dependiendo del sonido que se pretenda emitir, éste cambiará su composición. La resonancia del aire con estas cavidades es lo que genera la voz.

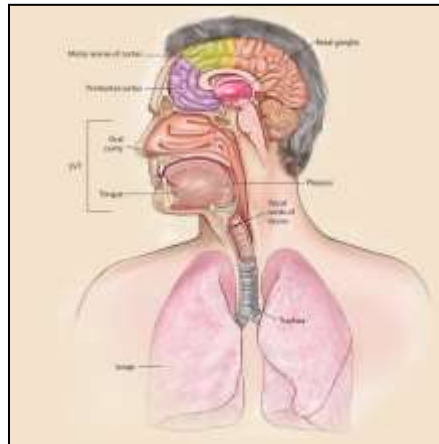


Figura 1. Anatomía del aparato fonador (Imagen recuperada de <https://www.the-scientist.com/features/why-human-speech-is-special--64351>).

Región subvocal

Los músculos de la región subvocal participan en la deglución y en la producción de la voz mediante el movimiento de la laringe y el hueso hioideo (Muscolino et al., 2017). Se ha reportado (Meltzner et al., 2018) que el registro de la actividad eléctrica, de diversos músculos ubicados en esta región, proporciona información relevante a cerca del habla subvocal. Tal es el caso de los músculos digástrico, milohioideo, omohioideo, esternohioideo, entre otros (ver Figura 2).

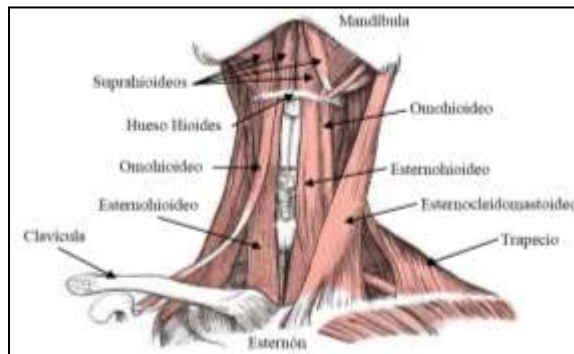


Figura 2. Músculos de la región subvocal y hueso hioideo. (Imagen modificada de Anatomía de Gray, 1918).

Características Temporales

Algunas métricas en el dominio del tiempo permiten caracterizar las señales svEMG, entre éstas se encuentran la media, media cuadrática, varianza, así como la desviación estándar (Vamsi et al., 2019). Las ecuaciones de cada una de las características mencionadas son tomadas de Semmlow et al., 2004.

La media de una señal discreta se refiere a su valor promedio. Ésta queda definida por la ecuación (1).

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \tag{1}$$

Donde N es el número de muestras de la señal, x es el valor de cada muestra y \bar{x} es el valor promedio.

Debido a que, generalmente, la media de una señal es aproximada a cero, se hace uso del valor medio absoluto el cual está definido por la ecuación (2).

$$|\bar{x}| = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k^2 \quad (2)$$

La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza y es otra medida de la variabilidad de la señal. La desviación estándar σ de una señal discreta está dada por la ecuación (3).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2} \quad (3)$$

La varianza es una medida de la variabilidad de una señal, independientemente de su valor promedio. La varianza σ^2 de una señal discreta está dada por la ecuación (4).

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2 \quad (4)$$

La norma euclidiana

La norma euclidiana de un vector permite calcular la longitud de un vector que se encuentra en un espacio euclidiano (Ford, 2014). Ésta queda definida por la ecuación 5:

$$\|x\| = \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

Donde $\|x\|$ es la norma euclidiana, n es el número total de elementos del vector, y x_i es cada valor del vector.

Perceptrón Multicapa

El Perceptrón Multicapa (Multilayer Perceptron, MLP) es el tipo de red neuronal con propagación hacia delante (feedforward) más utilizada debido a su rápida operación, fácil implementación y requerimientos de conjuntos de entrenamientos más pequeños (Gardner et al., 1998).

El MLP consiste en un sistema de neuronas interconectadas, como se puede observar en la Figura 3, representando un mapeo no lineal entre el vector de entrada y el vector de salida (Orhan et al., 2011). El MLP consta de mínimo tres capas secuenciales: una capa de entrada, una o más capas ocultas y una capa de salida. El MLP se considera una red completamente conectada, con cada neurona conectada a todas las neuronas de la capa anterior y la siguiente.

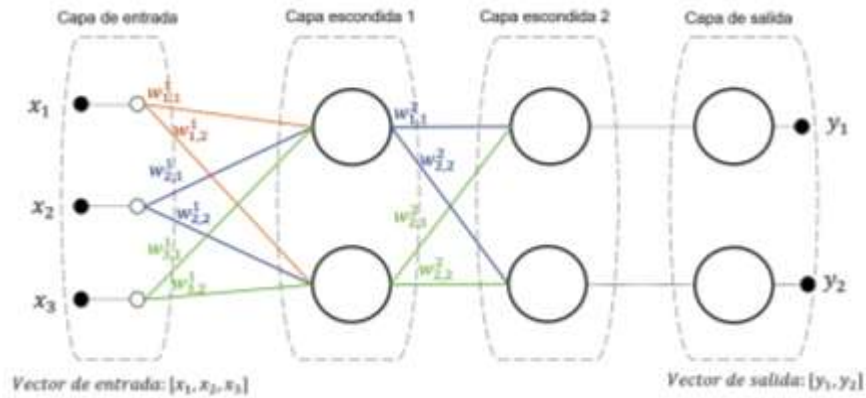


Figura 3. Perceptrón Multicapa con dos capas escondidas.

La capa escondida procesa y transmite la información de entrada a la capa de salida. Cada neurona j en la capa escondida suma sus señales de entrada x_i después de multiplicarlas por sus respectivos pesos w_{ij} . La salida de cada neurona se describe en la ecuación (6).

$$y_j = f\left(\sum w_{ij}x_i\right) \tag{6}$$

Donde f es una función de activación usando las sumas ponderadas de las entradas. Una función de activación puede ser un umbral, la función tangente hiperbólica o sigmoidea.

Función de activación ReLU

Actualmente, la función de activación más utilizada es la Unidad Lineal Rectificada (Rectified Linear Unit, ReLU), lo anterior por su bajo costo computacional, puesto que implica operaciones matemáticas simples (Ramachandran et al., 2017). La función ReLU se define en la ecuación (7).

$$f(x) = \max(x, 0) \tag{7}$$

ReLU es una función no lineal, ésta tiene como salida cero si $x < 0$, cuando $x \geq 0$ la salida es la función identidad (Agarap et al., 2018), ver Figura 4.

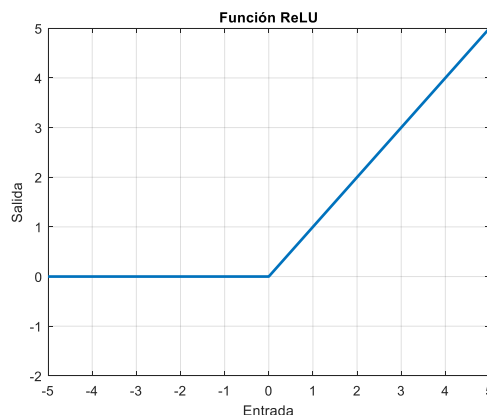


Figura 4. Función de activación ReLU, produce 0 cuando $x < 0$ y cuando $x \geq 0$ produce una función lineal con pendiente de uno.

Optimizador Adam

Adam es un algoritmo adaptativo de optimización de la tasa de aprendizaje. Su nombre deriva de la estimación del momento adaptativo, pues Adam usa las estimaciones del primero y segundo momento del gradiente para calcular la tasa de aprendizaje para cada peso de la red neuronal (Kingma et al., 2014).

Para estimar los momentos, Adam utiliza promedios móviles calculados en el gradiente evaluado, como se muestra en las ecuaciones (8) y (9). Los parámetros β_1, β_2 controlan las tasas de decaimiento de estos promedios móviles.

$$m_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t \quad (8)$$

$$v_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2 \quad (9)$$

Donde m es la media, siendo ésta el primer momento, la varianza no centrada es el segundo momento y se define como v , los gradientes son expresados mediante g , y β_1, β_2 son parámetros del algoritmo (con valores de 0.9 y 0.99 por default).

El valor inicial de los promedios móviles (vectores de ceros) y los parámetros β_s (cercano a 1) resulta en un sesgo de las estimaciones hacia cero. Para solucionar el sesgo, primero se calculan las estimaciones sesgadas, y éstas se utilizan para calcular las estimaciones correctas.

Las ecuaciones (10) y (11) son las finales, con la corrección de sesgo realizada.

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t} \quad (10)$$

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t} \quad (11)$$

Los promedios móviles se utilizan para calcular la tasa de aprendizaje, α , de cada parámetro (peso). La actualización de los pesos se realiza de acuerdo con la ecuación (12).

$$w_t = w_{t-1} - \eta \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t} + \epsilon} \quad (12)$$

Donde w son los pesos del modelo, η es el tamaño del paso y ϵ es un número muy pequeño para evitar cualquier división entre cero.

La configuración recomendada para Adam, y la utilizada en este trabajo, se presenta enseguida:

$$\alpha=0.001, \beta_1=0.9, \beta_2=0.999 \text{ y } \epsilon=10^{-8}$$

El optimizador Adam mantiene una tasa de aprendizaje para cada parámetro calculada con base en el promedio de los gradientes anteriores. Lo anterior lo hace adecuado para problemas en línea y no estacionarios, así como para problemas con gradientes dispersos.

Validación Cruzada

La estimación del error de predicción es necesaria para evaluar el desempeño de distintos modelos de aprendizaje. La validación cruzada es un método ampliamente utilizado para estimar este error. Este método divide aleatoriamente un conjunto de datos en k subconjuntos o *folds* exclusivos de aproximadamente el mismo tamaño " D_1, D_2, \dots, D_k ". Cada subconjunto es usado una vez como set de prueba y $k-1$ veces como set de entrenamiento (Jiawei et al., 2011). El entrenamiento y la prueba del modelo son realizados k veces (ver Figura 5).



Figura 5. Esquema representativo de una validación cruzada con k “folds”.

En la iteración i , el subconjunto D_i es utilizado como set de entrenamiento y el resto de los subconjuntos son utilizados para entrenar el modelo. Para tareas de clasificación, la exactitud estimada con base en la ecuación (13).

$$exactitud = \frac{\text{número total de clasificaciones correctas}}{\text{total de tuplas en los datos iniciales}} \quad (13)$$

En la validación cruzada estratificada cada subconjunto tiene una distribución de clases aproximadamente igual a la que existe en los datos iniciales.

PARTE EXPERIMENTAL

En la Figura 6 se muestra un diagrama a bloques del proceso de clasificación de las señales registradas de la región subvocal.



Figura 6. Diagrama a bloques del proceso de clasificación.

Selección de sujetos

Los sujetos que participaron en este estudio fueron seleccionados por conveniencia (Otzen et al., 2017). Se registraron las señales svEMG de ocho individuos (4 hombres y 4 mujeres de 18 a 22 años). Ninguno de los sujetos padecía algún trastorno del habla.

Adquisición de señales svEMG

Para el registro de la actividad mioeléctrica, proveniente de la región subvocal, se colocaron dos electrodos en esta región, aproximadamente 1.5 cm debajo de la barbilla y 1 cm hacia la izquierda y hacia la derecha del área anterior de la laringe, además de un electrodo de referencia colocado en la apófisis mastoides, así como se muestra en la Figura 7.

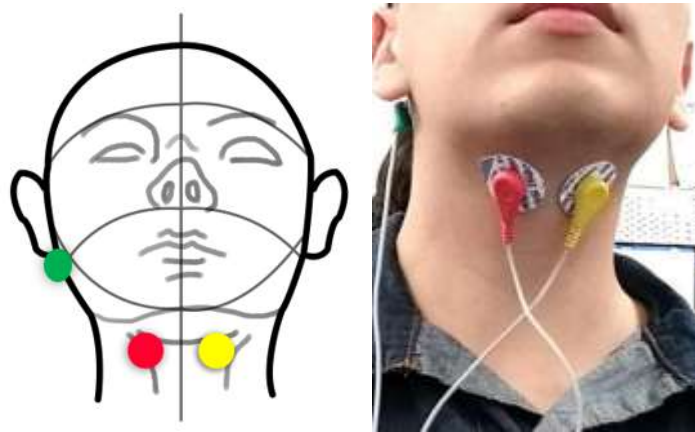


Figura 7. Colocación de electrodos en la región subvocal. Rojo – Electrodo 1, Amarillo – Electrodo 2, Verde – Electrodo de referencia.

Al iniciar la prueba se les indicó a los sujetos que pronunciaran cada palabra de un conjunto de seis (hola, gracias, por favor, sí, no) de forma subvocal (ver Introducción). Se registraron diez repeticiones de cada una de las seis palabras por sujeto, obteniéndose un total de 480 registros.

Se diseñó un electromiograma para extraer las señales EMG de la región subvocal utilizando un rango de frecuencias de 20 - 1500 Hz. Este sistema de medición consta de 4 etapas, las cuales consisten en lo siguiente: (1) Circuito de tierra activa, (2) Adquisición, (3) Circuito integrador y (4) Filtro pasa-banda. Además, las señales svEMG obtenidas por el sistema de medición, fueron registradas por la tarjeta de adquisición de datos DAQ NI USB- 6000 (*National Instruments*) y transmitidas a la computadora vía el protocolo de comunicación USB.

Acondicionamiento

El proceso de acondicionamiento consta de cuatro etapas: rectificación, suavizado, umbralización y ventaneo de la señal.

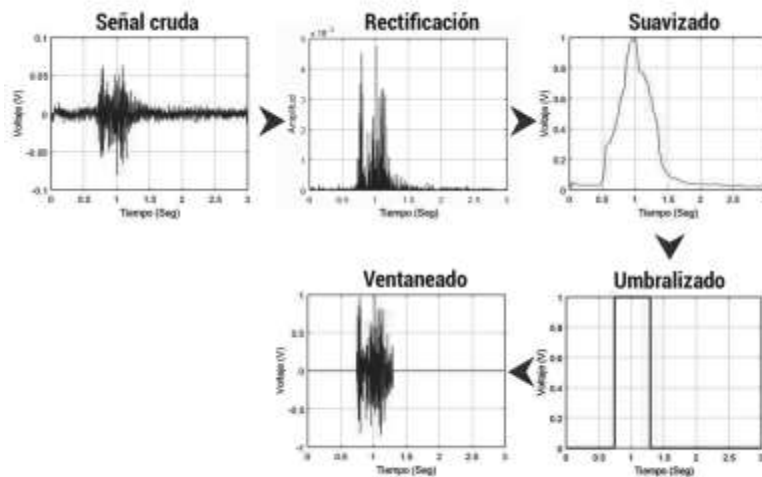


Figura 8. Proceso para el acondicionamiento de las señales.

Todas las señales (crudas) pasaron por un filtro digital IIR de tipo Notch con una frecuencia de corte a los 60 Hz para eliminar el ruido proveniente de la línea de corriente alterna (CA). Una vez filtradas, se buscó penalizar los valores pequeños con mayor intensidad y resaltar aquellos con una amplitud

mayor, por tal motivo se elevaron al cuadrado todos los datos de las señales crudas. Esto permitió implementar un algoritmo para dibujar las envolventes y establecer un umbral para identificar aquellos elementos esenciales que componen a cada una de estas señales. Como último paso, se realizó un ventaneo de cada señal multiplicando la señal umbralizada por la señal cruda.

Extracción de características

Cada registro fue caracterizado utilizando métricas estadísticas en el dominio del tiempo, tales como la media, el valor medio absoluto, la desviación estándar, la varianza y la media cuadrática (ver sección “Características Temporales” – Teoría). En el dominio de la frecuencia se utilizó la sumatoria de los valores obtenidos del espectro en distintas bandas de frecuencias (Delta = 0.5 - 4 Hz, Theta = 4 - 8 Hz, Alpha = 8 - 12 Hz, Beta = 12 - 30 Hz, Gamma = 30 - 50 Hz); como última característica se calculó la norma del vector formado por las características anteriormente mencionadas.

Perceptrón multicapa

La clasificación de las seis palabras se realiza mediante un Perceptrón Multicapa, éste consta de 3 capas ocultas con 100 neuronas por capa. La red utiliza un método de aprendizaje supervisado y es capaz de utilizar diversas funciones de activación, para realizar esta tarea se optó por la función ReLU para las capas ocultas. El optimizador seleccionado es Adam, en tanto al término de regularización, α , éste tiene un valor de 0.0001, la tasa de aprendizaje se define constante con un valor de 0.001 y el máximo de iteraciones dado es de 1×10^7 .

Validación

La evaluación del Perceptrón se realiza mediante una validación cruzada estratificada con $k = 8$. Se optó por una validación estratificada ya que permite tener en cada folder (k) la misma distribución de instancias por clase que en el conjunto de datos original.

Experimentos

Se realizaron cuatro experimentos utilizando distintas características y combinaciones de ellas para la clasificación multiclase. En el primer experimento, el Perceptrón se entrenó con todas las características, tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia, y se utilizaron los datos de todos los sujetos (inter-sujeto). Esta primera aproximación permite observar el comportamiento del clasificador al utilizar todas las características. El segundo experimento consistió en entrenar el modelo con los datos de todos los sujetos y como característica únicamente la norma. Este experimento se realizó con la finalidad de observar el comportamiento de la norma por separado, ya que ésta fue calculada con base en las otras características, por lo cual, contiene información de todas ellas. En el tercer experimento se unieron los datos de todos los sujetos, así como todas las características, mientras en el cuarto experimento se entrenó un modelo por sujeto (intra-sujeto) y todas las características. Lo anterior se realizó a fin de conocer si afecta o no la variabilidad inter-sujeto para la clasificación de señales svEMG. Las particularidades de cada experimento se muestran en la Tabla 1.

Tabla 20. Características y modalidades de entrenamiento consideradas para cada experimento.

Número de experimento	Características temporales	Características frecuenciales	Norma*	Inter-sujeto	Intra-sujeto
1	X	X		X	
2			X	X	
3	X	X	X	X	
4	X	X	X		X

*Norma del vector de características

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de los cuatro experimentos realizados. La exactitud promedio del *k-fold* en el primer experimento fue de 37%, lo cual nos indica que las características utilizadas no logran separar adecuadamente las clases, esto considerando todos los sujetos.

La exactitud lograda en el segundo experimento fue de 42%, mostrando con ello que la norma como característica permite alcanzar un desempeño mejor que el mostrado en el primer experimento. Sin embargo, el promedio de la exactitud nos indica que aún no se logra discernir entre clases correctamente; esto se puede deber a que los valores de la norma para una clase se contraponen a los valores de la norma para otra clase, en distintos sujetos.

El tercer experimento obtuvo una exactitud promedio de 61%, esto podría indicar que la combinación de la norma y las características restantes permite separar las clases de una mejor forma que utilizarlas por separado, como en los dos experimentos previos. Los resultados del primer al tercer experimento se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de resultados del MLP utilizando una validación cruzada con $k=8$. Experimentos del 1 al 3.

EXPERIMENTO REALIZADO	EXACTITUD PROMEDIO OBTENIDA DEL K-FOLD
Primer experimento	0.37
Segundo experimento	0.42
Tercer experimento	0.61

El cuarto experimento presentó los mejores resultados, obteniendo con ello una exactitud promedio de 71% para los ocho sujetos. Los promedios para cada sujeto se muestran en la Tabla 3. Los resultados de esta última prueba nos indican que la variabilidad inter-sujeto afecta el desempeño del clasificador, por lo cual, al separar a los sujetos los resultados mejoran, aún utilizando las mismas características que en el tercer experimento.

Tabla 3. Resumen de resultados del MLP utilizando una validación cruzada con $k=8$. Experimento 4.

	EXACTITUD PROMEDIO OBTENIDA DEL K-FOLD
Sujeto 1	0.80
Sujeto 2	0.76
Sujeto 3	0.67
Sujeto 4	0.61
Sujeto 5	0.65
Sujeto 6	0.79
Sujeto 7	0.67
Sujeto 8	0.75
Promedio total	0.71

En la Figura 9 se muestra una gráfica de barras que resume los resultados de los cuatro experimentos realizados.

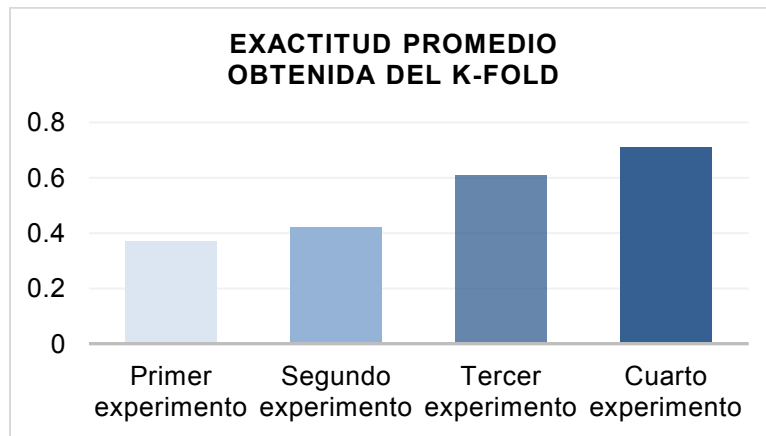


Figura 9. Exactitud obtenida en cada uno de los experimentos realizados.

Comparando nuestros resultados con otros previamente reportados en el estado del arte, la Tabla 4 presenta un resumen de tres trabajos en los que se lleva a cabo clasificación multiclase de svEMG.

Tabla 4. Trabajos relacionados que realizan clasificación multiclase.

Autor	Sujetos	Palabras	Instancias por palabra	Modelo	Validación	Desempeño
Jorgensen et al., 2005	5	Stop, go, left, right, alpha, omega	~150	Red Neuronal	80/20	92%
Champaty et al. 2014	5	Right side, left, stop, go, rotate	-	Bosque aleatorio, redes neuronales y máquinas de vector de soporte	-	> 80%
Vamsi et al., 2019	1	Left, righth, start, stop	-	Perceptrón Multicapa	-	97.5%

Como se puede observar, el desempeño de la clasificación en dichos trabajos es superior a nuestra propuesta, sin embargo, cabe mencionar que existen diferencias importantes, tales como el número de sujetos, palabras, idioma, instancias por palabra, tipo de clasificador, modelo y validación, mismas que se discuten a continuación.

Comenzando por el número de sujetos, nuestro trabajo es comparable con Jorgensen et al., 2005, o con Champaty et al., 2014, quienes realizaron la clasificación de seis y cinco palabras en inglés, respectivamente. Sin embargo, en el primero se utilizaron 100 instancias por palabra pronunciadas subvocalmente (contra 10 instancias en nuestro trabajo) mientras que en el segundo no se menciona la cantidad utilizada, por tal motivo una comparación equitativa no es posible. Además, en el trabajo de Champaty et al., 2014, no se menciona un método de validación de resultados, mientras que Jorgensen et al., 2005, mencionan una validación 80/20, aunque no se discute el número de iteraciones de cada conjunto de prueba-entrenamiento, por lo tanto, no podemos determinar si existe variabilidad en el entrenamiento.

Por otro lado, el número de palabras utilizadas en nuestro trabajo es comparable con Vamsi et al., 2019, sin embargo, ellos utilizaron el idioma inglés, un único sujeto de prueba y no reportan un método de validación. A diferencia de nuestro conjunto de datos que cuenta con información de diez sujetos en un rango de edad similar (ver sección parte experimental) y de ambos géneros.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que a pesar de ser una clasificación multiclase, y con pocas instancias de cada palabra, es posible caracterizar y clasificar señales svEMG con una exactitud superior a 71% intra-sujeto, utilizando características temporales y en el dominio de la frecuencia.

Es importante resaltar que los resultados mejoraron al realizar la clasificación intra-sujeto (exactitud > 71%), en comparación con las pruebas inter-sujeto que obtienen un desempeño inferior (37% - 61%). Lo anterior puede adjudicarse a la alta variabilidad inter-sujeto propia del EMG.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Speech-Language-Hearing Association. Voice Disorders, Overview. [En Línea]. Available: <https://www.asha.org/PRPSpecificTopic.aspx?folderid=8589942600§ion=Overview>.
2. Agarap, A. F. (2018). Deep learning using rectified linear units (relu). *arXiv preprint arXiv:1803.08375*.
3. Benninger, M. S., Abitbol, J., American Academy of Otolaryngology Head and Neck Surgery Foundation, & American Academy of Otolaryngology Head and Neck Surgery Foundation. (2006). Voice: dysphonia and the aging voice. *American Academy of Otolaryngology Head and Neck Surgery Foundation. Geriatric Care Otolaryngology. Alexandria: AAO-HNSF*, 67-81.
4. Betts, Bradley J., Kim Binsted, and Charles Jorgensen. "Small-vocabulary speech recognition using surface electromyography." *Interacting with Computers* 18.6, 2006, pp. 1242-1259.
5. Champaty, B., Biswal, B. K., Pal, K., & Tibarewala, D. N. (2014, February). Random forests based sub-vocal electromyogram signal acquisition and classification for rehabilitative applications. In *2014 First International Conference on Automation, Control, Energy and Systems (ACES)* (pp. 1-6). IEEE.
6. Gamma, E. N., Amaya, D. y Ramos, O. L. (2015). Revisión de las tecnologías y aplicaciones del habla sub-vocal. En: *Ingeniería*, Vol. 20, No. 2, pp. 287-298.
7. Gardner, M. W., & Dorling, S. R. (1998). Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric environment*, 32(14-15), 2627-2636.
8. Gray, H., Standring, S., Ellis, H., & Berkovitz, B. K. B. (2005). *Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice*.
9. Jiawei Han, Micheline Kamber, Jian Pei: *Data Mining. Concepts and Techniques*. 3rd ED. Elsevier, 2011.
10. Jorgensen, C., & Binsted, K. (2005, January). Web browser control using EMG based sub vocal speech recognition. In *Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 294c-294c). IEEE
11. Kingma, D. P., & Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint arXiv:1412.6980*.
12. Lieberman, P. (2018). Why Human Speech Is Special. In *the Scientist Magazine*.
13. Meltzner, G. S., Heaton, J. T., Deng, Y., De Luca, G., Roy, S. H., & Kline, J. C. (2018). Development of sEMG sensors and algorithms for silent speech recognition. *Journal of neural engineering*, 15(4), 046031.
14. Meltzner, G. S., Sroka, J., Heaton, J. T., Gilmore, L. D., Colby, G., Roy, S., ... & Luca, C. J. D. (2008). Speech recognition for vocalized and subvocal modes of production using surface EMG signals from the neck and face. In *Ninth Annual Conference of the International Speech Communication Association*.

15. Mendoza, L. E., Peña, J., Muñoz-Bedoya, L. A., & Velandia-Villamizar, H. J. (2013). Procesamiento de señales provenientes del habla subvocal usando Wavelet Packet y Redes Neuronales. *TecnoLógicas*, 655-667.
16. Muscolino, J. E. (2016). *The muscular system manual-E-Book: the skeletal muscles of the human body*. Elsevier Health Sciences.
17. Orhan, U., Hekim, M., & Ozer, M. (2011). EEG signals classification using the K-means clustering and a multilayer perceptron neural network model. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 13475-13481.
18. Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232.
19. Ramachandran, P., Zoph, B., & Le, Q. V. (2017). Searching for activation functions. *arXiv preprint arXiv:1710.05941*.
20. Semmlow, J. L. (2004). *Biosignal and biomedical image processing: MATLAB-based applications*. New York: Marcel Dekker
21. Vamsi, Reddy, et al. "Designing of a biopotential amplifier for the acquisition and processing of subvocal electromyography signals." *Bioelectronics and Medical Devices*. Woodhead Publishing, 2019, pp. 913-929.
22. Ford, W. (2014). *Numerical linear algebra with applications: Using MATLAB*. Academic Press.

INFLUENCIA DE LAS NANOPARTICULAS DE NI Y FE₂O₃ SOBRE LA PRODUCCIÓN DE METANO

Juan Miguel Bailón Matehuala¹, Arodí Bernal Martínez², Diana Servín García, Germán Cuevas Rodríguez² y Sergio Antonio Silva Muñoz²

¹Departamento de Hidráulica y Geomática. Universidad de Guanajuato, ²Departamento de Ingeniería civil y Ambiental, Universidad de Guanajuato.
arodiberna@ugto.mx.

RESUMEN

El proceso de digestión anaerobia es una de las técnicas biológicas más empleadas para el tratamiento de aguas residuales, lodos de aguas residuales y de residuos orgánicos. Esta tecnología recupera energía en forma de biogás (metano). Existen diferentes condiciones operacionales que pueden afectar la producción de metano, que van desde un cambio de pH hasta la adición de elementos traza. Recientemente con el uso de nanomateriales se han obtenido diferentes efectos en la digestión anaerobia, desde causar efectos inhibitorios con algunas nanopartículas hasta el incremento del metano con diferentes nanomateriales que podrían actuar como micronutrientes. En el mejoramiento de la producción de metano con nanopartículas óxido-metálicas se han obtenido incrementos desde un 180% hasta 117% con NPs de Fe₃O₄ y Fe₂O₃ respectivamente [1]. El presente trabajo propone determinar el efecto de las nanopartículas de níquel y Fe₂O₃ en la producción de metano. Se preparó una solución estándar de 8000 mg/L de NPs de Fe₂O₃ y Ni en agua miliQ, las cuales fueron sonicadas en un baño ultrasónico durante 30 minutos. Enseguida, se colocaron en reactores anaerobios de 100 mL, con y sin NPs a diferentes dosis para las NPs de Fe₂O₃ de 25, 50 y 75 mg/L y para Ni de 0.1, 1 y 5 mg/L., a las cuales se les adicionaron 2 gDQO/L de acetato y 2 g SSV/L. Estos se mantuvieron a 35 °C y a una agitación continua de 175 rpm. Las pruebas fueron monitoreadas por 10 días. La toma de muestra se realizó diariamente. Los parámetros determinados fueron: DQO, AGV (ácidos grasos volátiles), SSV, ORP, producción y composición de biogás. Cada prueba fue realizada por triplicado. Las NPs de Ni aumentaron la producción de metano en un 25 % y aceleró la velocidad de producción. En lo que respecta a las NPs de Fe₂O₃ no se detectó influencia sobre la producción de metano.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de DA, los nutrientes son de gran importancia en el crecimiento de los microorganismos, siendo los más importantes: el carbono, nitrógeno y el fósforo. Los nutrientes se subdividen en macronutrientes y micronutrientes [4] Los micronutrientes pueden adicionarse a la DA en su forma de metales puros u óxidos metálicos y recientemente como un material nanoestructurado [2,6].

Existen numerosos tipos de NPs óxido metálicas; ZnO, CuO, TiO₂, MgO, NiO, Fe₂O₃ y NPs cero valentes Au, Ag, Ce, Fe, Ni, etc. Estas exhiben diferentes propiedades físicas y químicas por su diminuto tamaño y su alta densidad de sitios en la superficie o bordes. Las NPs de óxido de hierro se pueden disolver lentamente para sustituir a los microorganismos con los iones de hierro necesarios sin presentar toxicidad para la bacteria [5]. En la producción de metano, el níquel tiene un papel importante en la metanogénesis, al ser esencial para ciertas coenzimas, se considera uno de los elementos traza más importantes [12]. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de las NPs de Ni y Fe₂O₃ en la producción de metano en reactores tipo batch con 2 gSSV/L de inóculo y 2 gDQO/L como acetato.

TEORÍA

El proceso de digestión anaerobia (DA) recupera energía a través de la transformación de materia orgánica, obteniendo un subproducto en forma de gas, conformado mayormente por dióxido de carbono y metano [10]. A lo largo de los años se han aplicado diversas técnicas para el mejoramiento de la producción de metano, que van desde diversos pretratamientos hasta el uso de NMs. El gas generado por la DA es una composición de metano (50-75%), CO₂ (25-50%) y algunos gases traza (<5%). Este proceso se divide en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y

metanogénesis. Siendo esta última etapa la más crítica, ya que es donde se genera el metano y es realizado por un grupo denominado metanógenos del dominio Archeae [9].

PARTE EXPERIMENTAL

El inóculo fue recolectado de la línea de recirculación de lodos de los digestores anaerobios de una planta de tratamiento de aguas residuales del rastro municipal de León, Guanajuato. La caracterización fisicoquímica se realizó de acuerdo con los métodos normalizados. Se obtuvo un pH de 7.38, 8.3186 gDQOs/L, 35.405 gST/L y 24.106 gSSV/L.

Las NPs de maghemita (Fe_2O_3) fueron adquiridas por la empresa Investigación y Desarrollo de Nanomateriales S.A. de C.V. Las NPs de Ni se adquirieron en la empresa Sigma-Aldrich. Posteriormente se caracterizaron por microscopía electrónica de transmisión (TEM) para determinar su morfología y el tamaño de las NPs. Y mediante difracción de rayos X (XRD) se obtuvo la composición química de la maghemita y Ni.

De acuerdo con la metodología empleada por [7] se agregó una solución de 1 L de agua milliQ a un 1 g de maghemita. Para obtener las concentraciones de 0.1, 1 y 5 mgNPs/L de Ni se siguió la metodología planteada por [1]. Se agregaron 50 mg de NPs de Ni en 1 L de agua milli Q para obtener la solución stock. Las soluciones se sonicaron en un baño ultrasónico Branson a temperatura ambiente durante 30 minutos a 200 W y 40 kHz. Al terminar la sonicación, se realizaron diluciones para obtener las dosis experimentales de Fe_2O_3 : 25, 50 y 100 mgNPs/L y 0.1, 1 y 5 mgNPs/L de Ni. Las pruebas de DA se realizaron en botellas serológicas de 120 mL por triplicado. En cada botella se añadieron 30 mL de acetato con 2 gDQO/L, 20 mL de NPs y 50 mL con 2 gSSV/L. También se trabajó un control con 50 mL de 2 gSSV/L y 50 mL de acetato con la misma concentración que los sistemas expuestos a las NPs. Todas las pruebas fueron burbujeadas con nitrógeno durante 3 minutos para desplazar el oxígeno y colocarlos dentro de condiciones anaerobias, después se sellaron para no permitir la entrada de aire al sistema, manteniéndose a 35 °C en una incubadora con una agitación continua a 175 rpm por 10 días. Se tomaron muestras diariamente y se determinaron los parámetros siguientes: DQO soluble, SSV, ácidos grasos volátiles (AGVs), actividad deshidrogenasa (ADH), pH, potencial redox, alcalinidad, COT, conductividad, volumen de biogás por desplazamiento de líquido y composición (CH_4 y CO_2) con un cromatógrafo GC-2014 marca Shimadzu.

RESULTADOS

Las micrografías por TEM revelaron que las NPs de maghemita poseen un tamaño menor a 50 nm. y por energía de difracción de rayos X (XRD) se observó que están compuestas por oxígeno, hierro y en menor cantidad Na y Cl (Figura 1).

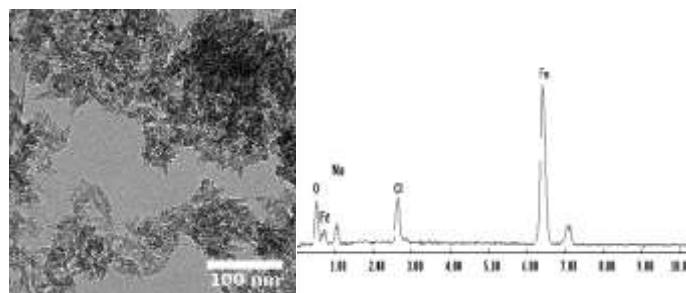


Figura 44. Micrografías obtenidas por TEM (izquierda) y XRD (derecha).

En el caso de las NPs de Ni, la máxima producción de metano se obtuvo en el día 4 tanto en el control como en las 3 dosis de NPs. Las diferentes dosis de NPs de Ni mejoraron la producción de CH_4 respecto al control. Con 1 mg NPs/L se obtuvo una mayor producción, 125.14 ± 0.28 mL, incrementando en un 10.67 % el CH_4 comparado con el control (Figura 2). [3, 6] mencionaron que al adicionar Ni a un reactor anaerobio, se mejora la producción de metano y existe una mejor estabilización del proceso. [1] investigaron el efecto de las NPs de Ni logrando un incremento en la

producción de metano de un 96 y 100 % con 1 y 2 mgNPs/L, respectivamente. Con las NPs de Fe_2O_3 se observó un ligero incremento en la acumulación de metano con 101.41 ± 0.14 mL y 25 mgNPs/L, aumentando 6.33% el metano respecto al control. Sin embargo, con las dosis de 50 y 100 mg NPs/L de Fe_2O_3 la producción de metano fue menor al control. [13] obtuvo que con una dosis de 9 mgNPs/L de Fe_2O_3 y un tamaño promedio de 20-30 nm, la producción de metano aumento un 38% comparado con el control. Sin embargo, [11] describen que en los lodos de biomasa floculenta y la adición de NPs de Fe, tienen un impacto negativo en la producción de CH_4 . Esto nos indicaría probablemente el menor efecto de producción de CH_4 con dosis elevadas de NPs Fe_2O_3 .

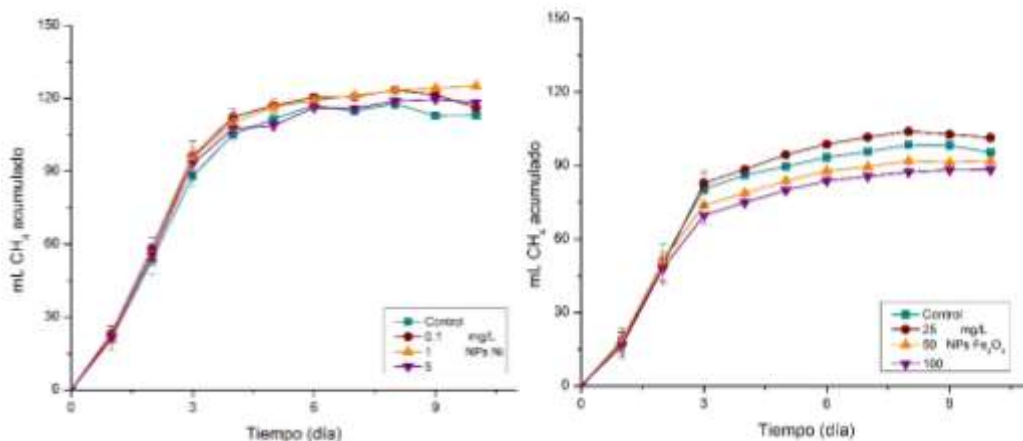


Figura 2. Producción acumulada de CH_4 en los sistemas expuestos a diferentes dosis de NPs (mg/L) de Ni (izquierda) y Fe_2O_3 (derecha).

En la tabla 1 se observan los resultados teóricos y experimentales del rendimiento de metano. Se observa un rendimiento de 594.81 ± 10.93 mL CH_4 /g DQOs con 5 mg NPs/L en el día 4, siendo mayor al control que fue 533.97 ± 10.90 mL CH_4 /g DQOs. [1] investigaron el rendimiento de metano con 1 y 2 mgNPs/L de Ni y estiércol crudo. Determinaron que 2 mgNPs/L alcanzaba un rendimiento de 361.6 mL CH_4 /g SV mayor a un control y a diferentes dosis de NiCl_2 . Tomando en cuenta estas investigaciones, se puede deducir que el rendimiento de metano estuvo influenciado por la adición de las NPs de Ni, y que a su vez no tuvieron un efecto de inhibición en el rendimiento de CH_4 .

El mayor α se obtuvo en las tres dosis de NPs, y de acuerdo con [8] un $\alpha > 1$ determina que la mezcla tiene un efecto sinérgico en la producción final de CH_4 . Por medio de este análisis se pueden determinar las reacciones internas, llamadas efectos sinérgicos. Se ha mencionado que los elementos traza contribuyen a estos efectos e incrementan la biodegradabilidad del sustrato y la producción de metano.

Tabla 21. Comparación de los rendimientos teóricos y experimentales de metano con NPs de Ni y Fe₂O₃

Rendimiento Teórico (mLCH ₄ /g DQOs)	NPs Ni mg/L	Rendimiento Experimental (mLCH ₄ /g DQOs)	α	NPs Fe ₂ O ₃ mg/L	Rendimiento Experimental (mLCH ₄ /g DQO)	α
501.27	Control	533.97 ± 10.90	1.0652	Control	448 ± 15.29	0.8936
	0.1	510.97 ± 4.10	1.0193	25	493.26 ± 11.47	0.9836
	1	571.42 ± 9.06	1.1399	50	544.69 ± 9.78	1.0869
	5	594.81 ± 10.93	1.1866	100	517.97 ± 21.94	1.0325

Se observa que el rendimiento teórico de metano tiene un comportamiento similar al experimental con 50 y 100 mg NPs/L de Fe₂O₃, sin embargo, el rendimiento fue mayor con estas NPs. En el día 3, con 25 mgNPs/L se observó un rendimiento de 493.26 ± 11.47 mL CH₄/gDQOs, mayor al control siendo de 448 ± 15.29 mLCH₄/gDQOs. De los días 5 a 10 el rendimiento de metano fue mayor con 50 y 100 mgNPs/L. Se obtuvo un $\alpha > 1$ con las concentraciones de 50 y 100 mg/L de NPs, y de acuerdo con [8] las mezclas de los reactores tienen un efecto sinérgico en la producción de CH₄.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados del estudio se concluye que:

1. Las NPs de Ni lograron un aumento en la producción de metano respecto al control de 10.67% con una dosis 1 mg/L.
2. Se obtuvo en el sistema una máxima producción de metano de 101.41 ± 0.14 mL con 25 mgNPs/L de Fe₂O₃ siendo 6.33 % más que en el control. Las dosis de 50 y 100 mgNPs/L de Fe₂O₃ tuvieron una menor producción de metano comparadas con el control.
3. En cuanto al rendimiento de metano, con 5 mgNPs/L de Ni se obtuvo 594.81 ± 1093 mL CH₄/g DQOs, en el día 4. Con 25 mgNPs/L de Fe₂O₃ se obtuvo un rendimiento de 544.69 ± 9.78 mL CH₄/g DQOs en el día 3.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abdelsalam, E., Samer, M., Attia, Y. A., Abdel-Hadi, M. A., Hassan, H. E., & Badr, Y. (2017a). Effects of Co and Ni nanoparticles on biogas and methane production from anaerobic digestion of slurry. *Energy Conversion and Management*, 141, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.051>.
2. Baniamerian, H., Isfahani, P. G., Tsapekos, P., Alvarado-Morales, M., Shahrokhi, M., Vossoughi, M., & Angelidaki, I. (2019). Application of nano-structured materials in anaerobic digestion: Current status and perspectives. *Chemosphere*, 229, 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.193>.
3. Bozym, M., Florczyk, I., Zdanowska, P., Wojdalski, J., & Klimkiewicz, M. (2015). An analysis of metal concentrations in food wastes for biogas production. *Renewable Energy*, 77, 467–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.010>.
4. Dang, Y., Holmes, D. E., Zhao, Z., Woodard, T. L., Zhang, Y., Sun, D., ... Lovley, D. R. (2016). Enhancing anaerobic digestion of complex organic waste with carbon-based conductive materials. *Bioresource Technology*, 220, 516–522. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.114>.
5. Ganzoury, M. A., & Allam, N. K. (2015). Impact of nanotechnology on biogas production: A mini-review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1392–1404. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.073>.

6. Gustavsson, J., Shakeri Yekta, S., Sundberg, C., Karlsson, A., Ejlertsson, J., Skyllberg, U., & Svensson, B. H. (2013). Bioavailability of cobalt and nickel during anaerobic digestion of sulfur-rich stillage for biogas formation. *Applied Energy*, 112, 473–477. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.009>.
7. Kökdemir Ünşar, E., & Perendeci, N. A. (2018). What kind of effects do Fe₂O₃ and Al₂O₃ nanoparticles have on anaerobic digestion, inhibition or enhancement? *Chemosphere*, 211, 726–735. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.014>.
8. Nielfa, A., Cano, R., & Fdz-Polanco, M. (2015). Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge. *Biotechnology Reports*, 5(1), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.10.005>.
9. Ometto, F., Karlsson, A., Ejlertsson, J., Björn, A. V., & Shakeri, S. Y. (2019). Anaerobic digestion: an engineered biological process. *Substitute Natural Gas from Waste*, 63–74. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815554-7.00005-2>.
10. Rubia, M. A. De, Villamil, J. A., & Mohedano, A. F. (2020). *and hydrogen production. Wastewater Treatment Residues as Resources for Biorefinery Products and Energy*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816204-0.00004-7>.
11. Suanon, F., Sun, Q., Li, M., Cai, X., Zhang, Y., Yan, Y., & Yu, C. P. (2017). Application of nanoscale zero valent iron and iron powder during sludge anaerobic digestion: Impact on methane yield and pharmaceutical and personal care products degradation. *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.08.076>.
12. Tsapekos, P., Alvarado-Morales, M., Tong, J., & Angelidaki, I. (2018). Nickel spiking to improve the methane yield of sewage sludge. *Bioresource Technology*, 270(August), 732–737. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.136>.
13. Yazdani, M., Ebrahimi-Nik, M., Heidari, A., & Hossein Abbaspour-Fard, M. (2019). Improvement of biogas production from slaughterhouse wastewater using biosynthesized iron nanoparticles from water treatment sludge. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.019>.

DISEÑO, ANÁLISIS Y MANUFACTURA DE MASA SEPARADORA VEHICULAR PARA AUTO MODIFICADO

Juan Pablo Razón González¹, Dennise Ivonne Gallardo Alvarez², José Miguel García Guzmán³, Juan Antonio Magdaleno Zavala⁴, Miroslava Cano Lara⁵

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

jurazo@itesi.edu.mx ¹, degallardo@itesi.edu.mx ², migarcia@itesi.edu.mx ³,
anmagdaleno@itesi.edu.mx ⁴, miroslava.cano@itesi.edu.mx ⁵.

RESUMEN

Las actuales alternativas disponibles en el mercado no ofrecen una solución satisfactoria ante la problemática que presentan los autos modificados para ser usados en competencias tipo rally con exigencias mecánicas de alto desempeño. Al modificar los vehículos se presenta el problema de usar neumáticos más robustos. Cuando el vehículo cambia de dirección al girar el volante hace que las llantas delanteras cambien su orientación y presenten rozamiento con el resorte que acompaña al amortiguador; esto conlleva un desgaste prematuro que reduce dramáticamente el ciclo de vida de los neumáticos. En este trabajo se presenta una solución factible que combina de manera confiable el factor de seguridad y el bajo costo de manufactura, esto validado a través de herramientas computacionales de vanguardia y el respaldo de teorías ingenieriles. Se presenta un modelo conceptual en Solidworks®, simulaciones en ANSYS® validadas a través del método de elementos finitos y de los diferentes procesos de manufactura involucrados. También se incluye la selección de material y el proceso de diseño a través de una matriz morfológica.

INTRODUCCIÓN

La suspensión de un vehículo fue modificada para participar en competencias tipo rally; se cambió el conjunto de resorte-amortiguador para que pudiera asimilar de mejor manera las irregularidades del terreno, también se modificó el tipo de neumático por uno adecuado para estas competencias. A partir de estas modificaciones se presentó el problema del rozamiento de los neumáticos delanteros en el resorte que está en conjunto con el amortiguador; esta fricción reduce drásticamente la vida útil de las llantas e incrementa el riesgo potencial de un accidente en plena competencia.

Para corregir este problema se buscaron en primera instancia alternativas comerciales, pero dentro de lo que se encontró en el mercado de partes automotrices no había una que soportara las exigencias de un vehículo de estas características; derivado de esto se optó por desarrollar una masa separadora vehicular para incrementar la distancia entre centros de los neumáticos y evitar el rozamiento de los neumáticos con los resortes de los amortiguadores.

El presente trabajo está enfocado en diseñar, analizar y manufacturar una masa separadora para el conjunto rin-neumático de un vehículo. A partir de las necesidades específicas de un vehículo modificado el diseño se llevó a cabo en el software Solidworks® y las simulaciones fueron realizadas en ANSYS®, mientras que la manufactura fue realizada en torno y fresadora convencional previo a la realización de un tratamiento térmico para mejorar sus propiedades mecánicas.

TEORÍA

Este proyecto fue desarrollado en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI), el propósito de este estudio consistió en llevar a cabo el diseño, análisis y manufactura de una masa separadora vehicular, la cual sea de fácil fijación al automóvil, para que resista los esfuerzos de torsión y los esfuerzos derivados por el ciclo de fatiga; de esta manera se mejora la confiabilidad mecánica del auto. Esta idea surge de la necesidad de solucionar un problema que se presentaba en un vehículo de alto rendimiento, ya que al ser modificado el sistema de suspensión para mejorar su desempeño en terrenos irregulares se afectó la distancia entre centros de neumáticos, esta modificación provocó la fricción entre los resortes de amortiguador y las llantas delanteras cada que el automóvil cambiaba de dirección; este rozamiento producía un desgaste exagerado que acortaba la vida útil de los neumáticos.

La reconfiguración de los elementos de la suspensión permitió emplear elementos más robustos para la suspensión, pero no fue tan flexible como para cambiar la ubicación de los mismos; de esta manera se imposibilitaba el cambio de la base de los amortiguadores al ser componentes fijos. Las opciones disponibles en el mercado presentaban una solución parcial al problema.

METODOLOGÍA

El diseño fue realizado en el software de CAD Solidworks®, iniciando por la generación del modelo a partir de una placa circular de 150mm de diámetro exterior y 25.4mm de espesor, con 8 barrenos espaciados a 45°; 4 barrenos de 12.7mm de diámetro, contrataladrado de 27mm a 12.5mm de profundidad, 4 barrenos de 12.7mm de diámetro con caja de 20mm a 10mm de profundidad. En la parte posterior cuenta con una cavidad de 60mm de diámetro con 20mm de profundidad. Por la cara frontal cuenta con una guía de 55mm de diámetro exterior, con 50 mm de diámetro interior y 15mm de altura. En la figura 1 se muestra el drafting o dibujo de trabajo correspondiente a la pieza a manufacturar.

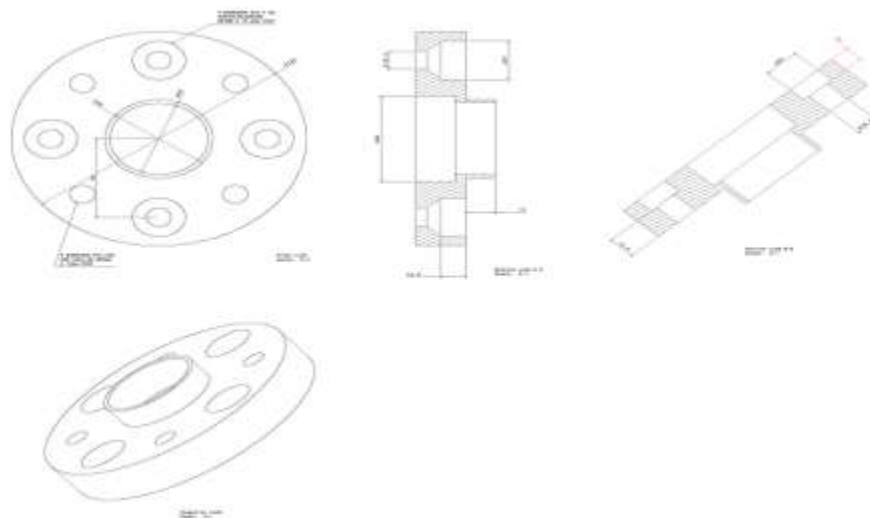


Figura 45 Drafting de masa separadora vehicular

Una vez generado el modelo de CAD, se exportó al software de análisis ANSYS® que trabaja con modelos matemáticos basados en el método de elementos finitos y sustentado en teorías ingenieriles de áreas múltiples y permite realizar análisis estructurales (Shigley, Budynas, & Nisbett, 2008), se introducen los datos de material, Módulo de elasticidad de 210GPa y Módulo de Poisson de 0.3 para el tipo de acero propuesto para esta aplicación. A partir de estos datos el software realizará iteraciones más precisas de acuerdo a las propiedades del material y a las condiciones de carga determinadas para el análisis.

Después de ingresar las condiciones de frontera para el análisis se hizo un trabajo de mallado para obtener las mejores relaciones entre el tamaño y cantidad de elementos cotejando contra el tiempo de solución y la precisión de los resultados para un aprovechamiento óptimo del músculo computacional. Para obtener una malla adecuada se probaron diferentes configuraciones con diversos tipos de elementos, se empleó un refinamiento de la malla y se determinó el número de elementos que serían afectados por esta operación. Se aplicó un método conocido como Mapped Face Meshing para tener un mayor control de la malla, obteniendo de esta forma una malla basada en hexaedros y prismas regulares como se muestra en la figura 2.

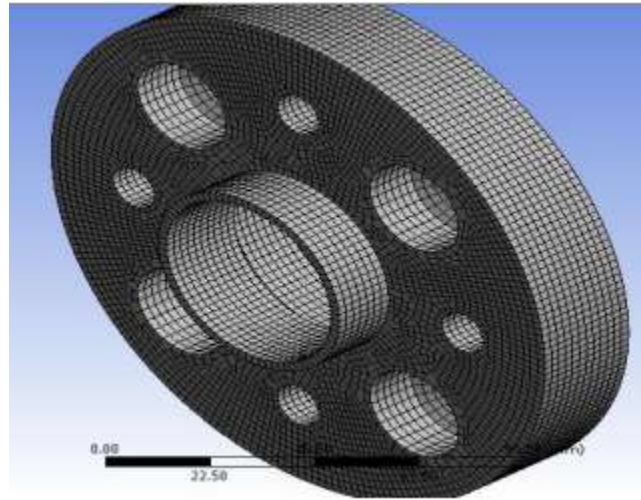


Figura 46 Mallado

Después se aplicaron las restricciones de movimiento al restringir la pieza en 4 de los 8 barrenos (figura 3) y se aplicó la carga en la cara cilíndrica exterior(figura 4). El tipo de restricción fue una sujeción fija (fix support) y la carga fue un movimiento torsional a la placa de apoyo, esto hará girar a la pieza de los barrenos de transmisión.

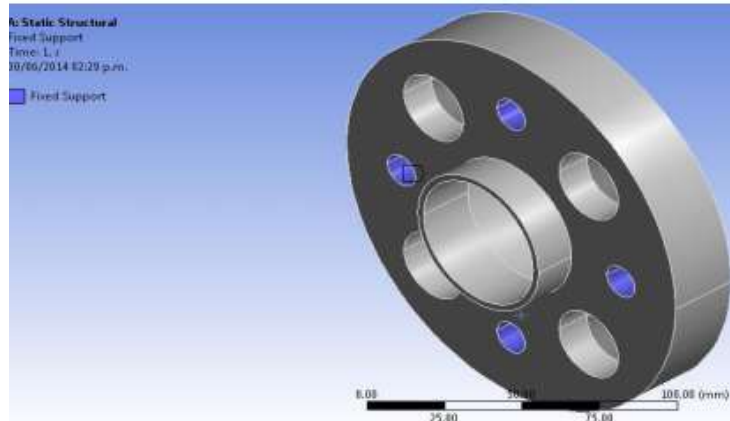


Figura 47 Soportes ante la carga

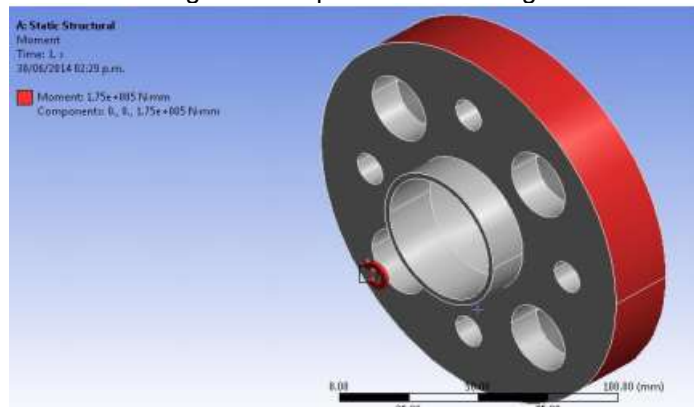


Figura 48 Carga aplicada como momento

La manufactura se dividió en tres procesos principales: torneado, fresado y tratamiento térmico. Primero se tomó una placa de acero 1045, cuyas medidas exceden el diámetro final de la pieza, en este caso 170mmx170mm. Como se ilustra en la figura 5.

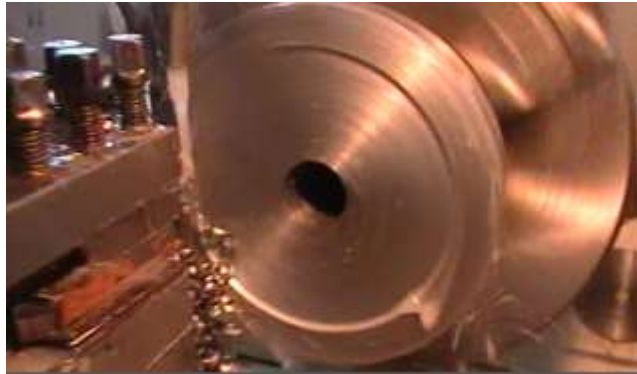


Figura 49 Torneado

Posteriormente se realizó el fresado y barrenado de las diferentes cavidades con caja o con contrataladrados, tal como se presenta en la figura 6



Figura 50 Fresado y taladrado

Finalmente se realizó el tratamiento térmico que consistió en un templado a 750°C por 50 minutos (figura 7) con enfriamiento en aceite (figura 8), después se le aplicó un revenido a 100°C por 20 minutos con enfriamiento en aire dentro del horno, ya que para concluir la validación de la pieza se sometió a pruebas de dureza Rockwell.

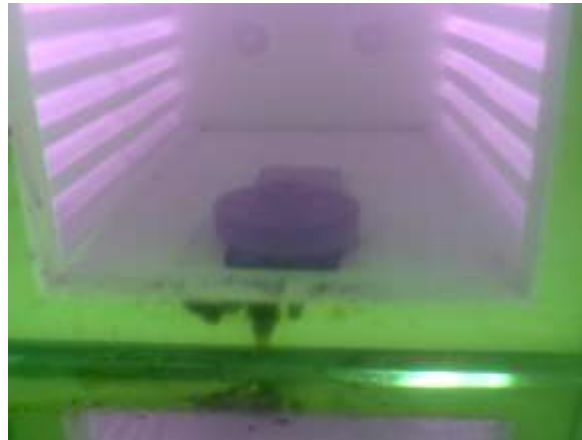


Figura 51 Tratamiento térmico



Figura 52 Enfriamiento en aceite

RESULTADOS

Una vez que se realizó el tratamiento térmico se hicieron las pruebas de dureza en la escala Rockwell B y se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en la tabla 1

Tabla 22 Resultados de las pruebas de dureza

Antes del tratamiento térmico					
69,1	62,9	58,6	73,1	63,8	65,26 HRB
34,2	33,2	70,5	65,2	32,9	43,7 HRB
Después del tratamiento térmico					
72,6	71,0	55,1	64,3	77,4	69,3 HRB
84,7	60,7	72,9	86,2	67,4	69,5 HRB

La matriz morfológica se empleó para definir los parámetros de material, forma, operaciones y tratamiento térmico; como se muestra en la tabla 2

Tabla 23 Matriz morfológica

Parametros/Opciones			
Forma	Circular	Cuadrada	Triangular
Material	Aluminio	Acero	titanio
No. De perforaciones	4	6	8
Operación inicial	Torno	Cepillado	Fresa
Barrenado	Torno	Cepillado	Fresa
Acabado	Cementado	Temple y revenido	Cianuración

De acuerdo a los resultados obtenidos en las simulaciones de ANSYS se concluye que la pieza cumple con los parámetros de confiabilidad y rendimiento esperado, el gradiente de esfuerzos que se presenta está dentro del margen de seguridad esperado, como se presenta en la figura 9

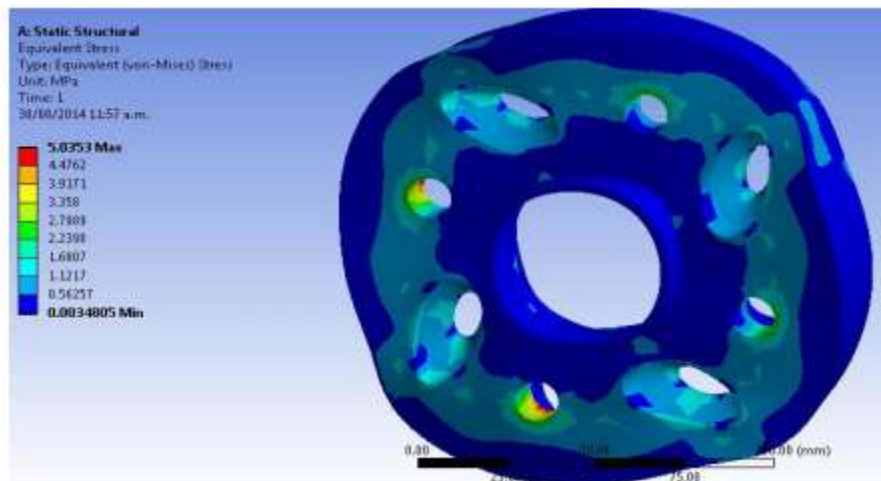


Figura 53 Esfuerzos de Von Mises

El tiempo y la precisión de los cálculos dependen del refinamiento de la malla y por consiguiente del número de elementos y cálculos que debe realizar el software. Un refinamiento especial es sugerido para áreas con cambios de sección o geometría, en donde se requiere un barrido de malla con una mayor cantidad de elementos para suavizar las imperfecciones y obtener mayor confiabilidad en los cálculos. Se tratan los análisis más significativos debido a la variación que se le realiza a la malla conservando los valores de carga originales y observando cómo los resultados comienzan a converger en la misma dirección, a medida que no es necesario realizar más análisis, ya que la variación de resultados es despreciable. Estos resultados son representados en las figuras mostradas, en las cuales el objeto es sometido a los esfuerzos de torsión con un valor de 175 Nm y los resultados son mostrados a color, denotando una escala al lado izquierdo, en donde se puede observar la zona sometida a esfuerzos mayores y el valor de este esfuerzo máximo, el cual tiene que estar alejado del esfuerzo de cedencia del material. En las figuras 10, 11 y 12 se presenta la masa terminada y montada.



Figura 54 Masa terminada frente



Figura 55 Masa terminada reverso



Figura 56 Masa montada

CONCLUSIONES

Después de las pruebas realizadas al elemento y comprobar su correcto funcionamiento y el buen estado en el que se encuentra es que se puede afirmar que el procedimiento de diseño, manufactura por el que se ha pasado es el adecuado para esta aplicación en particular. La pieza no presenta deformaciones en el exterior, de modo que al montarla en su posición no presenta desbalanceo al momento de girar. Cabe destacar que este estudio no implica mecánica experimental (uso de galgas extensométricas etc.). Así mismo después de varios kilómetros en diferentes terrenos, la pieza no presenta daños exteriores en donde pudiera haber concentración de esfuerzos para que haya una falla en la pieza. Además siendo montada la pieza, realiza la separación del rin-neumático de la manera esperada, siendo válida esta pieza como solución.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANSYS. (1 de Noviembre de 2009). ANSYS. Obtenido de ANSYS: http://orange.engr.ucdavis.edu/Documentation12.1/121/wb_msh.pdf
2. Jensen, C. (2004). *Dibujo y diseño en ingeniería*. CDMX: McGraw-Hill.
3. Shigley, R., Budynas, G., & Nisbett, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. CDMX: McGraw-Hill.
4. Guide, A. M. (Octubre de 2012). ANSYS, Inc. Release 14.5. Recuperado el 20 de Junio de 2014, de <http://148.204.81.206/Ansys/150/ANSYS%20Meshing%20Users%20Guide.pdf>
5. MOTT. (1992.). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana,.
6. Norton, R. (1999). *Diseño de Máquinas*. México: Ed. Prentice-Hall (Pearson).
7. Raymond L. Browell, P. E. (24 de Mayo de 2006). *Predicting Fatigue Life with ANSYS*. Recuperado el 15 de Octubre de 2014, de https://www.google.com.mx/webhp?source=search_app&gws_rd=cr&ei=v_SpU5bOMcGokQeU44GoCw#q=Predicting+Fatigue+Life+with+ANSYS+Workbench
8. Richard, G. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. México D.F: Mc GRAW HILL/INTERAMERICANA, EDITORES, S.A DE C.V. México D.F.
9. DOWLING, N. E.. *Mechanical Behavior of Materials*. N.J.: Prentice-Hall: Englewood Cliffs, 1993, págs. 416 y 418.
10. FAIRES, V. M.. *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Editorial Limusa, 1995. 4ª Reimpresión.
11. SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México: McGRAW-HILL, 1991.

12. JUVINALL, R. C.. Stress, Strain and Strength. Nueva York: McGraw-HILL, 1967, pág. 234.
13. SHIGLEY, J. E. y MITCHELL, L. D.. Mechanical Engineering Design. Nueva York: McGraw-HILL, 1983, págs. 293 y 300. 4ª edición.
14. HAMROCK, B. J., JACOBSON, B. y SCHMID, S. R.. Elementos de Máquinas. México: McGRAW-HILL, 2000.
15. MOTT, R. L. Diseño de Elementos de Máquinas. 2ª ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1992.
16. JUVINALL, R. C. y MARSHEK, K. M.. Fundamentals of Machine Component Design. 2nd ed. Nueva York: John Wiley & Sons, 1967, pág. 270.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL SEMIAUTOMÁTICO PARA UN PIVOT LATERAL DE AVANCE FRONTAL PARA LA EMPRESA PRODUCTORA AGRÍCOLA EL ENCANTO S.P.R. DE R.I.

Esteban Eduardo Galaviz Vega, María Isabel Perea Urías, Miguel Ángel Esparza Parra, Victoria Paola Cabrera Madera, Fatsin Ernesto Cota Cota

Instituto Tecnológico Superior de Guasave
estebangalaviz1998@hotmail.com

RESUMEN

En la empresa Productora Agrícola El Encanto S.P.R. de R.I. se presenta una oportunidad de mejora en el proceso y sistema de riego; particularmente, en el dispositivo que se utiliza para el riego de los terrenos de cultivo, conocido como *pivot*.

Esta máquina es un sistema de riego que cubre cerca del 98% de la superficie de cultivo (parcela), es de avance frontal autopropulsada por un sistema mecánico, por lo que se plantea implementar un sistema semiautomático que active y desactive el dispositivo cuando este termine la trayectoria requerida (área de cultivo). Esto último se define con base en que el *pivot* de avance frontal requiere de un operador que inicie y detenga el proceso de riego; al no realizar esta última acción, todo el mecanismo seguirá avanzando generando daños en los cultivos, daños en el mismo sistema y a terceras personas, lo que genera costos para la empresa.

Para resolver esta problemática, se diseñó un sistema de control para el *pivot* en el cual dicho dispositivo tiene la capacidad de detectar un punto límite en los terrenos de cultivo (área de riego); esto permite que a su vez se detenga el mecanismo que da potencia al *pivot*, así como la bomba que suministra agua.

El diseño óptimo seleccionado se realizó empleando un interruptor SKU: 19278950, dos interruptores de control remoto relé 12 volts 10 A 2 canales 315 MHz, un receptor con funcionamiento de dc12 volts y un contactor ABB 26 A de tres polos, considerando las condiciones del sistema original, el cual cuenta con una bomba trifásica y un generador de 440 volts (previamente se definieron como requisitos de diseño por parte del usuario final).

Con base en lo anterior, se determinó que el receptor se debe instalarse en el gabinete de la bomba, para que éste se accione mediante dos controles inalámbricos, de los cuales, uno se coloca de manera fija en el *pivot* (en el tablero de control del mismo), ya que de ahí mismo se toman las conexiones para el interruptor; el otro se instala en la bomba, para que no haya necesidad de desplazarse hasta donde ésta se encuentra, por lo que este receptor también debe ser capaz de encender o apagar la bomba a través del contactor correspondiente. De manera simple, este sistema adaptable, permite que la bomba, en conjunto con el *pivot*, se detengan.

La implementación de este proyecto, además de dar seguridad al operador y al agricultor, implica ahorro económico, ya que todo el sistema está por debajo del precio de un nuevo *pivot* de avance frontal moderno.

INTRODUCCIÓN

Entre los avances del riego por *pivot* de los últimos tiempos que más se destacan está la tecnología de control. Hoy en día un operador sólo debe realizar una rápida programación en el panel de control para seleccionar la dirección y la velocidad deseada de varios *pivots*. Es decir, el operador puede regular al detalle cómo aplica el agua en el terreno.

Los sistemas de control se han hecho cada vez más sofisticados y en la actualidad el operador puede pre-programar el riego con varias semanas de antelación. Las instrucciones pueden incluir diferentes tasas de aplicación de agua, programadas dependiendo del sector, según los requerimientos del cultivo, sin embargo éste no es un sistema barato. Por lo que nace la necesidad de diseñar un sistema de control que cumpla la función del mismo a un precio accesible.

En la empresa Productora Agrícola El Encanto S.P.R. de R.I. se presenta una oportunidad de mejora en cuanto al dispositivo que se utiliza para el riego de los terrenos de cultivo, conocido como *pivot*. Esta es una máquina de avance frontal autopropulsada con una cobertura del 98% de la superficie, la cual cuenta con un sistema mecánico por lo que se plantea implementarle un sistema

semiautomático que active y desactive el dispositivo cuando este termine la trayectoria requerida, puesto que el *pívot* de avance frontal requiere de un operador que inicie con el proceso de riego y que de igual forma detenga el proceso; al no realizar esta última acción, todo el mecanismo seguirá avanzando generando daños en los cultivos, daños en el mismo sistema y a terceras personas lo que genera costos para la empresa.

El sistema de control propuesto será capaz de detectar un punto límite en los terrenos de cultivo para que a su vez se detenga el mecanismo que da potencia al *pívot*, así como la bomba que suministra agua.

Elaborar el diseño de un control para *pívot* lateral de avance frontal representaría una alternativa de mejora para el dispositivo y para la empresa, considerando evitar accidentes en los cultivos y el desperdicio de agua, así como daños al mismo equipo de riego causados por descuidos del operador.

TEORÍA

Sistemas de riego de aspersión con ramales desplazables

En respuesta al creciente problema de escasez de agua y mano de obra, los sistemas de riego por aspersión basados en ramales desplazables constituyen una buena alternativa en materia de riego, por tratarse de equipos que permiten mejorar el aprovechamiento del agua y su distribución sobre el cultivo. Por otra parte, cuando se trata de grandes superficies, el costo de inversión y operación es relativamente bajo si se compara con otros métodos de riego fijo o semi-fijo (Hamil, 2008).

Estos equipos de riego han experimentado una gran expansión en los últimos años debido a los siguientes factores:

- La alta eficiencia de aplicación de agua que pueden alcanzar si son bien utilizados.
- El grado de automatización que los caracteriza, con lo que disminuyen las labores respecto a otros métodos de riego.
- La capacidad para aplicar agua y nutrientes solubles en una amplia gama de suelo, cultivos y condiciones topográficas.

Pívot central

Un *pívot* central o lateral móvil consiste básicamente en una tubería lateral con aspersores. La tubería lateral es soportada por tensores de acero y torres espaciadas entre 30 y 60 m. Cada torre cuenta con un motor y va colocada sobre dos o cuatro grandes ruedas de goma. El conjunto de tubería, tensores y aspersores entre dos torres se llama tramo. En cada torre hay acoples flexibles que conectan las tuberías de dos tramos adyacentes. El largo máximo de los tramos es función del tamaño de la tubería, su espesor, pendiente y topografía del terreno. El largo de los tramos no tienen por qué ser uniformes y generalmente varía para adecuarse a las dimensiones del campo o para ajustar la altura de los aspersores en terrenos ondulados (Guzmán, 2011).

Pívot lateral de avance frontal

La estructura es similar a la del pivote, con la diferencia que la torre de mando se mueve con el resto del equipo. La superficie de riego es rectangular e idealmente el recorrido del equipo debe ser dos o tres veces la longitud del lateral, puesto que de ser menores, los costos por unidad de superficie aumentan. Por otra parte, solo se recomiendan superficies más largas si se usan dos o más cultivos con diferencia de periodo crítico de humedad. Estos equipos se abastecen de agua a lo largo de todo el recorrido del lateral (Guzmán, 2011).

Sistema de control

Un sistema de control puede considerarse como un sistema que se puede utilizar para:

Controlar algo variable de algún valor particular, por ejemplo, un sistema central de calentamiento donde la temperatura se controla para un valor particular.

Controlar la secuencia de eventos, por ejemplo, las marcas de una lavadora que establecen el lugar y el tiempo de un ciclo, por ejemplo, 'blancos' y entonces un ciclo de lavado en particular controla la lavadora, esto es, secuencia de eventos, apropiado para ese tipo de ropa.

Controlar si ocurre o no un evento, por ejemplo, un seguro en una máquina por el cual no puede ser operada hasta que el dispositivo de seguridad esté en posición (Bolton, 2013).

Sistema de control semiautomático

En el sistema semiautomático, también llamado mecánico, la acción motora es llevada a cabo por componentes mecánicos mientras que el hombre observa y controla su tarea, como por ejemplo al conducir un automóvil. En relación al trabajo se aplica allí donde se exige mucha energía o donde las condiciones de entorno son severas (Varela, 2014).

Interruptores controlados por tensión

Los interruptores controlados por tensión pueden utilizarse como un modelo ideal para la mayoría de los dispositivos electrónicos. Un interruptor controlado por tensión es una resistencia que tiene un valor determinado por una tensión de control. El concepto del uso de una resistencia controlada a modo de interruptor para una simulación de circuitos electrónicos de potencia. Un transistor de unión bipolar u otro dispositivo se comporta, idealmente, como un interruptor abierto o cerrado. Una resistencia grande permite aproximar el comportamiento de un interruptor abierto y una resistencia pequeña el de un interruptor cerrado (Hart, 2001).

Controles inalámbricos

Se usan tanto para activar-desactivar el sistema como para enviar una señal de aviso a la estación de monitoreo. La función de activación parcial o total y la desactivación del sistema pueden estar sola o en combinación con botones de aviso. También un transmisor puede comandar una salida PGM para encender o apagar un dispositivo externo o para activar sirenas o luces (Herrero, 2014).

Receptores de RF

Un receptor es un dispositivo capaz de aceptar y de modular una señal de radio frecuencia, a fin de obtener la información o inteligencia contenida en ella. La señal de entrada al receptor generalmente presenta una amplitud extremadamente baja, un receptor típico debe ser capaz de amplificar la señal de entrada por un factor del orden de algunos miles, para que esta tenga suficiente amplitud para ser útil (Velázquez, 2002). La inteligencia contenida en la señal de RF puede presentarse de la siguiente forma:

- Una onda continua, o modulada en amplitud.
- Una onda modulada en frecuencia.
- Una onda modulada por pulso, etc.

Contactores

El contactor está encuadrado como un elemento de control de potencia, en los sistemas automáticos eléctricos. Una propiedad que caracteriza al contactor es que produce una separación galvánica total entre el circuito que entrega la energía eléctrica y el que la recibe, esto le diferencia con los recientes contactores electrónicos, en los que siempre existe una pequeña corriente. Mediante el contactor podemos gobernar potencias de valores muy elevados (de 0 hasta 750 kW) (Hart, 2001).

PARTE EXPERIMENTAL

Se realizó el diseño de un sistema de control con base en la metodología propuesta por Robert L. Mott (2006), la cual es descrita a continuación:

Identificar los requisitos del cliente.

Se identificaron las propiedades y los factores de funcionamiento que el cliente necesita además se evaluaron la importancia relativa de esos factores. En este punto se consideró cómo se ajustan al proceso de diseño todas las funciones que deben cumplirse para que se entregue un producto satisfactorio para el cliente.

Definir las funciones del dispositivo.

El cliente indicó lo que debe hacer el dispositivo, mediante afirmaciones generales no cuantitativas. El dispositivo debe ser capaz de detenerse cuando llegue al límite establecido evitando que éste siga trabajando sin que se necesite.

Indicar los requisitos del diseño.

Se estableció que el requisito principal es que el *pivot* y la bomba detengan su operación totalmente al finalizar el riego en el terreno de cultivo.

Definir los criterios de evaluación.

Se establecieron las declaraciones de características cualitativas deseables en un diseño, en las que se apoyó para la elección de la opción de diseño óptima, esto es, el diseño maximice las ventajas y minimice las desventajas. Los criterios de diseño seleccionados son los siguientes: seguridad, eficiencia, bajo costo de fabricación, fácil mantenimiento, fácil operación, materiales y componentes de fácil compra.

Proponer varios conceptos de diseño alternativos.

Se plantearon diferentes propuestas con diferentes dispositivos de control siempre analizando cual era la mejor opción en cuanto a precisión, confiabilidad, accesibilidad y compatibilidad con el sistema de riego por pivotes para elegir el concepto más óptimo y con mejores resultados apegado a las especificaciones del cliente.

Evaluar cada alternativa propuesta.

Se evaluó cada alternativa propuesta con el fin de seleccionar la mejor en base a los criterios de evaluación y a la metodología TRIZ donde se destacaron los aspectos más importantes y relevantes. Seleccionar el concepto de diseño.

Se seleccionó el sistema de control más apegado a los criterios establecidos con anterioridad.

Completar el diseño detallado del concepto seleccionado.

El diseño óptimo elegido se realizará empleando un interruptor SKU: 19278950, dos interruptores de control remoto relé 12 volts 10 A 2 canales 315 MHz, un receptor con funcionamiento de dc12 volts y un contactor ABB 26 A de tres polos. El sistema original cuenta con una bomba trifásica y un generador de 440 volts, por lo que se consideran como requisitos de diseño; con base en esto se determinó que el receptor se instalará en el gabinete de la bomba, y ésta, podrá ser accionado mediante dos controles inalámbricos, de los cuales, uno se colocará de manera fija en el *pivot* (en el tablero de control del mismo), ya que de ahí mismo se tomarán las conexiones para el interruptor, mientras que para accionar la bomba sin necesidad de desplazarse hasta donde se encuentra, el receptor será capaz de encender o apagar la bomba a través del contactor correspondiente.

Cabe destacar que lo que se planea hacer es adaptarle un sistema a la bomba para que en conjunto con el *pivot* se detenga.

RESULTADOS

El sistema original cuenta con una bomba trifásica y un generador de 440 volts, por lo que se consideran como requisitos de diseño; con base en esto se determinó que el receptor se instalará en el gabinete de la bomba, y ésta, podrá ser accionado mediante dos controles inalámbricos, de los cuales, uno se colocará de manera fija en el *pivot* (en el tablero de control del mismo), ya que de ahí mismo se tomarán las conexiones para el interruptor, mientras que para accionar la bomba sin necesidad de desplazarse hasta donde se encuentra, el receptor será capaz de encender o apagar la bomba a través del contactor correspondiente. Cabe destacar que lo que se planea hacer es adaptarle un sistema a la bomba para que en conjunto con el *pivot* se detenga, como se observa en la figura 1.

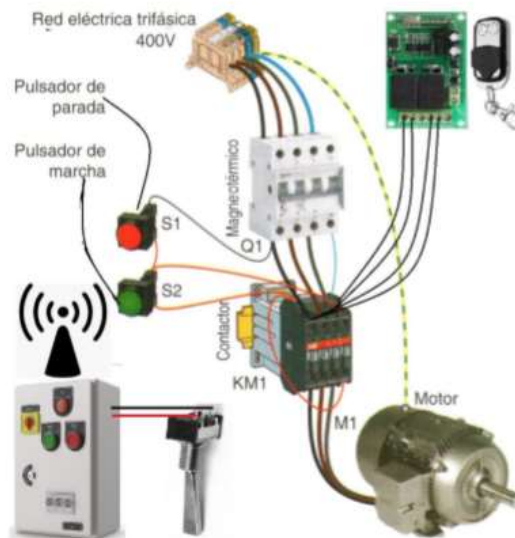


Figura 57. Diagrama general del sistema de control.

El diseño del sistema tendrá disponible dos controles inalámbricos, uno se accionará del panel, de manera manual, y el segundo, por medio del uso del operador. El interruptor se encargará de que el pivót y la bomba se desactiven al mismo tiempo, de manera automática.

CONCLUSIONES

El concepto de diseño seleccionado cumple y cubre los requisitos de diseño especificados por el usuario final, ya que se adaptó a los componentes con los que ya se cuenta. Al tener cerca una alimentación de 12 volts para el receptor, instalado en el módulo de control, este no perderá frecuencia y se obtendrá una mejor señal entre emisor y receptor el para el encendido y apagado de la bomba.

Se logrará la confiabilidad del sistema implementado al tener tres vías de detención en el proceso de riego, tales como manual, semiautomática y automática.

Mediante las alternativas propuestas durante la etapa del diseño, se decidió utilizar un interruptor como el principal encargado de enviar la señal al receptor para que este cumpla con su funcionamiento, ya que si se utilizaba un sensor en vez de un interruptor este incrementaría el presupuesto del diseño.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mott, R. "Diseño de elementos de máquinas". (PEARSON EDUCACIÓN S. A., México, 2006), Capítulo 1, pp. 3-27.
2. Bolton, W." Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica". Un enfoque multidisciplinario. (Alfaomega Grupo Editor., México, 2013).
3. Guzmán, J. "Riego de precisión y su aplicación en una máquina de riego de avance frontal". (Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México, 2011).
4. Hart, D. "Electrónica de potencia". (PEARSON EDUCACIÓN, S. A., España, Madrid, 2001)
5. Hamil, U. "Nuevas alternativas de riego por aspersión". Boletín Informativo. Informativo agropecuario Bioleche, INIA-Quilamapu, 2008, 3 p.
6. Hernández, R. "Introducción a los sistemas de control". (Prentice Hall, México, 2010).

DISPOSITIVO ERGONÓMICO PARA EL MANEJO DE MATERIALES LIGEROS

Hilda Cristina Martínez Tovar¹, Perla Mayara Alcalá González¹, Guadalupe Esmeralda Alcalá González¹, Briceida Yasmin Martínez Ramírez², Jorge Luis Morales Duque², Anna Karina Beltrán Rodríguez², Alejandra Hernández Guerrero², Edgar Alberto Hernández Elguezabal²

¹Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera, ²Alumno del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera
cristina_martinez217@hotmail.com

RESUMEN

El acomodo y disposición de cajas es una de las actividades diarias en pequeñas y medianas empresas, específicamente, en negocios como zapaterías, dulcerías, papelerías, ferreterías, farmacias, por así mencionar algunas, lo cual lo hacen con apoyo de una escalera o en algunos casos se suben a una silla, de acuerdo a esta necesidad detectada es diseñado un prototipo ergonómico que permite al trabajador alcanzar y mover las cajas con mayor facilidad y algo muy importante es brindarle seguridad al realizar sus actividades, debido a que se minimiza el esfuerzo físico.

El tipo de investigación desarrollada es experimental, debido a que se analizarán dos métodos para realizar las actividades de carga y descarga; comparativo: porque analizarán los resultados obtenidos en los dos métodos; prospectiva: porque se está analizando el método actual y el método con el prototipo; transversal: porque sólo se tomó medición a lo largo de un solo periodo de tiempo. La técnica utilizada para la recolección de la información es mediante la toma de video para cada trabajador mientras esté realizando la tarea de cargar y/o descargar productos de los estantes. Se evaluará con el método REBA en una tabla dependiendo la postura en la que se encuentre. Al final se interpretarán los datos dependiendo la numeración que arroje.

Las actividades de carga y descarga de acuerdo con el método utilizado antes de utilizar el prototipo, fueron evaluadas mediante la aplicación del método REBA que arrojó resultados entre 2 y 4, que indica un nivel de riesgo de medio a muy alto, por lo que se debe actuar sobre las posturas y el tamaño de la carga que se maneja para reducirlo. Para atender este problema se desarrolla el dispositivo ergonómico que permita al operario facilitar y optimizar el proceso de carga y descarga de mercancía apilada en anaqueles, evita que haga uso de una escalera o silla, además de que únicamente se manejan cargas menores a 5 kilogramos, lo cual reduce el esfuerzo físico y dolores dorso lumbar. Se reduce el riesgo considerablemente. El diseño del dispositivo consiste en un brazo manual que facilite las actividades del acomodo o disposición de mercancía. Dicho dispositivo está constituido de placa de acero, tubo niquelado, tornillos, es autoajustable, el tubo cilíndrico se ajusta a diferentes alturas de hasta 120 centímetros, en la parte superior cuenta con un contenedor ajustable de 25 a 40 centímetros para cargar cajas de hasta 40 cm de ancho, cuya función es la de sujetar los productos a mover y/o alcanzar.

Al utilizar el prototipo se observa un cambio importante en el nivel de riesgo en el proceso, disminuyendo a Bajo donde el nivel de actuación nos dice que puede ser necesaria la actuación, pero no es de urgencia a comparación con el método sin el prototipo.

INTRODUCCIÓN

El acomodo y disposición de cajas es una de las actividades diarias en pequeñas y medianas empresas, específicamente, en negocios como zapaterías, dulcerías, papelerías, ferreterías, farmacias, por así mencionar algunas, lo cual lo hacen con apoyo de una escalera o en algunos casos se suben a una silla, de acuerdo a esta necesidad detectada se piensa en un dispositivo que permita al trabajador alcanzar y mover las cajas con mayor facilidad brindándole seguridad al realizar sus actividades, debido a que se pretende minimizar el esfuerzo físico.

Es importante mencionar las problemáticas a las que se enfrentan las pequeñas y medianas empresas podemos resaltar que sus inversiones para tecnología, infraestructura, seguridad, entre otras, son de un 0.5% y 0.7%, respectivamente, estancando su propio crecimiento. Por lo anterior resulta lógico que aproximadamente 70% de las PyMES no cuenten con base tecnológica instalada teniendo temor de no poder solventar los costos de inversión y operación que esto implica; aunque también existen razones menos aceptables a esto como la resistencia al cambio, el desconocimiento

de los sistemas de información, la falta de infraestructura y la carencia de visión sobre los beneficios que la tecnología puede traer a una empresa. (COEPES, 2015)

De acuerdo con lo mencionado anteriormente el dispositivo ergonómico esta dirigido a las pequeñas y medianas empresas que utilizan anaqueles para el almacenamiento de materiales, siendo el acomodo y disposición de materiales actividades que se facilitarían utilizando dicho dispositivo.

El estudio fue realizado en un negocio local de la región, el cual consiste en el estudio de los movimientos realizados durante el acomodo y disposición de cajas utilizando para esto el método REBA mediante la videograbación de las actividades realizadas por los trabajadores, posteriormente de haber analizado la información obtenida con el análisis de los videos se pensó en la factibilidad de un dispositivo ergonómico que sea de gran utilidad en el proceso de acomodo y carga de diversos tipos productos (cajas, bolsas) de peso ligero.

El dispositivo esta conformado de dos partes: una extensión cilíndrica de tubo niquelado que representa el brazo, y un contenedor constituido de placa de aluminio, ambos son autoajustables a diferentes alturas y medidas de productos, materiales o cajas de hasta 40 cm de ancho.

TEORÍA

En todos los almacenes deben existir las condiciones de trabajo adecuadas para que el operario realice su trabajo de una forma segura, sin daños al producto o a su propia integridad.

Entre las problemáticas de las pequeñas y medianas empresas podemos resaltar que sus inversiones para tecnología, infraestructura, seguridad, entre otras, son de un 0.5% y 0.7%, respectivamente, estancando su propio crecimiento. Por lo anterior resulta lógico que aproximadamente 70% de las PyMES no cuenten con base tecnológica instalada teniendo temor de no poder solventar los costos de inversión y operación que esto implica; aunque también existen razones menos aceptables a esto como la resistencia al cambio, el desconocimiento de los sistemas de información, la falta de infraestructura y la carencia de visión sobre los beneficios que la tecnología puede traer a una empresa. (COEPES, 2015)

“De cada cinco pequeñas y medianas empresas (Pymes) que se abren en el país, tres están lideradas por mujeres”. (Empresario)

La mujer representa la mayor parte de la labor en las Pymes, siendo estas quienes manejan y lideran las mismas.

Factores de riesgo en la manipulación de carga

1. Características de la carga: La manipulación manual de una carga puede presentar un riesgo, en particular dorso lumbar, en los casos siguientes:
 - Si la carga es demasiado pesada o grande. A modo de indicación general, el peso máximo que se recomienda no sobrepasar (en condiciones ideales de manipulación) es de 25 kg. No obstante, si la población expuesta son mujeres, trabajadores jóvenes o mayores, o si se quiere proteger a la mayoría de la población, no se deberían manejar cargas superiores a 15 kg.
 - Si es voluminosa o difícil de sujetar.
 - Si está en equilibrio inestable o su contenido corre el riesgo de desplazarse.
 - Si está colocada de tal modo que debe sostenerse o manipularse a distancia del tronco o con torsión o inclinación del mismo.
 - Si la carga, debido a su aspecto exterior o a su consistencia, puede ocasionar lesiones al trabajador, en particular en caso de golpe. (ESP)
2. Esfuerzo físico necesario para mover la carga: Un esfuerzo físico puede entrañar un riesgo, en particular dorso lumbar, en los casos siguientes:
 - Si es demasiado intenso.
 - Si no puede realizarse más que por un movimiento de torsión o de flexión del tronco.
 - Si puede acarrear un movimiento brusco de la carga.
 - Si se realiza mientras el cuerpo está en posición inestable.
 - Si se trata de alzar o descender la carga con necesidad de modificar el agarre (ESP)

3. Exigencias de la actividad: La actividad puede entrañar riesgo, en particular dorso lumbar, cuando implique una o varias de las exigencias siguientes:
 - Distancias demasiado grandes de elevación, descenso o transporte. (ESP)
4. Características del medio de trabajo: Las características del medio de trabajo pueden aumentar el riesgo, en particular dorso lumbar, en los casos siguientes:
 - Si el espacio libre, especialmente vertical, resulta insuficiente para el ejercicio de la actividad de que se trate.
 - Si el suelo es irregular y, por tanto, pueda dar lugar a tropiezos o bien es resbaladizo para el calzado que lleve el trabajador.
 - Si la situación o el medio de trabajo no permiten al trabajador la manipulación manual de cargas a una altura segura y en una postura correcta.
 - Si el suelo o el plano de trabajo presentan desniveles que implican la manipulación de la carga en niveles diferentes.
 - Si el suelo o el punto de apoyo son inestables. (ESP)

Al observar el espacio de trabajo se puede concluir que la carga es difícil de sujetar, se encuentra inestabilidad en el suelo, al encontrarse en alturas elevadas para el trabajador resulta un riesgo. Materiales utilizados en el dispositivo ergonómico: extensión cilíndrica de tubo niquelado y contenedor de aluminio.

Características del aluminio

- Liger. El aluminio es tres veces más ligero que el hierro. Tiene un peso específico de 2,7 g/cm³.
- Dúctil. Es la capacidad que tiene un material para admitir grandes deformaciones sin romperse. Gracias a la muy alta ductilidad del aluminio, a partir de ella puede hacer láminas con un espesor de 4 micrones y el cable más delgado. Y el papel de aluminio superfino es tres veces más delgado que un cabello humano. Además, en comparación con otros metales y materiales, es más económico.
- Sin corrosión. La corrosión es el desgaste que sufren los metales a causa de agentes externos. La película de óxido fino del aluminio protege contra la corrosión.
- Gran capacidad para formar compuestos. La alta capacidad para formar compuestos con diversos elementos químicos ha generado muchas aleaciones de aluminio. Incluso una pequeña proporción de impurezas cambia significativamente las características del metal y abre nuevas áreas para su aplicación.
- Conductividad. La conductividad es la capacidad que tienen los elementos de transmitir la electricidad. Aluminio y cobre son los metales más utilizados en la industria del cable. El aluminio conduce bien la electricidad y pesa menos que el cobre.
- Color. El aluminio es un metal blanco plateado y brillante.
- Reutilizable y reciclable

Parece que el conjunto de características anterior es en sí mismo suficiente para que el aluminio se convierta en el metal de primera elección en la industria; sin embargo, hay una característica más, no menos significativa.

El uso del aluminio puede ser infinito: este metal y sus aleaciones pueden fundirse repetidamente sin pérdida de características mecánicas. (Master Logística, s.f.)

Características del níquel

- Es un metal de color blanco plateado.
- Es sólido a temperatura ambiente.
- Tiene la superficie brillante al igual que la mayoría de los metales
- Es dúctil y maleable.
- Es conductor de la electricidad y del calor.

- Se trata de un metal muy denso al igual que el hierro, osmio e iridio.
- Es resistente a la corrosión.
- Se lo puede encontrar en distintos tipos de minerales.
- Posee propiedades magnéticas.
- El níquel es un elemento relativamente reactivo (caracteristicass, 2017)

Propiedades del Níquel

El Níquel es uno de los materiales más demandados para producir superaleaciones resistentes a la corrosión a al calor. También es muy atractivo por su ductilidad, maleabilidad y ser un buen conductor de la electricidad y el calor. (INDUMATERIAL, s.f.)

Método REBA

REBA es un método de análisis postural especialmente sensible con las tareas que conllevan cambios inesperados de postura, como consecuencia normalmente de la manipulación de cargas inestables o impredecibles. Su aplicación previene al evaluador sobre el riesgo de lesiones asociadas a una postura, principalmente de tipo músculo-esquelético, indicando en cada caso la urgencia con que se deberían aplicar acciones correctivas.

El procedimiento para aplicar el método REBA puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Determinar los ciclos de trabajo y observar al trabajador durante varios de estos ciclos. Si el ciclo es muy largo o no existen ciclos, se pueden realizar evaluaciones a intervalos regulares.
2. Seleccionar las posturas que se evaluarán. Se seleccionarán aquellas que, a priori, supongan una mayor carga postural bien por su duración, bien por su frecuencia o porque presentan mayor desviación respecto a la posición neutral.
3. Determinar si se evaluará el lado izquierdo del cuerpo o el derecho. En caso de duda se analizarán los dos lados.
4. Tomar los datos angulares requeridos. Pueden tomarse fotografías desde los puntos de vista adecuados para realizar las mediciones.
5. Determinar las puntuaciones para cada parte del cuerpo. Empleando la tabla correspondiente a cada miembro.
6. Obtener las puntuaciones parciales y finales del método para determinar la existencia de riesgos y establecer el Nivel de Actuación
7. Si se requieren, determinar qué tipo de medidas deben adoptarse. Revisar las puntuaciones de las diferentes partes del cuerpo para determinar dónde es necesario aplicar correcciones.
8. Rediseñar el puesto o introducir cambios para mejorar la postura si es necesario.
9. En caso de haber introducido cambios, evaluar de nuevo la postura con el método REBA para comprobar la efectividad de la mejora. Cuanto puede estirarse la persona. (Diego-Mas, 2015)

Si tiene que levantar algo por encima de los hombros, coloque los pies en posición de andar. Levante primero el objeto hasta la altura del pecho. Luego, comience a elevarlo separando los pies para poder moverlo, desplazando el peso del cuerpo sobre el pie delantero.

La altura del levantamiento adecuada para muchas personas es de 70-80 centímetros. Levantar algo del suelo puede requerir el triple de esfuerzo. (S.A., s.f.)

PARTE EXPERIMENTAL

Diseño metodológico del estudio

Tipo de estudio

El tipo de investigación es experimental pues se modifican los resultados obtenidos de la implementación del dispositivo, es comparativo porque se analizan los resultados obtenidos en los

dos métodos, es prospectivo porque se está analizando el método actual y el método propuesto, es transversal porque sólo se tomó medición a lo largo de un solo periodo de tiempo (presente).

Población y muestra

Se utiliza un muestreo no probabilístico intencional u ofimático ya que se hace selección de los elementos con los que deben contar las PyMES, en este caso, contar con estantes elevados y/o utilizar como medio de carga y/o descarga las escaleras, bancos, sillas, etc. Existen alrededor de 6,746 Pymes en la Región Carbonífera de las cuales se ha escogido a aquellas PyMES que poseen en ellas un almacén con estantes o anaqueles para la manipulación de sus materiales, en específico que los materiales no pesen más de 5 Kg. De las 6,746 Pymes se han seleccionado 8 para analizar los resultados.

Recopilación de datos

La técnica utilizada para la recolección es mediante la videograbación al trabajador cuando realiza actividades de carga y/o descarga de productos de los estantes, posteriormente se evaluó con el método REBA con apoyo de una tabla, la cual es llenada de acuerdo con la postura en la que se encuentre el trabajador. Obteniéndose con esto una puntuación que es el nivel de riesgo que es interpretado como el nivel de actuación.

Medición

La siguiente tabla muestra los puntajes de referencia de los niveles de actuación utilizada.

Niveles de actuación			
Puntuación	Nivel	Riesgo	Actuación
1	0	Inapreciable	No es necesaria actuación
2 o 3	1	Bajo	Puede ser necesaria la actuación.
4 a 7	2	Medio	Es necesaria la actuación.
8 a 10	3	Alto	Es necesaria la actuación cuanto antes.
11 a 15	4	Muy alto	Es necesaria la actuación de inmediato.

Tabla 24. Tabla de referencia. Niveles de actuación

La medición es realizada mediante tres grupos: la evaluación del Grupo A en la que se evalúan la posición del tronco, cuello, piernas, evaluación del Grupo B en la que se evalúan la posición del brazo, antebrazo, muñeca y la evaluación C, es la puntuación final del nivel de actuación.

Recopilación de datos con método actual mediante Método REBA

En seguida se muestra el desarrollo del estudio realizado a los operarios mediante la videograbación de las actividades realizadas en el manejo de materiales. Se muestran las evaluaciones realizadas al primer operario.

En la evaluación del Grupo A se analizan las posturas del tronco, el cuello y piernas.

La ilustración 1 se muestra la puntuación obtenida en el análisis de los movimientos del tronco cuando se realizan las actividades de carga y descarga

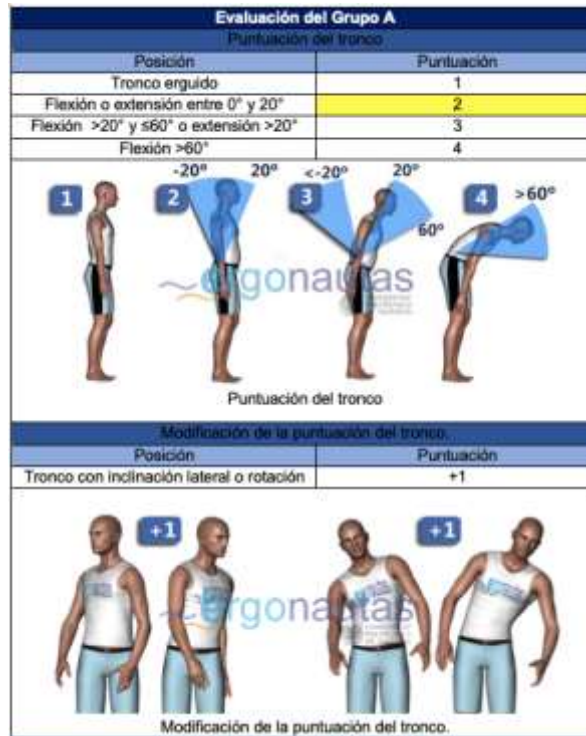


Ilustración 1. Puntuación del tronco

En la ilustración 2 se muestra la puntuación obtenida en el análisis de los movimientos del cuello cuando se realizan las actividades de carga y descarga

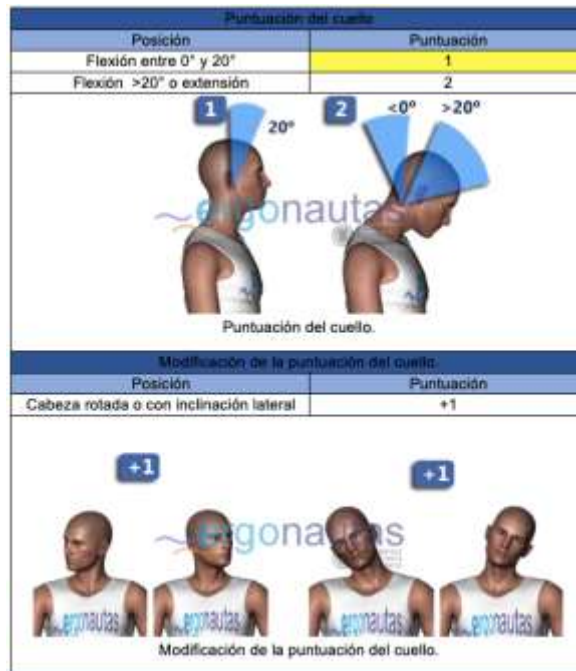


Ilustración 2. Puntuación del cuello

En la ilustración 3 se muestra la puntuación obtenida en el análisis de los movimientos de las piernas cuando se realizan las actividades de carga y descarga

Puntuación de las piernas	
Posición	Puntuación
Sentado, andando o de pie con soporte bilateral simétrico	1
De pie con soporte unilateral, soporte ligero o postura inestable	2

Puntuación de las piernas.

Incremento de la puntuación de las piernas.	
Posición	Puntuación
Flexión de una o ambas rodillas entre 30 y 60°	+1
Flexión de una o ambas rodillas de más de 60° (salvo postura sedente)	+2

Incremento de la puntuación de las piernas.

Ilustración 3. Puntuación de las piernas

En la evaluación del grupo B se analizan las posturas del brazo, antebrazo y muñeca. En la ilustración 4 se muestran las puntuaciones obtenidas en el análisis de los movimientos del brazo cuando se realizan las actividades de carga y descarga.

Evaluación del Grupo B	
Puntuación del brazo	
Posición	Puntuación
Desde 20° de extensión a 20° de flexión	1
Extensión >20° o flexión >20° y <45°	2
Flexión >45° y 90°	3
Flexión >90°	4

Puntuación del brazo.

Modificación de la puntuación del brazo.	
Posición	Puntuación
Brazo abducido, brazo rotado u hombro elevado	+1
Existe un punto de apoyo o la postura a favor de la gravedad	-1

Ilustración 4. Puntuación del brazo

En la ilustración 5 se muestran las puntuaciones obtenidas en el análisis de los movimientos del antebrazo cuando se realizan las actividades de carga y descarga.

Modificación de la puntuación del brazo.

Puntuación del antebrazo	
Posición	Puntuación
Flexión entre 60° y 100°	1
Flexión <60° o >100°	2

Puntuación del antebrazo.

Ilustración 5. Puntuación del antebrazo

En la ilustración 6 se muestran las puntuaciones obtenidas en el análisis de los movimientos de la muñeca cuando se realizan las actividades de carga y descarga.

Puntuación de la muñeca	
Posición	Puntuación
Posición neutra	1
Flexión o extensión > 0° y <15°	1
Flexión o extensión >15°	2

Puntuación de la muñeca.

Modificación de la puntuación de la muñeca.	
Posición	Puntuación
Torsión o Desviación radial o cubital	+1

Modificación de la puntuación de la muñeca.

Ilustración 6. Puntuación de la muñeca

La siguiente tabla muestra la puntuación obtenida de la evaluación del grupo A (tronco, cuello y piernas)

Puntuación del Grupo A.												
	Cuello											
	1				2				3			
	Piernas				Piernas				Piernas			
Tronco	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tabla 2. Puntuación del Grupo A

La tabla 3 muestra la puntuación obtenida de la evaluación del grupo B (brazo, antebrazo, muñeca)

Puntuación del Grupo B.						
Brazo	Antebrazo					
	1			2		
	Muñeca			Muñeca		
	1	2	3	1	2	3
1	1	2	2	1	2	3
2	1	2	3	2	3	4
3	3	4	5	4	5	5
4	4	5	5	5	6	7
5	6	7	8	7	8	8
6	7	8	8	8	9	9

Tabla 3. Puntuación del Grupo B

La tabla 4 representa el incremento de puntuación por carga o fuerzas ejercidas.

Puntuaciones parciales	
Incremento de puntuación del Grupo A por carga o fuerzas ejercidas.	
Carga o fuerza	Puntuación
Carga o fuerza menor de 5 Kg.	0
Carga o fuerza entre 5 y 10 Kg.	+1
Carga o fuerza mayor de 10 Kg.	+2

Tabla 4. Incremento de puntuación del Grupo A por carga o fuerzas ejercidas

La tabla 5 representa el incremento de puntuación por carga o fuerzas bruscas

Incremento de puntuación del Grupo A por cargas o fuerzas bruscas.	
Carga o fuerza	Puntuación
Existen fuerzas o cargas aplicadas bruscamente	+1

Tabla 5. Incremento de puntuación del Grupo A por carga o fuerzas bruscas

La tabla 6 presenta el incremento de puntuación del Grupo B por calidad de agarre




Incremento de puntuación del Grupo B por calidad del agarre.		
Calidad de agarre	Descripción	Puntuación
 Bueno Agarre bueno.	El agarre es bueno y la fuerza de agarre de rango medio	0
 Regular Agarre regular.	El agarre es aceptable pero no ideal o el agarre es aceptable utilizando otras partes del cuerpo	+1
 Malo Agarre malo.	El agarre es posible pero no aceptable	+2
Inaceptable	El agarre es torpe e inseguro, no es posible el agarre manual o el agarre es inaceptable utilizando otras partes del cuerpo	+3

Tabla 6. Incremento de puntuación del Grupo B por calidad de agarre

La calificación de la puntuación C considera la evaluación del grupo A y grupo B se presenta en la tabla 7

Puntuación C (FINAL)												
Puntuación A	Puntuación B											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Tabla 7. Puntuación C del Grupo A y B.

El incremento de la puntuación C asignada por el tipo de actividad muscular se presenta en la tabla 8

Incremento de la Puntuación C por tipo de actividad muscular.	
Tipo de actividad muscular	Puntuación
Una o más partes del cuerpo permanecen estáticas, por ejemplo soportadas durante más de 1 minuto	+1
Se producen movimientos repetitivos, por ejemplo repetidos más de 4 veces por minuto (excluyendo caminar)	+1
Se producen cambios de postura importantes o se adoptan posturas inestables	+1

Tabla 8. Incremento de la puntuación C del tipo de actividad muscular.

Después de haber realizado el análisis anterior se concluye determinando el nivel de actuación de acuerdo con la puntuación final obtenida.

Niveles de actuación según la puntuación final obtenida.			
Puntuación	Nivel	Riesgo	Actuación
1	0	Inapreciable	No es necesaria actuación
2 o 3	1	Bajo	Puede ser necesaria la actuación.
4 a 7	2	Medio	Es necesaria la actuación.
8 a 10	3	Alto	Es necesaria la actuación cuanto antes.
11 a 15	4	Muy alto	Es necesaria la actuación de inmediato.

Tabla 9. Niveles de actuación según la puntuación final obtenida

En la tabla 9 se presentan los niveles de actuación de la puntuación final obtenida. Por ejemplo, para la información proporcionada la puntuación final C (4 puntos) más el incremento de la puntuación C por tipo de actividad muscular (+1) lo que da como resultado una puntuación de 5. Es importante mencionar que la información mostrada en las ilustraciones y tablas anteriores es la recabada en una de las videograbaciones, de igual forma se realizó la evaluación del grupo A y grupo B para todas las videograbaciones teniendo resultados finales de los análisis representados en la evaluación C.

Con la información obtenida en el análisis ergonómico se realizó una prueba t para justificar estadísticamente la factibilidad del dispositivo ergonómico para mejorar las condiciones de trabajo y reducir los riesgos y a la vez optimizar los procesos de carga y descarga de materiales ligeros.

T de una muestra: Nivel de riesgo

Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Limite inferior de 95% para μ
8	3.125	0.641	0.227	2.696

μ : medio de Nivel de riesgo

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2$
Valor T	4.97
Valor p	0.001

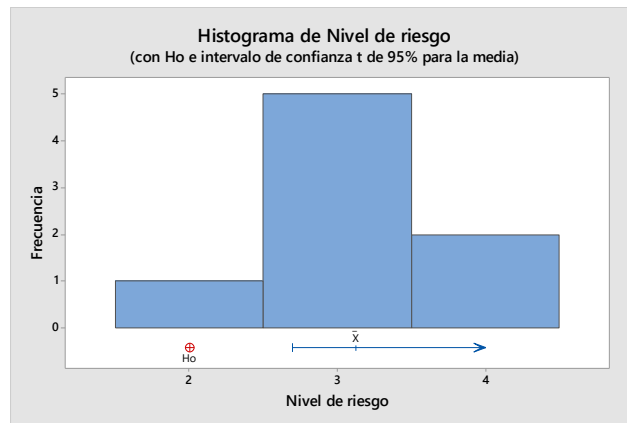


Tabla 10. Prueba t del nivel de riesgo.

Tabla 11. Histograma del nivel de riesgo.

RESULTADOS

El nivel de riesgo obtenido de cada observación evaluada con el método REBA se presenta en la en la tabla 12:

Observación	Nivel de riesgo	Riesgo	Actuación
1	2	Medio	Es necesaria la actuación.
2	4	Muy Alto	Es necesaria la actuación de inmediato.
3	3	Alto	Es necesaria la actuación cuanto antes.
4	3	Alto	Es necesaria la actuación cuanto antes.
5	3	Alto	Es necesaria la actuación cuanto antes.
6	4	Muy Alto	Es necesaria la actuación de inmediato.
7	3	Alto	Es necesaria la actuación cuanto antes.
8	3	Alto	Es necesaria la actuación cuanto antes.

Tabla 12. Niveles de riesgo resultado de las observaciones realizadas.

Con en el análisis realizado a las actividades de carga y descarga se obtuvo que el nivel de actuación es entre alto y muy alto lo que significa que es necesaria la actuación de inmediata y cuanto antes.

De acuerdo con lo anterior podemos decir que los niveles de riesgo dependen del método actual ejecutado por los operarios observados, obteniéndose un valor de $p=0.001$, lo que significa que los niveles de riesgo del trabajador dependen del método en que realizan la carga y descarga de productos o materiales, por lo que se diseñó el dispositivo ergonómico para disminuir estos niveles de riesgo.

Características del dispositivo ergonómico

Materiales de que está constituido y cantidades: 0.8685 m² Placa de aluminio, 1.90 metros de tubo niquelado, 2 tornillos de $\frac{3}{4}$. En la ilustración 7 muestra el dispositivo ergonómico

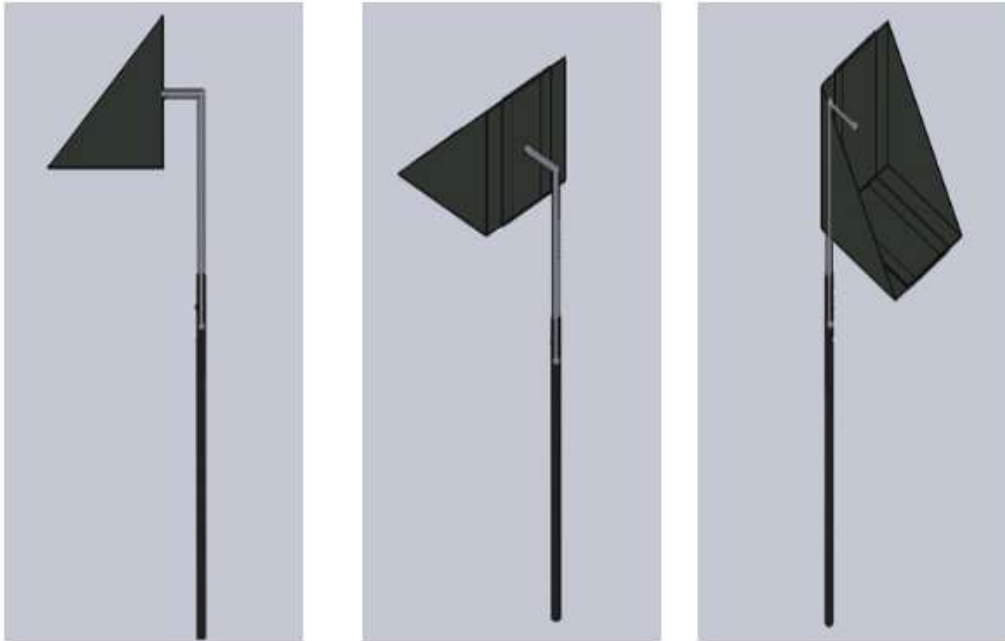


Ilustración 7: dispositivo ergonómico

Equipo: Máquina de soldar de arco eléctrico

Soldadura manual con electrodo revestido (SMAW, Shield Metal Arc Welding)

Dimensiones: El tubo cilíndrico del dispositivo puede extenderse hasta a una altura de 150 cm; El soporte horizontal tiene una medida de base de 25 cm extendiéndose hasta 40 cm, la altura del soporte es de 45 cm contando con una distancia entre el tubo cilíndrico y el soporte horizontal de 15 cm.

Como funciona: El dispositivo está compuesto por un soporte vertical autoajutable que es elevado por un tubo cilíndrico que se ajusta a diferentes alturas para poder llegar a los estantes para cargar y descargar cajas.

Qué tipo de cajas va a acomodar: Cajas de cartón con medidas de 25cm de base x 45 cm de largo x 10cm de alto, incluyendo cajas de hasta 39 cm de base y no más de los 45 cm de largo.

Cuanto puede cargar: Peso no mayor a 5 kg

CONCLUSIONES

Con la realización del presente estudio nos permitió aplicar diversas metodologías, como lo es el método REBA, herramientas estadísticas, evaluación de riesgos y condiciones de trabajo, propiedad de los materiales para diseñar un dispositivo que contribuya al desempeño de las actividades de acomodo, movimiento y alcance de materiales ligeros todo esto nos confirma que mediante el

desarrollo de la investigación se puede demostrar una necesidad detectada en las PyMES de la Región Carbonífera y ofrecer una solución que optimice y mejore los procesos.

BIBLIOGRAFÍA

1. characteristicass. (2017). *caracte.net*. Recuperado el 01 de 09 de 2019, de <https://www.characteristicass.de>
2. COEPES, N. (2015). *Noticias COEPES*.
3. Diego-Mas, J. A. (2015). *Ergonautas*. Obtenido de <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/reba/reba-ayuda.php>
4. Empresario, E. (s.f.). *El economista*. Obtenido de <http://elempresario.mx/emprendedores/cada-5-pymes-3-son-lideradas-mujeres>
5. ESP. (s.f.). *Fundacion para la prevencion de los riesgos laborales*. Obtenido de <http://riesgoslaborales.feteugt-sma.es/portal-preventivo/riesgos-laborales/riesgos-relacionados-con-la-seguridad-en-el-trabajo/manipulacion-manual-de-cargas/>
6. INDUMATERIAL. (s.f.). Obtenido de <https://indumaterial.com/es/producto/tubo-de-niquel-venta-online-de-tubos-de-niquel>
7. Master Logística. (s.f.). Obtenido de <https://www.masterlogistica.es/el-aluminio-sus-caractristicas-y-propiedades/>
8. S.A., E. C. (s.f.). *estrucplan*. Obtenido de <http://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p/higiene/industrial/como-levantar-y-llevar-cargas-correctamente-7o-parte/>

ESTUDIO COMPARATIVO DE SÍNTESIS Y MODIFICACIÓN FISCOQUÍMICA DE MATERIALES ADSORBENTES PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO

Eduardo Enrique Merodio-Morales ¹, Didilia Ileana Mendoza-Castillo ^{1,2*}, Hilda Elizabeth Reynel-Ávila ^{1,2}, Herson Antonio González-Ponce ¹

¹ Laboratorio de Ingeniería y Tecnología del agua, Departamento de Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Aguascalientes 20256, México.

² Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Cátedras CONACyT.

*E-mail: didi_men@hotmail.com

RESUMEN

La síntesis de materiales adsorbentes para la remoción específica y selectiva de un contaminante en particular ha sido el tema de estudio de una gran variedad de artículos reportados en la literatura del área de adsorción. La mayor parte de los estudios reportados se centran en el desarrollo de nuevos adsorbentes partiendo de una materia prima o precursor alternativo o en la modificación de las propiedades fisicoquímicas de materiales ya existentes, con el objetivo de mejorar su desempeño para la remoción específica de ciertos contaminantes (Aguayo-Villareal y col., 2014; Elizalde-González y col., 2007). Bajo esta perspectiva, en el presente estudio se prepararon diversos adsorbentes mediante diferentes rutas de activación física (activación en atmósfera de N₂ y en atmósfera de CO₂) empleando semillas de *Persea americana* como material precursor. Con los adsorbentes obtenidos se realizaron estudios de adsorción de arsénico en condiciones por lotes a pH 7 y 8, 120 rpm y una relación adsorbente-adsorbato de 2 g/L. Los experimentos de adsorción se obtuvieron a 25, 30 y 40 °C empleando soluciones con concentraciones iniciales del adsorbato de interés de 200 mg/L. Después del proceso de adsorción se determinó la concentración de los iones de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica usando un equipo Thermo Scientific modelo iCE300. De acuerdo con los resultados obtenidos, los materiales que mostraron una mayor capacidad de adsorción de arsénico fueron los activados en atmósfera de CO₂. Este comportamiento podría atribuirse a la adición de grupos oxigenados sobre la superficie del adsorbente. Los resultados de este estudio muestran que la semilla de *Persea americana* puede ser utilizada como precursor lignocelulósico para la elaboración de adsorbentes con propiedades fisicoquímicas atractivas y competitivas mediante su modificación para la remoción de contaminantes prioritarios en solución acuosa.

INTRODUCCIÓN

La síntesis de materiales adsorbentes para la remoción específica y selectiva de un contaminante en particular ha sido el tema de estudio de una gran variedad de artículos reportados en la literatura del área de adsorción. La mayor parte de los estudios reportados se centran en el desarrollo de nuevos adsorbentes partiendo de una materia prima o precursor alternativo o en la modificación de las propiedades fisicoquímicas de materiales ya existentes, con el objetivo de mejorar su desempeño para la remoción específica de ciertos contaminantes (Elizalde-González y col., 2007; Martínez-Esquivel y col., 2009). Diversos estudios de síntesis de materiales adsorbentes hacen referencia a la modificación de las propiedades fisicoquímicas de estos, incluyendo a los adsorbentes comerciales con la finalidad de mejorar su desempeño para la adsorción de contaminantes del agua (Rojas-Mayorga y col., 2013; Aguayo-Villarreal y col., 2014). Algunos autores reportan que la activación física es un método efectivo para mejorar las propiedades de los adsorbentes a través de la oxidación de su superficie y el desarrollo de áreas superficiales específicas y estructuras porosas (Li y col., 2001; Rodríguez-Reinoso y Silvestre-Albero, 2016). Esta etapa de activación puede llevarse a cabo utilizando aire, dióxido de carbono (CO₂) o vapor de agua a altas temperaturas como agentes oxidantes (Ioannidou y Zabaniotou, 2007). En particular, la activación física con CO₂ es comúnmente utilizada para la síntesis de adsorbentes ya que es un gas limpio y fácil de manejar (Ioannidou y Zabaniotou, 2007). Sin embargo, se carece de información para entender el efecto de la activación física con CO₂ y otros gases sobre las propiedades fisicoquímicas de los adsorbentes. Bajo este contexto, el presente estudio se enfocó en la síntesis y modificación química de materiales adsorbente para la remoción de arsénico. Dicho contaminante, es considerado un componente tóxico

importante en diversos países, entre los que se encuentran Argentina, Bangladesh, Chile, China, la India, México y Estados Unidos de América (WHO, 2002; Flanagan y col., 2015; Yu y col., 2017). Se estima que al menos cuatro millones de personas presentan el riesgo de ingerir agua potable con concentraciones de arsénicos superiores a las establecidas por la Organización Mundial de la Salud (10 µg/L) (OMS, 2016). Por tanto, la reducción de los niveles de arsénico en efluentes contaminados y fuentes de abastecimiento para uso y consumo humano constituye uno de los retos ambientales prioritarios del país.

PARTE EXPERIMENTAL

Las semillas del fruto de la *Persea americana* se enjuagaron con agua desionizada para eliminar las impurezas adheridas a la superficie de éstas, se secaron a temperatura ambiente y se redujeron de tamaño hasta obtener una partícula de 0.50-0.85 mm. Estas partículas se sometieron a un proceso de pirólisis en un horno tubular CARBOLITE Eurotherm modelo CTF 12165/550 a 800 °C durante 2 h en atmósfera de N₂. Posteriormente, este material se puso en contacto con una solución de lantano en un rotavapor a 120 rpm y 25 °C y enseguida se sometió a una titulación con NaOH. Terminada la titulación, la muestra se mantuvo en el rotavapor a 70 °C durante 1 h. Transcurrido este tiempo, el adsorbente modificado fue lavado con agua desionizada y secado durante 24 h a 50 °C. Después del secado, este lote fue dividido para su activación física. Un lote del material fue activado en atmósfera de CO₂ (ACO) a 25 °C durante 4 h y otro lote fue activado en atmósfera de N₂ (AN) a 800 °C durante 2 h. Estos materiales se lavaron con agua desionizada y se secaron a 50 °C durante 24 h, respectivamente. Con los adsorbentes obtenidos se realizaron estudios de adsorción de arsénico en condiciones por lotes a 120 rpm y diferentes condiciones de pH (7 y 8) y temperatura (25, 30 y 40 °C), empleando una relación adsorbente-adsorbato de 2 g/L y soluciones con concentración inicial del adsorbato de interés de 200 mg/L. Después del proceso de adsorción se determinó la concentración de los iones de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica usando un equipo Thermo Scientific modelo iCE300. Por otra parte, los cambios estructurales en la superficie de los adsorbentes fueron analizados mediante FTIR usando un espectrofotómetro Infrarrojo Nicolet iS10 de Thermo Scientific. Además, se analizó la estructura cristalina de los adsorbentes por difracción de rayos X (DRX) en el intervalo de 10° ≤ 2θ ≤ 80° empleando un difractómetro Empyrean de Malvern-Panalytical.

RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos, los materiales que mostraron una mayor capacidad de adsorción de arsénico fueron los activados en atmósfera de CO₂. Este comportamiento podría atribuirse a la adición de grupos oxigenados. Con fines ilustrativos en la Figura 1 se muestran las capacidades de adsorción obtenidas con el adsorbente activado en atmósfera de nitrógeno. Como se puede observar, a las condiciones de pH evaluadas la capacidad de adsorción disminuye al aumentar el pH inicial de las soluciones de arsénico. Dicho decremento se atribuye a la presencia de grupos OH⁻ los cuales provocan una repulsión y competencia entre éstos y los iones de arsénico sobre la superficie del adsorbente (Aremu y col., 2019). También, se pudo observar que a mayor temperatura se obtuvieron mayores capacidades de remoción, lo cual implica que el proceso necesita de calor para eficientar el proceso de adsorción. Bajo las condiciones experimentales evaluadas, las capacidades de adsorción de dichos materiales incrementan hasta en un 4184 %, 1749 % y 1514 %, respectivamente, con respecto al adsorbente sin modificar. Por otra parte, los resultados de caracterización mediante FTIR (Figura 2) indican la presencia de grupos carbonilo C=O, grupos OH⁻ (cetonas, aldehídos y ácidos carboxílicos), así como vibraciones de la estructura cíclica C-C de la celulosa y de grupos aromáticos C=C de la lignina, respectivamente. Después del proceso de modificación de los adsorbentes se pueden apreciar vibraciones que se asocian con la presencia de LaOH y La₂O₂. Por otra parte, se observan vibraciones de arsénico después del proceso de adsorción (Figura 2). Con respecto a los difractogramas de rayos X se observan estructuras cristalinas que se atribuyen a la presencia de la sal de lantano, el cual forma complejos con el arsénico después del proceso de adsorción (Figura 3).

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que la semilla de *Persea americana* puede ser utilizada como precursor lignocelulósico para la elaboración de adsorbentes con propiedades fisicoquímicas atractivas y competitivas mediante su modificación para la remoción de contaminantes prioritarios en solución acuosa. De acuerdo con los resultados, el tipo de activación del material, así como el pH y la temperatura son variables que afectan directamente el proceso de adsorción y que limitarían la cantidad de adsorbato removido.

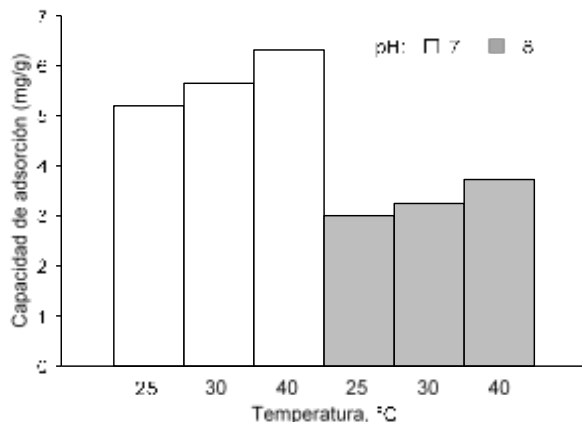


Figura 1. Efecto del pH y la temperatura sobre la capacidad de adsorción de arsénico empleando carbón activado en atmósfera de nitrógeno como adsorbente.

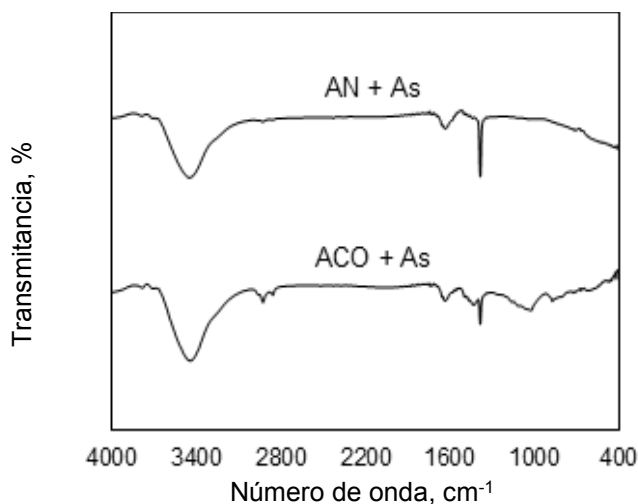


Figura 2. Espectros de infrarrojo de los carbones sintetizados a partir de la semilla de *Persea americana* y modificados con lantano después del proceso de adsorción de arsénico.

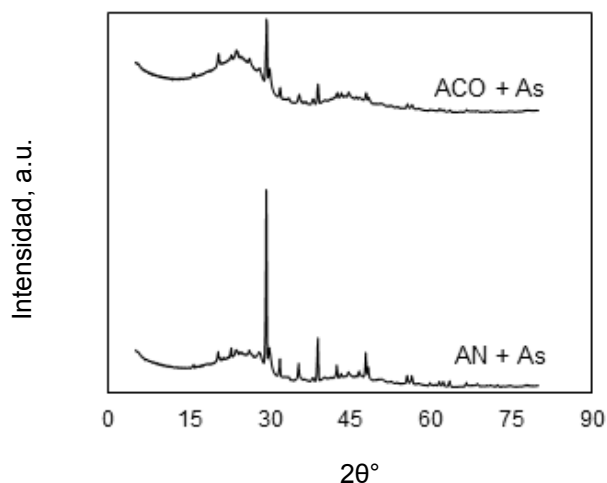


Figura 3. Difractogramas de rayos X de los carbones sintetizados a partir de la semilla de *Persea americana* y modificados con lantano después del proceso de adsorción de arsénico.

REFERENCIAS

1. I. Aguayo-Villarreal, V. Hernández-Montoya, N. Rangel-Vázquez, M. Montes-Morán, "Determination of QSAR properties of textile dyes and their adsorption on novel carbonaceous adsorbents". *J. Mol. Liq.*, vol. 196, 2014, pp. 326-333.
2. M. Elizalde-González, A. Pelaez-Ciid A. Wennrich, "Characterization of adsorbent materials prepared from avocado kernel seeds: Natural, activated and carbonized forms". *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 78, 2007, pp.185-193.
3. V. Flanagan, R. Marvinney, R. Johnston, Q. Yang, Y. Zheng. "Dissemination of well water arsenic results to homeowners in Central Maine: Influences on mitigation behavior and continued risks for exposure". *Sci. Total Environ.*, vol. 505, 2015, pp. 1282-1290.
4. O. Ioannidou, A. Zabaniotou. "Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review". *Renew. Sust. Energ. Rev.*, vol. 11, 2007, pp. 1966-2005.
5. Y. Li, W. Wang, A. Cao, D. Zhao, X. Zhang, C. Xu, D. Ruan. "Adsorption of fluoride from water by amorphous alumina supported on carbon nanotubes". *Chem. Phys. Lett.*, vol. 350, 2001, pp. 412-416.
6. C. E. Martínez-Esquivel, J.R.Treviño-Díaz, R. Trejo-Vázquez, "Estudio experimental de adsorción de fluoruros del agua en carbón de hueso". *ITA.*, vol., 36, 2009, pp. 2-6.
7. F. Rodríguez-Reinoso, J. Silvestre-Albero, "Encyclopedia of Materials: Science and Technology" *Carbon*, vol. 30, 2016, pp. 22-34.
8. C.K. Rojas-Mayorga, A. Bonilla-Petriciolet, I. Aguayo-Villarreal, V. Hernández-Montoya, M. Moreno-Virgen, R. Tovar-Gómez, M. Montes-Morá, "Optimization of pyrolysis conditions and adsorption properties of bone char for fluoride removal from water". *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 104, 2013, pp. 10-18.
9. World Health Organization. "Fluorides". *Environ. Health Perspect.*, vol. 227, 2002.
10. J. Yu, N. Paterson, J. Blamey, M. Millan. "Cellulose, xylan and lignin interactions during pyrolysis of lignocellulosic biomass". *Fuel*, vol. 191, 2017, pp. 140-149.

DISEÑO DE HÉLICES DE AEROGENERADOR DE BAJAS VELOCIDADES DE VIENTO

Roxana Garcia Andrade, Arnoldo Fernández Ramírez, Armando Martínez Reyes, Mario Tamez Álvarez

Tecnologico Nacional de Mexico/Instituto Tecnologico de Nuevo Leon.
roxanaitnl@gmail.com.

RESUMEN

En México el mayor consumo de energía eléctrica se concentra en los usuarios de tarifa residencial teniendo un incremento en el año 2018 de un 2% mensual, de acuerdo con el SIE. Con base en esta información se puede analizar, cómo contribuir en el desarrollo de energías renovables. Considerando a los usuarios de uso residencial se puede ver que en el mercado, lo más difundido para el ahorro de energía es la implementación de celdas solares, pero es costoso. Tomando esto en cuenta se analizó algunas alternativas de energías renovables en la zona metropolitana de Monterrey. Esto con la finalidad de hacer una implementación de la mejor opción en una casa habitación promedio de 4 habitantes incluida una mascota. Se inició con energía por biomasa. Teóricamente el biogás que genera en heces fecales un humano es de $28\text{dm}^3 = .028\text{m}^3$ por lo tanto una casa habitación con 4 integrantes estará generando 3.36m^3 por mes, el consumo de gas en una casa habitación es de 45m^3 por lo tanto se necesitaría 13 meses de generación para llegar a generar este consumo. Teniendo esto como resultado podemos recomendar la generación por biomasa en otras aplicaciones como ; en edificios, restaurantes, hoteles, mercado de verduras o en una implementación en fraccionamientos residenciales de nueva creación (sustentables). Se continuó con energía eólica. Uno de los grandes limitantes para la implementación de los aerogeneradores es la velocidad de los vientos en zonas urbanas, se realizó un monitorio de la velocidad del viento en 2 zonas de nuevo león, teniendo como fuente <http://www.nl.gob.mx/servicios/mapa-de-la-calidad-del-aire>, y el aeropuerto de Monterrey, observando que en promedio la velocidad del viento es de 4.12 m/s en 2018. Se observa que con estas velocidades los generadores verticales son nuestra mejor opción se tendrá que hacer un rediseño de hélices o paletas para la generación por la baja velocidad. Se dio inicio a los trabajos de diseño de aspas o hélices para un aerogenerador de uso residencial para velocidades bajas con ayuda de software de diseño y simulación CAD-CAM llegando al diseño final para su implementación.

INTRODUCCIÓN

Se inició esta investigación con la búsqueda de información actual de cómo se encuentra México ante las producción de energías limpias.

Las energías alternas han alcanzado en México un crecimiento de forma exponencial. En 2019 la energía proveniente del viento creció un 26% en capacidad instalada respecto al año anterior, según datos del sector energético, mientras la proveniente del sol se incrementó un 76% de enero de 2019 a febrero de 2020. Juntas añadieron alrededor de 3.500 MW, suficiente para cubrir las necesidades anuales de unas tres millones de viviendas. La energía del viento eólica añadió 1.280 MW en 2019, un repunte bastante importante, según el presidente de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), Leopoldo Rodríguez. “Nunca antes habíamos tenido instalada tanta capacidad en un solo año”. Este incremento coloca a nuestro país en el primer lugar de Latinoamérica en cuanto a nueva capacidad instalada. Desde que arrancó a mediados de los 90 en el istmo de Tehuantepec en Oaxaca, al sudoeste de México, los generadores eólicos se han expandido a otros 14 Estados y acumulan una inversión de 11.000 millones de dólares. El 18% de esta llegó en 2019. La energía dependiente del sol también tuvo un incremento considerable. Pese a tener un desarrollo más reciente que la eólica, este febrero alcanzó 5.360 MW de capacidad instalada y suma 8.500 millones de dólares en inversión acumulada – un 26% corresponde a 2019-. El repunte de la energía solar se llevó a cabo en los Estados del norte y del centro de México y hay más oportunidad de seguir incrementando. Un 85% del país es óptimo para el desarrollo, según la Asociación Mexicana de Energía Solar. [1]

Ahora veamos el panorama de la energía renovable generada por biomasa, que también es una generación importante en México.

En México la capacidad instalada para generar energía a partir de biomasa en 21 estados de la república sumó 623.497 Megawatts (MW). Veracruz es el estado que registró la mayor capacidad instalada con 264.06 Megawatts (MW), además de Jalisco, Tabasco y San Luis Potosí con 83.32, 41.7 y 40.7 MW, respectivamente. De acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER) en México se espera una inversión para investigación y desarrollo del sector energético de aproximadamente \$7,500 millones de pesos para el año 2020. Además, existen proyectos para el uso de biomasa en industrias como la aeroespacial; tal es el caso del memorando de entendimiento entre los integrantes del consorcio Clúster Bioturbosina, que incluye empresas como Boeing o Aeroméxico y diversos centros de investigación del país con el objetivo de producir bioturbosina para vuelos transatlánticos. [2]

Teniendo ya una perspectiva de México en cuanto a las energías renovables, la generada del viento, y la generada por el sol. Se analizaron algunas alternativas de energías renovables en la zona metropolitana de Monterrey. Con la finalidad de tener una mejor visión de la más eficiente de las energías renovables para una casa habitación. Se incluyó la energía por biomasa por considerarla de gran utilidad en una casa habitación. Se realizó el análisis de esta energía en una casa. Los alcances de esta investigación es el análisis de viabilidad y la conveniencia de la instalación de la infraestructura para la producción de un biocombustible en una casa habitación común de 4 habitantes, una mascota, y un pequeño jardín. Como se puede apreciar estamos hablando de una casa habitación de interés social con un promedio de construcción de 150-200m². Los residuos que se analizaron fueron los residuos orgánicos e inorgánicos que se pudieran descomponer con proceso de digestión anaeróbica. El resultado de la digestión anaeróbica es un biogás, el cual es una mezcla de gas metano, puede variar en un porcentaje de 50 a 70% y dióxido de carbono de un 30 a 50% contiene otros componentes en pequeñas cantidades nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno.

La energía eléctrica que consume una casa habitación familiar de 4 personas es de un promedio de 172kw/h bimestralmente, lo que se analizó es la factibilidad de autogeneración de energía eléctrica por medio de biomasa a través de los residuos orgánicos de toda una familia.

Si para un promedio mensual de 100Kw/h de energía consumida en casa habitación se requiere 46.52m³ de biogás, [3] los cuales se pueden producir con 124.73 excremento sólido porcino.

El tiempo de retención, suficiente para la digestión anaeróbica más eficiente de la materia orgánica componente de las excretas es de 50 días por lo que la cantidad diaria de excretas para alimentar el biodigestor se calcula dividiendo el volumen de su fase líquida entre los 50 días de retención.

Para excretas porcinas se requiere 50 días sin embargo esto dependerá de la temperatura del almacenamiento de las heces porcinas. Como se puede apreciar en la tabla I

Tabla I Temperatura y Tiempo de Retención

Temperatura	Tiempo de retención
35 °C	23 días
30 °C	26 días
25 °C	34 días
20 °C	44 días
15 °C	58 días
10 °C	80 días

Tabla II Aproximaciones de generación de biogás

Animal	Cantidad de biogás diario	Equivalente en energía
vaca	226dm ³	1209kcal
puerco	254dm ³	1361kcal
gallina	14dm ³	75kcal
humano	28dm ³	151kcal

Teóricamente el biogás que genera en heces fecales un humano es de 28dm³ = .028m³ como lo podemos ver en la tabla II por lo tanto una casa habitación con 4 integrantes estará generando 3.36m³ por mes, el consumo de gas en una casa habitación es de 45 m³ por lo tanto se necesitaría 13 meses de generación para llegar a generar este consumo.

Después de haber analizado algunos trabajos sobre la factibilidad de la producción de biogás por medio de desechos orgánicos podemos concluir que el proceso para la instalación de un biodigestor sería apropiada con ciertos cuidados, existen algunas variables a controlar en el proceso de la digestión anaeróbica como son la temperatura, el pH, la alcalinidad. El proceso de generación de lixiviado debe de ser cuidadoso porque este es la base para la descomposición de los desechos y la generación del biogás. La generación del biogás dependerá directamente del digestor y de la entrada de desechos. El tiempo estimado para hacer una colonia anaeróbica sería de acuerdo a la tabla I de tal forma que tendríamos que esperar aproximadamente de 35-40 días por la temperatura ambiente que tenemos en Nuevo León. Por lo cual se concluye que si es viable la instalación de un biodigestor, pero no para el consumo eléctrico de una casa habitación se recomienda en fraccionamientos residenciales, restaurantes donde los desechos sean de mayor volumen para que la generación de biogás sea más efectiva.

La generación de este biogás pudiera ser empleado como energía térmica para cocinar, calentar agua etc. Considerando el poder calorífico que tiene el gas. [4]

Continuaremos con energía eólica en la zona metropolitana de Monterrey.

Es importante tener información real y actualizada del viento del lugar donde se encuentra el generador eólico para que pueda operar en diferentes condiciones de cambio climático. Por tal motivo. Se trabaja con las estadísticas del viento y del tiempo en el aeropuerto de Monterrey. Estas estadísticas basadas en observaciones tomadas entre el 03/2011-12/2018 diariamente entre las 7 am y las 7pm hora local. El viento máximo registrado fue de 4.12 m/s y el mínimo de 3.09 m/s. como lo podemos observar en la tabla III

Tabla III Estadísticas del monitoreo del viento en el aeropuerto de Monterrey, N.L.

Velocidad del viento mínimas mensuales	Fecha 2011-2018
Enero	3.6m/s
Febrero	3.6m/s
Marzo	4.12m/s
Abril	4.12m/s
Mayo	3.6m/s
Junio	4.12m/s
Julio	3.6m/s
Agosto	3.6m/s
Septiembre	3.09m/s
Octubre	4.12m/s
Noviembre	4.12m/s
Diciembre	4.12m/s

Podemos concluir que la potencia del viento para esta velocidad máxima será:

Potencia = energía por unidad de tiempo

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 * vA \tag{1}$$

Dónde:

P Potencia, W

ρ Densidad del aire, kg/m³

v Velocidad del viento. m/s

A Área perpendicular, m²

Al aplicar la fórmula de la potencia del viento a una velocidad de viento de 4.12m/s obtenemos una potencia de viento por unidad de área:

$$P/A = \frac{1}{2} (1.225 \text{ kg/m}^3)(4.12 \text{ m/s})^3 = 42.834 \text{ W/m}^2$$

Se observa que al aplicar la formula (1) obtendremos 42.83 Watts por metro cuadrado, finalmente después de ver las características de los aerogeneradores verticales podemos concluir que requieren unas velocidades de viento de 3-4m/s, con lo cual la velocidad de viento dada es más que suficiente para mover un aerogenerador vertical. Las variantes en el diseño de las aspas hacen posible, que con poca velocidad de viento, generen energía. Observemos que estos datos los obtuvimos para el año 2018 [5]

TEORÍA

Teniendo la información anterior y con ella, corroborando que es más eficiente para la zona de Monterrey un aerogenerador eólico se procedió a realizar el diseño de las hélices del mismo. No antes de conocer y actualizar algunos parámetros importantes.

Se consideró la información que arrojo el monitoreo por parte del aeropuerto de la ciudad de Monterrey y en base a este la velocidad del viento estimada para este trabajo será de 3.6m/s.

Esto de acuerdo a la figura 1 donde se puede apreciar la velocidad del viento en 2019 sacando un valor promedio del año 2019. Así mismo presentamos las temperaturas medias del Aeropuerto de Monterrey dando un valor promedio de temperatura al medio día de 24.75°C y por la noche 20.08°C como podemos ver en la figura 2. [6]

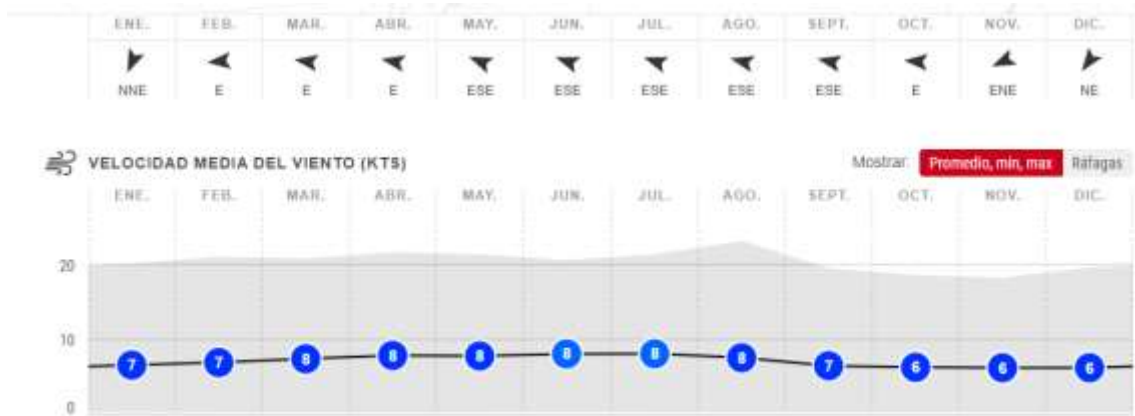


Figura 1 Promedios y velocidad del viento en Aeropuerto de Monterrey fuente: windfinder.com



Figuran 2 Promedios de temperatura de Monterey en Aeropuerto. Fuente: windfinder.com

PARTE EXPERIMENTAL

En este modelo experimental no se consideraron las turbulencias que pudieran generarse en la zona a instalar la turbina, sin embargo es importante considerarlos en las próximos análisis de generación. En la industria eólica se le conoce a este término como intensidad de la turbina, siendo esta la desviación típica de la velocidad horizontal dividida entre la velocidad media del viento en un periodo aproximadamente de 10 minutos. [7]

Es importante conocer el rendimiento que tendrá un aerogenerador, para saber la viabilidad de su instalación es por ello que se realiza el siguiente método para el cálculo de la potencia del mismo, considerando algunos valores de la zona donde se pretende instalar.

Se empleó el “Método del Área de Barrido “del Dr. Conrado Moreno Figueredo. Este método es óptimo para generadores de potencias menores de 10Kw.

Este método consta de 3 pasos:

1. Determinar la densidad de potencia (Dp) en watt por metro cuadrado del área de barrido del rotor (W/m2), en el sitio y a la altura del eje del aerogenerador que se prevé instalar.
2. Calcular el área de barrido (A) del rotor del aerogenerador en metros cuadrados (m2).
3. Asumir un valor adecuado del rendimiento total del sistema eólico (adimensional). Este rendimiento, o eficiencia total, incluye la eficiencia del rotor, la de la transmisión mecánica (en caso de que exista) y la del generador; es decir, no incluye el rendimiento de las baterías, el regulador y el inversor, en caso de que sea un sistema aislado.

De esta forma, la energía anual producida (EAP) en kWh/año, se determina por la fórmula siguiente:

$$EAP = (Dp) \times (A) \times (\text{rendimiento total}) \times (8\ 760 \text{ h/año}) / (1000 \text{ W/kW}) \quad (2)$$

Una forma de calcular la densidad de potencia es usando la velocidad media del viento, y un factor de energía optimo, o factor cubico (FC). En una forma de simplificar los cálculos, y teniendo en cuenta que la distribución de Rayleigh es una de las más frecuentes, se asume que la distribución de frecuencias en el sitio es una distribución de Rayleigh, para la cual el factor cúbico es FC = 1,91.

Densidad de potencia (Dp) se expresa de la siguiente forma:

$$Dp = \frac{1}{2} \times (\text{densidad del aire}) \times (FC) \times V^3 \quad (3)$$

Donde V es la velocidad media anual en el sitio seleccionado.

Densidad del aire:

Calcular con: Humedad Relativa Temperatura de Punto de Rocio

Magnitud: Valor Incertidumbre (k = 1)

Temperatura, t: 25 °C 15 °C

Presión, p: 96800 Pa 200 Pa

Humedad Relativa, fr: 51 % 30 %

Realizar Cálculo

Resultado

Densidad del aire: 1.1242712 kg/m³

Incertidumbre (k = 1): 0.063261 kg/m³

Figura 3 Calculador de la Densidad del aire. Fuente: CENAM

$$D_p = \frac{1}{2} \times (1,1242712) \times (1,91) \times V^3$$

$$D_p = 1,146 \times V^3, \text{ en W/m}^2$$

$$D_p = 50.0935 \text{ W/m}^2$$

Conociendo ya la densidad de potencia anual, es posible estimar la densidad de energía anual en kilowatt-hora en el año por metro cuadrado (kWh/año/m²), multiplicando la densidad de potencia anual, por las 8 760 horas que tiene el año. Esto nos da 438.819 Kwh/m², de Densidad de energía anual.

Área de barrido del rotor (A), es el área del círculo desarrollado por dicho rotor.



Figura 4 Área de barrido de un rotor fuente: <https://megawind.com/es/ener.html>

Área del rotor, se calcula con la siguiente expresión:

$$A = \pi R^2 \quad (3)$$

Para nuestro caso de estudio el rotor tiene un radio de 39.12 cm por lo tanto tendremos una ara de barrido de, será de:

$$A = (3.1416)(0.03912)^2 = 0.004807\text{m}^2$$

La potencia máxima que puede capturar un rotor, está limitada por el conocido límite de Betz, en honor a su descubridor, el alemán Alberto Betz. El límite de Betz es 59,3% de la potencia disponible del viento de aproximación al rotor. Realmente, los rotores capturan menos potencia que la máxima que expresa el límite de Betz. A esto se le suma la eficiencia del tren de potencia, que puede llegar a 90%, y la eficiencia del generador eléctrico, que varía significativamente, en dependencia del grado de carga a que está sometido.

Para velocidades bajas (4 m/s) puede llegar a casi 30%, en lugares con altas velocidades (7 m/s) sólo convierte entre 15 y 16%. Para valores intermedios, como 5-6 m/s, puede ser alcanzable un

valor de 25 y 21%, respectivamente. Como vemos a bajas velocidades de viento el rendimiento es mayor.

La energía anual producida (EAP) por el aerogenerador, considerando un rendimiento total del 30% sin considerar el banco de baterías, el regulador ni el inversor, resulta:

$$EAP = (Dp) \times (A) \times (\text{rendimiento total}) \times (8\ 760 \text{ h/año}) / (1000 \text{ W/kW}) \quad (2)$$

$$EAP = 590.6 \text{ Wh/año}$$

Esta sería la Energía producida por hora durante un año.

RESULTADOS

Como resultado del análisis de los tipos de turbinas eólicas verticales se eligió la Savonius con una variante de perfiles curvados ya que aprovechan la fuerza de sustentación que realiza el viento sobre la hélice para hacer girar el rotor, completando a la acción de giro llevado a cabo por la fuerza de la resistencia, de esta forma se incrementa la eficiencia del aerogenerador y se le conoce como aerogenerador Winside.

En seguida se muestran los diferentes prototipos que se realizaron para llegar a la selección final, en la selección final se consideraron, puntos como área de ocupación, punto importante porque su aplicación es enfocada a uso doméstico, otro punto fue material de acuerdo a las condiciones climáticas en general, este punto nos impacta al momento de realizar la elección de material de hélices y estructural. Después de revisar algunos materiales para las hélices se eligió el Polipropileno. El polipropileno ofrece excelente resistencia a químicos, solventes, desengrasantes, entre otros. Tiene alta resistencia contra manchas y con un grado de absorción muy bajo. También tiene un alto resistencia al impacto a temperatura ambiente

El proceso de diseño puede dividirse en varios componentes claves, cada uno de estos sistemas se discutirán en adelante y algunos serán tratados con detalle ya que son fundamentales para la concepción del prototipo El prototipo de turbina que se diseñó consta principalmente de un rotor de eje vertical de alabe curvo. El prototipo debe cumplir con las siguientes características generales de diseño:

Los componentes deben estar fabricados con material liviano, resistente, económico y accesible comercialmente que permitan una fácil fabricación y ensamble.

Evitar el uso de transmisiones mecánicas entre el rotor y el generador eléctrico con el fin de minimizar pérdidas de conversión energética.

Estructura compacta que permita tener buena instalación en cualquier casa. Y su vez brinde rigidez estabilidad para contrarrestar efectos de vibraciones excesivas.

Se realizó el diseño de las hélices del aerogenerador con la ayuda de un CAD-CAM, a continuación se presentan las imágenes del diseño.

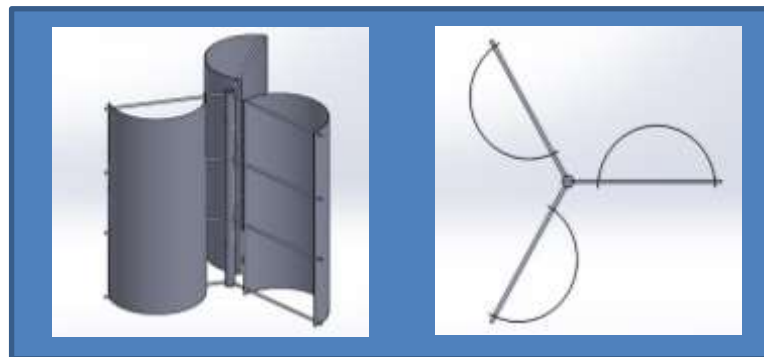


Figura 5 Desarrollo CAD de las hélices y Vista superior de las helices
Figura 5 Primeros Diseños de hélices de turbina Savonius y su vista superior.

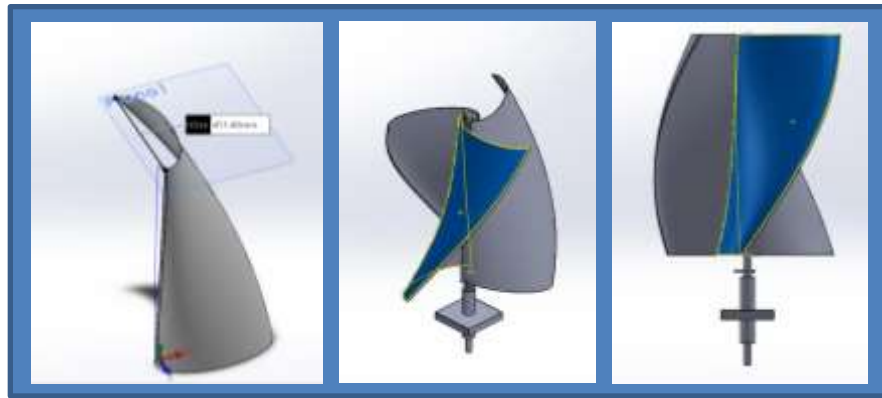


Figura 6 Modificación de Diseño de hélices curvadas

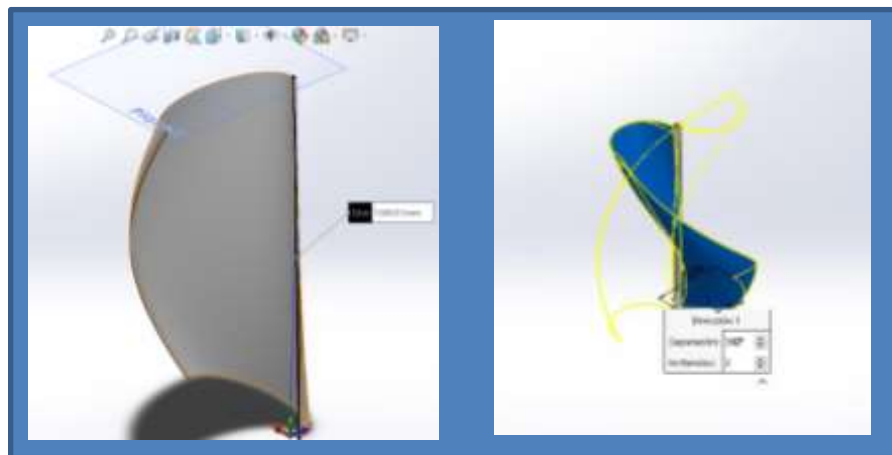


Figura 7 Incluye medidas de las Hélices

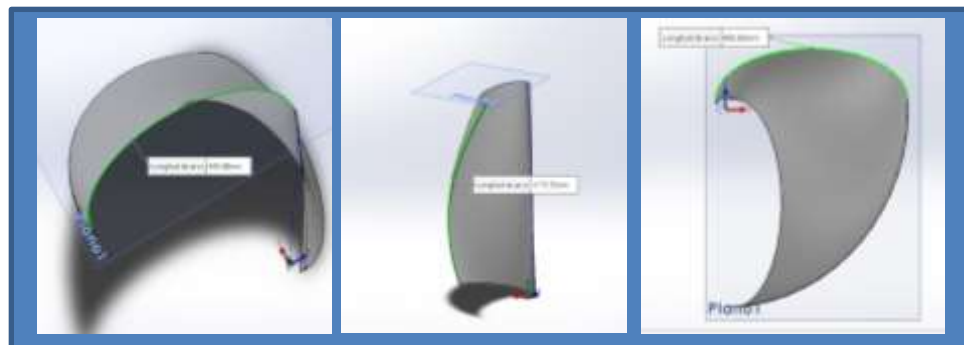


Figura 8 Diferentes vistas de las Hélices

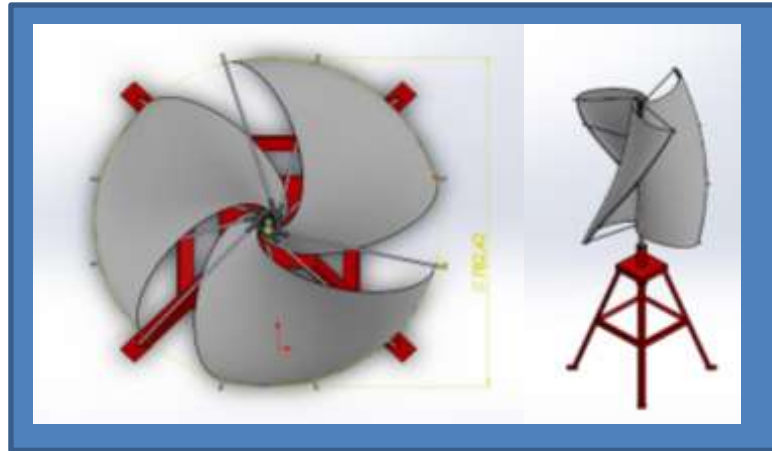


Figura 9 Área de barrido del rotor

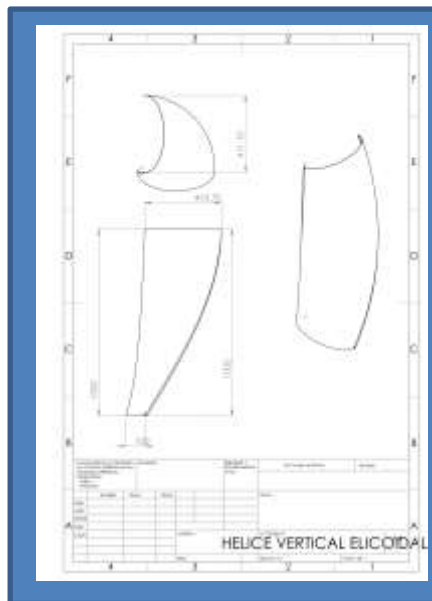


Figura 10. Plano de la hélice para la turbina

CONCLUSIONES

Después de haber analizado en investigaciones anteriores la factibilidad de la generación de energías limpias en los hogares de Nuevo León se concluye que la generación por biomasa es una buena alternativa siempre y cuando se realice en forma comunitaria, es decir, que los nuevos desarrollos de vivienda contemplen la posibilidad, de instalación de un biodigestor para el fraccionamiento o edificios, para tener una buena generación de gas y que sea aprovechada para el calentamiento de calderas o suministro de gas para combustión. Por otro lado en cuanto a la generación de energía eólica, concluimos que en la ciudad de Monterrey, tenemos velocidades de viento mínimas por lo cual es necesario una buena selección del tipo de turbina que se pretende diseñar para la generación de energía limpias en casas habitacionales o edificios habitacionales de la zona metropolitana, en base a la información recopilada se recomienda un tipo de turbina Savonius

con curvatura en perfiles por el diseño aerodinámico de las aspas, que presentan una menor resistencia al viento, este tipo de turbinas son conocidas como Winside. Así mismo se procedió al diseño de las aspas para este tipo de turbina con ayuda del software CAD-CAM, teniendo como resultado el plano y los diseños listos para realizar simulaciones con el software, creando un túnel de viento simulado y ver la generación que pudiera tener la turbina. Esto se pretende sea el siguiente paso a realizar. Se seleccionó el material para la fabricación de las aspas ya que se requiere conocer las propiedades para poder realizar una mejor simulación de la turbina. Siendo este el polipropileno por sus características, para soportar ambientes contaminantes.

BIBLIOGRAFÍA

1. J.M.Cullell, "Record de Energía Renovable en México", *El País*, p.2, 26, Feb., 2020.
2. P.J. Coldwell, *En Prospectiva de Energía Renovable 2015-2029*. Ed. Secretaria de Energía, 2015.
3. M. Williams, (S.F.). Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. Raleigh, NC, Estados Unidos: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
4. R. Garcia, A. Fernández, y A. Martínez, "Generación de Energía Renovable," *Drillo. Cient. en Mex.* Vol. 1, pp. 3254-3258, Oct. 2018.
5. R. Garcia, A. Fernández, A. Martínez, y A. D. Echeverría, "Alternativa de energía renovable", *Revista Arista: Investigación Básica y Aplicada*, vol. 7, núm. 14, pp. 265-272, Abr. 2019
6. Estadísticas, Jun. 2020, <https://es.windfinder.com>
7. J. A. Medrano y C. Moreno, "Análisis sobre la influencia de la turbulencia en la producción energética de las turbinas eólicas", *Revista de Ingeniería Energética*, vol. 40, pp 53-62, Abr. 2019
8. DS Solidworks, "Novedades Solidworks 2020", Ed. Dassault Systemes, 2019.

USO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA DE SUELOS

Araceli Aguilar Mora¹, Kevin Sánchez Espinoza²

¹Catedrática de la Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,

²Estudiante del Colegio de Ingeniería Civil de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
araceli.aguilar@correo.buap.mx

RESUMEN

Para el área de geotecnia de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) es importante que los estudiantes desarrollen habilidades y competencias orientadas a la construcción de su propio conocimiento. Es frecuente que las materias de esta área se cataloguen por los propios alumnos como difíciles, por lo anterior se han implementado algunas estrategias didácticas para facilitar su comprensión.

Este trabajo describe el uso de un software libre, el diseño de un programa en visual basic y el uso de la hoja de cálculo en la solución de problemas básicos de la mecánica de suelos como una herramienta tecnológica en los cursos de mecánica de suelos I y II de la carrera de ingeniería civil. La búsqueda continua de técnicas y herramientas para propiciar de manera clara y concisa la enseñanza de la mecánica de suelos nos llevó primeramente a la selección del software idóneo según el tema, posteriormente se desarrollaron actividades para motivar, mostrar y organizar nuestras clases con el uso de estas herramientas, lo anterior nos permitió superar algunas limitantes del aprendizaje en el aula, pues el educando dispone de un recurso que utiliza de manera autónoma, lo que le permite promover su aprendizaje de manera activa y por lo tanto le será significativo al experimentar, comprobar y desarrollar aplicaciones prácticas a través del pensamiento creativo y la investigación.

En los periodos escolares en los que se ha implementado esta dinámica se ha observado que con el uso y desarrollo del software, el aprendiz toma una actitud crítica, reduce la dependencia de terceros para la solución de problemas específicos, además profundiza en los temas tratados a través de la modelación y análisis.

INTRODUCCIÓN

Las herramientas tecnológicas son parte importante en la solución de problemas de ingeniería, específicamente nos referimos a la geotecnia dentro de la Ingeniería Civil. Por lo anterior en los últimos años el área de geotecnia de la Facultad de Ingeniería de la BUAP se ha interesado en incorporar este tipo de herramientas en los cursos de mecánica de suelos. El plan de estudios de la carrera de ingeniería civil tiene las asignaturas de informática y programación en el nivel de formación básica del estudiante, por lo que en el momento que cursa las materias del área de geotecnia ya tiene conocimientos de programación y sabrá incorporarlos al desarrollar sus propias aplicaciones, además con esto también favorecemos la correlación y la transversalidad en el plan curricular.

Con el propósito de que el alumno desarrolle aplicaciones prácticas de la disciplina de la geotecnia y de esta manera fomentar el pensamiento creativo, la investigación, el análisis. En los cursos de mecánica de suelos I y II se promueve el uso y desarrollo de software para la clasificación de suelos, cálculo de esfuerzos verticales, factor de seguridad en taludes, para lograr lo anterior es importante que el educando sea crítico ante los resultados que un programa le proporcione, sin olvidar mencionar que le permite ahondar en los temas tratados a través de la modelación y análisis. En los siguientes párrafos se presenta el desarrollo de una aplicación, el uso de un software libre y la elaboración de una hoja de cálculo con Excel.

Uso del Programa STRESS

El programa Stress permite estimar el incremento de los esfuerzos debido a cargas distribuidas sobre la superficie de una masa de suelo semi-infinita. Es muy sencillo y está en Sistema Operativo de Disco (DOS). No es necesario ejecutar el programa en Windows, pero puede ser cargado como una aplicación de DOS bajo Windows. El programa se basa en las ecuaciones presentadas por Schlumpf (1966), Poulos y Davis (1974) y NAVFAC DM.7.1 (1982). Cabe mencionar que este software forma

parte de una serie de aplicaciones para la solución de diferentes problemas de geotecnia y aunque la versión 3.0 es de año 1993, nos ha resultado de gran utilidad en el curso de mecánica de suelos I.

Descripción del menú principal de Stress

Para iniciar el programa, se debe ubicar en el directorio o subdirectorío donde éste reside y ejecutar la aplicación STRESS (no es necesaria la instalación). Aparece la pantalla que identifica el programa y da información de éste. Para continuar presione F10, a continuación se presenta el menú principal (Figura 1) que ofrece diferentes opciones que se describen a continuación.

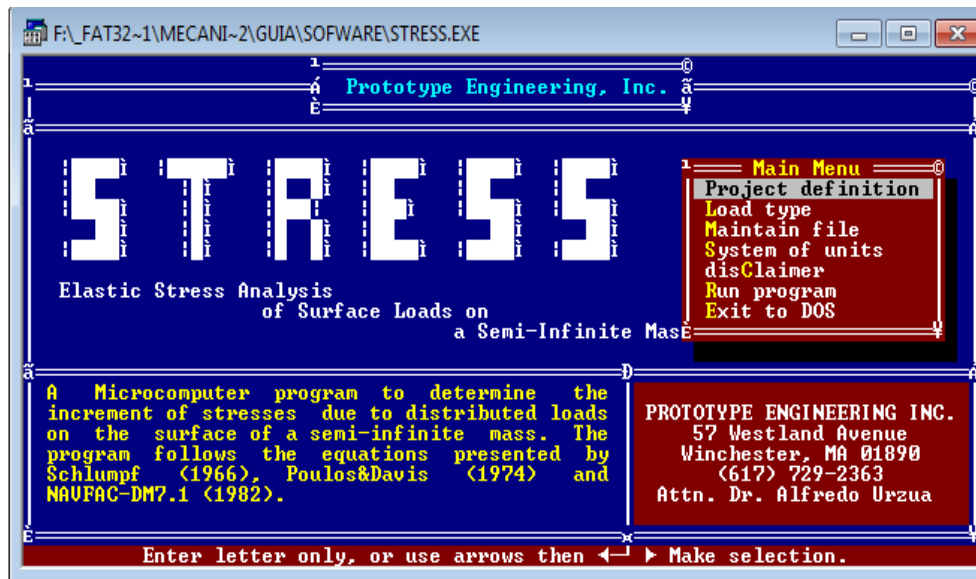


Figura 1. Presentación del menú principal de Stress

- *Project definition*: solicita información para la identificación del proyecto tales como nombre del cliente, nombre y número del proyecto, responsable del proyecto, la fecha y las iniciales de quien realiza el cálculo. Para la ejecución no es necesario introducirla
- *Load type*: presenta los sub-menús para seleccionar el tipo de carga, cada uno solicita los parámetros necesarios dependiendo del tipo seleccionado
- Maintain file*: despliega un sub-menú para que se seleccione alguna de las tres opciones: a) Salida de resultados en un archivo; b) Leer los datos en un archivo existente; c) Borrar los datos del proyecto en edición. Si el usuario pide la entrada o salida de un archivo, se le pedirá el nombre y debe pulsar la tecla ENTER para aceptar
- System of units*: permite elegir unidades británicas, unidades métricas o el Sistema Internacional (SI). El programa por default presenta las unidades británicas
- disClaimer*: este es el deslinde de responsabilidad por los autores del programa, señalando que el usuario es responsable en última instancia de la exactitud de los resultados
- Run program*: después de que se han introducido los datos necesarios, esta opción hace la corrida del programa, muestra en pantalla los resultados
- Exit to DOS*: cierra el programa y regresa al sistema operativo

Ejemplo del uso del Stress en la solución de un caso.

Como ya se mencionó anteriormente, Stress calcula esfuerzos debidos a una carga en la superficie, el ejemplo que se describe es para utilizar la opción de carga rectangular. El planteamiento del problema es “Dada la planta de cimentación, calcular la variación del esfuerzo vertical en un punto A hasta la profundidad de 10 m”. Dicha planta se muestra en la Figura 2a.

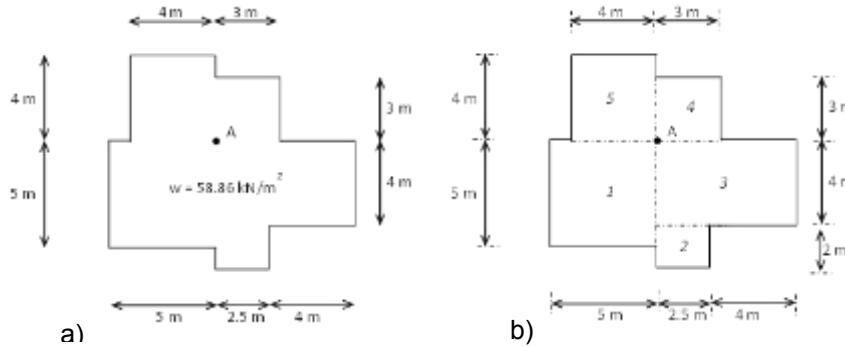


Figura 2. Planta de cimentación para el cálculo de esfuerzo vertical

Para la corrida del programa, se inicia introduciendo los datos de identificación del proyecto (Figura 3a); posteriormente se elige el tipo de carga rectangular y se introduce el número de áreas cargadas, en nuestro caso son 5 de acuerdo al seccionamiento que se muestra en la Figura 2b, también se debe indicar la dirección (vertical) en la cual se calculará el esfuerzo (Figura 3b). Considerando un sistema de referencia definido arbitrariamente, se introducen las coordenadas de dos puntos diametralmente opuestos para definir cada uno de los rectángulos, así como la carga uniformemente distribuida (Figura 3c). Una vez aceptados los datos anteriores, el programa solicitará las coordenadas del punto donde se desea calcular el esfuerzo, así como la profundidad a la que se quieren conocer los valores, es decir $z_1 = 0$ m a $z_2 = 10$ m, con un incremento en la profundidad de $Dz = 1$ m (Figura 3d).

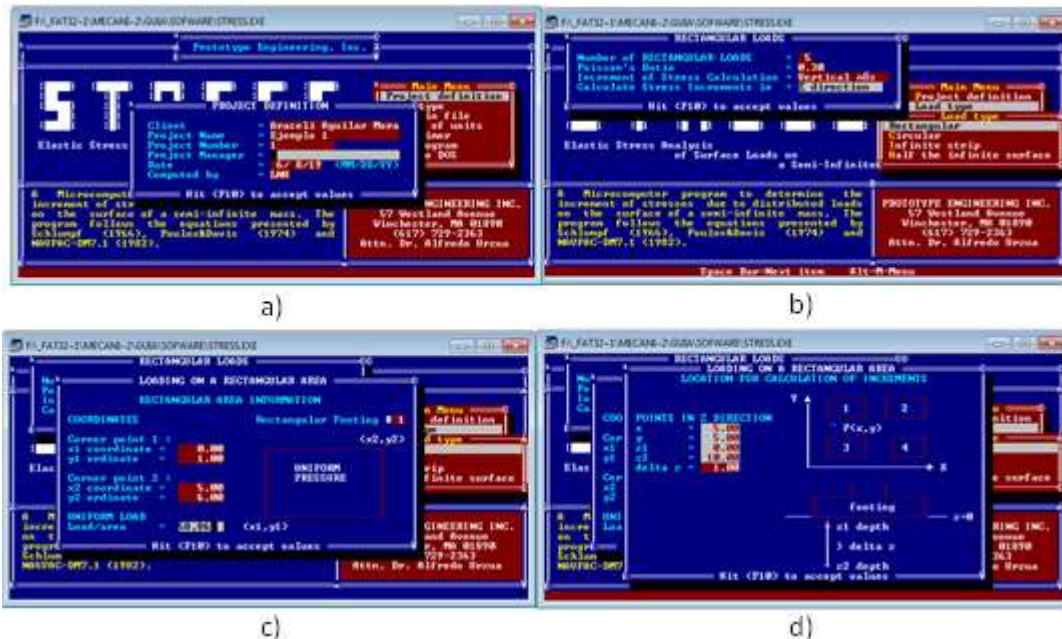


Figura 3. Ventanas que muestran el ingreso de la información para el cálculo del esfuerzo

Admitiendo los datos introducidos, seleccionamos el Sistema Internacional como sistema de unidades, inmediatamente el programa retorna al menú principal en el cual optaremos por “*return program*” para que el programa muestre los resultados en pantalla.

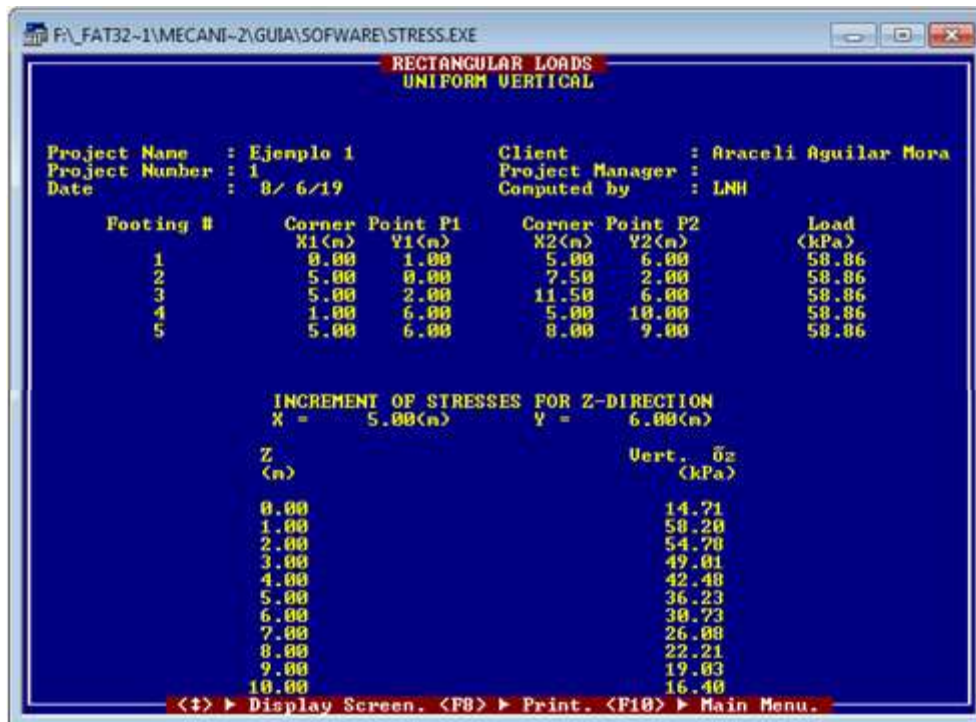


Figura 4. Ventana que muestra los resultados del cálculo de esfuerzo en el punto A en las profundidades solicitadas

Diseño del programa PROCLASS2014

Características generales

ProClass2014 es un programa que permite clasificar el suelo con base en el Sistema de Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) bajo la Norma ASTM D4248. Puede obtener los grupos con su respectivo símbolo que son definidos por la norma ASTM D-2487, trabaja con los datos del análisis granulométrico (Norma ASTM D422) y límites de consistencia (Norma ASTM D4318) obtenidos del laboratorio.

El programa está codificado en lenguaje “Visual Basic” 6.0. Para garantizar el correcto funcionamiento del programa, se recomiendan las siguientes características mínimas: Sistema operativo Windows XP o superior, Sistema operativo de 32 o 64 bits y Memoria RAM de 500MB o superior.

Inicio, conformación y uso del programa

Para iniciar el programa ProClass, se debe dar clic en el ícono del programa, localizado en el menú de Inicio o en el directorio donde se instaló. Inmediatamente aparecerá la ventana que presenta el programa (Figura 5), la cual muestra el logo de nuestra Facultad; nombre, versión y logo del programa; créditos, etc. A continuación se despliega la ventana principal, en la cual se deberá seleccionar el tipo de análisis que se desea realizar.



Figura 5. Pantalla de presentación del ProClass2014

ProClass permite realizar la clasificación del suelo a partir de: a) porcentajes retenidos y b) de masas. En el primer caso se debe conocer los retenidos de las mallas no. 4 y 200, los límites de consistencia o los coeficientes de graduación; mientras que para el segundo, se requieren las masas retenidas en las mallas y las masas tanto húmedas como secas obtenidas en los ensayos de límites de consistencia; con éstos, el programa previo a la clasificación realiza y presenta el análisis granulométrico (determinación de retenidos, curva granulométrica y coeficientes de graduación), así como la cuantificación de los contenidos de agua, para el límite líquido y plástico. En ambos casos el programa calcula el porcentaje de finos (F) y dependiendo de éste, solicitará los datos necesarios para clasificar el suelo.

Opción: A partir de porcentajes retenidos

Para clasificar el suelo conociendo los porcentajes retenidos, dar clic en el botón “A partir de porcentajes retenidos”, la ventana que aparece en esta selección (Figura 6a), contiene tres solapas, en la primera “Porcentajes retenidos” se pedirá los porcentajes retenidos en las mallas no. 4 y 200 (R4 y R200), después de introducirlos y dar clic en el botón “Continuar”, se activará la segunda solapa que dependiendo del porcentaje de finos, será el encabezado de ésta, pudiéndose presentar cualquier de los siguientes casos:

- Si $F < 5\%$, se activa la solapa “Graduación” (Figura 6b) y sólo pedirá el coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cc)
- Si $F > 12\%$, la solapa activada será “Límites de consistencia” (Figura 6c) para introducir el límite líquido (LL) y límite plástico (LP)
- Si $5\% \leq F \leq 12\%$, la solapa será “Graduación y consistencia” y se deberán proporcionar Cu, Cc, LL y LP (Figura 6d)

Al terminar de ingresar los datos de acuerdo al caso que se presente, dar clic en el botón “Continuar”, el programa mostrará en la tercera solapa “Clasificación SUCS”, la clasificación del suelo con el símbolo y nombre de grupo, además presenta un resumen de las características del suelo (porcentajes de grava, arena y finos; Cc, Cu, LL y LP). Una vez terminada la clasificación, permite realizar un nuevo análisis o regresar al menú principal.

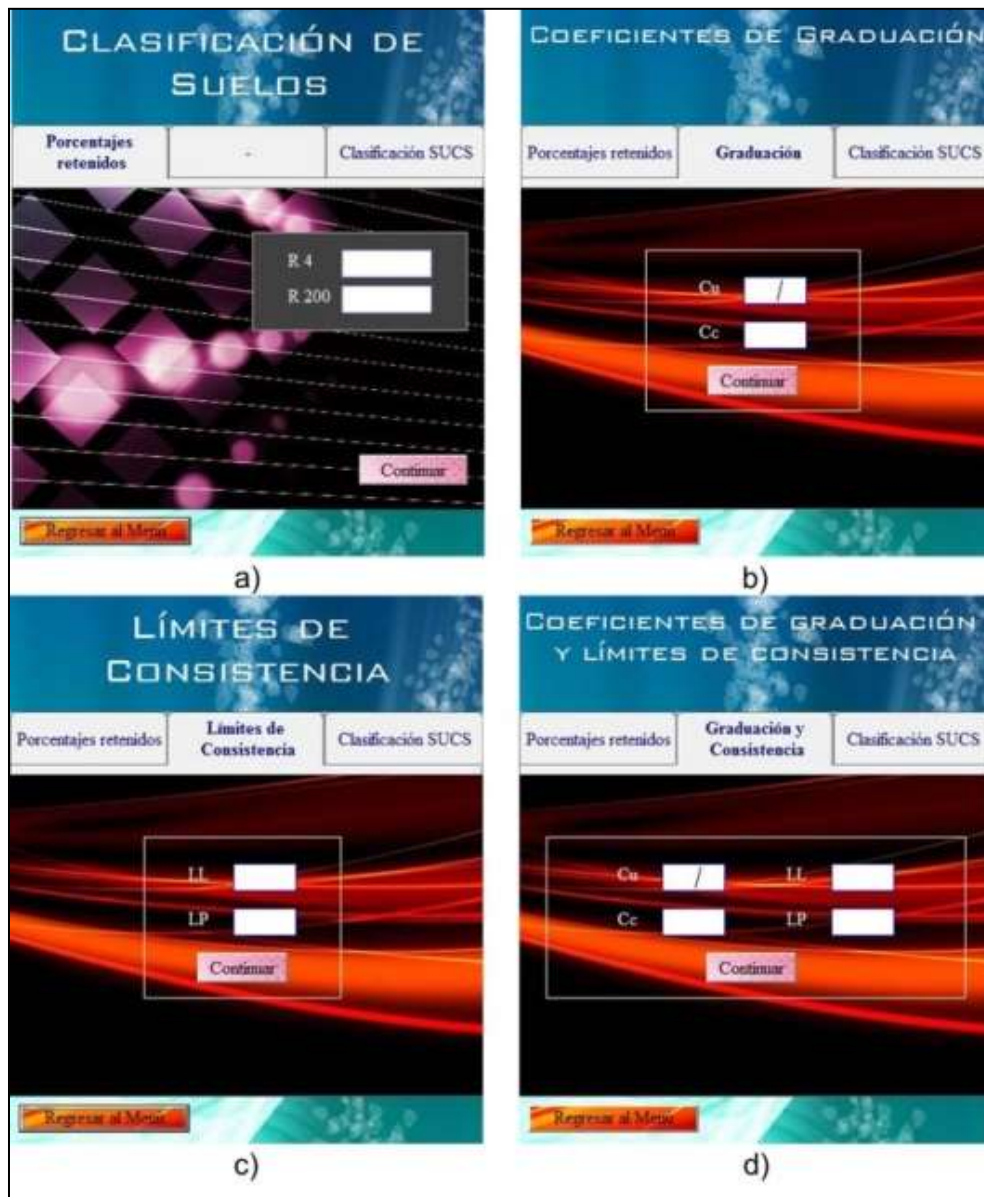


Figura 6. Ingreso de datos en la opción “a partir de porcentajes retenidos”

Opción: A partir de masas

Para clasificar el suelo a partir de las masas parcialmente retenidas, masas húmedas y secas, dar clic en el botón “A partir de masa”, esta selección mostrará una ventana para realizar el análisis granulométrico del suelo, la cual contiene tres solapas, en la primera “Masa de la muestra” se deberá indicar la masa total de la muestra en gramos (Figura 7a) y al dar clic en el botón “Continuar”, pasará a la solapa “Masas retenidas”, donde se introducirá la masa retenida en cada malla (Figura 7b).

En caso de que en alguna malla no se haya retenido material, necesariamente se deberá teclear 0 (cero). Al dar clic en el botón “Continuar”, aparecerá la siguiente solapa que de acuerdo al porcentaje de finos, será el encabezado de ésta, presentándose alguno de los siguientes casos:

- Si $F < 5\%$, se activa la ventana Curva de distribución granulométrica (Figura 7c), para ver la curva granulométrica del suelo, debe dar clic en el botón “Graficar”, leer los diámetros 10, 30 y 60, escribir

los valores en los espacios respectivos, y dar “Continuar” se activa la solapa “Graduación” en la cual aparece Cc y Cu calculados (Figura 7d).

- Si $F > 12\%$, la ventana activada es Límites de consistencia (Figura 7e), la cual contiene tres solapas “límite líquido”, “límite plástico” y “carta de plasticidad”, en las dos primeras se elige el número de prueba realizadas en laboratorio, a partir de éste se despliega una tabla con espacios necesarios para introducir las masas húmedas y secas; número de golpes del ensaye de Casagrande, con estos datos el programa calcula contenidos de agua, que podrá observar al hacer clic en “Calcular w”. Al dar clic en el botón “Continuar” se activa la solapa “Carta de plasticidad”, en la parte inferior se muestran el LL, LP y el IP calculados. Se presenta la carta de plasticidad en la cual se ubica el suelo (Figura 7f).

- Si $5\% \leq F \leq 12\%$, aparece la ventana Límites de consistencia y coeficientes de graduación, la cual contiene cuatro solapas: “límite líquido”, “límite plástico”, “carta de plasticidad” y “coeficientes de graduación”; en cada una de ellas hay que introducir los valores de manera similar a los casos anteriores para definir las características necesarias.

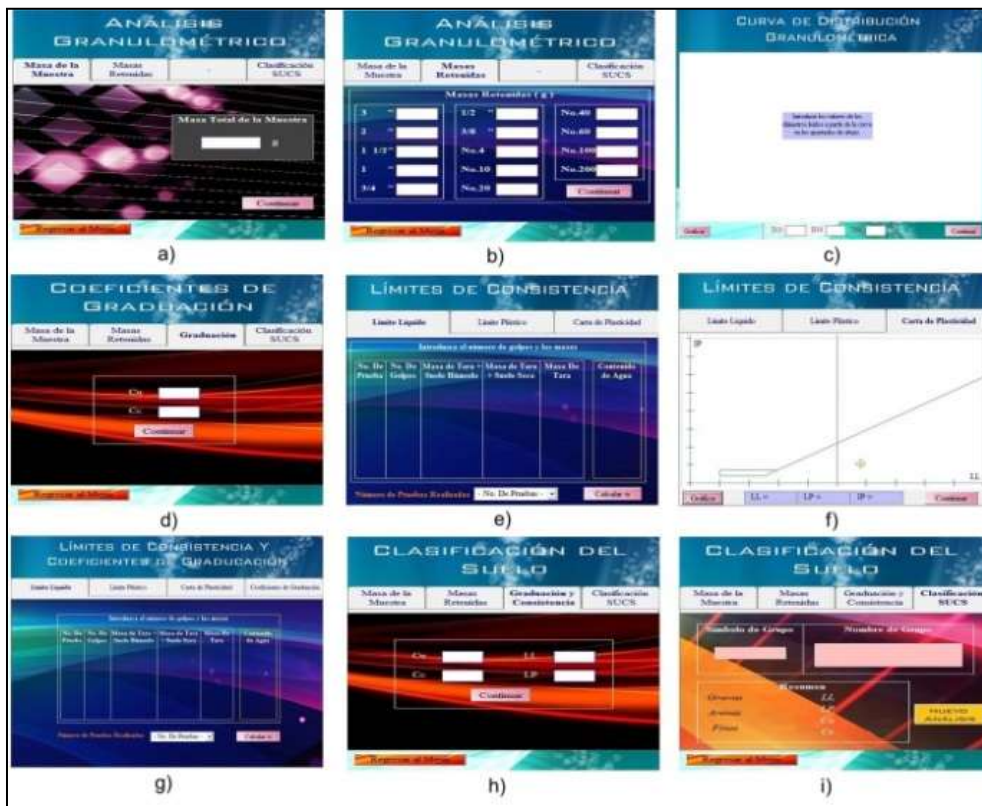


Figura 7. Ingreso de datos al programa según el tipo de suelo, con la opción “a partir de masas”

Una vez que se han ingresado los datos de acuerdo al caso que se presente, y dar clic en el botón “Continuar”, se mostrará la solapa “Clasificación SUCS”, la cual presenta la clasificación del suelo con su respectivo símbolo y nombre de grupo, además de resumir las características del suelo: porcentaje de grava, arena y finos; coeficientes de graduación y/o límites de consistencia según el tipo de suelo (Figura 7i). Terminada la clasificación, el programa permite realizar un nuevo análisis o regresar al menú principal.

Ejemplo de clasificación de un suelo con doble símbolo con ProClass2014

Se realizaron varias corridas del programa para evaluar su funcionalidad, a continuación se presenta un ejemplo con la finalidad de exponer la entrada de datos que solicita el programa y los resultados que genera para llegar a la clasificación del suelo.

Para este ejemplo se seleccionó la opción “a partir de masas”. Los datos que se deberán introducir son los resultados obtenidos del laboratorio de los ensayos de granulometría y límites de consistencia. La masa de la muestra ensayada fue de 3050 g, los retenidos en cada malla que se introdujeron se muestran en la Figura 8a. El programa calculó las fracciones de grava del 87.91%, arena del 5.52% y fino del 6.57%, como el porcentaje de finos está entre el 5 y 12%, le asignó un doble símbolo y para que calcule los límites de consistencia es necesario indicar las masas secas y húmedas (Figura 8b) A partir de la curva de distribución granulométrica que presenta, se leen los valores de los diámetros 10, 30 y 60 (Figura 9a) para que pueda calcular el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura. Con éstos revisar los criterios y presenta la clasificación como se muestran en la Figura 9b.

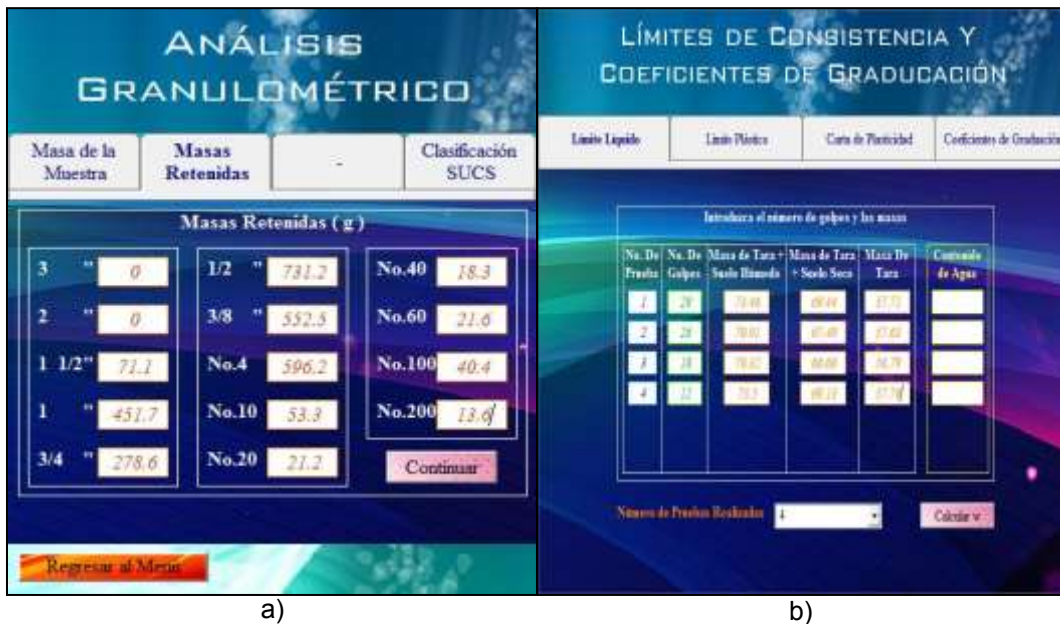


Figura 8. Ventanas de ProClass2014 que muestran la secuencia en la clasificación del suelo

Diseño de una hoja de cálculo de excel

Excel tiene características básicas que lo hacen útil para nuestro fin, incluso para aquellos estudiantes que no están muy familiarizados y que no saben cómo utilizar sus funciones más avanzadas. Entre las ventajas que nos ofrece podemos mencionar la de introducir fórmulas matemáticas en una celda para realizar cálculos sobre otras. Las fórmulas pueden ser sencillas o tan complejas según se requiera, una fórmula inclusive puede referirse a una celda que ya contenga un valor calculado usando una fórmula diferente, lo que nos permite realizar múltiples niveles de cálculo. Además de que podemos vincular éstos resultados con gráficos.

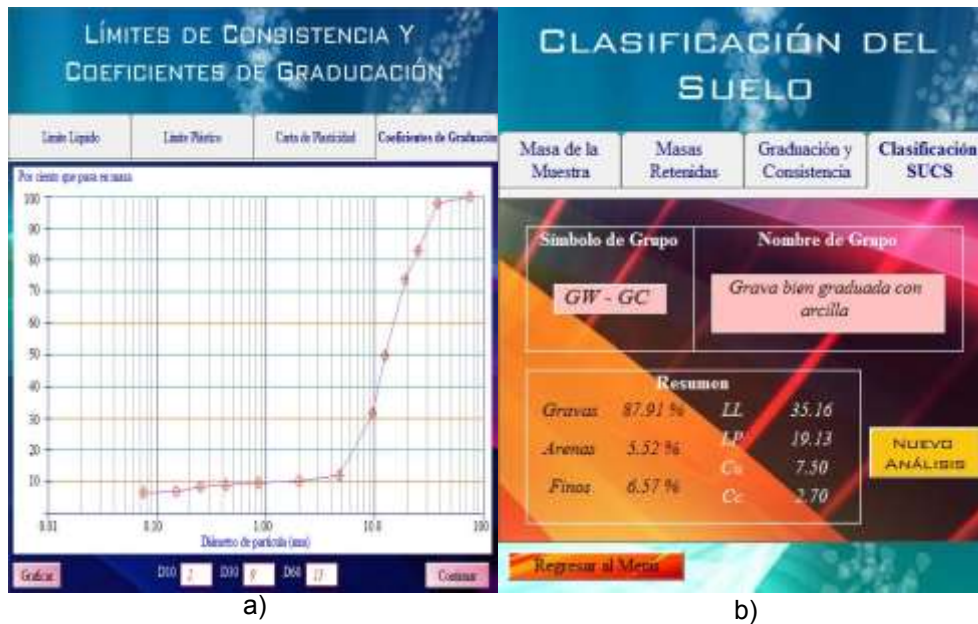


Figura 9. Presentación de resultados de la clasificación del suelo

Hoja de cálculo para el análisis de la estabilidad de un talud

Con frecuencia se tiene que realizar el cálculo para comprobar la seguridad de los taludes naturales, taludes de excavaciones y terraplenes compactados. El análisis de estabilidad de un talud implica la determinación y comparación del corte desarrollado a lo largo de la superficie de ruptura más probable con la resistencia del suelo (Das, 2015).

El propósito de la hoja es calcular del factor de seguridad de una superficie de falla para un talud utilizando el método de las dovelas. A partir de un círculo que representa la superficie de falla de prueba, el suelo que está arriba de esta superficie de falla se divide en varias dovelas verticales (el ancho de cada dovela no tiene que ser el mismo). Considerando un equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes y resistentes, el Factor de Seguridad se calcula con la expresión:

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \varphi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n}$$

Básicamente, para realizar el análisis de estabilidad se debe programar la expresión del FS, se declaran los valores constantes en el cálculo (parámetros del suelo: peso volumétrico, cohesión y ángulo de fricción) como se observa en la Figura 10. Además se indica el ancho de las dovelas (por simplificación se toman del mismo ancho). Cabe resaltar que previamente se debe realizar el trazo de la sección del talud y el círculo de falla, se divide en dovelas la masa de suelo considerada, de acuerdo con la supuesta superficie, para calcular el peso de cada dovela (W_i) se requiere conocer su volumen; si consideramos una profundidad unitaria normal al plano analizado; este volumen será numéricamente igual al área, para lo anterior medimos la altura media de cada dovela y se multiplica por el ancho de la misma. Para definir normal y tangencial actuantes en la base de la dovela i , se mide directamente en el trazo para cada dovela el ángulo α_i . En la figura 11 se presenta la tabla que se genera a partir de lo anteriormente descrito, obteniéndose las sumatorias de las tres últimas columnas (momentos actuantes y resistentes) que nos llevan a calcular el FS con la fórmula presentada anteriormente.

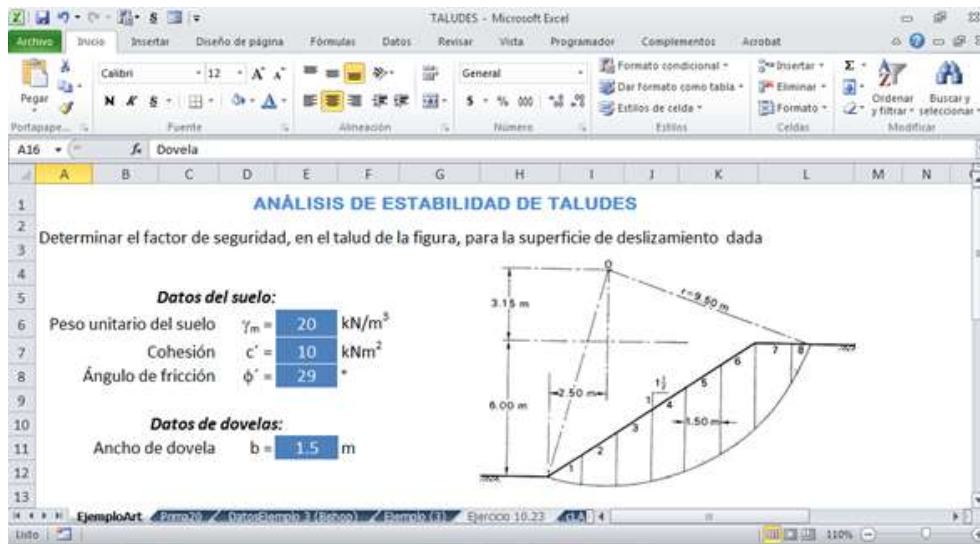


Figura 10. Vista de la hoja en el ingreso de datos (valores constantes)

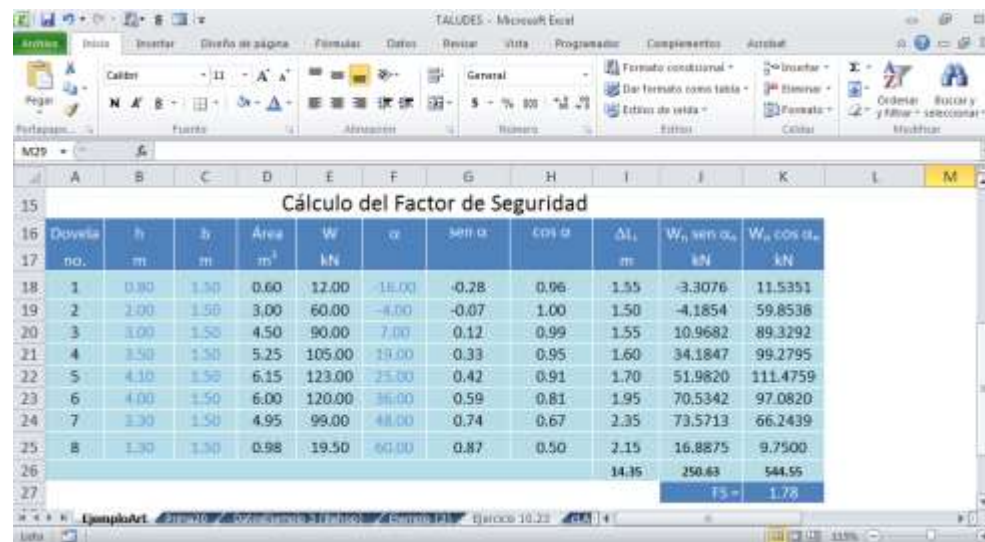


Figura 11. Vista de la hoja presentando el FS calculado

RESULTADOS EN EL PROCESO ENSEÑANZA APRENDIZAJE

Durante el desarrollo, uso y aplicación de las herramientas descritas en el presente trabajo el aprendizaje del estudiante pasa de pasivo a activo, pues “aprende haciendo”. En el aprendizaje activo se involucra a los alumnos para que descubran la lección, y el profesor sólo orienta. Cuando un estudiante desarrolla una aplicación se enfrenta a diferentes procesos, por ejemplo, al desarrollar la interfaz para el ingreso de datos pone atención al cómo va a lograr una buena comunicación gráfica con el usuario para conseguir que su programa sea atractivo y fácil de usar. A la hora de realizar la codificación o programación, tendrá que profundizar en aquellos conceptos que no tenga claros, debe ordenar y estructurar las secuencias para hacer o suponer diferentes escenarios que se pueden presentar en la solución del problema dando paso a su creatividad.

En el caso de que haga simplemente uso de algún software libre, debe ser crítico ante los resultados obtenidos, cuestionándose del porqué de éstos y tomar en cuenta las limitantes que pudiera

presentar el software para un problema específico motivándose a realizar su propia aplicación. También le sirve como una forma de comprobación cuando resuelve manualmente el problema, lo que le va dando seguridad a lo que ha aprendido y se siente confiado a manera que va progresando y deja de ser dependiente de cierta forma de la supervisión del profesor.

CONCLUSIONES

Las herramientas computacionales han resultado de gran utilidad en la activación del aprendizaje de los estudiantes, permitiéndonos crear ambientes de aprendizaje orientados a la enseñanza de la mecánica de suelos en el aula.

Estas herramientas nos facilitan la comprensión de aspectos teóricos a través de la simulación o la modelación, dando pie a que el alumno proponga soluciones innovadoras.

Se ha observado que al promover el desarrollo de software el estudiante toma una actitud crítica. Además, puede reducir la dependencia de software de terceros (comerciales) para la solución de problemas particulares.

ProClass es un programa que permite clasificar a los suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el cual pretende ser una herramienta de gran utilidad en el proceso enseñanza – aprendizaje para el estudiante en la asignatura de Mecánica de suelos I. El ambiente del programa es muy accesible, lo que permite su rápido y fácil manejo para que el alumno genere sus propias conclusiones en cuanto a la clasificación de suelos.

El éxito al implementar estas prácticas en el aula, depende en muchas ocasiones de los conocimientos de programación que un estudiante tenga, pues si bien para algunos puede ser motivador, para otros podría ser frustrante al no obtener los resultados esperados.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. M. Araceli, *et all.* “Desarrollo de un software para la clasificación de suelos” en la XVIII Reunión Nacional de Profesores de Ingeniería Geotécnica. 2014
2. A. M. Araceli, *et all.* “La enseñanza de la geotecnia en la Facultad de Ingeniería” en la XIX Reunión Nacional de Profesores de Ingeniería Geotécnica. 2016
3. Braja M. Das, “Fundamentos de ingeniería geotécnica” Cuarta Edición, 2015, pp 334-335, 362-365
4. C. C. Oscar y A. M. Araceli, “Guía metodológica para calcular esfuerzos al interior del terreno originados por sobrecargas. 2013
5. Manual del usuario de ProClass 2014

ANÁLISIS DE PROYECTOS DE VINCULACIÓN PARA SOLUCIONES INDUSTRIALES MEDIANTE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIOS. CASO: ITESI.

Luz Elena Arrieta Valdivia, María de la Lluvia Castillo Vera, Diana Mayte Rivera Blancarte, David Aarón Rodríguez Alejandro, José Roberto Razo Hernández

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato
luzarrietav@gmail.com

RESUMEN

El concepto de triple hélice nace desde 1997 para referirse a la integración de gobierno, instituciones privadas o empresas y universidades como modelo de innovación¹. En la actualidad es de suma importancia potencializar los proyectos de investigación, desarrollo e innovación bajo dicho esquema, sin embargo, aún existen universidades y centros de estudios que presentan rezago en la implementación del modelo mencionado, en especial en los aspectos relativos a la vinculación con el sector empresarial, la cual generalmente se limita a la realización de prácticas profesionales. La ausencia de tal vinculación desde una etapa temprana del estudiante implica que éste pase la mayor parte de sus años universitarios sin generar un impacto positivo real, pues no se ve involucrado en la solución de los problemas de las empresas en su entorno, lo que limita su desarrollo integral. Esa problemática puede ser solucionada mediante la creación de grupos multidisciplinarios de alto rendimiento que despierten el interés del sector empresarial al ser capaces de resolver algunas de sus necesidades. En el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato se probó dicha hipótesis, a través de la fundación del Quality Engineering Team (QET), un grupo multidisciplinario de alto rendimiento formado por alumnos y catedráticos de alto perfil. Tras el establecimiento del QET como nodo de conocimiento y vinculación con el sector empresarial se obtuvieron resultados satisfactorios como impartición de capacitaciones y cursos de software impartidos a alumnado del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) o empresas externas, así como la participación en 4 proyectos industriales con un monto total acumulado de casi \$600,000, entre ellos: la creación de un pirolizador de biomasa por petición de la empresa tequilera Agrícola Carbonera el Capricho S.P.R. de R.L. de C.V., consorcios con empresas como Contru-Coss S.A. de C.V., 4E Power and Fuels S.R.L., Hal Aluminium México S.A. de C.V. Comprimidos de Biomasa Todo Pellet S.A.P.I. de C.V. El grupo se ha especializado y es punta de lanza en el desarrollo de tecnología basado en simulación por computadora como parte de las nueve estrategias de la industria 4.0. El enfoque principal debido a la zona en la que se encuentra es: 1.- Desarrollo de piezas y mecanismos para la industria automotriz y 2.- Creación de prototipos de aprovechamiento de Energías Alternativas (Biomasa-Eólica-Solar-Geotérmica), mediante herramientas de software base para el modelado y simulación, tales como: NX (Siemens), SolidWorks, Catia, ANSYS y Matlab.

INTRODUCCIÓN

Las exigencias de la industria privada incrementan conforme los mercados se vuelven más competitivos, las empresas se encuentran en constante evolución, buscando la implementación de mejoras y el fortalecimiento de sus ventajas competitivas. De acuerdo con. Coff y Kryscynski (2011) el capital humano influye positivamente en la ventaja competitiva de una organización (Citados en Realivazquez, 2016, p. 8), naturalmente las organizaciones buscan individuos ampliamente preparados en lo que a habilidades técnicas se refiere, pero también capaces de trabajar en equipo, para así lograr la integración de grupos multidisciplinarios de alto rendimiento, aptos para resolver problemáticas actuales del entorno.

Las Instituciones de Educación Superior (IES) desempeñan un rol importante, pues se encargan de la formación del que será el capital humano de las empresas las regiones en que se encuentran. Como mencionan Rico (2019) estas instituciones se enfrentan a nuevos retos, pues deben preparar individuos capaces de enfrentar un mercado global, enfatizando en una sólida preparación teórica, así como en el reforzamiento de habilidades transversales.

¿Cómo las IES pueden complementar y fortalecer la formación integral de sus estudiantes? Cabral (2019) señala que los académicos deben diseñar entornos que permitan medir el desempeño u retroalimentar la formación de los estudiantes para poder asegurar el desarrollo de sus

competencias. Una forma de lograr esto es mediante modelos de vinculación, mediante los cuales los futuros profesionistas puedan desarrollar y fortalecer su proceso de formación, permitiéndoles crear perfiles de egreso capaces de atender las necesidades actuales.

Por ello, catedráticos de las carreras de ingeniería en sistemas automotrices, electromecánica, mecatrónica y gestión empresarial del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) fundaron el Quality Engering Team (QET) con el objetivo de consolidar un grupo de investigación aplicada que integre a alumnos de licenciatura y maestría, así como académicos, los cuales compartan ideas y valores, mediante el establecimiento de vínculos de trabajo, con la finalidad de desarrollar sus habilidades como profesionales y resolver problemas de diferentes áreas de la industria del sector Bajío y sus alrededores.

TEORÍA

Se tiene entonces que la vinculación temprana es una de las estrategias más efectivas. Ésta puede darse entre miembros de la misma institución (estudiantes y profesores, o bien, entre estudiantes de diferentes carreras), y con externos (estudiantes con gobierno, empresas o sectores específicos de la sociedad).

En términos generales (Leydesdorff, 1998) se refiere a la Triple Hélice como una descripción del crecimiento económico o de otra índole, que funciona como un sistema de tres componentes que tienen intercambios dinámicos y se van desarrollando en espiral.

La importancia de la vinculación entre sectores ha sido estudiada desde hace ya varios años, siendo base de modelos de innovación como el de la Triple hélice, el cual contempla que la cooperación entre academia, empresas y gobierno. Como menciona (González de la Fe, 2009) no existe un libro de referencia en que se expongan los fundamentos y conceptos de este modelo pues sus principales teóricos Loet Leydesdorff y Henry Etzkowitz fueron desarrollando el enfoque en varios trabajos conjuntos y en publicaciones por separado con otros autores.

González de la Fe señala también el papel estratégico de las universidades en el proceso innovación en modelos como la Triple hélice, pues éstas tienen la función de usar los conocimientos que generen para contribuir al desarrollo social y económicos de manera local.

En resumen, se puede decir que el modelo plantea que las esferas de industria, academia y gobierno en vez de trabajar de manera independiente trabajen en conjunto para dotar de las herramientas necesarias a los futuros profesionistas. Es por ello que en la actualidad muchas de las investigaciones académicas son planteadas desde la perspectiva de cooperación con las empresas, con el propósito de desarrollar nuevos productos o estrategias que ayuden a fortalecer y generar nuevas tecnologías, así como la diversificación, los nuevos conocimientos, el desarrollo y la investigación en innovación en las empresas.

PARTE EXPERIMENTAL

La conformación de QET que busca lograr inicialmente una vinculación entre miembros de la institución para generar un grupo de investigación que posteriormente pueda ofrecer sus servicios, de esta manera, la vinculación entre estudiantes mediante la consolidación de grupos de alto rendimiento se considera una sala previa para la vinculación con las empresas.

La estructura de funcionamiento del grupo dinámico de investigación aplicada QET fue pensada y diseñada en 5 fases esenciales que abarcan desde su concepción teórica hasta los resultados de su implementación (Figura 1).

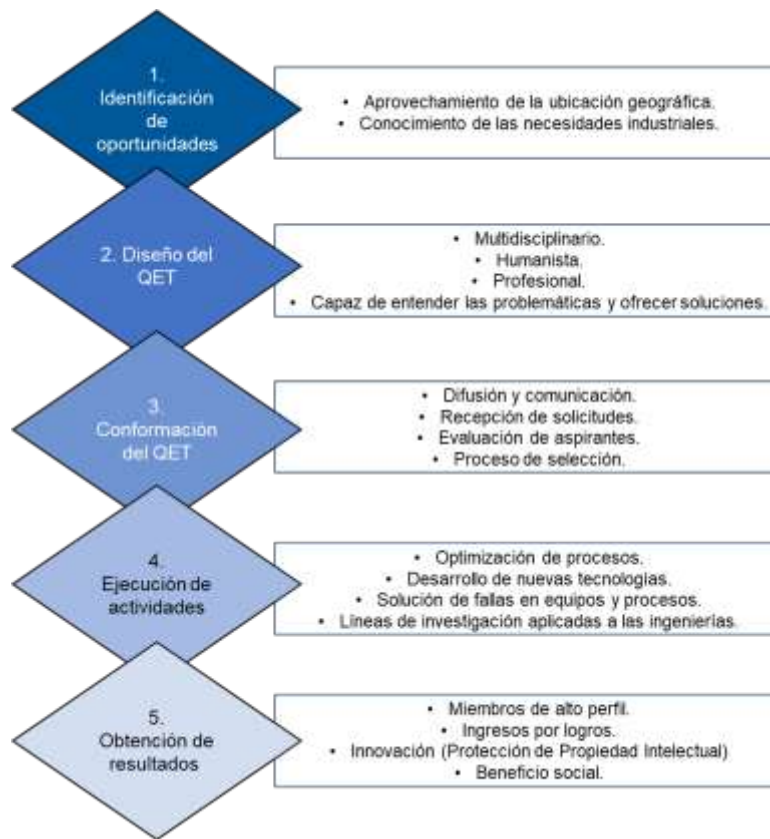


Figura 1. Modelo de operación del Quality Engineering Team. Elaboración propia.

La fase 1. Identificación de oportunidades se refiere al aprovechamiento de la ubicación geográfica del ITESI, situado en el corredor industrial Querétaro-Aguascalientes, en un punto estratégico donde diferentes tipos de industrias (automotriz, manufacturera, alimenticia, petroquímica, eléctrica, alimenticia, entre otras) han decidido establecerse. Tras un análisis del entorno se encontró que existen diferentes sectores clave en la zona que entran en la hélice empresarial, tales como los principales parques industriales de la ciudad y sus alrededores, algunos de los más cercanos geográficamente (30 km de radio) son: Parque industrial Apolo, Parque industrial Castro del Río, Parque industrial Advance Real Estate, Parque Central Guanajuato, Parque Industrial Marabis Abasolo.

Gracias a investigación documental o de campo las problemáticas que padecen diferentes empresas pertenecientes a estas industrias llegan a ser conocidas tanto por profesores como alumnos de la institución, esto permite identificar oportunidades de acción en el entorno, las cuales se convierten gradualmente en exigencias, con lo que se inicia la fase 2. Diseño del QET. Esta fase se refiere a que el QET, al ser un grupo conformado por estudiantes y profesores capaces de ayudar a las industrias a resolver algunas de sus problemáticas, a tiempo que desarrollan y fortalecen habilidades para la vida académica, profesional y civil, fue concebido para ser conformado por individuos profesionales y humanistas, capaces de entender y ofrecer soluciones viables en ingeniería y negocios a los problemas y necesidades del entorno, por lo que se requiere que cumplan con ciertas características, por ejemplo: multidisciplinario, humanista, profesional, propositivo.

La fase 2 contempla también la formación de un equipo multidisciplinario que permita la generación de ideas complementarias para solución integral de problemas. En este esquema se cuenta con la ventaja de que la oferta académica del ITESI es muy basta, con lo cual facilita la formación de un equipo diverso y completo, en el que se cuenta con la integración de carreras como electromecánica,

sistemas computacionales, bioquímica, biología, gestión empresarial, mecatrónica y materiales hasta el momento.

La fase 3. Conformación del QET, contempla la difusión del proyecto a través de diferentes medios, la eventual recepción y evaluación de solicitudes y el proceso de selección que acredite la aptitud de los solicitantes para pertenecer al grupo. Posteriormente, la fase 4. Ejecución de actividades consiste en llevar a cabo las principales acciones requeridas para el QET, siendo algunas de estas la optimización de procesos, el desarrollo de nuevas tecnologías, la solución de fallas en equipos y procesos, el desarrollo de líneas de investigación aplicadas a las ingenierías, entre otras.

Finalmente, la fase 5. Obtención de resultados presenta los beneficios obtenidos de la ejecución de las actividades realizadas por el QET, entre las que se contemplan que los miembros del QET (estudiantes y profesores) desarrollarán habilidades y aptitudes de alto perfil: emprendedores, proactivos, creativos, dinámicos, capaces de trabajar bajo presión, líderes, hábiles para el trabajo en equipo y con apertura para la generación y desarrollo de nuevos conocimientos, la obtención de ingresos por cobros por servicio a las industrias con base en la asignación de tarifas de acuerdo con las problemáticas que el equipo resuelva, así como viáticos, horas hombre y gastos que impliquen la realización de proyectos.

De igual manera se espera el desarrollo de tecnología de alta calidad, fomentando la creación de productos y servicios y obteniendo como resultado el registro de la propiedad intelectual de las innovaciones generadas y el impulso a las empresas de base tecnológica y otras innovaciones que benefician a la comunidad.

RESULTADOS

Desde los inicios de operaciones del QET se han ejecutado variedad de proyectos, cada uno con diversos resultados, entre los que destacan:

- Impartición de capacitaciones y cursos de software impartidos a alumnado del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato o empresas externas por miembros del QET.
- Desarrollo de piezas y mecanismos para la industria automotriz basado en simulación por computadora como parte de las nueve estrategias de la industria 4.0.
- Desarrollo de tecnología basado en simulación por computadora para la creación de prototipos de aprovechamiento de Energías Alternativas (Biomasa-Eólica-Solar-Geotérmica), mediante herramientas de software base para el modelado y simulación, tales como: NX (Siemens), SolidWorks, Catia, ANSYS y Matlab.
- Creación de un pirolizador de biomasa para solucionar una problemática de aprovechamiento de residuos agrícolas de la empresa tequilera Agrícola Carbonera el Capricho S.P.R. de R.L. de C.V.
- Consorcios con empresas como Contru-Coss S.A. de C.V., 4E Power and Fuels S.R.L., Hal Aluminium México S.A. de C.V. Comprimidos de Biomasa Todo Pellet S.A.P.I. de C.V.

CONCLUSIONES

La creación de equipos multidisciplinarios de alto rendimiento en las universidades o tecnológicos del país representa numerosas ventajas, pues con la colaboración de académicos y alumnos de alto perfil se pueden lograr grupos de trabajo que de manera eficiente generen soluciones a las problemáticas de las empresas del entorno, esto solo tiene sentido mediante la vinculación de las universidades con el sector industrial, para que los desarrollos generados en los centros de estudio puedan traducirse en aportes reales y prácticos para las empresas que lo necesitan.

Como desarrollo de proyectos de vinculación se obtienen beneficios prácticos tanto para las empresas, pero en especial para los estudiantes, los cuales refuerzan y perfeccionan aptitudes y habilidades que les serán de gran utilidad en el entorno laboral.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Cabral, E. G. (2019). Estrategia de vinculación para la medición de competencias de egreso en la formación del ingeniero. *ANFEI DIGITAL*(11).

2. Gonzáles de la Fe, T. (2009). El modelo de Triple Hélice de relaciones universidad, industria y gobierno: un análisis crítico. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*. doi:10.3989/arbor.2009.738n1049
3. Leydesdorff, L. y. (1998). The triple Helix as a model for innovation studies. *Science and Public Policy*, 25(3), 195-203.
4. Realivazquez, K. A. (2016). *La relación entre capital humano y la ventaja competitiva en microempresas incubadas del sur de Sonora*. Obtenido de <http://premio.investiga.fca.unam.mx/docs/XXI/8.1.pdf>
5. Rico, M. G. (2019). Infusión de habilidades en la formación de ingenieros y su vinculación con su entorno laboral. *ANFEI DIGITAL*(11).

OBTENCIÓN DE NANOBARRAS DE ZNO EN SÍNTESIS DE BAJA TEMPERATURA

Fabiola del Carmen Gómez Torres¹, José Luis Cervantes López¹, Angélica Silvestre López Rodríguez¹, Ma Guadalupe Garnica Romo², Antonia del Rocío López Guemez¹, Elsa Emilia Uicab Córdova¹, Ibis Ricardez Vargas¹ y Laura Lorena Díaz Flores¹

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ² Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
fabiolagomeztr@gmail.com

RESUMEN

Se obtuvieron recubrimientos de ZnO sobre sustrato flexible de ITO/PET, obtenidos mediante una capa semilla por spin coating y un crecimiento de nanobarras de ZnO por el método hidrotermal. Se utilizó el proceso sol gel para la síntesis de ZnO que recubrió el sustrato flexible de ITO/PET mediante spin coating para obtener una capa semilla que coadyuve en la nucleación y crecimiento de nanobarras de ZnO. La temperatura de secado de la capa semilla fue de 90 °C y posteriormente el sustrato recubierto de ZnO se colocó cara abajo en una solución de nitrato de zinc hexahidratado [$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$] y hexametilentetramina ($C_6H_{12}N_4$) empleada para la síntesis hidrotermal de ZnO durante 2.5 horas a 90 °C a 10, 15 y 20 mM de concentración. Se realizó el estudio de las propiedades ópticas, estructurales y morfológicas de los recubrimientos. Los resultados de la evaluación por espectroscopía Uv-Vis muestran niveles mayores a 0.6 % de absorbancia en el rango visible para todas las concentraciones utilizadas en la síntesis hidrotermal, el ancho de banda prohibida de los recubrimientos fue de 3.04 a 3.15 eV. La evaluación estructural realizada por difracción de rayos X revela la estructura hexagonal wurtzita y una orientación preferencial en el plano (002). La evaluación morfológica muestra nanobarras con un diámetro promedio de 320 a 530 nm. Teniendo como posible aplicación en nanogeneradores piezoeléctricos.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de nanocables de ZnO sobre sustratos flexibles por el método hidrotermal [1], tiene un gran potencial por su integración en dispositivos de nanoescala, sin embargo los efectos de la concentración de los reactivos precursores están aún en estudio, se ha reportado que la concentración de la solución de nitrato de zinc hexahidratado [$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$] [2] y hexametilentetramina ($C_6H_{12}N_4$) [3] empleada para la síntesis hidrotermal de ZnO [4], puede determinar el diámetro y longitud de los nanocables [5], los diámetros reportados varían de 50 a 100 nm, mientras que la longitud se considera que está en función del tiempo de crecimiento [6]. De igual manera la relación de aspecto y la densidad están relacionadas con la temperatura de crecimiento [7]. Entre los métodos más utilizados de síntesis de nanocables de ZnO se encuentra el método hidrotermal, ya que permite el crecimiento a baja temperatura, se trabaja a presión atmosférica sobre áreas grandes [8]. Los nanogeneradores fabricados con nanoestructuras de ZnO, son considerados viables para la recolección de energía ambiental, para el abastecimiento de nanosistemas independientes, inalámbricos y sostenibles [9].

PARTE EXPERIMENTAL

Síntesis de la solución precursora de ZnO para el depósito de la capa semilla

Para utilizar el sustrato flexible de PET recubierto de ITO (ITO/PET), se limpia con agua desionizada durante 10 minutos, después se continúa con la limpieza en acetona durante 10 minutos en un baño ultrasónico y se seca con una pistola de aire caliente. La hoja de ITO/PET limpia se divide en hojas de 2.5 cm de lado, para su uso en el reactor hidrotermal. Se llevó a cabo la síntesis por el método sol gel de la solución precursora, para el depósito de la capa semilla, con acetato de zinc dihidratado [$Zn(O_2CCH_3)_2 \cdot (H_2O)_2$] disuelto en propanol con una concentración de 10 mM. Se depositaron 100 μ l de solución sobre el sustrato de PET recubierto de ITO (ITO/PET) que fueron centrifugados a 3000 RPM durante 50 segundos y se aplicaron 3 capas de esta solución al sustrato PET/ITO con una temperatura de secado de 90 °C durante 10 minutos en la capa 1 y 2, mientras que en la tercera capa el tiempo de secado fue de 60 minutos a 90 °C.

Síntesis por método hidrotermal y reacción en baño maría

Los reactivos empleados en la síntesis de la solución precursora de nanocables de ZnO, fueron el nitrato de zinc hexahidratado [$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$] y la hexametilentetramina ($C_6H_{12}N_4$) (HMTA) disueltos en agua desionizada durante 30 minutos de agitación, con una relación molar 1:1 entre ambos reactivos, se sintetizaron 3 soluciones con concentración de 10, 15 y 20 mM, respectivamente [10], [11], [12].

Las muestras se colocaron dentro del vaso de teflón del reactor a 90 °C durante 150 minutos, en el baño maría. En la Figura 1 se muestra un esquema del proceso.



Figura 1. Esquema general del proceso de síntesis de ZnO por el método hidrotermal.

RESULTADOS

Análisis por espectroscopía UltraVioleta-Visible (UV-Vis)

Utilizando la espectroscopía ultravioleta visible en modo absorbancia de 6 películas de ZnO sobre vidrio Corning, se obtuvieron los espectros de absorbancia de películas de ZnO que se muestran en la Figura 2, donde se observa la banda de excitón a 315 nm y un cambio en el rango azul del espectro (≈ 375 nm) [13]. Este cambio al azul se debe principalmente al efecto de confinamiento cuántico de los nanocables ZnO [14]. En la Figura 3 se observa la gráfica con el cálculo de ajuste lineal de $(\alpha h\nu)^2$ en función de la energía del fotón ($h\nu$), del cual se obtuvieron los valores de 3.04 a 3.15 eV.

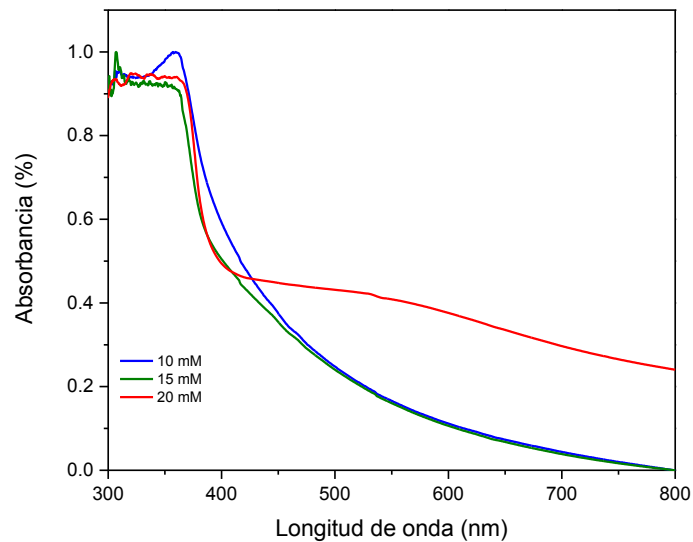


Figura 2. Espectros de absorbancia de las películas de ZnO obtenidas a 10, 15 y 20 mM

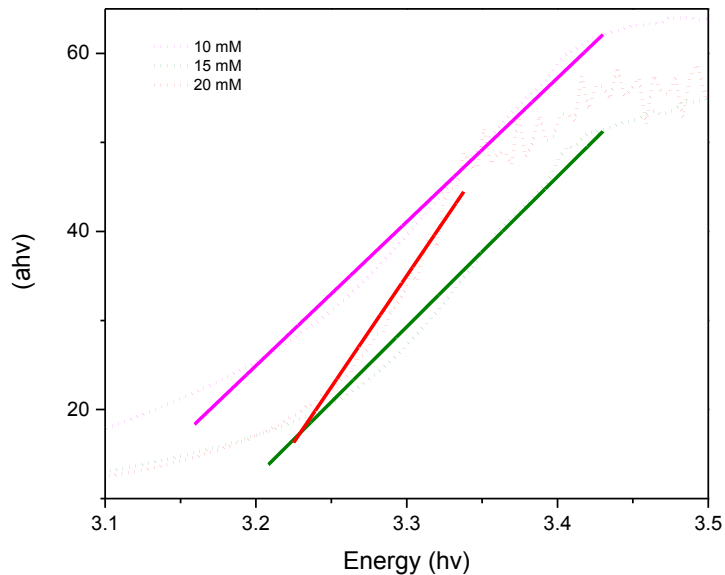


Figura 3. Cálculo del ancho de banda prohibida con valores de 3.04, 3.12 y 3.15 eV para la muestra a 10, 15 y 20 mM respectivamente.

Evaluación por Difracción de Rayos X

Las mediciones de la estructura cristalina, fueron realizadas en un Difractómetro de rayos X en un rango de 30 a 70 °, en escala 2 θ grados, con un difractómetro Bruker D2 Phaser usando radiación CuK α con una longitud de onda $\lambda = 1.5418$ Å, 30 kV y 10 mA, se realizó el análisis por el refinamiento Rietveld para ajustar por mínimos cuadrados los datos teóricos y coincidan con el perfil medido, mediante los softwares Jade y Maud. En las Figuras 4, 5 y 6 se muestran los refinamientos de los difractogramas de las muestras de ZnO obtenidas a 90°C en baño María con una concentración en la solución hidrotermal de 10, 15 y 20 mM, respectivamente.

En la Figura 4, se observan picos de difracción en el plano (002) a 34.80 ° de acuerdo a la carta cristalográfica JCPDS 036-1451, que corresponden a la estructura cristalina de ZnO en su fase hexagonal wurtzita, para las muestras realizadas en baño maría en el reactor. Los picos marcados con asterisco corresponden a los del sustrato PET/ITO [14].

En las Figuras 5 y 6 se observa que las muestras presentan picos orientados en el plano (002), de la fase wurtzita de ZnO, indicando que este es el proceso que genera materiales de ZnO con una mejor cristalinidad y que corresponden a la orientación preferencial del ZnO [15].

En la Tabla 1, se muestran los parámetros de red, obtenidos por el refinamiento Rietveld, en el que no se observa cambios significativos en "a" y "c" a razón del incremento en la concentración.

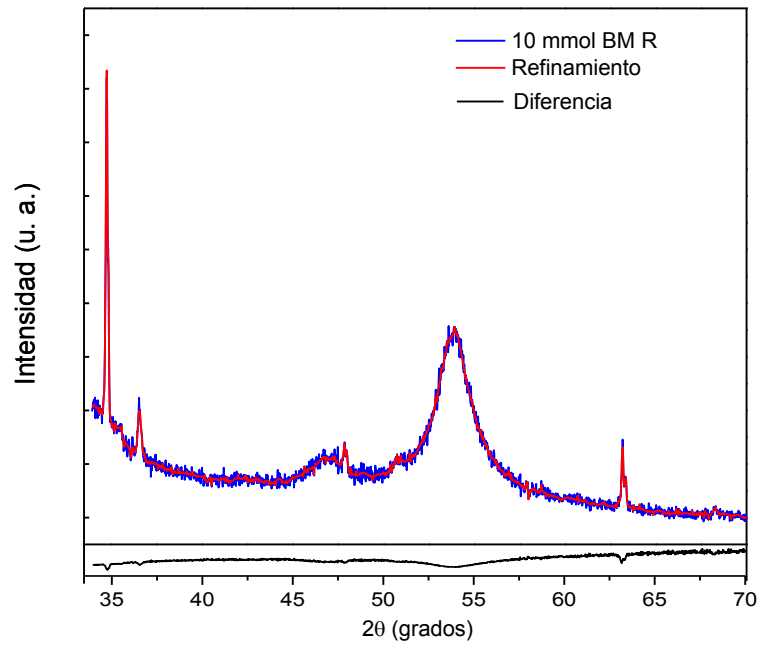


Figura 4. Análisis Rietveld de recubrimientos de ZnO sobre sustrato flexible de ITO/PET a 10 mMol

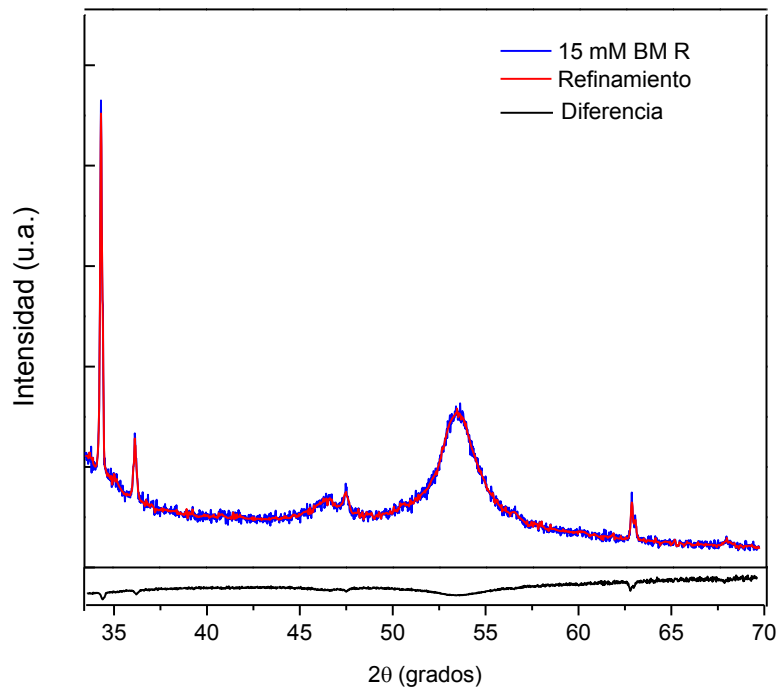


Figura 5. Análisis Rietveld de recubrimientos de ZnO sobre sustrato flexible de ITO/PET a 15 mMol

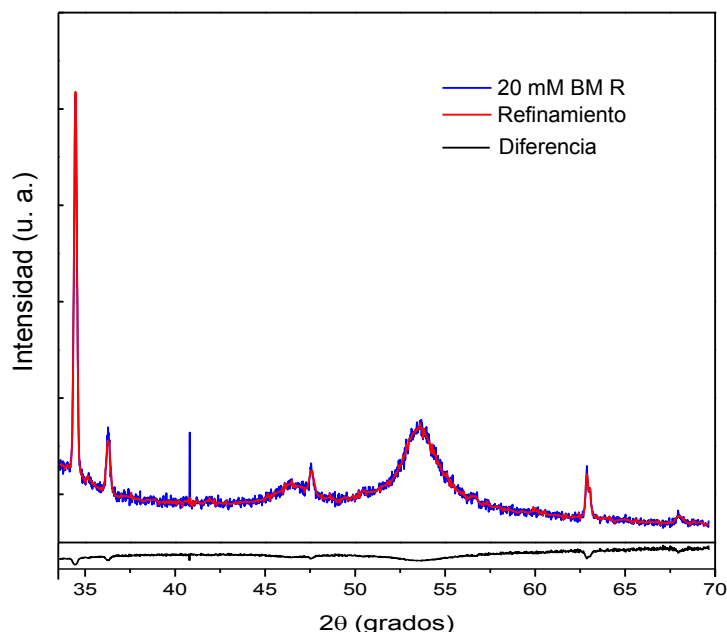


Figura 6. Análisis Rietveld de recubrimientos de ZnO sobre sustrato flexible de ITO/PET a 20 mMol

Tabla 1. Parámetros de red, obtenidos por refinamiento Rietveld

ZnO obtenido en Baño María	Parámetros de red	
	a = b (Å)	c (Å)
10 mM	3.2230	5.2776
15 mM	3.2528	5.2098
20 mM	3.2487	5.2022

Análisis por Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo

Se realizó la medición de las películas de ZnO por Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM), para comprobar la morfología de nanocables y medir el diámetro obtenido por efecto de las 3 concentraciones utilizadas (10, 15 y 20 mmol).

En la Figura 7 a), b) y c), se observan las micrografías de nanocables de ZnO, obtenidos por el proceso hidrotermal en un reactor mediante baño maría, las estructuras hexagonales están agrupadas sobre un área circular, en su mayoría se encuentran alineadas perpendicular al sustrato, se observan nanocables de ZnO agrupados en áreas circulares y perpendiculares al sustrato. En la Tabla 2 se presenta la medición del diámetro de los nanocables de ZnO con respecto a la concentración de la solución en el proceso hidrotermal.

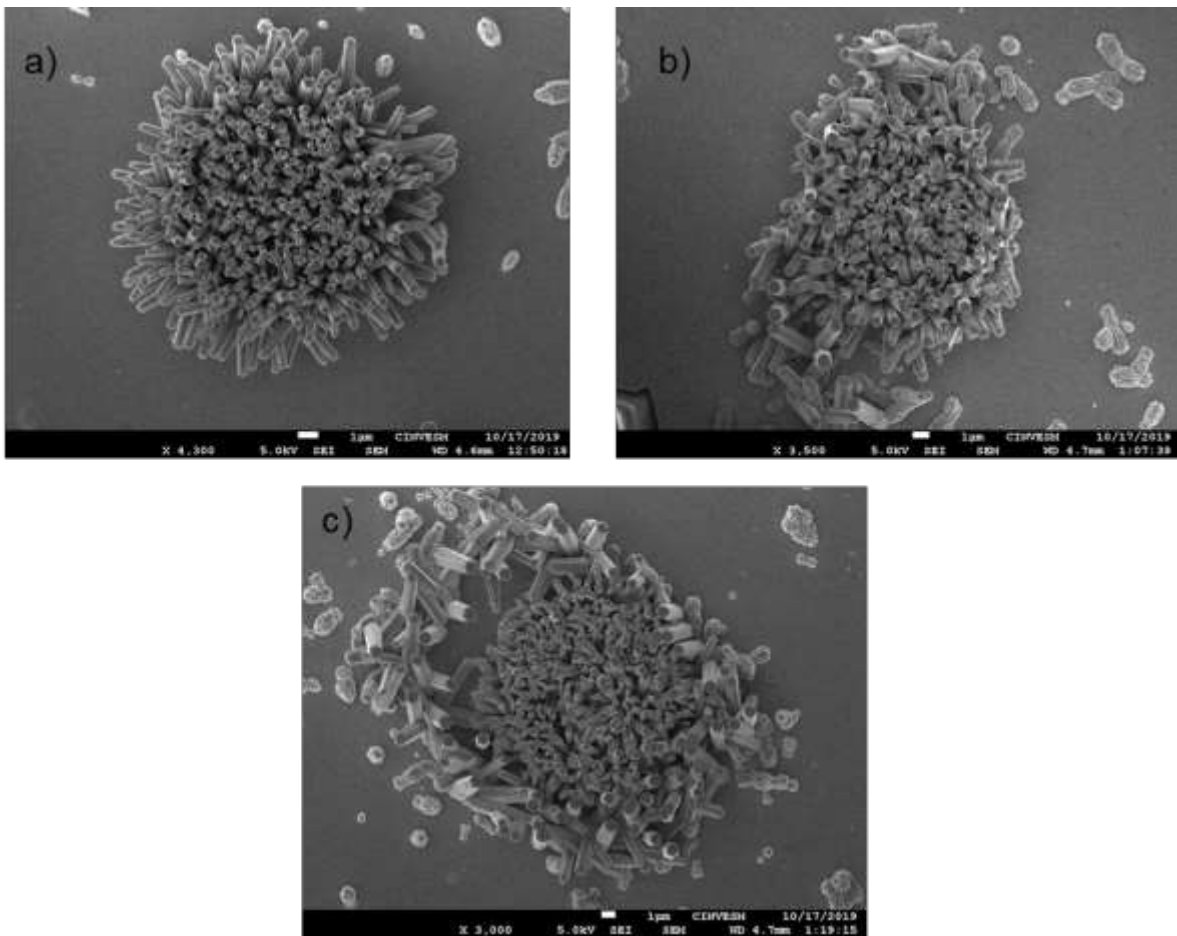


Figura 7. Micrografías de FESEM de películas de ZnO en baño maría en una concentración de a) 10, b) 15 y c) 20 mM.

Tabla 2. Diámetro promedio de nanocables de ZnO

Muestra	Diámetro promedio en nm
10 mM	405 ± 46
15 mM	476 ± 48
20 mM	453 ± 120

De acuerdo a los resultados de la Tabla 2, por efecto de la concentración en la solución hidrotermal para las películas de ZnO a baño María hay un incremento aproximado de 17% comparando las películas de ZnO a 10 mM con las de 15 y 20 mM, sin embargo, la morfología a 20 mM presenta mayor variación en el diámetro, ya que se tienen estructuras hexagonales desde 300 hasta 600 nm aproximadamente.

CONCLUSIONES

La obtención de nanobarras de ZnO por el método hidrotermal, crecidas sobre una capa semilla de ZnO obtenida por solgel y depositada por spin coating sobre el sustrato de PET/ITO mostraron

buenos resultados, en su orientación preferencial (002) de acuerdo a los resultados por DRx. Los recubrimientos de las nanobarras de ZnO están orientadas perpendicularmente al sustrato, lo que se corrobora en las imágenes en FESEM. La ruta de síntesis es un proceso reproducible a baja temperatura, capaz de modular el crecimiento de nanoestructuras de ZnO hacia una morfología deseada, controlando los parámetros de síntesis.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. M. Vladut *et al.*, "Optical and Piezoelectric Properties of Mn-Doped ZnO Films Deposited by Sol-Gel and Hydrothermal Methods," vol. 2019, 2019.
2. R. Tao, M. Parmar, G. Ardila, P. Oliveira, and D. Marques, "Performance of ZnO based piezo-generators under controlled compression," 2017.
3. R. Parize, J. D. Garnier, O. Chaix-, C. Verrier, E. Appert, and V. Consonni, "Effects of HMTA on the Nucleation and Radial Growth of ZnO Nanowires by Chemical Bath Deposition," 2016.
4. P. Obreja, D. Cristea, A. Dinescu, and C. Romani, "Applied Surface Science Influence of surface substrates on the properties of ZnO nanowires synthesized by hydrothermal method," vol. 463, no. September 2018, pp. 1117–1123, 2019.
5. M. S. Al-Ruqeishi, T. Mohiuddin, B. Al-Habsi, F. Al-Ruqeishi, A. Al-Fahdi, and A. Al-Khusaibi, "Piezoelectric nanogenerator based on ZnO nanorods," *Arabian Journal of Chemistry*, 2016.
6. Z. Lin, "Nano Energy phototronics – A recall on the original thoughts for coining these fields," *Nano Energy*, vol. 54, no. October, pp. 477–483, 2018.
7. W. Rahman, S. Garain, A. Sultana, T. Ranjan Middya, and D. Mandal, "Self-Powered Piezoelectric Nanogenerator Based on Wurtzite ZnO Nanoparticles for Energy Harvesting Application," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 3, pp. 9826–9830, 2018.
8. T. Zhao, Y. Fu, Y. Zhao, L. Xing, and X. Xue, "Ga-doped ZnO nanowire nanogenerator as self-powered / active humidity sensor with high sensitivity and fast response," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 648, pp. 571–576, 2015.
9. B. Kumar and S. Kim, "Energy harvesting based on semiconducting piezoelectric ZnO nanostructures," *Nano Energy*, vol. 1, no. 3, pp. 342–355, 2012.
10. H. Guo, R. Ding, N. Li, K. Hong, L. Liu, and H. Zhang, "Defects controllable ZnO nanowire arrays by a hydrothermal growth method for dye-sensitized solar cells," *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 105, pp. 156–161, 2019.
11. M. K. Mustafa, Y. Iqbal, U. Majeed, and M. Z. Sahdan, "Effect of precursor's concentration on structure and morphology of ZnO nanorods synthesized through hydrothermal method on gold surface," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1788, 2017.
12. M. Zhao, Y. Cheng, J. Lv, and Y. Zhang, "Effect of solution concentration on surface morphology, optical properties and solar light response of ZnO thin films," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 28, no. 3, pp. 2731–2738, 2017.
13. B. Kiliç, L. Wang, O. Ozdemir, M. Lu, and S. Tüzemen, "One-dimensional (1D) ZnO nanowires dye sensitized solar cell," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 13, no. 1, pp. 333–338, 2013.
14. T. Demes *et al.*, "Mechanisms involved in the hydrothermal growth of ultra-thin and high aspect ratio ZnO nanowires," *Applied Surface Science*, vol. 410, pp. 423–431, 2017.
15. P. Rajagopalan and V. Singh, "Enhancement of ZnO-based flexible nano generators via a sol-gel technique for sensing and energy harvesting applications," 2018.

SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO DE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL DE BÓVEDA DE CAÑÓN BAJO CARGAS GRAVITACIONALES

*Francisco Adolfo Granados García¹, Jatziri Yunuén Moreno Martínez², Arturo Galván Chávez², Israel Enrique Herrera Díaz³

¹Estudiante, Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra. ²Profesor de Tiempo Completo, Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra. ³Profesor de Tiempo Completo, Depto. Ingeniería Agrícola, División de Ciencias de la Vida. Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca.

francisco-adolfo55@hotmail.com

RESUMEN

Las iglesias son consideradas parte importante de los lugares donde se encuentran construidas debido al valor cultural y religioso que aportan. Aunque inicialmente estas construcciones se diseñaron para soportar sus propias cargas gravitacionales, hoy en día cierto número de ellas se encuentra en peligro debido a fallas estructurales relacionadas con el peso propio de su estructura; una de las principales razones de esta problemática es la degradación de los materiales con el paso del tiempo. Es por esto que surge la importancia de realizar análisis que nos permitan conocer hasta cierto punto, el daño que se puede llegar a producir en estas estructuras debido a su peso propio. La esencia de este trabajo de investigación está dentro de un ámbito estrictamente numérico, es decir, la modelación aproximada del comportamiento no-lineal de una sección de la bóveda de cañón corrido de la Iglesia de Yecapixtla que data del siglo XVI ubicada en el Estado de Morelos. El método utilizado para el análisis es mediante la simulación numérica de la estructura implementando un modelo constitutivo desarrollado en un software de elementos finitos; el cual, utilizando el criterio de falla de Drucker Prager y la superficie de falla de Willam Warnke, simula el comportamiento no lineal de materiales cuasi-frágiles. Este modelo emplea elementos tridimensionales isoparamétricos que cuentan con ocho nudos, cada nudo tiene tres grados de libertad de traslación en las direcciones de los ejes x, y, z, tienen la capacidad de agrietarse (en tres direcciones ortogonales) y aplastarse en todos sus puntos de integración según sean los esfuerzos a los que estén sometidos; así mismo, de simular la deformación plástica. Debido a que no se cuentan con pruebas in situ, las propiedades para la caracterización de los materiales fueron basadas en la literatura. Para el análisis, el modelo se sometió a la carga total correspondiente a su peso propio aplicada en varios porcentajes de incremento y se obtuvo una curva carga-desplazamiento en la clave del arco de la bóveda. De igual manera, a través del programa de elementos finitos se obtuvieron los agrietamientos producidos en la estructura debido a los esfuerzos de tensión, así como el aplastamiento en las zonas de compresión. Finalmente, los resultados del Modelo numérico realizado en este trabajo se compararon con la curva factor de carga-desplazamiento del Modelo numérico de García y el agrietamiento se comparó con el prototipo mostrando buena aproximación.

INTRODUCCIÓN

La República Mexicana cuenta con un gran patrimonio de templos que deberían ser monitoreados y evaluados estructuralmente para evitar su deterioro y posible desaparición. La belleza de estos edificios recae en que tengan un buen estado estructural y arquitectónico, entre más preservados estén, mayor aporte visual brindarán al sitio donde se encuentren construidos y otorgarán una mayor confianza a las personas que asistan a ellos.

La construcción de los templos católicos en nuestro país comenzó en la época colonial, lo que indica que a lo largo del tiempo se han enfrentado a diversas solicitaciones que han puesto a prueba su configuración estructural. Un gran número de estas edificaciones todavía continúan en buen estado, pero algunas de ellas ya no existen actualmente. Además de esto, una cantidad considerable se encuentran en peligro debido a fallas estructurales relacionadas con el peso propio de su estructura; posiblemente debido a la utilización de diferentes tipos de materiales para conformar la estructura y a la degradación los mismos con el paso del tiempo. Es por todo esto que surge la motivación de

desarrollar modelos numéricos que nos ayuden a evaluar el comportamiento de las secciones de bóvedas de los templos y el grado de daño al que se someten bajo cargas gravitacionales. Existen diversas configuraciones estructurales en los templos según el periodo arquitectónico en el que fueron edificados, pero los templos coloniales en México contaban principalmente con los siguientes elementos: cimentación, muros, contrafuertes y las bóvedas con sus diferentes tipos (Meli, 2011). Dentro de principales tipos de bóvedas se encuentran las bóvedas de cañón corrido, las bóvedas de cañón con arcos, las bóvedas de nervaduras y las bóvedas con lunetos. Para este trabajo el tipo de bóveda de interés es la de cañón corrido, que es una bóveda con una superficie semicilíndrica, generada geoméricamente por la prolongación de un arco de medio punto a lo largo de un eje longitudinal. La técnica de las bóvedas de cañón corrido surgió de la necesidad de cubrir edificios construidos con mampostería, como ladrillos o piezas de piedra, en lugares donde escaseaba la madera (Meza, 2013). En la Figura 1 se muestra un modelo en 3D de este tipo de bóveda.



Figura 58. Modelo de bóveda de cañón corrido

Una de las regiones donde se establecieron numerosos complejos conventuales durante la época colonial es el Estado de Morelos, dentro de estos conventos las tres órdenes mendicantes llegadas a la Nueva España construyeron templos con el fin de evangelizar y convertir a la población indígena al catolicismo (Juárez, 2017). A lo largo del tiempo, muchas de las edificaciones en esta región han sido modificadas tanto estructural como arquitectónicamente; sin embargo, la Iglesia de Yecapixtla ha sido una de las pocas que aún conservan sus elementos estructurales originales de bóveda de cañón corrido, muros y contrafuertes desde su construcción en el Siglo XVI, es debido a esto que se ha elegido como caso de estudio para poder desarrollar un modelo numérico mediante la utilización del Método del Elemento Finito y compararlo con uno tomado de la literatura (García, 2007), con el objetivo de obtener parámetros de confiabilidad para la aplicación de esta metodología de análisis bajo cargas gravitacionales a casos de estructuras similares en geometría y época de construcción.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE MAMPOSTERÍA HISTÓRICA

El análisis de estructuras antiguas es una tarea complicada debido a diversos factores que intervienen tanto en la caracterización de la mampostería como en la modelación de la estructura. Algunos de estos factores son la escasa información acerca de la constitución interna de los elementos estructurales y las diferencias importantes en las propiedades mecánicas de los distintos tipos de mampostería, dentro de un elemento o en diferentes partes de una estructura.

Existen diversos métodos de análisis numéricos para estudiar la mampostería, el que es considerado para este trabajo es el método de los elementos finitos considerando un comportamiento no-lineal. Este método brinda la posibilidad de incorporar un modelo constitutivo para simular los principales fenómenos que están asociados con la falla del material, como lo es el agrietamiento de la estructura. Según Laurenço (1996), en el uso del método de los elementos finitos para la modelación de mampostería existen tres escalas de estudio: macromodelos, micromodelos simplificados y micromodelos detallados. Cada uno de ellos tiene diversas ventajas según el tipo de estructura y estudio que se pretenda realizar, para este trabajo se optó por un macromodelo. Este macromodelo

es en donde los bloques, las juntas de mortero y las interfases entre estas últimas y las unidades sólidas se agrupan como un solo material con propiedades homogenizadas (Chávez, 2010). En la Figura 2 se muestra el concepto de un macromodelo de mampostería.

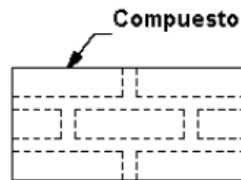


Figura 59. Macromodelo de mampostería regular (Laurenço, 1996)

Debido a lo mencionado anteriormente, es necesario establecer un modelo constitutivo para reproducir el comportamiento de la estructura de una manera adecuada. Uno de los modelos que funciona para representar la mampostería es el de Willam y Warnke (1975), este modelo ha sido ampliamente utilizado por diversos autores para analizar el comportamiento de mamposterías sin refuerzo. Aunque este modelo fue desarrollado para el concreto reforzado, puede ser utilizado para la mampostería histórica, solo ignorando el acero de refuerzo. De igual manera, para calcular los efectos multiaxiales de los esfuerzos, es necesario considerar las deformaciones plásticas; de lo contrario, no es posible simular los mecanismos de colapso de las estructuras de mampostería. Para esto se adopta uno de los criterios de falla utilizados para los modelos con elasticidad no lineal, el más comúnmente usado es el criterio de falla de Drucker-Prager.

Tomando lo anterior como base, la mampostería histórica puede asumirse como un concreto ciclópeo para su modelación numérica. Es por esto que, el modelo constitutivo seleccionado para este desarrollo es el implementado para el concreto en el software ANSYS Mechanical APDL 16.2; el cual, utilizando el criterio de falla de Drucker Prager y la superficie de falla de Willam – Warnke, simula el comportamiento no lineal de materiales cuasi-frágiles. Emplea elementos tridimensionales denominados "solid65"; estos elementos isoparamétricos cuentan con ocho nudos y ocho puntos de integración, cada nudo tiene tres grados de libertad de traslación, en las direcciones de los ejes "x", "y" y "z" (ANSYS 2016), como se muestra en la Figura 3.

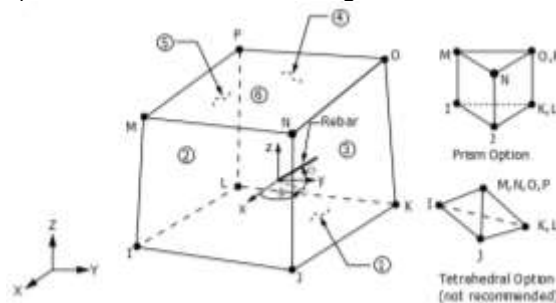


Figura 60. Geometría del elemento solid65 (ANSYS 2016)

Estos elementos tienen la capacidad de agrietarse (en tres direcciones ortogonales) y aplastarse en todos sus puntos de integración según sean los esfuerzos a los que estén sometidos; así mismo, de simular la deformación plástica. Esto siempre que se le asignen las propiedades del material requeridas para el análisis.

CASO DE ESTUDIO

La metodología de estudio consiste en aplicar el peso propio de la estructura en intervalos de carga hasta llegar al peso total. Posteriormente se aplica una carga equivalente al peso de la bóveda, distribuida en intervalos hasta alcanzar la falla de la estructura por inestabilidad o por aplastamiento de la mampostería. Los resultados de los análisis se evalúan mediante la gráfica de factor de carga-desplazamiento, donde el factor de carga representa la relación entre la carga total aplicada con el peso de la bóveda y los desplazamientos son los verticales producidos en la clave de la bóveda. En

la Figura 4 se presenta la geometría de la sección de bóveda de la Iglesia de Yecapixtla en el Estado de Morelos (prototipo).

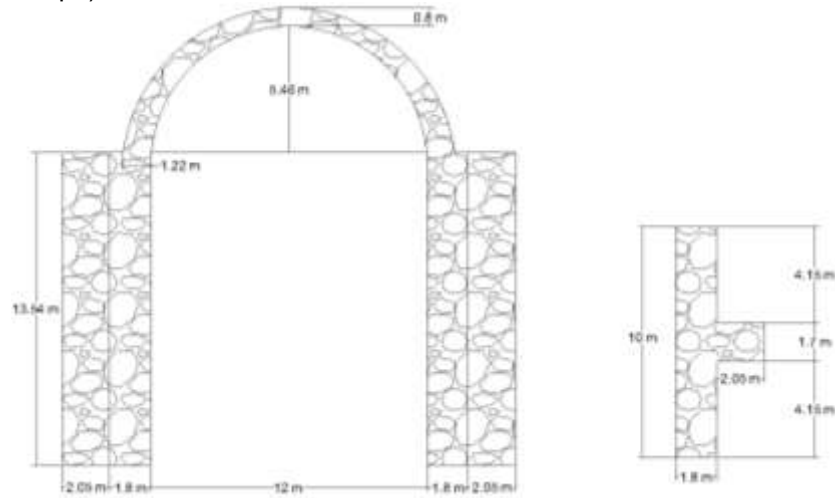


Figura 61. Geometría de la sección de bóveda Iglesia de Yecapixtla

Las propiedades mecánicas de los materiales para este análisis se basan en lo propuesto por la literatura (Sánchez y Meli, 1991; García, 2007). A continuación, se muestran en la Tabla 1 las propiedades introducidas en el Modelo numérico:

Tabla 25. Propiedades de la mampostería incluidas para el Modelo numérico

Propiedades de la mampostería	
Módulo de elasticidad (kg/m ²)	199966300
Relación de poisson	0.3
Peso volumétrico (kg/m ³)	1600
Cohesión (kg/m ²)	20985.8
Ángulo de fricción (°)	40
Ángulo de dilatancia (°)	0
Resistencia a la compresión (kg/m ²)	299796.6
Resistencia a la tensión (kg/m ²)	20985.76

Una vez que se tiene la geometría y las propiedades de la mampostería, se procede a desarrollar el modelo en el software de elementos finitos ANSYS Mechanical APDL como se muestra en la Figura 5.

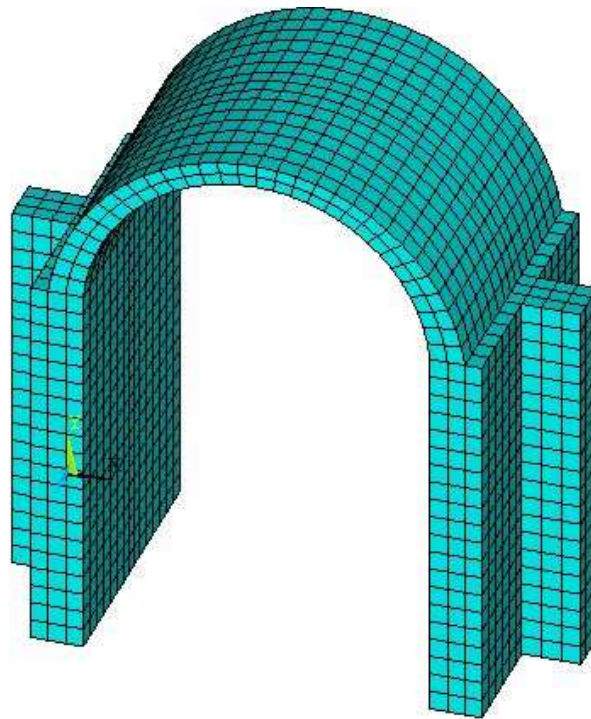


Figura 62. Modelo de la sección de bóveda de la Iglesia de Yecapixtla

La estructura consta de un macromodelo a base de 3060 elementos y 4584 nodos, las condiciones de frontera consisten en restringir todos los grados de libertad en las áreas de la base de la estructura.

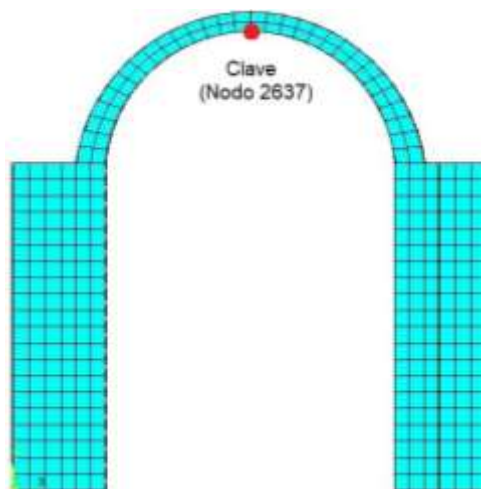


Figura 63. Ubicación de la clave de la estructura (Nodo 2637)

Posteriormente, se ejecutó el procedimiento de análisis bajo cargas gravitacionales mencionado anteriormente y se monitorea el desplazamiento vertical en la clave de la bóveda en el nodo 2637 (Figura 6).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de realizar el análisis mencionado en el apartado anterior, mediante la Figura 7 se muestran los desplazamientos verticales presentes por regiones en la estructura con las unidades de la escala

de colores expresadas en metros, siendo las regiones en azul las de mayor desplazamiento en sentido de la gravedad y las regiones en rojo las de menor desplazamiento.

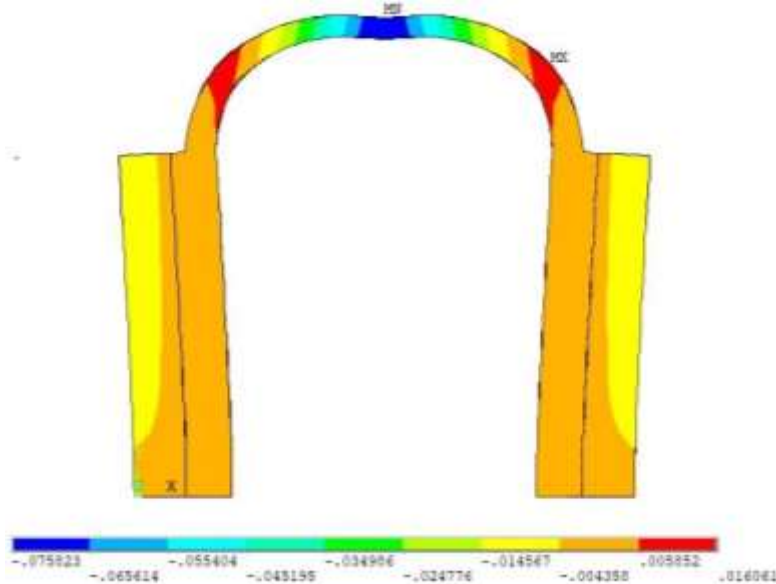


Figura 64. Desplazamientos verticales debido a cargas gravitacionales en la estructura (unidades: metros)

De igual manera, en la Figura 8 se muestran los desplazamientos totales (ejes "x", "y", "z") representados como vectores que se presentan en la estructura debido a las cargas gravitacionales, con su respectiva escala de colores y valores dados en metros.

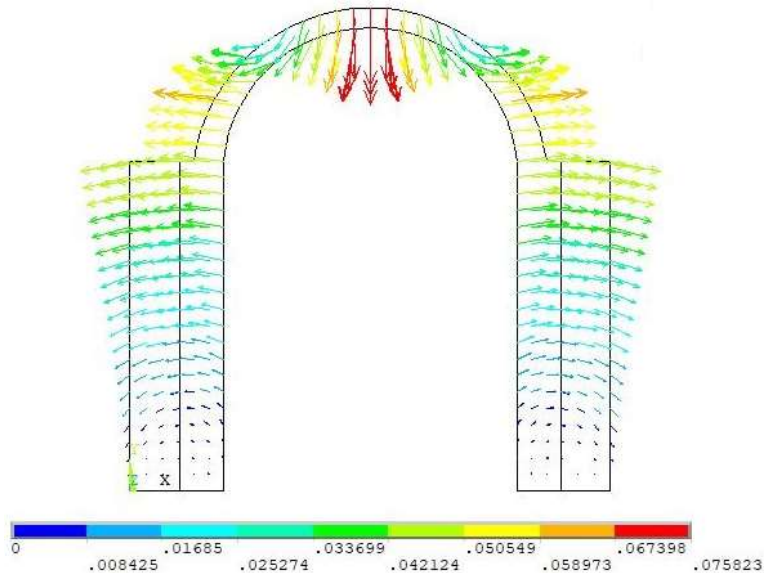


Figura 65. Desplazamientos totales en la estructura debido a cargas gravitacionales (unidades: metros)

Con los desplazamientos en el nodo 2637 y la relación que existe entre el peso aplicado y el peso de la bóveda (factor de carga), se elabora la curva de factor de carga-desplazamiento para el modelo desarrollado en este trabajo y se compara con la curva numérica del Modelo de García (2007) como se muestra en la figura 9.

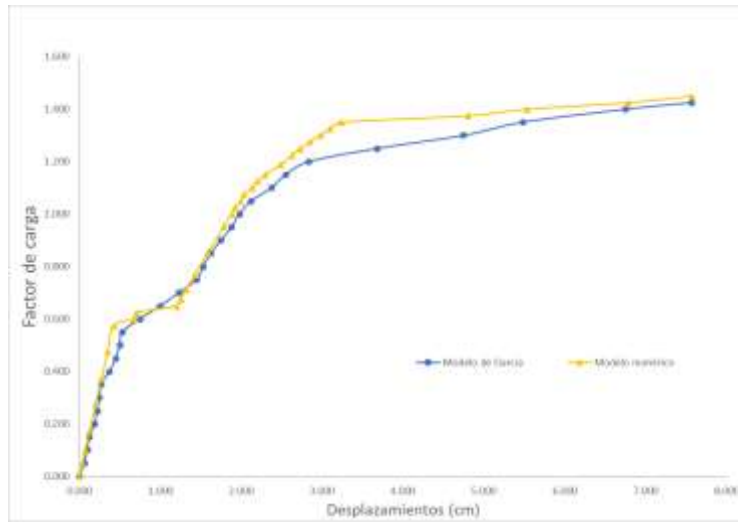


Figura 66. Curvas factor de carga-desplazamiento

Se observa que la curva factor de carga-desplazamiento del Modelo numérico brinda una buena aproximación con respecto al Modelo de García. En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos del análisis.

Tabla 26. Resultados de los análisis

Característica	Modelo numérico	Modelo de García
Factor de carga último	1.45	1.43
Desplazamiento final (cm)	7.58	7.57

Así mismo, el Modelo de García comparó el agrietamiento observado con el prototipo debido a que no se cuenta con una curva experimental carga-desplazamiento. En las Figuras 10, 11 y 12 se presentan los agrietamientos finales del Modelo numérico y se comparan con los del prototipo, se puede apreciar que el agrietamiento se desarrolla en regiones muy similares y el mecanismo de falla es por inestabilidad.

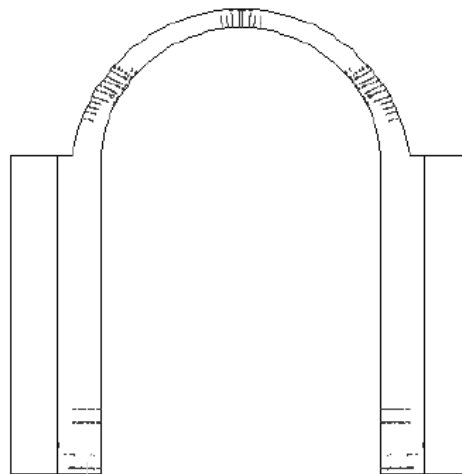


Figura 67. Agrietamientos de la estructura en el prototipo (García, 2007)

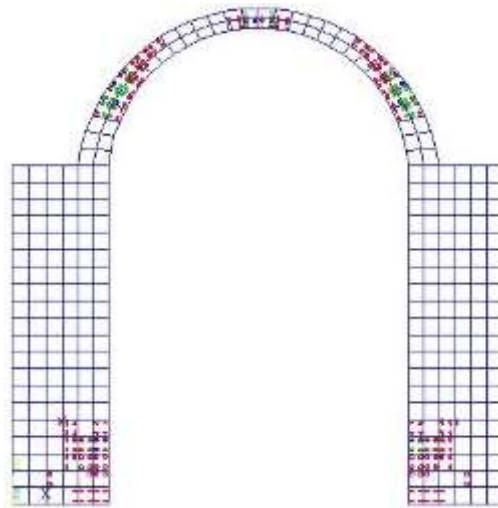


Figura 68. Agrietamientos de la estructura en el Modelo numérico

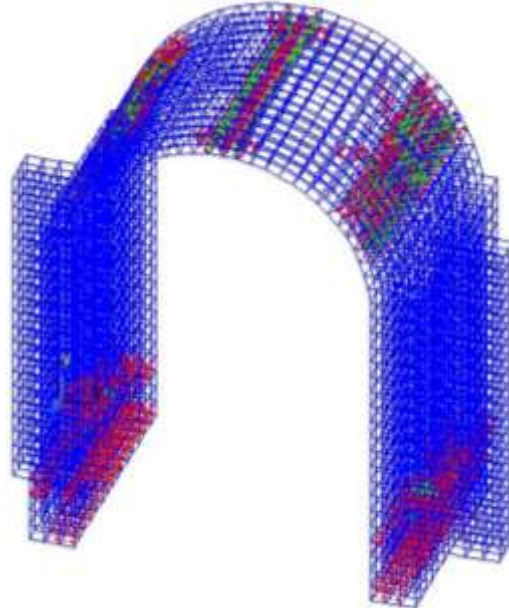


Figura 69. Vista oblicua de los agrietamientos en el Modelo numérico

Como se puede observar en las figuras 11 y 12, los mayores agrietamientos se producen en la clave de la bóveda y en los riñones, mientras que en los muros y contrafuertes se presentan en mucha menor medida. La metodología empleada en este trabajo puede ser aplicada a otras bóvedas con diferentes configuraciones geométricas pertenecientes a la misma época de construcción tomando en cuenta que ya contamos con las propiedades mecánicas de los materiales.

CONCLUSIONES

En este estudio se realizó un modelo numérico no-lineal de una sección de bóveda de cañón corrido, el cual fue comparado con el Modelo de García con el objetivo de evaluar el comportamiento producido en la estructura debido a cargas gravitacionales. Tomando en cuenta la buena aproximación de la curva factor de carga-desplazamiento, se considera adecuado el uso del modelo numérico desarrollado para estimar los daños producidos bajo cargas gravitacionales, de igual manera se comparó el agrietamiento con el prototipo de la estructura y se pudo corroborar que las propiedades mecánicas de los materiales son adecuadas para la calibración del modelo. El modelo

constitutivo empleado en el estudio se puede utilizar para representar el comportamiento de otras estructuras de mampostería histórica considerando secciones con bóvedas de diferentes configuraciones geométricas de la sección transversal y distintos parámetros para las propiedades mecánicas de los materiales según el periodo en el que hayan sido construidas.

REFERENCIAS

1. ANSYS (2016), "Documentation for ANSYS". ANSYS Workbench Release v. 16.2. ANSYS Inc. USA.
2. Chávez Cano, M. M. (2010). Validación experimental de modelos analíticos para el estudio del comportamiento sísmico de estructuras históricas. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
3. García Gómez, N. (2007). Funcionamiento y seguridad estructural de los templos conventuales del Siglo XVI en México. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
4. Juárez Salomo, N. A. (2017). Patrimonio de la humanidad: Ruta de los conventos...Espacios para la cultura, la recreación y la vida. Revista Digital Universitaria UNAM, Vol. 18 (4), pp. 4-5.
5. Laurenço, P. J. (1996). Computational strategies for masonry structures. Delft, Netherlands. University of Technology Delft.
6. Meli Piralla, R. (2011). Los conventos mexicanos del siglo XVI: Construcción, ingeniería estructural y conservación. Ciudad de México, México. Editores: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería y Miguel Ángel Porrúa.
7. Meza Méndez. J. M. (2013). Metodología con base en macroelementos para la evaluación de resistencia y mecanismos de colapso de iglesias antiguas de mampostería. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
8. Sánchez Ramírez, R. y Meli Piralla, R. (1991). Propiedades mecánicas de la mampostería utilizadas en la construcción de los monumentos históricos de la Ciudad de México. Memorias del Segundo Simposio Nacional sobre Materiales de Construcción. Mérida, México.
9. Willam, K.J. y Warnke, E.P. (1975). Constitutive model for the triaxial behavior of concrete. International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol. 19, pp. 1-30.

SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA CONTROL DE INVENTARIOS USANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Marcela Palacios Ortega^{1,a}, Juan Francisco Mosiño^{1,b}, Ignacio Hernández-Bautista^{2,c}, Raúl Santiago-Montero^{1,d}, María del Rosario Baltazar-Flores^{1,e}, Oscar S. Torres-Muñoz^{1,f} y Mónica Salgado-Solís^{1,g}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León. División de Estudios de Posgrado e Investigación, León, Gto. México ²Cátedra CONACyT – Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León, Gto. México.

^amarcela.palacios@itleon.edu.mx; jfmosino@gmail.com^b; ignaciohb@gmail.com^c; raul.santiago@itleon.edu.mx^d; rosario.baltazar.f@gmail.com^e; oscar_saltomu@live.com^f; mokinta@hotmail.com^g;

RESUMEN

La alta resolución y bajo costo de cámaras y dispositivos de procesamiento en nuestro entorno actual han promovido la utilización de técnicas de visión artificial usando imágenes para procesar e identificar rostros, huellas dactilares y objetos de mercancía diversa. El bajío es una zona comercial dedicada a la industria del cuero calzado en la cual, ya se usan este tipo de tecnologías principalmente por el grado de impacto comercial que estas aplicaciones tienen en el ámbito regional. En este trabajo se presenta un sistema para identificar calzado terminado en una base de datos utilizando las semejanzas y diferencias entre un calzado y otro. El sistema utiliza un conjunto de imágenes de un lote de calzado previamente almacenadas en una base de datos y usando una cabina que normaliza la posición del calzado y las vistas laterales derecha e izquierda, así como la vista frontal, y mediante técnicas de reconocimiento de imágenes correlaciona una nueva imagen de estudio para de manera rápida localizar en la base de datos el modelo con mayor o igual semejanza. De tal forma existe una interfaz de usuario que captura las vistas de cada calzado para comparar con la base de datos creada previamente. Usando técnicas de captura automatizada, se binariza la imagen para calcular los bordes y mediante el uso de máscaras se logra obtener un matriz de datos que contiene la información relevante de la imagen para procesar de manera eficiente y así comparar con los elementos de la base de datos en tiempos de ejecución cortos. Los resultados obtenidos muestran que dos imágenes diferentes de la misma vista guardan correlación de un mínimo 78% hasta un 100%, se compararon imágenes de un mismo calzado pero de vista lateral y vista frontal y se encontró que las correlaciones son menos de 20%, se analizaron mismas vistas de dos calzados completamente diferentes y resultó que hay correlaciones incluso negativas, lo cual indica que dos calzados diferentes no guardan parecido entre sí, con esta información se puede hacer una base de datos más extensa para detectar de manera automática cual modelo de calzado es más similar al que estamos analizando, lo exhiba y a su vez nos señale información y atributos adicionales como cantidades disponibles, tallas, rotación de inventarios y porcentaje de ventas.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los empresarios e investigadores del tema consideran a los inventarios como un mal necesario, debido a que la falta de productos hace que se incurra en costos de oportunidad por no tener el artículo disponible en el momento que el cliente lo solicita, y por otro lado un exceso de inventario conduce a costos elevados por manejo de inventario, estos costos ponen en riesgo a las empresas, particularmente a las más pequeñas, ya que estos costos no son muy visibles y en la mayoría de los casos, manejar el inventario de una manera deficiente pone en riesgo la continuidad de la operación de la empresa.

Las grandes empresas cuentan con sistemas sofisticados para controlar sus almacenes, sus productos y su demanda, sin embargo, las Pymes mexicanas controlan sus productos de manera muy prístina, generalmente cuentan con una persona que conoce sus procesos y es quien administra sus materiales y sus productos de manera manual y basados en su experiencia. El sistema que se presenta busca identificar de manera visual e inmediata si un producto se encuentra en el estante de la tienda de calzado y de no ser así ofrece una alternativa adecuada para mostrar al consumidor

un producto semejante al que originalmente fue solicitado utilizando el procesamiento digital de imágenes para reconocer la imagen dentro de una base de datos de imágenes.

Debido a los avances tecnológicos y al abaratamiento de dispositivos para captura y procesamiento de imágenes y a la creciente necesidad de controlar los inventarios de productos terminados utilizando herramientas novedosas, se presenta una propuesta para utilizar el procesamiento digital de imágenes para reconocer un modelo (de estudio) de entre varios modelos de producto terminado; un programa que permita hacer ésta visualización en la computadora eficientemente con el objetivo de ayudar a identificar los modelos que se tienen en existencia en el almacén, a través de técnicas de Reconocimiento de Patrones, permitirá a las empresas pequeñas contar con una herramienta que les permita manejar de manera amigable sus inventarios para ejercer un control de los mismos.

TEORÍA

El sector cuero calzado cuenta con 3982 empresas solo en la ciudad de León. Guanajuato; posee el 43 % de la manufactura de calzado a nivel nacional, estas empresas manejan por ende producto terminado y por lo que resulta necesario controlar de manera más eficiente sus inventarios de producto terminado. Además de que existen más 41,500 zapaterías en el territorio nacional, por lo cual el proyecto puede tener un gran impacto si se logra implementar exitosamente. En 2014 se exportaron 25.6 millones de pares de zapatos, con valor de 571.7 millones de dólares. (Secretaría de economía, mayo 2015).

Representación de imágenes digitales. El término imagen se refiere a una función de intensidad bidimensional que, se representara indistintamente como $f(x, y)$, $f(i, j)$, $I(x, y)$, $I(i, j)$, $E(x, y)$, $g(x, y)$, $p(x, y)$, $q(x, y)$; donde x y y , o bien i, j son las coordenadas espaciales en el valor de f, I, E o g en cualquier punto (x, y) o (i, j) es proporcional a la intensidad o nivel de gris de la imagen en ese punto. La figura 1 muestra la convención de ejes utilizada para la representación de imágenes digitales (Pajares & De la cruz,2004)

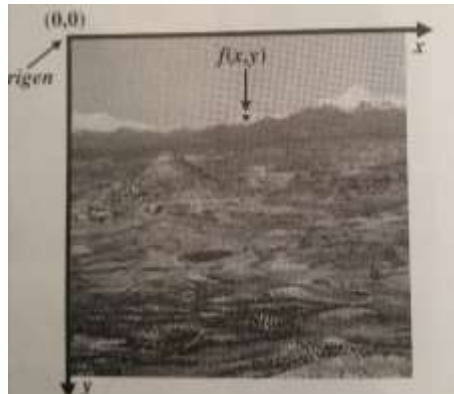


Fig. 1. Convención de ejes utilizada para la representación de imágenes digitales (Pajares & De la Cruz, 2004)

Transformaciones de RGB a grises. El algoritmo más simple para pasar una imagen a color a escala de grises es el del *promedio* (average method), que consiste en calcular el promedio de los canales RGB y asignarlos al pixel correspondiente en la imagen de grises. Por ejemplo, dada una matriz de $M \times N \times 3$ correspondiente a una imagen, el pixel de la matriz de grises en la posición (i, j) se calcula como sigue:

$$XG_{i,j} = X_{i,j,1} + X_{i,j,2} + X_{i,j,3}$$

Donde XG es la matriz de grises, de dimensiones $M \times N$. Y $X_{i,j,1}$, $X_{i,j,2}$ y $X_{i,j,3}$ las componentes correspondientes a los canales R, G y B, respectivamente (Rodríguez y Sosa, 2012).

La forma en que el programa convierte a grises, aunque parezca un misterio, no lo es tanto: en realidad hace un mezclado de los tres canales (RGB) para obtener uno solo en gris tomando los siguientes porcentajes: Rojo 30%, Verde 59%, Azul 11%, que es según los expertos lo más parecido a como nuestros ojos captan la intensidad de luz dependiendo del color de ésta.

La ecuación de la luminancia nos muestra la expresión matemática de ese fenómeno y los factores de ponderación de cada componente de color nos indican la sensibilidad del ojo humano a las frecuencias del espectro cercanas al rojo R, verde G y azul B, como sigue:

$$y = R * 0.3 + G * 0.59 + B * 0.11 \quad (1)$$

Por tanto, para realizar esta conversión basta con aplicar esta ecuación 1 a cada pixel de la imagen RGB. Aparecería una nueva matriz de un byte por pixel que daría la información de luminancia. Para convertir a escala de grises una imagen de paleta, basta con convertir cada color de la paleta a su gris correspondiente según la ecuación anterior, creando una nueva paleta de grises (Martínez Ponce, 2005).

Correlación Lineal

Si X y Y son las dos variables en consideración, un diagrama de dispersión sirve para mostrar la localización de los puntos (X, Y) en un sistema de coordenadas rectangulares. Si en este diagrama de dispersión todos los puntos parecen encontrarse cerca de una línea recta, como en las figuras 14-1a) y 14-1b), a la correlación se le llama lineal. Si Y tiende a aumentar a medida que X aumenta, como en la figura 14-1a), se dice que la correlación es una correlación positiva o directa. Si Y tiende a disminuir a medida que X aumenta, como en la figura 14-1b), se dice que es una correlación negativa o inversa. Si todos los puntos parecen encontrarse en una curva, esta correspondencia se llama no lineal, lo apropiado para la regresión es una ecuación no lineal. Es claro que la correlación no lineal puede ser algunas veces positiva y otras veces negativa. Si no parece haber relación entre las variables, como en la figura 14-1c), se dice que no hay relación entre ellas (SPIEGEL, Murray, 2000).

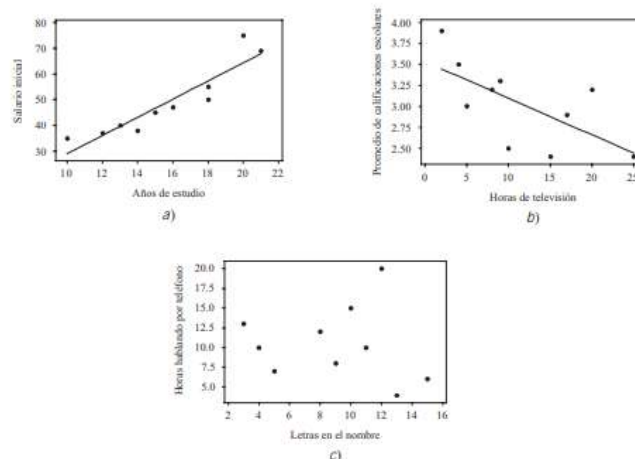


Fig 2. Ejemplos de correlación positiva, correlación negativa y ninguna correlación.

- El salario inicial y los años de estudio se correlacionan en forma positiva;
- el promedio de las calificaciones escolares y las horas que se pasa viendo la televisión se correlacionan negativamente;
- entre la cantidad de horas que se habla por teléfono y el número de letras que tiene el nombre de una persona no hay correlación (SPIEGEL, Murray, 2000).

Un coeficiente de correlación expresa de manera cuantitativa la magnitud y dirección de una relación. Un coeficiente de correlación puede variar entre +1 y -1, el signo del coeficiente nos indica si la relación es positiva o negativa. El coeficiente describe la magnitud de la correlación, mientras mayor sea en número, mayor será la correlación. Como el 1 es el mayor número posible, este representa una correlación perfecta y positiva. Un coeficiente de -1 significa que la correlación es perfecta y negativa. Cuando la relación es inexistente, el coeficiente de correlación es igual a 0. Las relaciones

imperfectas tienen coeficiente de correlación cuya magnitud varía entre 0 y 1. (Pagano, Roberto, 1999).

El Coeficiente de Correlación de Pearson es una medida de la correspondencia o relación lineal entre dos variables cuantitativas aleatorias. En palabras más simples se puede definir como un índice utilizado para medir el grado de relación que tienen dos variables, ambas cuantitativas.

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} \tag{2}$$

Dónde: $\sum Z_x Z_y$ es la suma de los productos de cada puntaje z (Un puntaje Z es un dato transformado que indica a cuantas desviaciones estándar por arriba o por debajo de la media se encuentra un dato en bruto $z = (x-\bar{x})/s$ (Pagano R. 1999)

Suponiendo que se están estudiando dos variables aleatorias X y Y sobre una población; el coeficiente de correlación de Pearson se simboliza con la letra ρ , siendo la expresión que nos permite calcularlo:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X-\mu_X)(Y-\mu_Y)]}{\rho_X \rho_Y} \tag{3}$$

Dónde: σ_{XY} es la covarianza de (X,Y)

σ_X es la desviación estándar de la variable X

σ_Y es la desviación estándar de la variable Y

De manera análoga podemos calcular este coeficiente sobre un estadístico muestral, (30) denotado como:

$$r_{xy} = \frac{(\sum x_i y_i) - n \bar{x} \bar{y}}{(n-1) s_x s_y} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}} \tag{4}$$

De la misma manera el coeficiente de correlación para un estadístico se puede obtener según de la Vara y Gutiérrez Pulido a través de las siguientes fórmulas:

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}} \tag{5}$$

Donde:

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^N x_i) (\sum_{i=1}^N y_i) \tag{6}$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^N x_i)^2 \tag{7}$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^N y_i)^2 \tag{8}$$

Ecuaciones de Referencia en Gutiérrez P. De la Vara Salazar, 2009.

PARTE EXPERIMENTAL

Planteamiento del Problema. Uno de los procesos críticos de las empresas de producto terminado es el abasto adecuado y oportuno de artículos, los cuales deben estar disponibles en el tiempo, la cantidad y la calidad apropiados para satisfacer la demanda de los clientes. Las pequeñas y medianas empresas emplean frecuentemente procesos administrativos diseñados con base en su experiencia y recursos. Puede ocurrir que tales procesos presenten deficiencias que provoquen pérdidas y mal funcionamiento en la operación. La falta de organización y de gestión eficiente de los inventarios puede llegar a poner en riesgo la supervivencia de las empresas. En el presente proyecto se utilizarán las herramientas disponibles de reconocimiento de patrones y de procesamiento digital de imágenes para proponer un sistema que sea capaz de ayudar en la gestión de los inventarios, ante esta perspectiva surge la siguiente interrogante:

¿Cómo diseñar un sistema que sea capaz de diferenciar entre imágenes diferentes de calzado, para detectar si hay producto disponible en el almacén de producto terminado y a la vez brinde las estadísticas de demanda promedio ocurrida, la disponibilidad de los productos, productos con baja rotación de inventario, y establecimiento de inventario de seguridad?

Objetivo General. Diseñar un sistema que permita localizar la imagen de un calzado dentro de una base de datos, y que permita consultar la información inherente al mismo.

Objetivos Específicos. Desarrollar un sistema para ayudar al control de inventario de un almacén de producto terminado de calzado utilizando el procesamiento Digital de Imágenes.; reconocer mediante imágenes la diferencias (semejanzas) entre un modelo y otro; diferenciar entre un grupo de imágenes pertenecientes al mismo modelo de calzado; que el sistema sea capaz de identificar que dos modelos son completamente diferentes (en caso de que en realidad lo sean) y en el caso de que sean imágenes del mismo estilo que muestre su información, o la información del que más se le parezca; Desarrollar un programa capaz de arrojar la información de las existencias de cada producto dentro del almacén; diseñar un modelo capaz de calcular los inventarios de seguridad de cada producto de acuerdo con un nivel de confianza deseado por el administrador del almacén.

Prueba de hipótesis

Ho. Se afirma que dos imágenes de calzado de la misma vista NO tienen un coeficiente de correlación alto, por lo que se concluye que las imágenes no pertenecen al mismo modelo de calzado.

Ha. Se afirma que dos imágenes de calzado de la misma vista tienen un coeficiente de correlación alto, por lo que se concluye que las imágenes pertenecen al mismo modelo de calzado.

En la siguiente figura se describe de manera general el proceso para la realización y organización del proyecto.

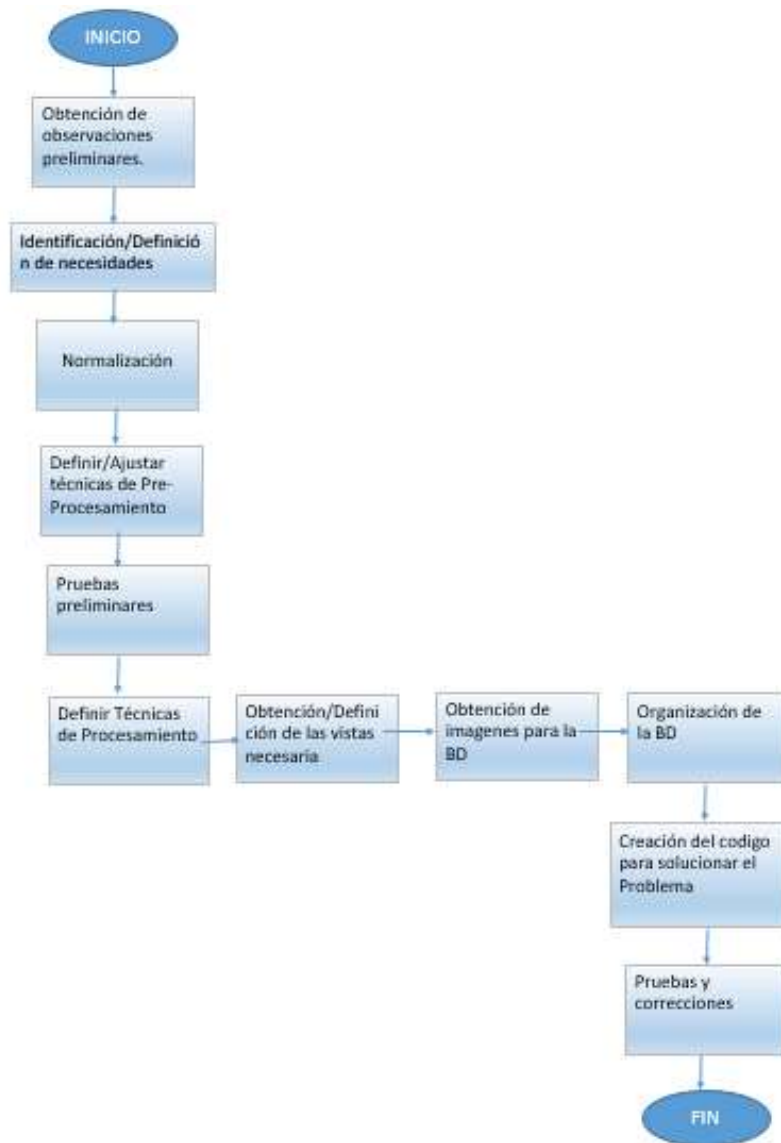


Fig. 3. Etapas para la realización y organización del proyecto

Obtención de Observaciones Preliminares. Inicialmente se tomaron algunas fotografías de calzado que se tenía en existencia, estas imágenes aportaron la idea de cómo se debían obtener las fotografías de manera correcta ya que se identificó ruido aportado principalmente por el medio ambiente debido a que las imágenes tomadas no tenían patrones de normalización.



Fig. 4. Imagen de un modelo de calzado que presenta Ruido en el fondo

Obsérvese que el fondo de la imagen aporta información sobre el medio ambiente, lo que perjudica el enfoque de la investigación. Asimismo, se aprecia que la posición del dispositivo de captura tampoco está controlado, por lo que se obtienen imágenes de diferentes tamaños y en diferentes posiciones.

Identificación de necesidades:

1. La fotografía capturada debe contener la menor cantidad de ruido proveniente del medio ambiente, es decir debe contener un fondo uniforme.
2. El dispositivo de captura debe ser el mismo y mantenerse (en medida de lo posible) a la misma distancia y con los mismos grados de inclinación (90 grados).
3. La luminancia. La cantidad de luz que se requiere debe ser lo más constante posible, de preferencia se sugiere la utilización de la luz natural, ya que ésta evita que la luz se refleje en el objeto de estudio.
4. Información necesaria para el ordenador. El ojo humano es capaz de detectar si un modelo de calzado es igual o diferente a otro, incluso si las vistas del objeto son diferentes, para el computador no es así, este requiere la mayor cantidad de información para hacer un análisis eficiente. Por lo tanto, se requiere que se aporte a la computadora por lo menos 3 vistas de calzado diferentes para procesar la información y eficientar el reconocimiento de la misma.

Normalización. Cuando se va a analizar una imagen se deben tomar en cuenta solo los elementos que interesan en el estudio, el ambiente en el que se encuentra el objeto de estudio puede llegar a ser un obstáculo para el mismo ya que solo interesan los rasgos y características del inherentes al objeto de análisis. El objetivo principal de la normalización es ajustar las señales y las condiciones ambientales para que las imágenes sean consistentes entre sí, es decir, que las condiciones en las que se adquieren las imágenes deben guardar cierta similitud en cuanto a:

1. El medio ambiente. El objeto de estudio se encuentra en un espacio, donde puede haber otros objetos que no interesan en la investigación, los cuales pueden alterar los datos, o dificultar el análisis de los mismos.
2. La iluminación o la fuente de Radiación. La iluminación es un factor importante durante la adquisición de las muestras o las imágenes ya que de esto depende en gran medida el éxito o fracaso de la investigación; La iluminación debe ser la misma durante la adquisición de las imágenes (o lo más constante posible para obtener mejores resultados).
3. El dispositivo de Captura. Debe ser el mismo durante la captura ya que diferentes dispositivos producen calidades con gran variabilidad en cuanto a la imagen que se desea estudiar.
4. La distancia a la que se coloca el dispositivo de captura. En este punto es importante mencionar que se estandarizó la caja de luz, colocando una línea guía en un punto en específico para colocar el celular o bien la cámara web.

Tomando en cuenta los aspectos mencionados en los puntos anteriores se diseñó una caja de luz, para estandarizar las condiciones en el momento de la adquisición de las imágenes.



Fig. 5. Caja de luz diseñada para la adquisición de imágenes

En la figura anterior se muestra la caja de luz diseñada para la adquisición de imágenes.

Con esta caja de luz se logró obtener imágenes consistentes entre sí, que guardan relaciones de luminancia, dimensiones y posición en el plano.

Definición de las vistas. Una vez adquirida la imagen, se realizaron diferentes técnicas de procesamiento para lograr encontrar las relaciones entre los modelos.

El procedimiento para abordar el problema de identificar una imagen de otra presentó diferentes complejidades, debido a que en el momento en el que se adquiere la imagen se puede presentar la siguiente condición: Las posiciones del calzado pueden ser infinitas, debido a que la persona que toma la imagen puede colocar el calzado en la posición que él decida, para poder abordar este problema se sugiere colocar el zapato únicamente en tres posiciones distintas: Vista lateral externa, Vista Lateral Interna, y Vista Frontal. Al colocar el calzado en cualquiera de estas tres posiciones se puede abordar la problemática. Limitando el problema a la toma de tres vistas, se obtiene suficiente información del objeto de estudio y a la vez se puede abordar una metodología para la solución del problema.

Definir/Ajustar técnicas de procesamiento de imágenes. Identificar un calzado de otro. Analizar la misma vista (Vista Lateral Externa) de dos calzados diferentes y se comparan entre sí para analizar si ambas vistas guardan parecido.

Pasos:

1. Capturar la vista lateral Externa de los 2 modelos a estudiar
2. Pasar la imagen1 a escala de grises y mostrarla en pantalla
3. Pasar la imagen2 a escala de grises y mostrarla en pantalla
4. Comparar las dos imágenes grises y sacar las conclusiones.
5. Realizar el procedimiento anterior para la imagen Binaria, para los bordes, para el umbral automático de binarización.
6. Y definir la técnica de procesamiento de imágenes que aporte mejores resultados

La Imagen Gris. Se realizó un script en Matlab para hacer el proceso anterior por medio de la computadora a continuación se muestran los resultados

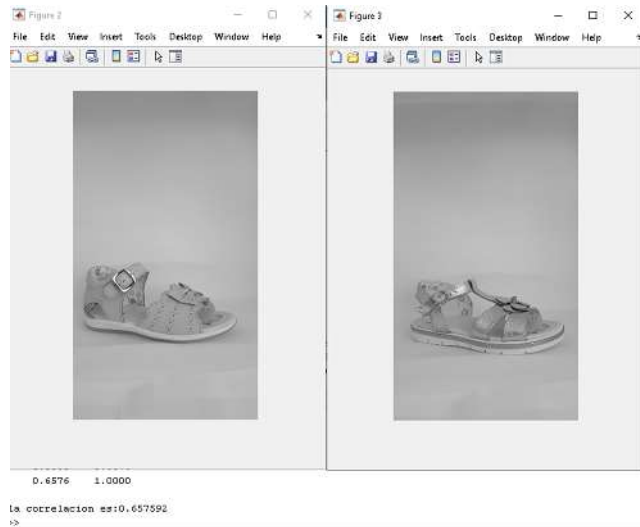


Fig. 6. Dos imágenes de dos modelos diferentes de la vista lateral externa

Se tienen dos imágenes en escala de Grises, se comparan entre sí con el comando CorrCoef y en pantalla se muestra el resultado “La correlación es de 0.657592” con lo que se concluye que estas dos imágenes se parecen un 65.75%.

El proceso anterior se utiliza para analizar dos vistas iguales del mismo estilo, en posiciones relativamente parecidas, al igual que el análisis anterior se realiza el procesamiento únicamente de la imagen Gris.

Observe que la posición de una imagen a otra varía ligeramente.



Fig. 7. Dos imágenes de la misma vista y del mismo estilo

La captura de la figura 7 muestra dos imágenes del mismo estilo y de la misma vista, solo se modificó la posición de la cámara al momento de la captura. Se analizaron ambas imágenes para revisar que tanto varía una imagen de la otra, de pixel a pixel; Se muestra una correlación del 74.26% lo cual es

un buen porcentaje de correlación entre ambas imágenes. En realidad se esperaría que el porcentaje de correlación fuera más alto, ya que las dos fotos son del mismo calzado, con la misma cámara y con las condiciones de iluminación semejante, lo único que se cambio es variar la posición de unos cuantos milímetros de desplazamiento del celular al momento de capturar cada una de las dos fotografías, para ojo humano este cambio en las dos imágenes anteriores no es perceptible, sin embargo la computadora analiza pixel a pixel y encuentra precisamente lo que el ojo humano no es capaz de detectar.

De igual manera se pueden comparar dos vistas diferentes del mismo calzado y analizar los resultados.

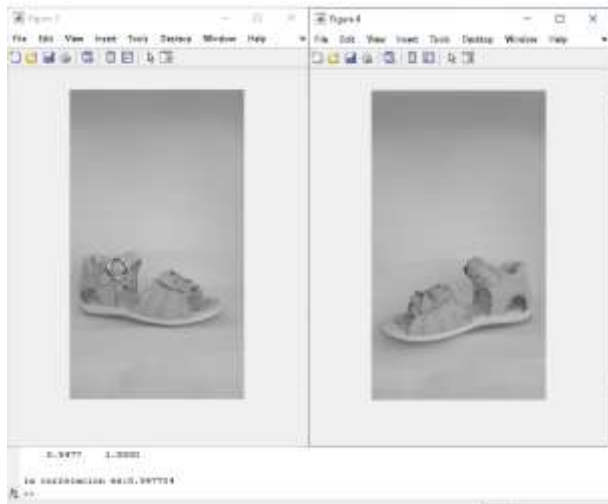


Fig. 8. Dos imágenes en escala de Grises Vista lateral externa e interna

En la captura de la figura 8 se compara la vista Lateral Externa y la Vista lateral Interna del mismo modelo, y se obtiene una correlación del 54.77%. Este dato se puede interpretar de la siguiente manera: Aunque las imágenes pertenecen al mismo modelo, los pixeles analizados cambian en una mayor proporción ya que la computadora es capaz de encontrar que ambas imágenes son muy diferentes entre sí. Esto es un avance en la investigación ya que el programa está distinguiendo de entre dos vistas y les asigna una correlación más baja que los dos estudios anteriores.

Una vez que se tiene la certeza de que la computadora puede distinguir de entre vistas diferentes y modelo diferentes se analiza si hay una técnica mejor que la imagen gris para obtener mejores resultados. Se analizaron las técnicas de Binarizado, Bordes y Mascaras y se llegó a la conclusión que el mejor método para utilizar el comando CoerrCof es la imagen Gris.

Obtención de Datos para la base de datos y almacenamiento de datos. Se adquirieron imágenes de varios diseños de calzado con la finalidad de procesarlos y diseñar una aplicación que permita distinguir un modelo de una base de datos que contiene gran número de estilos y vistas. Se tomó la decisión de utilizar únicamente 3 posiciones de calzado debido a que con las 3 vistas se pueden incluir la mayoría de los detalles exteriores del modelo objeto de estudio.

El sistema necesita un determinado orden en los datos para poder hacer un barrido y almacenar las diferentes imágenes y vistas dentro de la base de datos. Para poder organizar la información se determinó utilizar para cada estilo diferente un número de modelo, y para cada vista otro. Por ejemplo: para el primer modelo analizado se organizó en la base de datos con el siguiente nombre:
modelo1_1 Para la vista lateral externa
modelo1_2 Para la vista lateral interna
modelo1_3 Para la vista frontal

Este etiquetado es necesario para poder organizar las imágenes, recorrer en orden los datos de la Base de Datos y para facilitar la aplicación de técnicas de programación para llegar a un resultado.

La técnica con la que se obtuvieron mejores resultados fue la de pasar una imagen RGB a escala de grises, también todas las imágenes de la base de datos deben pasar por este proceso de RGB a grises para poderlas comparar entre sí.

Creación de la herramienta digital. Como pudo observarse el uso de la imagen intensidad y el coeficiente de correlación son la mejor técnica de procesamiento (hasta lo que se avanzó en la presente investigación) para comparar imágenes y verificar si son iguales o diferentes. En base a esta decisión se procede a organizar los datos de tal manera que se pueda hacer un barrido dentro de la base de datos actual, se calcule el coeficiente de correlación para cada modelo y cada vista dentro de la base de datos, respecto al modelo de estudio y se localice el modelo que presente el máximo del máximo dentro de la base de datos.

RESULTADOS

Al seleccionar una imagen que se encuentra en la base de datos se ejecutan los ciclos y se calcula el coeficiente de correlación para cada modelo y cada vista, el programa compara la imagen de estudio con el coeficiente de correlación de la base de datos y encuentra el máximo del máximo de los coeficientes. El resultado se muestra a continuación:



Fig. 9. Se analiza la imagen de la izquierda y el programa localiza la imagen de la derecha

Para el caso de la figura 9 programa encuentra una concordancia del 100% ya que el modelo se encuentra en la base de datos.

Si lo que se desea es estudiar un modelo que no sabemos si se encuentra dentro de la base de datos, el programa pide una imagen, el usuario le asigna la ruta, se ejecutan los ciclos y el programa encuentra el modelo que presenta el máximo de correlación.



Fig. 10 Imagen Estudiada en la izquierda y el resultado se muestra a la derecha

Para este estilo se encontró un zapato negro de niña, que guarda mucho parecido con el de la base de datos, ya que ambos son calzado escolar y el coeficiente de correlación es del 85.30%

De la misma manera se seleccionó un calzado de dama y se ejecutó el programa, como puede observarse el modelo que se encontró en la base de datos solo se parece al de la muestra en el color, La correlación máxima es de apenas un 45.39%. Esta correlación es muy baja, por lo que se

interpreta que el modelo de zapatilla no se parece al de niña. Observe que la vista encontrada corresponde a la vista lateral Externa en ambos calzados.



Fig. 11. La imagen de la izquierda es el modelo de estudio y a la derecha se muestra la coincidencia

Se analizaron los siguientes pares de muestras y se observó lo siguiente:

1. Un modelo que existe en la base de datos. Se selecciona un modelo que se encuentra ubicado dentro de la base de datos capturada. El resultado que se obtiene es una concordancia del 100 % del calzado debido a que se realiza el barrido en la DB y encuentra precisamente la imagen comparada tiene un coeficiente de correlación de 1 al compararlo con el coeficiente de todos los modelos y vistas de los demás modelos de la base de datos.
2. Un modelo que no se encuentra en la base de datos. Se puede analizar cualquier fotografía que pertenezca a un modelo de calzado, se tienen que tener las condiciones mencionadas a lo largo del proyecto, (Tamaño de la imagen, posición del calzado, utilizar la misma caja de luminancia estandarizada, utilizar el mismo dispositivo de adquisición de la imagen, etc.) para poder comparar las imágenes. En este caso el programa siempre encontrará una imagen (Se le parezca o no) porque está buscando siempre el máximo de coeficiente de correlación, si este porcentaje es bajo digamos por ejemplo 0.01, de cualquier forma el sistema encontrará una imagen, sin embargo aparecerá el mensaje indicando el nivel de correlación existente y las conclusiones las deberá tomar el investigador (o el usuario) para el caso del ejemplo anterior el sistema mandaría un mensaje de que la correlación es de 10% el cual se debe interpretar "Que no existe correlación entre las variables estudiadas".
3. Diferente posición de vistas. Debido a que se programó para calcular un coeficiente de correlación, el sistema encontrará la vista más parecida a la de la muestra, es decir si la imagen de muestra es una vista frontal, el sistema siempre encontrará como mejor respuesta un calzado de vista frontal de la base de datos.
4. Para el caso de tener un modelo idéntico de otro solo que en diferente color, el sistema no es capaz de reconocerlo correctamente debido a que el programa toma en cuenta intensidades de grises, así que si un calzado es dorado y otro rojo de exactamente el mismo modelo, y el modelo no se encuentra en la base de datos, es posible que el programa no logre identificar el modelo adecuadamente, ya que el rojo se percibe muy intenso en el color rojo (hablando de escala de Grises) y el dorado es muy tenue (en escala de grises), para resolver este problema, se debe tener la base de datos lo más completa posible (actualizada con la mayoría de los modelos, colores y vistas) para lograr identificar el calzado adecuadamente.
5. El sistema mostrará en pantalla el total de artículos en el inventario de la figura 2, esta figura es el resultado de la concordancia máxima entre el modelo de estudio y el encontrado en la base de datos con el coeficiente de correlación de Pearson.

CONCLUSIONES.

Para nosotros como individuos es muy fácil determinar si un calzado es semejante o diferente a otro modelo de calzado solo con echar un vistazo, el problema se complica cuando tenemos gran

variedad de modelos y colores, y cuando se quiere utilizar esa información para poder resolver el problema de encontrar un modelo dentro de un almacén o brindar una atención rápida y eficiente a un cliente, es por ello que cada vez es más necesario apoyarnos en el uso de herramientas digitales para solucionar este tipo de problemas.

El programa presentado resuelve el problema de identificar un modelo de calzado dentro de una base de datos de acuerdo a la posición (vista) del calzado al momento en que fue adquirida la imagen, esto es importante mencionarlo porque se alimentó al programa con la mayor cantidad de información posible respecto a un modelo de calzado, ya que una imagen de calzado de la vista lateral externa, no aporta la misma información que una vista interna o que una vista frontal. En este proyecto se decidió omitir la vista inferior, debido a que los modelos de calzado utilizan (en el caso de calzado de niña) la misma suela, lo que nos dejaría muy amplia la posibilidad de encontrar exactamente el modelo objeto de estudio, es decir encontraríamos un modelo con una suela parecida pero el corte podría ser muy diferente del que se está buscando.

El sistema logra reconocer el modelo que más se parece a otro, con su respectiva vista, por ejemplo, si se toma la vista frontal de muestra, el calzado que mostrará el programa será sin duda una vista frontal (ya sea del modelo que se busca o del más parecido), de la misma manera, si se busca una vista lateral externa, el sistema encontrará una vista lateral externa debido a que la computadora analiza pixel a pixel una imagen y la compara con la semejanza que guarda con otra imagen también pixel a pixel. Esta información la computadora lo hace tan solo en unos pocos segundos.

El programa presentado logra identificar también la posición del inventario dentro del almacén de producto terminado, con esta información se puede resolver el problema de saber si existe o no producto disponible en el inventario, y a la vez se puede manipular la información para establecer cualquier política de inventario de seguridad incluso hasta poder predecir el comportamiento de la demanda cuando se hagan análisis más profundos.

Líneas de investigación abiertas

Se puede complementar el presente proyecto agregando una interfaz y capturar el modelo tiempo real, el presente proyecto no se realizó hasta esta etapa, debido a que no contamos con las actualizaciones de Matlab que nos permitan utilizar las herramientas de Image Acquisition Tools.

Se puede agregar tanta información como se necesite a la base de datos para obtener la información inherente al objeto, como pueden ser tallas, cantidades, colores, proveedores, lead time, demanda, rotación de inventario etc. y así poder establecer inventarios de seguridad y fortalecimiento de la cadena de suministros.

El programa se puede automatizar para aplicarlo al área de control de calidad, debido a que permite encontrar atributos que el ojo humano no es capaz de detectar, por lo tanto se puede aplicar en la línea de producción para control de calidad automatizado.

El programa se puede utilizar para que los clientes puedan subir en línea la imagen de calzado que deseen adquirir y la computadora pueda detectar el modelo que se tiene en el inventario y regresarle una o varias propuestas al cliente, y con ello poder aumentar las ventas.

BIBLIOGRAFÍA

1. R. Murray Spiegel, Estadística, Serie de Compendios Schaum, Ed. McGraw-Hill, México (2009), 4ta. ed. pp. 345-346
2. R.R. Pagano "Estadística para las ciencias del comportamiento " 5ta. Ed.1999 International Thompson Editores, SA de CV., pp. 106, 110
3. H. Gutiérrez Pulido, R. De la Vara Salazar "Control estadístico y seis sigma", McGraw Hill, México 2009 2da. edición. pp. 163-164.
4. G. Pajares, J. De La Cruz ,J. Cuadrado, A. López "Imágenes Digitales Procesamiento Práctico con Java" alfa omega pp10-12

EFFECTO DE LA DENSIFICACIÓN SiO_2 /PDMS EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

Emmanuel Acosta Pérez, Mauricio Guerrero Altamirano, Juan Alberto Cruz Montoya, Vanessa Días Vargas, Juan Manuel Mendoza Miranda, Carmen Salazar Hernández*

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato, Instituto Politécnico Nacional.

*msalazarh@ipn.mx

RESUMEN

Las barreras térmicas (TBC) son un sistema de capas que cubren una superficie con el propósito de aislarla térmicamente y proteger el material contra la oxidación. En este proyecto se propone el uso de cerámicas de sílice modificadas con polidimetilsiloxano (PDMS) como un nuevo TBC para superficie de acero a temperaturas menores de 100°C . Las cerámicas se obtuvieron de acuerdo con la metodología sol-gel, formando un sol estable mezclando tetraetoxiilsilicato (TEOS) con diferentes porcentajes en peso de PDMS (10, 20, 40 y 100%). La gelificación se realizó empleando DBTL como catalizador de policondensación y las soluciones sol fueron aplicadas a superficies de acero AISI-1018 por inmersión; a estos recubrimientos se les realizó un tratamiento de densificación. Las cerámicas se caracterizaron por espectroscopía infrarroja para observar cambios en la estructura de la sílice después de ser densificada. Además, se analizó el efecto de la densificación en propiedades tales como: Conductividad térmica y resistencia a la corrosión salina. El tratamiento térmico modificó la conductividad térmica de los materiales medida a 50°C de $4.19 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ a $0.179 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$; mientras que la resistencia a la corrosión se mejoró en un 94%.

INTRODUCCIÓN

Las barreras térmicas (TBC; Thermal Barrier Coating) son un sistema de capas que revisten una superficie con el propósito de aislarla térmicamente y de proteger al material contra la oxidación y la corrosión en ambientes químicamente agresivos y que se encuentran operando a altas temperaturas, preservando así la integridad física del material revestido. Cuando un sustrato no ha sido recubierto por una barrera térmica y se le suministra energía térmica a una de las caras del sustrato, la temperatura es prácticamente constante entre una y otra cara del sustrato, en la Figura 1a se observa que la temperatura es de 150°C en una de las caras, mientras que en la cara opuesta es de 130°C . Si luego se cubre la superficie del mismo sustrato con una barrera térmica, la temperatura decaerá drásticamente dentro del espesor que tiene dicha barrera, manteniéndose prácticamente constante a 90°C , véase Figura 1b [1-3].

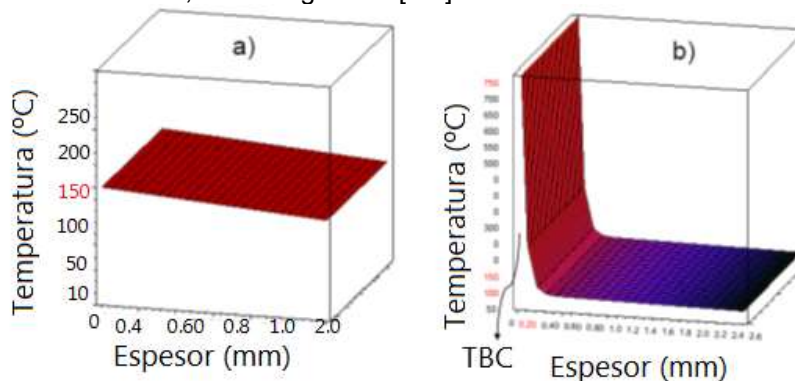


Figura 1. Perfil de Temperatura (a) superficie sin TBC (b) superficie con TBC [1]

Recientemente, Salazar-Hernández C y colaboradores han estudiado recubrimientos cerámicos base sílice modificada con polidimetilsiloxano (PDMS) como recubrimientos anticorrosivos [7-9]. En este proyecto se propone estudiar las propiedades térmicas de dichos recubrimientos, considerando que la sílice tiene una baja conductividad térmica (1.48 W/m K); sin embargo, su coeficiente de

expansión térmica es muy diferente al de un metal, por ello se propone la adición de un modificador orgánico al cerámico como lo es el polidimetilsiloxano (PDMS). El PDMS es una silicona tipo elastómero con una alta estabilidad térmica que podría ofrecer a la estructura cerámica una mayor flexibilidad como se indica en la Figura 2.

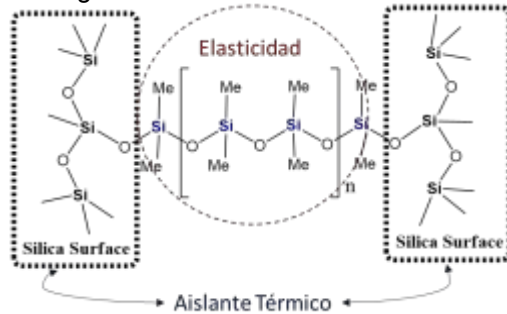


Figura 2. Estructura del cerámico SiO₂/PDMS

Sin embargo, debido a que PDMS contiene grupos orgánicos en su cadena siloxano, la estabilidad térmica de dicho material puede ser comprometida a temperaturas mayores de 200°C; por lo que se propone realizar un tratamiento térmico de densificación con la finalidad de incrementar estabilidad térmica en el cerámico. Analizando el efecto de éste en propiedades tales como son la capacidad de aislamiento térmico y la resistencia a la corrosión.

PARTE EXPERIMENTAL

Síntesis de Cerámicos SiO₂/PDMS

La solución sol fueron obtenidas de acuerdo con la metodología propuesta por Salazar-Hernández y colaboradores [7]; donde el TEOS (99%, Aldrich) es mezclado con diferente porcentaje en peso de PDMS (Gelest, 16-32 sct) adicionando DBTL manteniendo la relación de 99:1 TEOS: DBTL (Tabla 1). La mezcla es calentada por 30 min a 50°C antes de aplicarse a la superficie de AISI-1018. Para la aplicación de los cerámicos es necesario que la superficie de acero sea pre-tratada para eliminar impurezas; dicho tratamiento consistió en desbastar la superficie con papel abrasivo de 600, seguido de un lavado con alcohol etílico empleando un baño ultrasónico por 10 min (Ultrasonic Cleaner-Intertek Listed). La aplicación de la solución sol de TEOS/PDMS al substrato se realizó con la técnica de inmersión (dip-coating).

Tabla 1. Síntesis para la obtención del recubrimiento ORMOSIL-UPIIG

	% Componentes	
	SiO ₂	PDMS
TBC-10 PDMS	90	10
TBC-20 PDMS	80	20
TBC-30 PDMS	70	30
TBC-40 PDMS	60	40
TBC-PDMS	---	100

Proceso de Densificación

Para incrementar la estabilidad térmica de los recubrimientos, estos fueron sometidos a un tratamiento térmico de densificación que se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Rampas de temperatura empleadas para el proceso de densificación

	Temperatura	Tiempo	%PDMS
T1	30°C	30 min	10 y 20 %
	80°C	60 min	
	500°C	120 min	
T2	80°C	30 min	30 y 40 %
	200°C	120 min	
	400°C	120 min	

Caracterización Química

La espectroscopia de infrarrojo (IR-TF) se utilizó para caracterizar químicamente los recubrimientos, con esta técnica se identificaron los principales componentes de éstos. Los espectros fueron obtenidos con un espectrómetro ATR-TF Nicolet-iS10, obteniendo el promedio de 16 scans y una resolución de 4 cm⁻¹ con ventana espectral de 4000 a 600 cm⁻¹.

Ensayo de Velocidad de Corrosión

Para realizar este ensayo se empleó el banco de corrosión Peak Tech modelo DIT-105 aplicando una corriente constante de 0.5A por 90 minutos. El agente corrosivo fue cloruro de sodio con una concentración de 5% en peso. La velocidad de corrosión (V_c) fue determinada por gravimetría de acuerdo con la Ecuación 1; donde Δm es la pérdida de masa en gr generada por la corrosión, A indica el área expuesta en m² y t el tiempo de exposición del material en s.

$$V_c = \frac{\Delta m}{A * t} [=] \frac{kg}{m^2 \cdot s} \text{-----Ec. 1}$$

Cálculo de Conductividad Térmica

La conductividad térmica fue calculada empleando el banco de medición que se muestra en la Figura 3; el cual consta de una sección de prueba que se limita a probetas cúbicas con longitud de 25.4 mm, la sección está aislada con fibra de vidrio para promover el flujo de calor en la dirección Z. Como foco caliente se colocó en la parte inferior una resistencia térmica controlada por un dispositivo de control on/off basado en Arduino; el cual se conectó a una computadora para registrar la temperatura de la placa y de la parte superior de la probeta.



Figura 3. Banco de prueba diseñado para determinar la conductividad térmica de los materiales

El flujo de calor suministrado fue calculado como calor eléctrico (Ec. 2) para ello se midió el voltaje (V) y corriente (i) durante la prueba. Debido a que el área de contacto de la probeta es diferente al área total de la resistencia; el Q es ajustado con el factor de corrección F_c, que se indica en la Ecuación 3.

$$Q = F_c (i \cdot V) \text{-----Ec. 2}$$

$$F_c = \frac{A_{probeta}}{A_{resistencia}} \text{-----Ec. 3}$$

La conductividad térmica se calculó empleando la ley de Fourier para paredes compuestas; que se indica en la Ecuación 4 donde Q es el flujo de calor a través de la probeta, L es la longitud de capa, K es la conductividad para cada sección y A el área de transferencia para cada componente.

$$Q = \frac{T_i - T_{i+1}}{\sum_i^n \left(\frac{L}{kA}\right)_i} \text{--- Ec. 4}$$

RESULTADOS

Efecto de la Densificación sobre la estructura de SiO₂/PDMS

La Figura 4 muestra las gráficas obtenidas por infrarrojo para el cerámico sintetizado con el 40% de PDM; donde se puede resaltar que desaparece la señal a 3600 cm⁻¹ correspondiente a los hidroxilos terminales del PDMS; por otra parte, las señales de los grupos orgánicos del TEOS (-CH₂-CH₃) observados entre 2900-300 cm⁻¹ y 1400-1600 cm⁻¹ tampoco se identifican. Lo anterior confirma que el DBTL promovió la policondensación entre ambos reactivos formando la estructura del TBC propuesta; donde a 2900cm⁻¹ (señal 2) se observan los -CH₃ unidos a la cadena del polisiloxano "PDMS" incrustado entre las partículas del cerámico; la red de sílice del cerámico es identificada con la señal 1 que corresponde a los grupos siloxanos (-Si-O-Si) que se observaron alrededor de los 1017 cm⁻¹ como una banda ancha; que para el TBC con el 40% de PDMS se forma un hombro intenso a 1192 cm⁻¹; además los siloxanos lineales provenientes del PDMS se identifican con la señal fina entre los 780-796 cm⁻¹ [10]

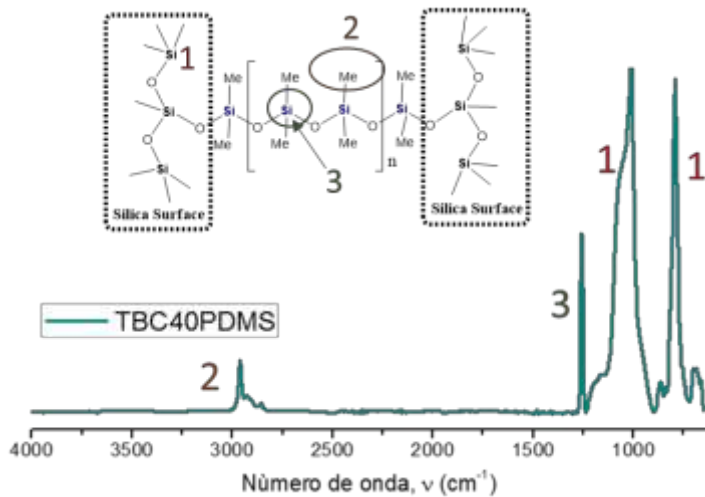


Figura 4. Espectro de infrarrojo para cerámico compuesto de SiO₂/PDMS

La Figura 5a muestra las gráficas obtenidas con el análisis de infrarrojo para los cerámicos expuestos a los tratamientos térmicos; donde se puede observar que las rampas empleadas logran la disminución de la materia orgánica en la superficie del recubrimiento alrededor del 80%. Las señales de los grupos -CH₃ a 2900 y la señal de Si-C a 1200cm⁻¹ casi desaparecen después de haber sido realizado el tratamiento de densificación. Además, la banda correspondiente a los siloxanos (red de sílice, -Si-O-Si) a 1100 cm⁻¹ se enancha; lo que sugiere que las cadenas lineales del PDMS se condensan formando una estructura compacta; como se propone en la Figura 5b.

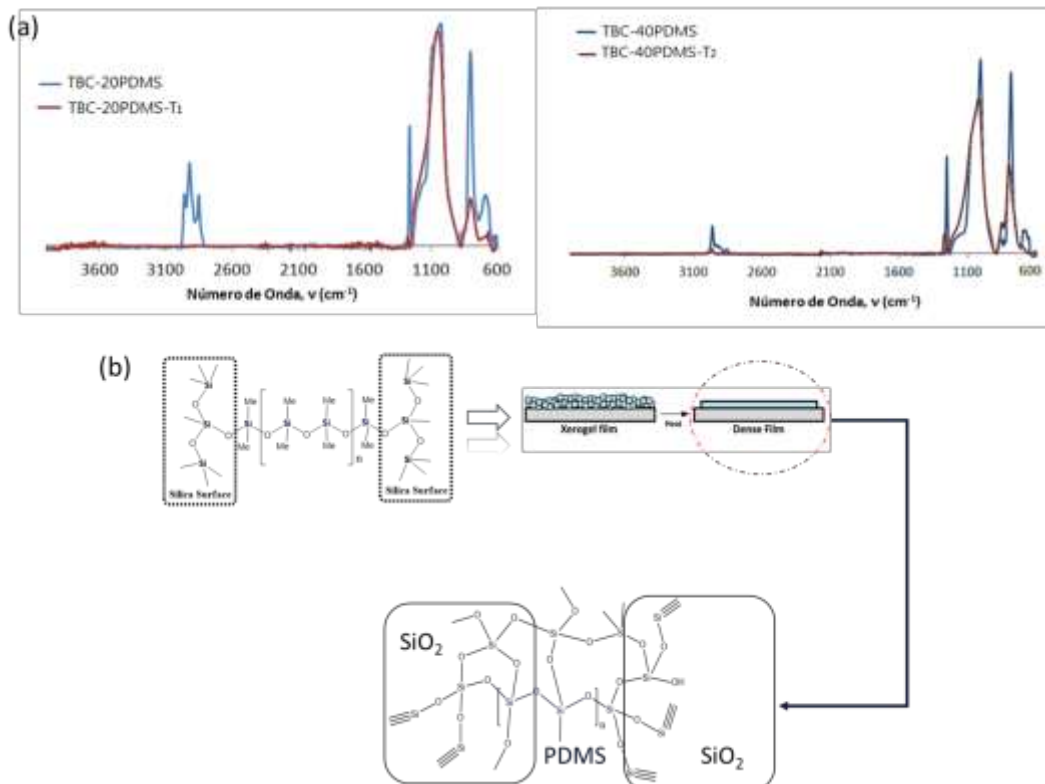


Figura 4. (a) Espectroscopía de infrarrojo para cerámicos después de densificar (b) Efecto de la densificación sobre la estructura del cerámico

Efecto de la densificación en la velocidad de corrosión

La Figura 5 muestra la velocidad de corrosión determinada en mm de penetración por año para la TBC de SiO₂/PDMS con y sin tratamiento de densificación; donde se puede observar que el el recubrimiento sin densificación presentó una tasa de corrosión de 0.27 mm/año. Al realizar la densificación en los SiO₂/PDMS se incrementa la actividad anticorrosiva en el cerámico en un 94%; la velocidad de corrosión para estos materiales fue del orden de 0.02 mm/año.

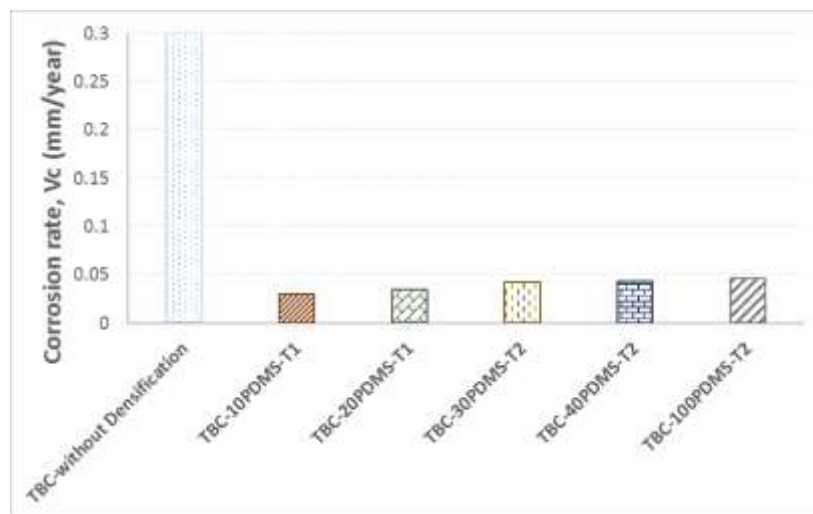


Figura 5. Velocidades de corrosión para SiO₂/PDMS con y sin densificación

Efecto de la densificación sobre la conductividad térmica

La conductividad térmica para el AISI-1018 varía de 50 a 56 $Wm^{-1}K^{-1}$ en el intervalo de temperatura de 50-150°C; para este metal no se tiene un efecto considerable de la temperatura en la propiedad térmica. Sin embargo; para las TBC-SiO₂/PDMS se determinaron diferentes valores dependiendo de la temperatura de medición. De acuerdo con la Figura 6 no se observó un efecto importante en el contenido de PDMS sobre la conductividad de las TBC; calculando un valor promedio de $4.19 \pm 0.16 Wm^{-1}K^{-1}$ a 50°C, $15.96 \pm 2.12 Wm^{-1}K^{-1}$ a 100°C y $42.38 \pm 4.09 Wm^{-1}K^{-1}$.

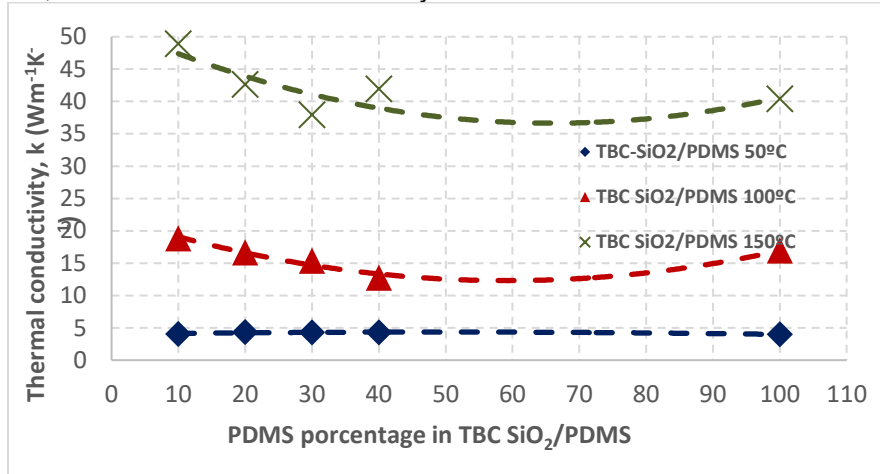


Figura 6. Efecto de la concentración de PDMS sobre la conductividad térmica de TBC medido a diferentes temperaturas.

Sin embargo, con el incremento de temperatura se observó un incremento en la conductividad y también una mayor desviación entre los valores de K. Esto se debe a que la estabilidad térmica de la TBC depende del contenido de PDMS. Para mejorar esta propiedad los recubrimientos se densificaron obteniendo los valores de conductividad que se indican en la Figura 7. Después del tratamiento de densificación, la conductividad disminuyó para observar un promedio de $0.179 \pm 0.071 Wm^{-1}K^{-1}$ a 50°C, $0.507 \pm 0.065 Wm^{-1}K^{-1}$ a 100°C y $1.44 \pm 0.025 Wm^{-1}K^{-1}$. Observando que el contenido de PDMS en la estructura de la TBC no tiene efecto sobre el valor de K. Sin embargo, la temperatura modifica proporcionalmente lineal la K para las TBC-SiO₂/PDMS.

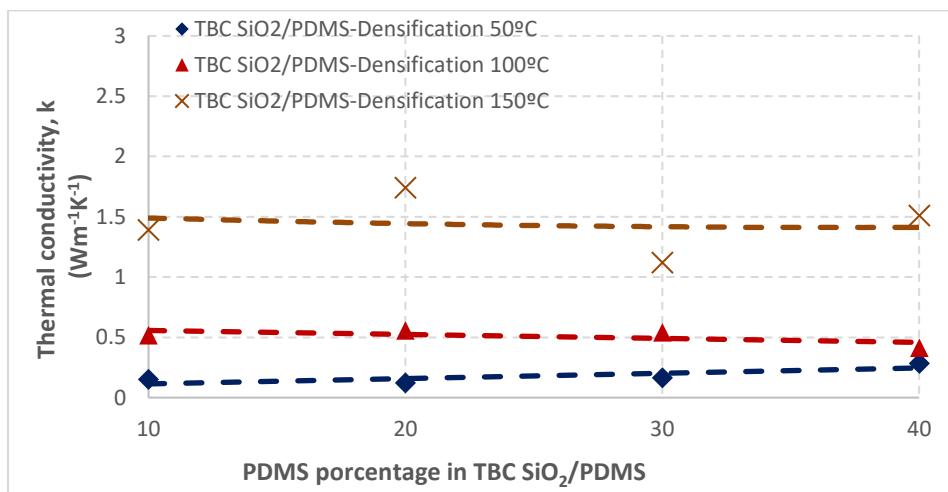


Figura 7. Efecto de la densificación sobre la conductividad térmica de TBC medido a diferentes temperaturas.

CONCLUSIONES

Los recubrimientos de SiO₂/PDMS tienen un buen comportamiento como anticorrosivo para superficies de aluminio reduciendo en un 93% la velocidad de corrosión. Sin embargo, la densificación incrementa las propiedades del material al eliminar la microporosidad formada en la estructura del cerámico; por lo cual este reduce la velocidad de corrosión del aluminio en un 99.5%. Además, la densificación mejora el comportamiento como aislante térmico presentando una conductividad promedio de $1.44 \pm 0.025 \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ medida a 150°C.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fernández-Rojas F, Rondón E, Fernández-Rojas C.J, Salas P. K.J, Gracia V.J, Barreras Térmicas y Nuevos Materiales, Rev. Fac. Ing. UCV (2012) 27(1), p. 100-108.
2. Amaya Hoyos C.A; Recubrimientos de Barreras Térmicas. Revista Informador Técnico (2009) 73: 27-33
3. Ghosh S (2015) Thermal Barrier Ceramic Coatings-A Review. In Advanced Ceramic Processing. Edited by Mohamed A, IntechOpen, pp. 111-138
4. Zhilin T, Liya Z, Jiemin W, Peng W, Jialin L, Jingyang W; Theoretical and experimental determination of the major thermomechanical properties of RE₂SiO₅ (RE = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, and Y) for environmental and thermal barrier coating applications; Journal of the European Ceramic Society (2016) 36: 189- 202
5. Jing Z, Xingye G, Yeon-Gil J, James, K; Lanthanum zirconate based thermal barrier coating: a review (2017) Surface & Coating Technology, 323:18-29
6. Soleimanipour Z, Baghshane S, Shoja-Razavi R, Salehi M; Hot corrosion behavior of Al₂O₃ laser clad plasma sprayed YSZ thermal barrier coating; Cermics International (2016) 42: 17698-17705
7. Salazar-Hernández C, Salazar-Hernández M, Carrera-Cerritos R, Mendoza-miranda J.M, Elorza-Rodríguez E, Miranda-Avilés R, Moncada-Sánchez D, Anticorrosive properties of PDMS-Silica coatings: effect of methyl, phenyl and amino groups", Progress in Organic Coating (2019)136, 105220
8. Salazar-Hernández C, Salazar-Hernández M, Mendoza-Miranda J.M, Miranda-Avilés R, Elorza-Rodríguez E, Carrera-Rodríguez R, Puy-Alquiza M.J, Organic modified silica obtained from DBTL polycondensation catalyst for anticorrosive coating, J. Sol-Gel Sci and Technol (2018) 87 (2), 229-309.
9. Salazar-Hernández C, Salazar-Hernández M, Carrera-Cerritos R, Elorza E, Mendoza-Miranda J.M, Navarro R, DBTL as neutral catalyst on TEOS/PDMS anticorrosive coating, J. Sol-Gel Sci and Technol (2017) 81, 405-412.
10. Launer PJ (1987) Infrared analysis of organosilicon compounds: spectra structure correlation silicon compounds. In: Arkles B (ed) Gelest Inc:Morrisville, PA

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaria de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo brindado a través del proyecto SIP-20201677 y SIP-20201910. Además, al LICAMM-UG por su apoyo en la caracterización por MEB.

ANÁLISIS NUMÉRICO DE UN SISTEMA DE AGITACIÓN PARA EL ESTUDIO DE CINÉTICA DE EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO

Eunice Rodríguez Santoyo¹, José Luis Luviano Otriz², Mario Ávila Rodríguez³

¹Universidad de Guanajuato, DICIS, ²Universidad de Guanajuato, DICIS, ³Universidad de Guanajuato, DCNE .

¹eg.rodriquezsantoyo@ugto.mx, ²luis.luviano@ugto.mx, ³avilam@ugto.mx

RESUMEN

El siguiente trabajo presenta un análisis hidrodinámico en un tanque de agitación para el estudio de cinética de extracción líquido-líquido manteniendo la zona interfacial con la menor perturbación posible. Tres diferentes diseños para el sistema fueron propuestos y analizados. El análisis se involucra el agitar independientemente dos fluidos inmiscibles dentro de un tanque, evitando perturbar la interfaz entre ambos fluidos. Con el fin de predecir el comportamiento hidrodinámico de los fluidos, el análisis se llevó a cabo mediante un modelo de Dinámica de Fluidos Computacional (CDF, por sus siglas en inglés). Para ello, se resolvieron las ecuaciones de conservación y momento. En el análisis comparativo de los tres diferentes diseños se varió la relación tanque-impulsor y la inclinación de las paletas. La solución más cercana a la aproximación de la corriente de flujo deseada para agilizar el proceso de la extracción fue mediante un sistema con una relación de tanque-impulsor 1:5 y paletas inclinadas, ya que ésta logró generar un mayor movimiento del fluido preservando la zona interfacial.

INTRODUCCIÓN

Los tanques agitados son sistemas comúnmente utilizados para la distribución de partículas dentro de mezclas, ya sean homogéneas o heterogéneas, con la finalidad ayudar a que se lleve a cabo una reacción química o simplemente para mezclar. Estos equipos suelen ser diseñados con un propósito en específico, por lo que existen infinidad de propuestas ya sea para mezclas que involucran la extracción de sólidos suspendidos dentro de un fluido [1-3], o para las aplicaciones que involucran la agitación de sistemas líquido-gas, comúnmente utilizadas para la fermentación [4-5]. Una aplicación diversa a las anteriores es para la extracción líquido-líquido que es una técnica de separación que encuentra múltiples aplicaciones tanto a nivel laboratorio, así como a nivel industrial. La extracción líquido-líquido es una técnica de separación muy versátil y de fácil puesta en marcha (escalamiento) a nivel industrial. Dentro de este proceso de separación se tienen dos fases inmiscibles en donde se busca la distribución selectiva de las especies de interés. Específicamente este sistema cuenta con un *soluto* que generalmente se encuentra dentro de la *fase acuosa*, cuyas condiciones de pH son importantes para un proceso de separación eficiente y selectivo. La fase acuosa se pone en contacto con la *fase orgánica*, la cual contiene un *extractante* (principio activo que realiza la extracción del soluto), un *diluyente* (en el cual se disuelve el extractante) y un *modificador* (el cual ayuda a la separación de las fases, evitando la formación de emulsiones estables).

Uno de los aspectos importantes a estudiar dentro de los procesos de extracción líquido-líquido, es la velocidad de transferencia de masa de la especie de interés, ya que permite conocer, desde el punto de vista de ciencia básica, el mecanismo de extracción (la reacción que controla la velocidad de extracción), y desde el punto de vista industrial, se generan datos necesarios para el escalamiento. Debido a esto y con la finalidad de llevar a cabo la separación de especies, es necesario conocer los aspectos termodinámicos y cinéticos. Con respecto a los aspectos termodinámicos, el comportamiento fisicoquímico del soluto condiciona la afinidad hacia la fase orgánica para permitir la transferencia de masa. El aspecto cinético, en cambio, toma en cuenta no sólo el aspecto químico, sino también la hidrodinámica del sistema, lo que favorece para una mejor y más rápida difusión del soluto desde el seno de la fase acuosa a la zona interfacial (acuosa/orgánica), así como de la zona interfacial al seno de la fase orgánica [6]. Por lo tanto, una vez conocida la dependencia del sistema en condiciones tanto químicas como hidrodinámicas, es posible poner en marcha el escalamiento del proceso de recuperación del soluto de interés a nivel industrial.

Así, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el análisis de tres diferentes configuraciones para un sistema de agitación que será utilizado en el estudio de la cinética de extracción. El análisis se involucra el agitar independientemente dos fluidos inmiscibles dentro de un tanque, evitando perturbar la interfaz entre ambos fluidos. Con el fin de predecir el comportamiento hidrodinámico de los fluidos, el análisis se llevó a cabo mediante un modelo de Dinámica de Fluidos Computacional (CDF, por sus siglas en inglés).

TEORÍA

El sistema de agitación para realizar el estudio de la cinética de extracción líquido-líquido a nivel laboratorio, tiene como condición que el área interfacial entre las dos fases no miscibles permanezca constante. Por consiguiente, la agitación requerida durante este proceso es ampliamente específica. Esta técnica requiere que se agiten dos fluidos, en contacto entre sí, de manera independiente y a la vez se mantenga el área interfacial entre los fluidos sin perturbaciones [7]. El equipo diseñado para realizar este tipo de agitación recibe el nombre de *Celda de Lewis*. En este tipo de celda la agitación utiliza propelas, las cuales se emplean para provocar flujo dentro de la celda, lo que genera capas límites hidrodinámicas al igual que capas de difusión para el soluto que se extrae, lo que favorece la velocidad a la cual ocurre la transferencia de masa [8]. Estas celdas presentan diversos diseños dependiendo de los requerimientos para la experimentación, en su mayoría son variaciones de la *Turbina Rushton* [9-11]. Algunas presentan variaciones ya sea de la presencia o ausencia de uno o varios impulsores lo cual modifica el flujo dentro del tanque a agitar. También existen variaciones de la velocidad de los impulsores, o variaciones sobre la inclinación o número de paletas. Estas modificaciones se eligen pensando en su fabricación primaria, su plural utilidad y en una operación nada compleja [12].

Debido a los múltiples enfoques de la turbina Rushton para la extracción líquido-líquido, se propone para este trabajo un análisis CDF para un tanque de agitación con dos impulsores independientes con un diseño diferente a los comúnmente estudiados. Para el análisis, las ecuaciones gobernantes se resuelven por medio del software comercial COMSOL. El estudio se aplica para las interfases que cumplen el propósito de analizar las simulaciones de campos de fluidos y presión para líquidos y gases dentro de una máquina rotatoria.

PARTE EXPERIMENTAL

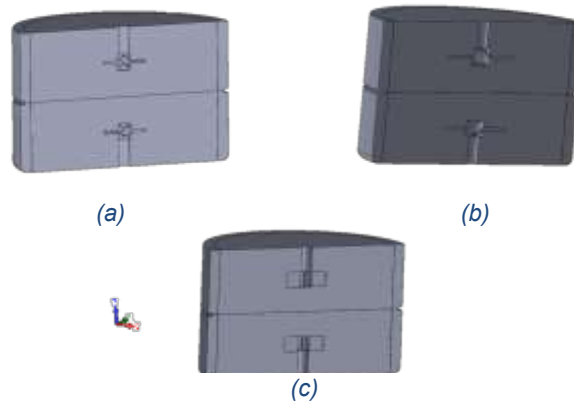
El análisis hidrodinámico del estudio de la extracción líquido-líquido es para un sistema el cual está compuesto por volúmenes iguales de queroseno como fase orgánica y agua como fase acuosa. Los fluidos son introducidos dentro de un tanque de agitación cilíndrico con un diámetro de 50 mm y una altura de 60 mm. Dentro del tanque se introducen 30 ml de cada una de las fases, lo cual equivale a tener 17 mm de altura para cada fase. Posteriormente se agitan ambas fases por medio de dos aspas independientes y opuestas una de la otra. Además, el sistema cuenta con un deflector horizontal colocado entre las fases con el propósito de evitar la deformación la zona interfacial [12-13]. Las condiciones fijas independientes de cada sistema se describen en la Tabla 1.

Tabla 1 – Parámetros geométricos del modelo de agitación para un sistema de extracción líquido-líquido de interfaz constante.

Parámetro	Valor (mm)
Base del tanque	50
Altura fase orgánica	17
Altura fase acuosa	17
Diámetro de flujo móvil	45
Diámetro de flujo fijo	45 - 50
Diámetro del vástago	3.5
Número de paletas	4
Ancho de la paleta	0.5
Deflector	1×0.5

En base a lo anterior, se proponen 3 diferentes tipos de arreglos (ver Fig. 1.), los cuales se describen en la Tabla 2 con sus respectivas variantes, en donde la medición del ángulo de inclinación es respecto la línea horizontal del primer cuadrante.

Fig. 1 - Geometrías propuestas para el sistema de la Tabla 2: (a) 1; (b) 2 y (c) 3.
Simulación



La simulación numérica se llevó a cabo por medio del software COMSOL Multiphysics, el cual resuelve las ecuaciones gobernantes mediante el método de elementos finitos de diversas aplicaciones físicas, dentro de las que se encuentran el análisis del flujo de fluidos, que, para este trabajo, es la física de interés.

Tabla 2 – Variaciones en el diseño.

Sistema	1	2	3
Relación tanque-impulsor	3:1	5:1	5:1
Inclinación de la paleta superior	45°	45°	90°
Inclinación de la paleta inferior	135°	135°	135°
Longitud de la paleta (mm)	5	4	4

El procedimiento para la simulación es el siguiente: primeramente, se estableció un espacio 3D, en donde se impuso una condición de flujo de fluido de “*máquina rotativa flujo laminar (rmspf)*”, debido a que esta interfaz se utiliza para simular flujos de bajo caudal en geometrías con una o más partes rotatorias. Esta interfaz logra describir el comportamiento del impulsor ya que se rige por las ecuaciones de Navier-Stokes y la conservación de la masa, por lo tanto, el análisis fue transitorio en donde la posición del rotor con respecto al tanque cambió con el tiempo.

Una vez definido el estudio, se creó e importó el archivo CAD (previamente descrito) a COMSOL en donde se establecieron las unidades de longitud para garantizar que los resultados fueran los correspondientes a las magnitudes establecidas. Debido a que el estudio temporal utiliza la técnica de malla deslizante, se creó un ensamble para generar objetos de geometrías separadas, ya que, para el tipo de interfaz seleccionada, se requirió que existiera un par de identidades entre los dominios giratorios y rotativos [2].

El siguiente paso fue crear los pares de identidad entre los dominios y que éstos no se superpusieran en las partes fijas y giratorias. Para ello, fue necesario tratar los dos dominios como partes separadas, por lo que las ecuaciones gobernantes fueron formuladas para un marco giratorio para el dominio interno, y de igual forma, fueron formuladas para un marco fijo para el dominio externo.

Para definir las condiciones en la parte giratoria, se inició creando dos funciones, una para la fase orgánica y otra para la fase acuosa. Aunado a esto, se utilizó otra función de paso para acelerar el

impulsor desde cero hasta la velocidad final, en un tiempo de 2 segundos. Posteriormente se crearon las variables de las velocidades para cada una de las fases y se especificaron los materiales (queroseno para la fase orgánica y agua para la fase acuosa). Cabe mencionar que los materiales no cambiaron por lo que no hubo reacción química para las partes fijas y giratorias de cada una de las fases.

Dentro de la física del modelo se determinaron los dominios giratorios para cada una de las fases y se estableció la variable de la velocidad con la que se analizó cada uno de los casos y se delimitó el sentido de giro antihorario para ambos casos de las fases. Posteriormente se procedió a agregar las condiciones de flujo continuo en el “*par de identidad*” con la intención de acoplar los dominios rotativos y fijos, así como la continuidad de la interfaz entre ambos fluidos. Por lo tanto, todos los límites contiguos al dominio rotativo se establecieron por defecto en límites rotativos. Cabe señalar que el límite inferior (base del fluido de la fase acuosa) no debe girar, por lo que se agregó una condición de pared antideslizante. Finalmente, se agregó una restricción de punto de presión en uno de los límites superiores por lo que previamente estableció una condición de *simetría* en la superficie del sistema (cubierta de la fase orgánica).

Modelado matemático

Las propiedades de los fluidos como la densidad ρ [kg/m³], o la viscosidad dinámica μ [Pa*s] se establecieron por defecto en el software al agregar los materiales al análisis, cabe señalar que ambas propiedades se encuentran en función de la temperatura, que está configurada para modelar un flujo isotérmico. Como se mencionó previamente, las ecuaciones que se resolvieron para la simulación del flujo laminar para cada uno de los fluidos fueron la ecuación de continuidad (Ec. (1)) y las ecuaciones de Navier-Stokes (Ec. (2)), que involucran los términos del vector velocidad v , el tiempo t la densidad ρ , la velocidad angular dentro del marco giratorio Ω , la conservación de movimiento I , el vector del radio desde el origen del marco giratorio r y el tiempo no-dimensional τ ; esto con las variaciones por medio de geometrías con piezas y en un sistema de coordenadas giratorias [14].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \tag{1}$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho (v \cdot \nabla) v + 2\rho \Omega \times v = \Omega \cdot [-pI + \tau] + F \cdot \left[\rho \frac{\partial \Omega}{\partial t} \times r + \Omega \times (\Omega \times r) \right] \tag{2}$$

La solución de estas ecuaciones se logró mediante la formulación Lagrangiana-Euleriana arbitraria (ALE, por sus siglas en inglés), lo anterior fue debido a que la formulación Lagrangiana hace que las propiedades de material anisotrópico pasen a ser independientes de la orientación espacial actual del material. Aunado a lo anterior, se requirió la simulación del estado de puntos fijos en el espacio, por lo que la formulación Euleriana suele ser más conveniente. Cabe señalar que para casos específicos como el seguimiento individual de partículas dentro de líquidos no es razonable este tipo de formulación, pero sí lo es para conocer en posiciones fijas del espacio cantidades como la presión, temperatura o concentración. En base a lo anterior, el método ALE es un intermediario entre ambos métodos y combina las principales características de ambos; permite mover los límites sin la necesidad del movimiento de malla para seguir el material.

Mallado de la geometría

Para el mallado se propuso una malla refinada con la finalidad de obtener resultados satisfactorios. Para ello, la geometría se discretizó en un número finito de elementos, en su mayoría con geometría

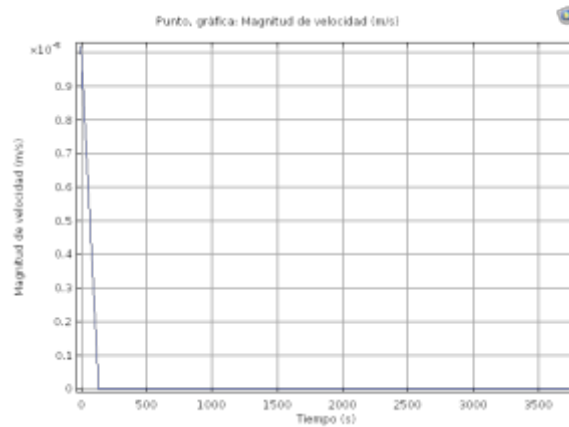
tetraédrica. Por lo tanto, para el mallado se realizó estableciendo un tamaño de la malla en donde se incrementó la densidad de la malla sobre los bordes de los componentes.

RESULTADOS

Comprobación de resultados

Para verificar que los resultados obtenidos eran consistentes con lo que se esperaba, se tomó en cuenta que se debería satisfacer la condición sin deslizamiento de los fluidos en una superficie sólida ya que todos los fluidos deben satisfacer la suposición del medio continuo. Es decir, deben tener una velocidad con valor de cero en contacto con dicho sólido. Por lo tanto, se aproximó la velocidad en un punto cercano a uno de los ejes de rotación. Para la medición se seleccionó el punto cercano al eje superior (1.25,14) en un plano yz (para el Estudio 1 del Caso 1). Una vez realizada la medición de la velocidad, los datos se graficaron y analizaron, los cuales se muestran en la Fig. 2. En esta figura, se observa el comportamiento de la velocidad del fluido a partir de la velocidad inicial y se muestra que una vez que el fluido llega a su estado estable, la velocidad decae hasta el valor esperado de cero y se mantiene durante todo el proceso.

Fig. 2 - Validación del análisis por medio de la condición sin deslizamiento en las paredes de un sólido caso 1, estudio 4.



Caso 1

Para el análisis del primer caso se muestran los resultados y las variables dentro de la Tabla 3, donde se presentan cuatro diversos estudios a diversas velocidades. El paso de tiempo se estableció para analizar el comportamiento del fluido cada 2 grados el desplazamiento de las aspas y analizar las líneas del flujo para ambos fluidos. Para este caso, se simuló el comportamiento del fluido durante una hora de agitación, ya que se consideró que para este tiempo el flujo ya se encontraba en estado estable.

Tabla 3 – Variaciones y resultados de los cuatro estudios para el caso 1.

Estudio	Velocidad en fase orgánica (rps)	Velocidad en fase acuosa (rps)	Paso de tiempo	Perturbación de la interfaz
1	0.5	0	0.0111	Si
2	0.0005	0	11.111	Si
3	0.0001	0.0001	5.555	Si
4	0.0000	0.00002	138.88	No

En la Tabla 3 se observa que en el Estudio 1 sólo se impuso impulso al aspa de la fase orgánica, mientras que la turbina de la fase acuosa se mantuvo fija. Cabe señalar que este estudio mostró perturbación de la zona interfacial. Debido a lo anterior, en los siguientes estudios se impuso movimiento en ambas aspas, esto con el fin de contrarrestar el movimiento entre ambos fluidos, sin embargo, pese a la disminución de la velocidad, en los Estudios 2 y 3 se tuvo perturbación en la interfaz. En el Estudio 4 de la Tabla 3 se observa que cuando ambas aspas tuvieron la misma velocidad, se tuvo una menor alteración sobre la interfaz de contacto, esto se observa además en la Fig. 3.

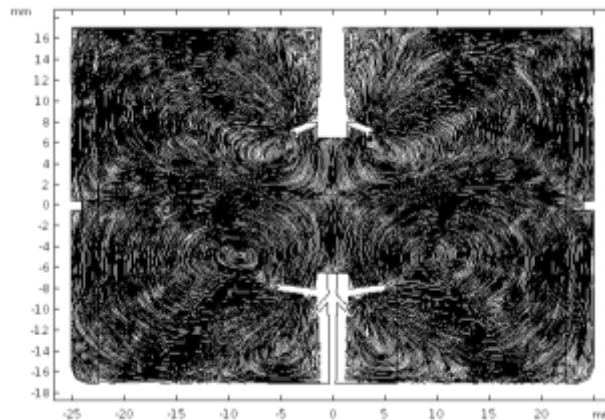


Fig. 3 – Líneas de corriente para el Estudio 4 del Caso 1, en el tiempo 2778 segundos.

Caso 2

El análisis del Caso 2 consistió en hacer una reducción en la relación geométrica tanque-impulsor. La principal variación es que se tiene una relación menor a la utilizada comúnmente para aplicaciones con dimensiones más grandes [15]. Cabe señalar que la disminución en el tamaño de los impulsores implicó un aumento en la velocidad de agitación para las aspas. La Tabla 4 muestra cuatro diversos estudios con velocidades mayores en comparación al Caso 1.

Al igual que para el Caso 1, el análisis de cada uno de los casos se realizó para cada dos grados del desplazamiento de las aspas con respecto a la velocidad más baja de cada una de las fases. Además de esto, debido a que con la misma velocidad la zona interfacial únicamente se desplazaba ligeramente de su origen, se variaron las velocidades para los Estudios 2-4. Al igual que para el Caso 1, los resultados del Caso 2 se calcularon una vez que la agitación entre los fluidos alcanzó su estado estable, lo cual se obtuvo a los 500 s. Para comprobar que el flujo se encontraba en el estado estable, se realizó una comparación de la velocidad entre dos ciclos contiguos en donde se tuvo una variación despreciable. De la Tabla 4 se puede observar que el Estudio 1 mostró una perturbación despreciable sobre la interfaz.

Tabla 4 – Variaciones y resultados de los cuatro estudios para el caso 2.

Estudio	Velocidad en fase orgánica (rps)	Velocidad en fase acuosa (rps)	Paso de tiempo (s)	Perturbación de la interfaz
1	0.5	0.5	0.0111	No
2	2	3	0.0027	Si
3	2	1.5	0.0037	No
4	2	1.8	0.0030	No

En los Estudios 2-4 se varió la velocidad para cada una de las fases y se observó que solamente en el Estudio 2 se tenía una variación significativa en la perturbación de la interfaz, lo cual se debió a la diferencia entre las velocidades de las aspas. Contrario al Estudio 2, los Estudios 3 y 4 no presentaron variaciones significativas en la interfaz. La Fig. 4 muestra las líneas de corriente para el

Estudio 4, una vez que se ha alcanzado el estado estable. En esta figura se muestra que el vórtice superior (el cual tiene forma de toroide), en el plano 2D contrarresta a al vórtice inferior, lo cual favorece para preservar las condiciones requeridas.

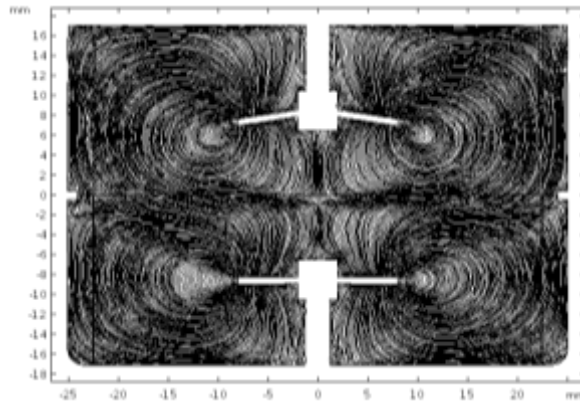


Fig. 4 - Líneas de corriente para el Estudio 4 del Caso 2, en el tiempo 508 segundos.

Caso 3

En este último caso se comparan los sistemas propuestos con el diseño convencional de agitación para la extracción líquido-líquido, el cual consta de paletas planas. Los resultados de los Estudios se muestran en la Tabla 5, en donde se muestran tres diferentes estudios, el Estudio 3 es una comparación directa del Estudio 4 del Caso 2.

Tabla 5 – Variaciones y resultados de los estudios para el caso 3.

Estudio	Velocidad en fase orgánica (rps)	Velocidad en fase acuosa (rps)	Paso de tiempo	Perturbación de la interfaz
1	1	1	0.005	No
2	1.5	1.8	0.0037	Si
3	2	1.8	0.0030	No

Los resultados para el Caso 3 no muestran que se tenga perturbación sobre la zona interfacial, pero un menor desplazamiento de los fluidos sobre su misma fase. La Fig. 5 muestra una comparación directa del Estudio 4 del Caso 2, para el tiempo de 508 s, en donde se observa un menor desplazamiento en comparación al Caso 2.

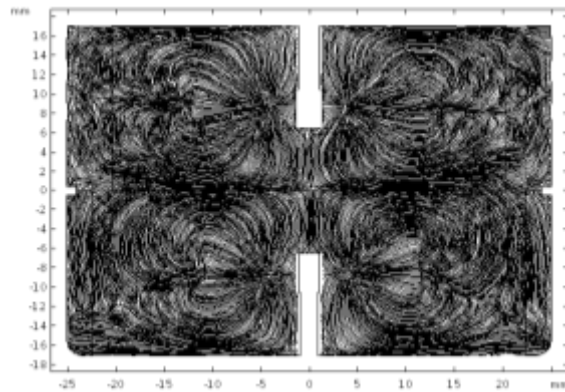


Fig. 5 - Líneas de corriente para el Estudio 3 del Caso 3 en el tiempo 508 segundos.

CONCLUSIONES

El Caso 3 muestran menor perturbación sobre la interfaz, pero el Caso 2 presenta menor difusión en cada fase por separado, sin perder el área interfacial entre ambos fluidos. Por lo que el Caso 2 muestra una aproximación mayor a los requerimientos para el estudio de la cinética de extracción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Y. Tan, W. Xu, M. Li, J. Sun, D. Xie and Z. Liu, "Effects of surface vortex on the drawdown and dispersion of floating particles in stirred tanks," *Particuology*, vol. 49, pp. 159-168, 2020.
2. B. Aslanbay Guler, I. Deniz, Z. Demirel, S. S. Oncel and E. Imamoglu, "Computational fluid dynamics modelling of stirred tank photobioreactor for *Haematococcus pluvialis* production: Hydrodynamics and mixing conditions," *Algal Research*, vol. 49, no. February, p. 101854, 2020.
3. Q. Kang, D. He, N. Zhao, X. Feng and J. Wang, "Hydrodynamics in unbaffled liquid-solid stirred tanks with free surface studied by DEM-VOF method," *Chemical Engineering Journal*, vol. 376, p. 122846, 2019.
4. F. M. Coelho, A. M. Botelho, O. F. Ivo, P. F. Amaral and T. F. Ferreira, "Volumetric mass transfer coefficient for carbon monoxide in a dual impeller stirred tank reactor considering a perfluorocarbon-water mixture as liquid phase," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 143, pp. 160-169, 2019.
5. M. Amiraftabi, M. Khiadani and H. A. Mohammed, "Performance of a dual helical ribbon impeller in a two-phase (gas-liquid) stirred tank reactor," *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, vol. 148, no. December 2019, p. 107811, 2020.
6. L. Song, Y. Liu, S. Ding, M. Tan, Q. Li, L. Zhang and C. Liu, "Extraction kinetics of uranium(VI) and thorium(IV) with di(1-methyl-heptyl)methyl phosphonate from nitric acid medium using a Lewis cell," *Separation and Purification Technology*, vol. 217, no. January, pp. 258-264, 2019.
7. A. Borowiak-Resterna, R. Cierpiszewski and K. Prochaska, "Kinetic and equilibrium studies of the removal of cadmium ions from acidic chloride solutions by hydrophobic pyridinecarboxamide extractants," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 179, no. 1-3, pp. 828-833, 2010.
8. J. P. Simonin, L. Perrigaud, K. Perrigaud and T. H. Vu, "Kinetics of Liquid/Liquid Extraction of Europium(III) Cation by Two Malonic Diamides," *Solvent Extraction and Ion Exchange*, vol. 32, no. 4, pp. 365-377, 2014.
9. A. W. Pacek, S. Chamsart, A. W. Nienow and A. Bakker, "The influence of impeller type on mean drop size and drop size distribution in an agitated vessel," *Chemical Engineering Science*, vol. 49, no. 19, pp. 4211-4222, 1999.
10. A. K. Karmakar and R. K. Biswas, "A study on the kinetics of extraction of Ti(IV) from sulphate medium by Cyanex 302," *Separation and Purification Technology*, vol. 221, no. April, pp. 331-337, 2019.
11. F. D. Heller, A. J. Casella, G. J. Lumetta, K. L. Nash, S. I. Sinkov and S. A. Bryan, "Incorporating spectroscopic on-line monitoring as a method of detection for a Lewis cell setup," *Analyst*, vol. 142, no. 13, pp. 2426-2433, 2017.
12. A. K. Pukkella, R. Vysyaraju, V. Tammishetti, R. B. Rai and S. Subramanian, "Improved mixing of solid suspensions in stirred tanks with interface baffles: CFD simulation and experimental validation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 358, no. September 2018, pp. 621-633, 2019.
13. T. R. Z. Tudose and G. Apreotesei, "Mass transfer coefficients in liquid-liquid extraction," *Chemical Engineering and Processing*, vol. 40, no. 5, pp. 477-485, 2001.

14. G. K. Batchelor, "Flow of effectively inviscid fluid with vorticle," in *An introduction to fluid dynamics*, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press, 2000, pp. 507-593.
15. Z. Trad, J.-p. Fontaine, C. Larroche and C. Vial, "Experimental and numerical investigation of hydrodynamics and mixing in a dual-impeller mechanically-stirred digester," *Chemical Engineering Journal*, vol. 329, pp. 142-155, 2017.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD TERMO-ÓPTICO EN LOS TINTES ORGÁNICOS

José Antonio Maldonado Badillo, Carlos Adrián Calles Arriaga*, Enrique Rocha Rangel

Universidad Politécnica de Victoria

*ccallesa@upv.edu.mx

RESUMEN

En los últimos años los tintes orgánicos se han implementado en la fabricación de celdas solares y sensores ópticos para mejorar la capacidad de absorción de la luz. Entre los tintes más comunes se encuentran las antocianinas, clorofilas, carotenoides y las betalainas. Si bien es sabido las celdas solares son expuestas a temperaturas, motivo por el cual sufren un desgaste o una pérdida de eficiencia al captar energía, es decir existe un punto en el cual la temperatura comienza a degradar el pigmento que está fungiendo como sensibilizador. En el presente trabajo se propone un análisis térmico para ver el comportamiento de tres tipos de pigmentos y ver el efecto que causa la temperatura en el espectro de absorción; para esto fue necesario preparar las muestras las cuales fueron disueltas en agua destilada en las siguientes proporciones 0.33mg/ml de pigmento de betabel, 0.33mg/ml de pigmento de zanahoria, mientras que para el alga espirulina se usaron 1mg/ml. Las soluciones se mezclaron con ayuda de un baño ultrasónico (Digital Ultrasonic Cleaner, Model-PS-20A) para diluir completamente las partículas en el solvente, este proceso tuvo una duración de 15 minutos. Seguido de esto y con ayuda de una plancha de calentamiento (ThermoFisherScientific, Modelo-SP131325) se sometieron cada una de las muestras a un proceso de calentamiento a diversas temperaturas desde 40°, 50°, 60°, 70° y 80° por lapsos de una hora, una vez finalizada la hora de calentamiento se media cada una de las muestras con ayuda del espectrómetro (THORLABS, modelo-M00498475) y posteriormente se midieron a temperatura ambiente en una segunda medición, siendo esta última de gran importancia para ver el efecto que causaba el sometimiento a temperatura de la solución. Los resultados obtenidos de las mediciones nos arrojaron que los pigmentos de betabel poseen una estabilidad en un pico a una longitud de onda de 560nm pero solamente para las mediciones de 40°, 50° y 60° siendo la absorbancia la que varía de 0.57, 0.5 y 0.45 u. A. respectivamente mientras que para las temperaturas de 70° y 80° existe un cambio en su pico a una longitud de onda de 480nm el cual se le atribuye al grado de concentración de la sustancia debido a que se inició a evaporar el solvente, mientras que para la espirulina se encuentra un punto estable a 630nm para las temperaturas de 40°, 50° y 60°, mientras que para las otras dos se presentó el mismo caso que en el betabel, finalmente para el caso de la zanahoria para las temperaturas de 40°, 50° y 60° se presenta un pico con una longitud de onda a 490nm con una absorbancia de 0.1, 0.15 y 0.18 u. A mientras que para las temperaturas faltantes se presentó una longitud menor. En conclusión, se tiene que el betabel es el pigmento que presenta una estabilidad mayor después de ser sometido a temperatura y regresar a su temperatura ambiente, seguido de la espirulina y dejando al final la zanahoria.

INTRODUCCIÓN

Los pigmentos se encuentran en hojas, futas, verduras y flores; así como también están presentes en la piel, en los ojos y en algunas otras estructuras animales[1]. Cabe mencionar que existen pigmentos naturales y sintéticos los cuales son usados en medicinas, alimentos, ropa, muebles, cosméticos y un sinnúmero de productos más.

Los pigmentos naturales se originan de diversas sustancias como los son las antocianinas, betalainas, carotenoides y clorofilas[2]. Estos pigmentos son importantes tanto en plantas como en otras aplicaciones debido a variadas propiedades y funciones, como por ejemplo en este estudio se hace uso de los pigmentos para ver su respuesta espectral al ser sometidos a temperaturas[3]. En algunos otros casos se usan los pigmentos orgánicos como sensibilizadores en sensores o en celdas solares[4]. Ambas aplicaciones son caracterizadas por trabajar con temperaturas considerables donde los pigmentos comienzan a sufrir cambios al momento de captar energía o censar, es decir comienzan a sufrir deficiencias[5].

El primer registro escrito del uso de tintes naturales se remonta a 2600 a.C. en China. Años más tarde el primer color sintético fue desarrollado por Sir William Henry Perkin en 1856. A principios del siglo XIX se observó la mayor parte de la producción y recuperación de colores sintéticos a partir de productos derivados del petróleo como la anilina, por lo que se llamaron ' colores de alquitrán de hulla porque los materiales de partida se obtuvieron del carbón[6].

Los grupos de pigmentos suelen tener uno o más colores característicos, pero en algunos puede predominar uno en particular, el cual definirá el color de dicho pigmento. Para las clorofilas el color característico es el verde; mientras que para los carotenoides pueden variar entre amarillo, naranja o rojo y en el caso de las betalainas suele predominar el rojo[7]. Cada uno de estos pigmentos suele tener cierto rango en el cual absorbe mayor cantidad de luz, punto en el cual puede mejorar la eficiencia de ciertas aplicaciones como lo es el caso de sensores y celdas solares.

Las clorofilas son de uno de los pigmentos que menos se han estudiado, ya que poseen una estructura compleja la cual es difícil de estabilizar. Sin embargo, las clorofilas poseen una capacidad antioxidante y por lo tanto ayudan a reducir el daño oxidativo en algunos cuerpos. En algunos estudios de investigación en animales e in vitro, se ha demostrado que la clorofila posee propiedades anticancerígenas, es decir, tienen la capacidad de ayudar a prevenir o retrasar el cáncer[1].

La clorofila posee una característica de absorción de luz visible. Los espectros visibles de la clorofila se caracterizan por bandas de absorción de luz entre 600nm y 700nm y entre 400nm y 500nm cada una de estas bandas corresponden a regiones rojas y azules respectivamente[8].

Las betalainas son pigmentos solubles en agua. Estos pigmentos se dividen en dos grandes grupos estructurales las betacianinas de rojo a violeta rojo las cuales poseen una absorción de 538 nm y las betaxantinas de amarillo a naranja que absorben a 480nm[9]. Una de las fuentes principales de la betaína es la remolacha roja.

Los carotenoides son un grupo de fitoquímicos responsables de los colores amarillo, naranja y rojo de algunos alimentos y tienen un papel importante en la prevención de enfermedades humanas y en el mantenimiento de una buena salud. Además de ser potentes antioxidantes, algunos carotenoides también contribuyen a la vitamina A en la dieta[10].

Dado a su variación entre amarillo y rojo, y suelen oscilar entre longitudes de ondas aproximadas a 430-480nm[11], una desventaja de los carotenoides es que son muy susceptibles a la oxidación, lo cual aceleran su descomposición.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Primeramente, se inició pesando cada una de las muestras de los respectivos pigmentos en las siguientes proporciones, 0.250 mg para los pigmentos de zanahoria y betabel, mientras que para el alga espirulina fue 0.500mg, una vez listas dichas muestras se procedió a obtener las proporciones de agua destilada para cada una de las muestras las cuales fueron las siguientes, para los pigmentos de zanahoria y betabel se usaron 0.75ml de agua destilada y para el alga espirulina se usaron 0.50ml de agua destilada es decir se obtuvieron las siguientes concentraciones de las muestras, para la zanahoria y betabel 0.33mg/ml y para el alga espirulina 1 mg/ml, cabe mencionar que para cada uno de los pigmentos se requiere de 5 muestras. Posteriormente a esto se procedió a realizar la mezcla en el baño ultrasónico para esto cada una de las muestras se vertió y se selló en su respectivo frasco para evitar que se contaminara la muestra, una vez hecho esto se llevaron al baño ultrasónico, por un lapso de 15 minutos, tiempo durante el cual las partículas de los pigmentos se disolvieron por completo en la solución. Una vez finalizado el proceso de mezclado de las partículas se procedió a efectuar el calentamiento de las soluciones que se obtuvieron llevando cada una de las muestras a un recipiente donde fueron sometidas a temperaturas de 40°, 50°, 60°, 70° y 80° por lapsos de una hora, en la plancha de calentamiento ThermoFisherScientific, Modelo-SP131325 con ayuda de la cual se realizó el control de la temperatura de las muestras, y con ayuda del termómetro se garantizó la estabilidad de cada una de las muestras. Seguido de este proceso se tomó una muestra en menor proporción para llevarla al analizador de espectro óptico donde se analizaron cada una de las muestras a diferente temperatura cabe mencionar que este análisis se realizó de manera inmediata a ser retirados de la plancha de calentamiento, después de ser analizada esa muestra se dejó reposar por un lapso de 15 a 20 min o hasta que lograra alcanzar la temperatura ambiente y se sometían a un segundo análisis. Cabe mencionar que este procedimiento se repitió con las muestras

de 40°, 50°, 60°, 70° y 80° para cada uno de los pigmentos. Finalmente se realizaron todos los muestreos se procedió a hacer uso de los datos que se obtuvieron mediante un analizado de espectros compacto con un rango de longitud de onda de 200-1000 nm (ThorLab, CCS200, Newton, New Jersey)". para generar los gráficos de absorbancia correspondientes a cada una de las 5 muestras de los 3 pigmentos.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las mediciones nos arrojaron que los pigmentos de betabel poseen una estabilidad en un pico a una longitud de onda de 560nm pero solamente para las mediciones de 40°, 50° y 60° siendo la absorbancia la que varía de 0.57, 0.5 y 0.45 respectivamente mientras que para las temperaturas de 70° y 80° existe un cambio en su pico a una longitud de onda de 480nm el cual se le atribuye al grado de concentración de la sustancia, debido a que se inició a evaporar el solvente, podemos apreciar estos cambios en la figura 1.

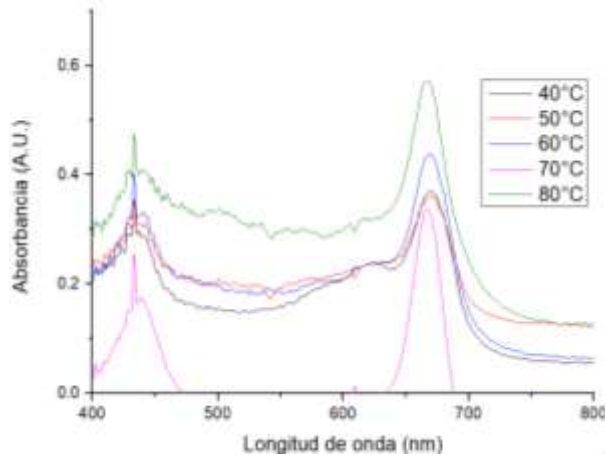


Figura 70 Longitudes de onda de la espirulina a diversas temperaturas

Mientras que para la espirulina se encuentra un punto estable a 630nm para las temperaturas de 40°, 50° y 60° (figura 2), sin embargo, no sucede lo mismo con las temperaturas de 70 y 80° mientras que ya que se presentó la misma situación que en el caso del betabel.

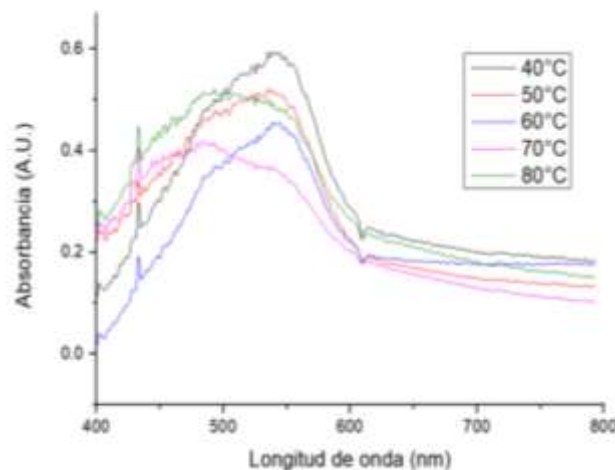


Figura 71 Longitudes de onda betabel a diversas temperaturas

Finalmente, para el caso de la zanahoria para las temperaturas de 40°, 50° y 60° se presenta un pico (figura 3) con una longitud de onda a 490nm con una absorbancia de 0.1, 0.15 y 0.18 mientras que para las temperaturas faltantes se presentó una longitud menor.

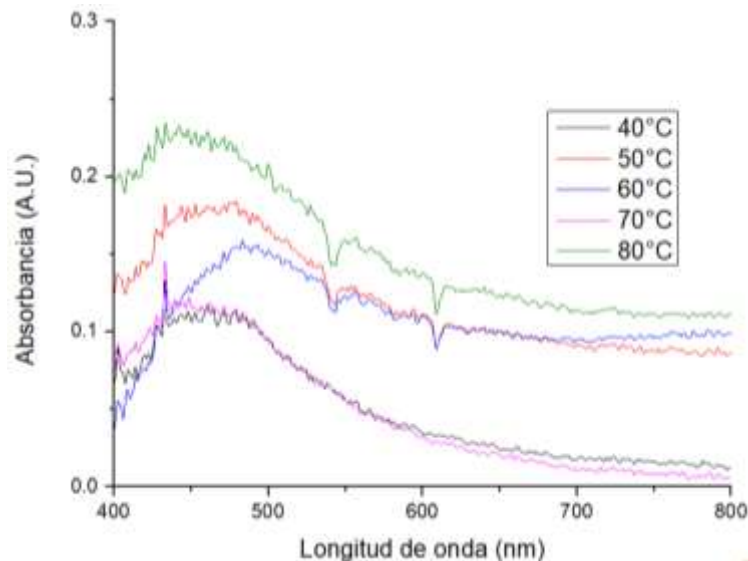


Figura 72 Longitudes de onda Zanahoria a diversas temperaturas

CONCLUSIONES

De acuerdo con el desarrollo del análisis de estabilidad termo-óptica de los tres diferentes tipos de pigmentos sometidos a diferentes temperaturas se puede concluir que:

- Los pigmentos de betabel poseen una estabilidad en un pico a una longitud de onda de 560nm, pero solamente para las mediciones de 40°, 50° y 60°.
- Para la espirulina se encuentra un punto estable a 630nm para las temperaturas de 40°, 50° y 60°.
- Para el caso de la zanahoria para las temperaturas de 40°, 50° y 60° se presenta un pico con una longitud de onda de 460nm.
- En conclusión, se tiene que el betabel es el pigmento que presenta una estabilidad mayor después de ser sometido a temperatura y regresar a su temperatura ambiente, seguido de la espirulina y dejando al final la zanahoria.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. C. Manjunath J., Shetty, P.R., Geethalekshmi I., "Natural Pigments as Potential Food Colourants : A Review," *Trends Biosci.*, vol. 10, no. 21, pp. 4057–4064, 2018.
2. M. Kaimainen, *Stability of Natural Colorants of Plant Origin*. 2014.
3. R. Ohba, S. Kitaoka, S. Ohda, and S. Ueda, "Storage Stability and Thermal Stability of Hordeumin, an Anthocyanin Pigment from Barley," *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 59, no. 4, pp. 746–748, 1995, doi: 10.1271/bbb.59.746.
4. G. Beltrán-Pérez *et al.*, "Fabrication and characterization of an optical fiber pH sensor using sol-gel deposited TiO₂ film doped with organic dyes," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 120, no. 1, pp. 74–78, 2006, doi: 10.1016/j.snb.2006.01.048.
5. Y. Zhu *et al.*, "Fabrication of three-dimensional zinc oxide nanoflowers for high-sensitivity fiber-optic ammonia gas sensors," *Appl. Opt.*, vol. 57, no. 27, p. 7924, 2018, doi: 10.1364/ao.57.007924.
6. A. Burrows, "Palette of our palates: A brief history of food coloring and its regulation," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 8, no. 4, pp. 394–408, 2009, doi: 10.1111/j.1541-

- 4337.2009.00089.x.
7. K. Solymosi, N. Latruffe, A. Morant-Manceau, and B. Schoefs, *Food colour additives of natural origin*. Elsevier Ltd., 2015.
 8. J. F. Gregory, "Fennemas_Food_Chemistry_4th_edition_.pdf.pdf." pp. 251–258, 2007.
 9. C. Huang, J. Jiang, C. Muangphat, X. Sun, and Y. Hao, "Trapping iron oxide into hollow gold nanoparticles," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–5, 2012, doi: 10.1186/1556-276X-7-43.
 10. A. V. Rao and L. G. Rao, "Carotenoids and human health," *Pharmacol. Res.*, vol. 55, no. 3, pp. 207–216, 2007, doi: 10.1016/j.phrs.2007.01.012.
 11. S. M. Reda and K. A. Soliman, "Natural dye extracted from karkadah and its application in dye-sensitized solar cells: experimental and density functional theory study: publisher's note," *Appl. Opt.*, vol. 55, no. 21, p. 5665, 2016, doi: 10.1364/ao.55.005665.

MEJORA DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA CORROSIÓN EN ACEROS FABRICADOS POR FUNDICIÓN Y POR METALURGIA DE POLVOS AL SER SOMETIDOS A TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO

Eloin N. Alvarez Acacio¹, Gerardo Vázquez Huerta¹, Enrique Rocha Rangel², José G. Miranda Hernández¹ y Elizabeth Refugio García¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco, ²Universidad Politécnica de Victoria - Tamaulipas.
eloin28@gmail.com

RESUMEN

Los aceros M2 y M4 son aceros para herramientas de alta velocidad cuyo elemento de aleación principal es el molibdeno, estos aceros tienen una alta capacidad de endurecimiento y excelente resistencia al desgaste. [1] Estos aceros son susceptibles a borurado, tratamiento que consiste en calentar el material limpio entre 700 y 1000°C, preferiblemente entre 1 a 12 horas, en contacto con un medio borurante de polvo sólido; al realizar el tratamiento de borurado en estos aceros se obtienen ventajas como: valores de dureza extremadamente altos con altos puntos de fusión de las fases constituyentes del borurado, puede mejorar considerablemente la resistencia a la corrosión de estos aceros en ácidos diluidos no oxidantes y medios alcalinos, por tales motivos permiten el uso cada vez mayor en aplicaciones industriales. [2] En la mayoría de los procesos de corrosión hay reacciones de oxidación-reducción que regularmente necesitan de tres constituyentes, un par de electrodos (ánodo y cátodo), un electrolito que funciona como medio conductor, suele ser una solución acuosa, y una conexión eléctrica entre los electrodos. [3] En el presente trabajo se presenta el comportamiento corrosivo de los aceros M2 y SISA Met M4 borurados, éstos aceros se diferencian principalmente por el método de fabricación ya que el acero M2 está fabricado por fundición y el acero SISA Met M4 está fabricado por metalurgia de polvos, en ambos aceros se realizó un tratamiento de borurado conocido como "borurado en caja" en el cual se sumergen las muestras de acero en polvo Durborid G a 950°C durante 1, 3, 5 y 7 horas, la observación de la susceptibilidad a la corrosión de los aceros borurados que se realizó mediante la prueba conocida como resistencia a la polarización lineal. Mostrando que hay una similitud de reacción corrosiva entre ambos aceros, se encuentran cambios importantes de reducción de susceptibilidad a la corrosión al realizar el borurado de dichos aceros con valores de hasta 20 veces mayor que la resistencia a la polarización de los aceros sin borurados, y el tiempo de borurado no influye significativamente en la resistencia a la polarización.

INTRODUCCIÓN

Los aceros M2 y M4 son aceros para herramientas de alta velocidad de molibdeno tienen una alta capacidad de endurecimiento, excelente resistencia al desgaste, dureza al rojo y una tenacidad baja. Su dureza ronda entre los 60 y 66 HRC. [1] SISA realiza acero M4 mediante el proceso de metalurgia de polvos, logra un acero muy homogéneo con alta resistencia al desgaste con usos en trabajo en frío, corte en alta velocidad y espesores delgados mientras que el acero M2 es un acero hecho por fundición que regularmente muestra mucho menos homogeneidad. La composición química de estos dos aceros está dada de la manera siguiente:

Acero/% en peso	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V
M2	0.83	0.30	0.30	4.10	5.00	6.10	1.90
SISA Met M4	1.45	0.30	0.30	4.30	5.20	5.50	4.00

El borurado consiste en calentar el material limpio entre 700 y 1000°C, preferiblemente entre 1 a 12 horas, en contacto con un medio borurante de polvo sólido, pasta, líquido o gas. Una ventaja básica es que las capas boruradas tienen valores de dureza extremadamente altos con altos puntos de fusión de las fases constituyentes. El borurado puede mejorar considerablemente la resistencia a la

corrosión de los materiales ferrosos en ácidos diluidos no oxidantes y medios alcalinos, esta ventaja se usa cada vez más en muchas aplicaciones industriales. [2]

Los materiales en la industria tienden a degradarse de diferentes formas según el ambiente en el que se encuentran, en los metales y específicamente en los aceros se da un proceso de degradación del material que se conoce como corrosión donde el metal tiende a la oxidación perdiendo electrones, un tipo de corrosión es la corrosión lineal que puede ser evaluada mediante técnicas como la resistencia a la polarización lineal (LPR), esta prueba muestra un valor de resistencia a la polarización lineal (R_p), mientras mayor es el R_p para un material menor es la susceptibilidad de este a corroerse.

El objetivo del proyecto es borurar los aceros SISA Met M4 y M2 a 950°C durante tiempos de 1, 3, 5 y 7 horas para determinar qué tan susceptible a la corrosión son los aceros y que tanto mejoran al aumentar la capa borurada utilizando pruebas de resistencia a la corrosión en una solución 0.5 M de HCl mediante la técnica de resistencia a la polarización lineal (LPR).

Fundamentos teóricos

Los aceros M2 y M4 son aceros que el Instituto Americano del Hierro y el Acero AISI, por sus siglas en inglés, ha clasificado como aceros grado herramienta con altos contenidos de Molibdeno que han sido utilizados para herramientas de corte de alta velocidad y trabajo en frío principalmente basados en la alta resistencia al desgaste que caracterizan a estos tipos de acero.

El borurado es un tratamiento termoquímico que consiste principalmente en colocar átomos de boro en la superficie del material por medio de la difusión del boro a partir de agentes borurantes como pasta, polvo, gas o líquido, que son los métodos más comunes usados para borurar. La difusión del boro forma dos componentes FeB, en la capa más próxima al exterior, y Fe₂B en una capa más interna aunque es posible lograr una capa única de Fe₂B dependiendo de los parámetros durante la experimentación como la temperatura, el tiempo y la composición química del agente borurante usado. El resultado del borurado es el aumento de la resistencia al desgaste una mayor dureza y en la mayoría de los aceros una mayor resistencia a la corrosión expuestos a soluciones ácidas no oxidantes y soluciones alcalinas. [4]

En su publicación Velásquez y sus compañeros evalúan la resistencia al desgaste con probetas nitruradas y boruradas de aceros O-1, H-13 y D-2; en sus pruebas de borurado a los aceros O-1, H-13 y D-2, tratadas termoquímicamente por 20 horas a 900°C, obtienen tamaños de capa de 221.11, 124.47 y 217.02 micrómetros respectivamente, las capas de los aceros O-1 y D-2 son las mayores y de forma plana, mientras que la capa del acero H-13 resultó ser la menor y de forma acerrada debido a los altos contenidos de Molibdeno y Vanadio de este acero; los aceros borurados son más resistentes al desgaste pero el de mayor resistencia es el acero O-1 debido a la forma plana de sus capas boruradas. [5]

El deterioro que muestran los metales con el paso del tiempo es a lo que llamamos corrosión, que sucede mediante procesos químicos o electroquímicos, es un proceso que se da debido a que los materiales buscan llegar a su punto de equilibrio de menor energía. En la mayoría de los procesos de corrosión hay reacciones de oxidación-reducción que regularmente necesitan de tres constituyentes, un par de electrodos (ánodo y cátodo), un electrolito que funciona como medio conductor, suele ser una solución acuosa, y una conexión eléctrica entre los electrodos. Existen diferentes tipos de corrosión, la corrosión uniforme que se da por igual en todo el material de forma homogénea, la corrosión localizada que se da en puntos específicos y es más difícil de detectarla, y la corrosión combinada con fenómenos físicos como la existencia de contacto entre dos materiales diferentes o la corrosión a partir de fisuras. [3]

Una de las técnicas para determinar la resistencia a la corrosión de un material es la de resistencia a la polarización lineal (LPR), una de las formas más comunes para realizar esta prueba es mediante la ecuación de Stern y Geary donde se relaciona la velocidad de corrosión con las pendientes de Tafel.

$$i_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad (1)$$

$$B = \frac{(b_a b_c)}{[2.303(b_a + b_c)]} \quad (2)$$

$$j_{corr} = \frac{i_{corr}}{A} \quad (3)$$

Donde b_a y b_c son las pendientes de Tafel, R_p la resistencia a la polarización y B la relación entre las pendientes de Tafel. En la ecuación 3 j_{corr} es la densidad de corrosión y A es el área de la muestra. Esta ecuación representa la relación entre la densidad de corriente de corrosión con la resistencia a la polarización. [6]

P. A. Corengia y D. A. Egidi estudiaron el comportamiento corrosivo de un acero inoxidable martensítico AISI 410 que es nitrurado por plasma a temperaturas de 400°C y 500°C durante 20 horas, mediante resistencia a polarización lineal realizaron en un potenciostato EG&G PAR 273^a con un electrolito de NaCl al 3% y utilizando un potencial de -1.00 V hacia la dirección anódica alcanzando una corriente de 1 mA/cm², obtuvieron el resultado de que la nitruración afecta las propiedades corrosivas del acero reduciendo su resistencia a la corrosión, un resultado del empobrecimiento de cromo en los bordes de grano. [7]

En recubrimientos de Fe-Zn sobre sustratos de lámina de acero cold-rolled depositados mediante ciclo Duty a 90% y con variaciones de frecuencia, encontraron un potencial de equilibrio cercano a -1V en un electrolito de NaCl al 1%. Con el análisis del software Gamry Echem Analyst se obtienen los valores de resistencia a la polarización lineal los cuales son mayores para el recubrimiento realizado a la frecuencia de 100Hz., a partir de la pendiente de la curva obtenida de polarización lineal se realiza el cálculo de la velocidad de corrosión, en el software se seleccionan dos puntos sobre la curva de más o menos 10mV arriba y abajo del potencial de equilibrio y se traza una recta entre ellos, el valor de la velocidad de corrosión que obtuvieron en milésimas de pulgada por año (mpy) fue de 968mpy. [8]

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Preparación de las muestras y tratamiento de borurado

Se obtuvieron 15 muestras de acero M2 con un espesor de 5mm a partir de una barra de ¾ de pulgada de diámetro utilizando una cortadora de disco que se muestra en la figura 1, de la misma manera se obtuvieron 15 muestras de acero M4 a partir de una barra de acero SISA Met M4 de una pulgada de diámetro.



Figura 73. Corte a las barras de acero M2 y SISA Met M4 con cortadora de disco.

El tratamiento termoquímico de borurado se realizó por el proceso conocido como borurado en caja utilizando el polvo comercial de boro Durborid G, la caja que se utilizó fue de forma cilíndrica de aproximadamente 18 cm de profundidad mostrada en la figura 2, en esta se colocaron 3 muestras de acero M2 y tres muestras de acero M4 para cada uno de los distintos tiempos de borurado (1, 3, 5 y 7 horas) con una separación entre muestra de aproximadamente 15-20 mm. Para los borurados se utilizó una mufla mostrada en la figura 3 a la temperatura de 950°C, después de cumplir las horas de borurado se dejó enfriar en la mufla hasta temperatura ambiente (25°C).



Figura 74. Caja para borurado de acero de bajocontenido de carbono.



Figura 75. Mufla para tratamientos térmicos.

Las muestras después del borurado fueron sometidas a un proceso de limpieza por ultrasonido sumergidas en alcohol etílico en el equipo de la figura 4 durante un tiempo de 15 minutos.



Figura 76. Aparato de limpieza por ultrasonido Cole-Palmer 8890.

Preparación metalográfica y dureza

A una de las muestras obtenidas del borurado para cada uno de los tiempos de tratamiento (1, 3, 5 y 7 horas) así también como a una muestra sin borurar de los aceros M2 y M4 se les realizó un estudio metalográfico para obtener imágenes de la microestructura inicial de los aceros M2 y M4 así como de las capas boruradas en un microscopio óptico Olympus mostrado en la figura 5, la preparación metalográfica de las muestras se llevó a cabo mediante el desbaste mecánico con papel abrasivo de grado 80, 180, 240, 360, 400 y 600, pulido con alúmina de 1.0 micras de tamaño de partícula en una pulidora mostrada en la figura 6 y atacadas químicamente con nital al 2% durante 11 segundos en promedio de inmersión.



Figura 77. Microscopio óptico metalográfico OLYMPUS.



Figura 78. Pulidora metalográfica con disco giratorio y paño para materiales ferrosos.

Con el uso del microdurómetro micromet 2003 de la figura 7 se obtuvo un perfil de durezas que se realizó a partir de la capa borurada, observada en cada una de las muestras después del proceso metalográfico, y desplazándose hacia el interior de la microestructura. El equipo funciona midiendo el tamaño de las diagonales de una huella de indentación de forma piramidal con una base muy parecida a un rombo que arrojan un cálculo en valores de dureza a escala Vickers.



Figura 79. Microdurómetro MICROMET 2003 marca BUEHLER.

Pruebas de resistencia a la polarización

Se realizó la fabricación de una celda para las pruebas de corrosión con material acrílico que se muestra en la figura 8 retiene la solución para formar la celda electrolítica y mantener una buena interacción de la solución con los tres electrodos (electrodo de trabajo, electrodo de referencia y contraelectrodo).



Figura 80. Celda electrolítica formada con una celda de acrílico una pequeña barra de grafito y un electrodo de Ag/AgCl.

Para la evaluación de resistencia a la polarización de los aceros M2 y M4 borurados y sin borurar se utilizó el potenciostato Versa STAT4 de la figura 9 utilizando como medio una solución al 0.5 molar de HCl, un electrodo de referencia de Ag/AgCl (3M NaCl) y un contraelectrodo de grafito; las pruebas se realizaron por triplicado para cada tiempo de borurado (0, 1, 3, 5 y 7 horas) comenzando por la medición el potencial de circuito abierto (EOCP) durante un tiempo máximo de 15 minutos y a partir del valor obtenido de EOCP se aplicó un barrido de ± 300 mV a la velocidad de 5 mVs^{-1} obteniendo valores de potencial (E en Volts) y corriente (I en Amperios) con el uso del software Versa Studio. Los valores resultantes se analizaron a partir de las curvas de Polarización lineal y las gráficas de regresión lineal de campo bajo, se obtuvieron los valores correspondientes de potencial de corrosión (E_{corr}), corriente de corrosión (I_{corr}), las pendientes anódica (b_a) y catódica (b_c) y la resistencia a la polarización (R_p) mediante la ecuación de Stern y Geary:

$$i_{corr} = \frac{B}{R_p}$$

Con el valor de B a partir de:

$$B = \frac{|b_a| * |b_c|}{2.303 * (|b_a| + |b_c|)}$$

Donde B es una relación entre las pendientes de Tafel.



Figura 81. Potenciostato Versa STAT 4 del laboratorio de electroquímica de UAM Azcapotzalco.



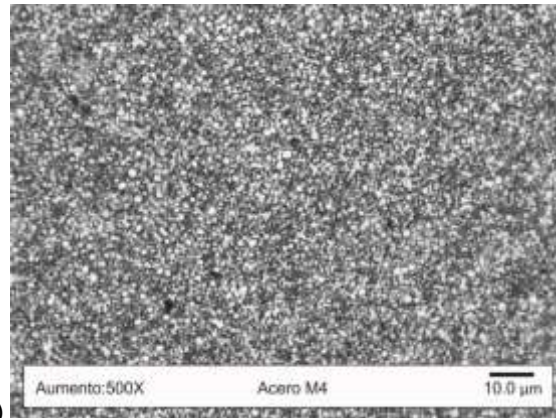
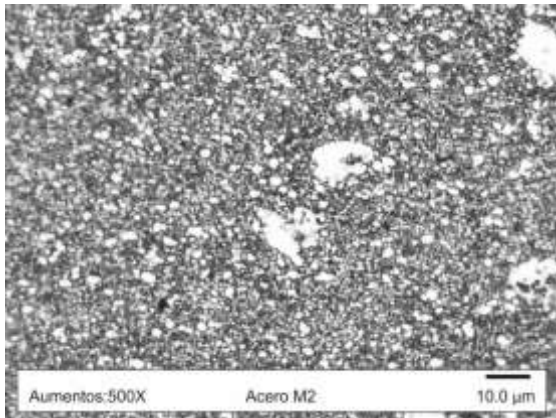
Figura 82. Interfaz del software VersaStudio utilizado para trabajar con el potenciostato Versa STAT 4.

RESULTADOS

Muestras y tratamiento de borurado

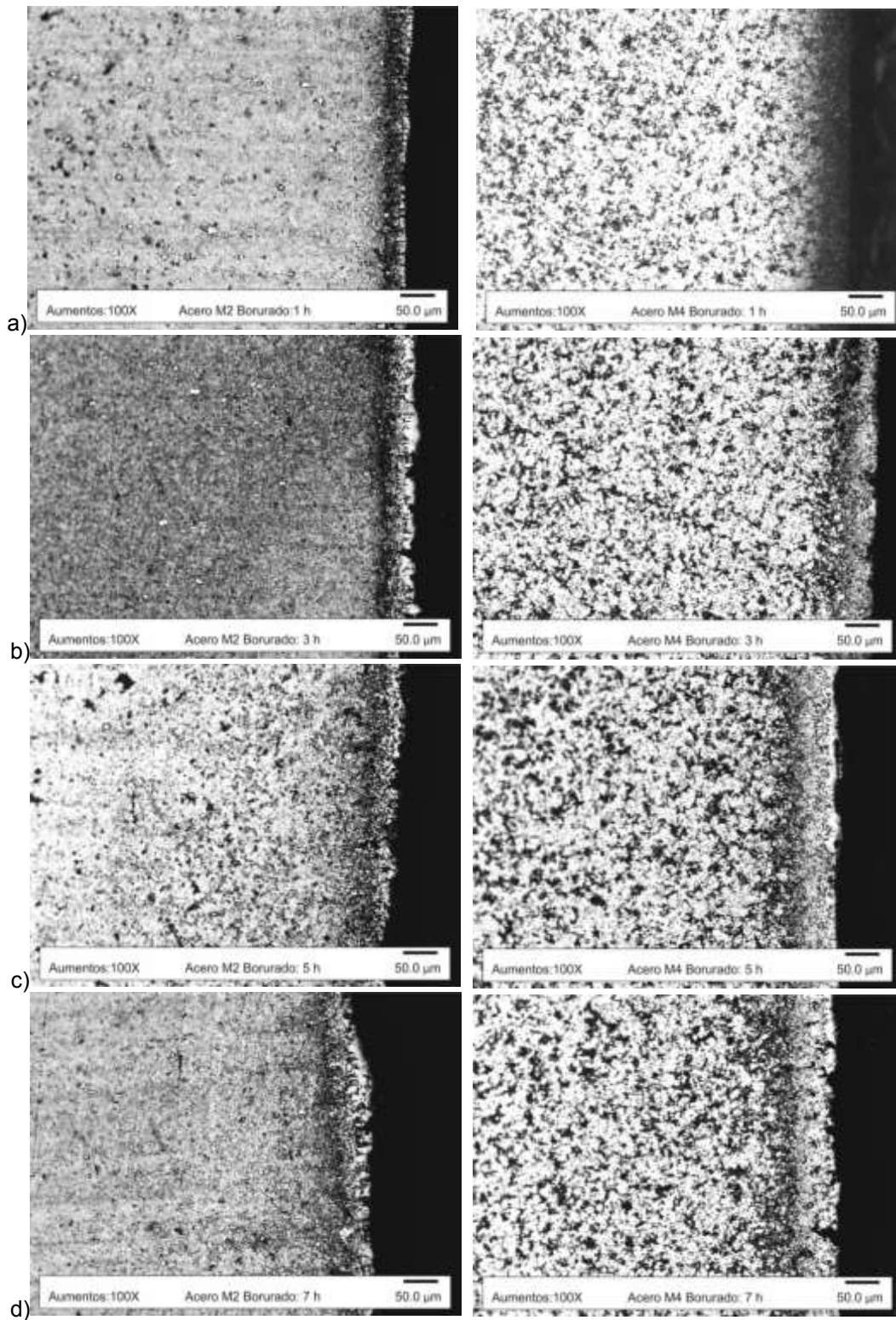
En la obtención de las muestras boruradas durante los distintos tiempos de tratamiento termoquímico realizados (1, 3, 5 y 7 hrs.) se presentó un aumento en peso que ronda entre los 10 y los 30 miligramos para cada una de las muestras indicando así que, en efecto, durante el proceso de borurado en caja con boro en polvo Durborid G se genera difusión de boro en la superficie de los aceros M2 y SISA Met M4.

Metalografías y dureza



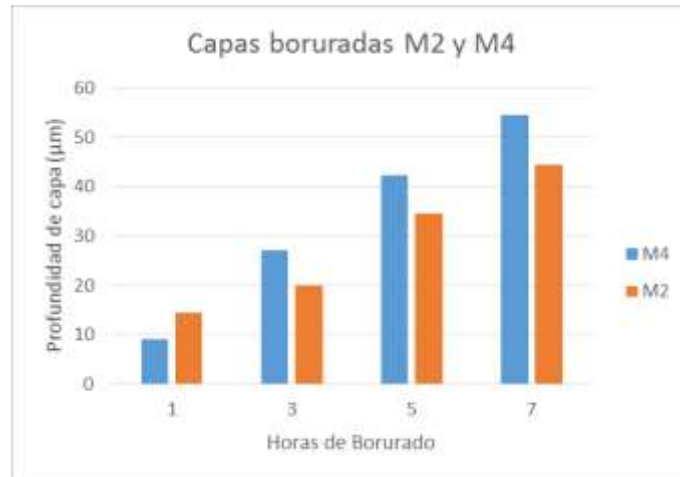
Figuras 11 y 12. Microestructura inicial obtenida a un aumento de 500X del acero a) M2 fabricado por fundición y b) SISA Met M4 fabricado por metalurgia de polvos.

A partir de la microestructura de las figuras 11 Y 12 se observa que el acero M2 y el acero M4 son dos aceros que tienen una cantidad de carburos de los elementos aleantes como el Molibdeno y el Vanadio, en el acero M2 se presentan distribuidos en precipitados de distintos tamaños pero que son bastante evidentes más en cambio en el acero M4 estos carburos se presentan en general en una especie de esferas de precipitado de tamaño y distribución muy homogénea. Una de sus diferencias es la distribución más homogénea que tiene el acero M4 que es de mayor porcentaje de carbono y está fabricado mediante un proceso de metalurgia de polvos a partir de compactación de pequeños micro lingotes esféricos de acero obtenidos por una atomización durante la salida de fundición.

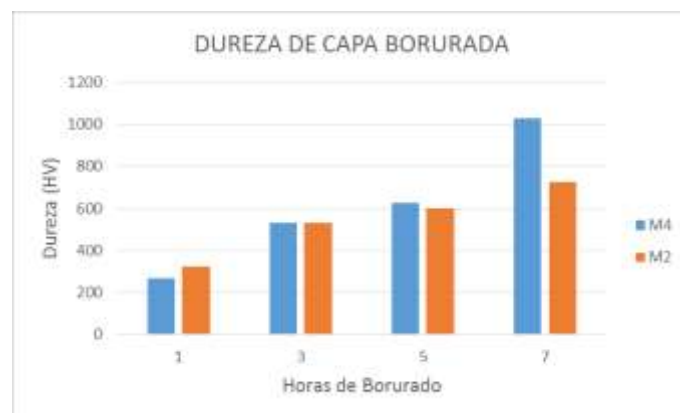


Figuras 13-20 Capas obtenidas en el acero M2 y SISA Met M4 borurado a 950°C.durante a) 1h, b)3h, c)5h, d)7h.

En las figuras numeradas del 13 al 20 se observan las microestructuras de los aceros M2 y M4 que fueron tratados termoquímicamente a diferentes tiempos de borurado, donde es posible visualizar que el efecto del tiempo de borurado es directamente proporcional a la profundidad de capa borurada; este cambio es más notorio principalmente en el acero borurado a una hora comparado con el borurado a tres horas, las profundidades de capa y las durezas que exhiben estas capas se muestran en las gráficas 11 y 12, donde de igual forma se observa que a mayores tiempos de borurado, aumenta significativamente tanto la dureza como la profundidad de capa, los resultados exhiben que el acero SISA Met M4 tiene mejor respuesta a borurarse que el acero M2 debido a que el acero M4 tiene una morfología microestructural más fina y homogénea que el acero M2.



Gráfica 11. Tamaños de la profundidad de capas boruradas de los aceros M2 y M4 a los diferentes tiempos de borurado.

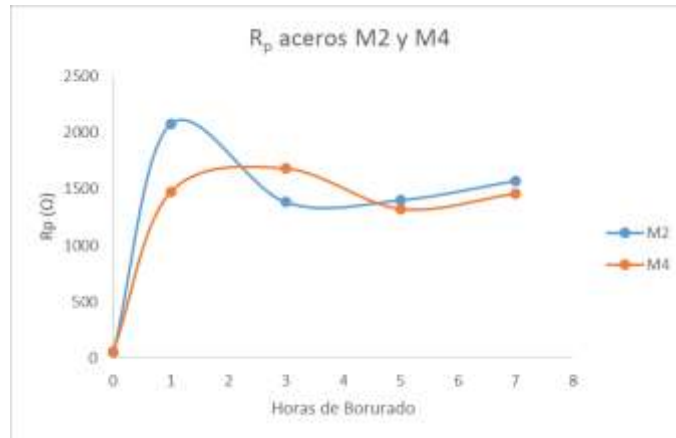


Gráfica 12. Durezas de las capas boruradas de los aceros M2 y M4 a 1, 3, 5 y 7 horas.

Durante los tratamientos termoquímicos de borurado a las diferentes horas se observó la aparición de incremento de la capa de boro en donde típicamente se forman los compuestos de FeB y Fe₂B, esto aunado con el aumento de peso por la adición de boro a la superficie; es una capa de tipo plana de profundidades pequeñas debido a los elementos aleantes como el Cr que inhiben su crecimiento, las capas rondan entre 9 y 14 µm para los borurados de 1 hora y llegan hasta los 40-55 µm para los borurados de 7 horas, espesor suficientes para considerarse en una protección a desgaste corrosivo superficial. Las capas de borurado arrojaron valores de dureza que van desde 520 hasta 1000 HV una diferencia considerable a los valores de las zonas de la microestructura que no tienen difusión de boro que se encuentran entre 260 y 350 HV.

Pruebas de resistencia a la polarización

A partir de graficas de Campo bajo se obtuvieron los valores de R_p , valores que se a partir del E_{corr} y valores de 5mV arriba y abajo del E_{corr} obteniendo así una serie de puntos de los cuales a partir de la aproximación lineal se representa la R_p como la pendiente de esta línea. En la tabla XX se observa como el R_p de los aceros sin borurar está muy por debajo del R_p encontrado de los aceros borurados, un indicador que confirma que los aceros borurados tienen una mayor resistencia a la polarización lineal y así mismo una menor susceptibilidad a la corrosión. Los valores de R_p entre las diferentes horas de borurado no presentan valores muy distantes así que se puede considerar que los tamaños de capa menores de 9 y 14 μm obtenidos a 1 hora de borurado generan resultados muy convincentes de disminución de susceptibilidad a la corrosión en medio ácido.



Gráfica 10. Tendencia de la R_p de los aceros M2 y M4 a partir de las pruebas sin borurar hasta las 7 horas de borurado.

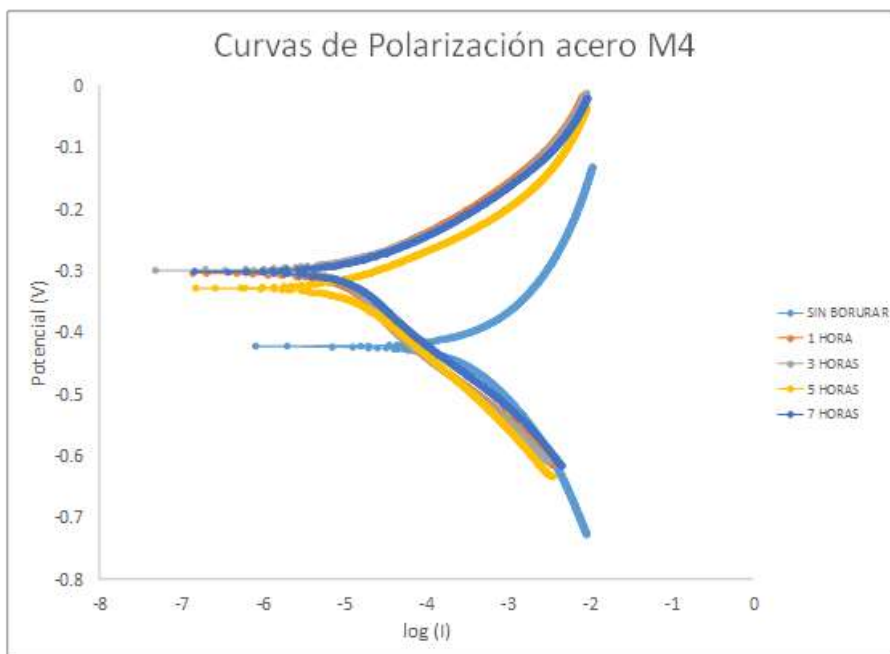
Tabla 2. Valores promedio obtenidos de las pruebas de resistencia a la polarización lineal realizadas a los acero M2 y SISA Met M4 borurados y sin borurar.

Acero	horas de borurado	R_p (Ω)	E_{corr} (mV)	I_{corr} (μA)
M2	0	51.571	-427.44	249.30
	1	2074.1	-297.50	5.26
	3	1383.5	-296.90	8.24
	5	1400.8	-321.82	8.80
	7	1572.6	-303.29	8.13
M4	0	63.56	-423.73	237.49
	1	1474.3	-316.84	10.23
	3	1681.3	-296.05	8.01
	5	1323.7	-325.42	9.67
	7	1459	-305.00	10.04

En las curvas de Polarización se forman dos ramas, anódica y catódica, las cuales tienden a tener una simetría a partir de un valor de potencial; tanto la curva anódica como la catódica presentan una región lineal y en esta región es donde se obtienen los valores de las pendientes de Tafel (ba y bc). Cuando se realiza una extrapolación lineal de la región lineal de las curvas de Polarización se genera una intersección entre dos líneas rectas donde el punto de la intersección entre ellas lleva a la identificación de los valores del logaritmo de la corriente de corrosión ($\log(I_{corr})$) y el potencial de

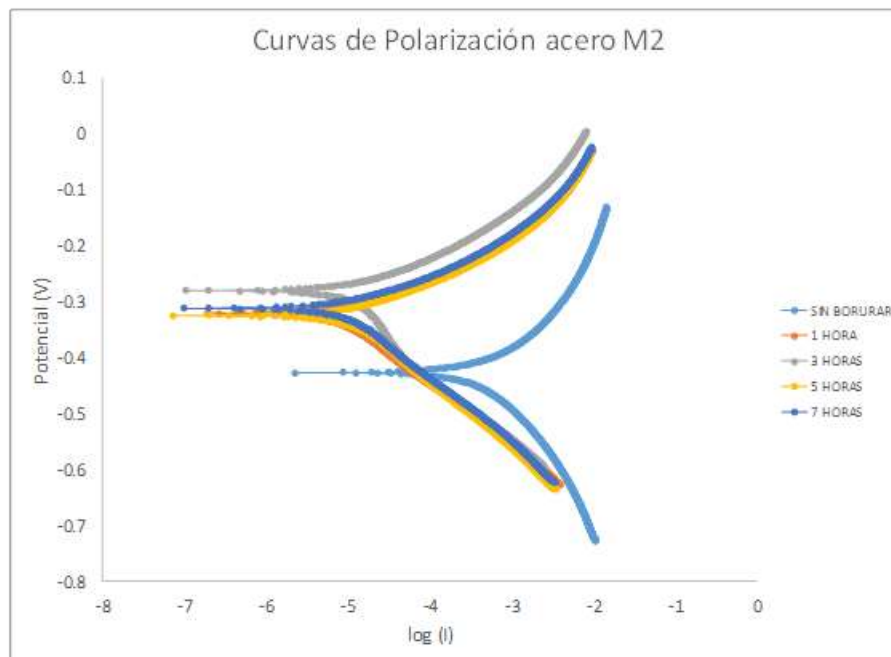
corrosión (E_{corr}), este punto se obtienen a partir de la teoría de intersección de dos rectas de donde, conforme a la convención utilizada, el valor de y representa el E_{corr} y el valor de x representa el $\log(I_{corr})$; a partir de este último valor $\log(I_{corr})$ se realiza un antilogaritmo para obtener el valor de la corriente de corrosión (I_{corr}).

En las gráficas 3 y 4 se observa la tendencia de la curvas de Polarización a desplazarse a mayores valores de potencial y menores valores de corriente mientras aumenta el tiempo de borurado tanto en el acero M2 como en el acero M4; en ambos aceros se observa una gran diferencia entre las pruebas de las muestras boruradas y la prueba a la muestra sin borurar.



Gráfica 3. Curvas de Tafel obtenidas para el acero SISA Met M4 a los diferentes tiempos de borurado (1, 3, 5 y 7 horas).

Las curvas de Polarización en la gráfica 4 muestran un desplazamiento positivo del potencial al borurar el acero M2, se puede observar que a los tiempos de 1 y 3 horas de borurado el valor del potencial de corrosión aumenta de valores de -427 mV hasta valores que rondan los -297 mV, no así para los tiempos de 5 y 7 horas de borurado aun así a comparación del acero M2 sin borurar si aumentan el potencial de corrosión, alcanza valores de entre -321 y -303 mV. En tanto a la corriente de corrosión del acero M2 pasa de tener valores de 249 μA sin borurar a disminuir hasta 5 μA para una hora de borurado, los valores para 3, 5 y 7 horas de borurado rondan los 8 μA de corriente de corrosión. Algo muy similar sucede para el comportamiento en la gráfica 3 del acero SISA Met M4 que sin borurar muestra valores de -423 mV de potencial de corrosión y 237 μA de corriente de corrosión, el potencial de corrosión se ve en aumento a 1 y 3 horas de borurado con valores de -316 y -296 mV respectivamente mientras que se observa una aumento de potencial de corrosión a 5 y 7 horas de borurado que llega a -325 y -305 mV, la corriente de corrosión registra valores en disminución que llegan a 10 μA a una hora de borurado y 8 μA a 3 horas de borurado, muy cercano a esos valores los borurados de 5 y 7 horas registran valores en aumento de 9 y 10 μA respectivamente.



Gráfica 4. Curvas de Tafel obtenidas para el acero M2 a los diferentes tiempos de borurado (1, 3, 5 y 7 horas).

En general la gran diferencia existe entre las muestras boruradas con las muestras no boruradas pues los valores de I_{corr} y E_{corr} se comportan de forma muy constante a las distintas horas de borurado, incluyendo así que una de las principales causas es que en la medición del E_{corr} depende principalmente que es solo de la capa expuesta. No obstante estos efectos que cambian la tendencia a reducir la corriente de corrosión y a aumentar el potencial de corrosión a más horas de borurado, por muy mínimos que parezcan, son atribuidos a los elementos de aleación de los aceros grado herramienta de la serie M como el Molibdeno, el Tungsteno, el Cromo y el Vanadio que a estas temperaturas es posible que comiencen a interferir en la formación de las fases deseadas que son FeB y Fe₂B comenzando a formar compuestos intersticiales como CrB y Cr₂B.

CONCLUSIONES

Respecto a la morfología microestructural de los aceros M2 y SISA Met M4 es posible concluir que el acero SISA Met M4 presenta una microestructura más fina y homogénea tanto en forma y tamaño de carburos, comparada el acero M2.

Por otra parte, es posible concluir que a mayores tiempos de borurado, aumenta significativamente tanto la dureza como la profundidad de capa, los resultados exhiben que el acero SISA Met M4 tiene mejor respuesta a borurarse formando una capa plana borurada y en el acero M2 una capa tipo aserrada.

La disminución de corriente de corrosión, el aumento del potencial de corrosión y principalmente los valores de R_p encontrados son atribuidos a la existencia de las capas obtenidas durante el borurado que en efecto realizan el trabajo de protección corrosiva a los aceros M2 y SISA Met M4.

El aumento de tiempos de borurado y por ende el aumento en el tamaño de capa no necesariamente generó una mayor protección corrosiva ante el HCl, en tanto así que no es necesario realizar un tratamiento de borurado a tiempos muy prolongados a menos que el material a borurar tenga aplicaciones en lugares con exposición a desgaste corrosivo continuo.

Sin embargo, los aceros M2 y M4 sin borurar exhiben mayor susceptibilidad a la corrosión que los aceros borurados.

Una morfología microestructural más fina y homogénea permite una mejor difusión del boro en el acero SISA Met M4 fabricado por metalurgia de polvos que el acero M2 fabricado por fundición.

BIBLIOGRAFÍA

1. G. Roberts, G. Krauss y R. Kennedy, Tool Steels, ASM International, 1998.
2. K. Sinha y P. Division, ASM Handbook Volumen 4 Heat Treating, Boriding (Boronizing), USA: ASM International, 1991, pp. 437-447.
3. J. A. Salazar Jiménez, «Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales,» *Tecnología en Marcha*, vol. 28, n° 3, pp. 127-136, 2015.
4. O. Cortes Herrera, Obtencion de capas boruradas en aceros al carbono y alea empleando Bórax como medio de aporte, Ciudad de México: Tesis para obtener gr de licenciatura en Ingeniería Mecánica, UNAM, 2016.
5. J. L. Velasquez, A. A. Torres, I. Hilerio y E. A. Gallardo, «Resistencia al Desgaste Abrasivo en Recubrimientos Duros Sobre Aceros Aleados,» *Memorias del XVII Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, pp. 771-776, 2011.
6. I. Mejía Caballero, Evaluación de la resistencia a la corrosión de aceros aleados de uso industrial endurecidos por difusión superficial de boro, Ciudad de México: Tesis de Doctorado, ESIME IPN, 2015.
7. P. A. Corengia, D. A. Egidi, M. O. Quinteiro, G. O. Ybarra, C. A. Moina y A. Cabo, «Microestructura y comportamiento frente a la corrosión de un acero inoxidable martensítico nitrurado por plasma,» *Revista Materia*, pp. 98-108, 2003.
8. E. Tovar Quiroz, A. d. P. González Sánchez y L. F. Lozano Gómez, «Evaluación electroquímica de recubrimientos Zn-Fe depositados con corriente pulsante,» *Informador Técnico (Colombia)*, pp. 6-10, 2015.

METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO Y DESARROLLO DE PLANTILLAS ERGONÓMICAS

Alejandro Rosas Flores¹, Israel Miguel Andrés¹, Javier Cruz Salgado²

¹CIATEC A.C., ²Universidad Politécnica del Bicentenario.
arosas.picyt@ciatec.mx

RESUMEN

Uno de los principales componentes del calzado es la plantilla, misma que es la encargada del contacto con el pie, estas pueden tener diferentes propósitos, como lo son: control de olores, soporte al arco plantar, reducir el dolor, control de la humedad, acojinamiento, entre otros, sin embargo, las propiedades funcionales y de confort son el valor agregado más decisivo para el usuario de plantillas. Hay muy pocas aplicaciones en la industria del calzado para predecir el desempeño del calzado, y la integración de ingeniería asistida por computadora (CAE por sus siglas en inglés) en los departamentos de diseño en las compañías de calzado es muy poca. Basada en CAE el análisis por elemento finito (FEA por sus siglas en inglés) se ha convertido en una herramienta muy popular gracias a su versatilidad y exactitud para el modelado de distintos componentes de calzado. El objetivo de este proyecto es establecer una metodología para el diseño de plantillas mediante el análisis de elemento finito que integre las características del usuario, propiedades mecánicas del material y garantizar la funcionalidad del producto final. Se creó un procedimiento en el que se analizan las características del medio en el que se desenvuelven los usuarios a los que va dirigido el diseño de la ortesis, se crearon los protocolos para evaluar las características baropodométricas del público objetivo con ayuda de un Baropodómetro y un PodoScan2D (Sensor medica) donde se analizan estadísticamente. Se realizaron los protocolos de creación de la plantilla mediante un software de diseño asistido por computadora (ABAQUS CAE) y se caracterizaron 6 materiales para obtener sus propiedades mecánicas mediante una máquina de ensayos universal (Instron), estos materiales sirven como materia prima para la manufactura de la plantilla. Con los datos recabados anteriormente se crea el modelo de elemento finito para ser simulado con las diferentes combinaciones de material y geometría de la plantilla, agregando además las características del público objetivo. Al realizar la simulación numérica por elemento finito se encuentra la combinación que mejor redistribuye la presión plantar, de esta forma se comprobó que al aplicar la metodología existe un ahorro de tiempo y materiales para hacer pruebas de distintas combinaciones. Por lo que, al aplicar la metodología de diseño mediante elemento finito para el diseño de plantillas se optimiza el proceso de diseño y desarrollo de plantillas.

INTRODUCCIÓN

Existen plantillas para reducir o evitar distintas alteraciones morfológicas diagnosticadas en pacientes que ayudan a mejorar la distribución de la presión plantar y así evitar deterioro en la estructura del pie y en la salud en general, sin embargo, existen otras actividades que pueden alterar la estructura del pie debido a las condiciones a las que el pie está expuesto; escenarios laborales o deportivos entran en esta categoría, es por eso que el diseño y desarrollo de plantillas ergonómicas juega un papel fundamental como medida de prevención y/o corrección de alteraciones musculoesqueléticas en el pie. El diseño y desarrollo de plantillas ergonómicas es un proceso tardado que requiere especialización y experiencia para determinar la forma, material y espesor de material, que puede repercutir en realizar tareas de prueba y error para encontrar un producto funcional que mejore las condiciones del calzado para el usuario. Este proyecto pretende crear una metodología para el diseño de plantillas ergonómicas mediante el uso del análisis de elemento finito integrando las características antropométricas del usuario, las propiedades mecánicas del material y analizando la actividad a la que mayormente está expuesta la estructura podal, eligiendo el mejor material y disminuir los tiempos de ensayo-error en la manufactura de la plantilla. Al crear una metodología de diseño y desarrollo de plantillas mediante elemento finito se conoce la respuesta que esta tendrá bajo condiciones normales creando un producto funcional. En este documento se detalla la parte teórica, parte experimental y resultados.

TEORÍA

Ergonomía y antropometría

La ergonomía es la disciplina relacionada con la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y los elementos de un sistema, y es, al mismo tiempo, la profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos de diseño para optimizar el bienestar humano y todo el desempeño del sistema (Sáenz Luz, 2013). Es fundamental para el desarrollo de este proyecto conocer la estructura anatómica del pie, el pie humano consiste en 26 huesos y 33 articulaciones; además de músculos y ligamentos (Drake, Vogl, Mitchell, & Gray, n.d.). Siete tarsos forman el tobillo como la conexión entre la pierna y el pie, 5 metatarsos forman la zona media y lateral del pie y catorce falanges forman los dedos del pie (Logan et al., 2012).

El pie cavo no absorbe tanto estrés como lo hace el pie plano, pero este pasa a la tibia y el fémur. El pie plano absorbe más estrés en la estructura músculo-esquelética del pie en comparación con el pie cavo, por lo que las incidencias de fracturas por estrés en la estructura del pie es mayor en individuos con pie plano (Frey, 1997). Conocer las dimensiones antropométricas permite crear dispositivos más certeros acorde a la región en donde se utilizarán. Los datos antropométricos confiables y los procedimientos técnicos de la ergonomía se convierten en poderosas herramientas disponibles hoy para la adecuación dimensional óptima de los productos de diseño al hombre (Ávila Chaurand Rosalío, Prado León Lilia Roselia, & González Muñoz Elvia Luz, 2007).

Ingeniería de producto

El diseño de ingeniería de producto es el conjunto de estudios, trabajos y planeación, que suele realizar un equipo multidisciplinario, que sirve para llevar a cabo la realización de un producto desde su concepción y diseño de detalle, su fabricación, hasta el fin de su vida útil, su desmontaje y reciclaje. Se enfoca principalmente en las funciones que ha de satisfacer dicho objeto, pero también tiene en cuenta su compleja interrelación con los usuarios, sus deseos e incluso al placer emocional que pueden experimentar (Lloveras, 2007)

Como lo comentan Smith et al., el uso de la biomecánica en el diseño de componentes de calzado, proporciona los medios para conocer los efectos en las extremidades inferiores y encontrar información clínica y física relevante con la finalidad de mejorar condiciones en los usuarios (Smith, Wegener, Greene, Chard, & Fong Yan, 2012).

Ingeniería de materiales

Además de las condiciones antropométricas en materia de ingeniería de producto es preciso recurrir a la tecnología de materiales, dado que permiten obtener las propiedades funcionales que se requieren para la actividad. En un artículo publicado por Braithwaite se menciona la importancia de los materiales y su uso particular en cuestión técnica, funcional y sensorial, como propiedades naturales del diseño (Braithwaite, 2017).

La elección del mejor material para la manufactura de la plantilla representa que propiedades proporcionará este material acorde a su diseño, espesor, propiedades mecánicas, etc. Por lo que es importante definir con que material se estará trabajando, en un artículo desarrollado por Pratt, Reese y Rodgers analizan cinco diferentes materiales empleados para la elaboración de plantillas y estos son sometidos a pruebas de absorción de impactos, se encontró que el viscolas (polímero viscoelástico) es el que mejor absorbe los impactos (Pratt, Rees, & Rodgers, 1986).

Una de las problemáticas del proyecto es elegir el mejor material para plantillas acorde a la actividad, es decir, se busca encontrar un material que reúna las características a las cuales el producto estará expuesto durante la práctica, para esto la ingeniería de materiales permite identificar las propiedades mecánicas y físicas de algunos productos mediante distintas pruebas.

Análisis mediante elemento finito

El método de elemento finito (FEM por sus siglas en inglés) es un método numérico empleado para resolver problemas complejos en ciencia e ingeniería. Es una técnica numérica utilizada para aproximar soluciones a ecuaciones diferenciales parciales que involucra dividir la estructura de interés en elementos pequeños, discretizar. El comportamiento individual de los elementos particionados y su relación uno con otro sirve para determinar el comportamiento completo de la

estructura. FEM es usado comúnmente en donde el problema analítico es complejo y una solución simple no puede ser obtenida (Liu & Quek, 2013)(Rao, 2005)(Ratner, 2004).

La aplicación del método de elemento finito en el diseño de la plantilla permitirá simular diferentes materiales que son sometidos a las situaciones comunes durante la práctica del baloncesto, gracias a esto se podrá determinar si el material y el diseño de la plantilla podrán cumplir con las condiciones a las cuales estarán expuestos.

Evaluar diferentes plantillas representa un costo alto en desarrollo, mediante un análisis del elemento finito es posible analizar diferentes diseños, materiales y situaciones, se han desarrollado trabajos que analizaron la presión plantar con plantillas desarrolladas con espumas poliméricas (Berroter et al., 2014). Los diferentes diseños de la plantilla pueden afectar la manera en que la presión plantar es distribuida, dependiendo de las necesidades del paciente, San Tsung et al., compararon la efectividad de diferentes diseños de plantilla para redistribuir la presión plantar durante la marcha (Tsung, Zhang, Mak, & Wong, 2005). El área de contacto es importante durante cada una de las etapas del ciclo de marcha para determinar en qué puntos está haciendo efecto la presión plantar, en un estudio desarrollado por Murphy se estudió la relación entre el área de contacto y la presión plantar (D.F., B.D., J.D., & P.M., 2005).

PARTE EXPERIMENTAL

Para la optimización de diseño de plantillas ergonómicas es necesario determinar la metodología a seguir, con la intención de crear un proceso estandarizado medible, que permita identificar áreas clave de interés para ser descritas y analizadas para mejorarla. En la Figura 83 se muestra la propuesta de metodología para el diseño de plantillas ergonómicas, la cual consiste en el análisis de la actividad a la cual la plantilla estará expuesta, realizar los protocolos de evaluación de las características antropométricas, realización de pruebas físicas, análisis estadístico, desarrollo de las plantillas en CAD, caracterización del material y la simulación numérica por elementos finitos. Esta metodología comienza con la integración del análisis de la actividad a la cual está expuesto el usuario en conjunto con sus características antropométricas para a partir de eso realizar un análisis estadístico de la población y conferir el grado de personalización o semi-personalización al producto, para posteriormente ser analizado mediante FEM y determinar si el producto dará la funcionalidad para el cual fue creado.

Análisis de la actividad

Existen diferentes actividades que generan distintas presiones sobre distintas áreas en la estructura podal, es necesario analizar la actividad a la cual el pie estará expuesto para que el diseño de calzado o bien los componentes de calzado sean los adecuados para realizar dicha actividad.

Para desarrollar un análisis funcional y práctico en este estudio se analiza una población de jóvenes deportistas de entre 15 y 24 años practicantes de baloncesto femenino de la ciudad de León.

Dentro de las actividades deportivas existen factores de riesgo que pueden conducir a una lesión, Rochongar menciona que los factores de riesgo intrínsecos son: la edad, flexibilidad, morfología, lesiones anteriores, y los factores de riesgo extrínsecos como lo son: el nivel de la práctica, modalidad de entrenamiento y materiales (Rochongar, 2014). Las principales afecciones del baloncesto femenino músculo-tendinosas y osteoarticulares en extremidades inferiores son: esguince de tobillo, fracturas por estrés de los metatarsianos, contusión del talón, tendinopatías, síndrome rotuliano, periostitis y lesiones meniscales (Benguerbi et al., 2015). Se han descrito las zonas de mayor prevalencia de alteraciones músculo-esqueléticas en actividades deportivas realizadas por jóvenes así como el índice de pie plano (Miguel-Andrés, Rivera-Cisneros, Mayagoitia-Vázquez, Orozco-Villaseñor, & Rosas-Flores, 2020).

En el baloncesto, los movimientos que requieren un esfuerzo en las extremidades inferiores son el salto vertical, aterrizajes del salto, cambio de dirección, esprints, movimientos laterales (defensivos), pivotes y cambios de velocidad en la carrera que requieren cierto grado de esfuerzo y por ende pueden llevar a sobreesfuerzos de ciertos músculos y articulaciones, por consiguiente, provocar una lesión. En el caso del baloncesto existen cinco factores clave para tener un buen rendimiento deportivo: Condición física, antropometría, habilidades técnico-tácticas, factores psicosociales,

rasgos psicológicos (Sánchez, 2010), la sinergia entre estos elementos es fundamental para realizar una práctica de calidad y segura.

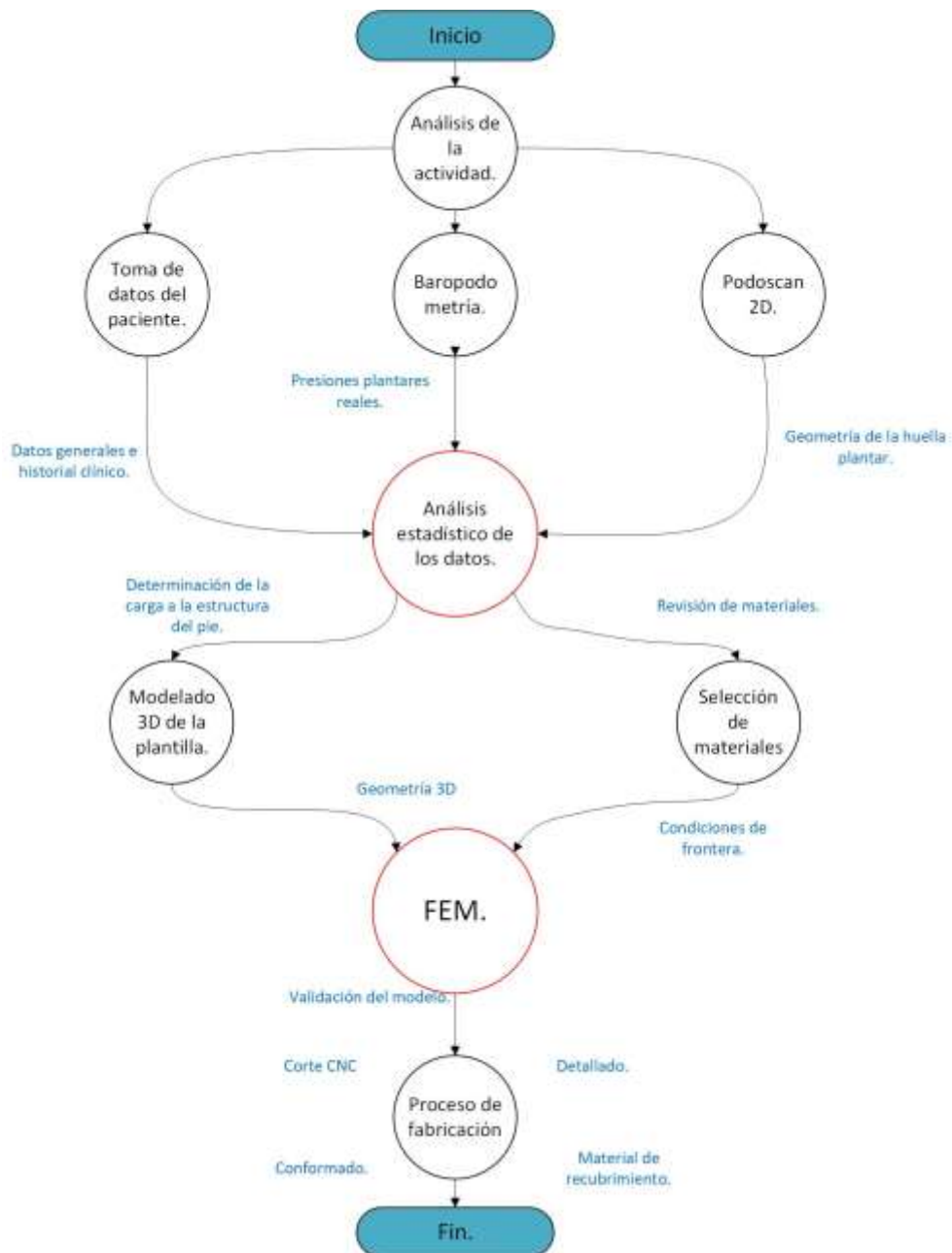


Figura 83. Metodología para el diseño y desarrollo de plantillas ergonómicas.

Protocolos de evaluación de características antropométricas y presión plantar

Se efectuó el estudio a la estructura corporal, morfología, fisiología y biomecánica a 30 participantes de baloncesto femenino de una edad entre 15 y 25 años. Como criterio de inclusión se revisó que todos los participantes pudieran ejecutar sus actividades deportivas correspondientes de manera natural y se excluyó aquellos que presentan dificultades motrices, amputaciones o problemas neuronales. Los procedimientos, riesgos y beneficios fueron explicados a fin de obtener su

consentimiento de participación voluntaria y por escrito, de acuerdo con la Ley General de Salud de México, y cuidando los principios de la Declaración de Helsinki.

Para la toma de las mediciones se utilizaron dos equipos principalmente, un Baropodómetro (Sensor Medica®, Guidonia Montecelio, Roma, Italia) que se encarga de tomar las pruebas de presión plantar en sus diferentes fases y un PodoScan 2D (Sensor Medica®, Guidonia Montecelio, Roma, Italia) encargado de tomar la imagen de la huella plantar.

Una vez explicado el funcionamiento de los equipos y tomado el consentimiento informado, se procedió a la grabación de las pruebas. Primero se realizó la prueba estática, el paciente se coloca al inicio de la plataforma descalzo, de manera erguida con las manos a los costados y se graba la distribución de presión plantar durante 10 segundos. Enseguida se realizó la prueba dinámica, se le indica al participante que debe caminar de manera natural, completar dos ciclos de ida y vuelta e iniciar con el pie derecho. El tiempo de ejecución de la prueba dinámica es de 30 segundos.

Posterior a las pruebas con el Baropodómetro, el paciente tomó un descanso de 3 minutos para finalmente realizar el escaneo de la huella de los pies con el PodoScan2D. El participante se colocó sobre la plataforma del PodoScan2D viendo hacia el frente y con las manos en los costados, se inició el escaneo mediante el dispositivo y se dio por enterado al participante cuando esta termina.

Análisis estadístico

Se detectó una media de número calzado (Europa) por el PodoScan2D de 36.8 ± 1.5 en el pie izquierdo y 36.68 ± 1.30 en el pie derecho, una media de longitud del pie izquierdo de 234.45 ± 10.074 mm y 234.22 ± 10.018 mm en el pie derecho. Además, se encontró un promedio del ancho del antepié izquierdo de 91 ± 5.06 mm y 91.59 ± 5.12 mm en el pie derecho, se encontró un promedio de ancho de talón izquierdo de 60 ± 4.17 mm y talón derecho de 61.09 ± 4.86 . La distribución de la carga muestra una tendencia de apoyo en el retropié durante la fase estática y apoyo en el antepié durante la fase dinámica misma que está influenciada por el ciclo de marcha. Se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la distribución de la carga tanto en condiciones estáticas como en dinámicas.

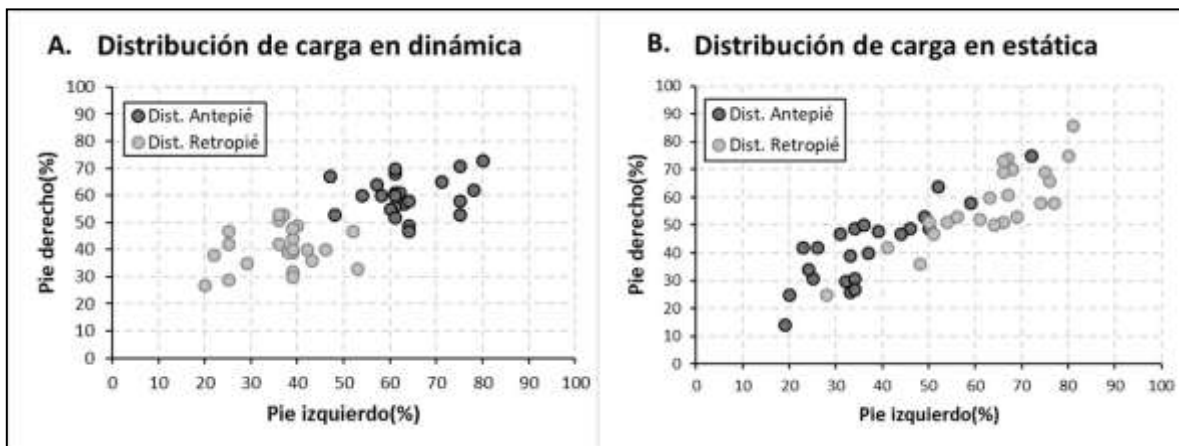


Figura 84. A. Distribución de carga en dinámica, B. Distribución de carga en estática.

Durante la prueba estática se encontró una media de presión plantar máxima de 1061.54 ± 192.18 gr/cm² en el pie izquierdo y 970.09 ± 180.34 gr/cm² en el pie derecho, durante la fase dinámica se encontró una media de presión plantar máxima de 3458.54 ± 680.71 gr/cm² en el pie izquierdo y 3180.54 ± 441.89 gr/cm² en el pie derecho.

Desarrollo de las plantillas en CAD

Para el desarrollo 3D de la plantilla se optó por una plantilla plana con la finalidad de eliminar el efecto de la redistribución de la presión plantar por parte de la geometría, para el modelado 3D de la

plantilla se utilizó ABAQUS CAE versión estudiantil, se muestra en la Figura 85 el modelado de la plantilla elaborado a partir de las mediciones del PodoScan 2D.

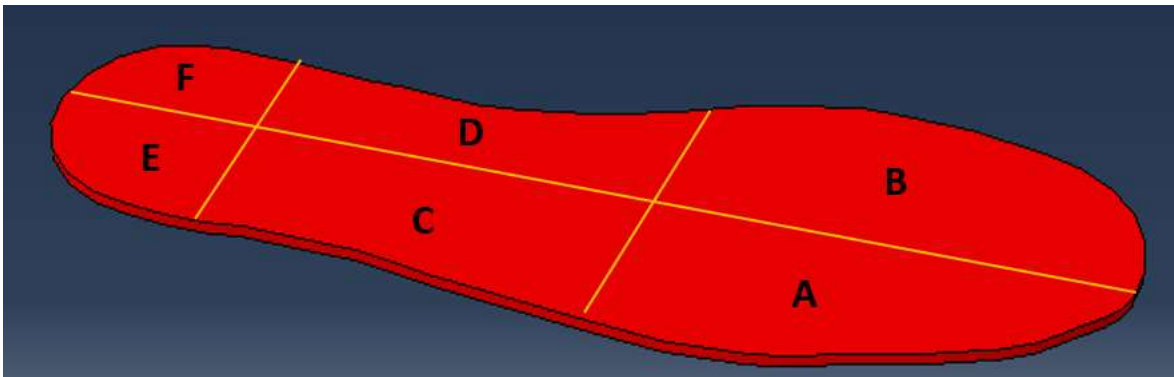


Figura 85. Modelado de la plantilla 3D en ABAQUS CAE dividido en zonas.

Caracterización del material

La literatura muestra que para la selección del material con el cual se realiza la plantilla está se basa en la preferencia del ortopedista o en su experiencia, el costo y que los recursos estén disponibles, para la elección del material se realizó una búsqueda en la literatura y en el mercado actual analizando los materiales utilizados para redistribución de la presión plantar en distintos contextos y posteriormente una búsqueda de proveedores para el análisis de fichas técnicas de los materiales en busca de las características para la simulación mediante FEM. Para la localización de los proveedores de estos materiales se acudió a ANPIC (Asociación Nacional de Proveedores de la Industria de Calzado) la feria de proveedores más importante del país para el sector cuero-calzado organizada por CICEG (Cámara de la Industria del Calzado del Estado de Guanajuato) a la cual asisten 350 empresas expositoras y más de 11000 compradores y visitantes. Se encontraron tres proveedores de estos materiales, por cuestiones comerciales no se muestran sus nombres, en la Tabla 27 se muestran los proveedores y los materiales que mayormente comercializan para la manufactura de plantillas.

Tabla 27. Materiales mayormente comercializados por principales proveedores de León.

PROVEEDOR	MATERIAL	ESPESOR
P1	EVA	2.5 mm
	EVA	3.0 mm
P2	Látex genérico	5.5 mm
	Látex antibacterial	3.2 mm
	Látex carbón activado	3.0 mm
P3	EVA	3.2 mm

La densidad es una magnitud escalar que mide la cantidad de masa que hay en un determinado volumen de sustancia. Para determinar la densidad del material se utiliza la Ecuación 1 la cual establece que la densidad está dada por la cantidad de masa que hay en un determinado volumen de sustancia.

$$p = m/V$$

Ecuación 1. Fórmula para determinar la densidad.

En donde:

p=Densidad

m=Masa

V=Volumen

Posteriormente se calcularon los valores de densidad para todos los materiales, mismos que se muestran en la Tabla 28. Acorde a los valores encontrados el material con mayor densidad es el látex antibacterial y el material con menor densidad es el EVA de 2.5 mm de espesor.

Tabla 28. Cálculo de densidad de cada material.

Proveedor	Material	Volumen(cm ³)	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)
P1	EVA 2.5mm	6.25	0.518	0.083
	EVA 3.0mm	7.5	0.680	0.091
P2	Látex genérico	11.25	2.131	0.189
	Látex antibacterial	8	3.411	0.426
	Látex carbón activado	8	2.629	0.329
P3	EVA 3.2mm	8	0.838	0.105

La prueba de tracción se realizó en la máquina universal de ensayos Instron la cual mide la carga soportada por el material antes de romperse. Las pruebas se realizaron bajo la norma ASTM 638 (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics). En la Tabla 29 se muestran los principales resultados de la prueba de tracción.

Tabla 29. Principales resultados de la prueba de tracción.

Proveedor	Material	Módulo de Young (MPa)	Tensión Max (MPa)	Def rotura (%)	Tenacidad (MPa)	Tensión en la rotura (MPa)
P1	EVA 2.5mm	1.995	0.833	139.25	0.750	0.833
	EVA 3.0mm	1.650	0.916	231.55	1.383	0.916
P2	Látex genérico	0.540	0.247	227.88	0.399	0.224
	Látex antibacterial	0.580	0.312	266.73	0.574	0.310
	Látex carbón activado	0.561	0.239	218.90	0.366	0.233
P3	EVA 3.2mm	2.458	1.060	138.45	0.932	1.060

Para determinar el coeficiente de Poisson se realizó bajo la norma ASTM E132-17 (Standard Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature). Se utiliza la Ecuación 2 la cual indica la relación entre la deformación longitudinal que sufre el material en sentido perpendicular de la fuerza aplicada y la deformación transversal pudiendo tomar como referencia cualquiera de los dos ejes transversales. En la Tabla 30 se muestran los valores encontrados para cada uno de los materiales.

$$v = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = -\frac{\epsilon_z}{\epsilon_x}$$

Ecuación 2. Cálculo del coeficiente de Poisson

En donde:

v= Coeficiente de Poisson.

εx= Deformación longitudinal x

εy= Deformación transversal y

εz= Deformación transversal z

Tabla 30. Cálculo del coeficiente de Poisson para los materiales.

Proveedor	Material	Deformación longitudinal $\epsilon_x(mm/mm)$	Deformación transversal $\epsilon_y(mm/mm)$	Poisson ν
P1	EVA 2.5mm	0.98	-0.30	0.31
	EVA 3.0mm	1.48	-0.42	0.29
P2	Látex genérico	1.55	-0.16	0.11
	Látex antibacterial	1.78	-0.25	0.14
	Látex carbón activado	1.49	-0.28	0.19
P3	EVA 3.2mm	0.98	-0.35	0.36

Simulación numérica por elementos finitos

Una vez modelada la plantilla y determinada las propiedades mecánicas de los materiales, se procedió a mallar el modelo de la plantilla se utilizó el tipo de elemento “C3D8R: An 8-node linear brick” y a realizar un análisis de convergencia de la malla, para determinar el número de nodos fuera adecuado para realizar la simulación y predecir los resultados del modelo. En la Figura 86 se muestra la gráfica de convergencia de la malla en donde a partir de 422 elementos se encontró convergencia.

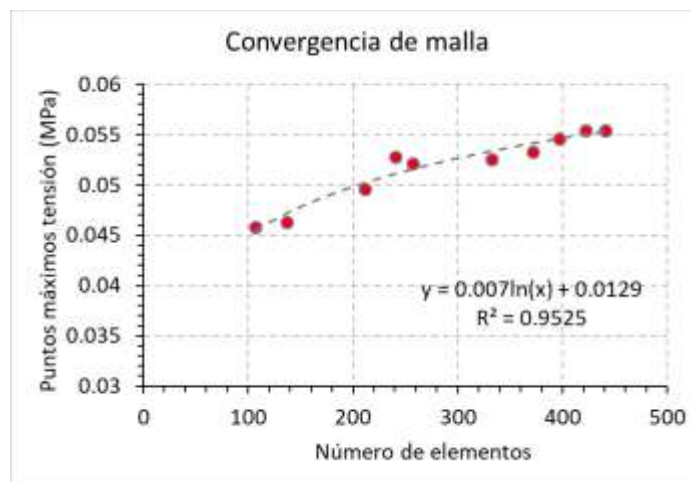


Figura 86. Análisis de convergencia de la malla.

Para realizar las simulaciones se dividió al pie en 6 partes con la intención de aplicar las cargas conforme a lo encontrado en el estudio de baropodometría mismas que se observan en la Figura 85, de la siguiente manera:

- Zona A: Parte lateral del antepié
- Zona B: Parte medial del antepié
- Zona C: Parte lateral del medio pie
- Zona D: Parte medial del medio pie
- Zona E: Parte lateral del retropié
- Zona F: Parte medial del retropié

Para realizar las comparaciones de las deformaciones de cada material se creó un nodo de referencia por cada zona de pie que sirvieron como punto de observación inicial y determinar la deformación en ese nodo. Se aplicaron las condiciones de frontera para limitar los desplazamientos y rotaciones de la plantilla colocada en el suelo, y se aplicaron las cargas en cada una de las regiones

acorde a las presiones encontradas en el Baropodómetro, se muestra en la Figura 87 aplicación de las condiciones de frontera y las presiones aplicadas.

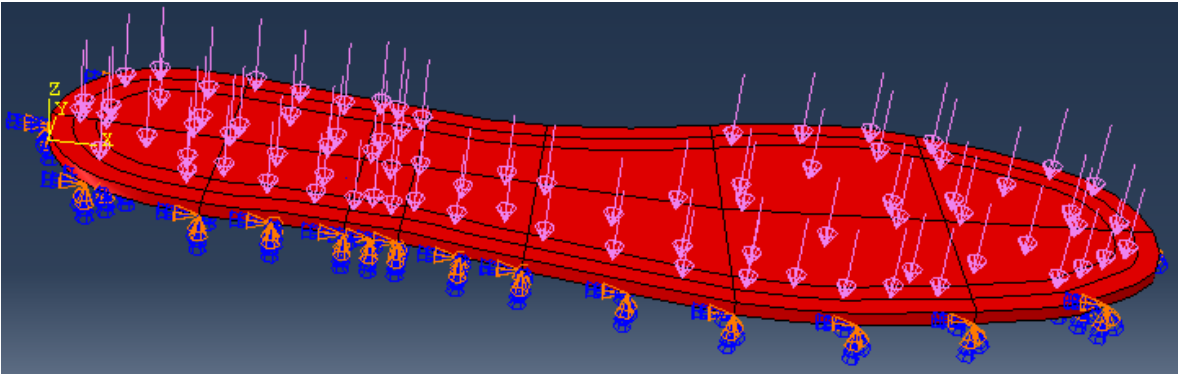


Figura 87. Presiones y condiciones de frontera aplicadas a la plantilla.

Se realizaron 6 simulaciones al pie izquierdo y 6 simulaciones al pie derecho adecuando las características de cada material al modelo y aplicando las cargas en cada región del pie. En la Figura 88 se aprecia la plantilla derecha elaborada a partir de EVA de 3.2 mm, durante las tensiones a las cuales está expuesta durante la fase estática en condiciones normales. La última fase del proyecto es llevar el diseño de la plantilla a manufactura donde será cortada con una máquina CNC.

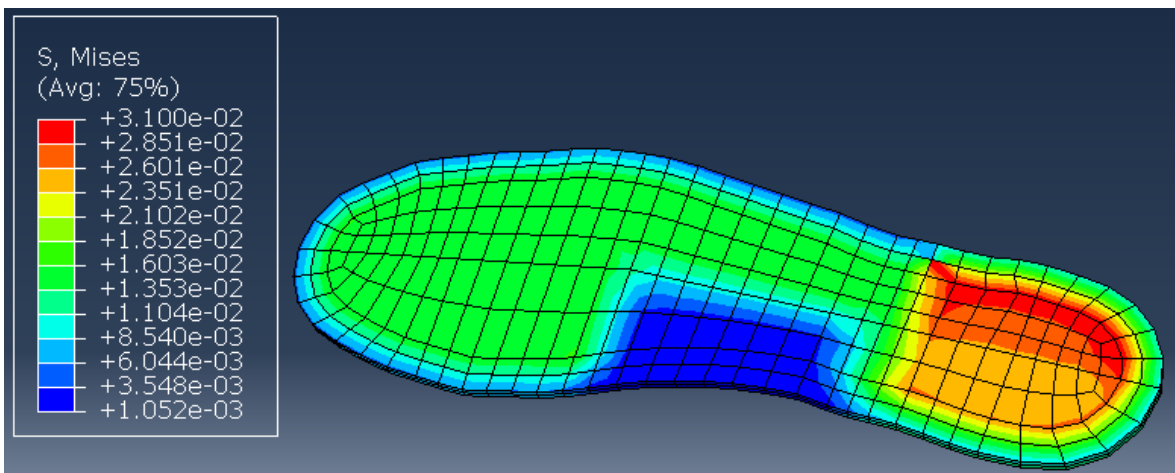


Figura 88. Simulación por elemento finito plantilla 3.2 mm EVA

RESULTADOS

Dentro de los principales resultados a analizar se encuentra el estrés Von Mises se encontró que el material que mejor distribuye las presiones plantares es el EVA de 3.2 mm de espesor, en general el EVA se muestra superior respecto al látex, en la Figura 89 se puede observar las comparativas de cada uno de los materiales analizados.

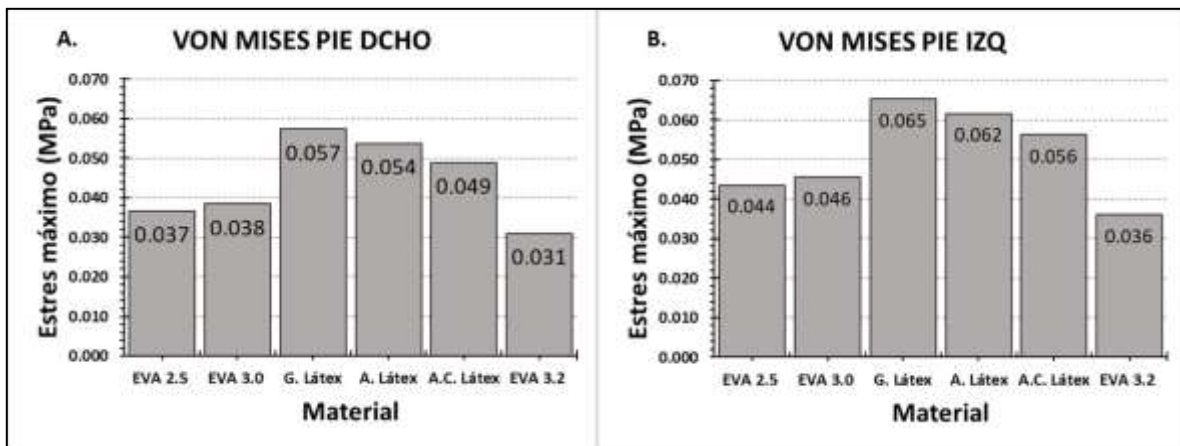


Figura 89. Von Mises stress para los materiales evaluados A.Pie derecho B. Pie izquierdo.

La

Tabla 31 muestra los desplazamientos de cada uno de los puntos de referencia acorde a la zona, los desplazamientos mayores corresponden a las zonas donde existe una mayor presión durante la fase estática, las cuales representan al retropié. El material con el menor desplazamiento es el EVA de 3.2 mm de espesor para los dos pies y en cada zona. El material que tiene mayor deformación es el látex genérico de 5.5 mm de espesor para los dos pies y en cada zona.

Pie	Material	Zona A mm	Zona B mm	Zona C mm	Zona D mm	Zona E mm	Zona F mm
Izquierdo	EVA 2.5	0.032	0.034	0.045	0.033	0.060	0.063
Izquierdo	EVA 3.0	0.041	0.043	0.053	0.039	0.080	0.085
Izquierdo	Látex Genérico	0.345	0.356	0.362	0.225	0.684	0.753
Izquierdo	Látex Antibacterial	0.186	0.192	0.224	0.157	0.364	0.392
Izquierdo	Látex Carbón Activo	0.171	0.179	0.214	0.152	0.335	0.360
Izquierdo	EVA 3.2	0.029	0.030	0.038	0.029	0.057	0.059
Derecho	EVA 2.5	0.032	0.034	0.047	0.030	0.063	0.052
Derecho	EVA 3.0	0.042	0.044	0.056	0.035	0.081	0.069
Derecho	Látex Genérico	0.352	0.354	0.386	0.209	0.673	0.582
Derecho	Látex Antibacterial	0.190	0.193	0.237	0.141	0.367	0.313
Derecho	Látex Carbón Activo	0.175	0.182	0.225	0.136	0.339	0.288
Derecho	EVA 3.2	0.030	0.030	0.040	0.026	0.058	0.049

Tabla 31. Desplazamientos para cada punto de referencia de acuerdo a la zona.

CONCLUSIONES

Acorde a lo determinado por el análisis de elementos finitos el EVA es el material que mejor redistribuye la presión plantar ya que presenta mejores propiedades mecánicas para dicho trabajo en comparación con el látex en sus distintas formulaciones. El EVA de 3.2 mm de espesor del proveedor 3 es el que mejor redistribuye las presiones plantares, por lo tanto, se recomienda este material para la manufactura de plantillas ergonómicas. La fase de diseño involucró la evaluación y análisis de características antropométricas de las participantes para posteriormente hacer el modelado de la plantilla y realizar simulaciones con distintos materiales, por lo que, se cumple el objetivo de minimizar el tiempo de ensayo-error en la elaboración de plantillas y se elige el mejor material, por tanto, se optimiza la metodología para el diseño y desarrollo de plantillas ergonómicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ávila Chaurand Rosalío, Prado León Lilia Roselia, & González Muñoz Elvia Luz. (2007). Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana.
2. Benguerbi, E., Isidro, S., Campillo, M., Bettan, M., Doleux, D., Pin, P., ... Bienstman, W. (2015). El pie en el deporte. *EMC - Podología*, 14(4), 1–20. [https://doi.org/10.1016/s1762-827x\(12\)63396-3](https://doi.org/10.1016/s1762-827x(12)63396-3)
3. Berroter, M., Bol, S., Jose, O., Monrroy, P., Bol, S., Virginia, M., & Simon, C. (2014). Evaluación numérica por elementos finitos de la redistribución de presiones plantares en plantillas para calzado de personas con pie diabético. (May 2016).
4. Braithwaite, N. (2017). Sensing creativity: The role of materials in shoe design. *Senses and Society*, 12(1), 90–94. <https://doi.org/10.1080/17458927.2016.1223786>
5. D.F., M., B.D., B., J.D., M., & P.M., V. (2005). Efficacy of plantar loading parameters during gait in terms of reliability, variability, effect of gender and relationship between contact area and plantar pressure. *Foot and Ankle International*, 26(2), 171–179.
6. Drake, R. L. (Richard L., Vogl, W., Mitchell, A. W. M., & Gray, H. (n.d.). *Gray's anatomy for students*.
7. Frey, C. (1997). Footwear and stress fractures. 16(2), 249–257.
8. Liu, G. R. (Gui-R., & Quek, S. S. (2013). *The finite element method : a practical course* (2nd Edition; Butterworth-Heinemann, ed.).
9. Lloveras, J. (2007). Creatividad en el diseño conceptual de ingeniería de producto. *Creatividad y Sociedad*, 10.
10. Logan, B. M., Sardesai, A. M., Daivajna, S., Robinson, A. H. N., Hutchings, R. T., & McMinn, R. M. H. (Robert M. H. (2012). *McMinn's color atlas of foot and ankle anatomy*. Elsevier/Saunders.
11. Miguel-Andrés, I., Rivera-Cisneros, A. E., Mayagoitia-Vázquez, J. J., Orozco-Villaseñor, S. L., & Rosas-Flores, A. (2020). Flatfoot index and areas with the highest prevalence of musculoskeletal disorders in young athletes. *Fisioterapia*, 42(1), 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.ft.2019.08.002>
12. Pratt, D., Rees, P., & Rodgers, C. (1986). Assessment of some shock absorbing insoles. *Prosthetics and Orthotics International*, 10, 43–45. Retrieved from <http://informahealthcare.com/doi/abs/10.3109/03093648609103079>
13. Rao, S. S. (2005). Overview of Finite Element Method. *The Finite Element Method in Engineering* (4th ed; Butterworth-Heinemann, ed.). Burlington.
14. Ratner, B. D. (Buddy D. . (2004). *Biomaterials science : an introduction to materials in medicine*. Elsevier Academic Press.
15. Rochongar, P. (2014). Lesiones crónicas del aparato locomotor en el deportista. *EMC - Aparato Locomotor*, 47(2), 1–10. [https://doi.org/10.1016/S1286-935X\(14\)67557-2](https://doi.org/10.1016/S1286-935X(14)67557-2)
16. Sáenz Luz. (2013). Ergonomía y Diseño Analisis y Aplicación Para Calzado Laboral. *Iconofacto*, 4(5), 122–139.
17. Sánchez, M. S. (2010). El acondicionamiento físico en baloncesto. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 42(154), 99–107. [https://doi.org/10.1016/s1886-6581\(07\)70044-0](https://doi.org/10.1016/s1886-6581(07)70044-0)
18. Smith, R., Wegener, C., Greene, A., Chard, A., & Fong Yan, A. (2012). Biomechanics of footwear design. *Journal of Foot and Ankle Research*, 5(S1), 1–2. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-5-s1-i1>
19. Tsung, B. Y. S., Zhang, M., Mak, A. F. T., & Wong, M. W. N. (2005). Effectiveness of insoles on plantar pressure redistribution. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 41(6), 767. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2003.09.0139>

DETECCIÓN DE GAS PROPANO APLICANDO UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO ANALÓGICO Y UN SENSOR QUÍMICO BASADO EN ÓXIDO DE NIQUEL ANTIMONIATO

José Trinidad Guillen Bonilla^{1*}, Gustavo Adolfo Vega Gómez², Alex Guillen Bonilla³, María Eugenia Sánchez Morales⁴, Víctor Manuel Rangel Cobian⁶, Verónica María Rodríguez Betancourt⁵, Héctor Guillen Bonilla⁶, Jorge Alberto Ramírez Ortega⁶

¹Departamento de Electrónica, ²Departamento de Mecánica, ⁵Departamento de Química, ⁶Departamento de Ingeniería de Proyectos, CUCEI, Universidad de Guadalajara, ³Departamento de Ciencias Computacionales e Ingenierías, CUValles, ⁴Departamento de Ciencias Tecnológicas, CUCiénega, Universidad de Guadalajara.
trinidad.guillen@academicos.udg.mx

RESUMEN

En este trabajo se propone un dispositivo electrónico para la detección de gas propano el cual está conformado por un sensor químico y un circuito electrónico analógico. El sensor químico modifica su conductividad cuando su superficie es expuesta al gas propano, como una consecuencia, su resistencia eléctrica es modificada en función de la concentración de gas. Posteriormente, el sensor químico se conecta a uno de los brazos del puente de Wheatstone y este se calibra a la concentración de gas propano deseada por el usuario. A la salida del Puente de Wheatstone se conecta un amplificador instrumental cuya función es hacer una comparación entre las dos señales de salida del puente de Wheatstone y amplificarla, obteniéndose una ganancia controlada a partir de una resistencia variable. Finalmente, la señal de salida del amplificador instrumental se envía a un circuito comparador el cual genera una señal de alarma debido a alta concentración de gas propano en la atmosfera. Este dispositivo puede operar a la temperatura de 200 grados centígrados o temperaturas mayores. Este nuevo prototipo de gas propano tiene bajo coste, es ideal en aplicaciones industriales donde se desean evitar fugas de combustible y riesgos de explosión.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, alrededor del mundo muchos grupos de investigación producen nuevos materiales con el objetivo de aplicarlos como sensores químicos. Estos sensores pueden sensor o detectar gases tóxicos como son monóxido de carbono (CO) [1,2], dióxido de carbono (CO₂) [3,4] y gas propano (C₃H₈) [5,6]. Para producir un sensor químico en base a un nuevo material se requiere de varias etapas, las cuales son básicamente: 1) Síntesis del material, en este proceso se produce el nuevo material a través de un proceso químico, considerando temperaturas y concentraciones; 2) Difracción de rayos X (XRD), esta caracterización física permite observar las puresas de materiales ya que si el material tiene impurezas no funcionará correctamente en la detección del gas; 3) Microscopía (SEM, Scanning Electron microscopy y TEM Transmission Electron microscopy), esta caracterización superficial permite medir porosidad y tamaño de partícula del material sintetizado. Sus mediciones son importantes debido a que la sensibilidad del nuevo sensor depende directamente de sus tamaños; 4) Pruebas eléctricas estáticas y pruebas eléctricas dinámicas. En las pruebas estáticas, el sensor se alimenta con corriente directa, se le aplican diferentes concentraciones de gas y se obtiene el comportamiento Resistencia vs. Concentración, Sensibilidad vs. Concentración y Resistividad vs. Concentración [7,8]. Mientras que, en las pruebas dinámicas, al sensor se le aplica una señal de corriente alterna con amplitud unitaria, una frecuencia de operación y también una concentración de gas de operación. A través de las mediciones se determina el comportamiento de Impedancia vs. Tiempo y Ángulo de fase vs. Tiempo [9,10]. Cabe mencionar que, las pruebas eléctricas estáticas y dinámicas nos aportan el buen funcionamiento del nuevo sensor químico desarrollado.

Ya que un nuevo sensor es fabricado y caracterizado, un análisis de su respuesta eléctrica es requerido con el objetivo de proponer un circuito electrónico ó un microcontrolador óptimo para su adaptación de señal. Para resultados de pruebas estáticas en los sensores químicos basados en óxidos, si su adaptación de señal es a través de un circuito electrónico analógico, los requerimientos básicos son una fuente de voltaje de corriente directa (CD) cuya función es alimentar al circuito, un puente de Wheatstone para la adaptación de señal entre sensor y circuito, un sumador-restador

electrónico con el objetivo de verificar el desbalance del puente de Wheatstone cuando el sensor químico detecta presencia de gas en la atmósfera y un amplificador de señal cuya función es incrementar la respuesta del sumador restador [2]. Si un microcontrolador se aplica en la adaptación de señal, los requerimientos básicos son una fuente de voltaje, un microcontrolador con entradas analógicas, salidas digitales y además desarrollar el software de acuerdo a una teoría de operación. Por otro lado, en la respuesta dinámica se analiza la impedancia y fase del sensor químico, como resultado del análisis se propone un circuito electrónico donde la respuesta a la frecuencia juega un papel fundamental [10].

En este trabajo se muestra el procedimiento para fabricar un nuevo sensor químico y a partir de su respuesta eléctrica, proponemos un circuito electrónico para su adaptación de señal. El sensor es basado en el óxido de Níquel Antimoniato mientras que el circuito electrónico analógico se basa en amplificadores operacionales. Combinando al sensor y el circuito electrónico, implementamos un prototipo para la detección de gas propano en la atmósfera, su temperatura de operación es a 300 °C y su concentración de operación es de 50 ppm pero es seleccionable por medio de una resistencia variable dentro de un rango de detección de 1 a 500 ppm. Nuestro prototipo fue experimentalmente comprobado y tiene alta aplicación industrial donde los sistemas de seguridad son importantes.

TEORÍA

En Figura 1 se muestra el diagrama esquemático del sistema de detección de gas propano (C₃H₈), donde el óxido de Níquel Antimoniato (NiSb₂O₆) fue usado para fabricar al sensor químico y un circuito analógico se considera para su adaptación de señal. Basados en Figura 1, el sensor se coloca en uno de los brazos del puente de Wheatstone, su alimentación es con una fuente de corriente directa de 12 Volts y cuenta con una resistencia variable Rx para su calibración. La salida del puente de Wheatstone son las señales de entrada del circuito sumador-restador el cual está regido por la expresión $V_A = V_a - V_b$ donde V_A es el voltaje de salida del circuito sumador-restador y V_a, V_b son los voltajes de salida del puente de Wheatstone. Finalmente, la señal V_A es la entrada de un circuito comparador cuyo voltaje de salida V_{Alarm} es la señal de alarma producida por el dispositivo detector de gas propano en la atmósfera.

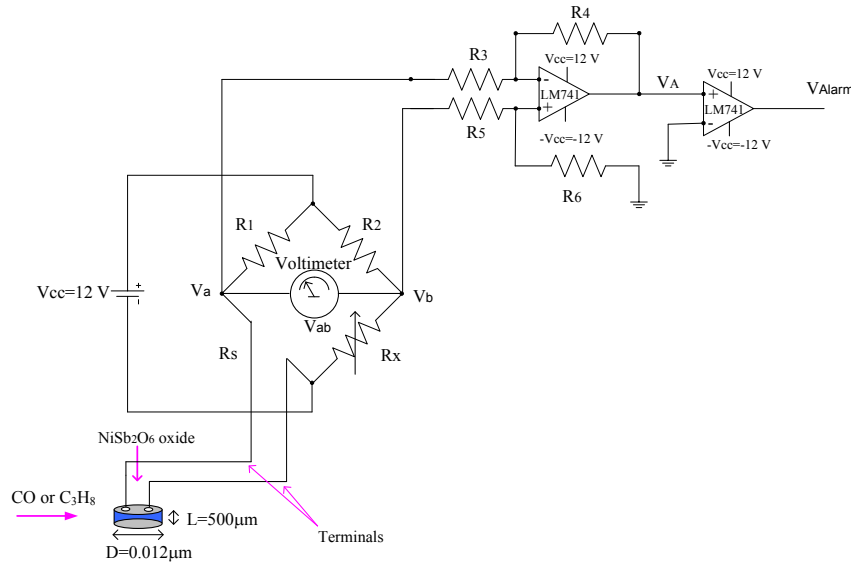


Figura 1. Diagrama electrónico propuesto para el sistema de detección de gas propano basado en el óxido Níquel Antimoniato y un circuito electrónico analógico.

PARTE EXPERIMENTAL

Para desarrollar el dispositivos de detección de gas propano fue necesario sintetizar polvos de óxido de Níquel Antimoniato, siendo utilizado el método coloidal asistido con radiación de microondas. En la síntesis se empleó 1.4560 g de Ni(NO₃)₂•6H₂O (Mallinckrodt Beker, 99%), 2.2802 g de SbCl₃

(Sigma-Aldrich $\geq 99\%$) y 0.5 mL de etilendiamina (Sigma-Aldrich $\geq 99\%$). Los tiempos, procedimientos e instrumentos empleados son descritos en las referencias [2,8]. En la caracterización física de los polvos del óxido NiSb_2O_6 , su fase cristalina fue medida empleando difracción de rayos X en polvo. Su análisis fue realizado usando el equipo Panalytical Empyrean con radiación $\text{CuK}\alpha$ y longitud de onda 1.546 Å. El difractograma fue obtenido a un barrido de 2θ desde 10° hasta 90° aplicando pasos de 0.026° a una velocidad de 30 segundos por paso. Por otro lado, para estimar el tamaño de partícula fue usado un microscopio electrónico de transmisión (TEM) de marca Joel JEM-1010 con voltaje de aceleración de 100 kV. Finalmente, las pruebas eléctricas de sensibilidad consistieron en medir los cambios resistivos de la pastilla del óxido NiSb_2O_6 cuando se le aplica la temperatura de operación de 300°C en diferentes concentraciones de C_3H_8 (1, 5, 50, 100, 200, 300, 400 y 500 ppm). Las dimensiones de la pastilla (en 0.5 mm de espesor y 12 mm de diámetro) se indica en Figura 1. Con el objetivo de hacer las mediciones eléctricas, a la pastilla de óxido NiSb_2O_6 se les situaron dos contactos óhmicos de pintura de plata coloidal en la superficie (Alfa Aesar, 99%) y posteriormente fue colocado dentro de una cámara de medición con capacidad de vacío en 10^{-3} torr. La presión parcial del gas fue controlada con un detector TM20 Leybold y resistencia eléctrica se midió con un multímetro modelo Keithley 2001. Por último, la sensibilidad fue determinada usando la expresión [11]: $S = (G_G - G_0)/G_0$, donde G_G y G_0 son las conductancias en las pruebas de gas (C_3H_8) y aire, respectivamente

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el difractograma, en la medición del tamaño de partícula y en la medición de sensibilidad están en concordancia con los resultados reportados en las referencias [2,6,8]. Por otro lado, las mediciones de resistividad y resistencia son mostradas en Figura 2. Observando la Figura 2a, la resistividad decae cuando la concentración aplicada al sensor químico se incrementa, de tal forma que, la resistividad mínima es aproximadamente $4.2 \Omega\text{m}$ (500 ppm) y la resistividad máxima es aproximadamente $49.3 \Omega\text{m}$ (1 ppm). Ahora, observando la Figura 2b, la resistencia mínima es aproximadamente 14.3Ω (500 ppm), la resistencia máxima es 218.4Ω (1 ppm) y la resistencia decrece nuevamente cuando la concentración de gas propano aplicado al sensor se incrementa. Tal variación se aprovecha para implementar un sistema de detección de gas propano en base a cambios de conductividad en el óxido NiSb_2O_6 .

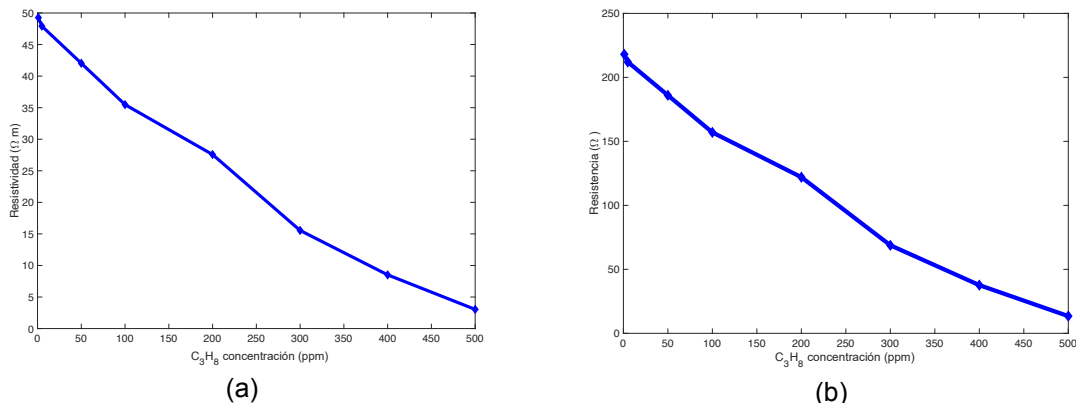


Figura 2. Mediciones eléctricas del sensor químico basado en el óxido NiSb_2O_6 con concentraciones de gas propano de 1, 5, 50, 100, 200, 300, 400 y 500 ppm: (a) Resistividad vs. Concentración, (b) Resistencia vs. Concentración.

Ya que seleccionamos una temperatura de operación a 300°C y una concentración de operación de 50 ppm, la respuesta eléctrica del sensor químico tiene un valor aproximado de resistencia de 180Ω y por tanto el circuito electrónico tiene los valores de acuerdo a Figura 3. La fuente de voltaje de corriente directa es de $V_{cc} = \pm 12$ Volts, $R_1 = R_2 = 180 \Omega$, $R_s \approx 180 \Omega$, R_x fue calibrada a 180Ω , $R_3 =$

$R_5 = 1\text{ K}\Omega$, $R_5 = R_6 = 10\text{ K}\Omega$ y para los amplificadores operacionales se utilizó un integrado LM 324. Debido a los valores del circuito sumador-restador, el dispositivo tiene una ganancia de 10. Finalmente, los elementos electrónicos para la construcción de la fuente de poder fueron un transformador de 120 a 24 Volts (AC), un puente de diodos rectificador (KBL610), LM7812, LM7912, $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 2,200\mu\text{F}$, $C_5 = C_6 = 0.1\mu\text{F}$,

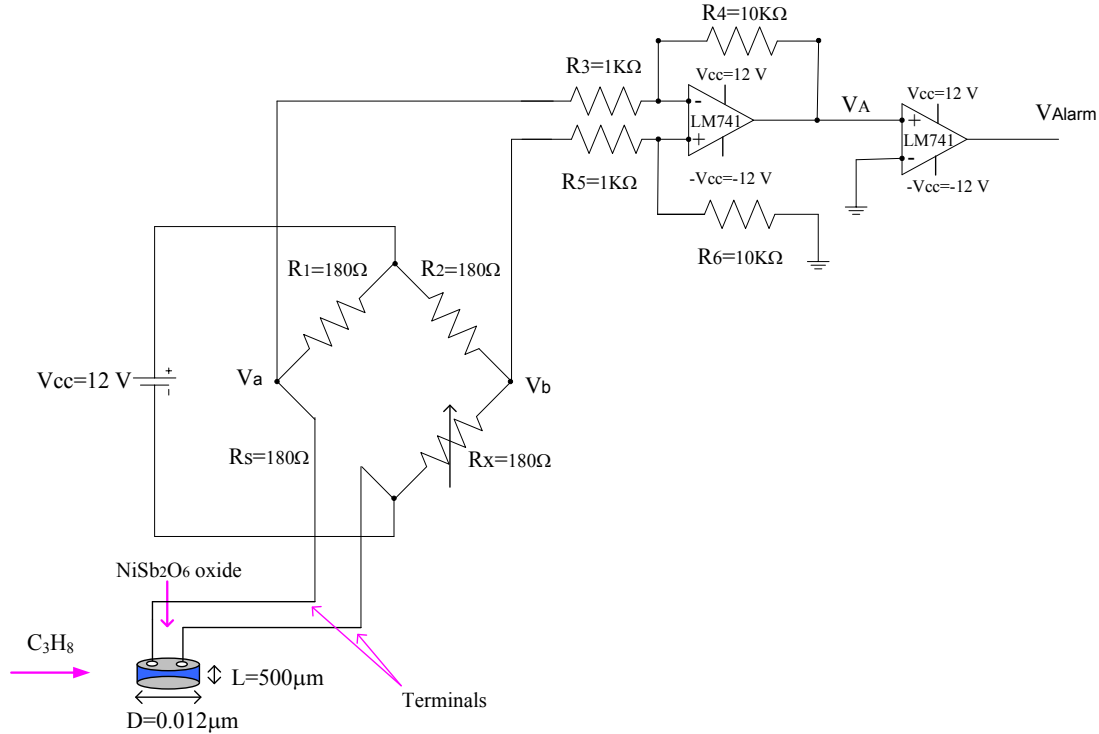


Figura 3. Diagrama electrónico implementado para el sistema de detección de gas propano.

Analizando Figura 3, el principio de operación del sistema de detección se basa en el desbalance del puente de Wheatstone, cuando el sensor químico detecta una concentración de gas propano igual o mayor de 50 ppm en la atmósfera y con una temperatura de operación de 300 °C. El desbalance se compara por medio del circuito sumador-restados y su voltaje de salida es la entrada al circuito comparador, el cual genera la señal de alarma ($V_{Alarm} = 11.2\text{ Volts}$) cuando su voltaje de entrada V_A es mayor a cero.

CONCLUSIONES

Nosotros hemos aplicado un proceso de síntesis coloidal para producir tamaños de partícula nanométricos para su potencial aplicación y desarrollo de un sistema de detección de gases. Este método de preparación es económico y muy eficiente para obtener diferentes morfologías con tamaños de partículas muy finas (en promedio de $\sim 23.24\text{ nm}$). Además con este proceso es posible adquirir la fase cristalina a temperatura relativamente baja en comparación con métodos tradicionales como el de reacción de estado sólido. Las nanopartículas del óxido de NiSb₂O₆ usados para construir la pastillas mostraron una alta sensibilidad en atmósferas de propano (C_3H_8) a la temperatura de operación de 300 °C. El óptimo funcionamiento de la pastilla fue en concentraciones de 500 ppm de C_3H_8 a 300 °C. Los máximos valores de la magnitud de la sensibilidad fue en ~ 15.5 para C_3H_8 . De acuerdo a nuestros resultados se desarrolló un circuito electrónico calibrado para detectar las concentraciones de C_3H_8 (50-500 ppm) a temperaturas de 300 °C, encontrando un excelente funcionamiento en estas atmósferas. Nuestros sistemas de detección propuestos encuentran potencial aplicación en la industria donde las industrias requieren sistemas de protección

en sus calderas. Considerando los resultados mostrados en este trabajo, las nanopartículas del NiSb_2O_6 podrían ser un fuerte candidato para su potencial aplicación como detector de gas de C_3H_8 .

BIBLIOGRAFÍA

1. T. Jia, T. Guo, X. Wang, D. Zhao, C. Wang, Z. Zhang, S. Lei, W. Liu, H. Liu and X. Li, "Mixed Natural Gas Online Recognition Device Based on a Neural Network Algorithm Implemented by an FPGA", *Sensors*, 19(9), 2019, Pages 11.
2. J. T. Guillen Bonilla, H. Guillen Bonilla, V. M. Rodríguez Betancourt, A. Casillas Zamora, J. A. Ramírez Ortega, L. Gildo Ortiz, M. E. Sánchez Morales, O. Blanco Alonso and A. Guillen Bonilla, "Carbone monoxide (CO) detection device based on the Nickel antimonate oxide and a DC electronic circuit", *Applied Sciences*, 9, 2019, Pages 17.
3. P. Michorczyk, K. Zenczak, R. Niekurzak and J. Ogonowski, "Dehydrogenation of propane with CO_2 – a new green process for propane and synthesis gas production", *Polish Journal of Chemical Technology*, 14(4), 2012, pp. 77-82.
4. J. F. McAleer, P. T. Moseley, J. O. W. Norris, D. E. Williams, "Tin dioxide gas sensors: Part 1.—Aspects of the surface chemistry revealed by electrical conductance variations". *J. Chem. Soc. Faraday Trans. I*, Vol. 83, 1987, pp. 1323–1346.
5. A. G. Barrientos, J. C. G. Vidal, E. S. E. Quesada, J. P. O. Oliver, F. R. T. Macotela and M. O. Domínguez, "Design and Construction of Mini-Robot for Gas LP Detection Using a Mobile Device" *IEEE Latin America Transaction*, 11(6), 2013, pp. 1295-1300.
6. V. M. Rodríguez Betancourt, H. Guillen Bonilla, M. Flores Martínez, A. Guillen Bonilla, J. P. Morán Lázaro, J. T. Guillen Bonilla, M. A. González and M. de la L Olvera Amador. "Gas sensing properties of NiSb_2O_6 micro-and nanoparticles in propane and Carbon monoxide atmospheres", *Journal of Nanopaterials*, Volume 2017, 2017, Article ID8792567, Pages 9.
7. P. T. Moseley, D. E. Williams, J.O.W. Norris, B. C. Tofield, "Electrical conductivity and gas sensitivity of some transition metal tantalates", *Sens. Actuators*, Vol. 14, 1988, pp. 79–91.
8. H. Guillen Bonilla, M. de la L. Olvera Amador, Y. L. Casallas Moreno, J. T. Guillen Bonilla, A. Guillen Bonilla, L. Gildo Ortiz, J. P. Morán Lázaro, J. Santo Salazar and V. M. Rodríguez Betancourt, "Synthesis and characterization of nickel antimonate nanoparticles: sensing properties in propane and carbón monoxide". *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 30, 2019, pp. 6166-6177.
9. A. Singh, A. Singh; S. Singh, P. Tandon, "Nickel antimony oxide (NiSb_2O_6) A fascinating nanostructured material for gas sensing application". *Chem. Phys. Lett.* Vol. 646, 2016, 41–46.
10. A. Guillén-Bonilla, V. M. Rodríguez-Betancourt, H. Guillén-Bonilla, L. Gildo-Ortiz, O. Blanco-Alonso, N. E. Franco-Rodríguez, J. Reyes-Gómez, A. Casillas-Zamora, J. T. Guillen-Bonilla, "A new CO_2 detection system based on the trirutile-type CoSb_2O_6 oxide". *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* Vol. 29, 2018, pp. 15741–15753
11. G. Carbajal-Franco, A. Tiburcio-Silver, J. M. Domínguez, A. Sánchez-Juárez, "Thin film tin oxide-based propane gas sensors". *Thin Solid Films*, Vol. 373, 2000, pp. 141–144.

SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LOS PARÁMETROS PRESENTES EN BATERÍAS DE LITIO-ION MEDIANTE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

Herlinda Tututi Guillén, Daniela María Carrillo Gutiérrez, Tizoc López López y Alberto Gutiérrez Martínez

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
linda_tuti@outlook.com

RESUMEN

En el siglo XIX, cuando el visionario Alejandro Volta presentó las bases del almacenamiento de energía a través de su "*pila Voltaica*", se ignoraba el impacto que tendría para la humanidad su aporte tecnológico. Desde entonces, se sigue investigando sobre las baterías eléctricas, de las cuales existe variedad dependiendo de su aplicación, cabe señalar que la presente investigación se centra en las Baterías de Litio-Ion (LIB's) desarrolladas por primera vez en los años 70's por M. Stanley Whittingham, para que después John B. Goodenough hiciera mejoras considerables, lo que propició que en los años 90's el japonés Akira Yoshino lograra fabricar una batería eficiente y segura que se pudo comercializar. Hoy en día se utilizan en múltiples aplicaciones, siendo una de las mayores en automóviles eléctricos de la marca Tesla del empresario Elon Musk. En la presente investigación se propone un sistema de monitoreo mediante el cual se obtienen de forma eficaz los parámetros de interés de las LIB's como lo son: el voltaje, corriente y temperatura; durante periodos de carga y descarga de la misma. Para lograr lo anterior, se desarrolla un programa en el lenguaje de programación gráfica LabVIEW™, con el cual se establece comunicación en ambos sentidos con la tarjeta Arduino Mega que funciona como sistema de control para activar y desactivar tanto entradas como salidas de la propia tarjeta, a las que se tienen ligadas los sensores de: voltaje (FZ0430), corriente (ACS712) y temperatura (LM35). El modelo de LIB utilizado es 18650, la cual se carga mediante el dispositivo (TP046) y se descarga con una resistencia disipadora. Cabe mencionar que además de la adquisición de datos en tiempo real, el sistema cuenta con una base de datos que se actualiza de manera automática e instantánea, esto permite acceder a los datos posteriormente para realizar un análisis minucioso de los datos adquiridos. Se concluye que el sistema de monitoreo propuesto cumple con los objetivos planteados, ya que al observar el comportamiento de la corriente, el voltaje y la temperatura presentes en la LIB facilita el análisis sobre el porqué de la eficiencia de dichas LIB's, por lo anterior, se recomienda el uso de este tipo de sistemas de monitoreo con fines de investigación ya que permite automatizar eficientemente un sistema de interés que realice la adquisición de datos de manera prolongada sin la supervisión presencial o directa del investigador.

PALABRAS CLAVE

LIB's, instrumentación virtual, adquisición de datos, Arduino Mega 2560, LabVIEW™.

INTRODUCCIÓN

El mayor almacenamiento energético de hoy en día es sin duda mediante LIB's, además de ir en aumento considerable, ya que debido a que los sistemas de generación renovables tienden a la hibridación (Generación, control y almacenamiento), por lo tanto, día con día se intensifica su uso. Cabe mencionar que a pesar de que las LIB's tienen medio siglo de existencia; es frecuente la investigación de las mismas con fines de mejorar las disponibles comercialmente¹; gran parte de su utilización es como fuente de alimentación para automóviles eléctricos, de los cuales hay innumerables patentes², siendo la marca Tesla, la líder en ese rubro, así, con el presente trabajo se realiza una aportación alusiva a la medición, monitoreo y adquisición de datos de los parámetros de interés en las LIB's, como lo son: el voltaje, la corriente y temperatura. Para ello se propone un sistema de monitoreo en tiempo real, con el cual se tiene en todo momento la visualización de las variables mencionadas, así como su resguardo automático para análisis posterior de las variables de la LIB en cuestión.

Parámetros en baterías de litio-ion

Existen muchas variables presentes en una LIB, sin embargo, esta investigación se centra en el análisis del voltaje, corriente y temperatura de la LIB, siendo monitoreados tanto en el ciclo de carga como de descarga. Cabe mencionar que dicho proceso se realiza de manera automática mediante la programación y acondicionamiento de un sistema de control que permite las lecturas en tiempo real de los parámetros mencionados. Así, se logra visualizar el comportamiento del voltaje respecto a la corriente y a la temperatura y viceversa.

Sistema de monitoreo propuesto

En la Figura 1.0, se presenta el esquema propuesto del sistema de monitoreo. Observe que básicamente se divide en tres etapas: la primera es referente a la plataforma utilizada para la programación y visualización de los datos de interés; para la presente investigación se utiliza el lenguaje de programación gráfica LabVIEW™, el cual mantiene de manera continua comunicación con la tarjeta versátil Arduino Mega 2560³ que forma parte de la segunda etapa. La etapa intermedia la comanda la tarjeta Arduino Mega quien activa o desactiva entradas analógicas y/o digitales, para controlar los interruptores de carga o descarga se utilizan dos salidas digitales de la tarjeta Arduino con las que se controla al módulo relé, sin embargo, para sensar las variables de interés de la LIB, se usan tres entradas analógicas: A0 para sensar el voltaje, A1 para la corriente y finalmente A2 para sensar la temperatura. Finalmente, la etapa 3 contiene a la LIB en cuestión, así como los tres sensores mencionados, además del módulo de relé, el cargador de la LIB y una resistencia disipadora para descargar la LIB de manera segura.

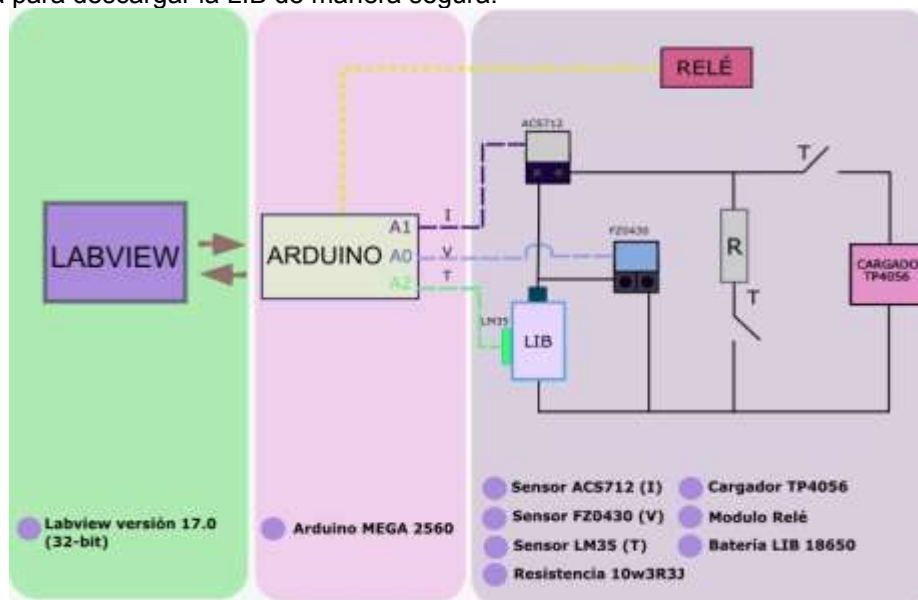


Figura 1.0 Esquema del sistema propuesto de control y monitoreo.

A continuación se presenta el sistema de monitoreo en operación, Figura 2.0, en donde se pueden apreciar los diferentes elementos que conforman el sistema: La tarjeta Arduino Mega modelo 2560, módulo de relé, sensor ACS712, sensor LM35, sensor FZ0430, resistencia de 3.3Ω, etc.

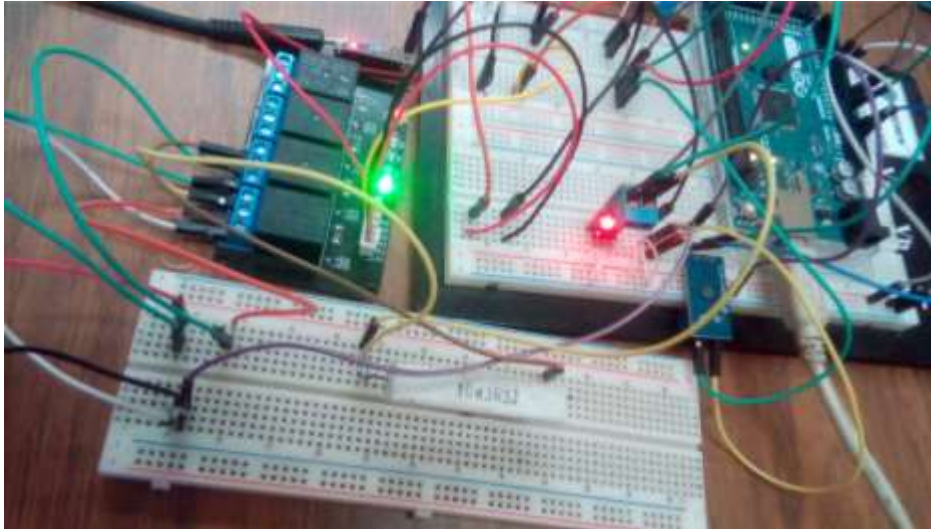


Figura 2.0 Esquema propuesto de control y monitoreo en operación.

Adquisición de datos

Parte esencial de la adquisición de datos es la plataforma a utilizar, en este caso, se adquieren los datos en el software LabVIEW™ 2017, Figura 3.0, de la empresa National Instruments™. La elección de dicho programa es debido a la gran compatibilidad que tiene con la tarjeta Arduino, así como la versatilidad que se logra al realizar la programación correspondiente.



Figura 3.0 Versión de la plataforma LabVIEW™ utilizada.

Al realizar la programación en LabVIEW™ se utilizan básicamente dos ventanas pertenecientes al software, Figura 4.0, las cuales son: Panel frontal, en el cual se realiza la programación de los elementos estéticos; medidores, indicadores booleanos, indicadores de texto, etc. La otra ventana, es el Diagrama de bloques, en donde se realiza la interconexión de los diferentes elementos virtuales pertenecientes al programa por realizar, entre los cuales se pueden encontrar: bloques numéricos, bloques de comunicación, bloques aritméticos, booleanos, etc. Otra parte importante que se encuentra presente en el diagrama de bloques son las estructuras.

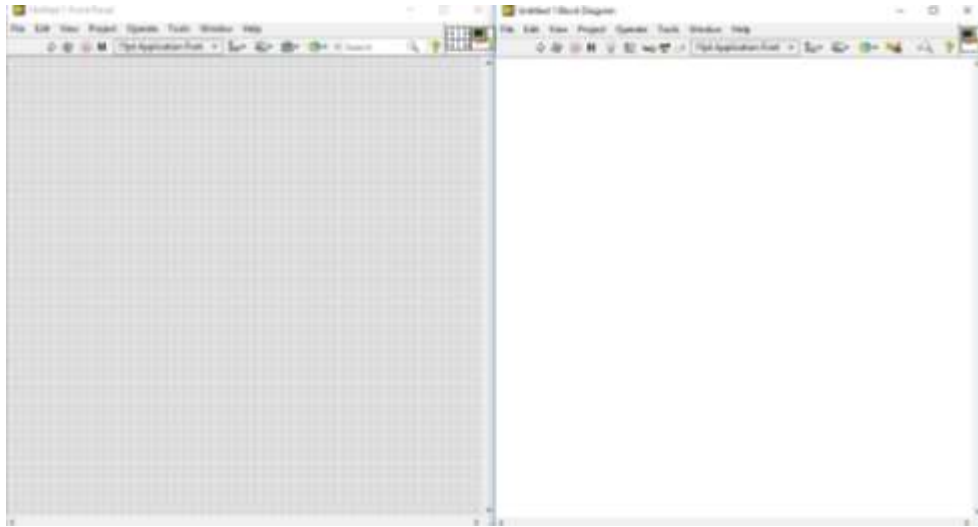


Figura 4.0 Panel frontal (izquierda) y diagrama de bloques (derecha) del software utilizado.

En la Figura 5.0, se aprecia la programación realizada en la ventana perteneciente al diagrama de bloques, nótese que la mayoría de bloques se encuentran dentro de un marco que representa la estructura “while” con la cual se asegura que las instrucciones se repetirán continuamente hasta que se cumplan las condiciones lógicas programadas, en este caso, dichas condiciones son mediante tiempo, es decir, se tienen dos temporizadores con tiempos programados que activan y desactivan al cargador de la LIB, así como a la resistencia de descarga.

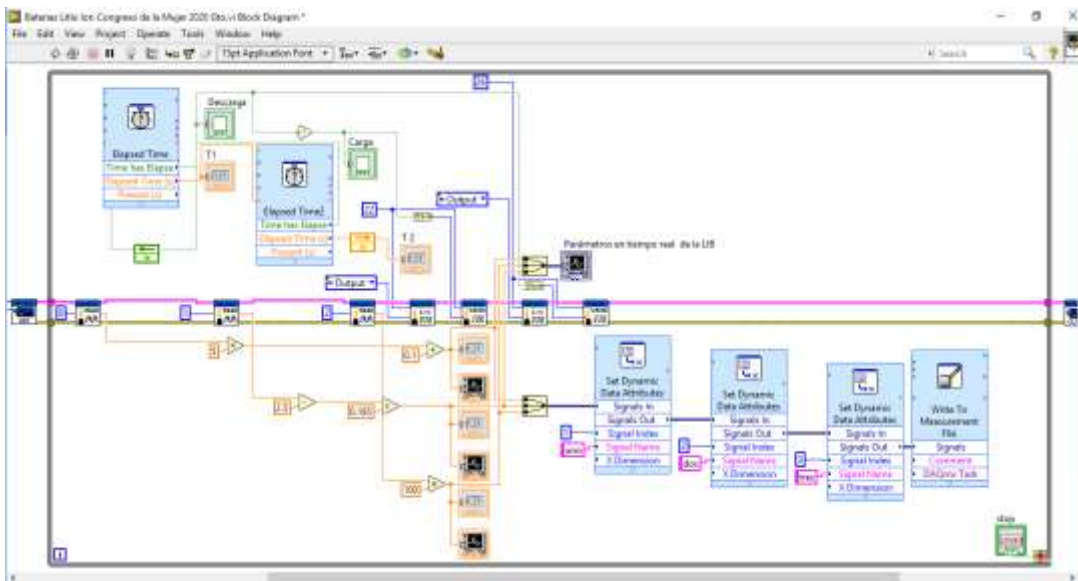


Figura 5.0 Diagrama de bloques con la programación del sistema de monitoreo.

Es importante mencionar que los elementos del Panel frontal aparecen en modo bloque en el Diagrama de bloques, así, al observar el sistema de monitoreo propuesto que aparece en la ventana del Panel frontal, Figura 6.0, se puede observar que los elementos booleanos y gráficos tienen otra apariencia. En la parte izquierda del sistema de monitoreo se presenta la adquisición en tiempo real de los parámetros de interés de la LIB, es decir, voltaje (señal azul), corriente (señal verde) y temperatura (señal roja). En la parte derecha, se tienen por separado cada una de las señales

mencionadas. Finalmente, en la parte baja del Panel frontal, se aprecian dos botones booleanos indicadores de carga y descarga de la LIB. Cabe mencionar que sólo se activa uno u otro, ya que tiene tanto seguro mediante programación y de manera física mediante los contactores del relé para una operación segura de los ciclos de carga y descarga de manera automática.



Figura 6.0 Panel frontal del sistema de monitoreo en modo de carga de la LIB.

En el Panel frontal de la imagen anterior, se puede apreciar el sistema de monitoreo en modo de "Carga", claramente se observa un voltaje de 2.942 VCD, una corriente de 0.259 Amperes y una temperatura de 24.99 °C, lo cual indica un ciclo de carga de manera eficiente, ya que todos los parámetros de monitoreo en tiempo real se encuentran dentro de los valores programados en el sistema, así como dentro de los valores propios de la LIB y de los demás elementos que complementan el sistema de monitoreo.

Cuando el sistema inicia un ciclo de descarga de manera automática, se puede apreciar en tiempo real el comportamiento de cada una de las variables sensadas, Figura 7.0, en este caso, se observa que el voltaje disminuye y la corriente baja, pero cambia de signo, lo cual indica que cambia el sentido de la corriente, el valor de la temperatura no varía de manera instantánea pero si se ve afectada, aunque dentro de los valores de seguridad que evitarían una posible explosión de la LIB⁴.

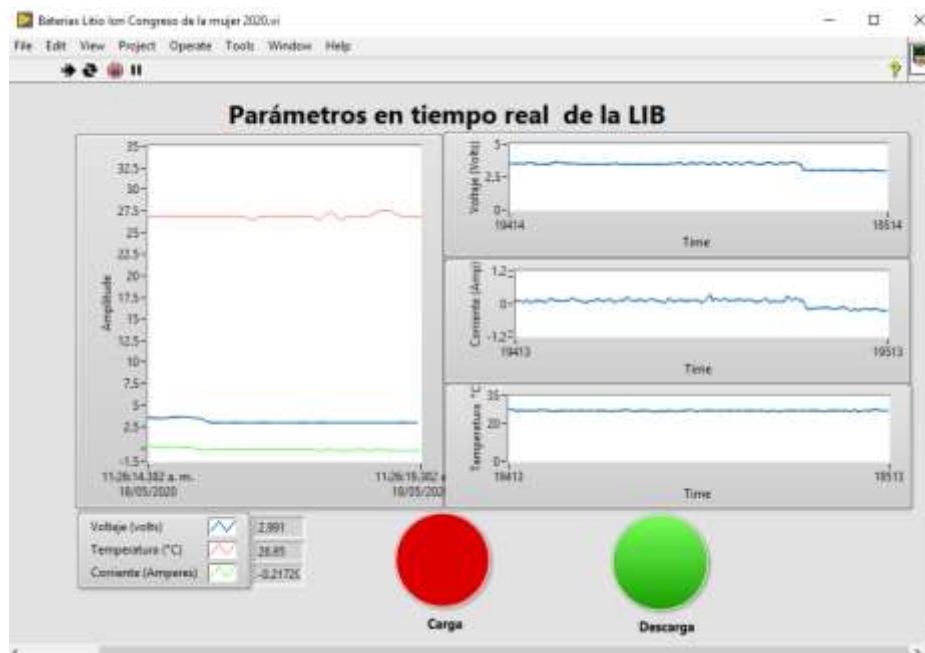


Figura 7.0 Panel frontal del sistema de monitoreo en modo de descarga de la LIB.

Al analizar el comportamiento del sistema de monitoreo cuando inicia un ciclo de descarga se puede apreciar que el sentido de la corriente cambia, por eso se tiene un valor negativo de -0.217 Amperes, lo cual indica que ahora la corriente fluye desde la LIB hacia la resistencia disipadora. En ese mismo instante se tiene un voltaje de 2.99 VCD y una temperatura de 26.95°C .

Cabe mencionar que desde que se activa el sistema de monitoreo se realiza de manera automática el resguardo de información en una base de datos programada en el diagrama de bloques del sistema, el cual genera un archivo de datos compatibles con el software Excel, el cual se configura para resguardar la información generada para realizar un análisis posterior o resguardo estadístico sobre el comportamiento de la LIB en cuestión, la cual se puede intercambiar por un modelo diferente y simplemente configurar el sistema de monitoreo con los valores lógicos que condicionen la operación de los ciclos automáticos de carga y descarga de la LIB de la cual se requiera conocer o analizar su comportamiento en tiempo real.

Análisis de pruebas y conclusiones

En la Figura 8.0, se presentan las señales obtenidas de la base de datos generada desde la plataforma LabVIEW™, se aprecian tres señales; voltaje (azul), corriente (rojo) y verde (temperatura). La información presentada en dicha imagen corresponde a un tiempo de 18 horas de monitoreo continuo, en donde se somete a la LIB a 9 ciclos de carga y 9 ciclos de descarga todos de una hora. Nótese que durante los ciclos de carga la corriente aparece con signo positivo, a diferencia de cuando es descarga que pasa a signo negativo, lo que indica que la corriente fluye de la LIB hacia la resistencia disipadora. La LIB se carga hasta 3.7 VCD en cada uno de los ciclos, otro dato interesante es cuando inicia el ciclo de descarga; el voltaje de la LIB baja súbitamente hasta 3 VCD, pero a partir de ahí comienza a descender de manera más lenta hasta llegar a 0.3 VCD antes de que inicie el ciclo de carga nuevamente.

En la señal de temperatura se nota un descenso, sin embargo es debido a que las pruebas a las cuales se sometió la LIB fueron realizadas a temperatura ambiente, así, la parte baja de la señal de temperatura representa las horas de la madrugada en las cuales la temperatura rondaba los 22°C . Así, se demuestra que la LIB tiene un comportamiento seguro en cuestiones de posible calentamiento.



Figura 8.0 Análisis de los parámetros de la LIB desde la base de datos del sistema.

La base de datos del sistema de monitoreo muestra la adquisición de 358677 lecturas en el tiempo en que estuvo activo el sistema, lo que facilita y logra una adquisición eficiente de datos de manera automática.

Al analizar el comportamiento de las dos variables principales de la LIB, Figura 9.0, se observa que es sumamente constante en ambos ciclos, lo que demuestra las ventajas que tienen este tipo de baterías frente a sus predecesoras, ya que no se muestra indicio alguno de posible efecto “memoria” ni de calentamiento que pudiese derivar en posible peligro de explosión.

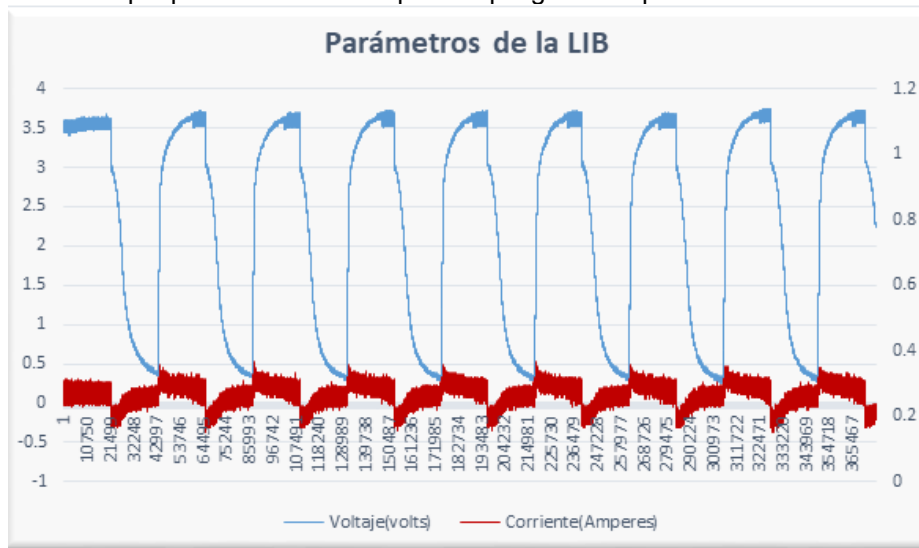


Figura 9.0 Análisis de voltaje y corriente de la LIB desde la base de datos del sistema.

Finalmente, se concluye que el sistema de monitoreo propuesto cumple cabalmente con las expectativas, ya que el uso del software LabVIEW™ resulta sumamente intuitivo y eficiente para el investigador, además de mostrar gran versatilidad y compatibilidad con otras plataformas. Cabe mencionar que la programación realizada es flexible para nuevas pruebas a diferentes LIB's, lo que aporta una enorme herramienta para el investigador que puede dejar por tiempo definido el sistema, realizando diversas pruebas que amplíen el conocimiento y comportamiento a fondo de las LIB's.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Qiuling Chen, et al.* "Influence of surface coating on structure and properties of metallic lithium anode for rechargeable Li-O₂ battery", Boletín de la sociedad Española de Cerámica y Vidrio, ELSEVIER, 2016.
2. R. A. Chávez, A, A, Lara, "La diversidad de agentes y la evolución de las patentes traslapadas en los vehículos eléctricos", Universidad Autónoma Metropolitana, México, Scencedirect, 2016.
3. LIURUI LI, et al, "Disassembly Automation for Recycling End-of-Life Lithium-Ion Pouch Cells", The Minerals, Metals & Materials Society, 2019.
4. Jian Duan, et al. "Building Safe Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles: A Review", Electrochemical Energy Reviews, Springer, 2019.

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE PRECIPITACIÓN DE LA ALEACIÓN FE-10%NI-15%AL-15%CR (%AT.) ENVEJECIDA ISOTÉRMICAMENTE

Lesli J. Lozada-Hernández¹, José Antonio Rosas-Barrios¹, Víctor M. López-Hirata¹, Diego I. Rivas-López¹, Nicolás Cayetano-Castro¹, Carlos Ferreira-Palma², Héctor J. Dorantes-Rosales¹.

¹ Instituto Politécnico Nacional, DIMM-ESIQIE, UPALM, ² Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
jaz92mphlohea@gmail.com, jose_antonio.rosas@outlook.com, vlopezhi@prodigy.net.mx,
drivas_lopez@yahoo.com.mx, nicolas_cayetano@yahoo.com, carferreira@uv.mx,
hectordorantes@yahoo.com_

RESUMEN

El control microestructural de las aleaciones endurecibles por precipitación se puede llevar a cabo mediante tratamientos térmicos en el estado sólido. Estos tratamientos están diseñados para obtener una distribución óptima de precipitados de una fase intermetálica coherente con una matriz dúctil [1]. Un ejemplo, son las superaleaciones base Ni donde precipitados γ' (Ni_3Al) se encuentran embebidos en una matriz γ (Ni), ambos con estructura cubica centrada en las caras. Análogamente, las superaleaciones base Fe basan sus propiedades en precipitados β' (NiAl) embebidos en una matriz α (rica en Fe), ambos con una estructura cubica centrada en el cuerpo. La adición de Cr, al sistema Fe-Ni-Al promueve un aumento en la resistencia a la termofluencia, sin embargo, el control cinético de los precipitados debe ser evidenciado a partir de un seguimiento controlado [2]. Por lo tanto, el presente estudio analiza la cinética de precipitación de la fase β' ((Fe,Ni)Al) en una matriz de fase α rica en Fe-Cr, se llevó a cabo en la aleación Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr mediante tratamientos térmicos de envejecido a 850, 900 y 950°C. La aleación fue fabricada por fusión convencional en un mini-horno de arco eléctrico y homogeneizada a 1100°C durante 7 días. La caracterización se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de barrido de alta resolución y microscopía electrónica de transmisión. Los resultados mostraron que la aleación presenta una distribución de tamaño de precipitados unimodal. Asimismo, el análisis de los resultados muestra que el proceso de engrosamiento está controlado por el mecanismo de difusión con una dependencia lineal cercana a $t^{0.3}$. El engrosamiento de precipitados promueve un aumento en tamaño y una disminución en cantidad de precipitados, lo cual promueve un aumento en la distancia libre media entre precipitados. Se encontró que las cinéticas de crecimiento aumentan con respecto a la temperatura de tratamiento, siendo mayor a la temperatura de 950°C que a 900 y 850°C. La energía de activación de la aleación Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr fue mayor que la reportada para la aleación Fe-10%Ni-15%Al, lo cual involucra que la adición de Cr promueve una mayor resistencia al engrosamiento de precipitados. Como característica microestructural en las tres temperaturas de tratamiento se encontró un cambio morfológico de los precipitados siendo esféricas en los primeros tiempos de tratamiento, cambiando a cuboidales en los tiempos intermedios y finalmente cambiaron nuevamente a formas esféricas. El cambio a una morfología cuboidal en los primeros tiempos se atribuye a interacciones elásticas entre precipitado y matriz, mientras que la morfología esférica a la formación de una red de dislocaciones en la intercara precipitado-matriz para mantener una coherencia parcial (semicoherente) con una orientación en las direcciones $\langle 100 \rangle$ y $\langle 110 \rangle$ de la matriz.

INTRODUCCIÓN

Las transformaciones de fase en el estado sólido, tienen un efecto en la estructura y propiedades de un material, pueden ser controladas por tratamientos térmicos apropiados diseñados para obtener una distribución óptima de dos o más fases en la microestructura. Estas transformaciones por lo general requieren formación de núcleos y crecimiento de nuevas fases a partir de la estructura original. La cinética de la transformación de fase ayuda a entender los mecanismos que controlan la reacción y la rapidez a la que ocurre la reacción haciendo así posible diseñar el tratamiento térmico para producir la microestructura deseada. El endurecimiento por precipitación, es un método para controlar el óptimo endurecimiento por dispersión en muchas aleaciones metálicas [3].

El grado de fortalecimiento de las aleaciones endurecibles por precipitación depende de la fracción volumen, tamaño, morfología y distribución espacial de los precipitados de segunda fase [2, 4, 5]. A altas temperaturas los precipitados coherentes sufren un engrosamiento impulsado por una reducción en la energía total interfacial y elástica, resultando en un incremento en sus tamaños promedio y una eventual pérdida de coherencia, y así provocando una degradación de las propiedades mecánicas de la aleación [5]. La degradación de las propiedades mecánicas en aleaciones endurecibles por precipitación está relacionada con la cinética de engrosamiento de precipitados [4]. Por lo tanto, la resistencia al engrosamiento de los precipitados es un factor clave para mantener la alta resistencia a altas temperaturas en este tipo de aleaciones [6].

En las últimas décadas, se ha dedicado mucha investigación básica y aplicada a las aleaciones intermetálicas. La amplia gama de aplicaciones de este conjunto específico de materiales garantiza un interés continuo por parte de las comunidades científicas e industriales [7,8]. Un ejemplo son las superaleaciones modernas basadas en níquel que dependen de la presencia de precipitados ordenados γ' (tipo Ni_3Al , estructura $L1_2$) que son coherentes con la matriz. Esta microestructura especial puede proporcionar excelentes propiedades mecánicas y estabilidad térmica a temperaturas elevadas [9, 10]. Basándose en el mismo principio, una superaleación base hierro para aplicaciones a altas temperaturas podría esperarse haciendo uso de partículas de segunda fase con propiedades similares. Los parámetros de red de α -Fe (0.28665 nm) y β -NiAl (0.28864 nm) son muy similares [9, 11, 12]. Aceros ferríticos resistentes al calor tienen una conductividad térmica superior y menor expansión térmica que la superaleaciones base Níquel. [11-13]. Estas aleaciones podrían ser de interés para aplicaciones a alta temperatura como una alternativa de las superaleaciones base Níquel [11]. Sin embargo, estas aleaciones son de interés para temperaturas superiores a 600°C, donde sus propiedades mecánicas y la pobre resistencia a la fluencia limitan su uso [11-14].

Las aleaciones del sistema Fe-Ni-Al pueden ser endurecidas por la presencia de precipitados ordenados del tipo B2 (CsCl) correspondientes a la fase β' , los cuales son coherentes y coplanares con la matriz. Estos precipitados proporcionan a las aleaciones base Fe excelentes propiedades de resistencia mecánica y a la oxidación, a temperaturas cercanas a los 1000°C [1, 4, 6, 10, 12, 15]. Además, poseen una densidad (5.7 g/cm³) menor que las superaleaciones base Ni (~8 g/cm³). Estas aleaciones, por su excelente resistencia mecánica a temperaturas altas, se utilizan en diferentes aplicaciones, tales como: en componentes de reactores nucleares, partes de engranajes del tren de aterrizaje de aviones o aplicaciones petroquímicas que requieran resistencia a la fractura por corrosión bajo esfuerzos [7].

Para mejorar la resistencia a la oxidación, se ha añadido Cr a estas aleaciones de Fe-Ni-Al [12]. La precipitación de la fase β' también es importante para el fortalecimiento a altas temperaturas en aleaciones basadas en Fe-Cr-Ni-Al [6]. Debido a su alto punto de fusión, excelente resistencia a la oxidación y resistencia a altas temperaturas, las aleaciones de Fe-Cr-Ni-Al han encontrado aplicaciones en una amplia gama de ambientes de oxidación a alta temperatura, tales como hornos de calentamiento, reactores nucleares, refinерías de petróleo, sistemas de escape automotriz, entre otros [6, 9].

El objetivo del presente trabajo es analizar la evolución y cinética de crecimiento de precipitados coherentes en la aleación Fe-10Ni-15Al-15Cr (%at.) así como, el efecto en sus propiedades mecánicas. Para ello se fundieron aleaciones en un minihorno de arco eléctrico, las cuales fueron sometidas a tratamientos térmicos de homogeneizado y envejecidos artificiales a diferentes tiempos y temperaturas. Los resultados permitieron establecer los fenómenos de engrosamiento dominantes y la energía de activación para cada aleación. Fueron evaluadas las características microestructurales mediante microscopía electrónica de barrido convencional y de alta resolución; las características estructurales con microscopía electrónica de transmisión y las propiedades mecánicas mediante microdureza Vickers.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Aleaciones de composición nominal Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr (%atómico) fueron fabricadas en un mini-horno de fusión de arco eléctrico Edmund Buehler MAM-1 bajo una atmósfera inerte y a partir de sus elementos con una pureza mínima de 99.5%. Las aleaciones fueron cortadas en una cortadora de precisión marca Pace Technologies con disco de carburo de silicio de tamaños de

1cmx0.5cmx0.5cm. Estas aleaciones fueron designadas como A1, A2, A3 y A4 y encapsuladas al vacío en tubos de cuarzo y homogeneizadas en un horno marca CARBOLITE modelo CWF1200 a 1100°C durante 7 días seguidas de un enfriamiento al aire. Posteriormente, las aleaciones A1, A2 y A3 fueron envejecidas para inducir la precipitación de fases a 850, 900 y 950°C, respectivamente, por diferentes tiempos de hasta 500h y enfriadas rápidamente en agua con hielos. La aleación A4, únicamente fue envejecida a 900°C durante 50h.

La caracterización se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) convencional y de alta resolución (MEB-AR), empleando microscopios marca JEOL modelos JSM 6300 y JSM-6701F respectivamente. Asimismo se determinó la microdureza Vickers para cada condición de muestra mediante un durómetro marca FutureTech FM-7. La preparación de muestras para su caracterización microestructural por MEB y determinación de dureza, consistió en desbastar las muestras con lijas de carburo de silicio grados 220, 360, 400, 600, 1000, 1200, 1500 y 2000. Posteriormente, las aleaciones fueron pulidas a espejo mediante alúmina 0.05 µm y silica coloidal de 0.02µm. El ataque químico de las muestras se realizó utilizando 15 ml de ácido clorhídrico, 5 ml de ácido acético y 5 ml de ácido nítrico. Cabe señalar que el ataque químico únicamente se utilizó para la revelación de la microestructura con microscopía electrónica de barrido, las pruebas de dureza se realizaron en las muestras con la superficie pulida. La prueba de microdureza Vickers se realizó de acuerdo con la norma ASTM E 92-17 [16], con una carga de 200 gfm 12s de penetración y 18 mediciones por muestra. Finalmente, para determinar el tamaño, distribución y fracción de precipitados se empleó un analizador de imágenes, midiendo un mínimo de 200 precipitados por condición.

También se realizó la caracterización mediante microscopía electrónica de transmisión, en un microscopio JEOL 2000FX. Para la caracterización de muestras por microscopía electrónica de transmisión se cortaron laminillas de 1mm de espesor, las cuales fueron desbastadas hasta un espesor de 300µm. Posteriormente, de la laminilla se obtuvieron muestras de 3mm de diámetro mediante un sacabocados. Las muestras fueron electropulidas en un equipo de doble chorro (twin jet) marca EA Fischione. El proceso de electropulido se realizó en baño maría a -60°C con una solución de 10% ácido perclórico, 10% glicerol y 80% metanol.

RESULTADOS

Análisis químico

La tabla 1 muestra el resultado de la composición química promedio obtenida de al menos tres microanálisis globales para cada aleación sin tratamiento térmico obtenidos por MEB-EDS. Los resultados se muestran en porcentaje peso y atómico, y fueron obtenidos de un área de 0.1mm². Como se puede observar, las composiciones reales en % atómico son cercanas a la nominal propuesta previa a su fusión. Cabe señalar que tres muestras de cada botón homogeneizado fueron empleadas para la realización del envejecido a diferentes tiempos, es decir, una muestra de cada botón por tiempo de envejecido.

Tabla 1. Resultados de análisis químico elemental semicuantitativo por MEB-EDS.

Aleación nominal Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr (%at.)									
Botón	Análisis	% peso				% atómico			
		Al	Cr	Fe	Ni	Al	Cr	Fe	Ni
A1 (850°C)	Promedio	7.853	15.32	65.52	11.3	14.92	15.1	60.12	9.86
A2 (900°C)	Promedio	8.01	15.28	65.62	11.09	15.18	15.03	60.12	9.66
A3 (950°C)	Promedio	7.79	15.37	65.79	11.06	14.8	15.16	60.39	9.65

Identificación elemental mediante MEB-AR

El resultado obtenido del análisis mediante microscopía electrónica de barrido de emisión de campo en el botón A2 de la aleación Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr (%at.) homogeneizada a 1100°C y envejecida a 900°C por 500 h, mostró la presencia de precipitados con una distribución unimodal en la matriz metálica. Con la finalidad de establecer la diferencia entre la composición química de los precipitados y la matriz, se llevó a cabo un análisis químico puntual por EDS. La tabla 2 muestra la composición expresada en % atómico de los elementos presentes tanto en los precipitados y la matriz así como

la región donde se obtuvieron tales análisis. Las regiones microestructurales donde se realizaron los análisis puntuales se muestran en la figura 1. Se observa que los precipitados tienen una mayor cantidad de Al y Ni que la matriz, y el Fe y el Cr son escasos en los precipitados en comparación con la matriz.

Tabla 2. Resultados del análisis puntual de la aleación 60Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr (%at.) en % at. Aleación 60%Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr (%at.) homogeneizada a 1100°C* 7 días y Envejecida a 900°C*500h

Línea del elemento	Precipitado		Matriz	Precipitado		Matriz	Promedio	
	Pto 1	Pto 2	Área 3	Pto4	Pto 5	Área 6	PPdo	Matriz
Al K	31.51	34.32	11.64	33.33	24.04	10.97	33.1	11.3
Cr K	7.30	5.06	16.55	5.55	10.60	17.00	6.0	16.8
Fe K	31.67	25.76	65.10	26.97	42.59	65.78	28.0	65.4
Ni K	29.52	34.87	6.71	34.16	22.77	6.25	28.0	65.4

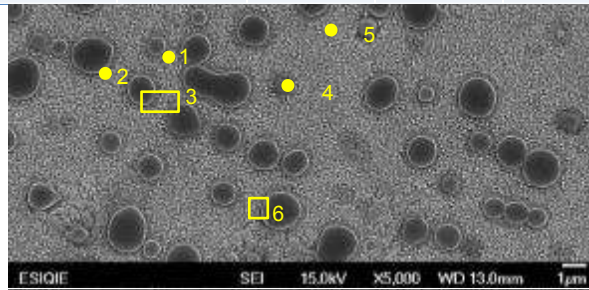


Figura 1. Regiones donde se realizaron los análisis puntuales en matriz y precipitado.

Adicionalmente, se realizó un mapeo elemental en la aleación 60Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr (%at.) homogeneizada a 1100°C y envejecida a 900°C por 500h. En la figura 2 se puede observar la distribución de cada uno de los elementos (Al, Cr, Fe y Ni) tanto en la matriz como en los precipitados, se corrobora que la presencia de Ni y Al es mayor en los precipitados, lo cual permite confirmar la naturaleza química de los precipitados β' (Fe, Ni) Al [2, 9, 13, 4] en una matriz Fe-Cr. El inciso a) representa la distribución del Al en la matriz y el precipitado, el b) el de Cr, en el inciso c) se representa el Fe, y por último el d) el Ni.

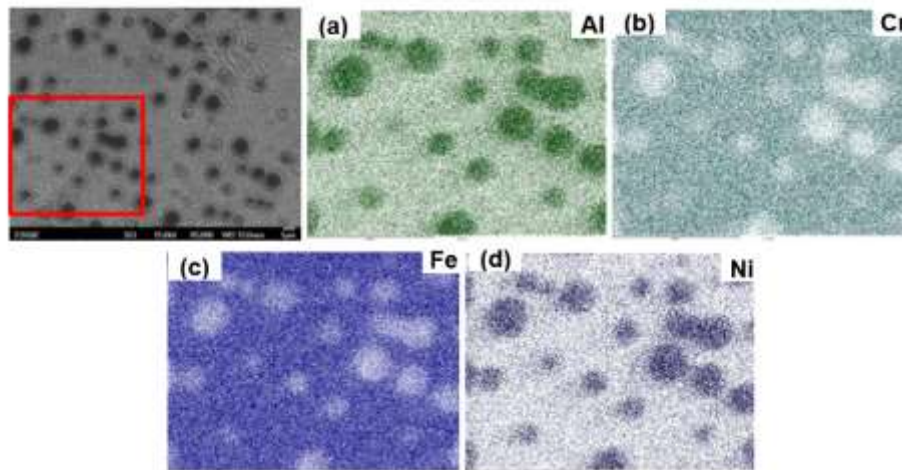


Figura 2. Mapeo elemental obtenido por MEB-EDS realizado a la muestra envejecida a 900°C*500h de la aleación A1: (a) Al, (b) Cr, (c) Fe y (d) Ni.

Resultados de microscopía electrónica de barrido de alta resolución en la aleación Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr homogeneizada a 1100°C y envejecida a 850, 900 y 950°C

En la figura 3 se muestran algunas micrografías obtenidas mediante MEB en las tres temperaturas de envejecido y a tiempos de 1, 25, 250 y 500h horas de tratamiento respectivamente. Estas micrografías confirman nuevamente una distribución de tamaño de partícula homogénea y unimodal. En general en las tres temperaturas de envejecido se observa un aumento de tamaño y disminución en la cantidad de precipitados conforme el tiempo de tratamiento térmico aumenta.

Para el tratamiento térmico realizado a 850°C la distribución de precipitados cambia de ser al azar (1h) a la formación de grupos de precipitados con una orientación preferencial después de 25h seguido de un crecimiento de los precipitados hasta 500h. Se puede observar un cambio morfológico en los precipitados de esferas (1h) a cuboides (25h) con esquinas redondeas a esféricas (250-500h). El cambio de esferas a cuboides observado a 25h, es atribuido a las interacciones elásticas entre precipitado y matriz debido al aumento en la energía interfacial durante el crecimiento de los precipitados, lo cual ocurre para mantener la coherencia entre precipitado-matriz [4, 5, 14, 17, 18]. Adicionalmente, los precipitados presentan intercaras alineadas entre sí con una orientación preferencial con la matriz.

En el envejecido a 900°C se observa que con 1h de envejecido, hay una distribución al azar de precipitados esféricos la cual cambia a un alineamiento preferencial de precipitados cuboidales con intercaras alineadas entre sí, los cuales forman grupos de precipitados después de 25h. Posteriormente, los grupos de precipitados con morfologías redondeadas similares a esferas crecen durante 250 y 500h. El cambio morfológico que ocurre es similar a 850°C, es decir, esferas → cuboides → esféricas.

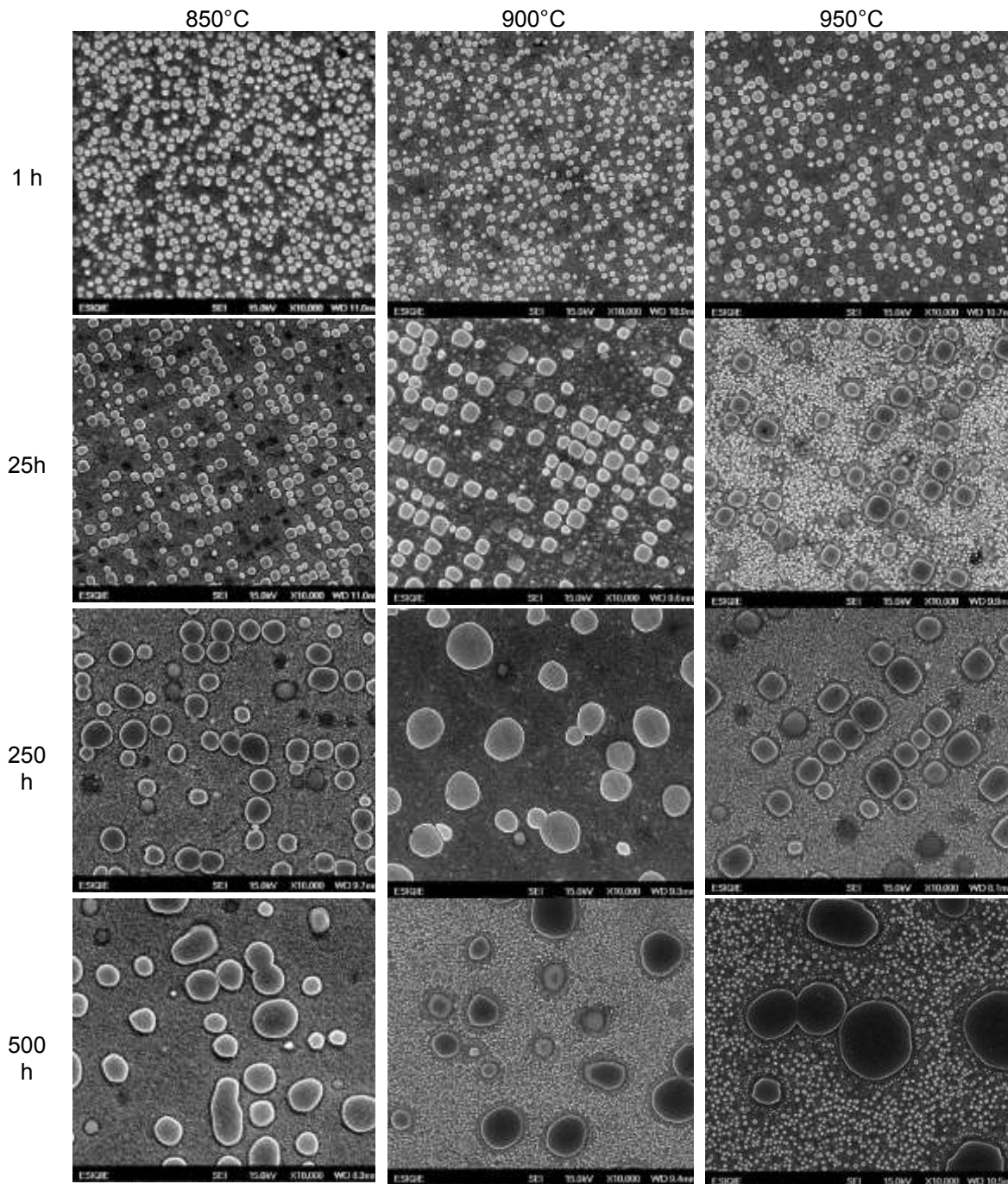


Figura 3. Evolución de la precipitación de la fase β' en la aleación 60%Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr en %at. envejecida a 850, 900 y 950°C, respectivamente durante 1, 25, 250 y 500h a 10kX aumentos.

Finalmente durante el envejecido a 950°C respectivamente la distribución de los precipitados posterior a 1h se observa al azar. Durante el envejecido a 25h se observa la formación de grupos de precipitados con intercaras planas y un alineamiento preferencial con respecto a la matriz. Después de 250 y 500h de envejecido, los precipitados crecen sin una distribución preferencial. En cuanto a la evolución morfológica a 950°C, no es del todo esférica a 1h y tiende a ser cuboide a 25h.

Posteriormente, los precipitados se vuelven nuevamente esféricos a 250 y 500h. La evolución morfológica se considera similar que los anteriores casos que es: de esferas → cuboides → esféricas. Estos resultados son evidencia del efecto del contenido de Cr en la aleación Fe-10%Ni-15%Al, la cual inhibe la formación de morfologías en forma de placas alargadas o irregulares comúnmente observadas en aleaciones del sistema Fe-Ni-Al, sin y con adiciones de 1%Cu y 1%Cr, entre otros [4].

Como ya se había mencionado, las micrografías digitalizadas obtenidas en el MEB-AR de cada condición fueron empleadas en un analizador de imágenes para medir el tamaño y fracción área de precipitados y con ello también la distribución de tamaño de precipitados y el espaciamiento entre ellos. De estas mediciones se obtuvo un radio equivalente que se utilizó como parámetro de tamaño. La densidad de probabilidad de la distribución de tamaños ($\rho^2 f(\rho)$) se determinó contando el número de precipitados con radio equivalente \bar{r} en intervalos consecutivos ($r, r + \Delta r$) alrededor del tamaño promedio \bar{r} , la normalización se realizó usando la ecuación 1 [2, 6]:

$$\rho^2 f(\rho) = \frac{N_i(r, r + \Delta r)\bar{r}}{\sum N_i(r, r + \Delta r)\Delta r} \tag{1}$$

Dónde \bar{r} es el radio promedio de la partícula y $N_i(r, r + \Delta r)$ es el número de partículas en un intervalo dado. Para comparar las distribuciones de tamaño se incluye la distribución propuesta por la teoría LSW, que se obtuvo a partir de la relación de la densidad de probabilidad contra el radio normalizado empleando la ecuación 2 [2, 6]:

$$h(\rho) = \frac{81}{2^{5/3}} \frac{\rho^2}{(3/2 - \rho)^{11/3}} \frac{1}{(3 + \rho)^{7/3}} \exp\left(-\frac{\rho}{3/2 - \rho}\right) \tag{2}$$

En la figura 4 se muestran las distribuciones de tamaño de precipitado de la aleación envejecida a 850, 900 y 950°C, respectivamente a los tiempos de envejecido de 1, 25, 250 y 500h. En dicha tabla se incluye el radio promedio obtenido para cada tiempo y temperatura, así como, una sección iluminada de la micrografía usada. Los resultados muestran un crecimiento del radio promedio de precipitados de 103 a 479 nm, 101 a 623 nm y de 124 a 893 nm, a 850, 900 y 950°C, respectivamente. En general todas las distribuciones de tamaño de precipitados obtenidas están cercanas a la predicha por la teoría LSW en las etapas iniciales hasta 25h. A tiempos de envejecido de 250 y 500h se observa que las distribuciones tienen menor intensidad con un ligero ensanchamiento. Las diferencias en la distribución de partículas con respecto a la teoría LSW se atribuyen a que ésta teoría considera sistemas fluidos y con una fracción volumétrica cercana a cero, donde las interacciones entre partículas no son importantes. Esta disminución en la intensidad de la densidad de probabilidad y el ensanchamiento de las distribuciones ha sido observado que ocurre en las etapas finales del engrosamiento de precipitados en el estado sólido [2].

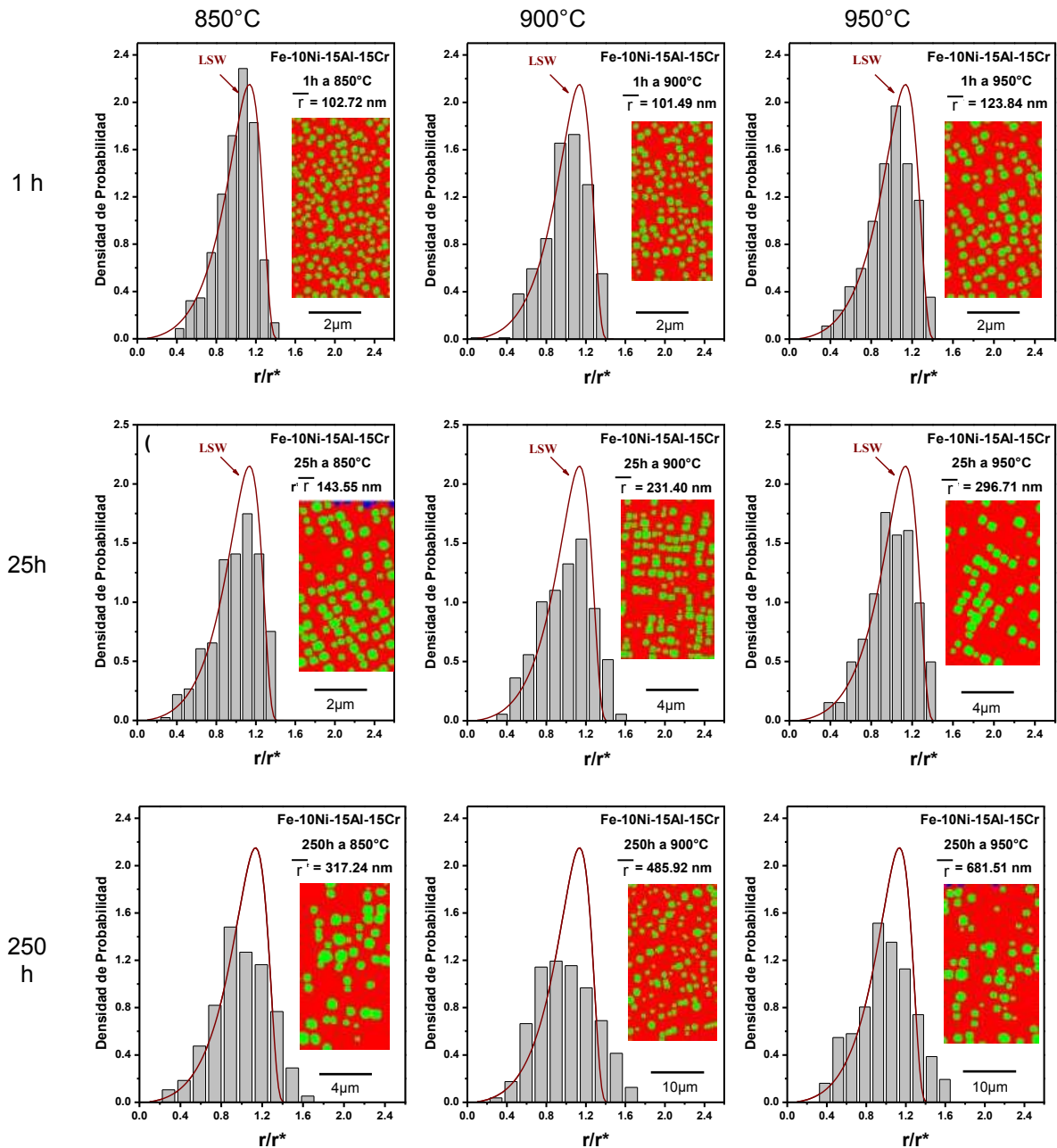
El mecanismo y cinética de crecimiento a las diferentes temperaturas se evidencia en la figura 5. A partir de las gráficas de Ln r vs Ln t (figura 5 (a)-(c)) y basados en la ecuación 3, [5] se determinó el mecanismo dominante del crecimiento de precipitados a partir de la pendiente (n).

$$R_{avg}(t)^n = R_0^n + Kt \tag{3}$$

Dónde $R_{avg}(t)$ es el tamaño promedio del precipitado dependiente del tiempo o la escala de longitud, R_0 es el tamaño promedio del precipitado o la escala de longitud al inicio del engrosamiento, K es la constante de velocidad de engrosamiento, que es una función de la fracción de volumen del precipitado de equilibrio, y n es la ley de crecimiento o exponente de engrosamiento.

Se puede observar que los valores tienen una dependencia lineal con valores de la pendiente n alrededor de 0.3. Estos valores están cerca de lo predicho por la teoría de engrosamiento LSW (ley temporal de $t^{1/3}$), e incluso sus modificaciones para sistemas en el estado sólido [5, 18]. Este resultado demuestra que el proceso de engrosamiento está controlado por el mecanismo de difusión.

La cinética de crecimiento se obtuvo a partir de la pendiente de las gráficas r^3 vs t , mostradas en la figura 5 (d)-(f). Las cinéticas de crecimiento fueron de 2.11×10^5 , 4.79×10^5 y 1.39×10^6 nm^3/h , para las temperaturas de 850, 900 y 950°C, respectivamente. Por lo tanto, el incremento en la temperatura de envejecido promueve un aumento en la cinética de crecimiento de los precipitados, debido a una mayor difusión atómica.



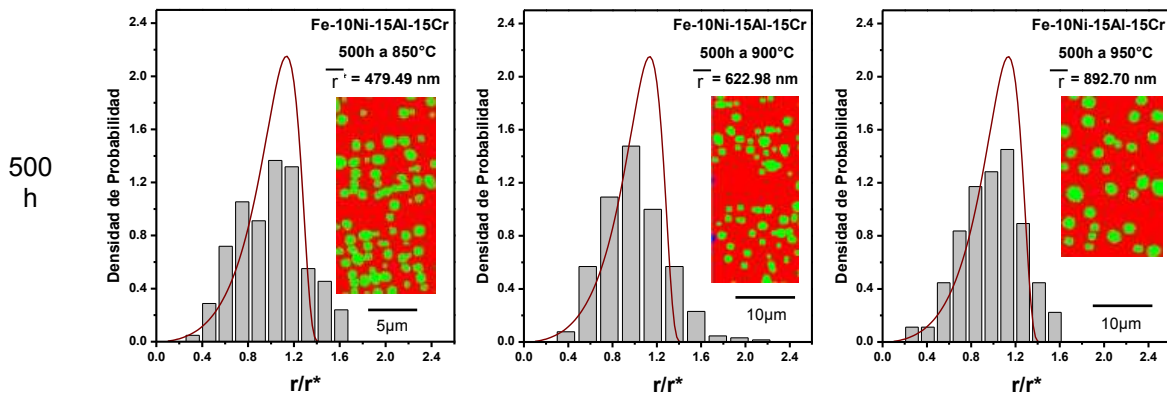


Figura 4. Distribución de tamaño de precipitados de la aleación envejecida a 800, 900 y 950°C durante 1, 25, 250 y 500h.

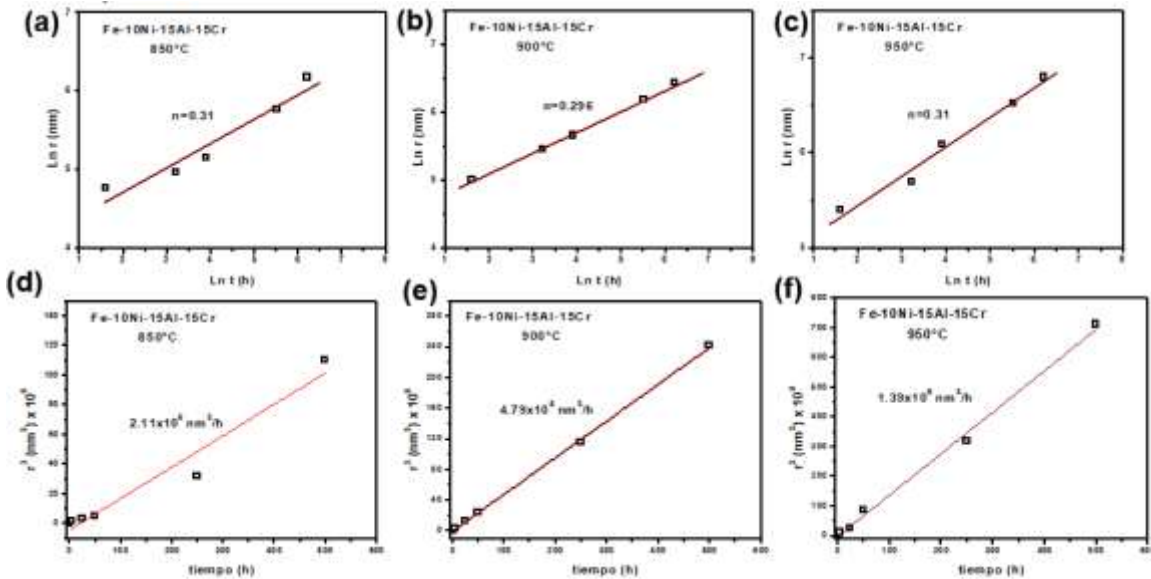


Figura 5. Mecanismo de crecimiento de la aleación: (a) 850°C, (b) 900°C y (c) 950°C; Cinética de crecimiento de la misma aleación, (d) 850°C, (e) 900°C y (f) 950°C.

La energía de activación se obtuvo a partir de una ecuación tipo Arrhenius [19] graficando $\ln K$ vs $1/T$, la cual se muestra en la figura 6. El valor de la energía de activación obtenido fue de $Q=-213$ kJ/mol.

Por otra parte, las micrografías obtenidas de MEB-AR también permitieron medir la dispersión de partículas mediante el espaciamento entre precipitados denominada como la distancia libre media entre precipitados (λ_p) Una expresión simple para la trayectoria libre media lineal es indicada en la ecuación 4 [20, 21]:

$$\lambda = [4(1-f) r] / 3f \tag{4}$$

Dónde f es la fracción volumen de precipitados y r el radio de la partícula. La distancia libre media entre precipitados (λ_p) se muestra en la figura 7. Se observa claramente que el incremento en el tiempo de envejecido y el aumento en temperatura promueve un aumento en la distancia libre media de precipitados.

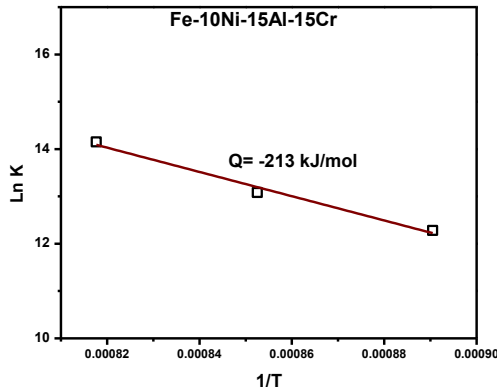


Figura 6. Energía de activación.

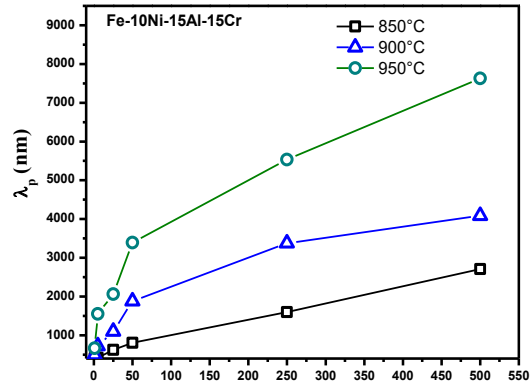


Figura 7. Distancia libre media entre precipitados, λ_p a las tres temperaturas de envejecido.

Resultados de microscopía electrónica de transmisión

En la figura 8 se muestran las micrografías obtenidas por MET de la aleación 60%Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr en %at. homogeneizada a 1100°C, y envejecida a 900°C por 25h. Los precipitados analizados confirman las mismas características microestructurales reveladas mediante MEB-AR, una distribución unimodal. Las imágenes fueron obtenidas en campo oscuro en condición de dos haces con los planos (200) de la matriz de fase α , el patrón de difracción de área selecta con un eje de zona B=001, con su correspondiente indexación. Dicha figura muestra claramente la morfología cuboidal con esquinas redondeadas, con una alineación preferencial de las intercaras en las direcciones <100> como lo muestran las flechas insertadas en la figura 8 (a) y (b). Esto confirma la alineación observada en aleaciones del sistema Fe-Ni-Al <100> y <010> [1, 2, 6, 18].

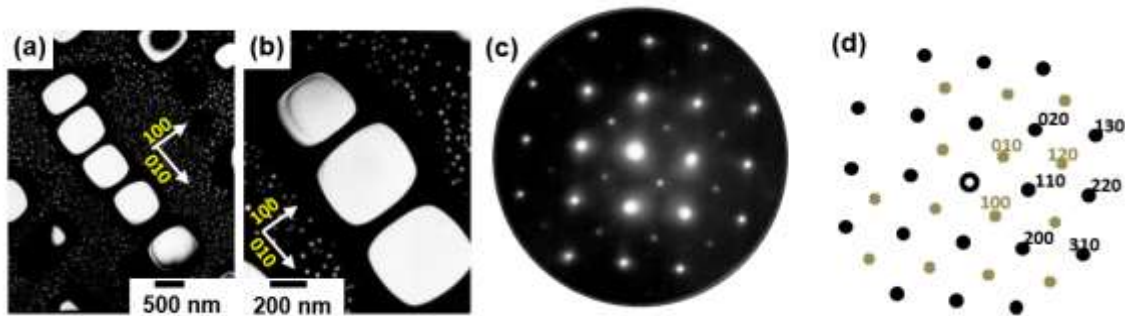


Figura 8. Micrografías de MET de la aleación Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr en %at. envejecida 25h a 900°C, (a) y (b) Condición de campo oscuro, (c) Patrón de difracción de área selecta y (d) Indexación con un eje de zona B=001.

Resultados de microdureza Vickers

La figura 9 muestra los valores graficados de la aleación Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr en %at. donde el efecto del tiempo de envejecido promueve una reducción en dureza para las tres temperaturas de envejecido atribuido al engrosamiento de los precipitados observado por MEB-AR. A pesar de que la mayor dureza fue observada a 900°C, la diferencia es de tan solo 20 puntos HV.

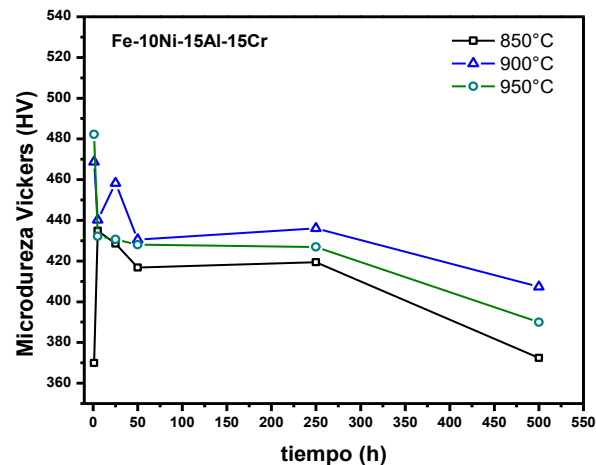


Figura 9. Microdureza Vickers.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos del estudio del engrosamiento de precipitados en la aleación Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr mediante tratamientos térmicos controlados se concluye que:

1. La fase β' ((Fe,Ni)Al) precipita en una matriz de fase α rica en Fe-Cr, con una distribución de tamaño de precipitados unimodal.
2. El proceso de engrosamiento está controlado por el mecanismo de difusión con dependencia lineal cercana a $t^{0.3}$.
3. Las cinéticas de crecimiento aumentan con respecto a la temperatura, obteniendo para esta aleación unimodal: 2.11×10^5 , 4.79×10^5 y 1.39×10^6 nm³/h; para los envejecidos a 850, 900 y 950°C, respectivamente.
4. La fracción área de precipitados disminuye con la temperatura.
5. El engrosamiento de precipitados promueve un aumento en tamaño y una disminución en cantidad, lo cual promueve un aumento en la distancia libre media entre precipitados.
6. El cambio de la morfología de los precipitados a las diferentes temperaturas es esféricas \rightarrow cuboidales \rightarrow esféricas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Y. Kuno, Y. Nakane, T. Kozakai, M. Doi, J. Yamanaka, C. Yamamoto, S. Naito. (2010). Phase Separation of B2 Precipitates in an Fe-Ni-Al Alloy. *Materials Science Forum*, vol. 638-642, pp. 2274-2278.
2. N. Cayetano-Castro, H.J. Dorantes-Rosales, V.M. López-Hirata, J.J. Cruz-Rivera, J. Moreno Palmerin y J.L. González-Velázquez. (2008). Cinética de engrosamiento de precipitados coherentes en la aleación Fe-10%Ni-15%Al. *Revista de Metalurgia*, vol. 44(2), pp.162-169.
3. D.R. Askeland, P.P. Fulay, W. J. Wright. (2011). Endurecimiento por dispersión mediante transformaciones de fase y tratamiento térmico. En *Ciencia e ingeniería de materiales* (sexta ed.). Páginas. 129, 130, 458, 459, 460, 463, 464, 480-481. CENGAGE Learning.
4. H. J. Dorantes-Rosales, N. Cayetano-Castro, J. de J. Cruz-Rivera, V. M. López-Hirata, J. L. González Velázquez y J. Moreno-Palmerin. (2009). CINÉTICA DE ENGROSAMIENTO DE PRECIPITADOS COHERENTES EN ALEACIONES BASE HIERRO. *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, S1 (2), 637-645.
5. V. Vaithyanathan, L.Q. Chen. (2002). Coarsening of ordered intermetallic precipitates with coherency stress. *Acta Materialia*, 50, 4061-4073.
6. O. Soriano-Vargas, M.L. Saucedo-Muñoz, V.M. López-Hirata and A.M. Paniagua-Mercado. (2010). Coarsening of β' Precipitates in an Isothermally-Aged Fe75-Ni10-Al15 Alloy. *Materials Transactions*, Vol. 51, No. 3, 442-446.

7. L. Eleno, K. Frisk, A. Schneider. (2006). Assessment of the Fe-Ni-Al system. *El sevier. Intermetallics*, Vol. 14, 1276-1290.
8. P.R. Munroe, M. George, I. Baker, F.E. Kennedy. (2002). Microstructure, mechanical properties and wear of Ni-Al-Fe alloys. *El sevier. Materials Science & Engineering*, A325, 1-8.
9. F. Yin, C. Wu, Z. Li, M. Zhao, and Y. Liu. (2013). Phase Equilibrium of the Fe-Cr-Ni-Al Quaternary System at 900°C. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, Vol. 34 No. 3, 181-187.
10. I. Chumak, K. W. Richter and H. Ipser. (2008). Isothermal Sections in the (Fe, Ni)-Rich Part of the Fe-Ni-Al Phase Diagram. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, Vol. 29 No. 4, 300-304.
11. C. Stallybrass, G. Sauthoff. (2004). Ferritic Fe-Al-Ni-Cr alloys with coherent precipitates for high-temperature applications. *El sevier. Materials Science & Engineering*, A 387-389, 985-990.
12. N.Q. Vo, C.H. Liebscher, M.J.S. Rawlings, M. Asta, D.C. Dunand.(2014). Creep properties and microstructure of a precipitation-strengthened ferritic Fe-Al-Ni-Cr alloy. *El sevier. Acta Materialia*, Vol.71, 89-99.
13. C. Stallybrass, A. Schneider, G. Sauthoff. (2005). The strengthening effect of (Ni,Fe)Al precipitates on the mechanical properties at high temperatures of ferritic Fe-Al-Ni-Cr alloys. *El sevier. Intermetallics*, Vol.13, 1263-1268.
14. M.A. Muñoz-Morris, D.G. Morris. (2007). Microstructure and mechanical behaviour of a Fe-Ni-Al alloy. *El sevier. Materials Science and Engineering*, A 444, 236-241.
15. M. A. Muñoz-Morris, N. Calderon, D.G. Morris. (2008). Coarsening kinetics of metastable nanoprecipitates in a Fe-Ni-Al alloy. *J Mater Sci*, 43, 3674-3682.
16. ASTM E 92-17. Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials.
17. Gernot Kostorz (2001) *Phase Transformations in Materials*. New York. Páginas: 311, 312, 314, 334, 335, 336, 370-377 .Wiley- VCH.
18. A.C. Lund, P.W. Voorhees. (2002). The effects of elastic stress on coarsening in the Ni-Al system. *Acta Materialia*, 50, 2085-2098.
19. D. A. Porter, Kenneth E. Easterling, and Mohamed y Sherif. (2009). *Phase Transformations in Metals and Alloys*. (3rd edition). New York. Páginas: 1, 2, 3, 43, 44, 59, 60, 65, 66, 67, 80, 115, 146, 147, 149, 151, 152, 153, 154, 157, 261, 262, 297. CRC Press. Taylor & Francis Group.
20. Jorge Luis González Velázquez. (2004). *Mecanismos de endurecimiento*. Metalurgia Mecánica. México, D.F. Páginas: 98-100. Limusa S. A. de C. V.
21. George E. Dieter (1988) *Strengthening Mechanisms*. Mechanical Metallurgy. (SI Metric Edition). London. Páginas: 212, 214, 215. McGraw- Hill Book Company.

SÍNTESIS MECANOQUÍMICA DE ZNO DEPOSITADO EN FORMA DE RECUBRIMIENTO SOBRE VIDRIO POR LA TÉCNICA SCREEN PRINTING

Karina de los Santos Arias¹, Laura Lorena Díaz Flores¹, Antonia del Rocío López Guemez¹, Angélica Silvestre López Rodríguez¹, Ebelia del Ángel Meraz¹, Ma. Guadalupe Rivera Ruedas¹, Beatriz Heredia Cervera².

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ² CINVESTAV-MERIDA

RESUMEN

Una de las aplicaciones tecnológicas del ZnO es como sensor de gases, cuando está depositado en forma de recubrimiento. Por lo que en este trabajo se propone la síntesis mecanoquímica del ZnO y su posterior depósito en forma de recubrimiento por el método de screen printing sobre sustratos de vidrio. Se obtuvo ZnO mediante el método de mecano-síntesis, utilizando como precursores: cloruro de zinc ($ZnCl_2$), carbonato de sodio (Na_2CO_3) y cloruro de sodio (NaCl). La síntesis se realizó en un molino de alta energía a 20, 40, 60 y 120 minutos de molienda. Se eliminaron los residuos de NaCl en los polvos de ZnO derivados de la molienda, a través de un proceso de lixiviación utilizando agua destilada seguido de un tratamiento ultrasónico durante 1 h. Posteriormente la muestra se secó a 120°C por 2 h, y finalmente los polvos se sometieron a tratamiento térmico de 400°C durante 2 h. Se prepararon suspensiones de ZnO con etanol, terpineol y etilcelulosa, las cuales se depositaron 10 veces en forma de recubrimientos sobre sustratos de vidrio, utilizando la técnica de screen printing con malla de 90 T y ángulo de mesh de 0. Los recubrimientos obtenidos se sinterizaron a 450 °C durante 1 h. Mediante perfilometría se obtuvo el espesor total del recubrimiento que fue de 8.83 μm . El análisis de los recubrimientos por difracción de rayos X, mostró que los recubrimientos de ZnO eran cristalinos y tenían una estructura hexagonal wurtzita. El tamaño del cristalito se encontró entre los 36 y 47 nm. A través de la microscopía electrónica de barrido se observó que las partículas tenían formas de aglomerados irregulares y el tamaño promedio de grano fue de 115 nm que corresponde a los 20 min, 104 nm a 40 min, 92 nm a 60 min y 99 nm a 120 min de molienda. Después de realizar estos análisis, se observó que los tiempos de molienda empleados no causan un efecto significativo en cuanto al tamaño de partículas, ni presenta cambios en la estructura cristalina. Por lo que se concluye que el proceso síntesis de mecano química aquí propuesto es efectivo desde los 20 minutos de molienda, para la obtención del ZnO.

INTRODUCCIÓN

El óxido zinc (ZnO), ha sido ampliamente investigado por las propiedades únicas que posee como compuesto no tóxico, económico, de alta estabilidad térmica y estabilidad química a temperatura ambiente. En los últimos años, se está utilizando en forma de película delgada para dispositivos optoelectrónicos¹⁻⁸, piezoeléctricos⁹⁻¹⁴, películas delgadas conductoras transparentes¹⁵⁻¹⁷ y sensores¹⁸⁻²⁵. Todas estas aplicaciones de nanotecnología, se deben a sus amplias y alcanzables morfologías con las que pueden alterarse o modificarse las propiedades eléctricas²⁶.

Debido a que pertenece al grupo II-VI, tiene una conductividad eléctrica tipo n por las vacancias de oxígeno, posee una banda prohibida de 3.37 eV y una alta energía de enlace de excitación de 60 meV²⁷. Las estructuras más estables que presenta son: blenda de zinc cúbico y wurtzita hexagonal (Figura 1); sin embargo, en condiciones ambientales la estructura de wurtzita hexagonal es la más estable (parámetros de red $a=0.324nm, c= 0.5215nm$)^{28,29}.

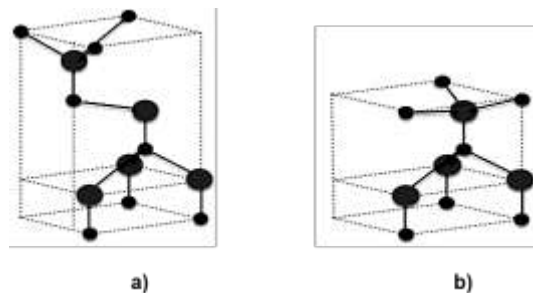


Figura 1. Representación de la estructura cristalina del ZnO a) blenda de zinc cubico b) wurtzita hexagonal³⁰.

Como todo material sólido, existen diversos métodos de síntesis para la obtención de ZnO que han dado como resultado partículas con diferentes características morfológicas y variaciones en algunas de sus propiedades físicas, entre los métodos de obtención de ZnO se tiene: el método hidrotermal³¹, sol-gel²⁹, método de coprecipitación³², microemulsión, síntesis asistida por microondas, y molienda de bolas (método mecanoquímico)³³. Al igual que los métodos de síntesis de ZnO, también existen diversas técnicas de recubrimientos, procesos tales como: deposición por láser pulsado, spray pirólisis, deposición química de vapor, dip coating, spin coating y depósito electroquímico^{34,35}.

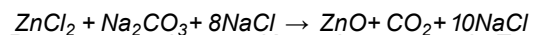
En este trabajo de investigación se obtuvieron polvos de ZnO sintetizados por el método de síntesis mecanoquímico y se obtuvieron recubrimientos de ZnO uniformemente depositados sobre sustratos de vidrio a través de la técnica de screen printing. Ambos procesos, tanto el de síntesis como el de depósito, se utilizaron por ser: simples, económicos y además ecológicos³³, esto se debe a que producen una mínima cantidad de residuos químicos, por lo que son amigables con el ambiente³⁶. Asimismo, los parámetros son fáciles de controlar y convenientes porque puede producir nanopartículas a gran escala^{37,38}.

Adicionalmente, se estudió la influencia del tiempo de molienda en la morfología y estructura del ZnO, por medio de las técnicas de microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM) y difracción de rayos X (DRX).

PARTE EXPERIMENTAL

Síntesis del ZnO

El ZnO se obtuvo mediante el método de mecano-síntesis con la siguiente reacción química que se presenta a continuación:



Para generar la reacción y obtener 2 g de ZnO se utilizaron las siguientes cantidades de precursores: 3.45 g de cloruro de zinc (ZnCl_2), 2.609 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y 11.478 g de cloruro de sodio (NaCl). Estos precursores se mezclaron en un contenedor de acero inoxidable de 92.87 ml con medios de molienda de 11mm hasta 18mm del mismo material del contenedor. La síntesis se realizó en un molino de alta energía (marca millSpex@ modelo 8000M) a 20, 40 y 60 minutos de molienda. Después del proceso de lavado, secado y tratamiento térmico se obtuvieron los polvos de ZnO. Para eliminar los residuos de NaCl en los polvos de ZnO derivados de la molienda, estos fueron sometidos a un proceso de lixiviación selectiva utilizando 150 ml de agua destilada como agente de lixiviación y posteriormente un tratamiento de ultrasonido durante 60min entre cada lavado. Luego se llevó a cabo el proceso de secado a 120°C por 2 horas, y por último los polvos fueron sometidos a un tratamiento térmico a 400°C durante 2 horas.

Preparación de las suspensiones de ZnO, para la obtención de los recubrimientos por la técnica de screen printing

Para preparar las suspensiones de ZnO utilizadas para recubrir por screen printing, se empleó el procedimiento descrito en la Figura 2. Para obtener los recubrimientos se usó un equipo de screen printing modelo AT-45FA marca ATMA y se obtuvieron recubrimientos sobre vidrio con 10 capas de depósito, empleando una malla de 90 T (abertura de malla de 56 μm) y con una posición de la malla

en un ángulo de 0° en 2q. Entre cada capa depositada, el sustrato se colocó sobre una placa de calentamiento a 125°C para secar la solución. Después de la aplicación de todas las capas de solución de ZnO los recubrimientos se sinterizaron en una mufla a 450°C durante 60 minutos con una rampa de calentamiento de 5.63°C por minuto.

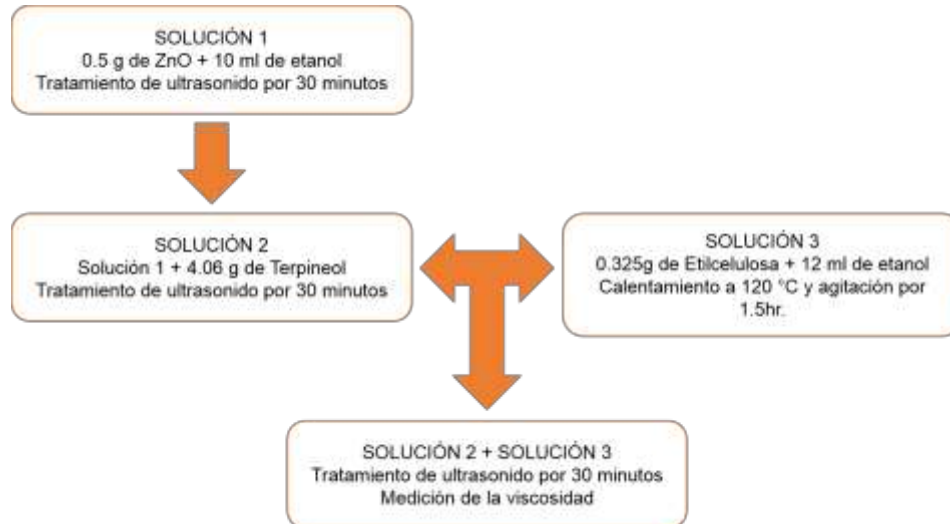


Figura 2. Esquema del proceso para la preparación de las soluciones de ZnO.

RESULTADOS

Evaluación por difracción de rayos X (DRX) del efecto de la molienda, en la cristalinización del ZnO de los recubrimientos

El análisis cristalino, tamaño del cristal y la orientación de los recubrimientos de ZnO se realizó utilizando la técnica de rayos X (DRX) con un difractómetro Bruker D2 Phaser usando radiación $\text{CuK}\alpha$ con una longitud de onda $\lambda=1.5418\text{ \AA}$, 30Kv y 10 mA. La intensidad de los picos fue medida en un rango de 10° a 80° en un ángulo de 2θ grados. Los picos agudos indican que tiene una estructura cristalina y todos coinciden con la tarjeta estándar (JCDPS:00-036-1451), que presenta la estructura wurtzita hexagonal. Los picos de mayor intensidad se sitúan en el ángulo de 36.2° y 31.7° que corresponden a los planos (100) y (101), de acuerdo con la ecuación de Scherrer el cálculo del tamaño del cristalito se encuentra entre los 36 y 47 nm que pertenece a los picos principales mencionados. En los recubrimientos la variación del tamaño del cristal y el grado de cristalinidad con respecto al tiempo de molienda es insignificante (Figura 3).

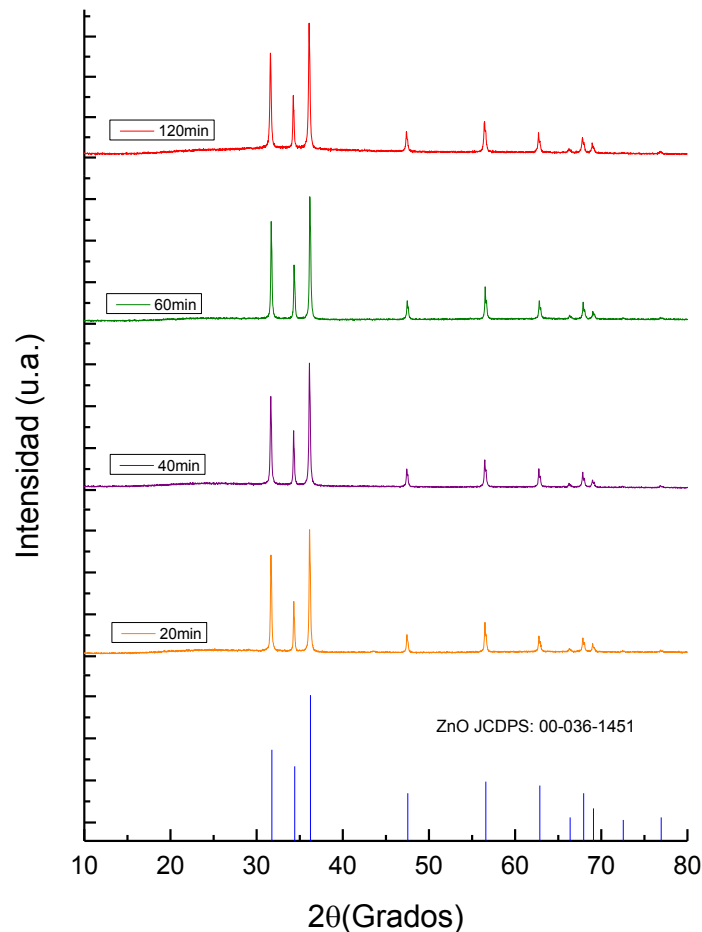


Figura 3. Análisis de los recubrimientos de ZnO por difracción de rayos X (DRX).

Evaluación del tamaño y forma de los granos de ZnO por Microscopía Electrónica de Barrido de emisión de campo (FESEM)

Después de realizar los recubrimientos por screen printing, la superficie de los recubrimientos de ZnO fueron analizados morfológicamente por FESEM marca JEOL modelo JSM-7600F. En las imágenes obtenidas a 50,000 X, se observa que las partículas presentan formas de aglomerados irregulares. El tamaño promedio de grano es de 115 nm que corresponde a los 20 min, 104 nm a 40 min, 92 nm a 60 min y 99 nm 120 min de molienda (Figura 4a, b, c y d respectivamente). En la Figura 4. e) se muestra el análisis elemental del ZnO por FESEM. La presencia de ZnO, O y Cl indica la formación del óxido de zinc, pero también muestra un remanente de Cl que proviene del $ZnCl_2$ utilizado como precursor.

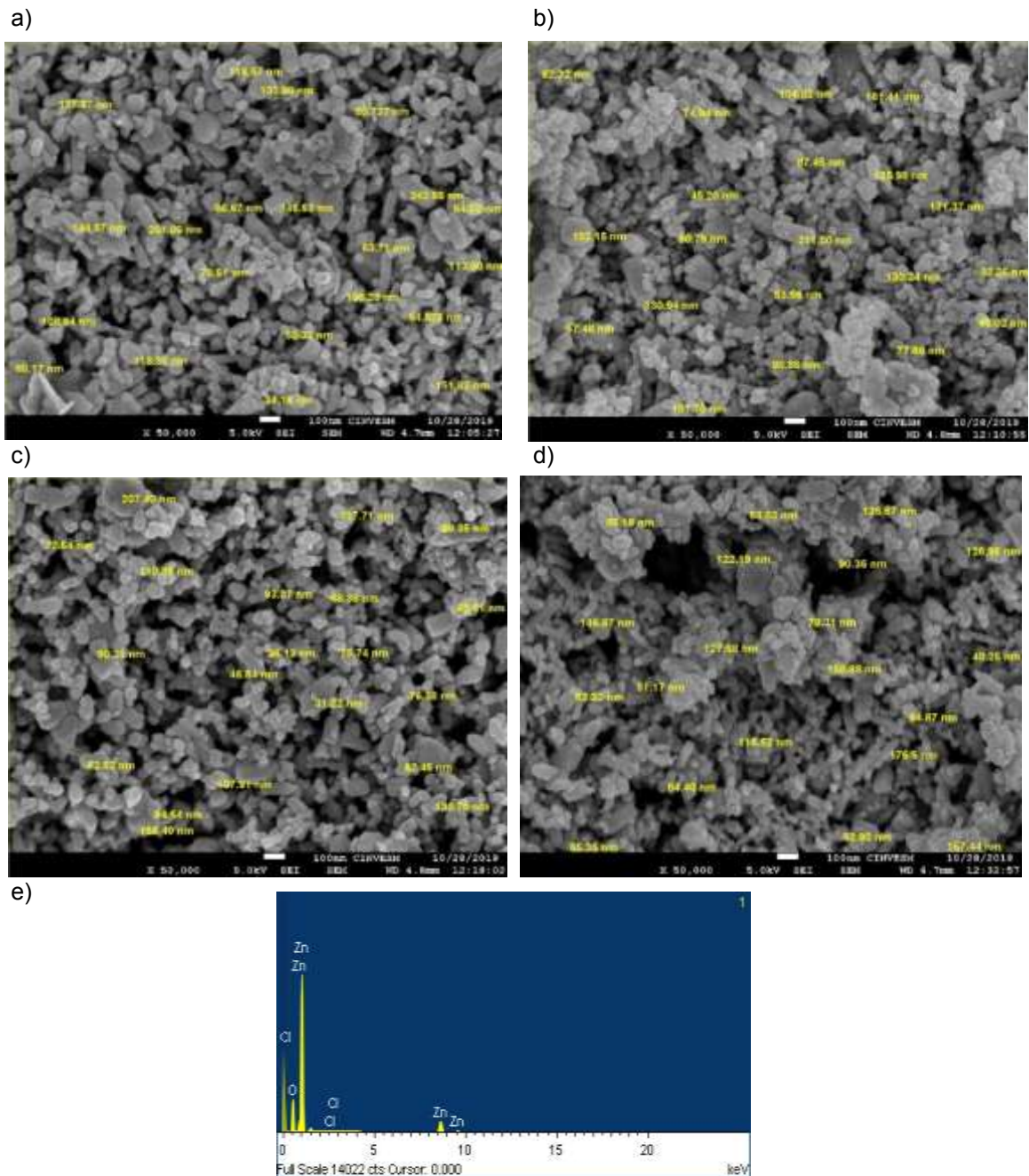


Figura 4. Análisis morfológico de polvos de ZnO por FESEM a) 20min b)40min c)60min d)120min e) Análisis elemental de los polvos de ZnO

CONCLUSIONES

A través de los resultados obtenidos mediante las imágenes de FESEM, se puede observar que los tiempos de molienda empleados no afectan significativamente en la disminución del tamaño de partícula. De igual forma, el análisis de DRX muestra en todos los tiempos de molienda los picos característicos del ZnO, lo que indica que a partir de los 20 min de molienda se obtiene ZnO por el método de síntesis mecanoquímica, y con respecto al tamaño del cristal, indica una variación insignificante con respecto al tiempo de molienda.

BIBLIOGRAFÍA

1. Song, H.; Ma, Y.; Ko, D.; Jo, S.; Hyun, D. C.; Kim, C. S.; Oh, H. J.; Kim, J. Influence of Humidity for Preparing Sol-Gel ZnO Layer: Characterization and Optimization for Optoelectronic Device Applications. *Appl. Surf. Sci.* 2020, 512, 145660. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145660>.
2. Maache, M.; Devers, T.; Chala, A. Al-Doped and Pure ZnO Thin Films Elaborated by Sol-Gel Spin Coating Process for Optoelectronic Applications. *Semiconductors* 2017, 51 (12), 1604–1610. <https://doi.org/10.1134/S1063782617120132>.
3. Serrao, F. J.; Sandeep, K. M.; Bhat, S.; Dharmaprakash, S. M. High Energy Electron Irradiation Effects on Ga-Doped ZnO Thin Films for Optoelectronic Space Applications. *Appl. Phys. A* 2018, 124 (3), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00339-018-1652-z>.
4. Xu, L.; Miao, J.; Chen, Y.; Su, J.; Yang, M.; Zhang, L.; Zhao, L.; Ding, S. Characterization of Ag-Doped ZnO Thin Film for Its Potential Applications in Optoelectronic Devices. *Optik (Stuttg)*. 2018, 170, 484–491. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.06.016>.
5. Malik, G.; Mourya, S.; Jaiswal, J.; Chandra, R. Effect of Annealing Parameters on Optoelectronic Properties of Highly Ordered ZnO Thin Films. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 2019, 100, 200–213. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.04.032>.
6. Lin, Y. S.; Wang, K. T. Enhancement of Optoelectronic Properties on Ultra Thin Ga-Doped ZnO Film Using a Multiple Buffer Layers Process. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2017, 28 (5), 4313–4317. <https://doi.org/10.1007/s10854-016-6055-3>.
7. Gbashi, K. R.; Salih, A. T.; Najim, A. A.; Muhi, M. A. H. Structural, Morphology and Optical Properties of CZO Thin Films Deposited by Sol-Gel Spin Coating for Optoelectronic Applications. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2017, 28 (20), 15089–15094. <https://doi.org/10.1007/s10854-017-7384-6>.
8. Ghosh, K.; Gupta, P.; Pandey, R. K. Optical Properties Tuning by Sodium and Magnesium Co-Doping in ZnO Thin Films for Optoelectronic Applications. *Mater. Today Proc.* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.500>.
9. Kumar, A.; Saini, S. K.; Sharma, G.; Johar, A. K. Development and Characterization of ZnO Thin Film for Piezoelectric Applications. *Mater. Today Proc.* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.351>.
10. Rezk, A.; Saadat, I. ALD Al-Doped ZnO Thin Film as Semiconductor and Piezoelectric Material: Process Synthesis. In *The IoT Physical Layer: Design and Implementation*; Springer International Publishing, 2018; pp 23–46. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93100-5_3.
11. Zeng, Y.; Zhang, T.; Yuan, M.; Kang, M.; Lu, G.; Wang, R.; Fan, H.; He, Y.; Yang, H. Growth and Selective Acetone Detection Based on ZnO Nanorod Arrays. *Sensors Actuators B Chem.* 2009, 143 (1), 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.08.053>.
12. Fan, Q.; Li, D.; Li, J.; Wang, C. Structure and Piezoelectricity Properties of V-Doped ZnO Thin Films Fabricated by Sol-Gel Method. *J. Alloys Compd.* 2020, 829, 154483. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154483>.
13. Ma, J.; Wang, S.; Chen, D.; Wang, W.; Zhang, Z.; Song, S.; Yu, W. ZnO Piezoelectric Film Resonator Modified with Multi-Walled Carbon Nanotubes/Polyethyleneimine Bilayer for the Detection of Trace Formaldehyde. *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.* 2018, 124 (1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00339-017-1481-5>.
14. Tao, K.; Yi, H.; Tang, L.; Wu, J.; Wang, P.; Wang, N.; Hu, L.; Fu, Y.; Miao, J.; Chang, H. Piezoelectric ZnO Thin Films for 2DOF MEMS Vibrational Energy Harvesting. *Surf. Coatings Technol.* 2019, 359, 289–295. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.11.102>.
15. Sarkar, P.; Sinha, A. Synthesis of ZnO Film as Transparent Conductive Oxide for Solar Cells; Springer, Cham, 2020; pp 228–235. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42363-6_27.
16. Ma, H. Effects of Aluminum Doping on the Structural and Optical Properties of ZnO Nanorods Grown on Highly Conductive Films. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2019, 30 (13), 12532–12539. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-01613-5>.
17. Ma, L.; Ai, X.; Quan, H.; Yang, W.; Du, X. Resistivity Depends on Preferred Orientation for Transparent Conductive Thin Films. *J. Korean Phys. Soc.* 2019, 74 (8), 806–811. <https://doi.org/10.3938/jkps.74.806>.

18. Gu, Y.; Ye, Z.; Sun, N.; Kuang, X.; Liu, W.; Song, X.; Zhang, L.; Bai, W.; Tang, X. Preparation and Properties of Humidity Sensor Based on K-Doped ZnO Nanostructure. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2019, 30 (20), 18767–18779. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02230-y>.
19. Vinoth, E.; Gopalakrishnan, N. Fabrication of Interdigitated Electrode (IDE) Based ZnO Sensors for Room Temperature Ammonia Detection. *J. Alloys Compd.* 2020, 824, 153900. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.153900>.
20. Selvaraj, B.; Balaguru Rayappan, J. B.; Jayanth Babu, K. Influence of Calcination Temperature on the Growth of Electrospun Multi-Junction ZnO Nanowires: A Room Temperature Ammonia Sensor. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 2020, 112, 105006. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.105006>.
21. Narasimman, S.; Balakrishnan, L.; Meher, S. R.; Sivacoumar, R.; Rufus, E.; Alex, Z. C. Fabrication of ZnO Thin Film Based VOC Sensor. In *Springer Proceedings in Physics*; Springer Science and Business Media, LLC, 2017; Vol. 189, pp 429–436. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44890-9_39.
22. Thamer, A.; Faisal, A.; Abed, A.; Khalef, W. Synthesis of Gold-Coated Branched ZnO Nanorods for Gas Sensor Fabrication. *J. Nanoparticle Res.* 2020, 22 (4), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11051-020-04783-0>.
23. Gao, R.; Cheng, X.; Gao, S.; Zhang, X.; Xu, Y.; Zhao, H.; Huo, L. Highly Selective Detection of Saturated Vapors of Abused Drugs by ZnO Nanorod Bundles Gas Sensor. *Appl. Surf. Sci.* 2019, 485, 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.189>.
24. Agharazy Dormeny, A.; Abedini Sohi, P.; Grudin, D.; Kahrizi, M. Development of Low Voltage Gas Ionization Tunneling Sensor Based on P-Type ZnO Nanostructures. *Sensors Actuators, A Phys.* 2019, 299, 111627. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111627>.
25. Dharmalingam, G.; Sivasubramaniam, R.; Parthiban, S. Quantification of Ethanol by Metal-Oxide-Based Resistive Sensors: A Review. *Journal of Electronic Materials.* Springer March 9, 2020, pp 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11664-020-08039-4>.
26. Borysiewicz, M. A. ZnO as a Functional Material, a Review. *Crystals* 2019, 9 (10), 505. <https://doi.org/10.3390/cryst9100505>.
27. El Filali, B.; Jaramillo Gomez, J. A.; Torchynska, T. V.; Casas Espinola, J. L.; Shcherbyna, L. Band-Edge Emission, Defects, Morphology and Structure of In-Doped ZnO Nanocrystal Films. *Opt. Mater. (Amst).* 2019, 89, 322–328. <https://doi.org/10.1016/J.OPTMAT.2019.01.056>.
28. Konan, F. K.; N'cho, J. S.; Nkuissi, H. J. T.; Hartiti, B.; Boko, A. Influence of the Precursor Concentration on the Morphological and Structural Properties of Zinc Oxide (ZnO). *Mater. Chem. Phys.* 2019, 229, 330–333. <https://doi.org/10.1016/J.MATCHEMPHYS.2018.12.082>.
29. Delice, S.; Isik, M.; Gasanly, N. M. Traps Distribution in Sol-Gel Synthesized ZnO Nanoparticles. *Mater. Lett.* 2019, 245, 103–105. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2019.02.123>.
30. Nagar, S.; Chakrabarti, S. *Optimisation of ZnO Thin Films: Implants, Properties, and Device Fabrication*; Springer Singapore, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0809-2>.
31. Félix-Quintero, H.; Angulo-Rocha, J.; Murrieta, S. H.; Hernández, A. J.; Camarillo, G. E.; Flores, J. M. C.; Alejo-Armenta, C.; García-Hipolito, M.; Ramos-Brito, F. Study on Growth Process and Optical Properties of ZnO Microrods Synthesized by Hydrothermal Method. *J. Lumin.* 2017, 182, 107–113. <https://doi.org/10.1016/J.JLUMIN.2016.09.049>.
32. Parvez Ahmad, M.; Venkateswara Rao, A.; Suresh Babu, K.; Narsinga Rao, G. Particle Size Effect on the Dielectric Properties of ZnO Nanoparticles. *Mater. Chem. Phys.* 2019, 224, 79–84. <https://doi.org/10.1016/J.MATCHEMPHYS.2018.12.002>.
33. Singh, J.; Sharma, S.; Soni, S.; Sharma, S.; Chand Singh, R. Influence of Different Milling Media on Structural, Morphological and Optical Properties of the ZnO Nanoparticles Synthesized by Ball Milling Process. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 2019, 98, 29–38. <https://doi.org/10.1016/J.MSSP.2019.03.026>.
34. Beniwal, A.; Sahu, P. K.; Sharma, S. Sol-Gel Spin Coating Assisted Room Temperature Operated Nanostructured ZnO Ethanol Sensor with Behavior Transformation. *J. Sol-Gel Sci. Technol.* 2018, 88 (2), 322–333. <https://doi.org/10.1007/s10971-018-4841-5>.

35. Dey, A.; Roy, S.; Sarkar, S. K. Synthesis, Fabrication and Characterization of ZnO-Based Thin Films Prepared by Sol–Gel Process and H₂ Gas Sensing Performance. *J. Mater. Eng. Perform.* 2018, 27 (6), 2701–2707. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3284-z>.
36. Izdebska, J.; Thomas, S.; Novaković, D.; Kašiković, N.; Vladić, G.; Pál, M. Screen Printing. *Print. Polym.* 2016, 247–261. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37468-2.00015-4>.
37. Sreenilayam, S. P.; Ahad, I. U.; Nicolosi, V.; Acinas Garzon, V.; Brabazon, D. Advanced Materials of Printed Wearables for Physiological Parameter Monitoring. *Materials Today*. Elsevier B.V. January 1, 2020, pp 147–177. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2019.08.005>.
38. Sabri, N. S.; Yahya, A. K.; Talari, M. K. Emission Properties of Mn Doped ZnO Nanoparticles Prepared by Mechanochemical Processing. *J. Lumin.* 2012, 132 (7), 1735–1739. <https://doi.org/10.1016/J.JLUMIN.2012.02.020>.

ANÁLISIS DE LA PRECIPITACION DE FASES EN GRADIENTES COMPOSICIONALES MEDIANTE PARER DIFUSORES FE-10NI-15AL-10CR / FE-10NI-15AL-10CR-17TI (%AT.)

José Antonio Rosas Barrios¹, Carlos Ferreira Palma², Brenda Cecilia Lora Resendiz³, Ana Gabriela Sánchez Marín³, Lesli Jazmín Lozada Hernández³ y Héctor Javier Dorantes Rosales³

¹ Instituto Politécnico Nacional, ESIQIE, ² Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica., ³ Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas.

jose_antonio.rosas@outlook.com

RESUMEN

El control microestructural de las aleaciones endurecibles por precipitación se puede llevar a cabo mediante tratamientos térmicos en el estado sólido. Estos tratamientos están diseñados para obtener una distribución óptima de precipitados de una fase intermetálica coherente con una matriz dúctil¹. Un ejemplo, ¡son las superaleaciones base Ni donde precipitados γ' (Ni_3Al) se encuentran embebidos en una matriz γ (Ni), ambos con estructura cubica centrada en las caras. Análogamente, las superaleaciones base Fe basan sus propiedades en precipitados β' (NiAl) embebidos en una matriz α (rica en Fe), ambos con una estructura cubica centrada en el cuerpo. La adición de Cr, al sistema Fe-Ni-Al promueve un aumento en la resistencia a la termofluencia, sin embargo, el control cinético de los precipitados debe ser evidenciado a partir de un seguimiento controlado². Por lo tanto, en el presente estudio analiza la cinética de precipitación de la fase β' ((Fe,Ni)Al) en una matriz de fase α rica en Fe-Cr, se llevó a cabo en la aleación Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr mediante tratamientos térmicos de envejecido a 850, 900 y 950°C. La aleación fue fabricada por fusión convencional en un mini-horno de arco eléctrico y homogeneizada a 1100°C durante 7 días. La caracterización se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de barrido de alta resolución y microscopía electrónica de transmisión. Los resultados mostraron que la aleación presenta una distribución de tamaño de precipitados unimodal. Asimismo, el análisis de los resultados muestra que el proceso de engrosamiento está controlado por el mecanismo de difusión con una dependencia lineal cercana a $t^{0.3}$. El engrosamiento de precipitados promueve un aumento en tamaño y una disminución en cantidad de precipitados, lo cual promueve un aumento en la distancia libre media entre precipitados. Se encontró que las cinéticas de crecimiento aumentan con respecto a la temperatura de tratamiento, siendo mayor a la temperatura de 950°C que a 900 y 850°C. La energía de activación de la aleación Fe-10%Ni-15%Al-15%Cr fue mayor que la reportada para la aleación Fe-10%Ni-15%Al, lo cual involucra que la adición de Cr promueve una mayor resistencia al engrosamiento de precipitados. Como característica microestructural en las tres temperaturas de tratamiento se encontró un cambio morfológico de los precipitados siendo esféricas en los primeros tiempos de tratamiento, cambiando a cuboidales en los tiempos intermedios y finalmente cambiaron nuevamente a formas esféricas. El cambio a una morfología cuboidal en los primeros tiempos se atribuye a interacciones elásticas entre precipitado y matriz, mientras que la morfología esférica a la formación de una red de dislocaciones en la intercara precipitado-matriz para mantener una coherencia parcial (semicoherente) con una orientación en las direcciones $\langle 100 \rangle$ y $\langle 110 \rangle$ de la matriz.

INTRODUCCIÓN

Las superaleaciones base níquel son usadas por sus propiedades en trabajo en caliente a temperaturas aproximadas a 800°C. propiedades como la resistencia a la fluencia y corrosión en estas aleaciones se han atribuido a la formación de γ' (Ni_3Al) como precipitados coherentes con la matriz de Ni (fase γ). Sin embargo, el alto costo de las superaleaciones base níquel ha llevado a que las investigaciones se centren en el reemplazo de estas aleaciones en ciertas aplicaciones que requieren una mayor relación costo-beneficio en temperaturas y tensiones más bajas. Una alternativa es el sistema Fe-Ni-Al que puede fortalecerse con precipitados β' (NiAl) en una matriz de fase α (rica en Fe). Este sistema ha presentado resistencia al engrosamiento a temperaturas de alrededor de 700°C, pero con una menor resistencia a la termofluencia. Recientemente, la adición de elementos como Cr y Ti a las aleaciones de Fe-Ni-Al han demostrado mejoras en el fortalecimiento de las propiedades de la matriz, lo que se atribuye a la presencia de precipitados de Ni_2TiAl . Una de

las tendencias para el estudio de nuevas aleaciones es el uso del método de gradiente composicional donde se pueden estudiar diferentes composiciones en un par difusor sin la necesidad de fundir varias aleaciones [1].

TEORÍA

Endurecimiento de aleaciones

El endurecimiento de las aleaciones es uno de los mecanismos por el cual se pueden mejorar las propiedades mecánicas de las aleaciones incrementando los límites de cedencia y resistencia máxima, dando la capacidad de soportar mayores esfuerzos y resistir la deformación elástica sin llegar a tener una deformación plástica, además de conservar la ductilidad, en resumen, obteniendo una aleación con mayor tenacidad. El endurecimiento en una aleación implica el impedimento del movimiento de las dislocaciones, generalmente por la formación de partículas de segunda fase, las dislocaciones generan anillos al redor de las partículas. [2-3].

Precipitados de segunda fase

En las aleaciones las partículas que presentan mejores propiedades son aquellas que dan lugar a los precipitados, entonces, el mecanismo de endurecimiento se refiere a la precipitación de segunda fase. El proceso implica que se tenga una aleación la cual requiere tener una monofase solida homogénea a una composición dada y que al ser enfriada bajo la temperatura de solvus entra en una región de dos fases, este cambio de región provoca la nucleación de partículas que crezcan y dan lugar a precipitados nanométricos, con una distribución determinada. Para lograr el endurecimiento por precipitación es necesario que los precipitados sean duros y la matriz blanda y dúctil [3]. El grado de endurecimiento de la aleación esta correlacionado con la coherencia de los precipitados con la matriz, el cual depende del grado de coincidencia dentro de las redes atómicas individuales de cada fase, por lo cual se puede dividir en tres tipos de coherencia totalmente coherentes, parcialmente coherentes e incoherentes[3].

Los fenómenos presentes en el endurecimiento por precipitación son nucleación y crecimiento asimismo como el engrosamiento, este último permite predecir el cambio de tamaño de los precipitados y la perdida gradual de las propiedades mecánicas de la aleación. Sus respectivas teorías son nucleación y crecimiento, maduración de Ostwald y la teoría LSW.

La teoría clásica de nucleación y crecimiento

Para poder predecir los procesos de nucleación y crecimiento en una solución solida sobresaturada la cual se obtienen llevando la aleación a una temperatura en la cual los componentes se homogenicen y distribuyan, y después tratarla térmicamente a una temperatura menor. Para esto se debe de tomar en cuenta los cambios en la energía de Gibbs(ΔG). En el caso de la aparición de precipitados esféricos de un radio critico r^* , $\Delta G(r^*)$ está dado por:

$$\Delta G(r^*) = \frac{4}{3}\pi r^{*3}\Delta g + 4\pi r^{*2}\gamma \tag{1}$$

Donde Δg es la fuerza motriz de nucleación por unidad de volumen y γ es la energía interfacial específica.

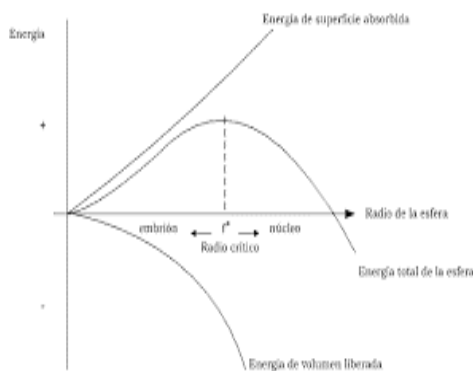


Figura 0 Representación esquemática del cambio de energía de Gibbs asociada con la formación de núcleos de un radio critico [4].

Ya que la energía necesaria para que el aumento de volumen de este núcleo es menor como se puede observar en la Figura 1, el crecimiento del precipitado en volumen se da gracias a la sobresaturación del sistema, este crecimiento se da hasta que la concentración del soluto en la matriz disminuye al alcanzar el equilibrio, la nueva fase precipitado, permanece con una fracción constante.

Maduración de Ostwald

Ostwald propone la maduración como un fenómeno de engrosamiento de los precipitados, este proceso ocurre cuando el soluto se agota y se aplica una fuerza motriz en el sistema, como el tratamiento térmico de envejecido, esta nueva fuente de energía provoca el crecimiento de los precipitados de mayor tamaño a expensas de los precipitados de menor tamaño conservando la fracción volumétrica. Sin embargo, el modelo no es capaz de predecir en qué momento se pierde la distribución homogénea, este trabajo fue desarrollado en la llamada teoría LSW.

Teoría LSW para el engrosamiento

Desarrollada por Lifshitz y Slyozov [5] e independientemente por Wagner [6], considerando sistemas fluidos, donde no existen esfuerzos y el engrosamiento de partículas esféricas. Pese a que la teoría considera sistemas con fracciones volumétricas finitas [7], se ha demostrado que no se alteran las distribuciones predichas por dicha teoría ni la ley temporal que permite calcular las cinéticas del engrosamiento. Esta teoría considera que la sobresaturación del sistema tiende a cero con relación al tiempo para todas las ecuaciones propuestas [8]

$$\bar{r}^3(t) = k_r t \tag{2}$$

$$k_r = \frac{8DV_\beta\sigma_{\alpha\beta}}{9(c_\beta^e - c_\alpha^e)^2 G''_\alpha} \tag{3}$$

Donde \bar{r} es el radio medio de los precipitados, t el tiempo de envejecido, k_r la velocidad de engrosamiento, D la constante de difusión, V_β volumen molar de la fase β , $\sigma_{\alpha\beta}$ energía interfacial específica, c_α^e composición de equilibrio de la matriz α , c_β^e composición de equilibrio del precipitado β , G''_α segunda derivada de la energía molar de Helmholtz de la fase α .

El análisis de la ecuación 2 se puede expandir donde el radio promedio predicho a un tiempo t se expresa como

$$\bar{r}(t)^n - \bar{r}(0)^n = k_r t \tag{4}$$

Donde $\bar{r}(0)^n$ es semejante al radio crítico medio de los precipitados, como la nucleación se los precipitados se dan a tiempos muy cortos el valor se considera cercano a cero por lo cual la ecuación 4 se reduce a:

$$\bar{r}(t) = K t^{\frac{1}{n}} \tag{5}$$

Donde la constante k_r se reduce a K la cual marca la cinética de los precipitados ahora de la siguiente forma:

$$k_r = \frac{8DV_\beta^2\sigma_{\alpha\beta}}{9RT} \tag{6}$$

Donde T es la temperatura absoluta y R la constante de los gases ideales

De la ecuación numero 5 surge la ley temporal, la cual ayuda a determinar el mecanismo al cual se ve sometido el engrosamiento de los precipitados donde si $\bar{r}(t) = K t^{\frac{1}{3}}$ el proceso es controlado por difusión y si $\bar{r}(t) = K t^{\frac{1}{2}}$ el proceso es controlado por la intercara.

El análisis de la teoría LSW demostró una distribución Gaussiana inicialmente estrecha y llegando a aun pico de densidad de probabilidad, el cual asegura la distribución homogénea de las partículas, conocida como aleatoria como se puede ver la Figura 2

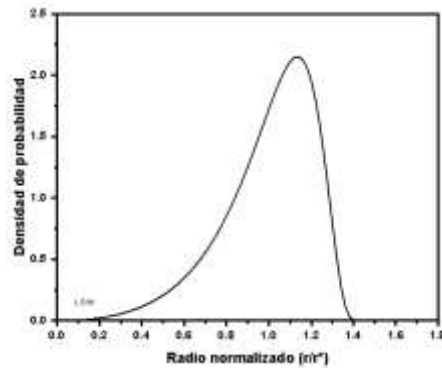


Figura 2 Distribución del tamaño de partícula de la teoría LSW, en los ejes la densidad de probabilidad contra el radio normalizado

Sistema de aleación Fe-Ni-Al

El sistema constituido por Fe-Ni-Al el cual destaca por sus propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión a altas temperaturas (400 a 1100°C). Estas propiedades están atribuidas a la presencia de precipitados de segunda fase, de los cuales destacan los encontrados en dos regiones bifásicas, la más usada en la industria la región $\gamma+\gamma'$ con parámetros de red de 0.358 y 0.359 nm respectivamente y una estructura cubica centrada en las caras es la responsable del endurecimiento por precipitación en las aleaciones base níquel. La otra región bifásica la cual se caracteriza por generar aleaciones de menor densidad, de las superaleaciones base hierro y es de interés por tener excelentes propiedades mecánicas por la presencia de precipitados β' en matriz α cuyos parámetros de red son de 0.28665 y 0.28864 nm respectivamente.

Las aleaciones ferritas del sistema endurecido por precipitación obedece la reacción de descomposición $\alpha_{SSS} = \alpha + \beta'$ en la cual los precipitados son coherentes con la matriz en los planos (200) y la orientación esta predispuesta a las direcciones [100] con relación a la matriz.

El uso de las aleaciones del sistema Fe-Ni-Al se ha enfocado a la satisfacción de componentes sujetos a altos esfuerzos a alta temperatura, tales como engranes de trenes de aterrizaje, alabes de componentes supercríticos en turbinas, componentes en la industria nuclear o como sellos en bombas para la industria petroquímica. El endurecimiento de estos componentes en el caso de la aleación base Ni se deben a los precipitados γ' (Ni₃Al), presentando buena resistencia a la corrosión y las base hierro al precipitado β' (NiAl), con baja resistencia a la a corrosión a altas temperaturas [8].

Elementos de aleación

El sistema Fe-Ni-Al en sus aplicaciones como superaleación base hierro tiene aplicación en aceros PH y aleaciones comerciales como el Nitroalloy-N que gracias a sus elementos de aleación y una serie de tratamientos térmicos presentan precipitados finos con distribución aleatoria. Estas aleaciones presentar resistencia a esfuerzos de tensión de 1520MPa y trabajar a temperaturas entre los 300 y 650°C, sin embargo, el estudio de nuevas aleaciones busca de satisfacer mayores esfuerzos a la tensión y la retención de las propiedades mecánicas a temperaturas ahora superiores a los 700°C, así como resistencia a la corrosión y la termofluencia [9].

La mejora de las propiedades exige que los precipitados tengan una correlación entre su morfología, distribución, coherencia con la matriz y dureza. Además, la ferrita en las aleaciones base hierro provoca un buen aporte a las propiedades mecánicas, los principales elementos de aleación que alteran la ferrita son el Al, Si, Mo, W, Nb y Ti con el fin de favorecer la estabilidad del hierro α , otros elementos de aleación como C, N, Mn, Ni, Cr y Co permiten la retención de hierro γ .

PARTE EXPERIMENTAL

Método del gradiente composicional

El método propuesto por Toru Miyazaki y colaboradores [10] tiene la finalidad de facilitar la investigación de las transformaciones de fase en las aleaciones, permitiendo evaluar varias

aleaciones con un solo espécimen, generando un gradiente macroscópico de soluto. El método permite estudiar distintos tipos de transformaciones de fase como la determinación de los límites coherentes e incoherentes en los precipitados con respecto a su composición, la transición orden desorden, el cambio morfológico, tamaño crítico de los precipitados y la tasa de nucleación cercana al límite de solubilidad. El proceso por seguir consiste en hacer que un elemento que se encuentra en mayor concentración en una aleación se difunda en otra aleación cuya concentración sea homogénea, provocando una distribución o gradiente composicional. Mediante la unión mecánica y tratamientos térmicos de recocido difusional, se logra la difusión del elemento que se encuentra en exceso en relación a la aleación de composición homogénea, el perfil generado obedece la ley de energía mínima donde el sistema debe llegar a un equilibrio, dependiendo del tiempo y de las constantes de difusividad del sistema, se encuentra un gradiente a ambos lados del ahora llamado par difusor.

Para la fabricación de los dos la aleación componentes del par difusor, Fe-Ni₁₀-Al₁₅-Cr₁₀/Fe-Ni₁₀-Al₁₅-Cr₁₀-Ti₁₇, haciendo uso de los metales Fe, Ni, Al, Cr y Ti con purezas de 98.98, 99.95, 99.99, 99.99 y 99.85 en at% respectivamente. Se realizó un cálculo de carga de los elementos ya mencionados para generar botones de aleación de 8g con composición en porcentaje atómico. Una vez pesada la carga esta se limpio con una carga y con un vibrador ultrasónico en agua destilada antes de la fundición en un mini-horno de arcoeléctrico marca Edmund Buehler, el cual aparte de realizar la fundición de pequeñas cantidades de aleación, brinda control de la atmosfera, para esta metodología la fundición se llevó a cabo en una atmosfera inerte de gas Argón. Cada botón se someterá a un mapeo composicional en el microscopio electrónico de barrido convencional (MEB-EDS) con el fin de corroborar la composición química. Ya obtenidos los botones de aleación estos se dividieron haciendo uso de una cortadora de precisión con el fin de obtener barras cuadradas las cuales se desbastan y pulen con silica coloidal de 0.02µm, en una de sus caras más grandes. Se seleccionaron una barra de cada composición, se colocaron en una prensa fabricada de acero inoxidable 304 con sus caras pulidas en contacto. El dispositivo ya armado se encapsula en un tubo de cuarzo en atmosfera de vacío de gas inerte de Argón. Posterior al encapsulado se le somete a tratamiento térmico de recocido difusional a 1100°C por 7 días, el tratamiento térmico provoca la unión del par difusor y la difusión del Ti en la aleación carente de él. Para verificar la presencia del gradiente composicional el par difusor se debe de desbastar en una de sus caras para someterlo a un mapeo composicional lineal que atraviese la intercara empleando un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo JSM 6300. Los pares difusores son sometidos a una serie de tratamientos térmicos.

Tratamientos térmicos

El par difusor se encapsula de nuevo en atmosfera inerte de gas Argón el cual se somete a un tratamiento de homogenizado a 1200°C por 1 hora, para obtener una fase homogénea sobre saturada de acuerdo con el diagrama pseudobinario mostrado en la Figura 3 generado por el software Thermo-Cal. Posteriormente las capsulas se someterán a tratamiento térmico de envejecido a 900 °C respetivamente por tiempos de 1 y 5 horas seguido de un temple en agua con hielos para mantener las fases propias de la temperatura. En cada uno de los tiempos de tratamiento térmico se realizará la preparación para la caracterización microestructural y de microdureza.

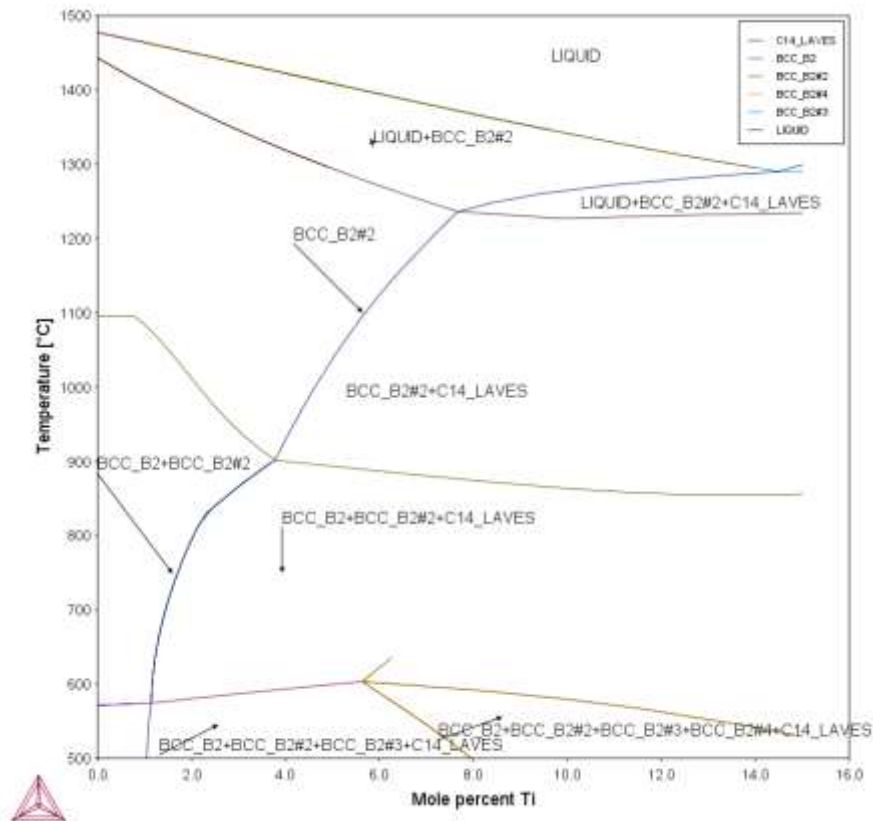


Figura 3 Diagrama pseudo binario obtenido por el programa con variación de Ti y composición fija de Fe-Ni₁₀-Al₁₅-Cr₁₀- TERMO-CALC

Preparación de muestras

Para la preparación de cada muestra del par difusor se desbasta hasta lija de grano 1500 con el fin de generar una superficie liza. Posterior a esto se utiliza el electropulidor de la marca STRUERS, con una solución comercial conocida como A2 compuesta por agua destilada, alcohol etílico, etileno glycol monobutil éter y de ácido perclórico. Dentro de las etapas que marca el equipo en su software en un primer paso se realizó un electropulido con un voltaje entre 14-18V durante 20s, luego se realiza el ataque químico para generar un contraste de fases entre la matriz y el precipitado, la muestra con la misma solución A2 se somete entre 7-10V por 30s.

Caracterización

A cada muestra de los pares difusores se les realizarán las siguientes caracterizaciones: *Microdureza Vickers o microindentación* permite evaluar el perfil de durezas a lo largo del gradiente, para el ensayo se utilizarán 200g de carga durante 12 segundos, las indentaciones se colocarán con una distancia media entre ellas aproximada a 70 μm . *Microscopia electrónica de barrido convencional y alta resolución* Para determinar el perfil de composición generado se utilizará un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo JSM 6300, se realizará un mapeo composicional bajo las indentaciones previamente realizadas. Una vez obtenidos los datos de composición del gradiente composicional la muestra será llevada al microscopio electrónico de barrido de alta resolución marca un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo JSM 6701F en cual se realizarán micrografías en modo composicional con el fin de hacer un análisis cualitativo con respecto a la ubicación de los elementos de la aleación en la microestructura, y la toma de micrografías en modo SEI a 20KV de aceleración.

RESULTADOS

Con base en el procedimiento experimental anteriormente descrito, tras realizar los tratamientos térmicos de envejecido, se logró comprobar la presencia de un gradiente composicional el resultado demuestra que la presencia del Ti en el par difusor se ve correlacionada con el decrecimiento en composición del Fe lo cual nos asegura tener un perfil de composición donde se mantiene el porcentaje de Ni₁₀- Al₁₅ y la variación de Ti como se muestra en la Figura 4 la gráfica de variación de composición en %At. contra distancia en µm.

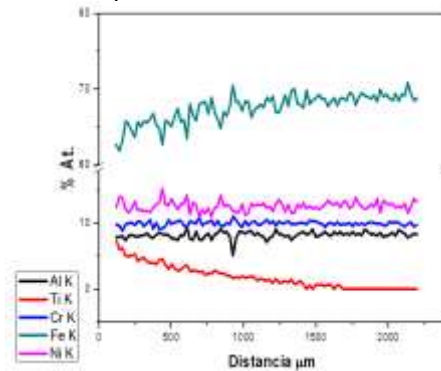


Figura 4 Grafica del mapeo composicional (EDS-MEB) sobre la zona con gradiente composicional de Ti de un par difusor tratado por envejecido a 900°C por 1h.

Se observó que al seguir realizando tratamientos térmicos la difusión del Ti en el par continuaba por lo cual se decidió separar el par.

En la en Figura 5 las gráficas de Dureza contra Ti %At. vs Distancia se puede correlacionar el % de Ti con la dureza donde se grafican los tiempos de envejecido de 1 y 5 en estas se puede observar que el valor de la dureza fluctúa en relación con la composición de los precipitados y la matriz, sin embargo, el gradiente composicional muestra la presencia de un pico de durezas a altas concentraciones de Ti (6-3%at.), sin embargo, también hay una disminución de esta dureza después del envejecido correlacionada al fenómeno de engrosamiento.

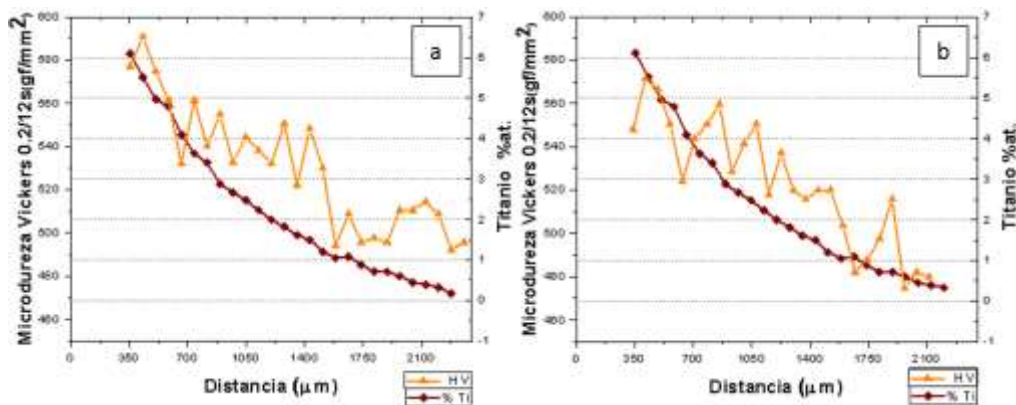


Figura 5 Graficas Dureza vs Ti% at. vs Distancia, a) envejecida a 900°C por 1h, b) envejecida a 900°C por 5h

La Figura 6 muestra el gradiente composicional de un par difusor envejecido a 900°C por 1h a partir de 5%Ti at. hasta 0%Ti en esta Figura (a) y (l) muestran que los componentes de la aleación (Fe-Ni-Al-Cr-Ti) están presentes tanto en el precipitado como en la matriz. Además, se puede observar en la transición de (b) a (k) que los precipitados presentan un cambio de morfología que sigue la secuencia irregular → cuboides → esferas donde se inicia con un alto contenido de Ti, cuando se tienen precipitados sin porcentaje de Titanio en la aleación la morfología es esférica. La Figura 7

muestra el gradiente composicional de un par difusor envejecido a 900°C por 5h a partir de 5%Ti at. hasta 0%Ti en esta Figura (a) y (l) muestran que los componentes de la aleación (Fe-Ni-Al-Cr-Ti) están presentes tanto en el precipitado como en la matriz. Al igual que la anterior el perfil de la morfología de los precipitados a lo largo del gradiente sigue la siguiente relación irregular \rightarrow cuboides \rightarrow esferas. El cambio de morfología para ambos tiempos esta atribuido a la presencia de más elementos de aleación los cuales aumentan los esfuerzos entre red y matriz el cual se espera sea mayor a altos contenidos de Ti [11].

La morfología a su vez está asociada con orientación de los precipitados, cuando los precipitados son más coherentes con la matriz y no tienen una forma irregular, estos presentan además de intercaras regulares una orientación preferencial para ambos casos de envejecido. El tamaño es el mayor de los cambios que presentaron los precipitados denotando que efectivamente la experimentación presentada muestra el fenómeno de engrosamiento de los precipitados, también se puede observar la transformación a precipitados irregulares de los precipitados cuboides a porcentajes menores de Ti esto también atribuido al fenómeno del engrosamiento.

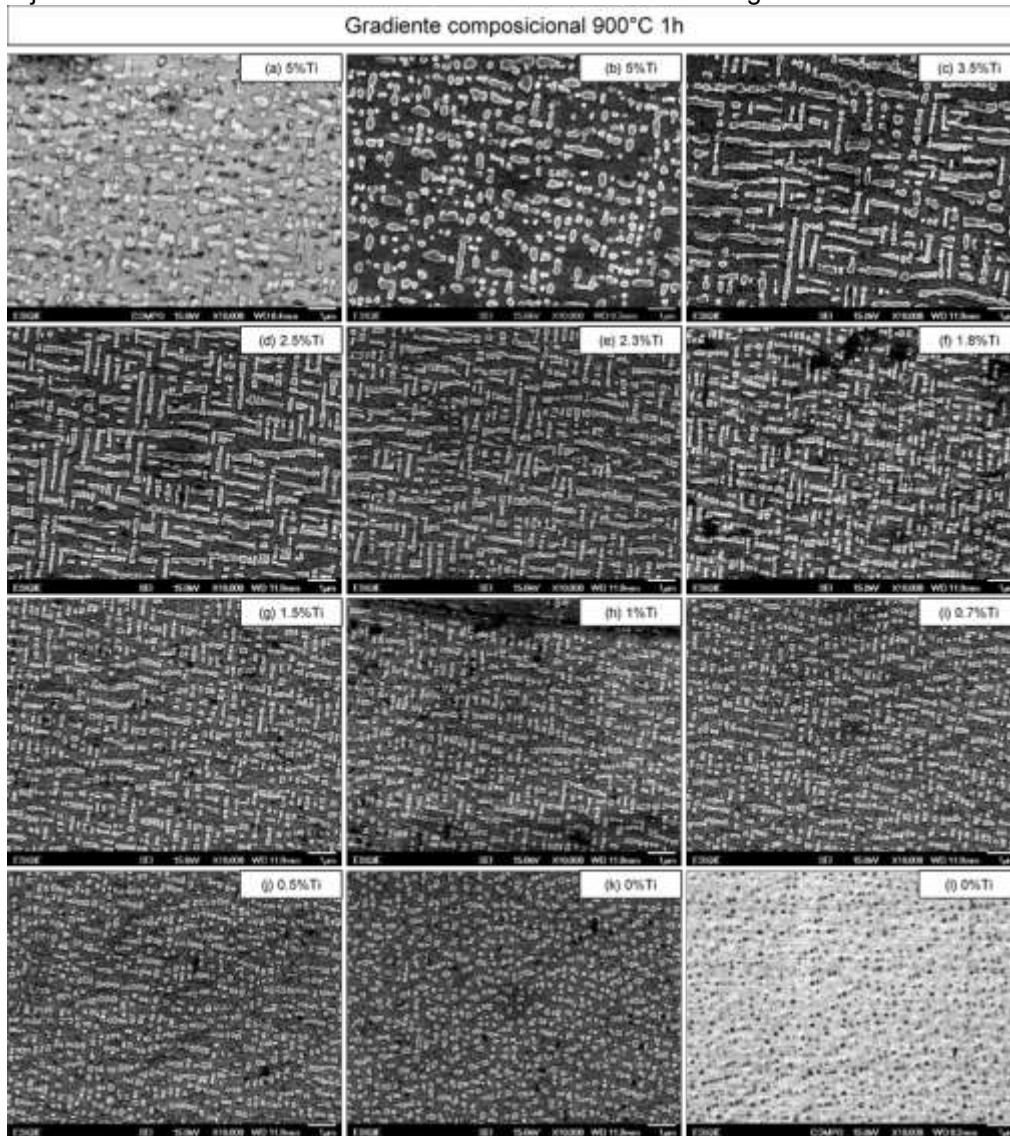


Figura 6 Micrografías MEB-AR envejecido 900°C 1h, (a)modo COMPO 5%Ti; modo SEI (b)5%Ti, (c)3.5%Ti,(d)2.5%Ti, (e)2.3%Ti, (f)1.8%Ti, (g)1.5%Ti, (h)1%Ti, (i)0.7%Ti, (j)0.5%Ti, (k)0%Ti y (l)modo COMPO 0%Ti.

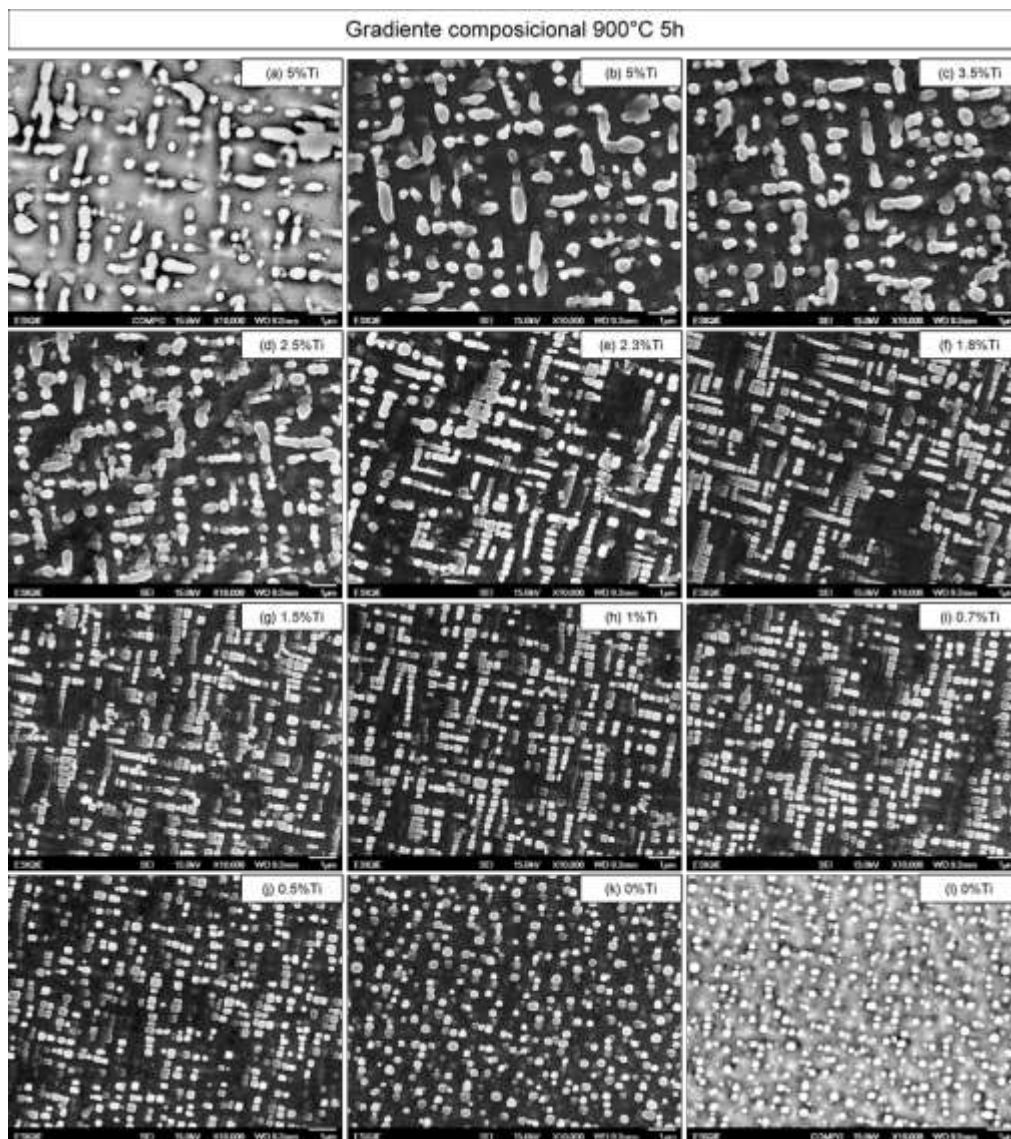


Figura7 Micrografías MEB-AR envejecido 900°C 5h, (a)modo COMPO 5%Ti; modo SEI (b)5%Ti, (c)3.5%Ti,(d)2.5%Ti, (e)2.3%Ti, (f)1.8%Ti, (g)1.5%Ti, (h)1%Ti, (i)0.7%Ti, (j)0.5%Ti, (k)0%Ti y (l)modo COMPO 0%Ti.

En la Figura 8 se puede ver la variación de tamaño (nm) y fracción área (fA) de los precipitados con respecto a la cantidad de Titanio en el gradiente composicional, el en tratamiento térmico de envejecido a 900°C por 1 y 5h. En esta grafica se puede ver el evidente aumento de tamaño por efecto del envejecido, asociado al cambio de morfología irregular → cuboides → esferas, donde en la primera etapa se encuentran precipitados principalmente irregulares, en la segunda etapa se ve la aparición de los precipitados cuboides, y finalmente se tiene un aumento moderado de tamaño de los precipitados cuboides hasta que se transforman en esferas cuando no hay contenido de Ti en la aleación.

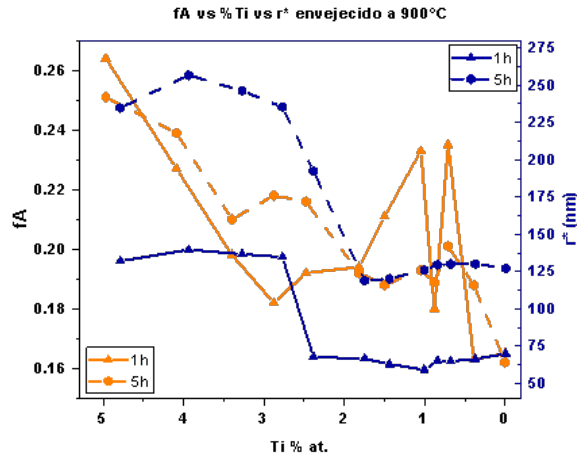


Figura 8 fA vs Ti %at. s r* (nm)

La Figura 9 muestra las distribuciones de tamaño de partícula a lo largo del gradiente de composición durante el envejecimiento a 900°C durante 1h, mientras que la Figura 10 muestra las correspondientes de las aleaciones envejecidas a 900°C 5h. Las distribuciones estimadas experimentalmente se encuentran comparadas con la función de distribución teórica predicha por la teoría LSW a manera de determinar el grado de ajuste entre ambas. En estas gráficas el eje de las abscisas corresponde a la densidad de probabilidad ($\rho^2 f(\rho)$), donde ρ representa el tamaño de partícula normalizado como lo define la teoría LSW. La densidad de probabilidad puede calcularse de manera empírica a partir de los radios equivalentes mediante la siguiente ecuación

$$\rho^2 f(\rho) = (N_{(r,r+\Delta r)} / \Sigma N_{(r,r+\Delta r)}) (r^* / \Delta r) \tag{7}$$

donde $N_{(r,r+\Delta r)}$ es el número de partículas en un intervalo dado, r^* es el radio medio y Δr es el tamaño de la clase. Por otra parte, la distribución de tamaño de partícula propuesta por la teoría de engrosamiento de LSW fue calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$h(\rho) = \frac{81}{5} \frac{\rho^2}{2^{\frac{3}{2}} (\frac{3}{2} - \rho)^3} \exp\left(-\frac{\rho}{\frac{3}{2} - \rho}\right) \tag{8}$$

donde ρ es la relación r/r^*

Las distribuciones de tamaño observadas son asimétricas, y es posible observar que no ajustan completamente con la teoría. A porcentajes de Titanio mayores el desajuste es notable, la distribución es más cercana a la propuesta por la teoría LSW a cuando carece de Ti, sin embargo, al aumentar el tiempo de envejecimiento la distribución empieza a ajustarse a contenidos de titanio de 1.8%at.

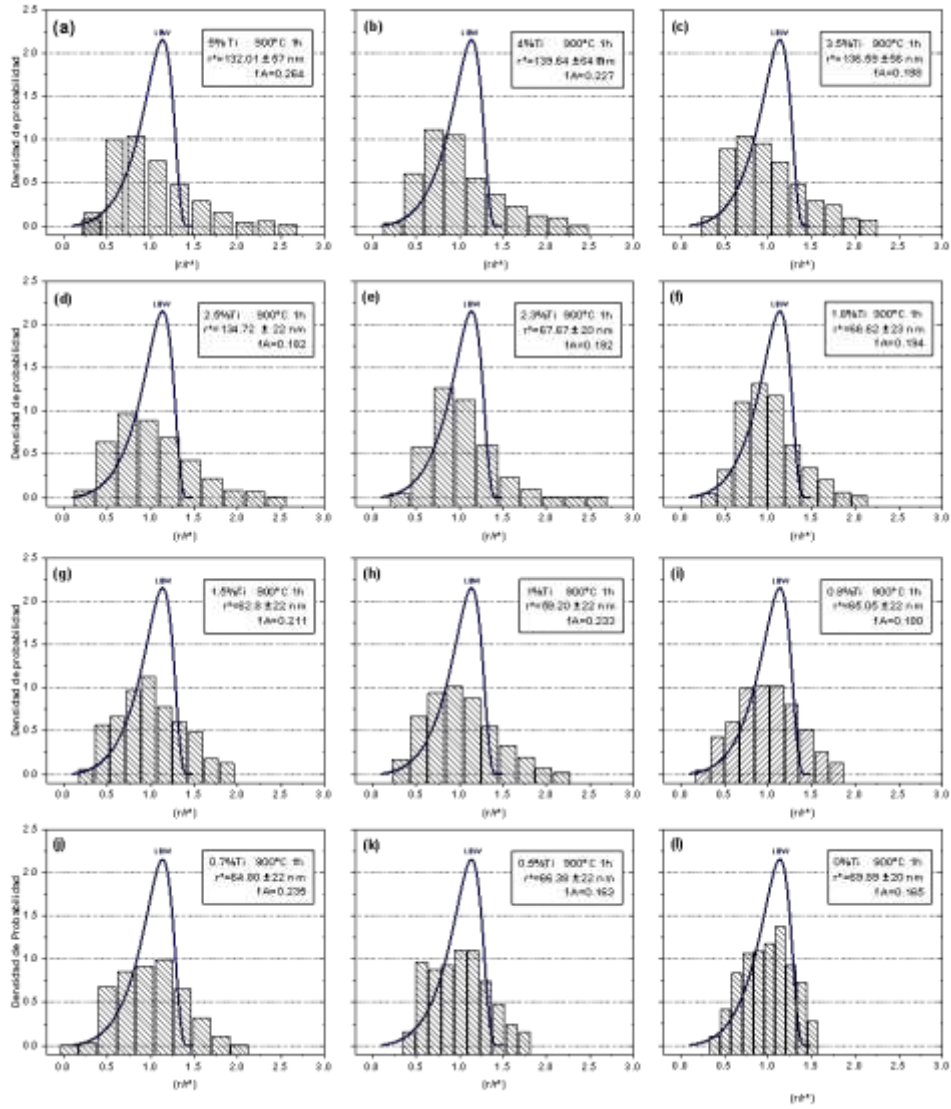


Figura 9 Distribución de tamaño de partículas para composiciones durante el envejecido a 900°C 1h

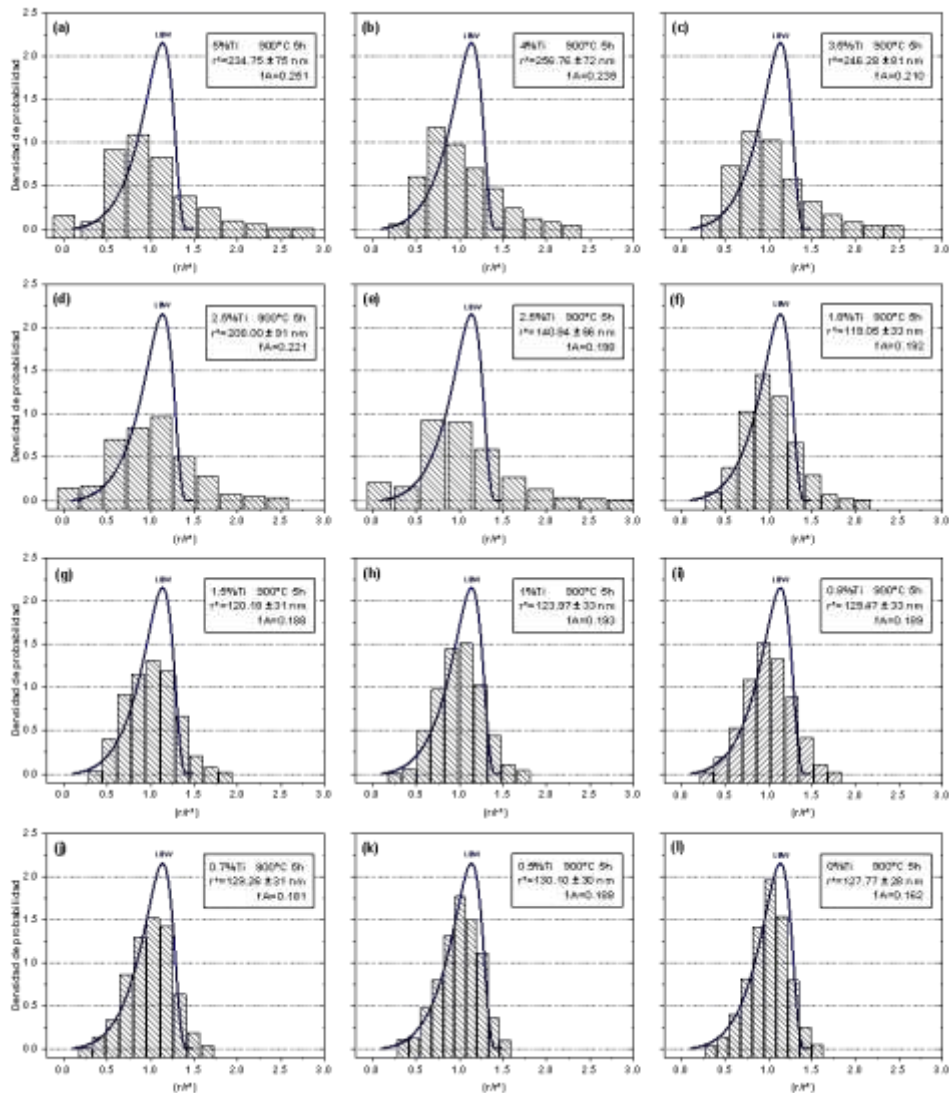


Figura 10 Distribución de tamaño de partículas para composiciones durante el envejecido a 900°C 5h

CONCLUSIONES

Al par difusor tratado térmicamente a 900°C a 1 y 5 horas presenta un gradiente composicional a partir de 5%at.Ti con precipitados de segunda fase, con morfologías irregular, cuboidal y esférica con en una fracción volumétrica constante con respecto a la composición. Al aumentar el tiempo del tratamiento de envejecido se observó un cambio en la morfología regular de los precipitados cercanos al 5%at.Ti. La disminución de la dureza a porcentajes cercanos al 5%at.Ti está relacionada con el proceso de engrosamiento de los precipitados. Sin embargo, en composiciones con contenidos de Titanio menores al 2%At. la dureza aumenta, y se mantiene distribución más cercana a la a la predicha por la teoría LSW.

BIBLIOGRAFÍA

1. E.A. Basuki, D. H. Prajitno and F. Muhammad, "Alloys developed for high temperature applications, AIP Conference Proceedings 1805, 2017, 020003.

2. W. F. Hosford, "Mechanical behavior of materials", Cambridge University Press, 2°, 2005, p.p.184-188.
3. D.A. Porter, K.E. Easterling, M.Y. Sherif, "Phase transformation in metals and alloys", CrC press 3rd ed, 2008, p.p. 140-298.
4. M. Perez, M. Dumont, D. Acevedo-Reyes, "Implementation of classical nucleation and growth theories for precipitation", Acta Materialia, Vol. 56, 2008, p.p. 2119-2132.
5. I.M. Lifshitz, V.V. Slyozov, "The kinetics of precipitation from supersaturated solid solutions", J. Phys. Chem. Sol., Vol 19, 1961, p.p. 35-50.
6. C. Wagner, "Theorie der Alterung von Niederschlägen durch Umlösen (Ostwald-Reifung)", Z. Elektrochemie, Vol. 65, 1961, p.p. 581-594.
7. L. C. Brown, "A New Examination of Volume Fraction Effects During Particle Coarsening", Acta Metallurgica et Materialia, Vol. 40, 1992, pp. 1293-1303.
8. N. Cayetano, H.J. Dorantes, V. M. López, J. J. Cruz, J. Moreno y J. L. González, "Cinetica de engrosamiento de precipitados coherentes en la aleación Fe-%Ni-15%Al", Metal. CENIM, Vol. 44(2), 2008, p.p. 162-169.
9. J. Lippold, "Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels", Wiley-Interscience, 2005, p.p.19-50.
10. T. Miyazaki, T. Koyama, S. Kobayashi, "A new characterization method of the microstructure using the macroscopic composition gradient in alloy", Metal. Mater Trans. A: Phys. Metal. Mater. Sci., Vol. 27, 1996, p.p. 945-949.
11. Y. Enomoto, M. Tokuyama y K. Kawasaki, "Finite volume fraction effects on Ostwald ripening", Acta Metallurgica, Vol. 34, No. 11, 1986, p.p. 2119-2128.

LOS CASOS DE USO Y EL MODELO DE DOMINIO PARA GENERAR PRUEBAS TEMPRANAS EN EL DESARROLLO DE SOFTWARE

Olivia Labastida Puertos¹, María Angélica Cerdán², Manuel Prisciliano Ralero de la Mora²

¹Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, ²Instituto Tecnológico Superior de Xalapa.
lapo1723@gmail.com, angelica.cerdan@itsx.edu.mx, manuel.ralero@itsx.edu.mx

RESUMEN

En la Ingeniería de Software, la prueba es uno de los procesos esenciales en el desarrollo. Se estima que en un proyecto se invierte aproximadamente, el 30% del esfuerzo en esta actividad. La prueba es un proceso dinámico, donde el software es ejecutado con entradas diseñadas para validar comportamientos deseados e identificar defectos. La prueba exhaustiva del software, por su dimensión, es una tarea generalmente imposible, por lo que definir las estrategias que permitan determinar conjuntos acotados y alcanzables de pruebas con las mejores probabilidades de encontrar defectos, es indispensable en pro de garantizar la calidad. Los casos de uso elaborados en la etapa de Requisitos, representan los comportamientos esperados del sistema desde el punto de vista del usuario y han sido utilizados para generar pruebas tempranas, determinando escenarios con base a los caminos básicos de flujo y los flujos alternos. Sin embargo, al momento de diseñar los casos de prueba, se definen entradas de datos y salidas esperadas específicas, que generalmente se toman sin ningún procedimiento de trazabilidad, de la documentación recopilada en el proceso de elicitación. En este trabajo, se ha aplicado un método para el diseño de los casos de prueba, con base a los casos de uso, el modelo de dominio y un diccionario del dominio de datos, que contiene la información para determinar valores de prueba y permite su trazabilidad. El caso de uso, es detallado mediante una carta descriptiva que contiene los datos generales del caso, así como, el curso normal de eventos que corresponden a la interacción entre el actor y el sistema, además de las indicaciones de los cursos alternativos. El modelo de dominio plasma la entidades, documentos y relaciones, así como sus atributos, que son detallados en un diccionario del dominio, que contiene entre otra información, las restricciones de valor, valores típicos y fuente documental de los datos. Esto permite derivar los casos de prueba, que se integran en una tabla que describe el procedimiento de la prueba, las entradas de datos (indicando el atributo del diccionario de dominio y el valor específico) y la respuesta esperada, así como el resultado observado. Con la aplicación ilustrativa, se generaron 56 casos de prueba sobre 15 módulos, con el método de poda de sólo considerar un caso por cada flujo. La cobertura de la prueba fue del 100% y se tuvo un 36% de identificación de defectos no graves determinándose que el sistema puede operar y que la corrección de los defectos identificados, deberá incluirse en una segunda versión del mismo. El método propuesto demostró practicidad en su uso y aporte en la trazabilidad de las pruebas tempranas, también se observa la necesidad de implementar procesos de priorización en los casos de pruebas, pues se identificó que la cobertura debe ampliarse a un análisis de valores límite, además de hacerse necesarias otras técnicas como las clases de equivalencia robustas en procesos de mayor complejidad lógica interna, lo que incrementaría considerablemente el conjunto de casos de prueba a aplicar.

INTRODUCCIÓN

Una de las etapas al momento de finalizar el desarrollo de software o mantenimiento de aplicaciones y sistemas, es el proceso de pruebas. Una prueba de software se define como “una actividad en la cual un sistema o unos de sus componentes se ejecuta en circunstancias previamente especificadas, los resultados se observan y registran y se realiza una evaluación de algún aspecto” (Myers, 2004). La prueba de software ha sido descrita como un arte (Myers, 2004), un oficio (Marick, 2007), y un proceso (Perry, 2006). En este sentido todas las pruebas se basan en los requisitos especificados para el desarrollo de un software. Éstas se realizan mediante diversas técnicas cuya finalidad es validar que el software cumple con el nivel de calidad requerido por los usuarios, por lo que mediante su aplicación podemos determinar si lo que se está construyendo tiene algún error, si se han cumplido con los requisitos especificados, básicamente se busca determinar si se cumple con los

niveles de aceptación descritos por el cliente, ya que este puede servir como un indicativo de la calidad con la que se desarrolló el sistema.

Este documento presenta los casos de prueba basados en los casos de usos, el modelo de dominio y un diccionario del dominio de datos, que permiten determinar los valores de prueba y su trazabilidad especificado en un caso de estudio.

TEORÍA

El análisis del sistema incluye todas las actividades que contribuyen a transformar los requisitos identificados en implementación, es la fase intermedia que ayuda a los requisitos funcionales a ser transformados en código.

El proceso unificado define el Modelo de Casos de Uso como un conjunto de todos los casos de uso; es un modelo de la funcionalidad y entorno del sistema. Los casos de uso están conformados por un actor que es algo con comportamiento, como una persona (identificadas por un rol), sistema informatizado u organización, un escenario que es una secuencia específica de acciones e interacciones entre los actores y el sistema objeto de estudio, por lo tanto un caso de uso es una colección de escenarios con éxito y fallo relacionados, que describe a los actores utilizando un sistema para satisfacer un objetivo (Larman, 2003).

Un modelo de dominio es una representación de las clases conceptuales del mundo real, no de componentes de software. No se trata de un conjunto de diagramas que describen clases software, u objetos software con responsabilidades (Larman, 2003).

Al utilizar casos de prueba especificamos que se va a probar del sistema y este estará formado, por un nombre y una descripción, así como un conjunto de entradas de prueba y condiciones bajo las que se deben realizar las pruebas, y resultados esperados (Jacobson, Booch y Rumbaugh, 2000).

PARTE EXPERIMENTAL

Tomaremos como caso de estudio la etapa de pruebas de un sistema en línea que automatiza la gestión de la oferta de capacitación y adiestramiento al sector productivo, en una institución de educación superior, con la finalidad de identificar la demanda de las empresas, dar a conocer la cartera de cursos y facilitar los trámites de gestión para su contratación.

Se ha generado un modelo de dominio del caso de estudio que se muestra en la figura 1, el cual describe las distintas entidades, sus atributos, documentos y relaciones, expresando las restricciones que rigen el dominio del problema.

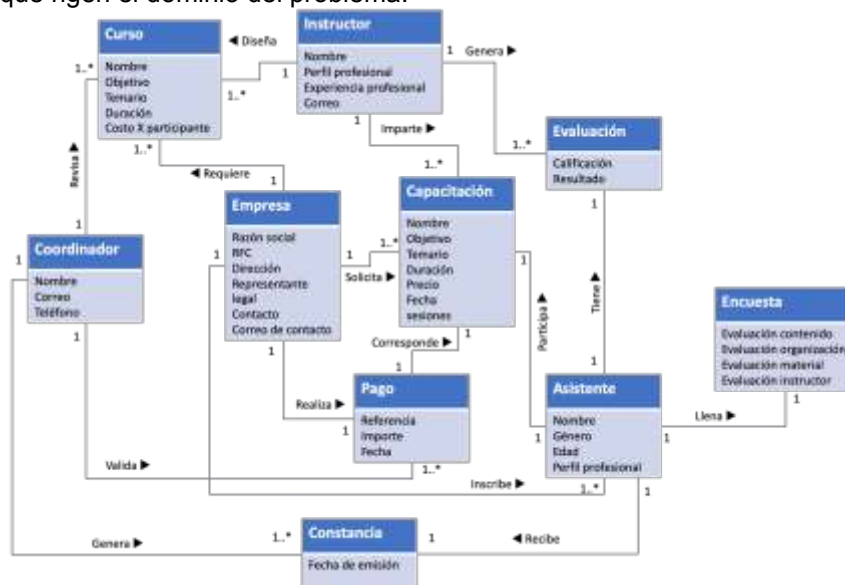


Figura 1. Modelo de dominio del caso de estudio. (FUENTE: Elaboración propia).

En la figura 2, se presenta el diagrama de casos de uso simplificado. Cada caso de uso, integra casos más específicos de la siguiente forma:

- Integración de cartera de cursos: Requerimientos de capacitación, diseño de cursos, revisión de cursos e integración de cartera.
- Gestión de cursos: Solicitud de cursos, apertura de capacitación e inscripción de curso.
- Ejecución de curso: Inscripción de participantes, evaluación de asistentes, encuesta de calidad y emisión de constancias.

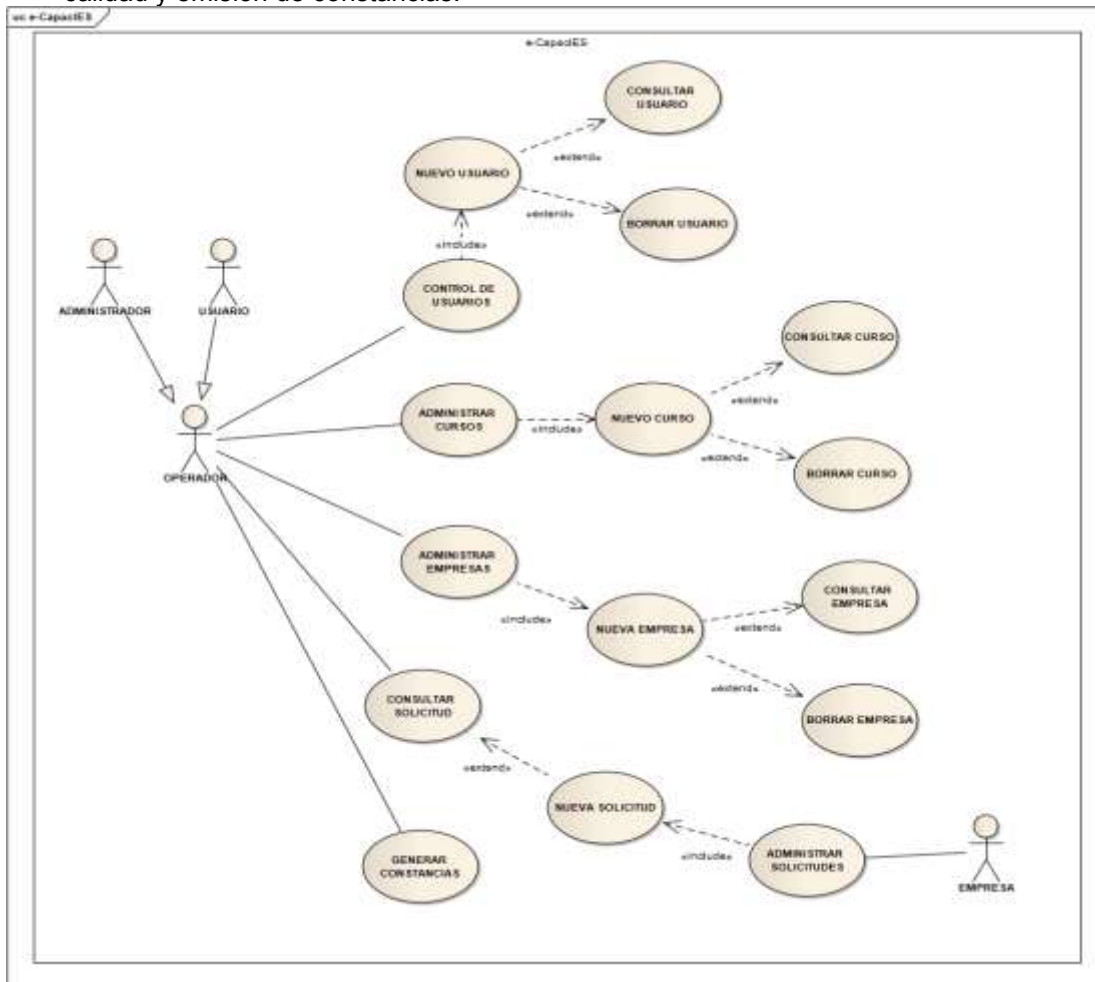


Figura 2. Diagrama de casos de uso sintetizado ejemplificativo. (FUENTE: Elaboración propia).

Para presentar la propuesta, se tomará un solo caso de uso como ejemplo, en este caso el relacionado con la administración de los cursos. En la tabla 1 se muestra la descriptiva del caso de uso ejemplo.

Tabla 32. Descriptiva Caso de uso – Nuevo curso.

Escenario:	ADMINISTRAR CURSOS
Caso de uso:	Nuevo curso.
Actor:	Administrador
Propósito:	Almacenar en la base de datos a un nuevo curso.
Resumen:	El administrador ingresara la información necesaria para crear un nuevo curso. Contará con un identificador.
Tipo:	Primario
Curso normal de eventos	
Acciones del actor	Respuesta del sistema
1.- Selecciona el menú “Ingresar “de la página principal.	2.- Muestra formulario para ingresar usuario y contraseña.
3.- Ingresa su nombre de usuario y su contraseña	6.- Muestra lista de menús.
4.- Da clic en el botón “Ingresar”	8.- Muestra formulario para ingresar al nuevo curso.
7.- Selecciona del menú “Cursos” la opción “Nuevo Curso”.	12.- Ingresa un nuevo curso a la base de datos.
9.- Ingresa la información del nuevo curso	13.- Finaliza operación
10.- Da clic en el botón “Agregar curso”	
14.- Recibe mensaje de operación exitosa y finaliza la operación.	
Cursos alternos	
5.- Muestra mensaje de error “El usuario no existe”. Regresa a paso 3.	
5.- Muestra mensaje de error “Contraseña incorrecta”. Regresa a paso 3.	
11.- Muestra error por ID duplicado. Regresa a paso 9	
11.- Muestra error por incompatibilidad de datos. Regresa a paso 9.	
11.- Muestra error por campo vacío. Regresa a paso 9.	

Como podemos observar en la descriptiva del caso de uso, existen un curso normal de eventos al momento de dar de alta un nuevo curso, así como los cursos alternos que pueden presentarse. A continuación se muestra en la tabla 2 el caso de prueba utilizado para validar la operación de dar de alta un curso.

Tabla 2. Caso de prueba CU-01 Nuevo Curso.

Caso de prueba CU-01 Nuevo curso					
ID	Fecha de Creación	Sección	Procedimiento	Respuesta esperada	Resultado
CP-CU01-01	29/10/2019	Pantalla registro de curso	Validar que todos los campos del formulario se encuentren con información. 1.- Seleccionar la opción "Agregar curso" sin indicar ningún dato en el formulario.	El sistema debe mostrar un mensaje de "Existen campos vacíos".	Prueba superada
CP-CU01-02	29/10/2019	Pantalla registro de curso	Validar que todos los campos del formulario se encuentren con información. 1.- Llena algunos campos requeridos. 2.- Seleccionar la opción "Agregar curso".	El sistema debe mostrar un mensaje de "Existen campos vacíos".	Prueba superada
CP-CU01-03	29/10/2019	Pantalla registro de curso	Validar que los campos de modalidad, nombre, objetivo, duración, temario y costo se encuentren con información en formato correcto. 1.- Llena todos los campos requeridos. 2.- Seleccionar la opción "Agregar curso".	El sistema debe verificar que los campos tengan un formato correcto y en caso de no hacerlo debe notificarlo.	Prueba superada
CP-CU01-04	29/10/2019	Pantalla registro de curso	Validar que el curso fue registrado. 1.- Llena todos los campos requeridos, con datos válidos. 2.- Seleccionar la opción "Agregar curso".	El sistema debe desplegar la "Lista de Cursos", donde aparecerá el curso dado de alta.	Prueba superada

RESULTADOS

Para evaluar el instrumento propuesto se ha elaborado un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA), con los resultados presentados en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis FODA de la propuesta. (FUENTE: Elaboración propia)

Condiciones internas	Condiciones externas
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Las cartas descriptivas facilitan el escenario que debe ser probado. • Una vez identificado el escenario, los valores de entrada para la prueba son fáciles de establecer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar de manera detallada los casos prueba planteados para evitar redundancia.
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • En los casos de uso se modela la funcionalidad del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se toman en cuenta los requisitos no funcionales. • Establecer los niveles de prioridad de los casos de prueba.

CONCLUSIONES

Al basar los casos de prueba en los casos de uso, podemos asegurar en primera instancia que hemos cumplido con los requisitos funcionales establecidos en el sistema. La utilización de los casos de uso para realizar pruebas facilita el trabajo de desarrollo, ya que de esta manera permite identificar y corregir defectos que puedan generar un costo excesivo al momento de corregirlos en una nueva versión.

Además, permite que el producto que se entregará sea confiable, ya que este ha contemplado todas las pruebas necesarias. Las etapas de desarrollo y prueba son seguras, ya que están basadas en el dominio de los casos de uso del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. Glenford J. Myers. The Art of Software Testing. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2004.
2. Brian Marick. "The Craft of Software Testing: Subsystem Testing Including Object-based and Object-oriented Testing". Universidad de Michigan: PTR Prentice Hall, 2007.
3. William E. Perry. Effective Methods for Software Testing: Includes Complete Guidelines, Checklists, and Templates. Wiley, 2006.
4. Ingrid Galledic, George Killiospy. "La Prueba del Software como Ciencia". Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software (2013), 3, pp. 33-37.
5. Craig Larman. UML y Patrones. Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado. España: Prentice Hall, 2003.
6. Ivar Jacobson, Grady Booch, James Rumbaugh. EL proceso unificado de desarrollo de software. Madrid: Pearson Educación, 2000.

SISTEMA DE CONTROL HÍBRIDO PARA OPTIMIZAR EL MOVIMIENTO DE UNA PRÓTESIS TRANSTIBIAL

Didia Carrillo Hernández¹, Israel Miguel Andrés², Javier Cruz Salgado²

¹CIATEC A.C, ²Universidad Politécnica del Bicentenario.
dcarrillo.picyt@ciatec.mx.

RESUMEN

Se han desarrollado varios estudios para prótesis activas y pasivas principalmente para las extremidades superiores, esto se debe a que las prótesis de las extremidades inferiores son más complejas. Las prótesis de las extremidades inferiores deben ajustarse a las características antropométricas de cada paciente y deben hacer frente a las superficies irregulares del suelo. Estos requisitos las hacen más complejas y costosas si, además, incluyen componentes electrónicos. Las estadísticas del sector salud demuestran que constantemente hay un incremento de pacientes que sufren amputaciones de miembros por diversas causas, por ello la demanda de elementos protésicos es más de lo que el sector salud puede cubrir. Además, los pacientes tratados en estas instituciones solo reciben prótesis pasivas debido a los altos costos de prótesis activas, esto y algunos otros factores como un ineficiente rendimiento prótesis-humano, el cual representa un sistema de control inadecuado, contribuyen a que pocos de ellos terminen satisfactoriamente su rehabilitación. Por lo anterior, el presente trabajo propone optimizar el sistema de control de una prótesis transtibial para modelar el rango de movimiento que tiene el tobillo, el desarrollo del proyecto se basa en la armonía que representa ofrecer un producto óptimo en movimiento para el paciente. La creación del diseño parte de caracterizar señales mioeléctricas y retroalimentar al sistema con un sensor de orientación, pretendiendo optimizar la interacción entre dichas señales para modelar el rango de movimiento del tobillo y crear un sistema de control con respuesta en tiempo real. Al caracterizar las señales se pretende conocer la orientación, rotación y tiempos de activación de cada músculo a nivel tibial durante el ciclo de marcha de un individuo, esto permitirá diseñar un sistema de control que pueda predecir el movimiento y que contribuya para que el paciente pueda realizar su ciclo de marcha. Por ello, la principal contribución del presente trabajo es el diseño del sistema de control.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad en el país el número de pacientes amputados mantiene un incremento anual con más de 27 mil casos de amputaciones de miembros superiores e inferiores, las principales causas son: traumatismos, problemas congénitos o cáncer y vasculares. Considerando los datos presentados por Sector Salud, en el país la producción de prótesis se realiza por las siguientes instituciones: Desarrollo Integral de la Familia (DIF), Hospital Central Militar, Centro para Rehabilitación Integral de Minusválidos del Aparato Locomotor (CRIMAL) y Centros de Rehabilitación Infantil Teletón (CRIT). Esta producción de prótesis no llega a más de 1500 prótesis en un año [1] y se sabe que solo el 10% de estos pacientes que reciben una prótesis termina su rehabilitación y aprende el uso correcto de su equipo protésico. Por lo tanto, para el paciente adquirir un equipo protésico activo que le permita disminuir el tiempo de rehabilitación y mejorar la adaptación del miembro a su ciclo de marcha, determinará si el paciente logrará retomar sus actividades cotidianas.

En los últimos años se han desarrollado equipos protésicos activos con la finalidad de mejorar la calidad de vida del paciente, sin embargo, debido a diversos factores como mecanismos pesados y ruidosos, tiempos de respuesta de los actuadores inadecuados y alineaciones ineficientes que provocan poca movilidad y limitan al paciente a adaptarse a un equipo protésico, no se comprueba si el paciente mejora o recupera su vida cotidiana, esto último con el fin de verificar la funcionalidad que otorga la prótesis activa. Los principales problemas que se presentan en el desarrollo de las prótesis activas son cambios en el diseño ergonómico, sistemas de control desfasados en tiempo, reducción del sistema eléctrico y cambios en los materiales de construcción.

El sistema de control es la parte fundamental de un equipo protésico activo, por lo que el objetivo del presente trabajo consiste en optimizar el movimiento de una prótesis transtibial a partir del diseño de un sistema de control híbrido para modelar el rango de movimiento del tobillo, integrando las

características del movimiento de dorsiflexión y plantar flexión con el procesamiento de señales de electromiografía y retroalimentando el sistema de control por medio de un sensor de orientación MPU6050.

TEORÍA

Datos estadísticos presentados por el Sector Salud

El Sistema de Salud de México presenta encuestas de diferentes instituciones donde se atienden pacientes con amputaciones desde su operación quirúrgica hasta su rehabilitación.

El INEGI reporta que el número de amputados en el 2010 eran 785 000, los datos a 2014 muestran que hay cerca de 900 mil amputados en México, siendo realizadas de 75 a 78 amputaciones diarias, reporte realizado por la Academia Nacional de Cirugía; la mayor parte de este universo de discapacitados tienen alguna incapacidad e incluye personas de todas las edades, el 81% de este universo está representado por amputaciones provocadas por enfermedades vasculares, el 16% representa amputaciones traumáticas y el 3% amputaciones por malformaciones. Por otra parte, se sabe que sólo 1 de cada 10 personas con miembros amputados se rehabilita, y que sólo el 30% de los rehabilitados saben usar la prótesis [2]. Esta es la población que se debe atender para lograr su rehabilitación. Las instituciones públicas de salud como el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), DIF, CRIT, etc., regularmente otorgan una prótesis de tipo pasiva principalmente por el alto costo que presenta la fabricación de una prótesis de tipo activa donde los costos se elevan alrededor de 600 mil pesos sin considerar los costos que conlleva la rehabilitación del paciente ya que es un proceso largo, tedioso y complicado donde además de fortalecer su musculatura se debe fortalecer al paciente para que no abandone la prótesis porque no sienta el beneficio [2].

Antecedentes

Una limitación significativa de las tecnologías convencionales en prótesis es su incapacidad para proporcionar una salida de potencia positiva neta en las articulaciones. Esta limitación se traduce en la incapacidad de la prótesis para restaurar la funcionalidad normal de la pierna y, en consecuencia, en el amputado provoca problemas clínicos asociados con la falta de movilidad y la fatiga de la locomoción [4]. Y en ocasiones el propio diseño de la prótesis provoca inestabilidad debido a la falta de alineación [5]. Actualmente las prótesis electrónicas reflejan una mejor calidad de vida para el paciente, estos avances tecnológicos tratan de crear prótesis con las características propias que definen a una persona [6]. Algunos investigadores indagan en el estudio de señales electromiográficas para poder dar un acople más adecuado prótesis–humano [7].

Un desarrollo importante tomando en cuenta la antropometría se muestra en el proyecto de investigación “Parametrización geométrica del diseño de prótesis transtibial considerando las medidas antropométricas del paciente”, el autor realiza una prótesis pasiva, pero comienza su desarrollo a partir de estas medidas buscando parametrizar geoméricamente el diseño [8].

Sistemas de control en prótesis activas

La recopilación de técnicas de control en prótesis es presentada en la investigación “Estrategias de control implementadas en el diseño de prótesis para extremidades inferiores” [3].

Otro sistema de control que destaca es un control mioeléctrico diseñado a partir de un sistema embebido, las señales de electromiografía se obtuvieron por electrodos superficiales y agujas intramusculares superficiales obteniendo un encaje protésico de un miembro superior a nivel pluridigital [9].

Un sistema de control híbrido integra diferentes características físicas para poder determinar los parámetros necesarios para un control óptimo, estudia a fondo los tiempos de respuesta e integra los parámetros adecuados al sistema de control.

Ciclo de marcha

Los dos componentes del ciclo de marcha son la fase de apoyo que ocurre cuando se está en contacto con el suelo y representa el 60% del tiempo total del ciclo, el segundo componente es la fase de balanceo, es decir, cuando no se tiene contacto con el suelo y representa el 40% restante del ciclo.

Cada persona muestra en la marcha características propias determinadas por diversos factores como masa y longitud de los distintos segmentos corporales [10].

Electromiografía (EMG)

La EMG estudia la fisiología de los músculos a través de su actividad eléctrica o diferencia de potencial. La EMG ha sido empleada para entender el movimiento de la estructura corporal a través del voltaje producido por los músculos durante una contracción [11]–[14]. La actividad eléctrica contiene información sobre cómo el sistema nervioso central activa los músculos para producir movimiento. El proceso comienza cuando el sistema nervioso central envía una señal eléctrica a través de una moto neurona para estimular las fibras en el músculo y producir una contracción. Esta estructura se denomina unidad motora y el resultado se llama acción potencial [15]. La amplitud y la frecuencia son los parámetros más importantes de la señal mioeléctrica para caracterizar el comportamiento de una contracción muscular. La amplitud indica la intensidad de la actividad muscular eléctrica generada por el incremento de las unidades motoras. Este factor está relacionado con la frecuencia de tal forma que el incremento de las unidades motoras aumentará la frecuencia de la señal de electromiografía [12].

La Electromiografía de superficie para la valoración no invasiva de los músculos (SENIAM por sus siglas en inglés) es un programa de investigación y salud biomédica de la Unión Europea donde se desarrolló una técnica superficial de electromiografía (SEMG) para la evaluación no invasiva de los músculos, dicho proyecto recomienda sensores, procedimientos de colocación de sensores, métodos de procesamiento de señales, entre otros [16].

PARTE EXPERIMENTAL

El sistema de control a optimizar tendrá entre sus principales características la facilidad de adaptación humano-prótesis, reduciendo el tiempo de respuesta del sistema de control proporcionando estabilidad al paciente. La mejora del sistema de control beneficiara a personas del sexo masculino en edad de 20 a 29 años que han sufrido de una amputación a nivel transtibial. El proyecto se centrará en el estudio de señales mioeléctricas y de orientación para diseñar un sistema de control óptimo que permita realizar movimientos de dorsiflexión y plantar flexión. Por tanto, cualquier aspecto relacionado con el encaje, materiales de los elementos utilizados y la parte estética del pie no son objeto de estudio.

Interfaz gráfica Gait – Kinematics

El desarrollo de la interfaz gráfica (GUI) fue con intención de tener una herramienta capaz de obtener un modelo matemático y entrono grafico que emule el movimiento del cuerpo humano, es decir, que permita recrear, simular y analizar movimientos durante el ciclo de marcha de cualquier persona. Se creó en el software Matlab y se realizó un estudio para determinar si había diferencia significativa entre el software de VICON y la interfaz Gait – Kinematics.

El estudio consistió en comparar los rangos de movimiento generados en el software de VICON y los obtenidos en la GUI. Para el caso de VICON, se obtuvo un promedio de $45.72^\circ \pm 1.45^\circ$ en la rodilla izquierda y $46.91^\circ \pm 0.34^\circ$ en la rodilla derecha. La interfaz obtuvo un promedio de $46.53^\circ \pm 1.17^\circ$ en la rodilla izquierda y $47.1^\circ \pm 0.52^\circ$ en la rodilla derecha. El coeficiente de variación para el software de VICON fue de 3.18% en rodilla izquierda y 0.73% en rodilla derecha y para la GUI fue de 2.52% en rodilla izquierda y 1.12% en rodilla derecha.

Finalmente, el análisis de los datos mostró que la diferencia de los resultados obtenidos entre la GUI y VICON, no fue significativa, por lo que se puede concluir que la GUI es una herramienta útil para el procesamiento de la información sin depender directamente del software VICON.

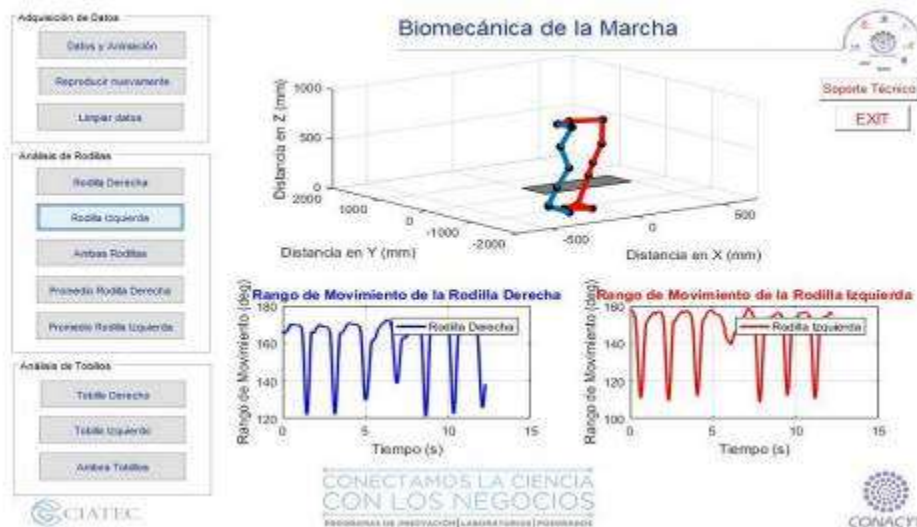


Figura 90 Interfaz gráfica Gait - Kinematics

Sistema de Control:

Adquisición, procesamiento y clasificación de señales

Para la adquisición de señales de EMG se utilizó un electromiógrafo superficial DELSY y la caracterización de las señales de EMG se realizó en el software de Matlab, se realizaron filtros pasa bandas a la actividad mioeléctrica del musculo tibial. La adquisición de la señal mioeléctrica para el sistema de control se determinó con el sensor AD8232 y se utilizó el sensor de orientación MPU6050, además, se utilizó la tarjeta de adquisición Arduino UNO y se procesó la señal por medio del software Python.

Diseño del sistema de control

La metodología consiste inicialmente en analizar individualmente las señales generadas por cada sensor y graficar en tiempo real para determinar los rangos y características que definen cada señal. La siguiente etapa consiste en realizar tres pruebas de interacción entre sensores: sensores presión-mioeléctrico, sensores orientación-mioeléctrico y sensores presión- orientación. Para poder realizar ésta etapa fue necesario escanear un pie masculino en el dispositivo INFOOT 3D, exportar el archivo a un software CAD y diseñar un prototipo 3D, esto con la intención de fijar e interactuar con los sensores. Se comenzó con fijar el acelerómetro en la parte firme y sin inclinación del diseño, cabe resaltar que este sensor necesita ser calibrado antes de realizar la primera medición.

Evaluación del tiempo de respuesta

La primera evaluación consistió en definir un rango generado por el sensor de presión y controlar una salida digital de la tarjeta de adquisición Arduino UNO, obteniendo como respuesta un desfase de 4 segundos. Después se ajustó el tiempo de adquisición provocando un traslape en las gráficas, es decir, la salida digitalizada respondía de manera inmediata al control. Las siguientes pruebas consisten en determinar los tiempos de respuesta de la interacción de los sensores.

Optimización del diseño

Una vez finalizadas las pruebas de interacción entre sensores, se evaluó el tiempo y se comparó contra el tiempo promedio caracterizado mediante la interfaz Gait – Kinematics. La interacción entre sensores se aproxima en un 80% a la respuesta en tiempo real.

RESULTADOS

Caracterización del movimiento de dorsiflexión y plantar flexión en el ciclo de marcha:

Para la evaluación del movimiento de dorsiflexión y plantar flexión en el ciclo de marcha se realizó el siguiente procedimiento: se realizaron 10 pruebas en pacientes considerando las siguientes características:

- Sexo Masculino
- Edad 20-29 años
- Sin intervención quirúrgica en la zona
- Sin problemas de motricidad
- Sin esguinces o fracturas en la zona

Se colocaron 16 marcadores en las protuberancias óseas de la cintura a los pies (Figura 2) y, por medio del sistema de visión VICON, se obtuvieron las coordenadas globales X, Y y Z de cada marcador.



Figura 91 Marcadores del sistema VICON

El procesamiento de las señales que se obtuvieron en la prueba realizada, fueron analizados en la interfaz GUI donde se obtuvieron los rangos de movimiento y velocidad angular de rodillas y tobillos. La interfaz Gait – Kinematics analiza los datos generados por el sistema VICON, determinados a partir de marcadores ubicados en la pierna derecha, izquierda y en la cadera; 16 marcadores en total distribuidos como se indica en el manual de uso del software VICON. El archivo que se genera en el software tiene guardado la orientación de las coordenadas X, Y y Z de cada marcador. Con esta información se determina la distancia X, Y y Z entre 3 marcadores, con intención de formar un triángulo y por medio de la ley de cosenos determinar el ángulo que genera el marcador, para este caso sería el ángulo del marcador ubicado en el segundo metatarso del pie.

Se puede observar que los rangos de movimiento en tobillo (Fig.3 inciso a)) y de la rodilla (Fig.3 inciso b)) corresponden a lo que se presenta en las investigaciones ya desarrolladas [17].

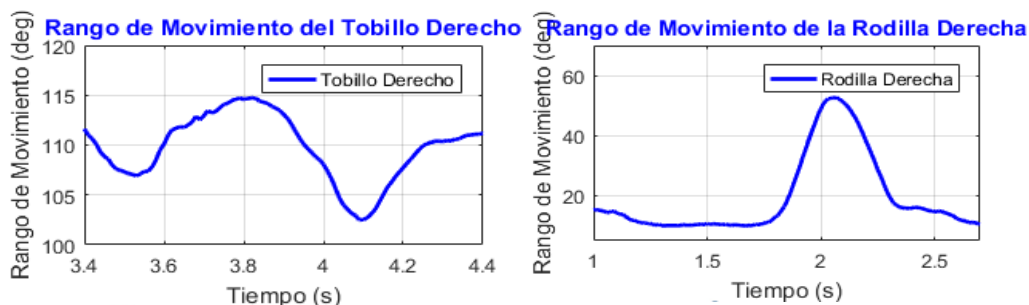


Figura 92 a) Rango de movimiento del tobillo derecho, b) Rango de movimiento de la rodilla derecha

El desarrollo del sistema de control se realizó en el software de Python 3.7 y se utilizó una tarjeta de adquisición Arduino UNO. El sistema de control adquiere, procesa y muestra gráficamente los datos en tiempo real, ajustando la señal de salida en respuesta a la actividad mioeléctrica. Las pruebas de sensibilidad del sensor de orientación mostraron en tiempo de respuesta ± 1 grado de diferencia.

Señales mioeléctricas

La caracterización de las señales de EMG se puede observar en la Figura 4, para la adquisición de señales se utilizó un electromiógrafo superficial DELSY y los datos generados son guardados en una base de datos extensión .txt y exportados al software de Matlab. El procesamiento de la señal consiste en lo siguiente: la actividad mioeléctrica generada en el musculo tibial se adecua a unidades de mili-Voltios a esta señal se le aplico un filtro Butterworth pasa bandas de segundo orden, la literatura nos indica que las frecuencias de corte representativas comienzan en 5 Hz hasta 400 Hz [15], por lo que se utilizaron en el diseño del filtro pasa bandas eliminando aquellas señales de ruido innecesarias. Con la señal obtenida del filtro se procede a digitalizar la señal, es decir, se necesita generar una señal constante durante el tiempo de activación del musculo. La señal azul representa la digitalización de la EMG y a modo de experimentación es un control ON-OFF que demuestra que se puede activar un actuador durante el tiempo de activación del músculo.

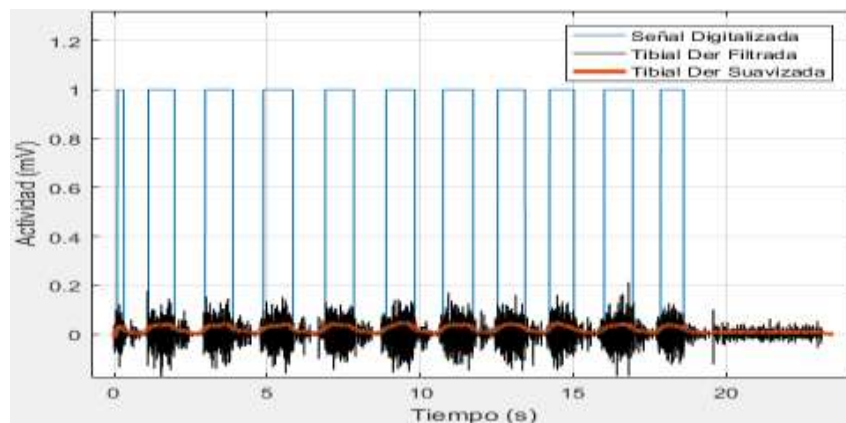


Figura 93 Digitalización de la señal mioeléctrica

Sensor mioeléctrico AD8232

El sensor mioeléctrico determina a partir de la señal eléctrica de los músculos a nivel tibial, un rango de voltaje entre 0 y 4 Volts, ésta señal es la base del control del sistema, con esto se pretende que el paciente pueda controlar físicamente el sistema, considerando que si la señal es muy tenue o nula se retroalimentara con los otros dos sensores para poder predecir el movimiento (Figura 5 inciso a). El programa desarrollado consiste en graficar en tiempo real la señal generada por el sensor AD8232 como se muestra en la Figura 5 inciso b), ésta grafica representa el ciclo de marcha realizado en una distancia de 2 metros de ida y vuelta; en la Figura 5 inciso b) entre el segundo 8 y 10 se puede apreciar que la señal no genera datos en la parte negativa, esto se debe a que en ese tiempo el paciente dio media vuelta para regresar al inicio.

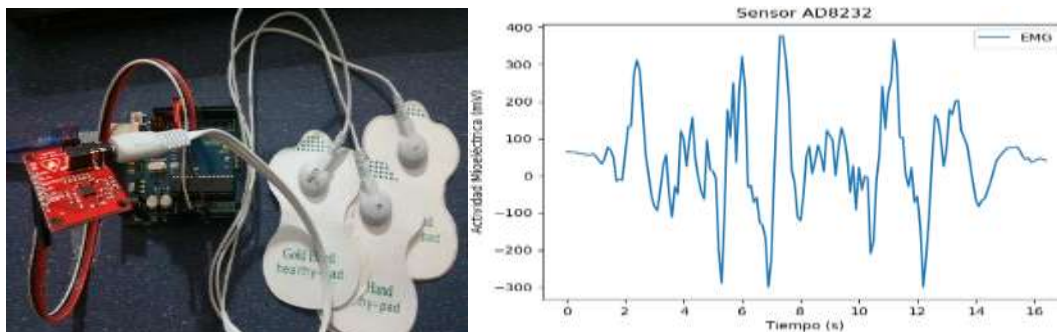


Figura 94 a) Circuito físico del sensor AD8232, b) Señal mioeléctrica a nivel tibial

Sensor giroscopio MPU6050

El sensor de orientación determina a partir del funcionamiento de un giroscopio interno, los grados de desplazamiento por segundo en sus tres ejes X, Y y Z, con esto se pretende determinar los ángulos en los movimientos de dorsiflexión y plantar flexión (Figura 6).



Figura 95 Circuito físico del sensor MPU6050

El programa desarrollado consiste en graficar en tiempo real la señal generada por el sensor MPU6050 como se muestra en la Figura 7, para determinar el ángulo de interés, inicialmente se desarrolló un prototipo de pie 3D en donde se fijó el sensor, debido a que se requiere realizar una calibración antes de comenzar a procesar los datos.

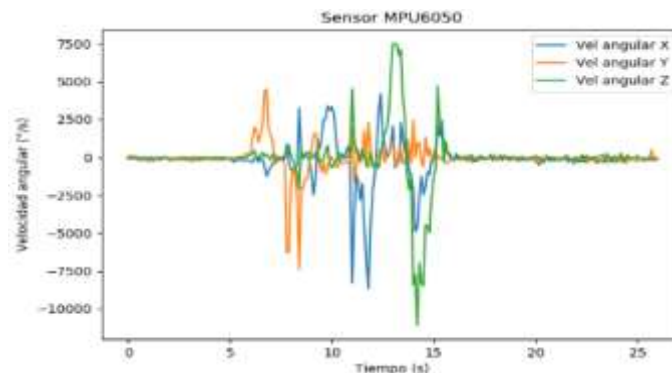


Figura 96 Gráfica en tiempo real del sensor MPU6050

El prototipo de pie 3D se desarrolló en el software Autodesk Inventor y se imprimió en material de tipo PLA, una vez realizado esto se fijó el sensor en el área del tobillo como se muestra en la Figura 8 y se realizó una base de madera para realizar las mediciones, después se comenzó con la etapa de calibración (Figura 9 inciso a).

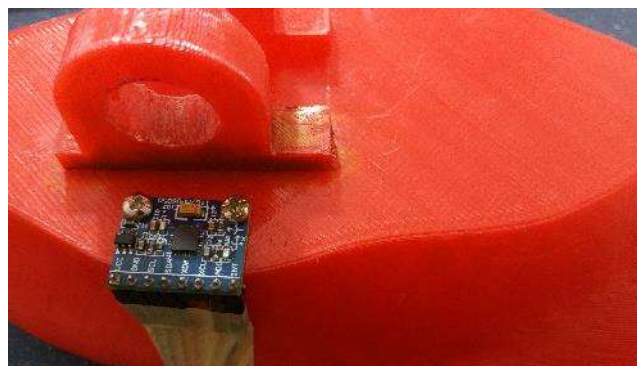


Figura 97 Sensor MPU6050 en prototipo de pie 3D

Cabe resaltar que en las primeras mediciones realizadas se caracterizó un tiempo de respuesta del sensor de 7 segundos necesario para estabilizarse, adicional se determinó $\pm 1^\circ$ de diferencia en las mediciones (Figura 10).

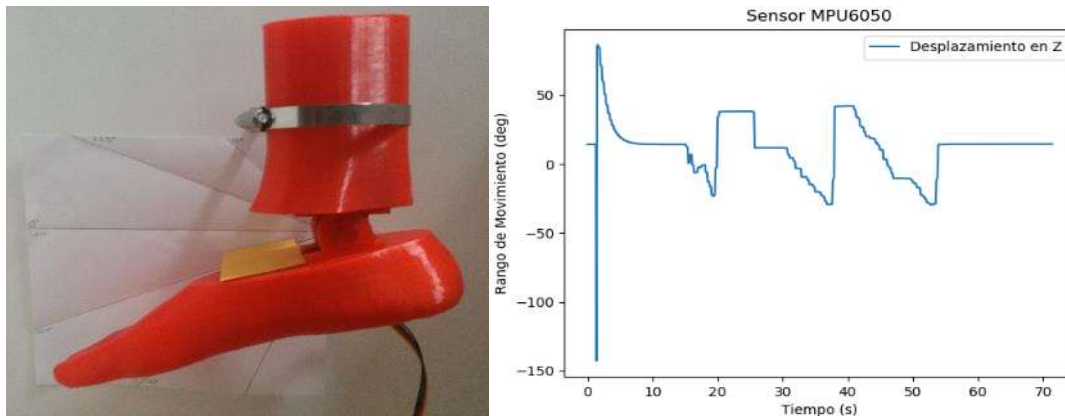


Figura 98 a) Calibración del sensor MPU6050, b) Señal generada

CONCLUSIONES

El diseño de este sistema de control es una pauta que permitirá el desarrollo de equipos protésicos activos como prótesis transtibiales, equipos que necesitan aproximadamente el 80% de los pacientes amputados en México, sin embargo, está limitado a la adquisición de dos señales de control solamente y enfocado al rango de movimiento del tobillo, se propone para futuros trabajos caracterizar otras señales como peso o electromiografía invasiva para corroborar si la señal de control responde con un error menor del 10% y aumentar el procesamiento de señales a rodillas y cadera.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. Vázquez Vela, "Los amputados y su rehabilitación". 2016.
2. E. Vázquez Vela, M. Hajar Medina, R. P. L, I. G. Espinosa Jove, and X. Rojas, "Los amputados, un reto para el Estado," Acta la Sesión la Acad. Nac. Med., 2015.
3. F. Martinez, A. Claudio, S. Vergara, J. M. Rodriguez, and A. Olmos, "Estrategias de control implementadas en el diseño de prótesis para extremidades inferiores," Congr. Anu. 2010 la Asoc. México Control Automático, 2010.
4. E. C. Martínez Villalpando, "Design and evaluation of a biomimetic agonist-antagonist active knee prosthesis," p. 102, 2012.
5. E. S. Neumann, "State of the Science Review of transtibial Prosthesis."
6. L. C. Díaz Montealegre, "Prótesis electrónicas: Una nueva esperanza para mejorar la calidad de vida de las personas," Inf. técnico, ISSN 0122-056X, ISSN-e 2256-5035, Vol. 80, No. 2, 2016, págs. 169-177, vol. 80, no. 2, pp. 169–177, 2016.
7. J. Villarejo, "Detección de la intención de movimiento durante la marcha a partir de señales electromiográficas," Universidades del Val. y autónoma Occident., vol. 1, pp. 1–7, 2008.
8. A. G. Rodríguez, "Parametrización geométrica del diseño de prótesis transtibial considerando las medidas antropométricas del paciente," p. 136, 2018.
9. C. R. Torres San Miguel and A. T. Velázquez Sánchez, "Diseño personalizado de una interfaz mioeléctrica para una prótesis de miembro superior," vol. XIII, no. 2, 2011.
10. E. E. Espinosa Gúzman and U. O. García Vidal, "Prototipo de exoesqueleto electromecánico para complementar el ciclo de marcha humana en individuos con paraplejia," May 2015.
11. K. R. Mills, "The basics of electromyography," Neurol. Pract., vol. 76, no. 2, pp. 32–35, 2005.

12. Carlo J. De Luca, "The use of surface electromyography in biomechanics," no. Simon 1982, pp. 1–43, 2007.
13. L. Sornmo and P. Laguna, "The Electromyogram," *Neurologist*, vol. 9, no. 3, pp. 173–174, 2003.
14. L. Weiss, J. Weiss, W. Gaudino, V. Isaac, and K. Gustafson, "Electromyography," *Easy EMG*, pp. 41–80, 2004.
15. P. Konrad, "The ABC of EMG," *Signal Processing*, no. April, pp. 1–60, 2005.
16. H. J. Hermens and B. Freriks, "Seniam.org." [Online]. Available: <http://www.seniam.org/>.
17. T. Garikayi, "Development of a robust myoelectric control architecture for lower limb robotic prosthetic applications," 2018.

SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA SOBRE NANOTUBOS DE CARBONO MEDIANTE EXTRACTO DE CAFÉ

Edith Lucía Vargas Ortiz¹, Luis David Gómez Lerma¹, Vicente Garibay Febles² y Cecilia Mercado Zuñiga¹

¹ Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco,

² Instituto Mexicano del Petróleo

volen25@gmail.com

RESUMEN

Las nanopartículas de plata han sido objeto de un sin número de estudios debido a las propiedades que presentan en relación a su tamaño nanométrico (1 nm-100 nm) y su comportamiento biológico, físico, químico así como su actividad antimicrobiana; han sido utilizadas en productos de consumo y remediación. Por lo que es necesario que los productos sintetizados y sus aplicaciones sean seguros para la salud como para el medio ambiente. Sin embargo, a pesar de que se han realizado múltiples trabajos de síntesis de nanopartículas de plata en los que se han empleado diversos métodos para sintetizarlas, la mayoría son poco factibles económica y ecológicamente debido al uso de reactivos tóxicos y sus elevados costos, por lo que se han buscado rutas biológicas que presentan una alternativa de síntesis económica que logra la reducción de sales metálicas y su estabilización, empleando diferentes extractos de plantas como lo son: el extracto de cedrón (*A. triphylla*) y pirul (*S. molle*), los cuáles contienen fenoles y otros compuestos orgánicos que actúan como agentes reductores, formando los núcleos en los que crecen las nanopartículas de plata. Por lo antes señalado, el presente trabajo contribuye en la síntesis verde de nanopartículas de plata sobre nanotubos de carbono (nanohíbridos), a partir de extracto de café acuoso utilizado como agente reductor y estabilizador. La metodología para la síntesis del nanohíbrido se planeó en tres etapas: La primera fue la síntesis, purificación y dispersión de los nanotubos de carbono, en la segunda se realizó la obtención del extracto de café y por último la obtención del nanohíbrido a partir del crecimiento de Nanopartículas de plata en la superficie de nanotubos de carbono. Los materiales resultantes fueron caracterizados estructural y morfológicamente por medio de las técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) y Espectroscopia RAMAN. En los resultados de la caracterización se observó el crecimiento de nanopartículas de plata sobre la superficie de los Nanotubos de Carbono, lo que indica que el reactivo utilizado como agente reductor y estabilizador (extracto de café) fue efectivo.

INTRODUCCIÓN

Las NP's (Nanopartículas que poseen las tres dimensiones menores que 100 nm) [1] metálicas muestran propiedades extraordinarias gracias al tamaño nanométrico presentan, tales como área superficial elevada, debido que se encuentran en la superficie una mayor cantidad de átomos expuestos, éstas pueden obtenerse por medio de dos métodos: (a) el método físico (top-down), consiste en la subdivisión mecánica del metal y (b) el método químico (bottom-up), que consiste en la nucleación y el crecimiento de las partículas a partir de los átomos metálicos [2].

Por otra parte, los NTC (Nanotubos de carbono; estructuras tubulares de carbono las cuales presentan en alguna de sus dimensiones tamaños nanométricos), son una nanoestructura que ha causado gran impacto en las últimas décadas dadas sus extraordinarias propiedades como la flexibilidad, alta resistencia a la tensión y además su facultad para ser aplicados en distintas áreas debido a que han venido aumentando los campos de aplicación gracias al desarrollo de distintos procesos que promueven su modificación superficial como la decoración, la cual es ampliamente utilizada y permite mejorar muchas de sus propiedades, tales como las ópticas, así como la conducción térmica y eléctrica para su aplicación en distintas áreas específicas [3-6].

Existen varios métodos para la síntesis de nanopartículas, que se han evaluado mostrando resultados positivos [7]. Sin embargo, realizan un alto consumo de energía por la naturaleza del proceso puesto que emplean reactivos dañinos para la salud y el medio ambiente por lo que una de sus variantes ampliamente estudiada se trata de la síntesis biológica en la que se emplean extractos de diferentes plantas, lo que hace que sea un método más sencillo y factible tanto económica como

ecológicamente, pudiendo ser utilizados en áreas: médicas, biológicas y ambientales, por lo que ha sido estudiada ampliamente en los últimos años [8].

En este trabajo se realizó la síntesis de nanopartículas de plata sobre nanotubos de carbono utilizando un método biológico el cual permite hacer un uso eficiente de la energía generada de la naturaleza. Se pretende sintetizar nanohíbridos con un impacto ambiental mínimo generando una alternativa no tóxica y de bajo costo, por este motivo se emplea el extracto de café el cual contienen fenoles y materia orgánica que pueden reducir y estabilizar el medio para su obtención.

TEORÍA

El profesor Ajayan en los años 90's realizó los primeros experimentos de decoración de NTC, la cual consiste en el depósito de nanopartículas en la periferia de las paredes de los mismos, y es producido por interacciones físico-químicas [9], por lo que el acoplamiento entre nanopartículas y nanotubos de carbono pueden proporcionar más ventajas que los materiales individuales, a estos nanomateriales multifuncionales se les conoce como híbridos [10]. Debido al alto potencial de aplicación de los nanomateriales, se debe considerar un diseño de los procesos de producción con un impacto ambiental mínimo [11].

La biosíntesis utiliza agentes reductores que proceden de la Naturaleza, por lo que es un método directo, debido a que se realiza mediante el uso del extracto acuoso de plantas, los cuales contienen uno o más ingredientes activos de la planta [12], o a partir de microorganismos, plantas, hongos, o sus extractos por medio de la participación de fenoles, azúcares y proteínas [13]. Se han utilizado diferentes extractos vegetales en forma acuosa a partir de: *Aloysia triphylla* (cedrón), *Laurelia sempervirens* (laurel) y *Ruta chalepensis* (ruda) para la síntesis de Np's de plata [14], además se ha utilizado extracto de *A. Triphylla* adicionado a dos soluciones acuosas de sales de Au y Ag produciendo simultáneamente nanopartículas de los metales antes mencionados [15]. Debido a lo anterior aunado a la importancia industrial de las NPs de Plata por sus potenciales aplicaciones en dispositivos microelectrónicos, biomoléculas, diagnóstico de imagen molecular, aplicación de fármacos, remediación de aguas y suelos etc [16]. En el presente trabajo se trata de obtener nanohíbridos compuestos de nanopartículas de plata soportadas en nanotubos de carbono empleando extracto de café debido a su alto contenido de fenoles, vitaminas y materia orgánica en comparación con otros extractos que pudiera contribuir en la síntesis biológica y porque no se ha tenido ningún estudio al respecto.

PARTE EXPERIMENTAL

La metodología para la síntesis del nanohíbrido se planeó en tres etapas: La primera fue la síntesis, purificación y dispersión de los nanotubos de carbono, en la que los nanotubos de carbono fueron obtenidos por medio del método de rocío pirolítico, utilizando como precursores una mezcla de Ferroceno en Tolueno. La purificación se realizó sometiendo a los nanotubos de carbono obtenidos a un tratamiento en una mezcla de ácidos (H_2SO_4/HNO_3) y después fueron dispersados en surfactante Lauril Sulfato de Sodio (LSS). La segunda etapa consiste en la obtención del extracto de café, el cual se preparó calentando 30 ml de agua destilada con 5 gr de café de grano durante 20 min. La tercera y última etapa fue la obtención del nanohíbrido a partir del crecimiento de Nanopartículas de plata en la superficie de nanotubos de carbono por medio del extracto acuoso de café (5 ml), en el cual se promueve el crecimiento de nanopartículas de plata reduciendo la sal de $AgNO_3$ (5 mg) y estabilizando a los nanotubos de carbono (7 mg). Este proceso se dio a temperatura ambiente durante 24 hrs., para la formación del nanohíbrido, de igual manera se debe destacar que se debe dejar en un lugar oscuro para que el extracto pueda actuar eficazmente. Finalmente, se caracterizaron los materiales obtenidos por medio de las técnicas de MEB, MET, y Espectroscopia RAMAN.

RESULTADOS

La Fig. 1 muestra una imagen de MET en campo claro de NTC obtenidos por el método de rocío pirolítico. En esta figura se aprecia un grupo nanotubos de carbono con un diámetro externo promedio de 30 nm.

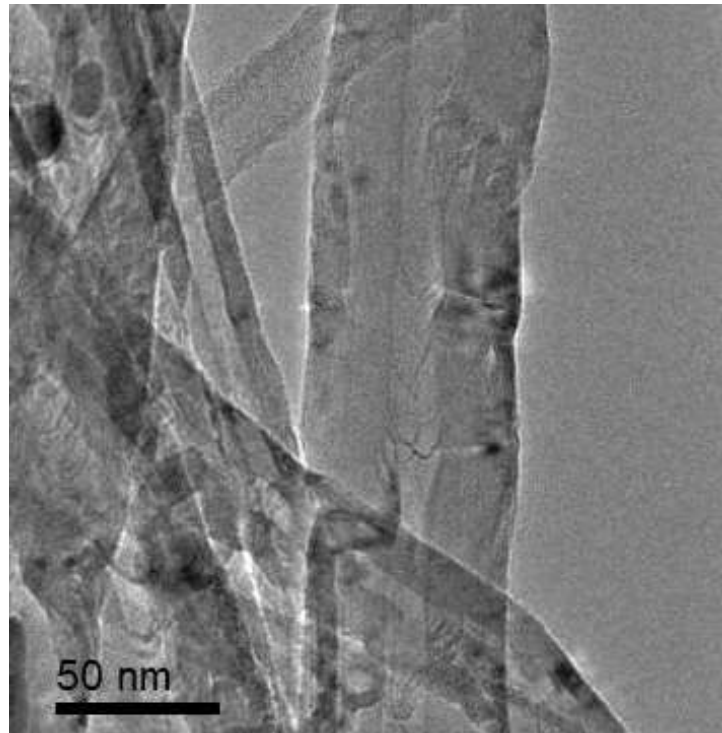


Fig.1 Imagen de MET en capa clara de NTC obtenidos por el método de rocío pirolítico.

Las Fig 2 y 3 muestran los espectros Raman de los NTC antes y después del proceso de purificación con ácidos. En ambos espectros se observan tres principales señales en 1333 , 1583 y 2670 cm^{-1} , las cuales corresponden a las bandas D, G y G', asociadas a los defectos de grafitación de los NTC. Se puede notar claramente la disminución en la intensidad y el ensanchamiento de la banda D, lo que indica que decrecieron los defectos en los nanotubos de carbono. La relación de intensidades relativas $I_G/I_D = 0.5$ en la Fig. 2. Por otra parte, el aumento progresivo de la banda G' en la Fig.3 en comparación con la Fig. 2, se asume como un incremento en la cantidad de NTC y por tanto una disminución en la cantidad de impurezas y carbón amorfo.

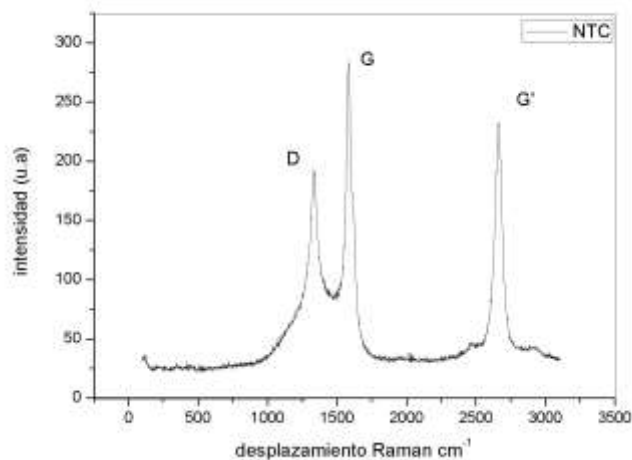


Fig.2 Espectro Raman de NTC antes del proceso de purificación

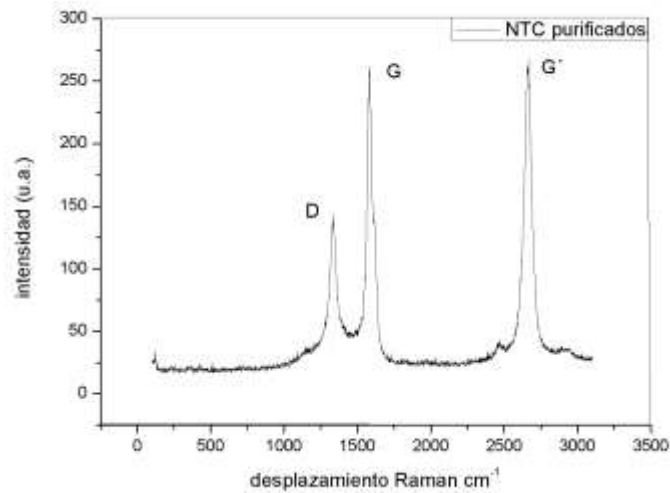


Fig.3 Espectro Raman de NTC después del proceso de purificación

La muestra del nanohíbrido realizado por síntesis verde fue analizada por microscopía electrónica de transmisión (MET), los resultados confirman la presencia de la formación de nanoestructuras (Fig.4) se muestran nanopartículas sintetizadas por medio de extracto de café, las cuales presentan diferentes tamaños, con un promedio de 68.75 nm. También se pueden observar aglomeraciones que indican un crecimiento dado por nucleación secundaria que es distintivo, cuando los reactivos se agotan y el tamaño de las partículas crecen rápidamente y esto se debe a que las condiciones de sobresaturación disminuyen hacia el equilibrio.

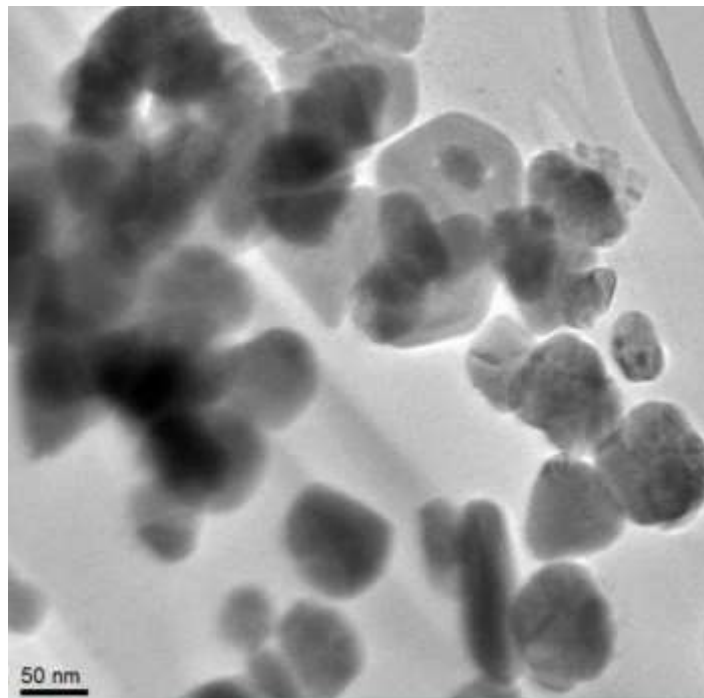


Fig.4 Imagen MET de nanohíbridos sintetizados por medio de extracto de café.

Debe destacarse que la síntesis de nanopartículas de Ag por medio del extracto acuoso de café dio resultados favorables. Sin embargo, los resultados del nanohíbrido demandan que diferentes relaciones porcentuales entre la concentración del extracto y la sal (AgNO_3) empleada, deben realizarse para evaluar en función del tamaño y distribución de tamaño de las partículas.

CONCLUSIONES

Mediante los estudios realizados en el presente trabajo se puede concluir que es posible la formación de nanohíbridos que consisten en nanotubos de carbono decorados nanopartículas de plata, las cuales se obtuvieron a partir del crecimiento *in situ* sobre la superficie de los soportes (NTC) por medio de biosíntesis realizando la reducción del precursor AgNO_3 por medio del extracto de café con un tamaño promedio de 69 nm de diámetro.

BIBLIOGRAFÍA

1. X.Chen, Schuluesener, H. *Toxicology Letters*. 176, 1 (2008).
2. O Choi” The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth”, *Water Research Volume 42,12,2008*, pp. 3066-3074.
3. D. Mendoza “Síntesis de nanocompuestos basados en NTC funcionalizados con NP’s para aplicaciones catalíticas en aleaciones de Al-Mg para aplicaciones automotrices”, febrero de 2019, pp. 44-45.
4. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). European Commission. Nanosilver safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance. 2014.
5. G. Nessim, A. Al-Obeidi, H. Grisaru, E.S. Polsen, C.R. Oliver, T. Zimrin, A.J. Hart, D. Aurbach, C.V. Thompson, *Carbon 50* (2012), pp 4002-4009.
6. P. Rajkumar, K. Ravichandran, M. Baneto, C. Ravidhas , B. Sakthivel , N. Dinesh- babu , *Mater. Sci. Semicond. Process 35* (2015) 189–196.
7. R. Patil, M.R. Kokate, S.S. Kolekar, *Spectrochim. Acta Mol. Biomol. Spectrosc 91* (2012) pp.234–238.
8. S. Snega, K. Ravichandran, M. Baneto , S. Vijayakumar , *J. Mater. Sci. Technol 31* (2015) pp.759–765.
9. J. Morones, J. Elechiguerra, A. Camacho, K. Holt, J.B. Kouri, J. Ramírez, M. Yacaman, The bactericidal effect of silver nanoparticles, *Nanotechnology*, (2005) pp.2346.
10. M.R.a.M.S Subapriya., Green synthesis of silver nanoparticles. *International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences*, 2012. Vol. 1.
11. F.Daniel, C.A.F., Jr, *Metal Nanoparticles. Synthesis, Characterization, and Applications*. 2002.
12. Wounds International 2012. Apropiate use of silver dressings in wounds. *International Consensus*. 2012.
13. J.Palanisami et al. Antibiofilm properties of chemically synthesized silver nanoparticles found against *Pseudomona aeruginosa*. *J. Nanobiotechnology* 2014.
14. C. Deyá, N. Bellotti, Extractos vegetales para la síntesis de nanopartículas y su aplicación en pinturas y aditivos antifúngicos, Investigadores CONICET.
15. D. Mendoza “Síntesis de nanocompuestos basados en NTC funcionalizados con NP’s para aplicaciones catalíticas en aleaciones de Al-Mg para aplicaciones automotrices”, febrero de 2019.
16. B.Catherine, P.Marcel Lahmani, *Nanomaterials and Nanochemistry*. 2009.

USO DE RECURSOS DIGITALES EN LA FORMACIÓN DE LOS INGENIEROS EN EL ÁREA DE CIENCIAS BÁSICAS

Lorena Mendoza Guzmán, Juan Adolfo Alvarez Martínez, Cristy Elizabeth Aguilar Ojeda y Rolando Porras Muñoz

Instituto Tecnológico Superior del Occidente Estado de Hidalgo.
lmendozag@itsoeh.edu.mx

RESUMEN

En la actualidad existe un creciente uso de la tecnología en la educación como apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje que permite desarrollar las competencias básicas, disciplinares y profesionales de los alumnos para obtener el mejoramiento de sus habilidades que potencialicen la consolidación del conocimiento. Por tal motivo se ha implementado el uso de las plataformas educativas en las aulas del Instituto Tecnológico Superior del Estado de Hidalgo.

El uso de las TI como apoyo dentro del aula es altamente favorable en el área de ciencias básicas debido a la aplicación de los recursos digitales, el empleo de plataformas educativas de acceso libre y plataformas educativas para la enseñanza de las matemáticas; estos recursos permiten tanto la mejora de la comprensión de los temas para los diversos estilos de aprendizaje como la innovación de la práctica docente; la elección de los materiales requiere del conocimiento tanto de aspectos pedagógicos, disciplinares, de aplicaciones móviles, tecnologías emergentes, sistemas de gestión de aprendizaje, aprendizaje adaptativo y recursos educativos abiertos entre otros; además de seleccionar el material, el docente debe de implementar las TI en una secuencia o plan de trabajo con la finalidad de administrar adecuadamente el uso de estos recursos teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de los diferentes recursos digitales, de tal manera que permita mejorar el desempeño académico de los estudiantes en el área de ciencias básicas.

El uso de la tecnología tiene en cuenta como elemento principal al estudiante; este proceso se denomina aprendizaje centrado en el alumno, que se refiere al modelo de aprendizaje donde el estudiante debe desarrollar sus capacidades y aplicarlas en situaciones que el profesor le deba plantear.

Para ello el profesor debe tener el conocimiento si los estudiantes cuentan con dispositivos móviles, tabletas, computadoras personales o de escritorio con enlace a internet y cuáles son sus capacidades de almacenamiento o de reproducción de audio, video y texto; a partir del conocimiento adquirido, el docente elegirá y diseñará los recursos didácticos y los implementará en la plataforma de la institución educativa, esto conlleva a que el alumno cuente con el material en todo momento lo que le permitirá reforzar los conocimientos obtenidos en el aula dando paso al incremento de los índices de aprovechamiento.

INTRODUCCIÓN

Es muy conocido que los resultados de desempeño académico de los estudiantes de ingeniería en el área de matemáticas y en ciencias básicas en el nivel superior son poco favorables según muestran los indicadores estadísticos que publican las instituciones en sus registros de eficiencia terminal. Dichos resultados son atribuibles a una diversidad de factores que van desde los socioemocionales hasta los pedagógicos y disciplinares.

También es ampliamente sabido que se han hecho múltiples esfuerzos para revertir esta situación, y para ello desde diferentes ejes de trabajo se han implementado estrategias que van desde el cambio de modelos educativos, capacitación en estrategias de aprendizaje, dotación de infraestructura, uso de recursos didácticos digitales, hasta cambio de las teorías de aprendizaje.

No está por demás exaltar la importancia que el aprendizaje de las ciencias como herramienta le permitirá al futuro ingeniero afrontar, decidir, resolver y proponer soluciones a situaciones en las que se requiere de dicho conocimiento, mas sin embargo en los primeros niveles de licenciatura el estudiante novel en éstas áreas no lo percibe así, por lo que también en el proceso de enseñanza y aprendizaje se tiene que luchar en contra de éstas ideologías que en algunos casos están fuertemente arraigadas en las comunidades estudiantiles.

Ahora bien, para el caso específico de la enseñanza de la matemática como campo de estudio encontramos diferentes enfoques que nos permiten entender el proceso de aprender matemáticas; existiendo líneas de investigación que van desde la epistemología, la heurística, la didáctica, los procesos cognitivos, hasta el uso de la tecnología; todas ellas enfocadas a conocer y mejorar el proceso educativo en la formación de los ingenieros en el área de ciencias básicas.

En particular este trabajo aborda el eje temático del uso de la tecnología para la enseñanza y aprendizaje de la matemática; su campo de estudio surge por el mismo hecho de que en esta sociedad del conocimiento los alumnos tienen a su alcance una diversidad de dispositivos tecnológicos los cuales abren la alternativa de apoyar el proceso de aprendizaje.

El punto medular es cómo y cuándo integrar toda esta amplia cantidad de medios a favor de una mejora del proceso.

Ante todo, es importante mencionar que detrás del uso de los dispositivos como la computadora, la tableta, el teléfono, el internet, las redes sociales o la televisión por cable debe existir el conocimiento fundamentado que valida su uso en el aspecto escolar, esto permitirá dirigir los esfuerzos del profesorado y de las instituciones por una senda que ayude a incrementar los índices de aprovechamiento.

TEORÍA

A lo largo de la historia han existido diversos enfoques y teorías que fundamentan el uso de recursos didácticos para aprender conceptos y procedimientos en diversas ramas de la ciencia; desde los objetos físicos manipulables, hasta los que hoy en día son recursos digitales que simulan, grafican y en los que se pueden manipular variables en el estudio de fenómenos complejos.

La cantidad de materiales digitales existentes que son accesibles para usar en la educación son muy variados; casi cualquier persona con acceso a una computadora e internet puede obtener conocimientos y educarse por sí misma.

Sin embargo, habremos de decir en principio que el proceso de enseñanza y aprendizaje para poder brindar resultados satisfactorios requiere del análisis y conocimiento de tres elementos inseparables: el educando o estudiante; el profesor o docente y el conocimiento. De la importancia de estos elementos se hablará en la siguiente sección.

En cuanto al primer punto de los componentes que integran el proceso (el estudiante) es importante mencionar que para que haya una implementación eficaz de la tecnología se hace necesario enfatizar el hecho de que dicha tecnología a implementar debe focalizarse hacia el alumno, es decir sea el centro de atención y ello implica que no únicamente le permita ser un espectador o lector de los materiales, sino que le posibilite interactuar, modificar, participar, e incluso evaluarse a través de ellos.

Este tipo de modelo de aprendizaje del uso de la tecnología teniendo en cuenta como elemento primordial al estudiante se denomina *aprendizaje centrado en el alumno*, que se refiere al esquema de trabajo donde el estudiante desarrolla sus capacidades y las aplica en situaciones que el profesor le plantea.

Así surge la ya tan conocida educación basada en competencias, donde el conocimiento mismo no es suficiente como teoría sino la importancia radica en la aplicabilidad o usabilidad de dicho conocimiento para resolver problemas que requieren de observación, análisis, decisión, argumentación, todo ello en un contexto integral que permita valorar el desempeño del alumno.

En relación al segundo elemento (el profesor) se puede citar los modelos donde el *aprendizaje está basado en la enseñanza*, el cual debería haber quedado atrás ya hace muchos años; en este modelo el profesor era el experto y el que dominaba todo el conocimiento que el alumno debía aprender; sin embargo, esta forma de trabajo es una actividad sumamente arraigada y que aún se encuentra muy recurrida por el profesorado.

De la misma manera el *aprendizaje centrado en los medios* también es un modelo que ya se encuentra en desuso, y donde se suponía que la calidad del material de texto o recurso didáctico dictaminaba el éxito del aprendizaje. En estos casos los modelos estaban basados en la importancia que se les daba a los recursos de aprendizaje.

Un punto a considerar que es de suma relevancia que se refiere al alumnado es el tipo de *estilos de aprendizaje*; aquí hay que tomar en cuenta que no todos los estudiantes aprenden de la misma manera, y para ello los materiales a elegir deben tener en cuenta a los alumnos cuyo *canal de recepción de información es visual*, en este caso se prioriza el uso de recursos como el video, las infografías, organizadores gráficos y material en formato de imágenes ya sea en modo estático o gráficos dinámicos.

Otro de los canales de comunicación es el *auditivo*, para lo cual deben considerarse materiales que incluyan información en forma de audio como los podcast.

Para concluir este punto se deben también diseñar y emplear materiales para *alumnos kinestésicos* es decir los que requieren de trabajar mediante la manipulación de objetos, es decir aprenden haciendo y trabajando con los materiales, para ello son de gran apoyo el software para graficación, animación y simulación de procesos.

Otro de los factores a tener en cuenta es el tipo de soporte tecnológico que se va a usar para que el alumno trabaje con dichos recursos digitales, estos recursos son mejor conocidos como OIA (objetos interactivos de aprendizaje), para ello también ha de tenerse la información sobre si se hace necesario emplear algún sistema de gestión de aprendizaje (LMS) o algún entorno virtual de aprendizaje (EVA), esto es algún sistema (plataforma educativa) donde se encuentren alojados los OIA.

En este sentido es que aparece como elemento central la decisión de usar o no las denominadas plataformas educativas, en las cuales se integran los materiales a los que los alumnos tendrán acceso.

Para ello debe tenerse el conocimiento si los estudiantes cuentan con dispositivos móviles y cuáles son sus capacidades de almacenamiento o de reproducción de audio, video y texto; Dentro de dichos dispositivos a considerar están los teléfonos, las tabletas o las computadoras con enlace a internet.

En la actualidad existe una diversidad de plataformas educativas tanto gratuitas como comerciales con características para realizar las siguientes funciones: alojamiento de OIA, creación de cuestionarios y exámenes, generación de foros de discusión, seguimiento de entrega de trabajos en la misma plataforma, control de calificaciones, comunicación síncrona o asíncrona.

La segunda opción que implica el uso de los OIA es que el profesor diseñe o integre el material en un sistema de navegación móvil donde el material pueda ser consultado de manera asíncrona por el estudiante, es decir tenga un dispositivo de almacenamiento portátil para acceder a la información. Actualmente muchas plataformas tienen versiones móviles para asegurar el flujo de la información en todo momento.

Para este caso donde el material de estudio sea portable, se denomina m-mobile (aprendizaje móvil) donde el recurso o medio es un dispositivo como teléfono o tableta sin necesidad de que los recursos se encuentren alojados en una plataforma educativa.

La ventaja de poder emplear en la medida de lo posible una plataforma educativa como sistema de gestión de aprendizaje es que en ella pueden integrarse grupos de discusión acerca de un tema que permita a los alumnos participar, argumentar o debatir, lo que es un aspecto esencial en su desarrollo; También permite dejar evidencia a manera de historial de la participación de los alumnos en las actividades logrando con ello un mejor control y optimización del tiempo y recursos.

Otro beneficio de usar un sistema LMS es que el profesor puede programar sus actividades y evaluaciones para fechas específicas, aperturandolas en el momento indicado de acuerdo a su secuencia didáctica; pueden citarse en dos tipos las ventajas del uso de los sistemas LMS, en el aspecto académico para la retroalimentación, comunicación y cátedra; y en el aspecto administrativo para el control y seguimiento de las evaluaciones de los estudiantes.

De esta forma es que se han generado las variantes de aprendizaje basado en las TIC que se pueden clasificar como b-learning (blended learning) aprendizaje mixto, que se refiere a actividades en aula y que se complementan por otras tareas en plataforma o en un LMS; el e-learning (cursos totalmente en línea, es decir educación no presencial) o el ya mencionado m-mobile.

En cualquiera de los tres casos se requiere que el profesor establezca de antemano la secuencia de las actividades, las instrucciones y fechas en que el alumno deberá consultar o trabajar en determinados materiales; esto es lo que se denomina *diseño instruccional*; que se refiere a la forma, cantidad, etapas y programación de las actividades del curso. En esta parte se requiere al menos el

conocimiento básico de los tipos de modelos de diseño instruccional entre los cuales podemos mencionar el modelo ASSURE o el modelo ADDIE.

El diseño instruccional es importante en el proceso dado que en la propuesta de instrucción se fundamenta el uso de los distintos elementos y recursos didácticos que deben ser cuidadosamente identificados, diseñados y desarrollados de forma que faciliten y apoyen la construcción de conocimientos y habilidades del alumno.

En general podemos mencionar que un modelo de diseño instruccional debe considerar los siguientes elementos:

- Análisis de los estudiantes:
- Establecimiento de los objetivos
- Selección de métodos, medios y materiales
- Forma de utilización de los medios y materiales

En cuanto al factor o punto para definir la cantidad y calidad de los materiales a usar, es importante decidir si los recursos han de ser de autoría propia o bien obtenidos de repositorios digitales que pueden ser los denominados REA (recursos educativos abiertos), en este último caso hay que considerar si dichos materiales son de uso público y pueden ser accedidos únicamente en línea o pueden ser almacenados en dispositivos de almacenamiento portátil.

La desventaja del empleo de los REA es que, en determinadas circunstancias, los servidores donde se encuentra la información están bajo control externo (fuera del sistema LMS), por ello el profesor debe verificar de manera constante la existencia de la información y sobre todo que esté vigente para el momento en que va a ser utilizada.

Otro de los puntos a considerar para la implementación de las TI es el seguimiento y valoración del aprendizaje, para lo cual existe software para el diseño de cuestionarios interactivos que permiten reafirmar los conocimientos; en este caso hay que verificar que el sistema LMS o medio de almacenamiento portátil donde se encuentra la información sea de fácil interacción y manejo.

Entre los aspectos esenciales a considerar para la implementación de las TI en el proceso de enseñanza y aprendizaje, esta la definición de los objetivos que se espera lograr, lo cual va desde un análisis de las razones por las que se ha de emplear las TI hasta el tipo de infraestructura con la que cuenta tanto en la institución como los mismos alumnos.

A continuación, se hace una descripción de los factores a considerar para la implantación de las TI para la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas y de las ciencias.

- Tipo de Modelo educativo: Centrado en el profesor, centrado en los materiales, centrado en el alumno.
- Tipo de modelo de diseño instruccional: ASSURE, ADDIE.
- Tipo de estilos de aprendizaje: visual, auditivo, kinestésico.
- Tipo de sistema LMS para gestión de aprendizaje: Definir si se requiere el uso de plataformas educativas.
- Tipo de metodología de aprendizaje: e-learning, b-learning, m-learning
- Uso de materiales: De diseño propio o de uso público.

PARTE EXPERIMENTAL

De todos los elementos que se requieren para diseñar una propuesta de un curso a nivel de ingeniería basado en el uso de las TI, en el Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, en particular fue importante y necesario hacer un análisis de la infraestructura existente, del conocimiento y de las capacidades que tenían los alumnos en el uso de tecnología, así como del acceso a una red de comunicación.

A través de un cuestionario aplicado a los estudiantes se obtuvo la información que permitió definir y tomar la mejor decisión respecto al uso de un sistema LMS y del tipo de recursos y materiales a utilizar.

Los resultados fueron los siguientes:

- Mas del 80% de los estudiantes usan teléfono para obtener información de internet para complementar o investigar temas relativos a las asignaturas que cursan.

- Mas del 60% conoce y ha utilizado con anterioridad una plataforma educativa para realizar actividades de asignaturas que cursa.
- Mas del 95% emplea recursos y software para realizar y presentar trabajos escolares.
- Mas del 70% visualiza videos y tutoriales en plataformas, como medio de aprendizaje o investigación.
- Más del 60% tiene acceso a una red de internet ya sea en casa o datos móviles.
- Entre el 30% y 60% usa el teléfono para descargar las tareas o enviarlas.
- La institución cuenta con red de internet en biblioteca y laboratorios de cómputo que están disponibles a los estudiantes.
- La institución, en particular la sección de Ingeniería en sistemas computacionales cuenta con un servidor para alojar un sistema LMS.

Con estos registros estadísticos se planteó que lo conveniente fue el Contar con un sistema LMS aprovechando la oportunidad de que el área académica cuenta con la tecnología de un servidor y red de acceso a datos para alojar una plataforma.

En cuanto a la forma de trabajo y considerando que es un sistema de educación presencial, la implementación de la tecnología se basó en el modelo centrado en el alumno bajo la metodología de e-learning, es decir la combinación de elementos didácticos presenciales en aula y actividades en la plataforma educativa.

En relación al modelo de diseño, se usó como referencia los elementos propuestos en la metodología ADDIE que es en general el que proporciona los mejores beneficios, considerando que dada sus ventajas es usada ampliamente casi de manera generalizada como un estándar en el diseño de cursos en línea, no solamente en el contexto de educación formal sino también en el ámbito laboral para la capacitación de personal en las organizaciones y empresas.

De esta manera, la estructura de las asignaturas en las que se empleó la tecnología tuvo como contenido actividades para que el alumnado consultara la información en forma síncrona y asíncrona teniendo como referencia el temario de la asignatura.

La comunicación síncrona se llevaba a cabo mediante sesiones de videoconferencia empleando algunas de las plataformas disponibles en la red.

Los materiales para abordar los temas se diseñaron considerando los diversos estilos de aprendizaje, de manera que se crearon algunos recursos de tipo multimedia, también se generaron recursos en formato textual y gráfico, empleando en algunos casos material de repositorios REA.

Para mejorar el aprendizaje se tuvo como apoyo el uso de software para simulación y animación en donde los alumnos pudieron practicar los conocimientos.

Estos recursos se emplearon como medio de reforzamiento y también como elementos de validación de resultados, lo cual permitió que los alumnos mejoraran su confianza al asegurarse que las soluciones de los problemas planteados eran correctas.

Los estudiantes estuvieron trabajando en sus sesiones de clase de acuerdo con el calendario escolar y las actividades en plataforma estuvieron disponibles para cuando los estudiantes las requerían.

En relación a la comunicación con los estudiantes, en plataforma se establecieron foros de discusión donde se planteaban las dudas y exponían los temas, de manera que los estudiantes participaban y obtenían la información actualizada para realizar las actividades.

Para la fase de evaluación, se estableció un conjunto de actividades en las que los estudiantes contestaban exámenes, tanto para retroalimentar sus conocimientos como para obtener una puntuación enfocada a su calificación del tema.

Dichas evaluaciones se diversificaron, se aplicaron en línea, mediante cuestionarios interactivos, realizando exposiciones de sus proyectos donde los explicaban y agregaban sus archivos en dicha plataforma.

RESULTADOS

La puesta en marcha de la prueba piloto requirió de los conocimientos de diversas áreas tanto tecnológicas como pedagógicas; una de las ventajas en la implementación es que los estudiantes ya tenían un conocimiento del uso de diversas tecnologías, sin embargo, el uso de diversos recursos

a abierto la posibilidad de potencializar el proyecto para expandirlo a una cantidad mayor de asignaturas usando las TI teniendo en cuenta la experiencia de este trabajo.

Los resultados obtenidos al usar un sistema LMS para integrarlo como elemento en el proceso de enseñanza y aprendizaje en algunas de las asignaturas de ciencias básicas fueron los siguientes.

El porcentaje de alumnos aprobados en los cursos estuvo entre el 70% y 90%. Respecto a este indicador se hizo un análisis detallado y se pudo observar que los estudiantes que no aprobaron los cursos fueron por causas ajenas como, por ejemplo, se dieron de baja por circunstancias fortuitas, factores económicos, falta de interés en la carrera, etc.

El porcentaje de satisfacción en el uso de sistema LMS: osciló entre el 60% y 75%, lo que dio como pauta de interés el saber que los recursos usados fueron en general de la aceptación de los estudiantes y les permitió el logro de los aprendizajes marcados en el temario.

Las asignaturas en las que se empleó la plataforma de gestión de aprendizaje LMS fueron probabilidad y estadística, cálculo integral y matemáticas discretas que pertenecen a los primeros semestres de las carreras de ingeniería en sistemas computacionales en el Instituto.

Dentro de las oportunidades de análisis que se tuvieron en la implementación de la tecnología en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias es que al ser estas asignaturas de tipo teórico-procedimental se pudo tener información sobre el nivel de aprendizaje obtenido en el contexto conceptual usando recursos digitales para posteriormente aplicarlo a la solución de casos prácticos.

CONCLUSIONES

Uno de los objetivos fundamentales del aprendizaje de las matemáticas y de las ciencias es lograr que el alumnado use y desarrolle un conjunto de conocimientos que les sean útiles en situaciones que se encuentran en contextos muy diversos, sin embargo, como la sociedad actual se encuentra en constante cambio, dichos conocimientos deben ser adaptativos y flexibles para permitir que los estudiantes adquieran las competencias y las empleen eficazmente.

El objetivo ancestro de que el aprendizaje de los contenidos fuera el último fin, ha quedado obsoleto si no se encuentra que dicho conocimiento tenga una aplicabilidad que genere desarrollo.

De manera preocupante esta meta no es simple de lograr y frecuentemente escuchamos diversos enfoques y metodologías de cómo revertir las adversidades sobre el aprendizaje de las ciencias.

En este trabajo se ha planteado la forma en la que la implementación de la tecnología por medio de un proyecto integral funge como un recurso valioso para el proceso de enseñanza y aprendizaje, sin embargo, su utilización requiere por parte del profesorado del análisis de un conjunto de factores de diversa índole y el conocimiento de dichos factores le permitirá adaptarlos a su entorno en el que desarrolla su actividad docente que es fundamental en el logro de objetivos exitosos.

Como se ha podido observar, el uso e implementación de tecnología y objetos digitales de aprendizaje integrados en plataformas educativas para el proceso de enseñanza y aprendizaje es en efecto muy importante y de beneficio no solo como elemento de apoyo sino como componente central en el proceso ya que se puede adaptar para usar dichas tecnologías como recursos de investigación, de retroalimentación o bien como componente central del proceso.

Es importante mencionar que, como todos los demás recursos didácticos existentes, se presentan áreas de oportunidad entre las cuales están aquellas que surgieron de las encuestas aplicadas al finalizar los cursos.

Dentro de las áreas de mejora expuestas por los alumnos, mencionan la importancia de organizar mejor su tiempo para poder destinarlo a las actividades académicas de plataforma, también la infraestructura tecnológica tuvo un papel importante ya que argumentaron que el acceso a una red de datos confiable no siempre les permitía realizar óptimamente sus trabajos.

Con esto se coteja lo que inicialmente se había mencionado que la cantidad, calidad y dosificación de los recursos tecnológicos a usar tienen una influencia preponderante en los resultados finales en la implementación de proyectos educativos usando las tecnologías de la información.

BIBLIOGRAFÍA

1. Angulo J, Vales J, Aportes y reflexiones sobre la educación mediada por tecnologías, Instituto de Formación Docente del Estado de Sonora, *Tabook Servicios Editoriales e Integrales*, S.A. de C.V. (2015).
2. Da Costa M, Integration of Digital Technologies in mathematics Teacher Educación, in *Mathematics and Technology*, 2017.
3. Díaz B. Angel, TIC en el trabajo del aula, Impacto en la planeación didáctica, *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, Volumen 4, 2013.
4. Fiallo J, Rodriguez G, Situaciones A-didácticas para la enseñanza de la derivada como razón de cambio mediante el uso de software de Geometría Dinámica, *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, Volumen 32, 2019.
5. Jimenez S, Tecnología educativa: campos de formación y perfil diferencial, *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, Volumen 5, 2014.
6. Lázaro A. Niurys, Utilización y producción de videotutoriales en matemática, *Acta latinoamericana de matemática educativa*, Volumen 33, 2020.
7. León Y. Ana, Estrategias de aprendizaje en educación superior en un modelo curricular por competencias, *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, 2015.
8. Pozas D, Alvez M, Experiencia de evaluación con geogebra en un curso de álgebra y geometría para ingeniería, *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, Volumen 33, 2020.
9. Padilla E. Gestión y mediación de la asignatura Cálculo Integral en una educación a distancia, *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, Volumen 32, 2019
10. Rubio S, León C, Matemática Educativa en la era digital: Recursos educativos Abiertos Integrando Practicas y Tecnologías Digitales, *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, Volumen 32, 2019.
11. Santos, M. Potencial didáctico del software dinámico en el aprendizaje de las matemáticas. *En Avance y Perspectiva* V. 20. Pp. 15-19. Cinvestav. México.

SISTEMA DE CONTROL PARA CLIMATIZACIÓN CON DISPOSITIVOS TERMOELÉCTRICOS

M. Salazar-Rivera¹, O. López-Hernández¹, A. Benítez-Lara^{2*}

¹Centro de Investigaciones en Óptica A.C., ²CONACYT-CIO, Institución de adscripción B.
*alfredbl@cio.mx

RESUMEN

El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema de control de temperatura de lazo abierto en un contenedor a través de una Celda Peltier. El control consiste en aplicar una señal PWM al dispositivo termoelectrico, la cual, controla la temperatura en un rango de 5 a 90 °C. Se realizó un estudio para caracterizar la frecuencia y el ciclo de trabajo del PWM y, así, determinar las mejores condiciones de funcionamiento del elemento termoelectrico. Además, se implementó una etapa de potencia para cambiar la polaridad de alimentación en la celda Peltier y, de esa manera, poder intercambiar las caras de calentamiento y enfriamiento. El estudio realizado, deja las bases para implementar un sistema de climatización a mayor escala utilizando elementos termoelectricos de manera novedosa y versátil.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de climatización siempre han sido muy utilizados, dependiendo de la zona geográfica donde se ubiquen es la demanda para refrigeración, calefacción o ambos dependiendo la época del año. Estos sistemas son altamente consumidos y aunque presentan una buena eficiencia energética, pocas veces se reflexiona sobre el impacto negativo al medio ambiente que puedan ocasionar debido a la utilización de algunos gases empleados para la refrigeración que son altamente contaminantes. Es por ello que al buscar nuevas alternativas menos contaminantes y que se pueda incorporar tanto el sistema de enfriamiento como el de calentamiento en un solo equipo, aparecen como una solución los sistemas termoelectricos. Los termoelectricos son principalmente conocidos por la conversión directa de calor en electricidad como generadores termoelectricos (TEG). Pero también presentan otro efecto conocido como efecto Peltier, el cual al hacer circular una corriente a través de ellos generan una diferencia de temperatura entre ambos extremos, en este caso es llamado como refrigerador termoelectrico (TEC por sus siglas en inglés). Los TEC's presentan varias ventajas con respecto a los sistemas de refrigeración convencionales, son dispositivos de refrigeración en estado sólido, el desgaste es mínimo debido a que carecen de partes móviles, son de efecto reversible controlado por su voltaje de polarización, no utilizan gases refrigerantes que son contaminantes al medio ambiente, entre otras.

TEORÍA

Aunque los efectos termoelectricos presentes en algunos metales fueron estudiados desde principios del siglo XIX, el primer efecto conocido fue descubierto por el físico alemán Thomas J. Seebeck descubierto en 1820, posteriormente en 1834 fue descubierto el efecto Peltier por Jean Peltier y aunque siempre están presentes ambos efectos no quedó demostrado hasta que en 1851 fue descubierto el efecto Thomson por William Thomson (Lord Kelvin).

Por otro lado, los efectos termoelectricos como se menciona en (Priscila & María, 2020) los dispositivos termoelectricos se basan en el hecho de que cuando ciertos materiales son calentados, generan un voltaje eléctrico significativo. En la Figura 99 los electrones se mueven del extremo caliente del material al extremo frío, creando electrodos positivos y negativos y con ello el voltaje eléctrico.

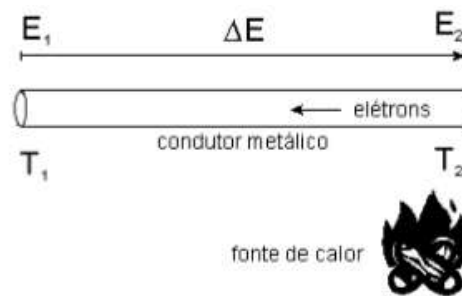


Figura 99. Los electrones se mueven del extremo caliente al extremo frío. Recuperado de (Priscila & María, 2020)

La termoelectricidad relaciona tres fenómenos explicados por (Priscila & María, 2020) que son el efecto Thomson, efecto Seebeck y efecto Peltier. El efecto Thomson, consiste cuando una corriente fluye a través de un conductor homogéneo de sección transversal constante donde se ha establecido un gradiente de temperatura, para mantener invariable la distribución de temperatura hay que entregar o extraer calor del conductor. El efecto Seebeck ocurre cuando dos metales distintos a temperaturas diferentes se ponen en contacto formando una unión bimetalica, entre ambos lados de la unión se genera una fuerza electromotriz provocando una densidad de corriente o una diferencia de potencial. El efecto Peltier, se presenta al aplicar una corriente a través de una unión bimetalica para mantener constante la temperatura de la unión hay que entregar o extraer calor, según sea el sentido de circulación. Este fenómeno tiene aplicación práctica en dispositivos de refrigeración pequeños, teniendo la ventaja de no tener partes móviles que se desgasten.

Para describir mejor (Blancarte Lizárraga, 2001) dice que se aprovecha con más auge a través de las llamadas células Peltier: Alimentando uno de estos dispositivos, se instaura una diferencia de temperatura entre las dos caras de la célula Peltier, esta diferencia depende de la temperatura ambiente donde este situada, y del cuerpo que queramos enfriar o calentar. Si observamos la Figura 100, se puede ver que se compone, prácticamente, de dos materiales semiconductores, uno tipo N y otro tipo P, unidos entre sí por una lámina de cobre.

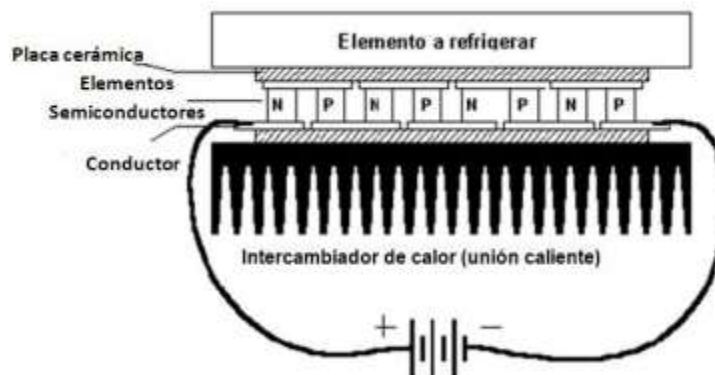


Figura 100. Materiales tipo p y tipo n dentro de una celda Peltier. Recuperado de (Blancarte Lizárraga, 2001)

Si en el lado del material N se aplica la polaridad positiva de alimentación en el lado del material P la polaridad negativa, la placa de cobre de la parte superior enfría, mientras que la inferior calienta. Si se invierte la polaridad de alimentación, es decir, se aplica en el lado del material N la polaridad negativa y en el lado del material P la positiva, se invierte la función de calor / frío: la parte superior calienta y la inferior enfría.

Además (Blancarte Lizárraga, 2001) nos dice que existen células Peltier con dimensiones y potencias diversas, aisladas o no aisladas en función de que encima y debajo de las dos superficies exista, o

no, una capa fina de material cerámico, necesario para aislar las láminas de cobre de las distintas células; por consiguiente, estas dos superficies se pueden apoyar sobre cualquier plano metálico sin necesidad de aislantes, en la Figura 101 se muestra la estructura de una celda.

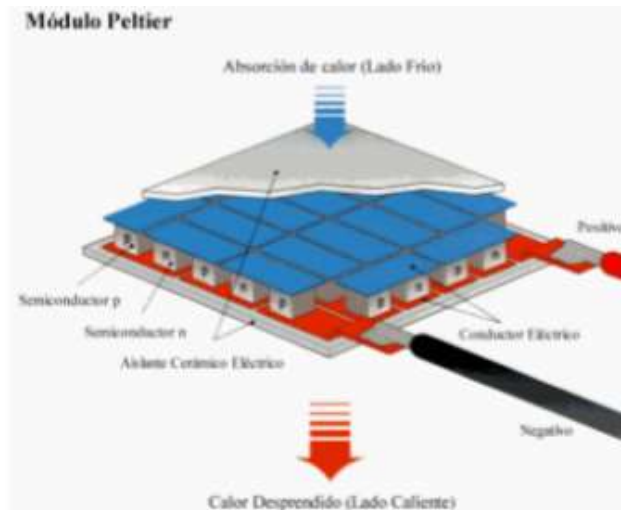


Figura 101. Estructura de la Celda Peltier donde se muestra el lado frío y lado caliente. Recuperado de (Blancarte Lizárraga, 2001)

Las celdas ya aisladas tienen un material cerámico con una resistencia térmica muy baja, por lo que la pérdida de transferencia es insignificante. Se puede observar el esquema de funcionamiento de este dispositivo termoelectrico en la Figura 102.



Figura 102. Funcionamiento de una Célula Peltier, la diferencia de temperaturas entre las caras es de 70°. Recuperado de (Blancarte Lizárraga, 2001)

El frío o calor que puede generar un módulo Peltier viene especificado por el salto térmico (diferencia térmica, incremento.) que indican sus fabricantes.

En (Blancarte Lizárraga, 2001): un salto térmico de 70 grados significa que, si el lado caliente de la célula se ha estabilizado a una temperatura de 45 grados, en el lado frío existe una temperatura de $45 - 70 = -25$ grados. Por el contrario, si el lado caliente sólo alcanza 35 grados, en el lado frío hay una temperatura de $35 - 70 = -35$ grados.

Los TEC están fabricados con semiconductores de Teluro y Bismuto tipo-p y tipo-n debido a que el máximo de eficiencia se encuentra entre temperatura ambiente y 200 °C aproximadamente. Los efectos termoelectricos involucran la correlación entre corrientes eléctricas y voltajes contra transferencias de calor y temperatura, estos son los principales artífices de que la termoelectricidad

tenga cabida en el mundo de la refrigeración de acuerdo con (Rubio Ramirez, Marthey Lizarazo, & Emilio, 2017).

PARTE EXPERIMENTAL

Se utilizó una celda Peltier comercial modelo TEC1-12706 (ver Figura 103), la cual, se polariza con un voltaje de 12 V y tiene un consumo en corriente de 6 A. Si la celda Peltier se polariza de manera directa la cara con el código disminuirá su temperatura, mientras que la cara opuesta se incrementará. Esto se debe a que el dispositivo presenta un fenómeno reversible, es decir, la temperatura de las caras está en dependencia del voltaje de polarización.



Figura 103 Celda Peltier modelo TEC1-12706 alimentación 12 V a 6 A

Se elaboró un sistema para caracterizar la temperatura de la celda Peltier, tal como se muestra en la Figura 104. Consta de una fuente de voltaje y corriente variable, termopares como sensor de temperatura en ambas caras de la celda, multímetro para monitorear voltaje y corriente, una celda Peltier equipada con disipador de calor unido a ventilador de dc como extractor, todo acoplado a un recipiente térmico de 0.023 m³. Los disipadores fueron ranurados para alojar los termopares y obtener una óptima medición.



Figura 104. Sistema alimentado a 12V con monitoreo de temperatura.

Caracterización de la celda Peltier con diferentes condiciones

La caracterización del comportamiento de la celda Peltier para su estudio, se dividió en dos casos, ambos se realizaron por periodos de tiempo de 15 minutos y se recolectaron muestras durante cada minuto. En el primer caso la celda se alimentó con un voltaje nominal de 12 V y se obtuvo su respuesta tanto para enfriamiento como para calentamiento. En el segundo caso se utilizó un modulador de ancho de pulsos (PWM por sus siglas en inglés) variando el ciclo de trabajo con incrementos del 10% y manteniendo una frecuencia de 50 Hz, durante la etapa de enfriamiento se utilizó de manera continua el uso de un ventilador extractor de calor para mejorar la disipación de calor de la cara exterior. Posteriormente durante el modo de calentamiento se mantuvo apagado el ventilador externo. Una vez obtenidos los resultados del comportamiento se eligieron las mejores condiciones donde se obtiene el máximo de enfriamiento y calentamiento por parte de la celda Peltier. En la Tabla 33 se resumen las mejores condiciones de operación.

Tabla 33. Pruebas con diferentes condiciones para caracterizar la celda Peltier.

NÚMERO DE PRUEBA	CONDICIONES				
	Pasta térmica	Ventilador	Nivel de voltaje	Estado dentro del recipiente	Observaciones
1	Sí	Sí	12V	Frío	
2	Sí	No	12V	Caliente	
3	Sí	Sí	9.6V	Frío	PWM 80%
4	Sí	No	10.8V	Caliente	PWM 90%

A continuación, se describe detalladamente cada prueba mostrada en la tabla anterior:

Prueba 1

La primera prueba consistió en polarizar la celda Peltier con un voltaje de 12 V de modo que disminuyera la temperatura interna del recipiente y se activó el ventilador extractor de calor para disparar mayor temperatura de la cara caliente. Una vez finalizado el tiempo de adquisición de datos se obtuvo la gráfica que se muestra en la Figura 105. La temperatura inicial en cada cara fue de 23°C, la temperatura final en la cara caliente fue de 40°C y en la cara fría de 12.2°C. Al finalizar la prueba la diferencia de temperatura entre la cara caliente y la fría de la celda fue de 27.8 °C.

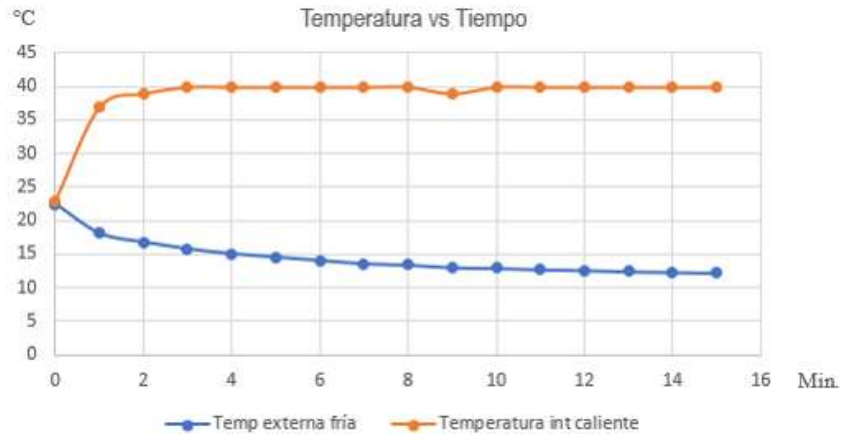


Figura 105. Gráfica del comportamiento térmico de la celda Peltier. Con temperatura inicial de 23°C en cada una de las caras, la temperatura final más baja fue de 12.2°C y la más alta de 40°C

Prueba 2

La siguiente prueba consistió en calentar por dentro el contenedor por medio de la celda, para ello se invirtió el voltaje de polarización y se repitió el mismo procedimiento (Prueba 1). Como resultado se obtuvo la gráfica que se muestra en la Figura 106. La temperatura más alta fue de 88°C mientras que la más baja fue de 22°C, teniendo finalmente una diferencia entre ambas caras de la celda de 66°C.

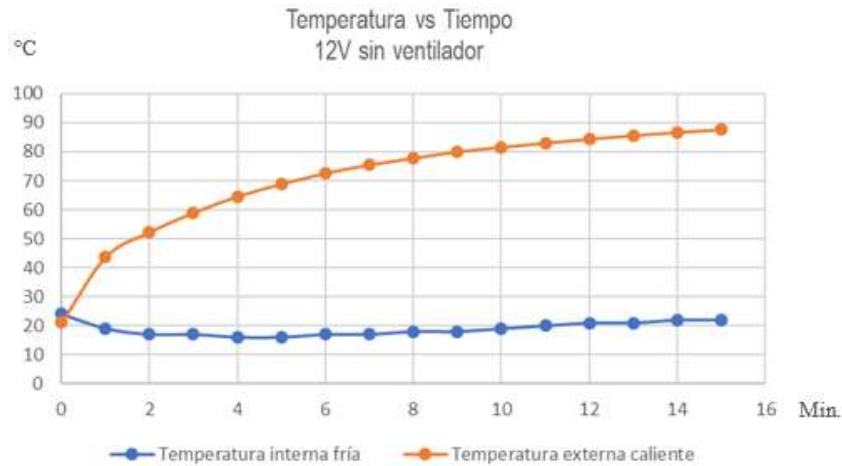


Figura 106. Gráfica de comportamiento, la celda caliente por dentro del contenedor. La temperatura inicial del lado caliente fue de 21°C y el lado frío de 24°C

Una vez realizada la caracterización del comportamiento de la celda Peltier polarizada con su voltaje nominal, se hicieron las pruebas utilizando el PWM con una frecuencia de 50Hz.

Prueba 3

En esta prueba se disminuyó la temperatura interna del recipiente, para ello la celda Peltier se controló por medio del PWM con un ciclo de trabajo del 80% lo que equivale a proporcionar 9.6V promedio, lo cual produjo una temperatura mínima de 5°C y la temperatura más alta que se monitoreó fue de 30°C. La diferencia en temperatura de ambas caras de la celda fue de 25 °C. La temperatura inicial del lado frío fue de 20°C y en el lado caliente de 20.7°C. Con esta prueba queda de manifiesto que es posible disminuir la temperatura del lado frío, lo cual resulta favorable para la

aplicación de refrigeración en estado sólido dentro del contenedor, la Figura 107 muestra esta gráfica.

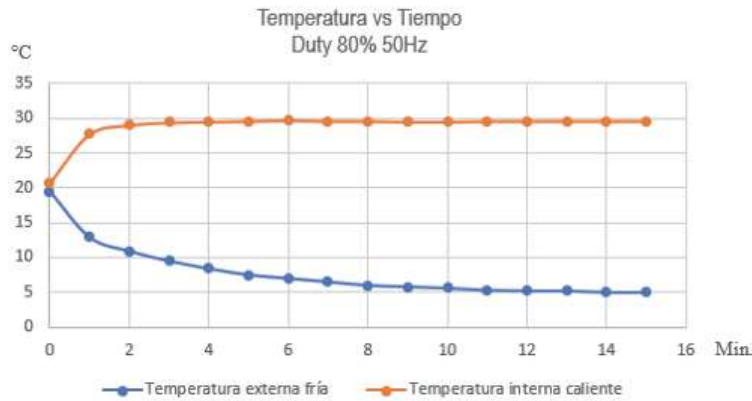


Figura 107. Comportamiento con un ciclo de trabajo del 80%. La temperatura final en la cara fría fue 5° y en la caliente 30°C. Dio una diferencia de temperatura de 25°C.

Prueba 4

La última prueba consistió en calentar el recipiente alimentando la celda Peltier con un ciclo de trabajo del 90% equivalente a 10.8V promedio. La temperatura inicial en ambas caras de la celda fue de 29°C, al transcurrir los 15 minutos la cara que elevó la temperatura dentro del contenedor fue de 64.8°C mientras que el monitoreo de la cara fría dio una temperatura de 24°C. Produciendo una diferencia de temperatura de 40.8°C entre ambas caras dela celda. La gráfica de comportamiento se muestra en la Figura 108.

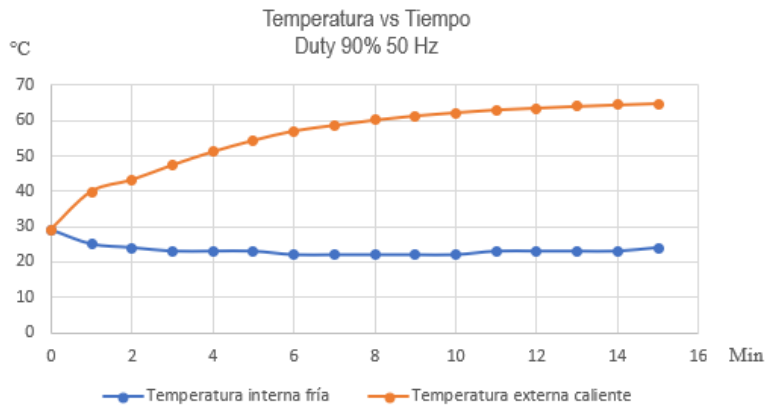


Figura 108. Gráfica de comportamiento con temperatura final fría de 24°C y la temperatura final caliente de 64.8°C. La diferencia fue de 40.8°C.

RESULTADOS

Se comparó la diferencia de temperatura de la cara caliente con respecto a la cara fría para cada prueba realizada y el resultado se muestra en la Figura 109, se puede ver que en la prueba 2 se obtuvo la diferencia máxima de temperatura con un valor de 66°C. Esta prueba elevó la temperatura dentro del recipiente alimentada directamente a 12V sin el uso del ventilador.

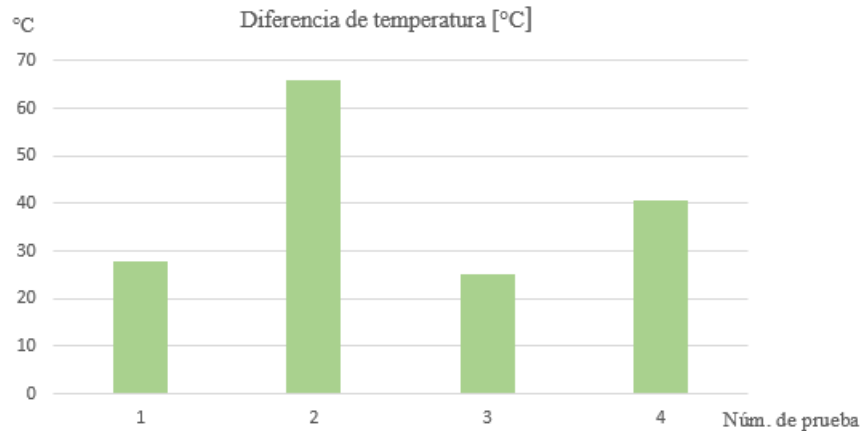


Figura 109. Diferencia de temperatura en cada una de las pruebas de la Celda Peltier.

Con esta comparación se puede observar el salto térmico que tiene la celda Peltier. De acuerdo a datos del fabricante, la celda Peltier tiene un salto térmico de 70°, según (Wilfredo, 2001) en la práctica se tienen perdidas de transferencia de calor entre la celda y su aleta de refrigeración lo que hace difícil alcanzar el salto térmico.

Por último, se observó el tiempo de estabilización del sistema (ver Figura 110). Se puede observar que el tiempo no varía de una prueba con otra, pero la respuesta más rápida fue en la prueba 3 cuando la celda se alimentó con el PWM al 80% para bajar la temperatura dentro del recipiente. Esto se puede comparar con la prueba 1 ya que, en estas dos pruebas se requirió disminuir la temperatura; el tiempo de estabilización fue más lento en la prueba 1 debido a que se alimentó con el valor máximo de voltaje, en cambio en la prueba 3, se controló su alimentación con un PWM con una frecuencia de operación de 50 Hz y con un voltaje promedio de 9.6V.

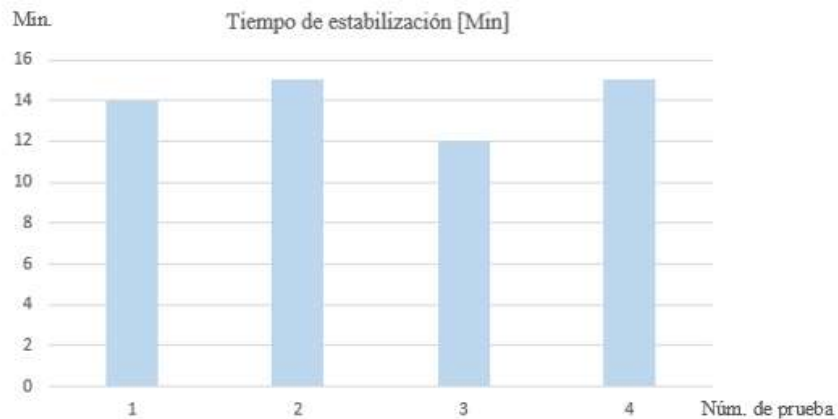


Figura 110. Gráfica de barras que compara el tiempo de estabilización de cada una de las pruebas. La prueba 1 y 3 disminuyeron la temperatura dentro del recipiente, mientras que las pruebas 2 y 4 la elevaron.

CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo se demuestra que los sistemas termoeléctricos son una excelente opción en la refrigeración de estado sólido. De igual manera al presentar un fenómeno reversible es posible emplear el mismo dispositivo tanto para disminuir como para incrementar la temperatura produciendo un amplio rango de control, el cual puede ser desde 5 °C hasta 88 °C.

Se comprobó que el salto térmico varía debido a la extracción de calor del dispositivo termoeléctrico, el cual también depende de factores externos como la temperatura del ambiente y el correcto sellado del recipiente.

El uso de un PWM es una buena opción como controlador de alimentación de una celda Peltier empleada para refrigeración, permite mantener baja la temperatura de operación y con ello se facilita la disipación adecuada de la cara caliente. Sin embargo, al momento de incrementar la temperatura no parece la mejor opción, aunque permite una operación adecuada del dispositivo, no se logran alcanzar los mismos niveles de temperatura que cuando se utiliza con su polarización nominal.

Con este trabajo se busca crear un prototipo que pueda controlar la temperatura para ser usado como refrigeración o calefacción para hacer pequeños sistemas de control de temperatura de bajo consumo, los cuales pudieran ser escalables a mayores dimensiones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Priscila, García Calderón y María, García Durán. depa.fquim.unam.mx. [En línea] 15 de febrero de 2020. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Mat_termoelectricos_23770.pdf.
2. Blancarte Lizárraga, Wilfredo. *EFEECTO PELTIER*. Guadalajara : ITESO, 2001.
3. *Termoelectricidad: uso de las celdas peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones*. Rubio Ramirez, Cristian, Marthey Lizarazo, Guillermo y Emilio, Vela Duarte. 2017, ISSN 2590-8219, págs. 10-17.
4. *Efecto Peltier* . Wilfredo, Blancarte Lizárraga. 2001, Instrumentación Para El Control De Procesos Industriales , págs. 5-9.

PLAN DE NEGOCIOS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE NOPAL CUMPLIENDO CON EL SELLO ORGÁNICO SAGARPA

Ana Lucía Negrete Mundo¹, Ma. Elizabeth Montiel Huerta², Kathy Laura Vargas Matamoros³, Alejandra Torres López⁴

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Apizaco

¹Posgrado en Ingeniería Administrativa del Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala,

^{2, 3, 4} División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala.

¹ analucia.negrete@yahoo.com, ² elizabeth.mh@tecnm.mx, ³ posgradovargas@hotmail.com,

⁴ tesistamia.ale@hotmail.com

RESUMEN

La agricultura orgánica ha tenido un crecimiento exponencial con respecto a las áreas destinadas a su cultivo, así como el número de productores que han optado por las prácticas sustentables. México no es la excepción y considerando que estas prácticas comienzan a tener aceptación, muchas comunidades integradas por campesinos han preferido esta forma de producir sus alimentos, como es el caso del cultivo orgánico de nopal en el Estado de Tlaxcala, el cual ha sido un catalizador para el desarrollo económico de la zona. Con el objetivo de identificar un modelo de comercialización de nopal orgánico, se efectúa un plan de negocio, realizando una investigación de mercados para conocer la aceptación e identificar su demanda. Se lleva a cabo un análisis situacional (FODA), elaborado con información obtenida de los productores y con apoyo de un técnico de SADER en base a su experiencia y conocimiento para determinar las fortalezas y debilidades; además, con datos obtenidos de fuentes oficiales, y del estudio de la competencia se establecen oportunidades y amenazas. Como propuesta de valor se considera la obtención de la certificación "Orgánico SAGARPA México", por lo que se plantean los requisitos que deben cumplir para obtener la certificación. Posteriormente se establece el plan de operación para comercializar nopal orgánico evaluando la disponibilidad de los recursos: materiales, humanos, identificando cada una de las etapas de producción y finalmente se desarrolla un estudio financiero el cual permita determinar el capital económico requerido para llevar a cabo el proyecto, considerando los costos de certificación, por lo que se analiza el flujo de efectivo, los costos de producción, el valor presente neto y la tasa interna de retorno lo cual avale la viabilidad del proyecto. El 85% de los encuestados muestran una disposición a consumir nopal orgánico. De los encuestados que desearían adquirir nopal orgánico expresaron como principal motivación el cuidado de la salud el 11%; por el cuidado del medio ambiente 10%; su preocupación por el uso de químicos y pesticidas 37% y el 15% buscan productos 100% naturales. La disposición para adquirir nopal orgánico recae en un 38% y 47%, como muy dispuestos y dispuestos respectivamente. Finalmente los consumidores aceptan pagar el sobreprecio del producto orgánico al obtener un producto de calidad. En el análisis FODA se determinó que se requiere la promoción del producto en plataformas digitales, dando a conocer los beneficios del nopal orgánico. De acuerdo al estudio técnico se determinó que el establecer una empacadora ayudará a los productores a mejorar su productividad y llegar a un nuevo segmento de mercado. En el estudio financiero se observa que se recupera la inversión inicial, por lo que se considera que el proyecto es viable.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades más importantes por lo que el impulsar la producción es fundamental para la economía del país. En México se tiene que el 40% del territorio está destinado a la producción agropecuaria, esto implica una gran responsabilidad para los agricultores ya que el producir de forma responsable y consciente evitará daños a los suelos y mantos acuíferos, así como la erosión y deforestación. Estos daños están directamente relacionados con el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, teniendo un desequilibrio nutrimental del suelo; aunado a esto, los trabajadores agrícolas y aplicadores de pesticidas se mantienen constantemente en riesgo de intoxicación aguda o tóxica por inhalación, causándoles terribles daños ya sea a corto o largo plazo.

Si bien es sabido que el consumo de frutas y hortalizas brinda beneficios generales para la salud, estos beneficios podrían verse cuestionados por los efectos adversos que generan la agroindustria y sus contaminantes, entrando en controversia su consumo. Los posibles efectos negativos de los residuos de plaguicidas en la dieta y en la salud del consumidor no deberían utilizarse como argumento para reducir el consumo de frutas y verduras. Tampoco se deben usar los contenidos de nutrientes para justificar exposiciones a pesticidas. Por lo que una alternativa para proteger los ecosistemas, los trabajadores y consumidores en general es evitar el uso de químicos y pesticidas en su producción, es optar nuevas prácticas orgánicas en la agricultura.

Es necesario estudiar a profundidad el sector productor de México y de manera particular la organización agrícola de nopal en el estado de Tlaxcala para entender las condiciones actuales que viven dichos grupos campesinos en el país.

El nopal representa un producto básico en la alimentación de la población en México con un consumo per cápita de 6.3 kilogramos y una producción nacional promedio anual de 785 mil toneladas (SIAP, 2018). El nopal en México cada vez cobra mayor importancia como alternativa económica y de producción dentro de zonas marginales para los cultivos básicos, con poco riesgo para obtener cosechas en años, con menor cantidad o distribución atípica de la lluvia. La mayor superficie establecida con nopal tuna, corresponde al estado de México, con cerca de 14,800 ha y el Distrito Federal con 4,300 ha en nopal verdura. En el estado de Tlaxcala, existen aproximadamente 145 ha entre ambos productos, sin embargo, presenta zonas de alto potencial para su cultivo (Centro y Sur del Estado), ubicadas en zonas importantes de distribución, consumo y con avances en la producción orgánica (INIFAP, 2010).

Gran parte de esta agricultura es sostenida por pequeños productores, aquellos que reivindican los procesos tradicionales, nutren la organización y participación local y dependen en gran medida de los recursos ofrecidos por el medio ambiente.

El presente trabajo pretende mostrar el impacto al migrar de un proceso agrícola convencional a un proceso agrícola orgánico para la comercialización de nopal en el estado de Tlaxcala, logrando un desarrollo sustentable, que pueda brindar al productor del campo ingresos mayores a los obtenidos actualmente, mejorando la calidad de vida de los productores, sustituyendo los insumos químicos por mayor mano de obra, generando fuentes de empleo, buscando que dispongan de un entorno laboral sano, y que se tenga mayores niveles de productividad por hectárea trabajada. Es así que para el logro del objetivo general del presente estudio se propusieron los siguientes objetivos específicos: Realizar una investigación de mercados para conocer la aceptación del nopal orgánico, identificando el mercado meta de este producto para efectuar las estrategias necesarias para su comercialización. Llevar a cabo un análisis situacional (FODA) que estructure la información para establecer las estrategias ofensivas, defensivas, de supervivencia y de reordenamiento necesarias para cumplir con los objetivos empresariales planteados. Establecer el plan de operación para comercializar nopal orgánico evaluando la disponibilidad de los recursos: materiales, humanos e identificar cada una de las etapas de producción. Desarrollar un estudio financiero el cual permita determinar el capital económico requerido para llevar a cabo el proyecto y avale su viabilidad.

TEORÍA

Plan de negocio

En los negocios, el riesgo siempre se encuentra presente, no obstante, el camino de una empresa que comienza sin la preparación adecuada tiende a ser fortuito. Simplemente no hay forma de eliminar todos los riesgos que conlleva el inicio de un nuevo emprendimiento, pero se puede aumentar la posibilidad de éxito con la elaboración de un plan de negocio el cual conducirá a realizar una buena planificación, preparación y conocimiento para su emprendimiento.

Longenecker, Petty, Palich, & Hoy, (2012), describen el plan de negocio como un documento que delinea el concepto esencial sobre el que una empresa se fundamentará y que refleja la forma en que se materializará dicho concepto. El plan de negocio debe presentar la idea básica de su iniciativa de emprendimiento y detallar cuestiones como en donde se encuentra ahora, hacia a donde desea llegar y como pretende hacerlo.

Poner en marcha una iniciativa de emprendimiento, conlleva un plan de negocio, por lo que es sustancial considerar los siguientes puntos:

1. Identificar la naturaleza y el contexto de la oportunidad de negocio es decir, ¿por qué existe tal oportunidad?
2. Delinear el enfoque que el emprendedor planea utilizar para aprovechar tal oportunidad.
3. Reconocer los factores que determinaran si la iniciativa de emprendimiento será exitosa.

En otras palabras, un plan de negocio es una herramienta para exponer las metas y estrategias que los agentes internos de la empresa utilizaran, y para ayudar a desarrollar las relaciones con personas externas (inversionistas y otras) que podrían ayudar a la empresa a alcanzar sus metas.

Estudio de mercado

La investigación de mercados es la recopilación, el registro y el análisis sistemático de datos concernientes a los problemas relacionados con la comercialización de bienes y servicios. La investigación de mercados ayuda a descubrir fortalezas y debilidades fundamentales. Los investigadores de mercados emplean numerosas escalas, instrumentos, procedimientos, conceptos y técnicas para reunir información. Las actividades de investigación de mercados apoyan todas las funciones importantes del negocio de una organización. Las organizaciones que poseen excelentes habilidades de investigación cuentan con una fortaleza específica cuando buscan estrategias genéricas (Fred, 2008).

El estudio de mercado no solo se ha de limitar a introducir un producto al mercado, se debe considerar el segmento a quien se debe dirigir dicho producto, se busca además, encontrar la posición estratégica para su distribución, la asignación de precio que mantenga un enfoque flexible y competitivo y la promoción adecuada para persuadir al cliente meta al consumo del producto.

Análisis situacional (FODA)

El análisis FODA es una herramienta analítica para trabajar, con información limitada sobre la empresa o institución, en las etapas de diagnóstico o análisis situacional con miras a la planeación integral. Es un modelo sencillo y claro que provee dirección, y sirve como base para la creación y el control de planes de desarrollo de empresas y de comercialización.

Esto se logra evaluando las fuerzas y debilidades de la organización, además de las oportunidades y amenazas. El principal aporte del análisis FODA consiste en la separación analítica de los efectos del medio ambiente en dos partes: una interna y otra externa (Díaz, 2005).

Estudio técnico

Los objetivos del análisis técnico-operativo de un proyecto son los siguientes: Verificar la posibilidad técnica de la fabricación del producto que se pretende elaborar. Analizar y determinar el tamaño, la localización, los equipos, las instalaciones y la organización óptimos requeridos para realizar la producción. Resolver las preguntas referentes a dónde, cuánto, cuándo, cómo y con qué producir lo que se desea, por lo que el aspecto técnico-operativo de un proyecto comprende todo aquello que tenga relación con el funcionamiento y la operatividad del propio proyecto (Baca , 2016).

Estudio financiero

La última etapa es el análisis de viabilidad del proyecto es el estudio financiero. Los objetivos de esta etapa son ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionaron las etapas anteriores, elaborar los cuadros analíticos y datos adicionales para la evaluación del proyecto y estudiar los antecedentes para determinar su rentabilidad (Sapag, Sapag, & Sapag, 2014).

Propuesta de valor: Certificación Orgánica

La normatividad fundamentada en una serie de principios filosóficos y agroecológicos surgió como necesidad de proteger a productores y consumidores de fraudes y competencia desleal. La normatividad y las agencias de certificación surgieron para regular la producción y asegurar que todos aquellos productos etiquetados como orgánicos hubieran efectivamente cumplido una serie de prácticas establecidas en los principios orgánicos (Orona, Salazar, & Fortis, 2009).

SAGARPA (2016) declara el proceso a seguir para cumplir con el "Sello Orgánico SAGARPA México": a) Implementar las prácticas orgánicas: Revisarlas en el Acuerdo por el que se dan a conocer los Lineamientos para la Operación Orgánica de las actividades agropecuarias. b) Periodo de conversión: toda unidad productiva tiene que pasar por un periodo de conversión antes de poder

certificarse. Dependiendo del tipo de unidad productiva, dicho periodo variará entre uno y tres años. c) Plan orgánico: cada productor/operador que desee producir, certificar y comercializar sus productos como orgánicos deberá establecer un plan orgánico en el que se describan en su totalidad las actividades realizadas en su unidad productiva. d) Contactar a un Organismo de Certificación Orgánica (OCO) aprobado por el SENASICA: a la par de los pasos anteriores, los productores que deseen producir, certificar y comercializar sus productos como orgánicos deberán acercarse a un OCO aprobado por el SENASICA, quien a su vez los guiará a través del proceso de certificación. e) Certificación de productos orgánicos: una vez cubiertos los puntos anteriores, el OCO seleccionado realizará al menos una inspección orgánica en la que se verificará el cumplimiento de los pasos, de no haber observaciones, emitirá la certificación correspondiente para el uso del Distintivo Nacional de los productos orgánicos. Con el fin de que los consumidores puedan distinguir un producto certificado se creó el distintivo Sello Orgánico como se muestra en la ilustración 1.



Ilustración 4 Sello Orgánico SAGARPA
Fuente: SADER, (2020)

Consejo Integral de Productores de Nopal y Tuna de Tlaxcala, A.C.

Es un organismo que agrupa y representa a los productores de tuna y nopal en el Estado de Tlaxcala. Representa a todos los socios productores de tuna y nopal verdura; además de exponer la problemática y necesidades que los productores tienen en materia de producción, comercialización, asistencia técnica, infraestructura y equipo, vinculación con Fundación Produce, SAGARPA y SENASICA, capacitaciones, entre otros.

Uno de los objetivos del Consejo Integral de productores de Nopal Tuna A.C., es apoyar a los productores agremiados al sistema en la venta de sus productos; mediante la búsqueda de canales de comercialización, con el claro afán de contribuir a la capitalización de las unidades de producción, así mismo darle valor agregado al producto mediante la industrialización y/o transformación.

Con lo que respecta a la superficie destinada a la producción de nopalito orgánico, en el estado existen menos de 145 has, sin embargo, esta poca área representa al mismo tiempo una oportunidad para su desarrollo. Por lo que el Consejo Estatal busca crear un cambio en el sistema de producción de nopal verdura, para evitar la erosión de suelos y al mismo tiempo aumentar la rentabilidad al incorporar sus productos al sistema Orgánico SAGARPA.

PARTE EXPERIMENTAL

El proyecto se lleva a cabo para el Consejo Integral de Productores de Nopal y Tuna AC. con un total de 25 productores. Cada productor cuenta con una superficie promedio de 5,000m², distribuidos en diferentes municipios del Estado de Tlaxcala.

El estudio tiene un enfoque cuantitativo, en el cual se acopian y analizan datos relevantes sobre variables. Para llevar a cabo el plan de negocio se considera desarrollar una investigación exploratoria, como lo indica Sampieri (2010), los estudios exploratorios sirven para preparar el terreno y por lo común anteceden a investigaciones con alcances descriptivos, correlacionales o explicativos.

Iniciando con el estudio de mercados se busca conocer la aceptación del nopal orgánico para poder identificar el mercado meta de este producto y así llevar a cabo las estrategias necesarias para su comercialización. El estudio se lleva a cabo en el municipio de San Andrés Cholula puesto que se

considera un área conurbada a la zona metropolitana de Puebla que ha presentado un crecimiento económico y demográfico relativamente alto. El mercado meta al que se busca llegar son los consumidores que realizan su compra habitual en supermercados por lo que se identifican los establecimientos de mayor dimensión. Para realizar las encuestas a los consumidores se consideran como variables las 4 P de la mercadotecnia: producto, precio, plaza y promoción. Esta investigación se lleva a cabo mediante un cuestionario utilizando la escala de Likert para conocer el grado de aceptación del producto. Para determinar el tamaño de la muestra se tiene que es una población finita, con un nivel de confianza del 95% y un error de estimación del 5%, se considera una participación de mercados del producto aproximadamente al 30%, de acuerdo a la ecuación 1.

$$n = \frac{\sigma^2 N p q}{e^2 (N - 1) + \sigma^2 p q} \quad (2)$$

Donde $n = (1.96^2 * 586 * 0.30 * 0.70) / (0.05^2 (586 - 1) + 1.96^2 * 0.30 * 0.70) = n = 208$ personas

El tamaño de la muestra es de 208 encuestas que se aplican a los consumidores en los supermercados. La validación del instrumento se llevó a cabo mediante el método de coeficiente de fiabilidad Alfa de Cronbach, dando una confiabilidad del 77.3% el cual se encuentra dentro del rango aceptable.

La comercialización de productos agrícolas orgánicos inicia con la decisión de los agricultores de transformar su proceso agrario tradicional a orgánico para la venta, comprendiendo todas las operaciones económicas y productivas, para adecuarlos a las necesidades de los consumidores y moverlos desde la explotación agrícola hasta el consumidor final, agregándole utilidades de espacio (transporte), de tiempo (almacenamiento), de forma (industrialización, envase y normatividad) y de posicionamiento, que los hacen más aptos para el consumo humano.

Una vez interpretados los resultados de la encuesta, se lleva a cabo el Análisis Situacional FODA posteriormente se efectúa la evaluación de los Factores Internos EFI y de los Factores Externos EFE, para desarrollar el análisis estratégico.

Se lleva a cabo la planeación del proceso técnico donde se propone establecer una empacadora para que los productores puedan trabajar de forma conjunta y vender directamente sus productos al mercado meta, a través del estudio técnico se determina la localización por el método de centro de gravedad considerando los municipios productores en Tlaxcala y el municipio a distribuir (San Andrés Cholula, Puebla); la capacidad de proceso de la planta se proyecta de acuerdo a los resultados del estudio de mercado y por último el diseño de la planta se determina a través de un diagrama de flujo de acuerdo a los requerimientos de la producción.

En la evaluación financiera se establecen los costos de operación, administración y distribución con la finalidad de constatar la viabilidad de la empresa, certificando la rentabilidad, solvencia y liquidez de la iniciativa, para ello se utilizan indicadores financieros como VAN (Valor actual neto), TIR (Tasa interna de retorno) y B/C (Relación beneficio costo) que determinarán si la inversión propuesta será económicamente rentable.

RESULTADOS

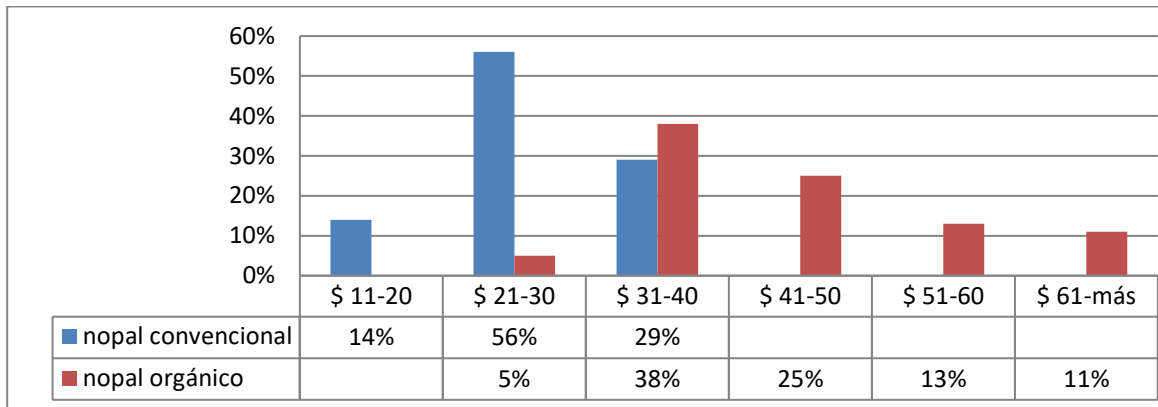
Se realizó el estudio de mercado en el municipio de San Andrés Cholula para investigar la demanda del nopal orgánico. La información se recabó con los consumidores de los centros comerciales más importantes del municipio.

De la muestra de 208 encuestas que se aplican a los consumidores en los supermercados, se tiene como resultado que el 54% tiene un consumo de nopal 5 veces al mes o más, 19% 4 veces al mes y 13% 3 veces al mes respectivamente.

De los que desearían adquirir nopal orgánico expresaron como principal motivación su preocupación por el uso de químicos y pesticidas 37%; el cuidado de la salud el 11%; por el cuidado del medio ambiente 10%; finalmente, el 15% porque buscan productos 100% naturales.

La disposición para adquirir nopal orgánico recae en un 38% y 47%, como muy dispuestos y dispuestos respectivamente, el 6% menciona que quizá compre nopal orgánico; el 1% y 7% determinan que están poco dispuestos y que no consumirían nopal orgánico.

Finalmente en el análisis de precio los consumidores consideran pagar un sobrepeso de los productos orgánicos al saber que es un producto de calidad y seguro para su consumo como se muestra en la gráfica 1.



Gráfica 1 Precio que estarían dispuestos a pagar por 1kg de nopal convencional y orgánico
Fuente: Elaboración propia, (2020)

En la tabla 1 se muestra la frecuencia de compra que presentan los 208 consumidores. Con un mercado potencial de 8,113 consumidores en San Andrés Cholula, se tiene que el 85% de los encuestados muestran una disposición a consumir nopal orgánico, por lo que se tiene un mercado objetivo de 6,896 consumidores, como lo indica la ecuación 2; la cantidad de nopal orgánico que la población estaría dispuesta a consumir es de 167,891kg, es decir, 167.9 toneladas al año, de acuerdo a la ecuación 3.

$$8,113 * 85\% = 6896 \text{ consumidores} \tag{3}$$

$$\frac{6,896 * 5,064}{208} = 167,891 \text{ kg} \tag{4}$$

Tabla 34 Frecuencia de consumo de nopal de los consumidores

Frecuencia de Consumo al mes	Total Consumidores	Consumo Mensual (kg)	Consumo anual (kg)
1	12	6	72
2	19	19	228
3	26	39	468
4	39	78	936
5	112	280	3360
Total	208	422	5,064

Fuente: Elaboración propia, (2020)

Para la fijación de precios se consideran como factores los costos de manufactura, materia prima, mano de obra, certificación orgánica, servicios generales, empaque y transporte, entre otros, dando un costo de producción de \$13.21/kg. En el análisis de la competencia se determinó que el nopal orgánico se comercializa a un precio de \$85.5/kg en San Andrés Cholula. Por lo que basándose en los costos de producción y el análisis de la competencia se determina que el precio del producto es de \$40.00/kg. Sin embargo se pretende ofrecer en una presentación de 500g (seis piezas), en un empaque de cartón con una película que proteja al producto y permita que el consumidor pueda observar la calidad del producto, al empaque se le imprime información sobre los productores, el sello orgánico e información de interés sobre el nopal orgánico.

En el análisis situacional FODA se contó con información obtenida de los productores y con apoyo de un técnico de SADER en base a su experiencia y conocimiento para determinan las fortalezas y

debilidades; además, con datos recabados de fuentes oficiales, y del estudio de la competencia se establecen oportunidades y amenazas, los resultados obtenidos, en forma general, fueron:

Debilidades: Falta de estrategias de comercialización, rendimiento por hectárea menor que la producción convencional, altos costos de certificación, limitantes de capital para el crecimiento productivo, mano de obra insuficiente para crecer la producción y discrepancias en la organización entre productores.

Fortalezas: Tierras propias, conocimiento de los procesos de cultivo orgánico, capacidad de producir a contra estación con túneles e invernaderos, generar productos libres de químicos, apertura en un nuevo mercado con un producto certificado bajo un marco regulatorio, resistencia del nopal a diversas condiciones climáticas, certificación agroecológica en proceso, cuentan con capacitación de buenas prácticas agrícolas, se trabaja bajo pedido evitando mermas, el producto que no cumple con las especificaciones se utiliza para forraje y mano de obra especializada.

Amenazas: Empresas orgánicas ya certificadas, poco conocimiento del consumidor respecto a la certificación orgánica, fenómenos climáticos que dañan las cosechas, alta competencia con empresas ya certificadas y con mayor experiencia, diferencia de precios con productos convencionales e intermediarios que obtienen la mayor ganancia.

Oportunidades: La demanda de productos orgánicos creciente tanto en el mercado nacional como internacional, alto consumo de nopal en el mercado nacional, generar una mayor conciencia y sensibilidad ambiental, efectos positivos en el equilibrio de los agro ecosistemas buscando una sostenibilidad a largo plazo, la venta de este producto podría ayudar a mejorar la calidad de vida de los productores y de la población en general de los municipios, autonomía y redes de comercio justo, desarrollo de mercados regionales y locales y que sean capaces de involucrar a los pequeños productores.

Al profundizar en los resultados del análisis FODA y a través de la ponderación de la evaluación de los Factores Internos EFI y de los Factores Externos EFE de los pequeños productores de nopal, objeto de estudio, se puede considerar los principales problemas que enfrentan son: Falta de estrategias de comercialización y diferencia de precios con productos convencionales

Para lograr contribuir al crecimiento y sustentabilidad de las empresas, se proponen las siguientes estrategias: 1. Como herramienta de promoción se propone desarrollar un sitio de internet, a través del cual se dé a conocer el consejo, presentar los productos que se ofertan; además de promoción en redes sociales donde se mantiene informado al consumidor y se comparte información de interés para que puede encontrar los productos en la calidad, cantidad y al precio de conveniencia. 2. Estrategia de diferenciación de productos, la calidad es un aspecto de la descripción de producto que los clientes valoran cada vez más. Las características del producto que asocian con la calidad incluyen confiabilidad, durabilidad, facilidad de uso y un nombre de marca confiable.

Para determinar la localización de una empacadora de nopal verdura se consideran los productores que ya cuentan con un registro agroecológico de sus tierras lo que ayuda como un avance preliminar para la certificación Orgánica. Se lleva a cabo el método de centro de gravedad a partir de la ecuación 2 y 3 de acuerdo a las coordenadas (x,y), considerando los cuatro municipios productores y el municipio a distribuir, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 35 Municipios seleccionados para el estudio de Centro de Gravedad

Municipio	Longitud (x)	Latitud (y)	Volumen (millares/semana)
Atlangatepec	-98.2042	19.533	15
Santa Cruz	-98.1333	19.35	5
Santa Ana Chiautempan	-98.1898	19.3616	6
San Francisco Tepeyanco	-98.2333	19.2458	10
San Andrés Cholula	-98.29617	19.04802	200

Fuente: Elaboración propia, (2020)

$$C_x = \frac{W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 + W_4X_4 + W_5X_5}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5} \tag{ 5 }$$

Donde $C_x = ((15 \cdot -98.2042) + (5 \cdot -98.1333) + (6 \cdot -98.1898) + (10 \cdot -98.2333) + (200 \cdot -98.29617)) / (15 + 5 + 6 + 10 + 200) = -98.2000361$

$$C_y = \frac{W_1Y_1 + W_2Y_2 + W_3Y_3 + W_4Y_4 + W_5Y_5}{W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5} \tag{ 6 }$$

Donde $C_y = ((15 \cdot 19.533) + (5 \cdot 19.35) + (6 \cdot 19.3616) + (10 \cdot 19.2458) + (200 \cdot 19.04802)) / (15 + 5 + 6 + 10 + 200) = 19.399238$

Se debe de instalar la nueva empacadora de acuerdo a las coordenadas (19.399238, -98.2000361) en Yauhquemecan, Tlaxcala, para lograr eficiencia en entrega y movimientos. Evaluando las características de la localidad se considera viable debido a que cuenta con cuatro grandes vías de comunicación (Carretera Puebla-Tlaxcala, Calpulalpan-Apizaco, Libramiento Huamantla y Apizaco-Tlaxcala), además de contar con los servicios necesarios para su puesta en marcha como es vías de comunicación disponibles para proveedores y distribución, medios de transporte, servicios públicos y privados necesarios como luz, agua, drenaje y combustibles, así como condiciones climáticas favorables.

Con la información colectada se preparó un diagrama de flujo, basado en el proceso requerido para el empacado de nopal. Identificando los procesos claves, se establece el orden lógico de cada etapa, con el fin de garantizar mejoras sustanciales en la productividad, este se muestra en la ilustración 2.

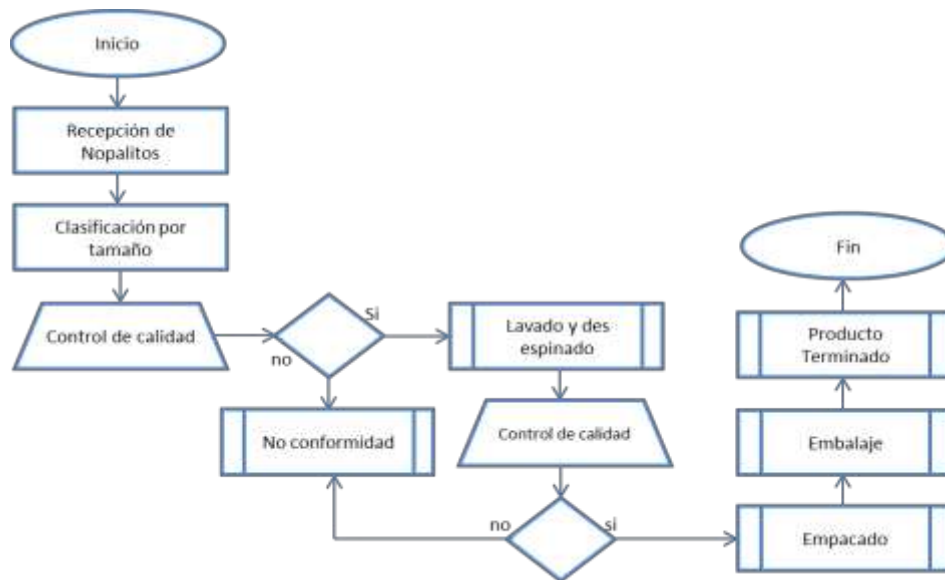


Ilustración 5 Diagrama de flujo para el empacado de nopal
Fuente: Elaboración propia (2020).

En lo que respecta al estudio financiero se plantea como primera etapa el cálculo de las necesidades de inversión como se muestra en la tabla 3, donde se tiene una inversión inicial total de \$2,404,239.00 para establecer la empacadora.

Tabla 36 Inversión Inicial del proyecto

Inversión de Activos Fijos		Unidades	Precio unitario	Precio total	Subtotal
Terreno		1	739,200.00	739,200.00	1,939,200.00
Obra		1	1,200,000.00	1,200,000.00	
Equipos de trabajo	Mesas de trabajo	3	10,400.00	31,200.00	188,000.00
	Tina de lavado	1	6,000.00	6,000.00	
	Bascula	1	800.00	800.00	
	Maquinaria desespinnadora	1	60,000.00	60,000.00	
	Camioneta	1	90,000.00	90,000.00	
Mobiliario Administrativo	Escritorio	2	2,000.00	4,000.00	44,000.00
	Computadora e impresora	2	15,000.00	30,000.00	
	Silla de escritorio	2	1,000.00	2,000.00	
	Silla de visitas	4	500.00	2,000.00	
	Teléfono	2	1,000.00	2,000.00	
	Librero	2	2,000.00	4,000.00	
Inversión de Activo Diferido				Costo	Costo Total
Certificación				37,111.00	233,699.00
Análisis				12,036.00	
Planeación e integración				65,136.00	
Ingeniería de Proyectos				75,992.00	
Supervisión				32,568.00	
Administración del proyecto				10,856.00	
Inversión Inicial Total					

Fuente: Elaboración propia, (2020).

Los costos de insumos se determinan por la cantidad producida para formular un juicio acertado del proceso productivo de la empaquetadora. En la tabla 4 se muestran los costos por unidad de operación con un costo anual de \$1,523,652.32

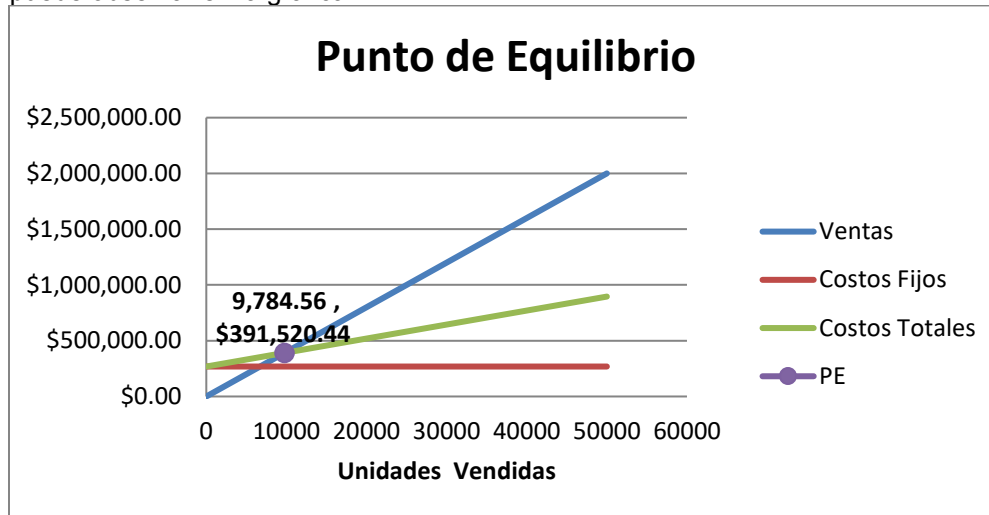
Tabla 37 Costos totales de operación en la empresa

Costo Anual		
Producción	Materia prima	361,080.00
	Empaque y embalaje	471,410.00
	Mano de obra	389,164.00
	Mantenimiento	36,108.00
	Servicios	18,054.00
	Certificación	37,111.00
	Análisis	12,036.00
Administración	Gastos administrativos	60,180.00
	Sueldo	65,195.00
Ventas	Mercadotecnia	40,000.00
	Transporte	33,314.32
Total		1,523,652.32

Fuente: Elaboración propia, (2020).

Se determina la depreciación que sufren los activos tangibles en un periodo de evaluación de cinco años, la depreciación de los activos se determina de acuerdo al Diario Oficial de la Federación 2020, encontrando que activos como la bodega y maquinaria cuentan con una vida útil mayor de 20 y 10 años respectivamente; mientras que equipos como mobiliarios de oficina y vehículos tienen una vida útil menor de 3 y 5 años respectivamente. Por lo que se establece que la empresa tendrá un deceso en el valor de sus activos fijos depreciables de \$419,396.40 a los cinco años.

El punto de equilibrio está en vender 9,784.6 kilogramos de nopal orgánico, con un precio de venta unitario de \$40.00, aquí es donde los costos totales son iguales a los ingresos, por lo tanto, todas las ventas que superen ese número de unidades vendidas serán consideradas como ganancias, lo cual se puede observar en la gráfica 2.



Gráfica 2 Punto de Equilibrio
Fuente: Elaboración propia, (2020)

En el Balance General se muestran las inversiones y las fuentes de financiamiento que emplea la entidad económica. En un proyecto de inversión se formula el estado de situación financiera para conocer el monto de la inversión, determinando la cantidad de recursos que la actividad empresarial requerirá y establecer de dónde provendrán los recursos necesarios para la adquisición de los activos que necesita el proyecto de inversión (Morales & Morales, 2009).

Tabla 38 Balance General Proforma

CONSEJO INTEGRAL DE PRODUCTORES DE NOPAL Y TUNA A.C.			
Balance General Inicial			
ACTIVOS		PASIVOS	
Activo Circulante		Proveedores	471,410.00
Caja	322,600.00	Créditos Bancarios	210,600.00
Cliente	4,000,000.00	Total Pasivo	682,010.00
Almacén	479,336.00		
Activo Diferido	233,699.00		
Activo Fijo		CAPITAL	
Equipo de producción	188,000.00	Capital Social	2,524,825.00
Equipo de oficinas y ventas	44,000.00	Resultado del ejercicio	4,000,000.00
Terreno y obra civil	1,939,200.00	Total Capital	6,524,825.00
Total Activo	\$7,206,835.00	Pasivo + Capital	\$7,206,835.00

Fuente: Elaboración propia, (2020)

En toda inversión que se realiza es preciso recuperar el monto de la inversión y, en este caso, mediante las utilidades que genera la inversión. De esta manera, los beneficios netos más la depreciación y la amortización por cada uno de los años en el horizonte de tiempo que se considera durará la inversión, son el elemento de recuperación financiera del proyecto de inversión (Morales & Morales, 2009). La información necesaria para calcular los flujos netos de efectivo se obtienen de los estados financieros proyectados como se muestra en la tabla 6.

El Valor presente neto (VAN) busca determinar el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial; vemos que el Valor Presente Neto de la inversión en este momento es de \$4,005,686.78 pesos, con una tasa de descuento del 14.37%. Al ser un VAN positivo, es conveniente realizar la inversión.

El cálculo de la TIR se obtiene al hacer $VPN = 0$, por lo que la TIR para el proyecto es de 64.9%. Como la TIR $64.9\% \geq TMAR 14.37\%$, se acepta el proyecto.

Otro criterio tradicionalmente utilizado en la evaluación de proyectos es la razón beneficio-costos (RCB). Al tener un resultado de Costo Beneficio de 1.26 se acepta la inversión y el proyecto es viable debido a que los ingresos superan los egresos.

Tabla 39 Flujo de caja (en \$) proyectado con financiamiento, para la planta empacadora de nopal orgánico

Consejo Integral de Productores de Nopal y Tuna A.C.					
Estado de Ingresos y Egresos Proyectados (5% De Crecimiento) sin Inflación, con Producción Variable del 2020 Al 2025					
CONCEPTO	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Producción	109,200.0	114,660.0	120,393.0	126,412.6	132,733.2
	0	0	0	5	8
Tasa de Crecimiento Anual	5%	5%	5%	5%	5%
Precio de Venta Unitario (PVU)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
(+) Ingresos Totales Anuales (IT)	\$4,368.00	\$4,586.40	\$4,815.72	\$5,056.50	\$5,309.33
	0.00	0.00	0.00	6.00	1.30
(-) Costo Variable Total Anual (CV)	1,275,816.00	1,339,606.80	1,406,587.14	1,476,916.50	1,550,762.32
(-) Costo Fijo Total Anual (CFT)	247,836.32	260,228.14	273,239.54	286,901.52	301,246.60
(-) Costo Financiamiento (CFIN)	34,978.56	28,710.11	11,119.04	-	-
(=) Costos Totales (CT) =CV+CFT+CFIN	\$1,558.63	\$1,628.54	\$1,690.94	\$1,763.81	\$1,852.00
	0.88	5.05	5.72	8.02	8.92
(=) Utilidad Antes de Impuesto (UAI)=IT-CT	\$2,809.36	\$2,957.85	3,124.774	\$3,292.68	\$3,457.32
	9.12	4.95	.28	7.98	2.38
(-) ISR (35%)	983,279.19	1,035,249.23	1,093,671.00	1,152,440.79	1,210,062.83
(-) RUT (10%)	280,936.91	295,785.50	312,477.43	329,268.80	345,732.24
(=) Egresos Totales Anuales (ET)	\$2,822.84	\$2,959.57	\$3,097.09	\$3,245.52	\$3,407.80
	6.98	9.78	4.15	7.61	3.99
(=) Utilidad Neta (UI)= UAI-ISR-RTU	\$1,545.15	\$1,626.82	\$1,718.62	\$1,810.97	\$1,901.52
	3.02	0.22	5.85	8.39	7.31
(+) Depreciación Anual	88,678.80	88,678.80	88,678.80	76,680.00	76,680.00
(-) Pago a Principal o Capital	34,978.56	28,710.11	11,119.04	-	-
(=) Flujo Neto de Efectivo	\$1,598.85	\$1,686.78	\$1,796.18	\$1,887.65	\$1,978.20
	3.26	8.91	5.61	8.39	7.31
Valor Presente Neto (14.37%)	\$4,005.68				
	6.78				
TIR	64.9%				

Fuente: Elaboración propia, (2020)

CONCLUSIONES

La certificación orgánica es la mejor manera para apoyar tanto a productores como consumidores para que los alimentos que lleguen a las mesas, cuenten con la certeza de que se tratan de productos orgánicos, libres de agentes tóxicos que pueden poner en riesgo la salud y el cuidado del medio ambiente.

En la investigación se determinó como mercado meta a consumidores que realicen sus compras habituales en los Centros comerciales ubicados en el municipio de San Andrés Cholula, Puebla.

Se estableció el precio de venta de \$40.00/kg, debido a que en el estudio de mercado se demostró la amplia disposición de los consumidores a pagar un sobrepago por un producto de calidad, además del análisis con la competencia.

La forma en que se hará llegar el producto al consumidor es en un empaque vistoso, con información sobre el nopal, su origen y certificación; el empaque cuenta con las normas establecidas de alimentos empacados, con una capacidad de 500g.

Los consumidores tienden a iniciarse en el comercio orgánico, motivados principalmente por cuestiones de cuidado a la salud, además este tipo de productos apoyan a los productores con un comercio justo con productos de calidad.

El análisis FODA ayudó a brindar las herramientas para identificar las áreas débiles y oportunidades de mejora, encontrando que la falta de estrategias para atender nuevos mercados y dar a conocer los productos, es una barrera que limita el crecimiento del negocio. Es por ello que se llevó a cabo la creación de una página web, pues al contar con presencia en la red, se tiene la posibilidad de ser visto por una gran cantidad de potenciales clientes, además de que ayuda a fortalecer la comunicación con el cliente.

En el análisis técnico se propone el establecer una empacadora para que los productores puedan trabajar de forma conjunta y vender directamente sus productos al mercado meta, buscando la reducción de costos, así como tener capacidad de negociación con clientes, proveedores y organizaciones.

Se estudia la localización óptima con las características necesarias para su asentamiento, considerando las distancias entre productores y puntos de venta potenciales, esperando favorecer la línea de distribución. Tomando como referencia el análisis de microlocalización y macrolocalización, las vías de comunicación, el desarrollo de la región y los servicios necesarios para su puesta en marcha, se determinó que la planta física debe situarse en Yauhquemecan, Tlaxcala, para lograr eficiencia en entrega y movimientos.

Para el asentamiento de la planta se determinó cada una de las áreas con las que deberá contar, así como los requisitos de infraestructura para llevar a cabo cada una de las actividades. Por medio de un estudio de distribución de planta, y la aplicación de la herramienta de diagrama de relaciones, se determina su distribución adecuada de la planta, que favorecerá a reducir tiempos y movimientos. El estudio económico presentó resultados favorables, ya que se puede observar que desde el primer año de operaciones la empresa es rentable: La inversión inicial total para el proyecto es de \$2,404,239.00 incluyendo los activos fijos y diferidos. El punto de equilibrio indica que se deben vender 9,784.6 kilogramos de nopal orgánico, lo que equivaldría a \$391,520.44 para comenzar a generar utilidades. El Valor Presente Neto de la inversión es de \$4,005,686.78 pesos, con una tasa de descuento del 14.37%. Al ser mayor a 0, es conveniente realizar la inversión. Con una TIR (64.9%) muy superior a la TMAR (14.37%) se acepta el proyecto. Al tener un resultado de Costo Beneficio de 1.26, indica que los ingresos son suficientes para cubrir todos los costos y dan un excedente por cada peso invertido de \$1.26.

BIBLIOGRAFÍA

1. Baca, G. (2016). Evaluación de proyectos. México: Mc Graw Hill.
2. Díaz, L. (2005). Análisis y Planeamiento. Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
3. Fred, D. (2008). Conceptos de administración estratégica. México: Pearson Educación.
4. Hernández, R. (2010). Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill.
5. INIFAP. (2010). Variedades sobresalientes de nopal tuna y verdura para el Estado de Tlaxcala. Tlaxcala: Centro de investigación regional INIFAP Tlaxcala.
6. Longenecker, J., Petty, W., Palich, L., & Hoy, F. (2012). Administración de pequeñas empresas: Lanzamiento y crecimiento de iniciativas de emprendimiento. México: Cengage Learning.
7. Morales, A., & Morales, J. (2009). Proyectos de Inversión. Evaluación y Formulación. México: Mc Graw-Hill.

8. Orona, I., Salazar, E., & Fortis, M. (2009). Agricultura Orgánica, Segunda Edición. México: COCyTED.
9. Sapag , N., Sapag, R., & Sapag, J. M. (2014). Preparación y evaluación de proyectos. México: Mc Graw Hill.
10. SIAP. (2018). Atlas Agroalimentario 2012-2018. México: Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera.

CONTROL DE POSICIONAMIENTO DE UN PAPALOTE SEMIPROFESIONAL BASADO EN SU MODELO DINÁMICO

Aridelci Ángeles Meneses, José Gerardo Benítez Morales, Javier Hernández Pérez, Miguel Ángel Aguilera Jiménez, Adrián Meneses Figueroa

Universidad Politécnica de Pachuca.
josegerardo@upp.edu.mx

RESUMEN

Uno de los problemas más importantes para el ser humano y la biodiversidad es la contaminación, una de las principales causas es el consumo de combustible a base de fósiles para ello se han propuesto energías renovables como la solar, hidráulica, geotérmica, biomasas y eólicas está última tiene gran impacto y se produce por medio de aerogeneradores convencionales y AWES (Airborne Wind Energy System) por sus siglas en inglés. Los AWES son sistemas que se conforman por uno o varios papalotes algunos semiprofesionales o profesionales, estos se conectan a motores mecánicamente, para controlar sus movimientos y así puedan realizar una trayectoria con el fin de generar energía, este ciclo de trabajo se divide en dos fases la generación y el consumo de energía donde la primera debe de ser mayor que la segunda. Estos sistemas tienen algunas ventajas sobre los aerogeneradores convencionales entre ellas son más fáciles de mover para traslados, su altura puede ser de 50 a 200 metros esto ayuda para alcanzar una mayor velocidad de viento y el área de superficie del sistema es menor y flexible. En base a lo anterior se presenta el modelo dinámico del papalote considerando su movimiento espacial a través de dos coordenadas angulares, posteriormente se muestra el diseño de un control de posicionamiento para el papalote mediante la técnica de control de retroalimentación estática con la finalidad de linealizar el sistema, de igual forma expone la estabilidad en lazo cerrado, así como la estabilidad de este. Los resultados que se obtienen mediante simulación numérica muestra como el papalote logra alcanzar la referencia deseada desde una condición inicial.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la humanidad tiene una convicción de cambiar las fuentes energéticas a base de combustibles fósiles hacia a las energías limpias y así salvaguardar la biodiversidad del planeta ante el cambio climático. Una alternativa para la generación de energía renovable son los sistemas de energía aerotransportada (AWE, Airborne Wind Energy System), los cuales aprovecha la energía cinética del viento para convertirla a energía eléctrica.

El primer estudio sobre la factibilidad de generar energía a partir de los AWE es presentado por Loyd [16], él cual expone los tres modos de vuelo para generar grandes cantidades de energía a partir de emplear papalotes. Los resultados muestran que el vuelo cruzado es la mejor opción para generar energía. En [1] realizan un análisis dinámico de los tres modos de vuelo para estimar la energía de salida de estos sistemas, y en [2] muestra un caso particular sobre la generación de energía para un papalote de 2 metros de envergadura.

La configuración de estos sistemas está constituido de forma general por una aeronave conectada a una estación de tierra por medio de cables. Las opciones de las aeronaves van desde configuraciones similares a los aviones, globos aerostáticos hasta las diferentes configuraciones de papalotes [4]. La estación de tierra cuenta con uno o varios dinamos con el propósito de controlar los movimientos de papalote y generar la energía eléctrica. El funcionamiento del sistema está dividido en la fase de generación y la fase de consumo. La primera fase consiste en elevar al papalote, realizando formas de ochos, en esta parte el papalote mueve el eje de un dinamo con la intención de generar energía eléctrica. Cuando el cable ha alcanzado su máxima longitud, el dinamo se comporta como motor con el propósito de jalar al papalote hacia una posición inicial para comenzar nuevamente el ciclo [8]. Estos sistemas tienen algunas ventajas sobre los aerogeneradores convencionales entre ellas son más fáciles de trasladar, su altura puede ser de 50 a 200 metros esto ayuda para una mayor velocidad de viento y el área de superficie del sistema es menor y flexible.

Las investigaciones sobre estos sistemas abordan los aspectos aerodinámicos de las aeronaves, la instrumentación del vehículo, configuración de la estación de tierra, la optimización del ciclo de funcionamiento del generador, la generación de continua y máxima de energía del sistema, y las técnicas de control para el seguimiento de trayectoria del papalote.

Al enfocarnos sobre las contribuciones reportados en la literatura con respecto a las técnicas de control para un aerotransportador tipo papalote, el trabajo de [3] propone emplear un control predictivo para modelos no lineales (NMPC, nonlinear model predictive control) para el seguimiento de la órbita de referencia periódica en forma de ocho; los resultados se muestran en simulación numérica. Esta técnica de control presenta los inconvenientes de depender de las variaciones del viento; por lo tanto, se añadan ciertas restricciones y se modifica la técnica de control para incluir un esquema de iteración en tiempo real usando disparos múltiples directos [5]. En los trabajos de [6], [7] emplean el control NMPC, con variaciones a la técnica de control con el fin de mejorar los tiempos de respuesta. Sin embargo, esta técnica de control conlleva a un gran gasto computacional.

En [9] presenta el diseño de control de vuelo que se basa en implementar una dirección precisa hacia los puntos deseados que permite un patrón de vuelo de ochos hacia abajo con un modelo basado en vientos cruzados que propone Loyd en [16], así mismo observan que para obtener un mayor beneficio de la recolección de energía el cometa debe de tener entre los 200m a 800m ya que las mayores velocidades de viento se encuentran ahí.

En [10] presenta características básicas de control de vuelo del mismo modo se muestra un modelo que se utiliza para el diseño del controlador donde se justifica la dinámica principal con resultados de la identificación basada en numerosas pruebas.

En [11] introduce un marco cinemático para modelar y diseñar un controlador. El objetivo es una trayectoria en una esfera unitaria centrada en el punto de anclaje, basada en consideraciones geométricas. El controlador en cascada confirma que el funcionamiento autónomo del cometa de tracción en ciclos de bombeo es factible, pero el rendimiento del control es poco óptimo ya que es afectado por retrasos de tiempo y de restricciones del actuador.

En [12] muestra una ley de control donde el diseño se basa en un modelo de dinámica de vuelo en tiempo real donde se realiza una reducción del sistema a una aproximación de un cuerpo rígido. Este proceso se divide en dos etapas en la reducción de estados y la identificación de modelo.

En [13], [14] se emplea el mismo control de la bifurcación con diferencia de modelo y condiciones fisiológicas. Con la observación de la dinámica de un cometa en vuelo se sugiere la posibilidad de múltiples estados de equilibrio. Con la aplicación de la teoría de la bifurcación a un modelo simplificado de vuelo se confirma al demostrar la existencia de una bifurcación de punto límite en el plano de velocidad del viento y ángulo de cuerda del cometa [14].

En el trabajo de [15] se realiza un análisis dinámico de un cometa con una sola cuerda y de dos grados de libertad. Se estudia los estados de equilibrio del sistema y la estabilidad, valores propios con la teoría lineal. El sistema debe pasar por una bifurcación Hopf donde aparecen soluciones constantes. Considera las respuestas del cometa contra las ráfagas y desarrolla un control en lazo abierto para mantener una altitud de vuelo invariante en condiciones atmosféricas cambiantes.

Con base a lo expuesto en la literatura, la contribución de este trabajo se orienta a dos aspectos:

- 1) Al diseño de un modelo dinámico esférico del papalote al considerar constante a la distancia entre la estación de tierra y el papalote, logrando así una simplificación de la naturaleza del sistema.
- 2) El diseño de una estrategia de control por medio de la técnica de retroalimentación de estados estático, garantizando la convergencia hacia un punto de referencia. Los resultados son expresados mediante simulaciones numéricas.

El resto del presente artículo es organizado de la siguiente forma. La sección de Marco Teórico introduce al lector a conocer la metodología y técnicas empleadas para desarrollar la estrategia de control, la sección de la parte experimental se muestra la obtención del modelo dinámico y el diseño de la estrategia de control. Los resultados de la estrategia de control son mostrados en simulaciones numéricas en la parte de resultados, y finalmente se presentan las conclusiones del trabajo.

MARCO TEÓRICO

Modelo dinámico del papalote.

Para obtener el modelo dinámico se utiliza el método de Euler-Lagrange el cual se basa en la energía cinética (k) que se muestra en la ecuación (2) y la energía potencial (p) en la ecuación (3). para obtener el Lagrangiano se debe utilizar la ecuación (1).

$$L = k - p \tag{1}$$

$$k = \frac{1}{2}mv^2 \tag{2}$$

$$p = mgh \tag{3}$$

Aplicando la ecuación de Euler-Lagrange se obtiene las ecuaciones del movimiento [17]

$$\tau = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} \tag{4}$$

Diseño de la estrategia de control mediante linealización exacta

En un sistema no lineal multivariable (MIMO, múltiples entradas, múltiples salidas). Se considera un sistema cuadrado, si el número de entradas es igual al número de salidas. El modelo se puede representar en espacio de estados de la siguiente forma.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x) + \sum_{i=1}^m g_i(x)u_i, \\ y_1 &= h(x), \\ &\vdots \\ y_2 &= h_m(x). \end{aligned} \tag{5}$$

La técnica de control retroalimentación estática de estados [18] consiste en derivar las salidas n veces hasta que $L_g(L_f^{y_j-1}h_j) \neq 0$. La primera salida queda de la siguiente manera.

$$\dot{y}_j = L_f h_j + \sum_{i=1}^m (L_{g_i} h_j) u_i, \tag{6}$$

Si no se cumple esta condición $L_g(L_f^{y_j-1}h_j) \neq 0$ se deriva hasta que se cumple si no se cumple en la primera derivada el sistema debe de quedar como en la ecuación (7).

$$\dot{y}_j^{y_j} = L_f^{y_j} h_j + \sum_{i=1}^m L_{g_i}(L_f^{y_j}) h_j u_i, \tag{7}$$

Se debe de representar los resultados de forma matricial como se muestra en la ecuación (8)

$$A(x) = \begin{bmatrix} L_{g1}L_f^{y_1-1}h_1 & \dots & L_{gp}L_f^{y_1-1}h_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{g1}L_f^{y_p-1}h_p & \dots & L_{gp}L_f^{y_p-1}h_p \end{bmatrix} \tag{8}$$

Si el sistema tiene el grado relativo bien definido el sistema debe quedar de la siguiente manera.

$$\begin{bmatrix} y_1^{y_1} \\ \vdots \\ y_p^{y_p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_f^{y_1} h_1 \\ \vdots \\ L_f^{y_p} h_p \end{bmatrix} + A(x) \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_p \end{bmatrix} \tag{9}$$

Donde u es

$$u = -A^{-1}(x) \begin{bmatrix} L_f^{y_1} h_1 \\ \vdots \\ L_f^{y_p} h_p \end{bmatrix} + A^{-1}(x)v \tag{10}$$

Por lo tanto, el sistema debe de quedar como se muestra la ecuación (11)

$$\begin{bmatrix} y_1^{y_1} \\ \vdots \\ y_p^{y_p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_p \end{bmatrix} \tag{11}$$

PARTE EXPERIMENTAL

Para identificar la posición del papalote en el espacio tridimensional se ocupan las coordenadas esféricas, la coordenada radial r , la coordenada polar θ , la coordenada azimutal ϕ se pueden observar en la figura 1. Para el modelo del sistema se tiene la ecuación 12 esta muestra la posición en coordenadas cartesianas (x, y, z) y suponemos que la distancia entre la masa del papalote y el punto fijo en tierra, r , es constante.

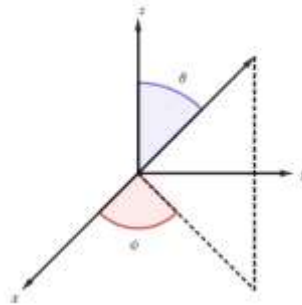


Figura 111 Posición del papalote en un espacio tridimensional.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \sin(\theta) \cos(\phi) \\ r \sin(\theta) \sin(\phi) \\ r \cos(\theta) \end{bmatrix} \tag{12}$$

A partir de las posiciones, se obtiene la dinámica del papalote y esta es sometida a la acción de dos pares externos, τ_1 y τ_2 . Para obtener la dinámica ocuparemos el método de Euler-Lagrange por lo que se debe de obtener la energía cinética k y la energía potencial p que están dadas por la ecuación (13) y (14) respectivamente.

$$k = \frac{1}{2} m(r^2 \dot{\phi}^2 (\sin \theta)^2 + r^2 \dot{\theta}^2) \tag{13}$$

$$p = mg(r \cos(\theta)) \tag{14}$$

Al aplicar la ecuación (1) del Lagrangiano y la ecuación de Euler-Lagrange se obtiene las siguientes ecuaciones

$$mr^2\ddot{\theta} - m^2 \sin(\theta) \cos(\theta) \dot{\phi}^2 - mgr\sin(\theta) = \tau_1 \tag{15}$$

$$mr^2\ddot{\phi} \sin^2(\theta) + 2mr^2 \sin(\theta) \cos(\theta)\dot{\theta} \dot{\phi} = \tau_2 \tag{16}$$

En donde m es la masa del cometa, g es la gravedad, τ_1 y τ_2 son los torques de entrada.

Diseño de la estrategia de control

El modelo del papalote expresado en (15) y (16) es un sistema MIMO, y se considera un sistema cuadrado, ya que tiene dos entradas y dos salidas. El modelo se puede representar en espacio de estados de la forma como se expresa en la ecuación (5), con ayuda de un cambio de variables el sistema queda de la siguiente forma

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ \sin x_1 \cos x_1 x_4^2 + \frac{g}{r} \sin x_1 \\ x_4 \\ 2 \frac{\cos x_1}{\sin x_1} x_2 x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & \frac{1}{mr^2 \sin^2 x_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \tag{17}$$

$$y_1 = \theta$$

$$y_2 = \phi$$

Se realiza la derivación de la primera salida como se muestra en la ecuación (6) quedando de la siguiente manera el sistema

$$L_{g1}h_1 = [1 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{1}{mr^2} = 0 \tag{18}$$

$$L_f h_1 = [1 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} x_2 \\ \sin x_1 \cos x_1 x_4^2 + \frac{g}{r} \sin x_1 \\ x_4 \\ 2 \frac{\cos x_1}{\sin x_1} x_2 x_4 \end{bmatrix} = x_2$$

Se tiene que $L_g (L_f^{j-1} h_j) = 0$. Entonces se deriva nuevamente a la primera salida quedando como:

$$L_{g1}L_f h_1 = [0 \ 1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{1}{mr^2} = \frac{1}{mr^2} \tag{19}$$

$$L_f^2 h_1 = [0 \ 1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} x_2 \\ \sin x_1 \cos x_1 x_4^2 + \frac{g}{r} \sin x_1 \\ x_4 \\ 2 \frac{\cos x_1}{\sin x_1} x_2 x_4 \end{bmatrix} = \sin x_1 \cos x_1 x_4^2 + \frac{g}{r} \sin x_1.$$

Se observa que la salida $L_{g1}(L_f h_1) \neq 0$; por consiguiente, el grado relativo es $\gamma_1 = 2$, ya que aparece la primera entrada de control. Enseguida pasamos a derivar la segunda salida.

$$L_{g2}h_2 = [0 \ 0 \ 1 \ 0] \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \frac{1}{mr^2 (\sin x_1)^2} = 0 \tag{20}$$

$$L_f h_1 = [0 \ 0 \ 1 \ 0] \begin{bmatrix} x_2 \\ \sin x_1 \cos x_1 x_4^2 + \frac{g}{r} \sin x_1 \\ x_4 \\ 2 \frac{\cos x_1}{\sin x_1} x_2 x_4 \end{bmatrix} = x_4$$

Se observa que $L_g (L_f^{j-1} h_j) = 0$, por consiguiente, derivamos nuevamente a la segunda salida,

$$L_{g2} h_2 = [0 \ 0 \ 0 \ 1] \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ \hline mr^2 (\sin x_1)^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{mr^2 (\sin x_1)^2} \tag{21}$$

$$L_f h_2 = [0 \ 0 \ 0 \ 1] \begin{bmatrix} x_2 \\ \sin x_1 \cos x_1 x_4^2 + \frac{g}{r} \sin x_1 \\ x_4 \\ 2 \frac{\cos x_1}{\sin x_1} x_2 x_4 \end{bmatrix} = 2 \frac{\cos x_1}{\sin x_1} x_2 x_4$$

Se tiene que la salida $L_{g1}(L_f h_1) \neq 0$; entonces el grado relativo de la segunda salida es $\gamma_2 = 2$, dando como resultado que el grado relativo del sistema es 2, 2.

Con estos resultados de las derivadas de las salidas, se representan a ambos resultados de forma matricial como en la ecuación (8 y 9).

$$A(x) = \begin{bmatrix} \frac{1}{mr^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{mr^2 (\sin x_1)^2} \end{bmatrix} \tag{22}$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin x_1 \cos x_1 x_4^2 + \frac{g}{r} \sin x_1 \\ 2 \frac{\cos x_1}{\sin x_1} x_2 x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{mr^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{mr^2 (\sin x_1)^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

donde $u = [u_1 \ u_2]$, además se observa que la matriz de desacoplamiento $A(x)$ es no singular a excepción de los puntos $x_1 = 0, \pm k\pi$ donde $k = 1 \dots \infty$. Este resultado no afecta de manera significativa, ya que se desea controlar al papalote en un dominio de $0 < x_1 \leq \frac{1}{2}\pi$, y $-\pi \leq x_2 \leq \pi$. Entonces la ley de control por retroalimentación de estados estáticos queda como

$$u = A(x)^{-1} \begin{bmatrix} \sin x_1 \cos x_1 x_4^2 + \frac{g}{r} \sin x_1 \\ 2 \frac{\cos x_1}{\sin x_1} x_2 x_4 \end{bmatrix} + A(x)^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \tag{23}$$

Donde v_1 y v_2 con las nuevas entradas de control. Al sustituir la ley de control en el modelo dinámico, el sistema queda en lazo cerrado de la forma

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ v_1 \\ x_4 \\ v_2 \end{bmatrix} \tag{24}$$

Se propone que los reguladores v_1 y v_2 tengan la forma de

$$\begin{aligned} v_1 &= -k_1(x_1 - x_{d1}) - k_2(x_2 - x_{d2}) \\ v_2 &= -k_3(x_3 - x_{d3}) - k_4(x_4 - x_{d4}) \end{aligned} \tag{25}$$

Quedando el modelo en lazo cerrado como

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ -k_1(x_1 - x_{d1}) - k_2(x_2 - x_{d2}) \\ x_4 \\ -k_3(x_3 - x_{d3}) - k_4(x_4 - x_{d4}) \end{bmatrix} \quad (26)$$

Es importante considerar la estabilidad del sistema con el propósito de garantizar que las variables converjan a la referencia. Por lo cual se propone el cambio de coordenadas con base al error, definidas como

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 - x_{d1} \\ x_2 - x_{d2} \\ x_3 - x_{d3} \\ x_4 - x_{d4} \end{bmatrix} \quad (27)$$

El sistema en lazo cerrado con las nuevas coordenadas queda

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \\ \dot{e}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_2 + x_{d2} \\ -k_1 e_1 - k_2 e_2 \\ e_4 + x_{d4} \\ -k_3 e_3 - k_4 e_4 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Se desea que el papalote alcance a un punto de referencia con una velocidad de cero, por lo tanto se considera a $x_{d2} = 0$ y $x_{d4} = 0$. Esto suaviza las restricciones para determinar la estabilidad quedando el sistema con las nuevas coordenadas como

$$\begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \\ \dot{e}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -k_1 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -k_3 & -k_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{bmatrix} \quad (29)$$

Esto conlleva a calcular a ecuación característica del sistema del sistema, el cual está dado por

$$s^4 + (k_2 + k_4)s^3 + (k_1 + k_3 + k_2k_4)s^2 + (k_1k_4 + k_2k_3)s + k_1k_3 \quad (30)$$

Con base al criterio de Routh-Hurwitz, las ganancias k_1, k_2, k_3, k_4 deben ser mayor a cero con el propósito de garantizar que los valores propios se encuentren en el lado izquierdo de semiplano complejo.

RESULTADOS

Para la realización de las simulaciones, los parámetros son los siguientes, de la masa m (.600 kg), la distancia r (9 m), la gravedad (9.81 m/s²). El tiempo de simulación es de (10 seg).

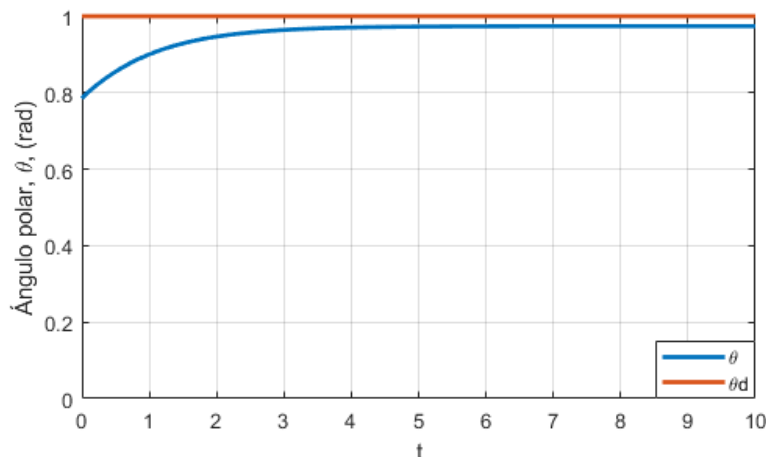


Figura 112 Respuesta del ángulo polar ante la entrada de la estrategia de control, con una referencia de 1 rad.

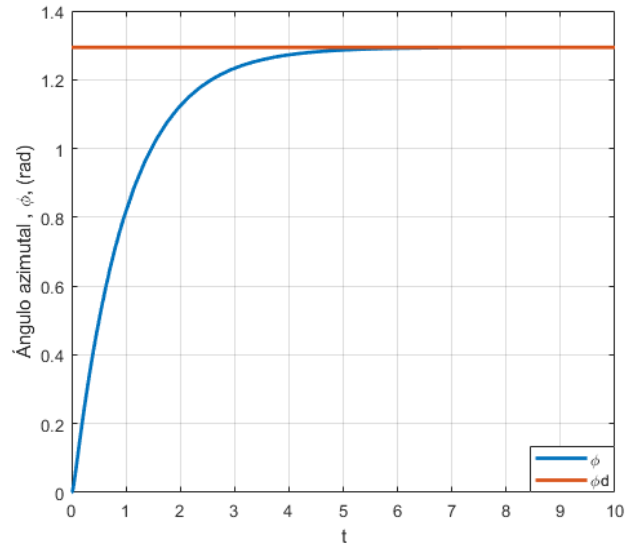


Figura 113 Respuesta del ángulo azimutal ante la entrada de la estrategia de control, con una referencia de 1.3 rad

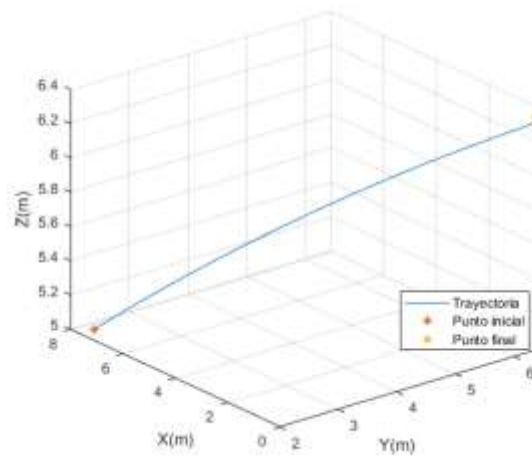


Figura 114 Trayectoria del papalote en un espacio 3D

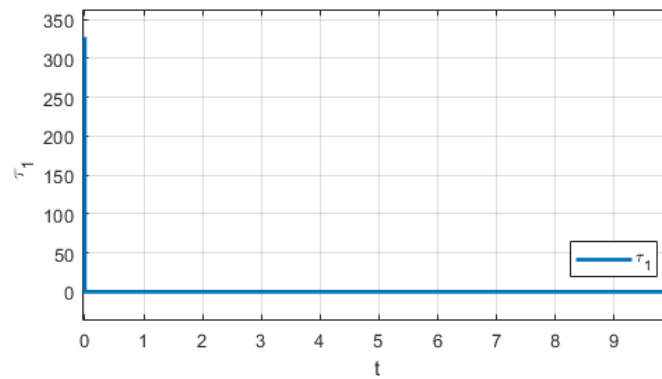
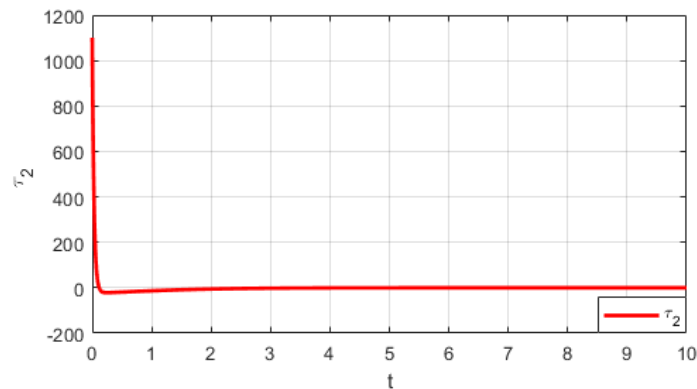


Figura 115 Torque 1 para θ

Figura 116 Torque 2 para ϕ

CONCLUSIONES

Se diseñó un modelo del papalote considerando solo dos grados de libertad, θ y ϕ . Este modelo restringe al movimiento del papalote a la superficie de una esfera, ya que la distancia entre la plataforma y el papalote es considerada como constante.

Se propuso una estrategia de control basada en la retroalimentación estática de estados con el propósito de controlar su posición. Al realizar la estrategia de control se verifica la estabilidad del sistema está se realiza al hacer el cambio de coordenadas con la intención de obtener la ecuación característica y de esta manera ajustar las ganancias para que los polos estén en el lado izquierdo del semiplano complejo.

BIBLIOGRAFÍA

1. I. Argotov, P. Rautakorpi, R. Silvernoinen, "Estimation of the mechanical energy output of the kite wind generator", *Renewable Energy*, Vol. 34, 2009, 1525-1532.
2. A. D. Soto-Guerrero, J. Hernández-Pérez, J. G. Benítez-Morales, M. A. Aguilera-Jiménez, Determinación de la potencia generada por un papalote profesional a través de simulaciones CFD, Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías, No. 7, 2019, 33-37.
3. M. Diehl, L. Magni, G. De Nicolao, "Efficient NMPC of unstable periodic systems using approximate infinite horizon closed loop costing", *Annual Reviews in Control*, Vol. 28,1,2004, pp. 37-45.
4. A. Angeles-Meneses, J. G. Benítez-Morales, J. Hernández-Pérez, O. Díaz-Parra, M. A. Magaña-Méndez, Flight control mechanisms of a comet. *International journal of combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 2020, pp 49-60
5. A. Ilzhöfer, B. Houska, M. Diehl, "Nonlinear MPC of kites under varying wind conditions for a new class of large-scale wind power generators" *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, Vol. 17, 2007, pp 1590-1599.
6. M. Canale, L. Fagiano, M. Milanese, "High altitude wind energy generation using controlled power kites", *IEEE Transactions on control systems technology*. Vol. 18, No 2, 2010 pp. 279-293.
7. L. Fagiano, M. Milanese, D. Piga, "Optimization of airborne wind energy generators", *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 2011.
8. M. Canale, L. Fagiano, M. Milanese, "Power kites for wind Energy Generation, fast predictive control of tethered airfoils", *IEEE Control System Magazine*, 2007.
9. M. Erhard, H. Strauch, "Control of towing kites for seagoing vessels", *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 21 Vol. 5 (2013) pp. 1629–1640.
10. M. Erhard, H. Strauch, "Flight control of tethered kites in autonomous pumping cycles for airborne wind energy", *Control Engineering Practice* 40, 2015, pp. 13 – 26.

11. C. Jehle, R. Schmehl, "Applied tracking control for kite power systems", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2014 pp. 1211–1222.
12. M. Erhard, H. Strauch, "Sensors and navigation algorithms for flight control of tethered kites", *European Control Conference (ECC)*, 2013, pp. 998–1003.
13. A. Bosch, R. Schmehl, P. Tiso, D. Rixen, "Dynamic nonlinear aeroelastic model of a kite for power generation", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 5, 2014, pp. 1426–1436.
14. S. G. C. de Groot, J. Breukels, R. Schmehl, W. J. Ockels, "Modelling kite flight dynamics using a multibody reduction approach", *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* Vol. 6, 2011, pp. 1671–1682.
15. A. M. Update, "Global wind report, Global Wind Energy Council", 2017.
16. M. L. Loyd, "Crosswind Kite Power". *Journal Energy Resources Technology*, Vol.4 No.3, 1980.
17. K. Ogata, "Dinámica de Sistemas", Prentice-Hall, (Prentice-HallImpreso, México, 1987). Apéndice C, pp. 596-607.
18. S. Sastry, "Nonlinear Systems, Analysis, Stability, and Control", (Springer, New York, 1999). Capítulo 9, pp. 384

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA PORTAMUESTRAS DE UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO

Jesús Mejía Manzo¹, Osvaldo López Hernández², Alfredo Benítez Lara³

Centro de investigaciones en Óptica A.C.

RESUMEN

Los microscopios electrónicos de barrido (SEM) son una herramienta que permite hacer observaciones de diversas muestras a decenas de nanómetros. Sin embargo, se requiere de hacer pruebas que permitan realizar mediciones bajo distintas condiciones que permitan extraer más información de la muestra bajo observación. Estas pruebas se le conocen como pruebas in situ SEM. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo proporcionar una herramienta que incremente el rendimiento del microscopio, la cual permite controlar la temperatura de los objetivos utilizando una Celda Peltier modelo TEC112710 en un rango de operación de -10 a 100 °C. El control de temperatura se realizó mediante un microcontrolador implementando un control PID utilizando el módulo PWM del microcontrolador PIC18F4585. Con una frecuencia fija y una función de trabajo variable entre el 20 y 80 %. Se utilizó un termopar tipo K como sensor para monitorear la temperatura y proporcionar la retroalimentación del control. Se diseñó y desarrolló una interfaz de usuario intuitiva y amigable para la fácil operación de la herramienta implementada.

INTRODUCCIÓN

El estudio de materiales y muestras biológicas se realiza generalmente de forma ex situ, es decir, el material es analizado antes y después de ser sometido a una condición externa, como temperatura, humedad, carga, etc. Actualmente es necesario el estudio de los fenómenos al momento que estos ocurren para caracterizar o extender la vida útil de la muestra. Este tipo de investigaciones requiere la obtención de datos en tiempo real, lo que obliga a la construcción de sistemas de observación y medida dinámicos, los cuales son conocidos como in situ. El comportamiento y características de algunas sustancias se ven alterados en función de la temperatura de estos. Controlar la temperatura de las muestras de estudio, amplía la cantidad de información que se obtiene de los estudios realizados en éstas. En estudios biológicos los microorganismos modifican su comportamiento en función de la temperatura de su ambiente, además que se extiende su vida al estar en un ambiente con temperatura adecuada (Torres, Montoro, Unfried, & Ramirez, 2015).

Existen dispositivos utilizados para modificar la temperatura de muestras en microscopios ópticos, sin embargo, en microscopios electrónicos estos sistemas no son tan comunes y generalmente son diseñados por los propietarios con base en sus necesidades. Tener la capacidad de observar cambios en tiempo real de las muestras de estudio representa una mejora considerable en las capacidades de cualquier microscopio.

El trabajo presentado a continuación describe el proceso para el diseño de un sistema para el estudio in situ en el MEB de fenómenos que cambios relacionados con la temperatura.

TEORIA

Celda Peltier

Una celda Peltier es una matriz con muchos termopares (celdas) dispuestas en un espacio muy reducido. Los termopares que la conforman no están hechos de metales (como los termopares comunes) sino con semiconductores. Dichas celdas están dispuestas eléctricamente en serie mediante conductores de cobre. Para aislar los conductores de cobre del disipador se agrega entre ellos una placa de cerámica que funciona como aislante. A continuación, se puede apreciar esta estructura (figura 1). Internamente la celda Peltier posee elementos semiconductores altamente dopados (teluro de bismuto y seleniuro de antimonio) y dispuestos eléctricamente en serie mediante conductores de cobre. Para aislar los conductores de cobre del disipador se agrega entre ellos una placa de cerámica que funciona como aislante. (Rubio Cristian, 2017).



Figura 117. Diagrama de la estructura interna de una celda Peltier. Se observan los elementos semiconductores dispuestos eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. Recuperado de: (Rubio Cristian, 2017).

Una polarización como la mostrada en la figura 2, se distribuye a lo largo de cada elemento semiconductor de la celda, es decir, cada elemento semiconductor posee una diferencia de potencial proporcional a la polarización de entrada. Por esta razón, los portadores mayoritarios, electrones débilmente ligados, emigran hacia el lado positivo de cada uno de sus extremos en los elementos semiconductores tipo N, debido a la atracción de cargas de diferente signo. Mientras que los portadores mayoritarios, huecos de los elementos semiconductores P, emigran hacia la terminal negativa que se encuentra en cada uno de sus extremos. Esta ausencia de cargas en cada elemento semiconductor cerca de la unión metal-semiconductor provoca un enrarecimiento de cargas y el consecuente descenso de temperatura en el área circundante. Por otro lado, la compresión o acumulación de portadores cerca de la unión metal semiconductor en la parte baja de los elementos semiconductores en la figura 1, provoca un ascenso de temperatura. Este comportamiento nos permite afirmar que, si invertimos la polaridad de la fuente de alimentación, la cara fría ahora calentará y la cara caliente sufrirá un descenso de temperatura. (Vargas Jesús, 2016).

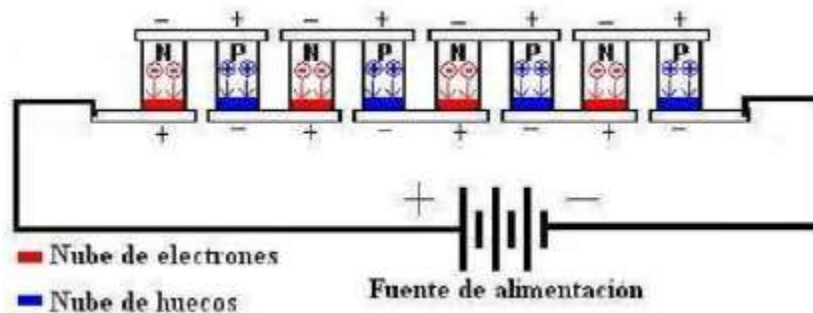


Figura 118. Compresión y enrarecimiento de portadores de carga cerca de la unión metal semiconductor en una celda Peltier. Recuperado de: (Vargas Jesús, 2016).

PARTE EXPERIMENTAL

Las primeras semanas se realizaron pruebas para la caracterización de una celda Peltier. Se utilizaron distintos métodos de caracterización como alimentar la celda de forma directa, control mediante PWM, disipación con ventiladores y disipadores metálicos y sin disipación. En la figura 3 se muestra una de estas pruebas.



Figura 119. Prueba para la caracterización de la celda Peltier. Se utilizan dos multímetros con su respectivo termopar para medir la temperatura de cada cara y realizar el registro de las distintas temperaturas durante un tiempo. En este caso se tomaron muestras cada veinte segundos durante diez minutos.

En las pruebas se observaron comportamientos distintos. Estos dependían del voltaje de alimentación y del tipo de disipación que tenía el lado caliente. También se realizó el modelo tridimensional de una de las tapas de la precámara del microscopio. Se imprimió en 3D, como se muestra en la figura 4. Y posteriormente se realizó el maquinado en acero inoxidable 304, figura 5. También se añadió un pasamuros para poder introducir cables a futuro.



Figura 120. Tapa impresa en resina. Es una copia de la tapa que se encuentra en el microscopio electrónico de barrido. Debido a que esta tapa es necesaria para el funcionamiento del microscopio no podrá ser retirada por mucho tiempo. Por ello fue necesario modelarla en 3D para su posterior comparación con la original.



Figura 121. Tapa terminada. Después de verificar las medidas del modelo impreso en 3D, se procedió a llevarla al taller de maquinado para que fuera reproducida en una barra de acero inoxidable 304. También se añadió un pasamuros en el centro para la introducción de cables.

Durante el mes de marzo se continuó con la investigación para el desarrollo del sistema de control. De forma más específica la investigación se enfocó en la implementación de un controlador PID digital en un microcontrolador PIC18F4585.

Posteriormente se realizó una última prueba de caracterización. Esta vez, se utilizó solo la base donde se colocan las muestras en el microscopio y descartó el uso de cualquier tipo de ventilación o disipación externa de calor. Esto se hizo con la finalidad de observar la disipación de calor en la base y cómo se comportaría la celda Peltier en la precámara de vacío. En la figura 6 se muestra la base de y portamuestras del microscopio, además se aprecia cómo se realizó la caracterización. En la figura 7 y 8 se muestran las gráficas obtenidas de esta prueba.

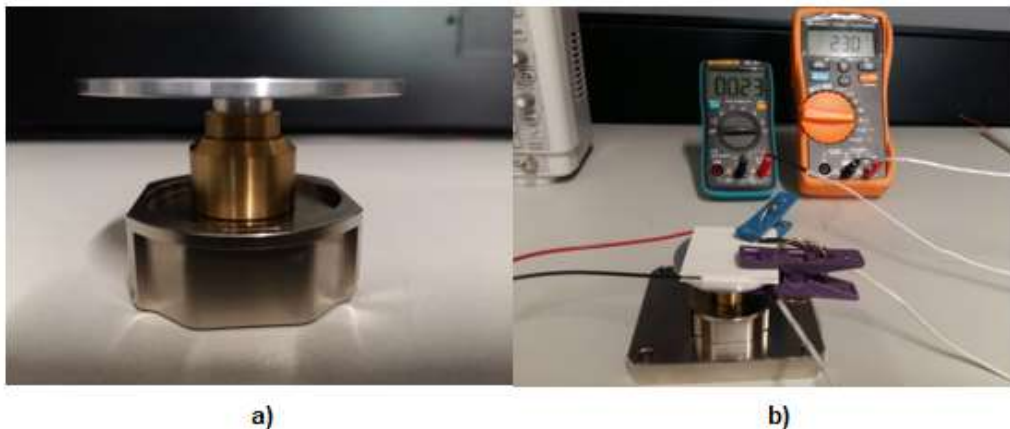


Figura 122. a) Se aprecia el portamuestras con su respectiva base. b) la conexión de termopares a cada lado de la celda Peltier. También se muestra que la base se encentra sobre un bloque de acero, esto con el fin de poder analizar con se disipa el calor en estos materiales y asemejar las condiciones en las que deberá operar la celda Peltier y el sistema de control.

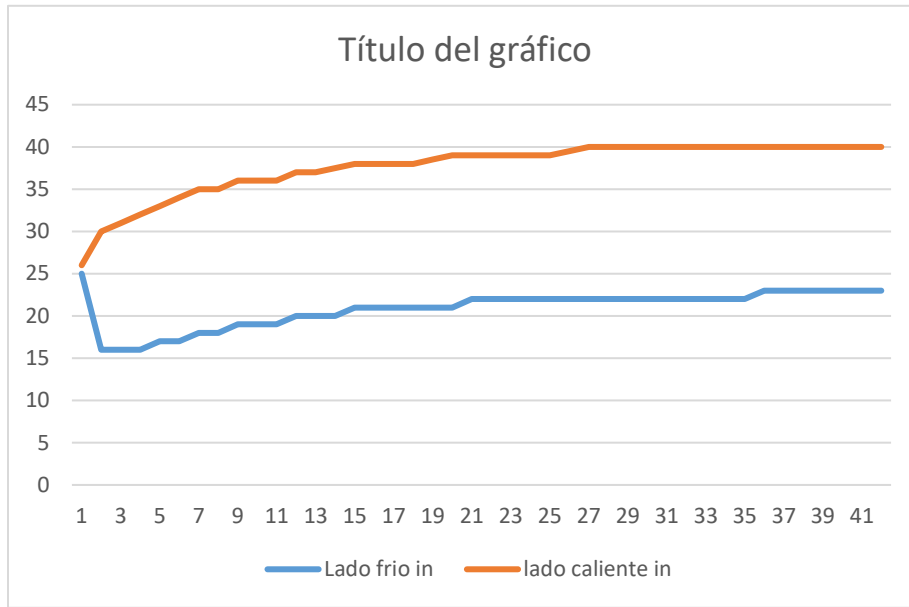


Figura 123. Gráfica obtenida de la caracterización de la celda Peltier. En esta prueba la celda se alimentó con 4V durante 15 minutos. Como se puede apreciar el lado frio tiene un comportamiento esperado durante las 3 primeras muestras, sin embargo, debido a la mala disipación de calor su temperatura aumentó conforme pasó el tiempo. Este último factor debe tomarse en cuenta ya que será clave para el diseño de un adecuado controlador.

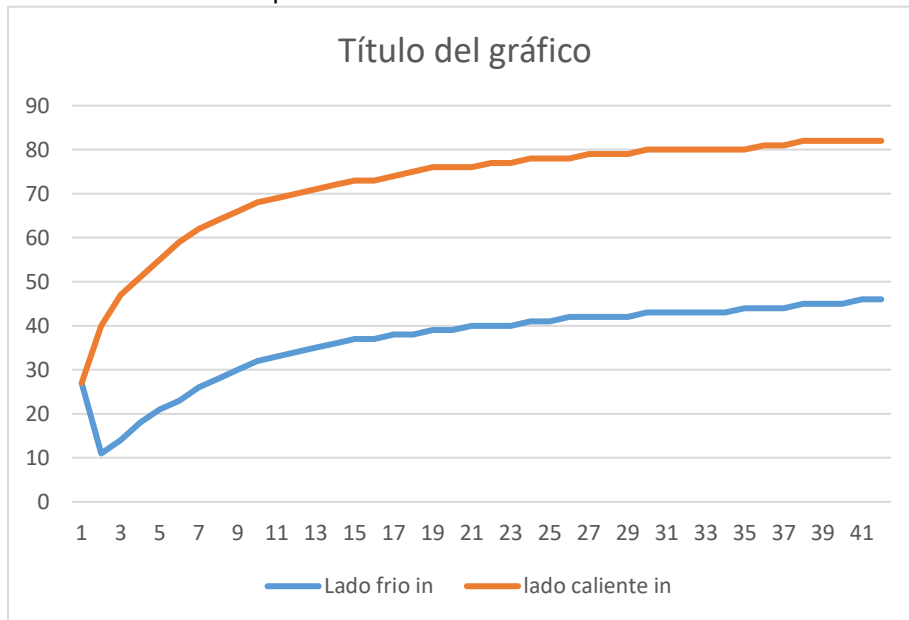


Figura 124. Gráfica obtenida de la caracterización de la celda Peltier. En esta prueba la celda se alimentó con 8V durante 15 minutos, tomando muestras cada 20 segundos. De forma similar a la gráfica anterior, se puede apreciar cómo el lado frío de la celda se comenzó a calentar al después de 3 muestras debido a la mala disipación de calor.

Por último, se realizó la selección de un conector para los cables del sensor que pasan a través del pasamuros. Se buscó utilizar un conector para hacer más sencilla la conexión de las distintas etapas

del sistema de control. En la figura 9 se muestra el conector que se seleccionó, y también un ejemplo de la función del pasamuros.

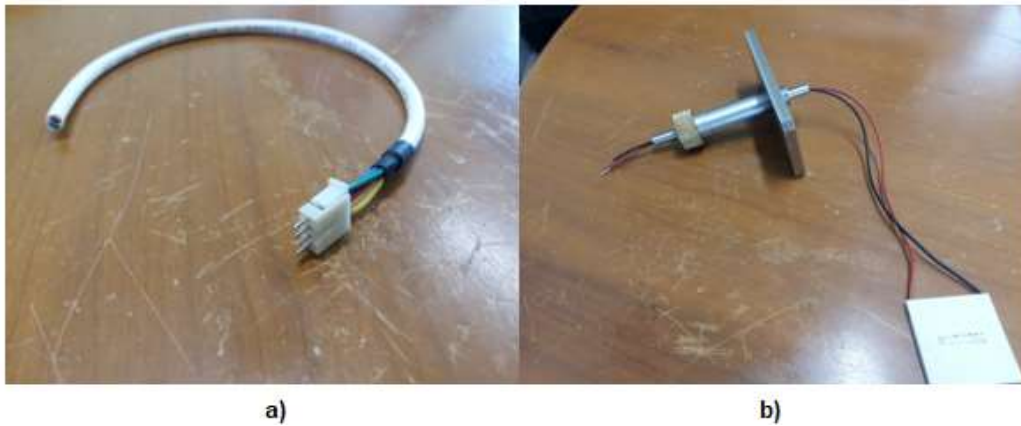


Figura 125. a) el conector para el sensor de temperatura. Usar este tipo de conector facilita realizar modificaciones en las etapas del sistema de control. b) una ejemplificación del uso del pasamuros, permite pasar los cables de los diferentes dispositivos que están en la precámara del microscopio hacia el exterior, pero manteniendo un sello hermético para mantener el vacío.

Posteriormente a la caracterización de la celda Peltier y la obtención de su curva de comportamiento la cual se muestra en la figura 10. Se obtuvo la función de transferencia de la misma. Con la cual se desarrolla el sistema de control.

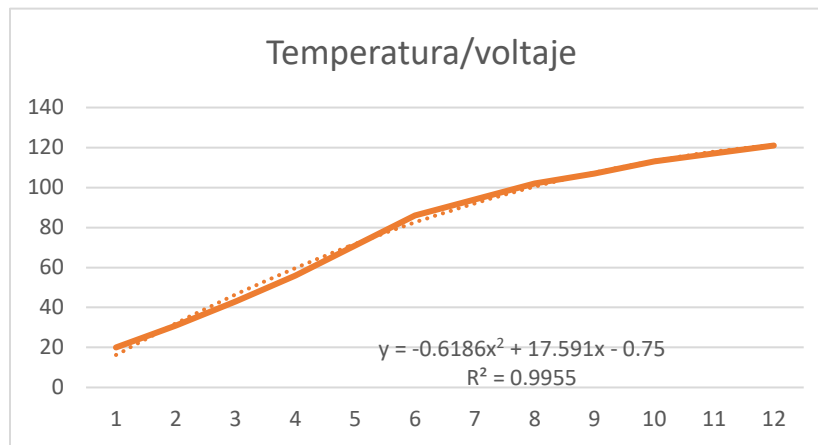


Figura 10. Gráfica de comportamiento de la celda Peltier. Mediante regresión lineal se obtuvo una ecuación que fuera casi igual a la curva. Con dicha ecuación se obtuvo la función de transferencia del sistema.

De manera simultánea se realizó el diseño de un puente h. Este es necesario para la alimentación de la celda Peltier, debido al elevado consumo de potencia que requiere. Los circuitos comerciales no tienen la capacidad de manejar la corriente necesaria para su correcto funcionamiento, (su capacidad es de 3 amperes). Por lo anterior, se decidió realizar el diseño de un puente h que cumpliera los requerimientos necesarios para el proyecto. En la figura 11 se muestra el diagrama esquemático de este circuito.

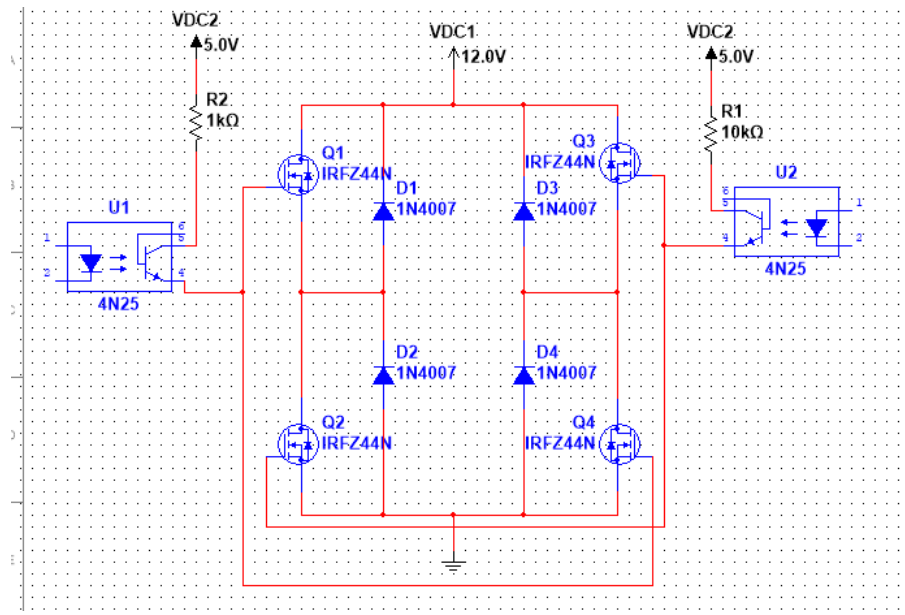


Figura 11. Diagrama del circuito de puente h. Este circuito permite cambiar la polaridad de la alimentación de la celda Peltier sin necesidad de cambiar manualmente la conexión de la misma. Se utilizó dos optoacopladores para aislar esta etapa del microcontrolador.

También se realizaron los cálculos para el disipador de los transistores y las resistencias de los optoacopladores.

Durante el último mes de desarrollo se trabajó en la programación correspondiente al PID digital. Se utilizó el software CCS compiler y el lenguaje de programación C. Utilizando la función de transferencia del sistema y el método de sintonización de Ziegler & Nichols se calcularon las ganancias del controlador. En la figura 12 se muestra parte del código que se realizó.

```

64
65
66 // FUNCION DEL CONTROL PID
67
68 void PID(void)
69 {
70
71     e=1*(R-y^n);
72     // Control PID
73     u = u_1 + q0*e + q1*e_1 + q2*e_2; //Ley del controlador PID discreto
74
75     if (u >= 5000.0) //Satura la accion de control 'u' en un tope maximo y minimo
76         u = 5000.0;
77
78     if (u <= 0.0)
79         u = 0.0;
80
81     control=u/5;
82
83     //Retorno a los valores reales
84     e_2=e_1;
85     e_1=e;
86     u_1=u;
87
88     //La accion calculada la transformo en PWM
89     set_pwm_duty(control);
90
91 }
    
```

Figura 12. Código de la ley de control discreto. En esta parte del código el valor proporcionado por la ley de control se convierte en un valor adecuado para el módulo PWM del microcontrolador. Esto es necesario debido a que se está utilizando el módulo PWM para el control de la etapa de potencia la cual alimenta al actuador (celda Peltier).

También se realizó el diseño de la placa para el puente h. Se utilizó el software Eagle para diseño de PCBs. Este diseño se realizó siguiendo la norma IPC-2221A, para la correcta selección del tamaño de las pistas conforme a la corriente que deban conducir. En la figura 13 se muestra el diseño elaborado.

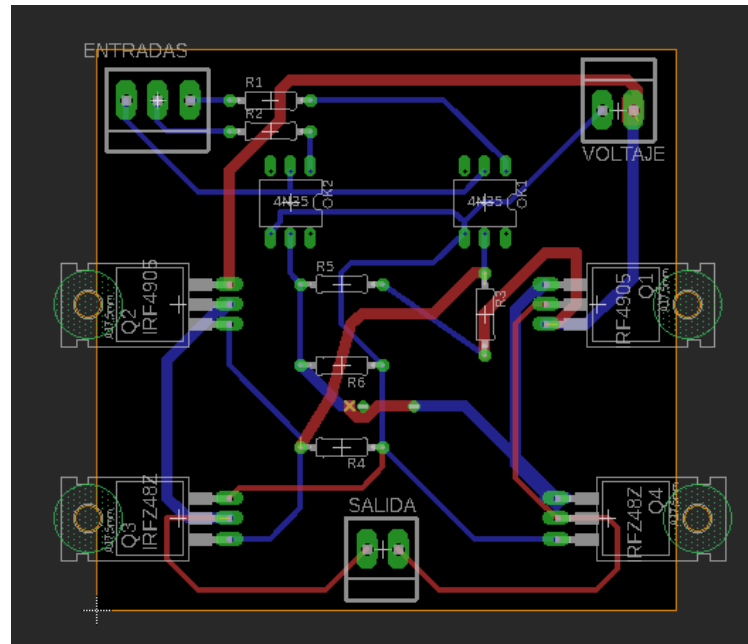


Figura 13. Diseño del PCB para el puente h. Debido a limitaciones del software no se pudieron añadir los disipadores para los transistores, pero se consideró el espacio que estos necesitarían.

CONCLUSIONES

Al terminar el desarrollo del controlador PID digital pude observar sus ventajas y sus limitaciones. Entre sus ventajas está: la versatilidad y la facilidad de realizar ajustes para afinar el control; el poder añadir una interfaz de usuario para facilitar su uso; y que es uno de los controladores más utilizados, por lo tanto, de los más estudiados. Entre sus desventajas están: es más caro que un control analógico para aplicaciones muy simples; los errores en la programación pueden inutilizar el controlador. También es importante resaltar que una celda Peltier no es necesariamente la mejor opción a utilizar en un microscopio de este tipo por sus necesidades de refrigeración.

BIBLIOGRAFIA

1. Rubio Cristian, M. G. (2017). Termoelectricidad: uso de las celdas Peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones. *SSN 1909-2520*, 10-17.
2. Vargas Jesús, F. A. (2016). Implementación de la Celda Peltier en fuentes térmicas de calor residuales, para aprovechamiento de generación de energía eléctrica y climatización por frío en el hogar. Bogotá: VISIÓN.

CALIDAD ISO 9000

Roberto Higuera Cantú, Norma Angélica Ortiz Orozco

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Piedad (México),
roberto_higuera_cantu@hotmail.com norma.oo@piEDAD.tecnm.mx

RESUMEN

El propósito del presente artículo es dar a conocer una propuesta metodológica para todas aquellas organizaciones interesadas en garantizar la calidad de sus productos y servicios, basada en los estándares de reconocimiento internacional para la gestión de la calidad ISO 9000.

Las normas de la serie ISO 9000 fueron establecidas por la organización internacional de normalización (ISO) para dar respuesta a una necesidad de las organizaciones, la de precisar los requisitos que debería tener un sistema de gestión de la calidad.

La primera edición de estas normas se publicó en 1987. Posteriormente ha sido modificada en 1994, 2000 2008 y 2015 versión que está en vigor actualmente.

Las normas ISO nacieron aglutinando los principios que existían en multitud de normas de sistemas de calidad en distintos países, por lo que, desde su primera edición, se pretendió que fueran normas de aplicación a cualquier tipo de organización independientemente de su tamaño o sector de actividad.

La familia de normas ISO 9000 que está actualmente en vigor, se compone de 3 normas:

- ISO 9000:2015 “Sistemas de gestión de la calidad. Principios y vocabulario”
- ISO 9001:2015 “Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos”
- ISO 9004:2015 “Gestión para el éxito sostenido de una organización”

El mejoramiento de la calidad en las empresas no debería de ser un capricho sino una obligación, tomando las distintas herramientas, técnicas, lineamientos o requisitos legales u obligatorios aplicables en la elaboración de bienes y/o servicios.

Hoy, 33 años después, la serie de normas ISO 9000 se convierte en el estándar de calidad más utilizado en el mundo. Conocer y comprender su origen, así como su proyección hacia el futuro, puede ser un aliciente más que allane el camino hacia el perfeccionamiento continuo.

Los beneficios y ventajas de implementar calidad ISO 9000 se extienden a varias áreas del negocio. Por supuesto, cultura de trabajo al interior, autoevaluación y la expansión en el mercado, están entre los más mencionados, pero es importante recordar que la calidad se aplica en todos los sentidos, ya sean estos profesionales o personales.

La cultura de la Certificación ISO ha permitido garantizar la calidad de los procesos productivo y de servicios. La experiencia que se ha tenido con la investigación realizada sobre los logros alcanzados en la certificación del servicio educativo en la Educación Superior Tecnológica es muy alentadora, ya que ha permitido integrar un sistema enfocado en procesos, lo que genera el involucramiento y el compromiso de todos los actores que participan en cada uno de estos procesos.

Por lo tanto, la Certificación ISO es una herramienta de profundo alcance, que garantiza la calidad y mejora continua del servicio educativo en la Educación Superior Tecnológica.

INTRODUCCIÓN

Una organización orientada a la calidad promueve una cultura que da como resultado comportamientos, actitudes, actividades y procesos para proporcionar valor mediante el cumplimiento de las necesidades y expectativas de los clientes y otras partes interesadas pertinentes. El concepto de partes interesadas se extiende más allá del enfoque únicamente al cliente. Es importante considerar todas las partes interesadas pertinentes.

W.E. Deming¹ difundió que la mejora de la calidad produce una reacción en cadena a través de la disminución de los costos porque no habría tantos reprocesos, un aumento en la producción porque disminuiría la cantidad de artículos defectuosos y la relación producción al alza y los costos a la baja provoca un incremento en la productividad y, en consecuencia, la mejora de la competitividad ganándose cuota de mercado al aumentar el volumen de ventas y el rendimiento económico.

Un sistema de gestión de la calidad comprende actividades mediante las que la organización identifica sus objetivos y determina los procesos y recursos requeridos para lograr los resultados deseados.

El sistema de gestión de la calidad gestiona los procesos que interactúan y los recursos que se requieren para proporcionar valor y realizar los resultados para las partes interesadas pertinentes.

Las personas son recursos esenciales para la organización. El desempeño de la organización depende de cómo se comporten las personas dentro del sistema en el que trabajan.

La comunicación interna planificada y eficaz (es decir, en toda la organización) y la externa (es decir, con las partes interesadas pertinentes) fomenta el compromiso de las personas por satisfacer las necesidades y expectativas de los consumidores y otras partes interesadas.

W.E. Deming OUT OF THE CRISIS. Quality, Productivity and Competitive Position. Cambridge University Press.1986

TEORÍA

Para poder analizar de mejor manera el presente artículo es necesario que mencionemos a autores y gurús en la materia.

Recomendaciones de los gurús de calidad

Williams Edwards Deming

- ▶ Mejorar constantemente y para siempre los sistemas de producción, servicio y planeación.
- ▶ Establecer entrenamiento o capacitación.
- ▶ Eliminar el miedo y construir confianza.
- ▶ Borrar las barreras entre los departamentos. y construir un sistema de cooperación basado en el mutuo beneficio que abarque toda la organización.
- ▶ Remover barreras para apreciar la mano de obra y los elementos que privan a la gente de la alegría en su trabajo.
- ▶ Poner a todos en la compañía a trabajar para llevar a cabo la transformación. La transformación es trabajo de todos.
- ▶ Planear – Hacer – Verificar - Actuar

Kaoru Ishikawa

- ▶ La calidad comienza y finaliza con la educación.
- ▶ Las condiciones ideales del control de calidad se dan cuando la inspección ya no es necesaria.
- ▶ Elimine la causa de origen y no los síntomas.
- ▶ La dirección no debe reaccionar negativamente cuando los hechos son presentados por los subordinados.
- ▶ El control de calidad es una responsabilidad de todos los trabajadores y de todas las divisiones.

Philip B. Crosby

- ▶ Forme equipos para el mejoramiento de la calidad con representantes de cada departamento.
- ▶ Incremente la información acerca de la calidad y el interés personal de todos los empleados.
- ▶ Instruya a todos los empleados para que cumplan con su parte en el programa de mejoramiento de la calidad.
- ▶ Aliente a los individuos para que se fijan metas de mejoramiento para sí mismos y para sus grupos.
- ▶ La calidad empieza en La gente, no en las cosas.

Joseph M. Juran

- ▶ Cree conciencia de la necesidad y oportunidad de la mejora.
- ▶ Proporcione entrenamiento.
- ▶ Planificar, controlar y mejorar (trilogía)

Terminos y definiciones

Significado de Calidad ISO 9000:2015

Grado en el que un conjunto de características (3.10.1) inherentes de un objeto (3.6.1) cumple con los requisitos (3.6.4).

NOTA 1: El término “calidad” puede utilizarse acompañado de adjetivos tales como pobre, buena o excelente. NOTA 2: “Inherente”, en contraposición a “asignado”, significa que existe en el objeto (3.6.1).

Objeto

Cualquier cosa que puede percibirse o concebirse

EJEMPLO Producto (3.7.6), servicio (3.7.7), proceso (3.4.1), persona, organización (3.2.1.), sistema (3.5.1), recurso.

2.4.1.2 Sistema

Las organizaciones buscan entender el contexto interno y externo para identificar las necesidades y expectativas de las partes interesadas pertinentes. Esta información se utiliza en el desarrollo del SGC para lograr la sostenibilidad de la organización. Las salidas de un proceso pueden ser las entradas de otro proceso y están interconectados en una red total. Aunque con frecuencia parezca que consta de procesos similares, cada organización y su SGC es único.

2.4.1.3 Proceso

La organización tiene procesos que pueden identificarse, medirse y mejorarse. Estos procesos interactúan para proporcionar resultados coherentes con los objetivos de la organización y cruzan límites funcionales. Algunos procesos pueden ser críticos mientras que otros pueden no serlo. Los procesos tienen actividades interrelacionadas con entradas que generan salidas.

2.4.1.4 Actividad

Las personas colaboran en un proceso para llevar a cabo sus actividades diarias. Algunas están prescritas y dependen de la comprensión de los objetivos de la organización, mientras otras no lo están y reaccionan con estímulos externos para determinar su naturaleza y ejecución.

2.4.2 Desarrollo de un SGC

Un SGC es un sistema dinámico que evoluciona en el tiempo mediante períodos de mejora. Cada organización tiene actividades de gestión de la calidad, planificadas formalmente o no. Este proyecto norma mexicana proporciona orientación sobre cómo desarrollar un sistema formal para gestionar estas actividades. Es necesario identificar actividades existentes en la organización y su adecuación relacionadas con el contexto de la organización.

Un SGC formal proporciona un marco de referencia para planificar, ejecutar, realizar el seguimiento y mejorar el desempeño de las actividades de gestión de la calidad. El SGC no necesita ser complicado; más bien es necesario que refleje de manera precisa las necesidades de la organización. Al desarrollar el SGC, los conceptos y principios fundamentales dados en este proyecto de norma mexicana pueden proporcionar una valiosa orientación.

La planificación de un SGC no es un suceso singular, sino más bien unos procesos continuos. La planificación, evoluciona a medida que la organización aprende y que las circunstancias cambian. Un plan tiene en cuenta todas las actividades de la calidad de la organización y asegura que cubre toda la orientación de este proyecto de norma mexicana y los requisitos de la ISO 9001-2015. El plan se implementa tras aprobarse.

Para una organización es importante realizar un seguimiento y evaluar de manera regular la implementación del plan y el desempeño del SGC. Los indicadores considerados cuidadosamente facilitan estas actividades de seguimiento y evaluación.

Norma NMX-CC- 9001:2015 requisitos

La auditoría es un medio de evaluar la eficacia de un SGC, para identificar riesgos y para determinar el cumplimiento de los requisitos. Para que las auditorías sean eficaces necesitan recopilarse evidencias tangibles e intangibles. Se toman acciones para la corrección y mejora basadas en el análisis de la evidencia recopilada. El conocimiento adquirido podría conducir a la innovación, llevando el desempeño del SGC a niveles más altos.

Los principios de la gestión de la calidad son:

— enfoque al cliente;

El enfoque principal de la gestión de la calidad es cumplir los requisitos del cliente y tratar de exceder las expectativas del cliente.

El éxito sostenido se alcanza cuando una organización atrae y conserva la confianza de los clientes y de otras partes interesadas. Cada aspecto de la interacción del cliente proporciona una oportunidad de crear más valor para el cliente. Entender las necesidades actuales y futuras de los clientes y de otras partes interesadas contribuye al éxito sostenido de la organización.

Las acciones posibles incluyen:

- reconocer a los clientes directos e indirectos como aquellos que reciben valor de la organización;
- entender las necesidades y expectativas actuales y futuras de los clientes;
- relacionar los objetivos de la organización con las necesidades y expectativas del cliente;

— liderazgo;

Los líderes en todos los niveles establecen la unidad de propósito y la dirección, y crean condiciones en las que las personas se implican en el logro de los objetivos de la calidad de la organización.

La creación de la unidad de propósito y la dirección y gestión de las personas permiten a una organización alinear sus estrategias, políticas, procesos y recursos para lograr sus objetivos.

Las acciones posibles incluyen:

- comunicar en toda la organización la misión, la visión, la estrategia, las políticas y los procesos de la organización;

— compromiso de las personas;

Las personas competentes, empoderadas y comprometidas en toda la organización son esenciales para aumentar la capacidad de la organización para generar y proporcionar valor.

Para gestionar una organización de manera eficaz y eficiente, es importante respetar e implicar activamente a todas las personas en todos los niveles. El reconocimiento, el empoderamiento y la mejora de la competencia facilitan el compromiso de las personas en el logro de los objetivos de la calidad de la organización.

Las acciones posibles incluyen:

- comunicarse con las personas para promover la comprensión de la importancia de su contribución individual;
- empoderar a las personas para determinar las restricciones que afectan al desempeño y para tomar iniciativas sin temor;

— enfoque a procesos;

Se alcanzan resultados coherentes y previsibles de manera más eficaz y eficiente cuando las actividades se entienden y gestionan como procesos interrelacionados que funcionan como un sistema coherente.

El SGC consta de procesos interrelacionados. Entender cómo este sistema produce los resultados permite a una organización optimizar el sistema y su desempeño.

Las acciones posibles incluyen:

- definir los objetivos del sistema y de los procesos necesarios para lograrlos;
- gestionar los procesos y sus interrelaciones como un sistema para lograr los objetivos de la calidad de la organización de una manera eficaz y eficiente;

— mejora;

Las organizaciones con éxito tienen un enfoque continuo hacia la mejora.

La mejora es esencial para que una organización mantenga los niveles actuales de desempeño, reacciones a los cambios en sus condiciones internas y externas y cree nuevas oportunidades.

Las acciones posibles incluyen:

- promover el establecimiento de objetivos de mejora en todos los niveles de la organización;
- educar y formar a las personas en todos los niveles sobre cómo aplicar las herramientas básicas y las metodologías para lograr los objetivos de mejora;

— toma de decisiones basada en la evidencia;

Las decisiones basadas en el análisis y la evaluación de datos e información tienen mayor probabilidad de producir los resultados deseados.

La toma de decisiones puede ser un proceso complejo, y siempre implica cierta incertidumbre. Con frecuencia implica múltiples tipos y fuentes entradas, así como su interpretación, que puede ser subjetiva. Es importante tender las relaciones de causa y efecto y las consecuencias potenciales no previstas. El análisis de los hechos, las evidencias y los datos conduce a una mayor objetividad y confianza en la toma de decisiones.

Las acciones posibles son:

- determinar, medir y hacer el seguimiento de los indicadores clave para demostrar el desempeño de la organización;

— gestión de las relaciones.

Para el éxito sostenido, las organizaciones gestionan sus relaciones con las partes interesadas, tales como los proveedores

Las partes interesadas pertinentes influyen en el desempeño de una organización. Es más probable lograr el éxito sostenido cuando una organización gestiona las relaciones con sus partes interesadas para optimizar el impacto en su desempeño. Es particularmente importante la gestión de las relaciones con la red de proveedores y socios.

Las acciones posibles incluyen:

- determinar las partes interesadas pertinentes (tales como proveedores, socios, clientes, inversionistas, empleados y la sociedad en su conjunto) y su relación con la organización;

PARTE EXPERIMENTAL

Las organizaciones comparten muchas características con los seres humanos como un organismo social vivo y que aprende. Cada uno es adaptativo y consta de sistemas, procesos y actividades interactivos. Para adaptar su contexto variable, cada uno necesita la capacidad de cambio. Las organizaciones con frecuencia innovan para lograr mejoras significativas. El modelo de SGC de una organización reconoce que no todos los sistemas, procesos y actividades pueden estar predeterminados, por lo tanto, necesita ser flexible y adaptable dentro de las complejidades del contexto de la organización.

1. Que los principios de la gestión de la calidad sean la base en la que se ha de apoyar el sistema de gestión de la calidad.
2. Considerar las recomendaciones de los gurús de la calidad.
3. Analizar la situación actual de la organización, interna y externamente. Conocer sus fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades.
4. Instituir el liderazgo en toda la organización, asegurándose de que se determinan la misión, visión, se comprenden y se cumplen regularmente los requisitos del cliente, de las partes interesadas, los legales y reglamentarios aplicables, las responsabilidades y autoridades para los roles pertinentes se asignen, se comuniquen y se entiendan en toda la organización.
5. Identificar los procesos necesarios y sus interacciones, así como las entradas requeridas y las salidas esperadas de estos procesos.
6. Planificación del sistema de gestión de la calidad para lograr los resultados previstos. La organización debe establecer objetivos de la calidad para las funciones y niveles pertinentes y los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad. Al planificar cómo lograr sus objetivos de la calidad, la organización debe determinar: a) qué se va a hacer; b) qué recursos se requerirán; c) quién será responsable; d) cuándo se finalizará; e) cómo se evaluarán los resultados
7. La organización debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para el establecimiento, implementación, mantenimiento y mejora continua del sistema de gestión de la calidad.
8. La organización debe determinar, proporcionar y mantener el ambiente necesario para la operación de sus procesos y para lograr la conformidad de los productos y servicios.

9. La organización debe determinar las comunicaciones internas y externas pertinentes al sistema de gestión de la calidad, que incluyan: a) qué comunicar; b) cuándo comunicar; c) a quién comunicar; d) cómo comunicar; e) quién comunica.
10. La organización debe planificar, implementar y controlar los procesos necesarios para cumplir los requisitos para la provisión de productos y servicios. La salida de esta planificación debe ser adecuada para las operaciones de la organización.
11. La organización debe asegurarse de que los procesos, productos y servicios suministrados externamente son conformes a los requisitos.
12. La liberación de los productos y servicios al cliente no debe llevarse a cabo hasta que se hayan completado satisfactoriamente las disposiciones planificadas, a menos que sea aprobado de otra manera por una autoridad pertinente y, cuando sea aplicable, por el cliente.
13. La organización debe asegurarse de que las salidas que no sean conformes con sus requisitos se identifican y se controlan para prevenir su uso o entrega no intencionada.
14. La organización debe determinar: a) qué necesita seguimiento y medición; b) los métodos de seguimiento, medición, análisis y evaluación necesarios para asegurar resultados válidos; c) cuándo se deben llevar a cabo el seguimiento y la medición; d) cuándo se deben analizar y evaluar los resultados del seguimiento y la medición.
15. La organización debe llevar a cabo auditorías internas a intervalos planificados para proporcionar información acerca de si el sistema de gestión de la calidad: La organización debe evaluar el desempeño y la eficacia del sistema de gestión de la calidad. La organización debe determinar y seleccionar las oportunidades de mejora e implementar cualquier acción necesaria para cumplir los requisitos del cliente y aumentar la satisfacción del cliente.

RESULTADOS

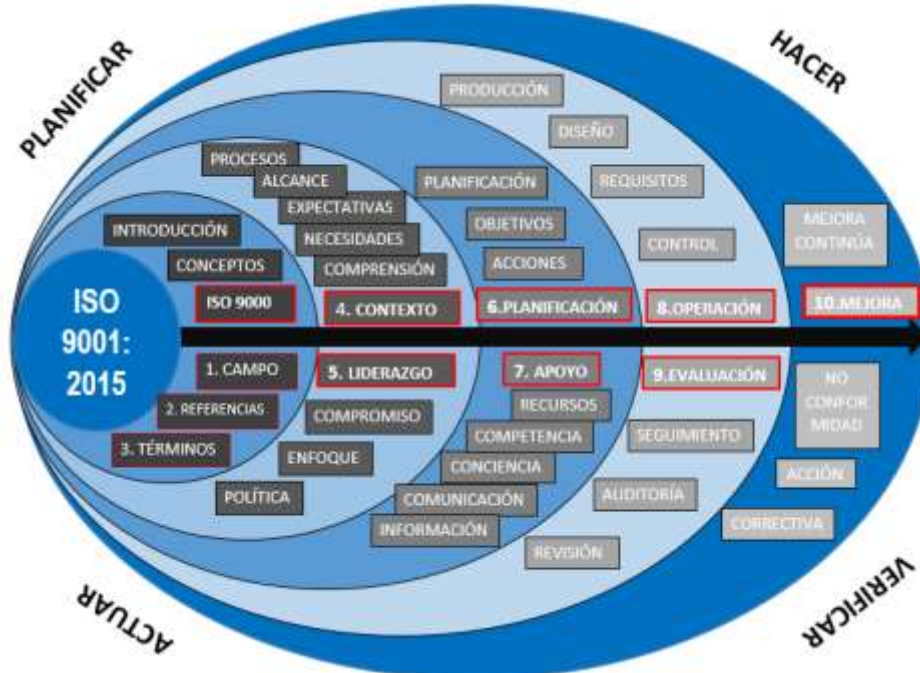


Fig.1 Calidad ISO 9000

CONCLUSIONES

La calidad es primordial para la productividad, que a su vez es la base de la competitividad de una organización. Las organizaciones que fomentan la participación e involucramiento de su personal en el sistema como en sus procesos, conocen sus problemas y saben cómo resolverlos, llegan a tener un mayor éxito. El deseo de querer estar en mejora constante es lo que impulsa a una organización a implementar métodos para lograr ésta misma. Calidad ISO 9000 es una excelente herramienta que ha permitido a los institutos tecnológicos de educación superior certificar su proceso educativo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anda, Gutiérrez Cuauhtémoc; "Administración y calidad"; LIMUSA Noriega editores; México, 1995.
2. Crosby, Philip B.; "La organización permanece exitosa"; Editorial McGraw-Hill; México, 1988.
3. Colunga, Dávila Carlos; "Administración para la calidad"; Panorama editorial; México, 1995.
4. Deming, W. Edwards; "Calidad, productividad y competitividad a la salida de la crisis"; Editorial Díaz de Santos; Madrid, 1989.
5. Ishikawa, Kaoru; "¿Qué es control total de la calidad?"; Editorial normal; Colombia, 1986.
6. Juran, Joseph M.; "Juran y la planificación de la calidad"; Editorial Díaz de Santos; Madrid, 1990.
7. Meneses, Jiménez Marcela Lucina; "Apuntes de métodos estadísticos de calidad."; derechos reservados, 2002. (Sin valor comercial)
8. Shaw, James G.; "El cliente quiere...Calidad"; Editorial Prentice-Hall hispanoamericana, S. A.; México, 1997.
9. Viveros, Pérez Jesús Alberto; "Apuntes de principios y modelos de calidad."; derechos reservados, 2002. (Sin valor comercial).
10. Toro Álvarez, Fernando. Desempeño y Productividad (Cinzel 1990)
11. García Criollo, Estudio del Trabajo (Mc Graw-Hill 2005)
12. Siliceo, Alfonso. Liderazgo para la Productividad en México (Limusa 1995)
13. Belcher, John G. Productividad Total 1. Como Ganar ventaja Competitiva Aprovechando sus Propios Recursos. Buenos Aires. 1991, p. 42.
14. NORMAS
15. NMX-CC-9000-IMNC-2015 Sistemas de Gestión de la Calidad –Fundamentos y Vocabulario
16. NMX-CC-9001-IMNC-2015 Sistemas de Gestión de la Calidad – Requisitos

Intenet

<http://www.gerencie.com/importancia-del-reconocimiento-laboral-en-las-empresas.html>

<http://www.eumed.net/libros-gratis/2005/dfch-fun/F31.2.htm>

<http://www.ideasparapymes.com.mx>

<http://www.inlac.org.mx>

<http://www.iso.org>

ÍNDICE DE AUTORES

- Acosta Pérez Emmanuel 680
Aguilar Mora Araceli 625
Aguilar Ojeda Cristy Elizabeth 792
Aguilera Jimenez Miguel Angel 374, 822
Alcalá González Guadalupe Esmeralda 607
Alcalá González Perla Mayara 607
Alejandre Apolinar Maria Salome 113
Alfaro Cortés Héctor H. 575
Alvarez Acacio Eloin N. 701
Alvarez Martinez Juan Adolfo 792
Amaro-Lechuga Jashua R. 420
Amores Pérez Hugo 113
Ángeles Beltran Deyanira 221
Angeles Meneses Aridelci 822
Anguiano Méndez Margarito Octavio 324
Apolinar Alejandro Arturo 328
Arcibar Orozco Javier Antonio 95
Armendáriz Mireles Eddie Nahúm 531
Arrieta Valdivia Luz Elena 467, 646
Arroyo Correa Gabriel 324
Ávila Rodríguez Mario 687
Aviña Cervantes Juan Gabriel 217
Azpeitia Ponce Alexander 374
Bailón Matehuala Juan Miguel 588
Baltazar Flores María Del Rosario 285, 667
Barrón Estrada María Lucia 86
Barrón Vázquez Salvador 221
Bedolla Ibarra María Guadalupe 248
Beltrán Ramírez Flora Itzel 181
Beltrán Rodríguez Anna Karina 607
Benítez Lara Alfredo 243, 393, 799, 832
Benítez Morales José Gerardo 374, 822
Bernal Martínez Arodi 588
Bonilla Jiménez Luis Antonio 434
Bonilla Petriciolet Adrián 109
Bravo Murillo Salvador 188
Cabrera Llano Agustín Ignacio 54, 568
Cabrera Madera Victoria Paola 227, 443, 602
Calles Arriaga Carlos Adrián 26, 696
Camacho López Santiago 234
Camarillo Escobedo Juana Maria 550
Camarillo Escobedo Rosa Maria 550
Cano Lara Miroslava 234, 593
Carrera Cerritos Raúl 336
Carrillo Gutiérrez Daniela María 61, 731
Carrillo Hernández Dida 778
Castañeda Gutiérrez Jorge Luis 345
Castillo Quiroz Gregorio 434
Castillo Vera María De La Lluvia 467, 646
Castro Beltrán Rigoberto 393
Cayetano Castro Nicolás 739
Cázarez Coss Y Leon Claudia Janett 119
Cerdán María Angélica 772
Cervantes López José Luis 651
Concha Sánchez Yajaira 193, 324
Contreras López Joaquín 193
Cordero García Adrián 6
Corona Andrade Jesús Ernesto 336
Cortes Aguirre Rosa 345
Cota Cota Fatsin Ernesto 602
Cruz Gastelum Nancy Ahidé 313
Cruz Montoya Juan Alberto 680
Cruz Salgado Javier 715, 778
Cuevas Rodriguez German 588
De Los Santos Arias Karina 751
Del Ángel Meraz Ebelia 751
Del Valle Reynoso Itzel Guadalupe 506
Días Vargas Vanessa 680
Díaz Flores Laura Lorena 6, 484, 651, 751
Díaz García Ana Korina 113
Domínguez Torres Alberto 243
Dorantes Rosales Héctor Javier 739, 759
Duran Belman Israel 135, 385, 560
Elizondo Hernández Arantza 181
Esparza Parra Miguel Ángel 602
Esparza Ramírez Beatriz Adriana 48, 512
Espinoza Armenta Mauricio 227
Espinoza Valdez Aurora 401
Espinoza Zepeda Carlos Alán 227
Espinoza-Valdez Aurora 420
Espíritu López Isis Nashelli 217
Estrada Flores Miriam 34
Fernandez Ramírez Arnoldo 625
Fernández Hernández Luis Angel
Ferreira Palma Carlos 739, 759
Flores Balderas Adán 248
Flores Cano Claudia Fernanda 271
Flores Solorzano Diego Antonio 568
Frías Chimal José Eduardo 11
Fuentes Ramírez Rosalba 336
Funes-Gallanzi Marcelo 39
Galaviz Vega Esteban Eduardo 602
Gallardo Alvarez Dennise Ivonne 135, 385, 560, 593
Gaona Zamora Eduardo 11
García Alvarado Miguel Ángel 209
García Andrade Roxana 625
García Castrejón Juan Carlos 454
García Estrada Hector 54, 568
García Galán Sergio 476
García González Irma Angélica 113
García Guzman Jose Miguel 385, 593
García Hinojosa Jose Alejandro 476
García López Saúl 484
García Manzo Ricardo Emmanuel 575
García Valadez Juan Carlos 11
Garduño Cruces Estefany Abigail 95
Garibay Febles Vicente 787
Garnica Romo Ma Guadalupe 651
Gómez Lerma Luis David 787
Gómez Rocha Anais Ivonne 409
Gómez Torres Fabiola Del Carmen 6, 484, 651
González Camacho Korina 113
González Díaz Anabel 6, 484

- González Mancera Guillermina 476
González Ponce Herson Antonio 621
Govea Magaña Luis Ángel 79
Graciano Graciano Dulce María 454
Granados García Francisco Adolfo 658
Guerrero Altamirano Mauricio 680
Guerrero Viramontes J. Ascención 39
Guilen Bonilla José Trinidad 726
Guillen Bonilla Héctor 726
Guillen Bonilla Alex 726
Gutiérrez Martínez Alberto 731
Gutiérrez Salgado Juan Manuel 409
Heredia Cervera Beatriz 751
Hernández Bautista Ignacio 285, 667
Hernández Briones Benjamín Manuel 434
Hernandez Córdova Roberto 484
Hernández Cruz Miriam 525
Hernández Elguezabal Edgar Alberto 607
Hernández Fuentes Javier 34
Hernández Guerrero Alejandra 607
Hernández López Danay 361
Hernandez Perez Javier 374, 822
Hernandez Sing Humberto 550
Hernandez Tenorio Celso 151, 173
Hernandez Ventura Jose Daniel 428
Herrera Díaz Israel Enrique 658
Herrera Salazar Sergio Christian 313
Higuera Cantu Roberto 840
Huerta Balcazar Jorge Alfredo 61
Kob Rodríguez Alix Aké 271
Labastida Puertos Olivia 772
Landin Sandoval Veronica Janeth 109
Leal Palomares Rommel Arel 227, 443
Ledezma Martínez José Luis 34
León Vega Néstor 135, 385, 560
López Dimas Sara 144, 188
López García Ricardo D. 297
López Guemez Antonia Del Rocío 6, 484, 651, 751
Lopez Hernandez Juan 531
López Hernández Osvaldo 243, 799, 832
López Hirata Víctor Manuel 491, 739
López López Tizoc 61, 731
López Rodríguez Angélica Silvestre 651, 751
López Rosales Regina 491
Lopez Ureta Luz Cecilia 512
Lora Resendiz Brenda Cecilia 759
Lozada Hernández Leslie Jazmín 739, 759
Lozano López Miguel A. 420
Luna Rivero Laura 447
Lunagómez Rocha María Antonia 6
Luviano Ortiz José Luis 687
Magdaleno Zavala Juan Antonio 135, 560, 593
Maldonado Badillo José Antonio 696
Mares Castro Armando 128
Márquez Villalobos Salomón Elieser 393
Martínez Bórquez Alejandro 393
Martínez Brioso Luis A. 221
Martínez Centeno Andrea 512
Martínez Espinosa Juan Carlos 336
Martínez González Karina Guadalupe 297
Martínez Olguín Mónica 374
Martínez Oliva Gonzalo Guillermo 568
Martínez Ponce Geminiano D. 68, 361
Martínez Ramírez Briceida Yasmin 607
Martínez Reyes Armando 625
Martínez Reyes Jacobo 506
Martínez Tovar Hilda Cristina 607
Mejía Manzo Jesús 832
Mendoza Castillo Didilia Ileana 109, 621
Mendoza Guzmán Lorena 792
Mendoza Méndez Patricia 447
Mendoza Miranda Juan Manuel 336, 680
Meneses Figueroa Adrian 822
Mercado Zuñiga Cecilia 787
Merodio Morales Eduardo Enrique 621
Miguel Andrés Israel 715, 778
Miranda Hernández José Guadalupe 221, 525, 701
Montalvo Romero Nayeli 144, 188
Montiel Huerta Ma. Elizabeth 808
Montiel Rosales Aarón 144, 188
Morales Duque Jorge Luis 607
Moreno Martínez Jatziri Yunuén 658
Moreno Saavedra Hilda 151, 173
Mosiño Juan Francisco 285, 667
Nava Lozano Evelin Amairani 345
Neave Velazquez Axel David 550
Negrete Mundo Ana Lucía 808
Nieto Frausto Juan 447
Nieves Vazquez José Angel 428
Nuñez Contreras Alejandra 525
Ojeda Morales Yanier 68
Olmos Ramírez Rocio Lizbeth 393
Olvera Alejo Roberto Nahum 324
Ornelas Amaro Juan Ernesto 181
Orozco Corona Dulce María 158
Ortega Cruz Laura Luz 374
Ortiz Moctezuma Manuel Benjamín 26
Ortiz Orozco Norma Angélica 840
Palacios Ortega Marcela 285, 667
Parra Quiñonez Martín Rolando 443
Partida Hernandez Karla Marisa 531
Perea Urías María Isabel 602
Pérez Badillo Eduardo 271
Pérez Vidal Hermicenda 6
Ponce Del Campo Rosa Isela 79
Porrás Muñoz Rolando 792
Pulido Manjarrez Juan Carlos 151
Quintero Meza Ricardo Rafael 313
Quintero Rojas Víctor 538
Quiroz Compeán Griselda 401, 420
Ralero De La Mora Manuel Prisciliano 772
Ramírez Ortega Jorge Alberto 726
Ramírez Pérez David 428
Ramírez Sotelo María Guadalupe 54, 568
Ramos Fernández Julio César 374
Ramos Paz Antonio 263
Ramos Santos Tomás 434
Rangel Cobian, Víctor Manuel 726
Raya Álvarez Guillermo L. De J. 234
Razo Hernández José Roberto 467, 646

- Razón González Juan Pablo 135, 385, 560, 593
Refugio García María Elizabeth 328, 525, 701
Reyes Luévano Juan 39
Reynel Ávila Hilda Elizabeth 109, 621
Reza San Germán Carmen Magdalena 34
Ricárdez Rueda Fernando 48
Ricardez Vargas Ibis 651
Rios Ataxca Blanca Nicandria 428
Rivas López Diego Israel 739
Rivera Blancarte Diana Mayte 467, 646
Rivera Ruedas Ma. Guadalupe 751
Rocha Rangel Enrique 297, 328, 696, 701
Rodríguez Alejandro David Aarón 467, 646
Rodríguez Betancourt Verónica María 726
Rodríguez García José Amparo 297
Rodríguez Gómez Francisco Javier 476
Rodríguez Jiménez Guadalupe Del Carmen 209
Rodríguez Perez Ociel 476
Rodríguez Ramírez José Alfredo 454
Rodríguez Santoyo Eunice Guadalupe 687
Rojas Ramírez Teresa 173
Rojas Valencia Oscar Guadalupe 34
Rojo Romo Vicente Onofre 48
Román Godínez Israel 575
Romero Ángeles Beatriz 506
Romero Fuentes María Estela 79
Rosas Barrios José Antonio 739, 759
Rosas Flores Alejandro 715
Rostro González Horacio 234
Rubio Peñuelas Scottie 443
Ruiz Estrada Honorina 447
Salazar Amaya Mario 193
Salazar Hernández Ma. Del Carmen 234, 336, 680
Salazar Rivera María Eugenia 799
Salgado Cervantes Marco Antonio 209
Salgado Solís Mónica 285, 667
Salido Ruiz Ricardo A. 401, 420, 575
Salinas Reyes Julio Cesar 173
San Pablo Juárez Miguel Angel 158
Sánchez Alvarado Oscar Omar 86
Sánchez Espinosa Kevin 635
Sánchez Marín Ana Gabriela 759
Sánchez Morales Maria Eugenia 726
Sandoval Reyes Brenda Anahi 271
Santiago Montero Raul 285, 667
Saucedo Muñoz Maribel Leticia 271
Servín García Diana 588
Sierra Hernandez Juan Manuel 217
Sigala García Dario Alberto 491
Silos Chincoya Gilberto 54, 568
Silva Acosta Valeria 575
Silva Muñoz Sergio Antonio 588
Silva Refulio Edgar Javier 512
Soberanez Gutiérrez Jesús Vicente 227
Solorio Leyva Juan Carlos 79, 119
Solorzano Salgado Paulina 158
Soto Espitia Rafael 193
Soto Ojeda Gabriel Arturo 113
Tamez Alvarez Mario 625
Tepale Cortés Arturo 151, 173
Tirado Medina Jesús Mauricio 26
Torres Ávalos Gerardo Alonso 48
Torres Figueroa Margarita 79, 119
Torres López Alejandra 808
Torres Muñoz Oscar Salvador 667
Torres Ramón Elizabeth 209
Torres Ramos Sulema 575
Torres Santillán Esther 34
Trejo Cristerna Alfonso Mauricio 491
Tututi Guillén Herlinda 61, 731
Uicab Córdova Elsa Emilia 6, 484, 651
Urriolagoitia Sosa Guillermo 506
Valadez Olvera Hugo René 11
Valdez López José Alberto 11
Vargas Matamoros Kathy Laura 808
Vargas Ortiz Edith Lucía 787
Vargas Rodríguez Everardo 248
Vasquez Hernández Miguel Roque 538
Vázquez Huerta Gerardo 221, 328, 701
Vázquez Ulloa Vladimir 525
Vega Cabrera José 324
Vega Gómez Gustavo Adolfo 726
Vela Gutiérrez Gilber 303
Velasco Chavarría Samantha Esthefania 303
Villa Cruz Virginia 303
Villagarcía Chávez Ezequiel 34
Villanueva Castañeda Miguel 151, 173
Villanueva Fernández María Goretty 336
Villanueva Lendechy Mauro Antonio 113
Villareal Serrano Jorge Rosario 443
Villaseñor-Cisneros Damian A. 401
Zabala Oseguera Cindy Viridiana 263
Zamora Campos Luis Alberto 374
Zarate Viveros Maria De Lourdes 428
Zatarain Cabada Ramón 86