

CONTROL Y OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEO EN PROCESOS INDUSTRIALES

Bricio Barrios, Elena Elsa; Hernández Escoto, Héctor y López Caamal, Fernando

Universidad de Guanajuato. División de Ciencias Naturales y Exactas, Posgrado en Ingeniería Química. hhee@ugto.mx

RESUMEN

Este trabajo propone la implementación de un controlador avanzado (no Lineal), que a diferencia de la estructura de control no Lineal tradicional donde la variable de interés realiza un seguimiento de trayectoria preestablecida, en lugar continuar dicho seguimiento, se realiza un servocontrol. Este esquema se validó respecto a un controlador lineal PI sintonizado por un método de optimización global y un controlado avanzado SMC sintonizado por el método de Nelder-Mead. El desempeño de los controladores se evaluó en dos procesos industriales característicos en la Ingeniería de Procesos: un tanque de enfriamiento y una reacción exotérmica, ambos en operación continua. Cada sistema fue sometido a múltiples perturbaciones y para retornar la variable de interés al valor deseado; se acopló un controlador y se evaluó el desempeño de las variables de operación. Los resultados mostraron que el controlador no Lineal propuesto tiene un desempeño análogo al PI optimizado y el controlador avanzado, por tanto, puede considerarse una alternativa viable para su empleo en un proceso industrial.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de cualquier industria manufacturera son la mejora de calidad, reducción continua de costos y del tiempo de desarrollo del producto, de forma simultánea [1]. Para lograr estas mejoras, se realizan variaciones a prueba y error (experimentación) de las condiciones de operación hasta obtener un producto con las características físicas, químicas y biológicas deseadas [2]. Dado que la experimentación es lenta, se han desarrollado modelos matemáticos capaces de describir las variables involucradas del proceso y así obtener las condiciones de operación correspondientes se pueden considerar como las "óptimas" a través de técnicas matemáticas se puede realizar en menor tiempo con menor costo.

Contando con las ecuaciones de diseño del proceso, es posible crear un modelo matemático que, al ser acoplado a un esquema de control, pueda asegurar la obtención de un producto con la calidad deseada. Por ejemplo: el controlador PI Lineal, es el esquema más empleado a nivel industrial [3], sin embargo, este controlador es inestable ante múltiples perturbaciones [4] y, por ende, se han propuesto estrategias de optimización de los parámetros de ajuste de la ganancia Proporcional, Integral y Derivativa para este esquema. El controlador avanzado, Sliding Mode Control ha mostrado ser una herramienta útil en gran variedad de sistemas no lineales, pero requiere métodos de solución avanzados para reducción de oscilaciones de frecuencia y amplitud finita conocida como *chattering* [5]. El esquema no Lineal o Geométrico se caracteriza por que la construcción y sintonización de parámetros se realiza de manera sistemática y además muestra alto desempeño en sistemas en cuyo modelo hay parámetros que son inciertos y variantes en el tiempo o dependientes de otra variable, sin embargo, no siempre se obtiene el valor deseado [6].

Es importante mencionar que es necesario realizar una sintonización adecuada de los parámetros de ajuste para garantizar que el controlador realice su función correctamente [7]. Para resolver este potencial problema se han implementado métodos de optimización basados en un conjunto de métodos analíticos y numéricos enfocados en encontrar e identificar al mejor candidato de entre una colección de alternativas [8]. En específico, los algoritmos de optimización inspirados en el comportamiento de algunos animales y fenómenos físicos han tomado auge en los últimos 30 años mostrando alto desempeño en el control de las variables y parámetros de interés [9]. Por ejemplo, [10] a través del algoritmo de Colonia de Hormigas establecieron las condiciones de operación

para la maximización de producción de etanol en cerveza y [11] propusieron una red neuronal para describir el comportamiento de la glucosa en pacientes con diabetes tipo I. Sin embargo, la generación de estos resultados requiere alta demanda de tiempo de cómputo y no siempre muestran condiciones de operación que sean reproducibles a escala industrial [12]

En años recientes, se ha propuesto una combinación del control con la optimización simultánea en gran variedad de procesos y ha mostrado ser una alternativa atractiva para sistemas con múltiples setpoints en la variable de interés (temperatura) como el proceso de pasterización de leche [13], fermentación de cerveza industrial [14], entre otros. Sin embargo, esta estrategia resulta ineficiente para el control de procesos en línea.

TEORÍA

Casos de estudio

Se analizaron dos casos representativos en la academia e industria que son operados en línea, los detalles de estos sistemas se muestran a continuación:

- Caso 1. Un reactor en operación continua (Figura 1) donde se lleva a cabo una reacción exotérmica de tipo $A \rightarrow B$. Para remover el calor producido por la reacción, el reactor es rodeado por una chaqueta a través de la cual un fluido refrigerante fluye a 27 °C. El tanque se encuentra a una temperatura de 88 °C, por lo que, al producirse la reacción y las múltiples perturbaciones en el flujo de alimentación, la temperatura del sistema se incrementará, por lo que es necesario implementar un sistema de control que permita retornar este parámetro a su valor deseado.

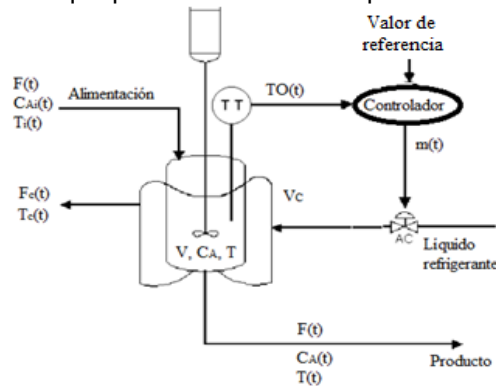


Figura 1. Esquema de un tanque de agitación constante.

- Caso 2. Un tanque de enfriamiento (Figura 2) que es alimentado con un flujo a alta y otro a baja temperatura. El fluido en el tanque se encuentra a una temperatura de 150 °F y es transportado a través de una tubería de 125 pies; se desea mantener esta temperatura posterior a la presencia de múltiples perturbaciones en el flujo de alimentación de alta temperatura. Por tanto, se implementa un esquema de control que garantice la estabilidad del sistema.

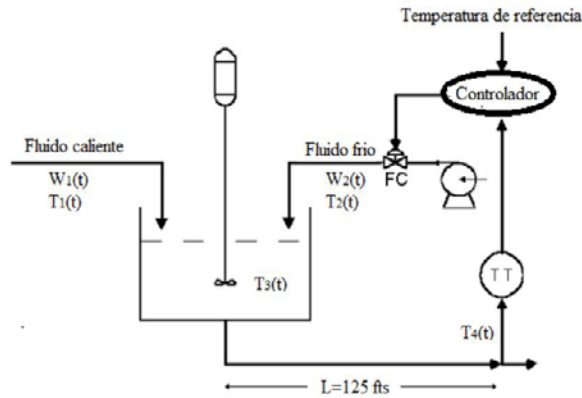


Figura 2. Esquema de un tanque de enfriamiento.

Las ecuaciones de diseño y parámetros de ajuste en ambos casos de estudio se pueden consultar en el artículo de Camacho y Smith [15].

2.2 Esquemas de control y sintonización de parámetros

En cada caso de estudio se seleccionaron tres esquemas de control para evaluar su desempeño ante múltiples perturbaciones y determinar si se requiere la implementación de un esquema de control adicional para retornar la variable de interés al valor deseado, de ser así, el costo de económico y operacional incrementaría considerablemente. La construcción del controlador y la variable de desviación PI lineal y SMC (ecuación 1 y 2) están reportadas en el trabajo Camacho y Smith [15]

$$m(t) = \bar{m}(t) + \left(\frac{t_0\tau}{K}\right) * \left[\frac{X(t)}{t_0\tau} + \lambda_0[\overline{TO} - TO]\right] + K_d \frac{S(t)}{|S(t)|+\delta} \tag{1}$$

$$e(t) = m(t) - TO(t) \tag{2}$$

donde $m(t)$ es la salida del controlador y $TO(t)$ es el transductor.

La estructura del controlador no Lineal Propuesto para el reactor y el tanque se muestra en la ecuación 3 y 4. Mientras que la variable de desviación fue la temperatura en el interior ($\bar{T}(t)$) respecto a la temperatura deseada del reactor y del tanque respectivamente (ecuación 5).

$$F_c = - \left[\bar{F}_c + \frac{V\rho_c c_{pc}}{UA} * \frac{V_c}{T_i(t) - T_c(t)} * \frac{1}{T_c(t) - T_{ci}(t)} * \left[K_p * e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt \right] \right] \tag{3}$$

$$W_2 = - \left[\bar{W}_2 + \frac{V\rho c_{p3} - W_1(c_{p1}T_1(t) - \bar{T}(t)c_{p3})}{c_{p2}T_2(t) - \bar{T}(t)c_{p3}} * \left[K_p * e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt \right] \right] \tag{4}$$

$$e(t) = \bar{T}(t) - T(t) \tag{5}$$

La sintonización de la ganancia Proporcional e Integral para el controlador PI Lineal y no Lineal Propuesto se realizó a través del método de optimización Cuckoo Search-Levy Flight [16] y asignación de polos a lazo abierto [17]. Mientras que los parámetros de ajuste para el control avanzado SMC se realizó por el método de Nelder-Mead [15].

2.3 Desempeño de los casos de estudio

Los tres esquemas de control seleccionados fueron evaluados con los dos parámetros de mayor importancia en cada sistema de estudio. Para el tanque de reacción exotérmica se analizó la dinámica transitoria de temperatura en el interior del reactor para establecer el tiempo de asentamiento hasta el valor deseado y conversión de reactivo a producto para corroborar que el esquema de control no reduce la formación del producto deseado. Mientras que, el sistema correspondiente al tanque de enfriamiento se observó el desempeño del flujo de refrigerante y volumen de fluido de enfriamiento para determinar si la implementación del esquema de control Propuesto pueda desarrollarse en planta piloto y posteriormente a nivel industrial [18].

RESULTADOS

3.1 Ganancias para cada esquema de control

A partir de los parámetros de ajuste (K_p, τ_p, θ) correspondiente a un modelo de primer orden más tiempo muerto reportados por Camacho y Smith [15] y Bricio [16], se cuantificaron las ganancias (Tabla 1) del controlador PI Lineal optimizado, SMC y el esquema no Lineal Propuesto.

Tabla 1. Ganancias para el sistema de reacción de tanque de reacción y del tanque de enfriamiento.

Controlador	Reactor	Tanque de enfriamiento
PI Lineal	$K_C = 1.84$	$K_C = -0.3$
	$K_I = 4.4 \times 10^{-3}$	$K_I = -0.13$
Propuesto	$K_C = -0.53$	$K_C = 0.86$
	$K_I = 5.3$	$K_I = 3.3$
	$K_D = 0.124$	$K_D = -0.54$
SMC	$\lambda = 0.18$	$\lambda = 0.38$
	$\delta = 0.83$	$\delta = 0.63$

Las ecuaciones de diseño y las ganancias (Tabla 1) para cada uno de los controladores para el sistema de tanque de reacción y tanque de enfriamiento se realizaron a través de la programación de bloques de SIMULINK y se procedió a realizar las simulaciones que se muestran a continuación.

3.2 Desempeño del sistema de tanque de reacción

Figura 3. Dinámica transitoria de a) múltiples perturbaciones en el flujo de alimentación b) perfil de temperatura en el interior del reactor y c) conversión de reactivo a producto.

En la Figura 3 se muestran tres paneles correspondientes a: (i) las múltiples perturbaciones en el flujo de alimentación, (ii) la temperatura en el interior del tanque de reacción y (iii) la conversión

(kmol/l) del reactivo a producto. En *el primer panel* se observa cuatro perturbaciones de tipo escalón descendente con magnitud de 0.02 (lt/min) cada 4000 minutos. Al inicio de la reacción química existe una alta demanda en el flujo de alimentación, equivalente a la reacción exotérmica. En *el segundo panel* se muestra el desempeño de los esquemas de control para mantener al reactor a 88 °C durante la reacción exotérmica muestra que los tres controladores retornan al valor deseado de temperatura, sin embargo, el controlador PI Lineal optimizado muestra un conjunto de oscilaciones descendentes cada vez que el sistema recibe una perturbación; el controlador avanzado (SMC) mantiene la dinámica oscilatoria estable (*chattering*) durante la cuarta perturbación, mientras que el controlador no Lineal Propuesto tiene una dinámica oscilante descendente hasta retornar a los 88 °C. En *el tercer panel* se muestra la conversión de reactivo a producto donde los tres esquemas de control seleccionados alcanzan la máxima conversión a los 3000 minutos, sin importar la presencia de las tres perturbaciones subsecuentes, sin embargo, solo el controlador PI optimizado es más lento respecto al SMC y la Propuesta para alcanzar dicha conversión.

3.3 Desempeño del sistema de tanque de enfriamiento

Figura 4. Dinámica transitoria de: a) múltiples perturbaciones en el flujo de alimentación b) perfil de temperatura en el interior del tanque de enfriamiento y c) demanda de fluido de enfriamiento.

La Figura 4 se divide en tres paneles, en el primero se muestra (i) dinámica transitoria del flujo de alimentación posterior a tres perturbaciones en el flujo de alimentación, (ii) perfil de temperatura del líquido después de ser transportado por una tubería de 125 pies de longitud y (iii) la demanda de fluido de enfriamiento para mantener a 150 °F el líquido en el interior del tanque. El *primer panel* muestra una alimentación constante de 225 lt/min durante 100 minutos, después se producen dos perturbaciones representadas como reducciones del flujo de 25 lt/min cada 150 minutos hasta alcanzar un flujo de alimentación de 175 lt/min. En *el segundo panel* el controlador PI muestra que después de la tercera perturbación las oscilaciones incrementan tornando al sistema inestable. El controlador avanzado y el Propuesto, retornan a los 150 °F con una dinámica sub-amortiguada, sin embargo, la estrategia no Lineal retorna al valor deseado 25 minutos antes respecto al SMC. En *el tercer panel* se muestra el desempeño de los tres controladores seleccionados se observa que solo el controlador PI mantiene oscilaciones decrecientes estables en las dos primeras perturbaciones en el flujo de alimentación, sin embargo, en la tercera perturbación las oscilaciones se tornan inestables. En el caso del controlador SMC y del controlador no Lineal Propuesto, la demanda de flujo se estabiliza, sin embargo, el controlador no Lineal retorna en menor tiempo respecto al esquema avanzado.

CONCLUSIONES

Se analizaron dos casos de estudio característicos de la Ingeniería de Procesos, donde se desea es mantener a temperatura constante el interior del recipiente. Estos sistemas fueron sometidos a múltiples perturbaciones en el flujo de alimentación, y se acopló un controlador para retornar a la temperatura deseada, se seleccionaron tres esquemas de control donde se evaluó el desempeño de algunas variables de interés. Los resultados mostraron que el empleo del controlador lineal PI con los parámetros de ajuste optimizados es eficiente en los dos casos de estudio, pero el tiempo de cómputo requerido fue de 18 y 40 horas para obtener las ganancias Proporcional e Integral, mientras que SMC y el Propuesto retornan al valor deseado, sin embargo, el esquema SMC muestra el *chattering* característico, mientras que el esquema Propuesto no presenta dichas oscilaciones. Por tanto, la implementación del esquema de control no Lineal Propuesto es una alternativa viable como sustituto del controlador clásico sintonizado por medio de la estrategia de optimización Cuckoo Search-Levy Flight y avanzado, no obstante, se requiere un análisis matemático riguroso para establecer las condiciones generales de la funcionalidad del controlador Propuesto y concluir si este esquema es viable a escala industrial.

BIBLIOGRAFÍA

1. P. Figueroa, "Optimización de productos y procesos Industriales", (Grupo Planeta, 2016), Capítulo 1, pp. 17-22.
2. D. Andrés, "Ciencias aplicadas a la actividad profesional 4 ESO", (S.A. EDITEX, 2016), Capítulo 1, pp. 2-35.
3. Leventides, J. y Karcanias, N. "A new sufficient condition for arbitrary pole placement by real constant output feedback". *Systems and Control Letters*, Vol. 18, 3, 1992, pp. 191-199.
4. R. Flores, A. Estrada y R. Femat. "Un modelo matemático y análisis dinámico de digestión anaerobia de la fracción orgánica soluble de residuos sólidos municipales orientado al diseño del control", *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 15, 1, 2016, pp. 243-258.
5. V. Utkin y H. Lee. "Chattering problem in sliding mode control system", *International Workshop on Variable Structure Systems*, 2006, pp. 346-35.
6. Khalil, H. K. "Nonlinear Systems", (Prentice Hall: New Jersey, 2002), Capítulo 3, pp. 60-92.
7. F. Angulo. "Nonlinear control, CSTR Reactor, LQR, Lyapunov". *Control Engineering Practice*, Vol. 20, 2013, pp. 1129-1145.
8. J. Makinia. "Mathematical modelling and computer simulation of activated sludge systems", (IWA publishing, 2010), Capítulo 1, pp. 13-34.
9. X. Yang, y S. Deb, S. "Cuckoo search via Lévy flights". In *Proc. Of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing*, India. IEEE Publications, 2009, pp. 210-214.
10. J. Xiao, Z. Zhou y G. Zhang G. "Ant Colony System Algorithm for the Optimization of Beer Fermentation Control". *Journal of Zhejiang University SCIENCE*, Vol. 5, 2011, pp. 1597-16089.
11. E. Ruiz, A. Alanis, R. Femat y G. Quiroz. "Neural Modeling of the Blood Glucose Level for Type 1 Diabetes Mellitus Patients". *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 2011.
12. J. Makinia. "Mathematical Modelling and computer simulation of activates sludge systems", (IWA Publishing, 2010), Capítulo 1.
13. S. Niamsuwana, P. Kittisupakorna y I. Mujtabab. "Control of milk pasteurization process using model predictive approach", *Computers and chemical engineering*, Vol 66, 2014. pp 2-11.
14. I. Sánchez. "Evaluación nutrimental del sedimento de cerveza elaborada con cebada maltera", (Tesis de grado de Licenciatura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, 2008), Capítulo 1, pp. 14-17.
15. O. Camacho y A. Smith. "Sliding mode control: an approach to regulate nonlinear chemical processes". *ISA Transactions*, Vol. 39, 2000, pp. 205-21.
16. E. Bricio. "Implementación y análisis de estrategias numéricas estocásticas de optimización global sobre esquemas de control de procesos", (Tesis de grado de Maestría del Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México, 2014), Capítulo 4, pp. 34-47.
17. E. Bricio, H. Hernández y S. Arceo. "Control óptimo del proceso de fermentación de cerveza artesanal". *Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya*, Vol 8, No. 5, 2016, pp. 679-684.
18. E. Bricio y H. Hernández. "Control de reactores con diversas velocidades de conversión", (Compendio de Investigaciones Científicas en México, 2016), Capítulo 7, pp. 3185-3191.

EFFECTO DEL PORCIENTO DE HUMEDAD DE ARENA RECICLADA EN EL ACABADO SUPERFICIAL DE PIEZAS FUNDIDAS

Selene Capula-Colindres, Gerardo Terán-Méndez, Esther Torres-Santillan, Ezequiel Villagarcía-Chávez

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación, CIC-IPN, Av. Juan de Dios Batiz s/n, Col. Industrial Vallejo, CP. 07738, CDMX, México.

Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Ingeniería Química Industrial, ESIQIE-IPN, UPALM EDIF. 7, Zacatenco, CP. 07738, CDMX, México.

RESUMEN

En la producción de piezas fundidas, las propiedades de las arenas de fundición utilizadas para fabricar moldes son de gran importancia ya que determinan en gran medida la calidad de las piezas. Al utilizar por numerosas veces la arena en verde en la fundición de piezas, modifica sus propiedades mecánicas y físicas disminuyendo su plasticidad y permeabilidad. En este trabajo se presenta un estudio sobre la relación que existe entre el acabado superficial de piezas ornamentales de aluminio y el contenido de agua en arena reutilizada. Se prepararon diferentes mezclas de arena al 5, 6, 7 y 8 % de humedad para realizar los moldes. El vaciado del aluminio fue a una temperatura de 800 °C. Cada mezcla de arena fue sometida al ensayo de dureza, resistencia a la compresión y resistencia al corte. Las piezas moldeadas con arena al 5 y 8 % de humedad presentaron la menor cantidad de defectos por lo tanto los más eficientes acabados superficiales.

INTRODUCCIÓN

En la producción de piezas fundidas, las propiedades de las arenas de fundición utilizadas para fabricar los moldes son de gran importancia ya que determinan en gran medida la calidad de las piezas [1-2]. El método más empleado debido a su economía para producir moldes de fundición es el de moldeo en arena verde, el cual consiste en mezclar arena, arcilla (bentonita, caolinita), aditivos carbonáceos y agua en ciertas proporciones para producir las propiedades mecánicas necesarias para garantizar piezas fundidas de calidad de acabado aceptables [1,3]. Siguín y colaboradores [4] mencionan que los defectos superficiales de las piezas moldeadas dependen del aglutinante utilizado. La bentonita es una arcilla que consiste esencialmente del mineral montmorillonita, es el adhesivo que mantiene la forma del molde debido a que sirve como aglutinante para los granos de arena [5]. La razón más importante para utilizar bentonita sobre cualquier otra arcilla aglutinante radica en la alta resistencia que le confiere a las arenas de moldeo en verde, su mayor durabilidad cuando han sido sometidas a elevadas temperaturas y plasticidad [3,5-6]. Al emplear por numerosas veces la arena en verde en la fundición de piezas modifica sus propiedades mecánicas y físicas disminuyendo su plasticidad y permeabilidad. Esto se genera debido a que la bentonita pierde sus propiedades debido a la destrucción de su estructura cristalina por efecto del choque térmico que se produce durante el proceso de colada [4], causando entre otros: malos acabados superficiales, atrapamiento de gases y rompimiento de los moldes [1]. Por lo tanto, la arena utilizada después de varias veces (arena reutilizada) debe ser reacondicionada para ser utilizada nuevamente. El grupo de Noguez [7], reportó un estudio sobre la influencia de la variación entre bentonita y agua en arenas en verde en su difusividad térmica, señalando que la variación de los contenidos antes señalados define sus propiedades físicas de las arenas en verde. Por lo tanto, este proyecto se enfoca en la influencia del porcentaje de humedad y bentonita en el acabado superficial de piezas fundidas de aluminio empleando arena en verde reutilizada.

PARTE EXPERIMENTAL

La etapa experimental se realizó de acuerdo al manual de la Sociedad Americana de Fundidores (AFS) [8]. La primera etapa consistió en seleccionar la muestra de arena reutilizada; se dividió el banco de arena en nueve secciones y se tomó un kilogramo de arena de cada sección a una profundidad de 150 mm de la superficie. Posteriormente se procedió a realizar el mezclado para obtener una muestra representativa de arena de moldeo en verde y se cribó empleando un tamiz de malla número 4. La variación del porcentaje de humedad se realizó en un intervalo del 5 hasta el 8% de humedad el cual está reportado en la bibliografía para fundiciones de aluminio. Se calculó el volumen de agua agregada empleando la ecuación 1. Las cantidades de arena y volumen de agua se presentan en la Tabla 1.

$$W_{H_2O} = \frac{\%W_{H_2O} * W_{arena}}{100}$$

Ecuación 1

Donde %W H₂O = porcentaje de humedad deseado

W arena = peso de la arena a mezclar (kg o gr)

W H₂O = peso del agua (kg o gr)

Tabla 1. Relaciones de %humedad, volumen de agua y cantidad de arena

<i>Prueba</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Peso de arena (Kg)</i>	<i>Volumen de agua (L)</i>
1	5	60	3
2	6	60	3.6
3	7	60	4.2
4	8	60	4.8

Todas las mezclas de arena se sometieron a ensayos de porcentaje de humedad (método fuera de norma y carburo de calcio), resistencia a la compresión, resistencia al corte y dureza. La preparación de la arena se realizó mediante un molino tipo chileno. Los moldes fueron fabricados manualmente. El aluminio utilizado para el vaciado fue fundido en un horno de crisol removible a una temperatura de 800 °C. Las piezas fundidas de aluminio moldeadas con arenas con diferentes porcentaje de humedad fueron inspeccionadas superficialmente para determinar el mejor acabado. De acuerdo a los resultados de la inspección de piezas, se determinó que pieza obtuvo el mejor acabado superficial de acuerdo al porcentaje de humedad.

RESULTADOS

El tamaño de grano del carburo de calcio (CaC_2) juega un papel importante en la evaluación del porcentaje de humedad de arena en verde. Entre más pequeño es el grano del CaC_2 más eficiente es la reacción, como se puede observar en la Tabla 2. El mejor resultado se reportó cuando se empleó el CaC_2 en polvo coincidiendo el valor experimental con el calculado al 2%. Este comportamiento es atribuido a la estrecha interacción existente entre los granos de carburo y los granos de arena reaccionando con la humedad presente en las mezclas.

Tabla 2. Resultado del % de humedad en arena empleado el método de carburo de calcio

<i>Humedad (%)</i>	<i>Peso de arena (gr)</i>	<i>Volumen de agua (mL)</i>	<i>Tamaño de grano CaC_2</i>	<i>Resultado experimental de %humedad</i>
2	100	2	Polvo	2
2	100	2	Mezcla 50-50	1.2
2	100	2	Mezcla 30-70	0.66
2	100	2	Piedra	0.3

La resistencia a la compresión de las diferentes probetas de arena reutilizada variando el porcentaje de humedad (Fig. 1) aumenta alcanzando un máximo el cual es llamado punto de templado [9]. A partir de este valor, los valores de resistencia decrecen exponencialmente con el incremento porcentual de humedad en la mezcla de arena. Este comportamiento de acuerdo al grupo de Hernández [10] es atribuido a la acción negativa del agua atmosférica que incorporan las mezclas.

La Tabla 4 presenta los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia al corte y dureza de las mezclas de arena variando el porcentaje de humedad. La resistencia al corte disminuye conforme aumenta el contenido de agua en la arena. Caso contrario se observa en los valores de dureza de los moldes, estos son directamente proporcionales al porcentaje de humedad. De acuerdo a la clasificación de los moldes por su dureza, los resultados obtenidos de las mediciones se encuentran en una clasificación de dureza entre 70-100, lo que se clasifican en moldes duros (70-85) y muy duros (85-100). Los valores altos de dureza en arena reciclada en estos experimentos coinciden con los reportados por el grupo de Revelo [11], donde comparan dos tipos de arenas: reutilizadas y nueva. La primera reportó un intervalo de dureza entre 85 – 72 y la arena nueva fue de 68 – 50 escala B.

Figura 1. Grafica de la resistencia a la compresión y humedad de arena en verde

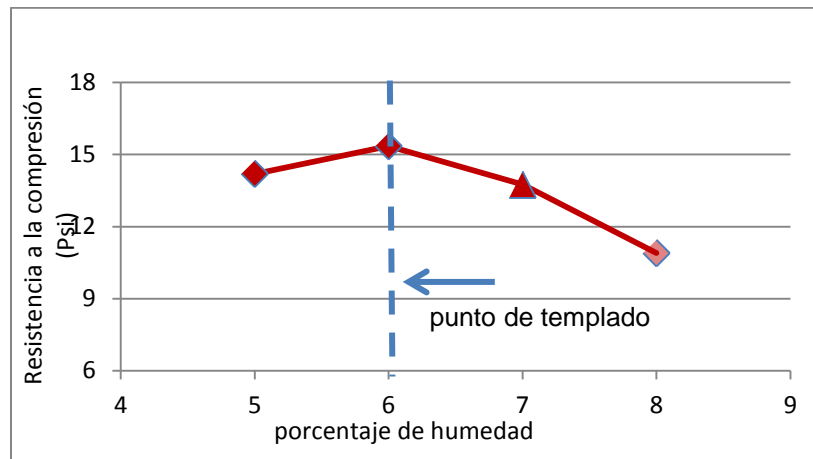


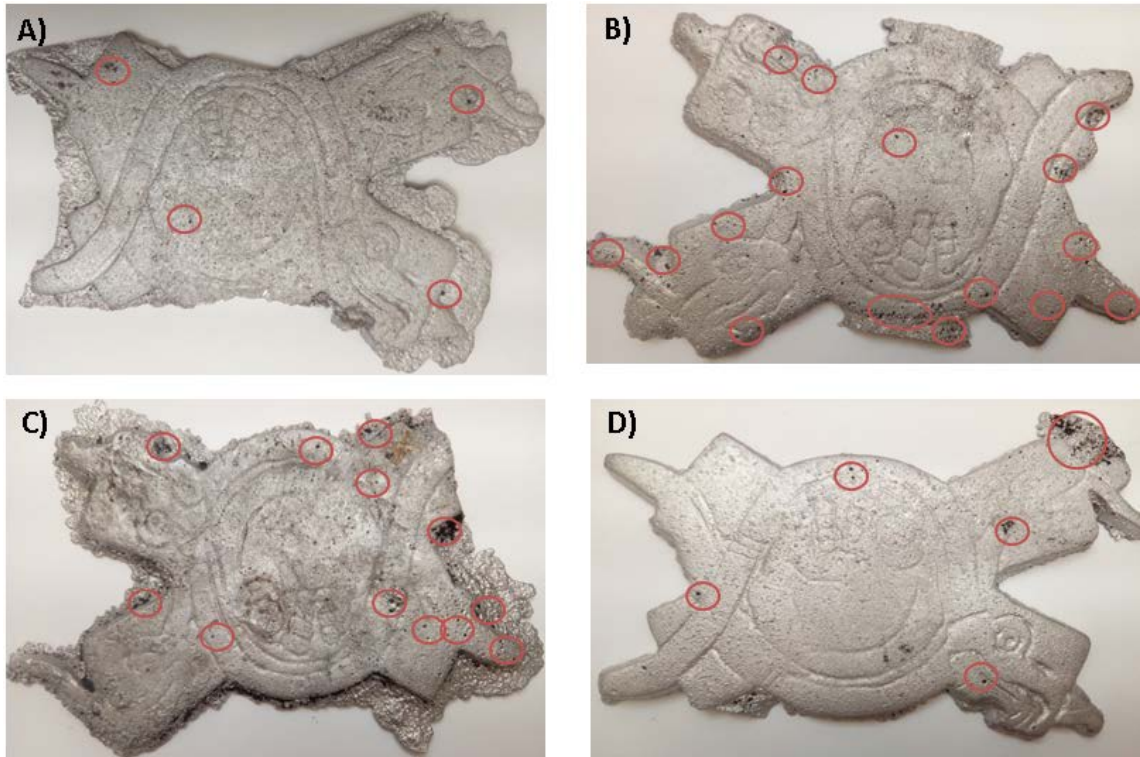
Tabla 4. Resultados obtenidos de resistencia al corte y dureza de arena en verde

Humedad (%)	Resistencia al corte (Psi)	Dureza escala B
5	3.7	72
6	2.8	81
7	2.8	89
8	1.5	98

Las piezas obtenidas después de la fusión de aluminio moldeada con arena en verde reutilizada a diferentes porcentos de humedades se muestran en la Figura 2. Aunque todas las muestras se obtuvieron completas, se puede observar que en algunas de ellas existe la presencia de defectos como: porosidad y penetración del metal en la arena. Ambos defectos pueden ser atribuidos a: i) altos valores de dureza de los moldes [11], ii) tamaño y distribución de granos de arena, iii) una insuficiente o irregular compactación de los moldes, iv) formación de burbujas de hidrógeno gaseoso debido a una repentina disminución en la solubilidad del hidrógeno durante la solidificación y v) escaso contenido de aglomerante lo que provoca desprendimiento de arena [3]. Comparando el acabado superficial de las cuatro piezas de aluminio, se observa que las piezas moldeada con 6 y 7 % de humedad (Fig. 2b y c) presentan la mayor cantidad de penetración y porosidad en su superficie. Sin embargo, éstas presentaron con mayor eficacia los detalles de la pieza moldeada. Por el contrario, las piezas moldeadas con arena al 5 y 8% de humedad (Fig. 2a y d) mostraron una menor cantidad de defectos. La desventaja de preparar arena al 8%, es el alto contenido de agua que se le debe de agregar a la mezcla generando un esfuerzo excesivo del molino tipo Simpson y un incremento del tiempo de molienda. Por lo consiguiente, se puede sugerir que la humedad óptima para piezas de aluminio moldeadas con arena reutilizada es al 5%.

Figura 2. Piezas fundidas de aluminio moldeadas con arena a diferentes % de humedad

- a) 5%, b) 6%, c) 7% y d) 8%



CONCLUSIONES

El tamaño de grano del carburo de calcio juega un rol importante en los resultados de porcentaje de humedad. El tamaño de grano pequeño garantiza una eficiente interacción entre éste y la arena reportando valores de humedad eficientes con los calculados.

Las piezas de aluminio moldeadas con arena al 5 y 8% de humedad presentaron la menor cantidad de defectos superficiales. Sin embargo, con el incremento del tiempo de molienda y el esfuerzo excesivo del molino tipo Simpson no es recomendable trabajar con arena al 8% de humedad. Para moldeo de piezas ornamentales de tamaño pequeño empleando arena en verde reutilizada se sugiere utilizar el 5% de humedad.

La presencia de bentonita en las mezclas de arena es indispensable debido a que aumenta las propiedades mecánicas de ésta y el acabado superficial aumenta radicalmente, por lo que es necesario que por cada ciclo de vaciado se esté acondicionando la arena.

BIBLIOGRAFÍA

1. G. Gómez, D. Ramírez, R. Aristizábal, "Estudio de la variación de las propiedades mecánicas y químicas de las arenas en verde para fundición al ser sometidas a ciclos de vaciado de aluminio fundido", Revista colombiana de materiales, Vol. 5, 7-13, 2014
2. R. Sertucha, Suárez, Materiales inorgánicos aplicados en la fabricación de piezas de fundición, Anales de la Real Sociedad Española de Química, vol. 104, 111-119, 2005

3. D.D. Siguín, L.C. Froufe, B.A. Navarrete, "Capacidad de retención de agua de las bentonitas y sus resistencia a la degradación térmica", *Latin American Journal of metallurgy and materials*, vol. 7, 60-66, 1987.
4. J.M.G. Celis, S.G. Chinchilla, "Arenas de moldeo para la fabricación de piezas en INFUSAN LTDA.", Tesis, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga 2004.
5. M.C.M. Londoño, "Implementación del método de control de la aptitud al moldeo en las mezclas de arenas utilizadas en INFUSAN LTDA.", Tesis, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga 2008.
6. M.E. Noguez, I. Beltrán, T. Robertt, G. Salas, J. Ramírez, "Influencia de la formulación de la arena en verde en su difusividad térmica y su efecto en una pieza colada", *Revista de Metalurgia. Madrid*, vol. 41, 143-147, 2005
7. Manual de arenas para fundición, American foundrymen's Society, Inc., 1967, EUA.
8. S.M. Strobl, "Fundamentos en la preparación y control de la arena verde, Modern casting/FundiExpo", 1-8, 2000
9. J.E. Hernández, E. Valencia, E. Villar, "Influencia de la humedad en el comportamiento de la resistencia a la compresión en mezclas de moldeo", *Boletín de la sociedad española de Cerámica y vidrio*, vol. 40, 107-111, 2001.
10. G.F. Revelo, "Selección de la mezcla de moldeo óptima para fundición de aluminio con el uso de modelos gasificables", Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2011.
11. C. J. Ordinola, "Caracterización de las tierras de moldeo de el porvenir dela provincia de Sullana", Tesis, Universidad de Piura, 2011

LA IMPEDANCIA ELÉCTRICA, UN MÉTODO NO INVASIVO PARA LA DETECCIÓN DE LESIÓN LEVE DE RODILLA

M. Garcia-Perez, T. Romero-Muñiz, M. Huerta-Franco, M. Vargas-Luna, D. Jiménez-Mendoza, M. Balleza-Ordaz

División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Campus León.
División de Ciencias de la Salud, Universidad de Guanajuato, Campus León.

RESUMEN

La rodilla es la articulación más compleja del cuerpo humano. El deporte puede aumentar la probabilidad sufrir una lesión. La técnica propuesta en este estudio para evaluar la condición de rodilla es la impedancia bioeléctrica (IB). El objetivo fue evaluar el uso de la IB para detectar lesiones leves de rodilla bajo dos condiciones: estática (CE) y en movimiento (CMV). En este estudio se analizó un grupo de mujeres sedentarias (GMS:14 rodillas) y un grupo de deportistas (GMD:22 rodillas). Un profesional especialista en medicina del deporte diagnosticó cada rodilla. Las señales de impedancia se obtuvieron a partir de 4 electrodos (dos colocados a nivel medial y dos en la parte lateral del ligamento rotuliano). Todas las rodillas del GMS estaban sanas, mientras que en el GMD se encontraron: 5 rodillas sanas (RS), 8 con lesión en tejidos blandos (LTB) y 9 con crepitación de menisco (CM). Comparando las rodillas del GMS y con cada subgrupo del GMD, se pudo evidenciar que en CE las impedancias no fueron estadísticamente significativas en la detección CM. La fase fue significativa en la detección de LTB y CM. Comparando las rodillas GMS con cada subgrupo GMD para CMV, se evidenció que las impedancias fueron significativas en los tres casos, mientras que la fase fue estadísticamente significativa en la CM. Se concluye que las variaciones de impedancia y de fase bajo ambas condiciones pueden detectar cambios en la estructura de la rodilla.

INTRODUCCIÓN

Entre los especialistas de la medicina deportiva se acepta una cifra aproximada del 20% como tasa de incidencia de problemas de rodilla en el conjunto de lesiones deportivas. Esto debido a que se trata de la articulación más grande del organismo y está sometida a un enorme esfuerzo en la mayoría de los deportes. Además, el costo económico de este tipo de daños supone una gran parte del total del gasto médico en atletas [1].

Las mujeres tienen probabilidades más altas de sufrir una lesión en muchos deportes que los hombres [2]. Esto debido a las características anatómicas de la cadera. Las posibles consecuencias de un inadecuado tratamiento de una lesión de rodilla son: 1) constante dolor e inestabilidad que pudieran no desaparecer y generar limitaciones futuras, 2) puede provocar lesiones en otras estructuras de la articulación complicando la lesión, causando pérdida de la movilidad, así como alteraciones en la marcha. Una lesión en menisco mal tratada puede dar lugar a enfermedades artríticas y a un derrame de líquido sinovial en la articulación de la rodilla. [3] Es de suma importancia contar con un buen diagnóstico, un tratamiento terapéutico y la rehabilitación para lograr recuperar la función del miembro afectado.

En la actualidad, las técnicas más utilizadas con las que se evalúan las lesiones de rodilla son costosas y poco accesibles. La mayoría de ellas son técnicas invasivas, ya que los pacientes están expuestos a radiaciones ionizantes o se les inyecta un medio de contraste en una vena que ayuda al especialista a observar ciertas zonas más claramente.

Por lo anterior, el Laboratorio de las Aplicaciones Médicas de la Impedancia Bioeléctrica, de la División de Ciencias e Ingenierías del Campus León de la Universidad de Guanajuato propone la técnica de Impedancia Bioeléctrica (IBE) para diagnosticar una lesión leve de rodilla en tejidos blandos. La técnica IBE es una técnica no invasiva, libre de radiaciones y cuyos equipos son de precio accesible y de fácil uso. Las bondades de la técnica han sido evaluadas por distintos grupos de investigación en el campo de la medicina, obteniendo resultados alentadores. [4,5]

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es detectar mediante una serie de medidas tetrapolares de impedancia, lesión leve en tejido blando de rodilla en un grupo de mujeres deportistas.

TEORÍA

La rodilla como se muestra en la figura 1, es considerada una de las articulaciones más complejas en el cuerpo humano. Debido al estrés que pasa en muchos deportes extremos, es una de las articulaciones que presenta con frecuencia lesiones por traumatismo. La articulación está diseñada principalmente para la estabilidad en la carga del peso y la movilidad en la locomoción, sin embargo es especialmente inestable en el plano medial y lateral.

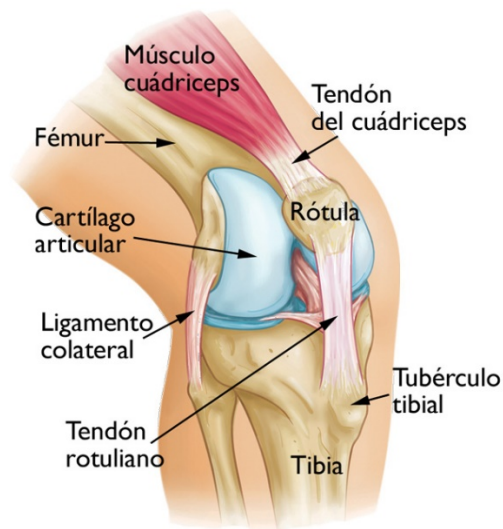


Figura 1. Anatomía de la rodilla [6]

Los meniscos son dos fibrocartílagos de forma ovalada que profundizan las facetas articulares de la tibia y amortiguan los esfuerzos ejercidos sobre la articulación de la rodilla. Según su posición, estos se dividen en: a) menisco medial y b) menisco lateral. Los principales ligamentos de la rodilla son: a) el cruzado, b) el capsular, y c) los colaterales. Todos ellos tienen un papel secundario a la musculatura proporcionando estabilidad a la articulación.

Las bolsas son sacos sinoviales de protección localizadas en sitios tisulares, sin ellas la articulación sufriría una irritación debido a la fricción. [7]

Una lesión física se define como cualquier tensión en el cuerpo que impide que el organismo funcione adecuadamente. Esto da como resultado que el organismo precise un proceso de reparación. Independientemente de la parte del cuerpo en la que se produzca la lesión, o de la gravedad de ésta, las lesiones deportivas se clasifican comúnmente en dos tipos: a) agudas y b) crónicas.[8] Las lesiones agudas se refieren a las lesiones deportivas que se producen de repente, dentro de las lesiones agudas de rodilla se encuentran: a) esguince del ligamento colateral medial, b) esguince del ligamento cruzado anterior y c) desgarramiento del menisco; mientras que las lesiones crónicas se refieren a las que se mantienen durante un periodo prolongado de tiempo, se conocen también como lesiones por uso excesivo, dentro de estas se encuentran en general ocho tipos de patologías: a) bursitis, b) plica (pliegue) sinovial, c) síndrome de Osgood-Schlatter, d) osteocondritis disecante, e) síndrome de dolor femorrotuliano, f) tendinitis rotuliana (rodilla del saltador), g) condromalacia rotuliana (rodilla del corredor) y h) subluxación de la rótula. [9]

En la actualidad, las técnicas más utilizadas con las que se evalúan las lesiones de rodilla son: 1) la valoración clínica, la cual consiste en una serie de movimientos e inspecciones realizados por un especialista, los resultados que se obtienen dependen en gran medida de la experiencia del terapeuta; 2) los rayos-X, técnica que nos permite detectar lesiones principalmente en tejido duro (hueso); 3) la resonancia magnética, un método preciso para detectar lesiones en tejido blando; y 4) la técnica de ultrasonido, crea una serie de imágenes dinámicas de tejido blando. La desventaja común de todas estas técnicas es que son costosas y poco accesibles. La técnica de rayos-x y la resonancia son técnicas invasivas ya que en la primera los pacientes están expuestos a radiaciones ionizantes y en la segunda se les inyecta a los pacientes un medio de contraste en una vena que ayuda al especialista a observar ciertas zonas más claramente.

La impedancia bioeléctrica se define como la oposición que presentan los tejidos biológicos al paso de una corriente eléctrica a través de ellos. Los valores de impedancia varían dependiendo de la frecuencia de la corriente de inyección, el tipo de tejido y sus características histológicas. [10]

La resistencia, la capacitancia y la inductancia son propiedades fundamentales en la medición e interpretación de las medidas de impedancia eléctrica. La resistencia es una medida que define la oposición que presenta el objeto al paso del flujo de partículas con carga eléctrica. La capacitancia es una expresión que indica la capacidad que tiene un elemento o un sistema de almacenar y liberar energía. Y la inductancia es una medida de la oposición a un cambio de corriente de una bobina que almacena energía en presencia de un campo magnético.

Un concepto útil en la interpretación de las medidas de impedancia es la reactancia. Al igual que la resistencia, esta proporciona información sobre la capacidad de un elemento o sistema capacitivo de oponerse al paso de flujo de electrones.

La impedancia eléctrica es una magnitud que es directamente proporcional a la tensión (V) e inversamente proporcional a la intensidad de corriente (I).

PARTE EXPERIMENTAL

a) Equipo de impedancia

El sistema de impedancia utilizado para el presente estudio fue EBI100C BIOPAC SYSTEM®, el cuál inyecta una pequeña corriente de 400 μ A y mide simultáneamente la magnitud y la fase de la impedancia. Las determinaciones de impedancia pueden ser obtenidas a cuatro diferentes frecuencias (12.5 kHz, 25 kHz, 50 kHz, 100 kHz). Se calibró el sistema EBI100C® con una resistencia de 100 Ω , ajustando la fase en 0°. Los datos obtenidos con el sistema EBI100C® se guardaron mediante el software del BIOPAC: AcqKnowledge®

b) Voluntarios

Se analizó un total de 36 rodillas. 14 rodillas correspondientes a un grupo de 7 mujeres sedentarias. Los criterios de inclusión de ese grupo fueron: 1) no haber practicado ningún tipo de deporte en un periodo mínimo de 2 años antes y 2) no presentar antecedentes de ningún tipo de lesión en rodilla. Este grupo se estableció como grupo control (GMS). 22 rodillas correspondientes a un grupo de 11 mujeres atletas que practicaban volleyball. Los criterios de inclusión de ese grupo fueron: 1) practicar volleyball durante un periodo mínimo de 4 años de manera continua, 2) presentar alguna molestia en la rodilla y 3) sin historial médico en el daño de la rodilla. Este grupo se estableció como grupo de mujeres deportistas (GMD). Todas las evaluaciones se realizaron en un horario entre las 9 am y el medio día en el Laboratorio de las Aplicaciones Médicas de la Impedancia Bioeléctrica de la División de Ciencias e Ingenierías de la Universidad de Guanajuato. Todas las voluntarias firmaron una carta de consentimiento informado, previamente aprobado por el comité de ética de la universidad.

c) Procedimientos

Las determinaciones de impedancia y fase se obtuvieron mediante un amplificador de impedancias EBI100C BIOPAC® utilizando una frecuencia de 50 kHz. El equipo se conectó en paralelo con 4 electrodos (AMBIDERM® pediátricos T-718 Ag/AgCl). Se colocaron 2 electrodos a nivel medial del ligamento rotuliano y dos a nivel lateral, como se muestra en la figura 2.

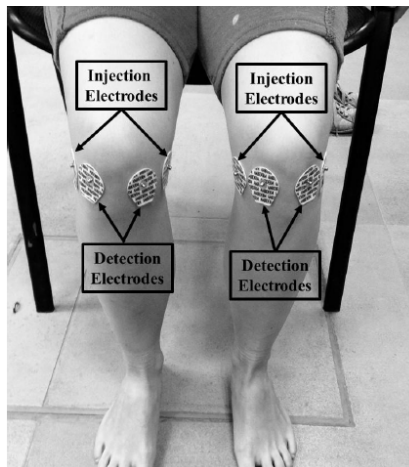


Figura 2. Arreglo de electrodos

Se evaluó cada rodilla con dos condiciones: 1) Condición estática (CE), se le pidió a cada voluntario colocarse en sedestación con las rodillas formando un ángulo de 90° y 2) Condición en movimiento (CMV), se le pidió a cada voluntario realizar una serie de movimientos flexión-extensión alternando ambas rodillas. Las variaciones tanto de impedancia como fase se obtuvieron mediante el software *AcqKnowledge®* durante un periodo de 30 segundos.

Previo a las adquisiciones de impedancia, se midieron en cada voluntario diferentes parámetros antropométricos: edad (años), talla (m), peso (kg), índice de masa corporal (IMC: kg/m²), porcentaje de grasa en extremidades inferiores (%), diámetro de fémur (cm) y perímetros de las extremidades inferiores. La altura se midió con un estadiómetro marca SECA® (precisión 1mm), el peso y el porcentaje de grasa en extremidades se midió con una báscula OMRON (precisión 100g), los perímetros y diámetros de extremidades inferiores se midieron con una cinta de medir SECA (precisión 1mm) y un antropómetro corto. Un especialista en medicina deportiva realizó una valoración clínica para determinar la condición de las rodillas.

En la condición estática se obtuvo las medias y desviación estándar de las determinaciones de impedancia y fase en cada uno de los voluntarios para después analizar los datos con pruebas estadísticas. Por otro lado, en la condición en movimiento, se tomaron las amplitudes de impedancia y fase para el análisis estadístico.

Las medias de las determinaciones de impedancia y fase obtenidas durante las adquisiciones en ambas condiciones se analizaron de manera independiente. El análisis estadístico que se realizó para comparar los parámetros antropométricos en GMS y GMD fue una prueba t para datos independientes. Todos los datos se expresaron en términos de media (\pm desviación estándar, D.E.) y se analizaron por medio de la prueba estadística Kolmogorov-Smirnov. Se utilizó la prueba t para muestras independientes para comparar: 1) las medias de las determinaciones de impedancia y 2) los valores de fase. Se estableció una significancia del 5% en todas las pruebas estadísticas.

RESULTADOS

Las determinaciones de impedancia obtenidas en la CE puede que hayan evidenciado la impedancia del tejido blando gracias a la postura en la que se evaluó la rodilla, haciendo más fácil el acceso a dichos tejidos.

Mientras que, en la CMV el semiciclo positivo corresponde al movimiento de extensión de la rodilla realizado por los voluntarios, por el contrario, el semiciclo negativo corresponde al movimiento de flexión cuando la rodilla regresa a la posición estática formando un ángulo de 90°, en este estado los valores de impedancia son menores porque el contacto con el tejido blando disminuye.

De la exploración clínica realizada por un especialista en medicina deportiva, se evidenció que todas las rodillas del GMS no presentaban ningún tipo de lesión. Mientras que, en el GMD, se evidenciaron 5 rodillas sanas (RS), 9 rodillas presentaron crepitación en meniscos (CM) y 8 rodillas evidenciaron diferentes lesiones en tejido blando (LTB, tendinitis:2, condromalacia patelar:3, contusion:1, inflamación del plano tibial y cartílago:2).

En la siguiente tabla se pueden observar los valores medios (\pm D.E.) de las determinaciones de magnitud y fase de cada uno de los grupos analizados.

Tabla 1. Media (\pm D.E.) de las determinaciones de impedancia y fase obtenidas en el GMS y cada subgrupo del GMD.

	CE		CMV	
	Impedancia (Ω)	Fase ($^{\circ}$)	Impedancia (Ω)	Fase ($^{\circ}$)
GMS	19.3 \pm 2.7	1.5 \pm 0.3	4.1 \pm 1.2	0.21 \pm 0.05
RS	14.7 \pm 1.6	2.1 \pm 0.9	2.0 \pm 0.6	0.28 \pm 0.13
LTB	17.4 \pm 1.3	2.0 \pm 0.5	2.7 \pm 1.0	0.26 \pm 0.08
CM	17.9 \pm 3.3	1.9 \pm 0.5	2.3 \pm 1.1	0.22 \pm 0.05

CE: Condición de la rodilla en estado estático

CMV: Condición de la rodilla en movimiento

GMS: Grupo de mujeres sedentarias

RS: Rodillas sanas

LTB: Lesión en tejido blando

CM: Crepitación en menisco

Del análisis estadístico comparando entre el GMS y cada subgrupo del GMD, se pudo evidenciar que en CE las impedancias no fueron estadísticamente significativas en la detección de CM. La fase fue significativa en la detección de LTB y CM. Por otro lado, para la CMV se evidenció que las impedancias fueron significativas en los tres casos, mientras que la fase fue estadísticamente significativa en la CM.

CONCLUSIONES

Las determinaciones de impedancia son una buena opción para detectar cambios en la estructura de la rodilla tanto en condición estática como en movimiento. Por lo tanto, es posible detectar diferencias anatómicas entre gente sana y gente que presenta un grado de lesión. La fase de la impedancia en CE es un parámetro que permite detectar patologías en el tejido blando de la articulación, mientras que en CMV permite detectar cambios en el cartílago con un nivel de inflamación. Sin embargo, es necesario comparar esta técnica con otras ya preestablecidas para corroborar los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Romo Ignacio. La rodilla es la articulación que se lesiona más a menudo. El Mundo. Madrid, España: 2000, Diciembre 23. Disponible en: <http://www.elmundo.es/salud/2000/414/977316839.html> [Fecha de acceso: 18 de Abril del 2016]
2. Acero Jauregui J.A. Perspectivas biomecánicas de la rodilla. Blogs Biomecánica. Mayo, 2013. Disponible en: <http://g-se.com/es/biomecanica/blog/perspectivas-biomecanicas-en-la-rodilla-de-la-mujer-deportista> [Fecha de acceso: 18 de Abril del 2016]
3. Walker, B. Lesiones deportivas de rodilla. En: La anatomía de las lesiones deportivas. Primera edición. Barcelona, España: Paidotribo; 2010. p. 776-854.
4. Borba-Neves E, Visintainer-Pino A, Rodrigues de Alameida R, Nogueira M. Knee bioelectric impedance assessment in healthy/ with osteoarthritis subjects. IOP science 2010; 31 : (207-219)
5. Alvarenga, R.L. Assessment of knee osteoarthritis by bioelectrical impedance. Engineering in Medicine and Biology Society. 2003; 31 18-3121 Vol. 4
6. El síndrome del dolor patelofemoral. OrthoInfo. [Fecha de acceso: 05 de Abril del 2017] Disponible en: <http://orthoinfo.aaos.org/topic.cfm?topic=A00763>
7. Arnheim D. Modern Principles of Athletic Training. St. Louis, Missouri; 1985
8. Walker, B. Explicación de la lesión deportiva. En: La anatomía de las lesiones deportivas. Primera edición. Barcelona, España: Paidotribo; 2010. p. 28 – 45.
9. Walker, B. Lesiones deportivas de rodilla. En: La anatomía de las lesiones deportivas. Primera edición. Barcelona, España: Paidotribo; 2010. p. 776-854.
10. Holder, D. (ed) (2005). Electrical Impedance Tomography Methods, History and Applications. Medical Physics. 32(8):423-449.

ANÁLISIS DE LA SEPARACIÓN DE FASES EN ALEACIONES ENVEJECIDAS POR EL MÉTODO DE CAMPO DE FASES

Cristóbal Ricardo Escamilla Illescas, Eumir Antonio Serrano Rosales, Víctor Manuel López Hirata

Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE), IPN.
cristobal.escamilla@yahoo.com.mx

RESUMEN

Las propiedades mecánicas de las aleaciones endurecidas por precipitación dependen en gran medida de la morfología y distribución de tamaños de los precipitados que las constituyen. Sin embargo, estas dos características son altamente sensibles al procesamiento térmico y las condiciones de desempeño de la aleación. Por ello es crucial predecir de manera acertada el modo en el que estas microestructuras evolucionan, a fin de tener control sobre la microestructura resultante del tratamiento térmico o la operación.

El método de campo de fases es una de las técnicas más efectivas para modelar la evolución microestructural. Esta técnica ha sido usada para estudiar crecimiento dendrítico, descomposición espinodal y crecimiento de granos, entre otros fenómenos.

La principal característica de los modelos de campo de fases es el carácter difuso y finito de la intercara entre fases, que se describe por una transición continua, en espacio x , de la variable de campo de concentración $c_i(x,t)$ entre dos o más estados. El uso de una intercara de carácter difuso permite determinar la posición de ésta en geometrías complejas o cambios topológicos tales como la coalescencia o separación de partículas, cuya determinación usando modelos de intercara nítida, que consideran una intercara sin espesor, es significativamente más compleja.

Para modelar la evolución microestructural durante la descomposición espinodal, se usó la ecuación de Cahn-Hilliard. Esta ecuación se resolvió en un código de FORTRAN usando el Método Explícito de Diferencias Finitas y una malla de 201 x 201 nodos, con una distancia entre nodos de 0.25 nm y un intervalo entre cálculos de 1 s.

INTRODUCCIÓN

Para modelar la evolución microestructural, una de las técnicas más efectivas es el método de campo de fases.

Esta técnica ha sido usada para estudiar transformaciones de fase como recristalización⁽¹⁾, crecimiento dendrítico⁽²⁾ o engrosamiento de precipitados⁽³⁾, entre otras, con gran versatilidad, permitiendo estudiar diferentes sistemas de aleación y considerando diferentes fenómenos.

Además, la técnica permite el análisis de la evolución microestructural a tiempos muy cortos o muy largos, imposibles de analizar mediante métodos experimentales.

Por ello, en este trabajo se simuló mediante el Método de Campo de Fases, usando la ecuación de Cahn-Hilliard como modelo, la evolución microestructural durante la descomposición espinodal en un sistema hipotético binario.

TEORÍA

DESCOMPOSICIÓN ESPINODAL

La transformación conocida como Descomposición Espinodal se caracteriza por la ausencia de una barrera energética termodinámica opuesta a la nucleación y por la morfología de las microestructuras resultantes de esta, que se muestran en la figura 1: islas compactas completamente separadas (a) entre sí o una red interconectada (b).

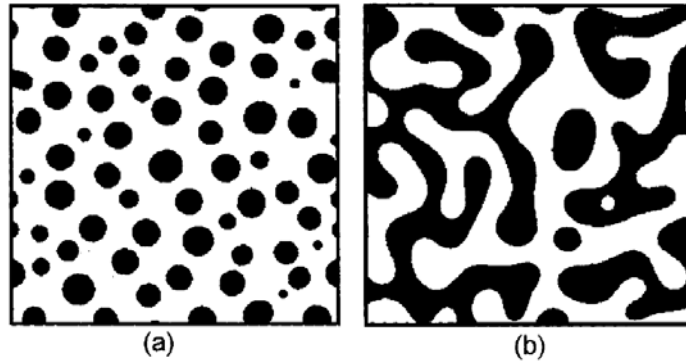


Figura 1. Microestructuras simuladas de un sistema binario durante el proceso de separación de fases. (4)

Considérese un diagrama de equilibrio con una laguna de miscibilidad como se muestra en la figura 2:

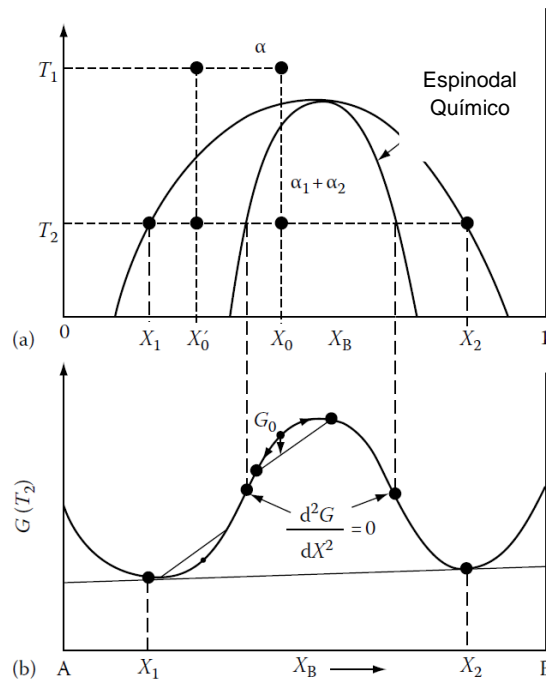


Figura 2. (a) Diagrama de equilibrio correspondiente a un sistema binario que presenta una laguna de miscibilidad. (b) Cambio de la energía libre del sistema con respecto a su composición. (5)

Si una aleación con composición X_0 se somete a un tratamiento térmico de solubilizado a la temperatura T_1 y posteriormente se enfría rápidamente hasta una temperatura inferior T_2 , la composición es inicialmente la misma en todos los puntos y su energía libre corresponde a G_0 de

la curva de energía libre de la figura 2(b). Sin embargo, la aleación es termodinámicamente inestable, debido a que la energía libre del sistema disminuye con cualquier fluctuación en la composición que como consecuencia tenga la formación de regiones ricas en los componentes A o B.

Por esta razón, ocurre difusión “colina arriba” hasta que se alcanzan las composiciones de equilibrio X_1 y X_2 . Este fenómeno se conoce como separación de fases, y se muestra en la figura 3:

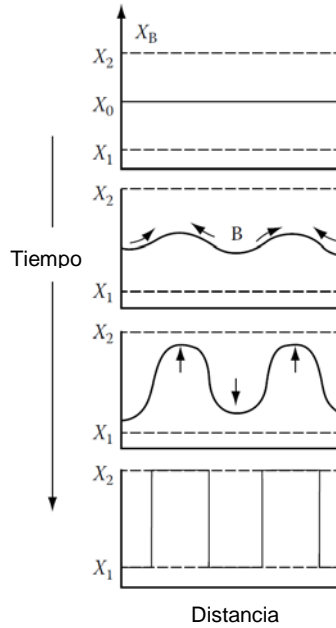


Figura 3. Evolución del perfil de composición de una aleación enfriada rápidamente dentro de la región espinodal. ⁽⁵⁾

Este proceso puede ocurrir para cualquier composición de la aleación donde la curva de energía libre sea cóncava hacia abajo, es decir:

$$\frac{d^2G}{dX^2} < 0 \tag{1}$$

Por ello, y en base a la curva de energía libre de la figura 2(b), la composición de la aleación debe encontrarse entre los dos puntos de inflexión de la curva de energía libre. Al trasladar estos puntos al diagrama de equilibrio se forma una segunda curva, llamada espinodal químico.

Si la composición de la aleación se encuentra fuera del espinodal, las fluctuaciones en composición causan un aumento en la energía libre del sistema, y la aleación es metaestable.

En este caso, la energía libre solo puede disminuir si se forman núcleos con una composición muy diferente de la matriz. Es decir, fuera del espinodal la transformación ocurre mediante un proceso de nucleación y crecimiento, y en este caso, ocurre difusión “colina-abajo”.

La descomposición espinodal fue descrita originalmente por Cahn y Hilliard, que formularon la ecuación que lleva sus nombres para describir la separación de fases:

$$\frac{\partial c_i(x,t)}{\partial t} = \nabla \cdot \left(\sum_j M_{ij} \nabla \frac{\partial G_{sys}}{\partial c_i(x,t)} \right) \tag{2}$$

En esta ecuación, la evolución temporal de un campo de concentración, c_i , dependiente de la posición y el tiempo, es función de la movilidad atómica, M , de los solutos y de la variación de la energía libre del sistema, G_{sys} , con respecto al campo de concentración.^{(4), (5)}

DESCOMPOSICIÓN ESPINODAL

La evolución microestructural es un problema de frontera libre, en el cual se busca una solución u a una ecuación diferencial parcial en un dominio, con una parte desconocida, Γ , de su frontera. Así, se deben determinar u a la vez que Γ . Adicionalmente a las condiciones frontera de un dominio desconocido, se debe indicar una condición en la frontera libre. Si se considera la fusión de hielo, la temperatura satisface la ecuación de calor en la región de líquido, y sin embargo esta región, o la intercara sólido/líquido, se desconoce y debe determinarse a la vez que la temperatura dentro de la región del líquido.⁽⁶⁾

La manera clásica de resolver un problema de frontera libre es por medio de un modelo con una intercara de espesor igual a cero, es decir, una intercara nítida. En él, una discontinuidad clara en propiedades o una variación en los flujos y funciones termodinámicas ocurre a través de la intercara. Sin embargo, existen varias limitantes al modelar problemas de frontera libre mediante modelos de intercara definida:

- El modelo de intercara definida apropiado no se conoce para muchos fenómenos.
- La simulación numérica es de extrema dificultad debido a las interacciones complejas entre intercaras complicadas, que se someten a unión y constricción durante una transformación de fase.
- Los códigos numéricos son largos y complejos, especialmente en tres dimensiones.

Como alternativa, surgió el método de campo de fases, una técnica relativamente nueva de modelado de evolución microestructural caracterizada por considerar un espesor de intercara finito, cuyo uso ha ido en incremento debido a sus orígenes fundamentales y a que evita algunos de los problemas asociados con los modelos de intercara definida.

El uso de una intercara de carácter difuso permite determinar la posición de ésta en geometrías complejas o cambios topológicos tales como la coalescencia o separación de partículas, cuya determinación usando modelos de intercara nítida, es significativamente más compleja.^{(7), (8)}

PARTE EXPERIMENTAL

Para modelar la evolución microestructural durante la descomposición espinodal, se usó la ecuación de Cahn-Hilliard. Esta ecuación se resolvió en un código de FORTRAN usando el Método Explícito de Diferencias Finitas y una malla de 201 x 201 nodos, con una distancia entre nodos de 0.25 nm y un intervalo entre cálculos de 1 s.

El código escrito calcula las composiciones de equilibrio para la laguna de miscibilidad y el espinodal químico, con las que se obtuvo la figura 4, donde cada triángulo indica las condiciones de una simulación. Estas condiciones se resumen en la tabla 1. Posteriormente, calcula la evolución microestructural de la transformación, generando 500 archivos de datos que contienen los valores del campo de fase para cada cálculo.

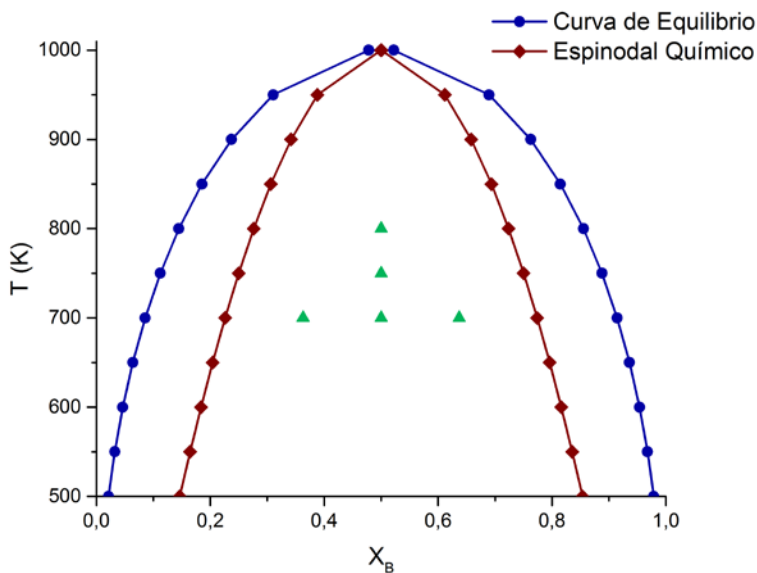


Figura 4. Curvas de equilibrio y espinodal correspondientes al sistema hipotético binario simulado.

Tabla 1. Condiciones usadas durante las simulaciones

Variable	Valores Usados	Significado
T	700 K, 750 K, 800 K	Temperatura
X_B	0.363, 0.5, 0.637	Fracción atómica de soluto B

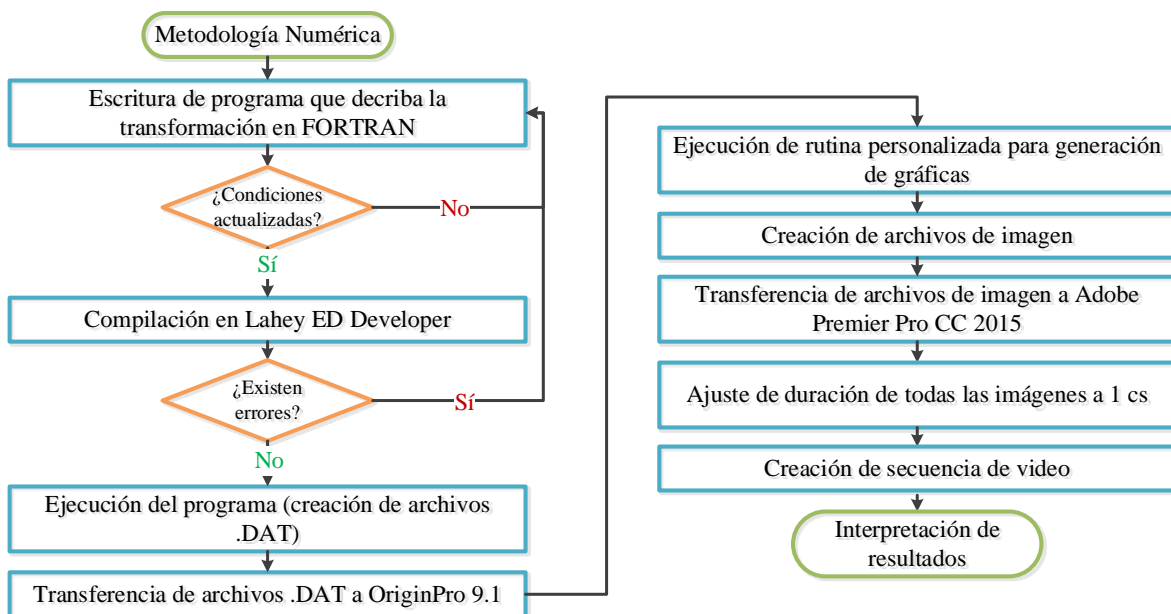


Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología numérica seguida.

Los archivos de datos generados por el código posteriormente se graficaron y se usaron para crear secuencias de video.

Se simularon 5 condiciones: 3 condiciones a temperatura constante de 700 K y composición variable y 2 condiciones a composición constante de 0.5 X_B y temperatura variable. La figura 5 muestra el diagrama de flujo seguido durante la metodología numérica.

RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a la simulación de la evolución microestructural de un sistema hipotético binario durante su descomposición espinodal.

En estas simulaciones se presenta el efecto de la variación en la composición y la temperatura de la aleación durante su envejecido, mostrando la evolución microestructural a tiempos de 0, 3750, 7500 y 11250 s.

SIMULACIONES DE COMPOSICIÓN VARIABLE

En la figura 6 se presentan las microestructuras obtenidas al cambiar el valor de composición para la aleación simulada.

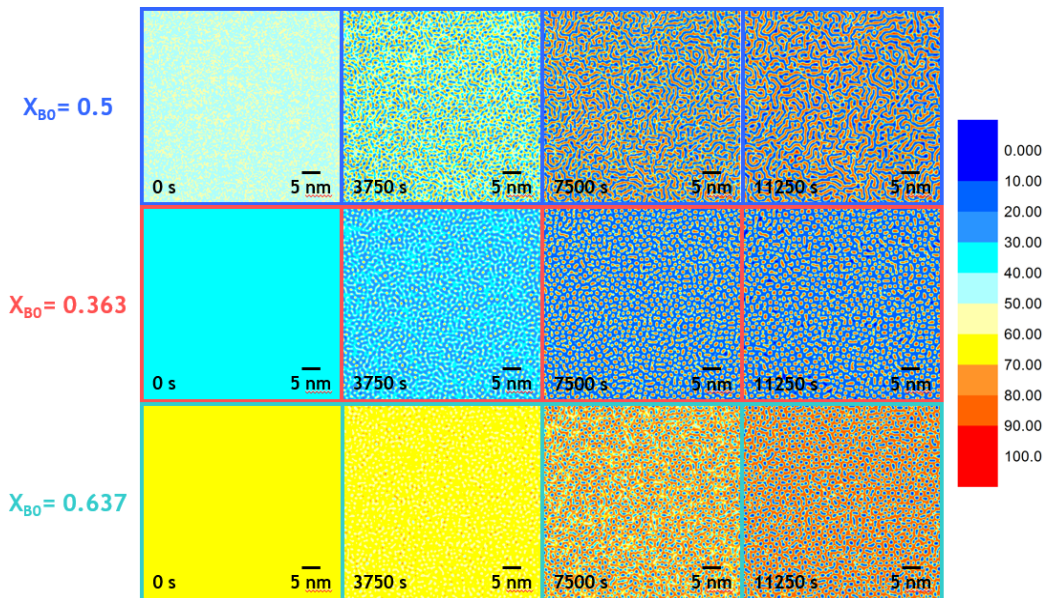


Figura 6. Simulaciones de composición variable para la descomposición espinodal del sistema hipotético binario.

Las microestructuras simuladas muestran morfologías características de los sistemas que presentan descomposición de fases: microestructuras de matriz y precipitados nanométricos, obtenidas al simular usando composiciones iniciales cercanas a los extremos del espinodal químico, y microestructuras interconectadas o modulares obtenidas al simular a la composición central del espinodal.

SIMULACIONES DE TEMPERATURA VARIABLE

En la Figura 7 se presentan las microestructuras obtenidas al cambiar el valor de temperatura de envejecido para la aleación simulada:

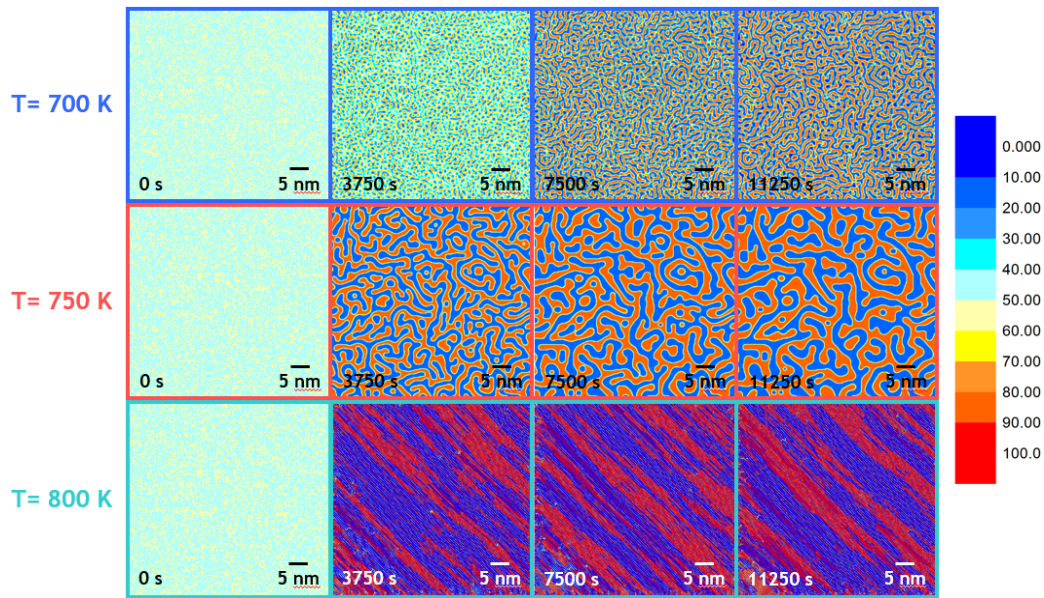


Figura 7. Simulaciones de temperatura variable para la descomposición espinodal del sistema hipotético binario.

El efecto observado en las simulaciones de composición variable se hace presente una vez más, ya que en las simulaciones se observa una microestructura interconectada. Además, al aumentar la temperatura las segundas fases precipitadas presentan mayor tamaño.

CONCLUSIONES

La resolución de las ecuaciones presentadas permite la simulación de la separación de fases que ocurre en sistemas reales de aleación, como se prueba por la recreación de microestructuras características de los sistemas que presentan lagunas de miscibilidad.

Al simular en la región central del espinodal se obtienen microestructuras modulares o interconectadas. Por otra parte, al simular en zonas cercanas a los extremos del espinodal se obtienen microestructuras de matriz y precipitados.

Al aumentar la temperatura las segundas fases precipitadas presentan mayor tamaño. Esto se debe a que la difusión se ve favorecida a altas temperaturas.

BIBLIOGRAFÍA

M. Muramatsu et al. "Phase-field simulation of static recrystallization considering nucleation from subgrains and nucleus growth with incubation period", *Computational Materials Science*, Vol. 87, 2014, pp. 112-122

1. D. Tourret et al. "Growth competition of columnar dendritic grains: A phase-field study", *Acta Materialia*, Vol. 82, 2015, pp. 64-83
2. J. Li et al. "Effect of initial particle size distribution on the dynamics of transient Ostwald ripening: A phase field study", *Acta Materialia*, Vol. 90, 2015, pp. 10-26
3. G. Kostorz, "Spinodal Secomposition" in *Phase Transformations in Materials* (Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2001). Chapter 6, pp. 414-416.
4. D. A. Porter, K. E. Easterling, M. Y. Sherif, "Spinodal Decomposition" in *Phase Transformations in Metals and Alloys* (Taylor & Francis Group, 2009), Chapter 5, pp. 302 - 309.
5. A. Friedman, W. Miller, "Vol. 53" in *The IMA Volumes in Mathematics and its Aplications* (Springer-Verlag, New York, 1993), pp. xiii.

6. I. Steinbach, "Phase-field models in materials science", *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, Vol. 17, 2009, pp. 1-31.
7. N. Provatas, K. Elder, "Introduction" in *Phase-Field Methods in Materials Science and Engineering*. (Wiley-VCH, 2010), Chapter 1, pp. 4-7.

CARBÓN ACTIVADO MODIFICADO POR ÓXIDO DE CALCIO, ÓXIDO DE MAGNESIO Y ÓXIDO DE POTASIO PARA USO EN ADSORCIÓN DE GASES ÁCIDOS

José Luis Altamirano Corona, Ma. del Carmen Chávez Parga, Horacio Gonzalez Rodríguez, Ma. Aída Béjar Ubaldo, Jaime Espino Valencia.

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Av. Francisco J. Múgica S/N, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, 58030, México.
joselac712@gmail.com

RESUMEN

En este proyecto se sintetizaron adsorbentes de gases ácidos los cuales contienen en su estructura partículas de celulosa y hemicelulosa carbonizadas y diferentes proporciones de óxidos metálicos (CaO, MgO y K₂O). La fuente principal de carbono proviene del endocarpio de coco, un material considerado como desecho en la agroindustria, y el cual fue impregnado previo a la carbonización con diferentes cantidades de (CH₃-COO)₂Ca•H₂O, (CH₃-COO)₂Mg•4H₂O y (CH₃-COO)K, precursores del CaO, MgO y el KO. Los adsorbentes se prepararon a través de un método *in-situ*, el cual consiste en carbonizar, activar y generar los óxidos en una sola etapa. Los materiales fueron caracterizados por diferentes técnicas que incluye difracción de rayos X, espectrometría IR, microscopía electrónica de barrido y medición del área superficial. Los materiales poseen un tamaño promedio de partícula de 1 μm y áreas superficiales del orden de 200 m²/g, los óxidos se aprecian bien distribuidos sobre la superficie del material, con estructuras cristalinas para los óxidos y amorfas para el carbón, se confirmó, además, la presencia de grupos funcionales básicos importantes para la interacción con gases ácidos. Se prevé que la presencia de los óxidos incrementará la capacidad de adsorción del carbón activado.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de adsorción de gases son tecnologías consideradas energéticamente eficientes y de bajos costos de operación, debido a que se pueden llevar a cabo en un rango amplio de temperaturas y los materiales pueden regenerarse. El adsorbente sólido debe ser un material estable y con una alta selectividad hacia los gases a remover.

El carbón activado es un material estable pero con una baja selectividad hacia los gases ácidos dada su misma naturaleza ácida, sin embargo, la incorporación de sustancias básicas aumenta su capacidad de adsorción de gases como el H₂S, CO₂, ácidos orgánicos, NO_x, SO_x, entre otros. Con fines de adsorción, el carbón activado ha tenido una gran cantidad de usos, desde tratamiento de aguas, hasta purificación de gases.

En el tratamiento de gases, el carbón activado se utiliza comúnmente para adsorción de gases básicos debido a la presencia de grupos ácidos sobre su superficie, pero es posible, modificarlo a través del proceso de activación al cual se le someta [1]. Sin embargo, la incorporación de óxidos de calcio, magnesio y potasio al carbón activado, puede tener el potencial de incrementar la capacidad de adsorción de gases ácidos, incluso algunos con baja reactividad, como el CO₂.

Para esta investigación, se realiza un proceso de activación e incorporación de óxidos en la misma etapa, considerando el proceso como *in-situ*. Lo cual puede llegar a proporcionar un excelente adsorbente de ácidos gracias a las propiedades del carbón mismo y los óxidos como agentes anfóteros y activadores del carbón.

METODOLOGÍA

Materiales y reactivos:

- Endocarpio de coco de 42 μm de tamaño de partícula.
- Acetato de Calcio
- Acetato de Magnesio.
- Acetato de Potasio.
- Agua destilada.
- Ácido clorhídrico.
- Mufla.
- Filtro de papel.
- Reactor de acero inoxidable.
- Carbón activado vegetal marca MEYER, lote K1112461.
- Hidróxido de sodio.

PROCEDIMIENTO:

Para la síntesis del carbón activado con óxido de calcio, óxido de magnesio y óxido de potasio, se deslignificó previamente el endocarpio de coco en polvo, mezclando 15 g de endocarpio con 20 g de NaOH y 200 mL de agua destilada. La mezcla se dejó con agitación a 85°C durante dos horas. Pasado el tiempo de deslignificación, se trató con ácido clorhídrico hasta llegar a un pH neutro. Se eliminó el exceso de líquido y se lavó con agua destilada a 60 °C para eliminar la lignina, la sal formada por la neutralización y otras posibles impurezas solubles. El polvo lavado, se llevó nuevamente a solución con 200 mL de agua destilada y con agitación y temperatura de 80 °C, se adicionaron los precursores de los óxidos correspondientes, (acetato de magnesio y acetato de potasio, según el diseño experimental ilustrado en la Tabla 1). La solución se dejó secar y el remanente se pulverizó en un mortero, se pesó y se depositó en el reactor, donde se sometió a un proceso térmico de 4 h a 900 °C. Se dejó enfriar, se molió y almacenó en recipientes herméticos.

Tabla 1. Diseño experimental con los miligramos de acetatos utilizados para la preparación de cada muestra.

Muestra	Ac. Ca (mg)	Ac. Mg (mg)	Ac. K (mg)
C1	881	1072	1097
C2	881	1072	1097
C3	0	0	0
C4	0	0	0
C5	1762	0	2195
C6	1762	0	2195
C7	1762	0	0
C8	1762	0	0
C9	0	0	0

La muestra C9, es el carbón activado vegetal comercial, el cual sirve como referencia. Las muestras C1 hasta C8, son las sintetizadas para este trabajo variando la cantidad de acetatos incorporados después de la deslignificación. Para la caracterización se realizaron, y aún se esperan, algunos análisis BET para determinar el área superficial específica, microscopía electrónica de barrido para conocer la morfología y distribución de los óxidos sobre el carbón, espectroscopía IR para determinar los principales grupos funcionales en los materiales y la difracción de rayos X, para conocer los acomodos cristalinos que las muestras presentan.

RESULTADOS

Se obtuvo un material carbonoso con estructuras cristalinas de óxidos y carbonatos de calcio, magnesio y potasio añadidas sobre la superficie. El rendimiento másico promedio de las muestras, (tomando como referencia la masa antes y después del proceso térmico de carbonización), es del 23%. La fórmula utilizada fue la Ecuación 1.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa después de carbonizar}}{\text{Masa antes de carbonizar}} * 100\% \quad \text{Ecuación 1}$$

Las muestras poseen, en promedio, un tamaño de partícula 32 μm , sin embargo, las áreas superficiales son muy variadas dependiendo del precursor utilizado. En la Tabla 2, se presentan algunas de las áreas superficiales obtenidas a través del equipo Quantachrome ASiQwin.

Tabla 2. Áreas superficiales específicas.

Muestra	Área Superficial (m ² /g)	Muestra	Área Superficial (m ² /g)
C1	134	C5	Sin dato
C2	126	C6	210
C3	244	C7	56
C4	230	C9	250

Durante estos análisis, se pudo observar que la mayor parte del área obtenida es gracias a la presencia de microporos. La forma de las isotermas de adsorción, la cuales son del Tipo I de Langmuir, como la de la muestra C3, indicando la presencia de poros menores a los 2 nm, (Figura 1).

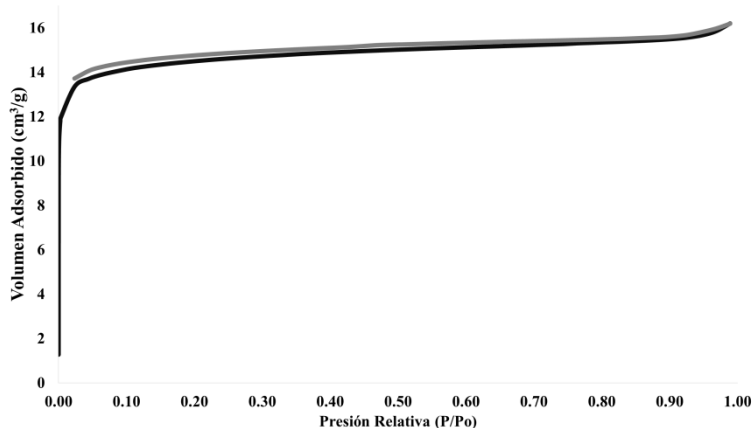


Figura1. Isotherma de adsorción-desorción de la muestra C3. La forma indica la alta presencia de microporos en el material. La línea negra indica la adsorción, la gris desorción.

Con respecto a la morfología del material, se observan grandes diferencias entre el carbón comercial y el sintetizado durante esta investigación, logrando una mayor porosidad en las muestras sintetizadas, tal como se puede apreciar en las micrografías mostradas en Figura 2 y Figura 3.

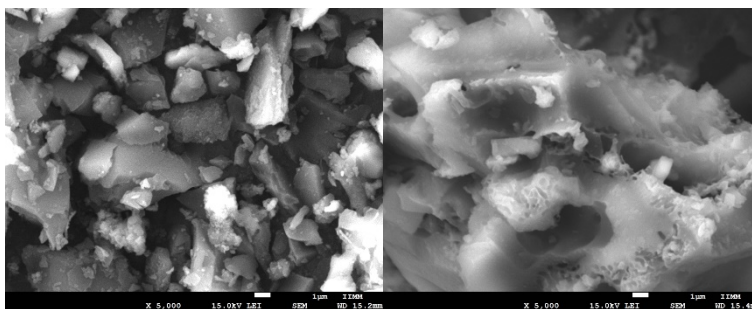


Figura 2. Micrografías de las muestras C9 a la izquierda (carbón comercial) y C4 a la derecha (carbón sintetizado).

En la Figura 3, se puede observar la distribución de los metales Ca, Mg, y K en la superficie del carbón, teniendo un poco más de problemas con el calcio, seguido por el magnesio, ya que tienden a formar pequeños cúmulos apreciables a través de EDS. Sin embargo, el potasio, debido a su alta solubilidad en el agua durante la etapa de incorporación al material deslignificado, logró una completa distribución sobre el carbón activado.

La espectroscopía IR, arrojó como resultado, la presencia de una gran cantidad de grupos funcionales característicos de los carbones activados, tal como se puede observar en la Figura 4.

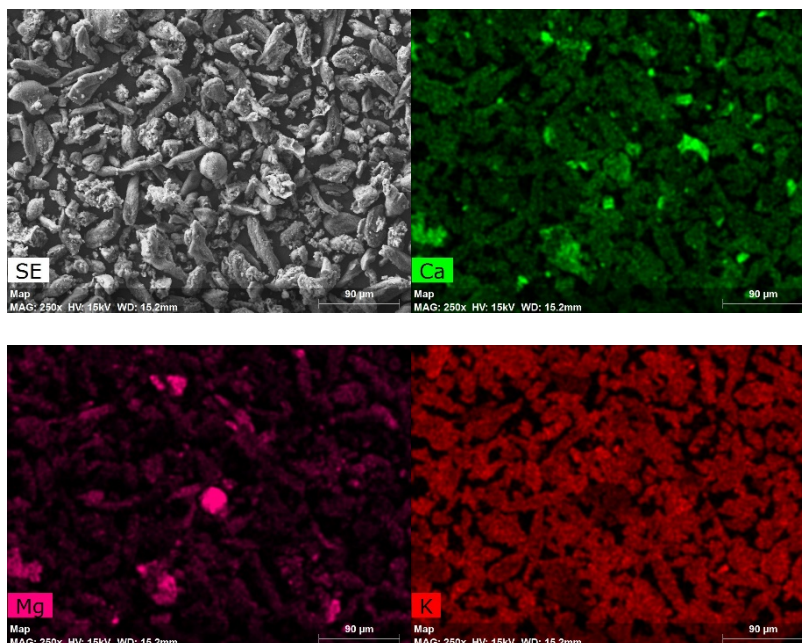


Figura 3. Micrografía y EDS de la muestra C2, la cual contiene óxidos de Ca, Mg y K.

De la Figura 4, se puede observar el característico comportamiento en IR para los carbones activados; alrededor de los 3400 y 3600 cm^{-1} , se observa la banda correspondiente a la interacción

O-H, acompañado con una perturbación entre 600 y 800 cm^{-1} correspondiente al grupo fenólico; después se aprecia una muy significativa señal entre 2300 y 2400 cm^{-1} correspondiente a CO_2 adsorbido o a una posible oxidación de algún carbono terminal, y finalmente, los alargamientos presentes entre 1400 y 1700 cm^{-1} , afirman la presencia de enlaces C=O (grupo carbonilo), correspondiente a la existencia de cetonas, ésteres e incluso ácidos carboxílicos.

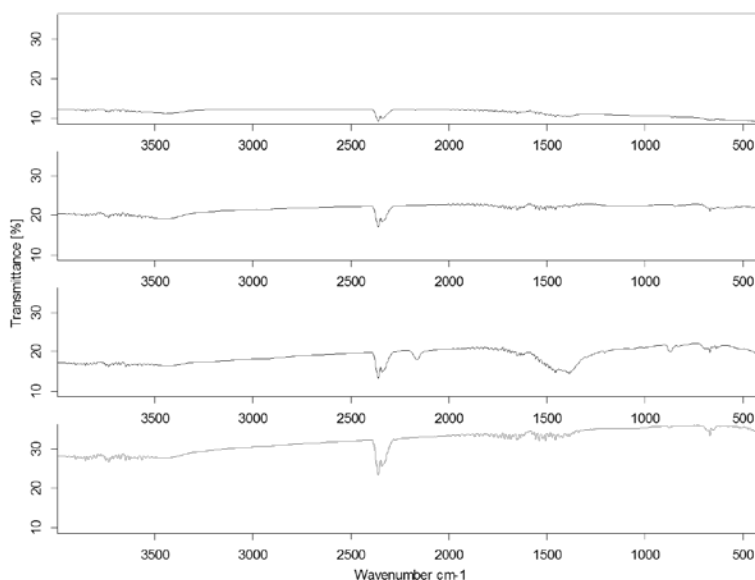


Figura 4. Comparación de los espectrogramas IR de las muestras C2, C4, C6 y C7 en orden descendente.

En difracción de rayos X, se espera obtener estructuras cristalinas de los compuestos metálicos formados a partir del calcio, magnesio y potasio, de los cuales, los primeros dos, tienden a formar carbonatos híbridos, sin embargo, dada la temperatura de síntesis, se espera, que la presencia de estos compuestos, sean menor a la de los óxidos. Por otra parte, la presencia de hidróxidos, podría significar una interacción muy fuerte con el vapor del ambiente, no obstante, su presencia en el producto final aseguraría una mayor interacción con compuestos ácidos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados, el material obtenido tiene el potencial de superar al comercial dado que el área superficial, es muy parecida a la de las otras muestras, a pesar de ya estar incorporados otros compuestos y poseer un tamaño de partícula cerca de treinta veces más grande. Incrementar aún más el área superficial se podría lograr disminuyendo el tamaño de partícula y realizando una activación física sobre el material sintetizado.

La distribución de los materiales con calcio y magnesio, se podría mejorar incrementando la temperatura de incorporación de los acetatos en el material designificado e incrementando la agitación, de manera de los clúster formados no excedan el tamaño de los ya existentes.

Con los espectrogramas IR, se comprobó, que el material es carbón activado con los grupos funcionales típicos y con la presencia de los compuestos básicos derivados de los metales, se puede llegar a alcanzar el objetivo de sintetizar un buen adsorbente para gases ácidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. L. K. G. Bhatta, S. Subramanyam, M. D. Chegala, S. Olivera y K. Venkatesh, «Progress in hydrotalcite like compounds and metal-based oxides for CO₂ capture: a review,» *Journal of Cleaner Production*, vol. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.059>, pp. 1-26, 2015.
2. G. Astarita y F. Gioia, «Simultaneous adsorption of hydrogen sulfide and carbon dioxide in aqueous hydroxide solutions,» *Chem. Eng. Sci.*, pp. 317-320, 1965.
3. O. Brettschneider, R. Thiele, R. Faber, H. Thelert y G. Wozny, «Experimental investigation and simulation of the chemical absorption in a packed column for the system NH₃-CO₂-H₂S-NaOH-H₂O,» *Separation and Purification Technology*, pp. 139-159, 2004.
4. C. H. Yu, C. H. Huang y C. S. Tan, «A review of CO₂ capture by absorption and adsorption,» *Aerosol and Air Quality Research*, pp. 745-769, 2012.
5. V. Jaiboon, B. Yoosuk y P. Prasassarakich, «Amine modified silica xerogel for H₂S removal at low temperature,» *Fuel Processing Technology*, pp. 276-282, 2014.
6. Y. Zhi y J. Liu, «Surface modification of activated carbon for enhanced adsorption of perfluoroalkyl acids from aqueous solutions,» *Chemosphere*, pp. 1224-1232, 2015.

CORRELACIÓN EXPERIMENTAL DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN PARA LA MEZCLA NaOH-H₂O

Ariana Morales Flores, Y. R. Galindo Luna y R.J. Romero

Facultad de Ciencias Químicas e Ingenierías de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas CIICAp – UAEM

RESUMEN

Una de las aplicaciones que tienen los ciclos de absorción son los sistemas de aire acondicionado por absorción solar, esto se debe a que representan una opción viable a la alta demanda energética que tienen los sistemas comerciales. El desempeño de un ciclo de absorción está en función de la mezcla de trabajo, cuya concentración varía a lo largo del ciclo, por tal motivo es importante conocer las propiedades del fluido de trabajo, así como el desarrollar las herramientas necesarias para conocer su concentración en cualquier punto de operación, con el objetivo de evitar el riesgo de cristalización; lo que representaría daños en los equipos e impactos directos en la vida útil y costos.

Durante el desarrollo del presente trabajo los valores del índice de refracción de las soluciones NaOH-H₂O de 30%-45% p/p fueron registrados experimentalmente, con la finalidad de obtener una correlación para determinar la concentración de la mezcla durante la operación del aire acondicionado de absorción, en un rango de temperaturas de 10 a 60°C. De acuerdo con los resultados la correlación propuesta presenta un error máximo relativo del 0.06%. Lo anterior nos permite operar de manera segura y evitar impactos económicos

INTRODUCCIÓN

Factores como el crecimiento poblacional, económico y tecnológico, derivan de manera inevitable un el aumento de la demanda energética. Durante décadas los combustibles fósiles han sido la principal fuente de energía en el mundo, no obstante, la combustión de estos recursos se considera como el factor número uno de emisiones de gases de efecto invernadero como el CO₂.

Como resultado del calentamiento global, el cambio climático, así como los crecientes estándares de vida y demandas de confort humano, existe un incremento en la demanda de sistemas de aire acondicionado. Estos sistemas se instalan en los hogares con el objetivo de proveer a los habitantes ambientes confortables y productivos. Los sistemas convencionales de aire acondicionado utilizan un compresor de vapor, este componente requiere grandes cantidades de energía para llevar acabo el ciclo y proporcionar las condiciones de confort, esto representa un problema, ya que, si la energía utilizada para su funcionamiento es generada a partir de combustibles fósiles, las emisiones de gases de efecto invernadero continuarían, empeorando el calentamiento global, aumentando aún más la demanda de aire acondicionado [1]. Por otro lado, el uso de estos sistemas impacta en el deterioro de la capa de ozono, esto se debe a que la mayoría de estos equipos utilizan clorofluorocarbonos (CFC) como refrigerantes. [2]

Durante la época de verano, la demanda eléctrica aumenta por el uso de aire acondicionado [4].

Ante este panorama, los sistemas de refrigeración absorción presentan una opción atractiva y viable para satisfacer las necesidades de confort al mismo tiempo que contribuyen a la reducción del impacto ambiental, ya estos sistemas son susceptibles a ser alimentados a través de alguna fuente de energía renovable. Los sistemas de refrigeración por absorción difieren de los convencionales por compresión de vapor, en el hecho de que la etapa de compresión es reemplazada por dos procesos: generación y absorción. Estos sistemas aprovechan la capacidad

de absorción y desorción que tienen ciertas sustancias sobre otras para generar el efecto de refrigeración.

El aire acondicionado solar es una aplicación particularmente atractiva para el uso de energía solar, puesto que la temporada con mayor demanda de aire acondicionado coincide con la temporada en que la energía solar requerida para alimentar el sistema es abundante [3].

Los sistemas solares de aire acondicionado por absorción consisten en el acoplamiento de dos tecnologías: por una parte el sistema de colectores térmicos solares, que utilizan la energía solar en energía térmica para calentar un fluido y por otro lado el sistema de absorción, cuyo desempeño depende principalmente de las propiedades termodinámicas de la mezcla de trabajo, compuesta por un refrigerante y un absorbente.

En el ciclo de absorción (Figura 1), el par de trabajo es calentado en el generador con el objetivo de “generar” vapor de fluido refrigerante, esto se lleva a cabo debido a la diferencia de puntos de ebullición entre el refrigerante y la mezcla de trabajo. El vapor generado es dirigido al condensador, donde al disminuir su temperatura cambiará a fase líquido, liberando calor al ambiente; posteriormente el refrigerante pasa a través de una válvula de expansión, con lo que disminuye su presión y temperatura, en este estado, el refrigerante retira calor del ambiente que se desea acondicionar (efecto de enfriamiento), por lo que aumenta su temperatura, cambiando de fase líquida a gaseosa nuevamente, finalmente este vapor se dirige al absorbedor donde entrará en contacto con la mezcla concentrada de absorbente proveniente del generador, y continuar con el ciclo.

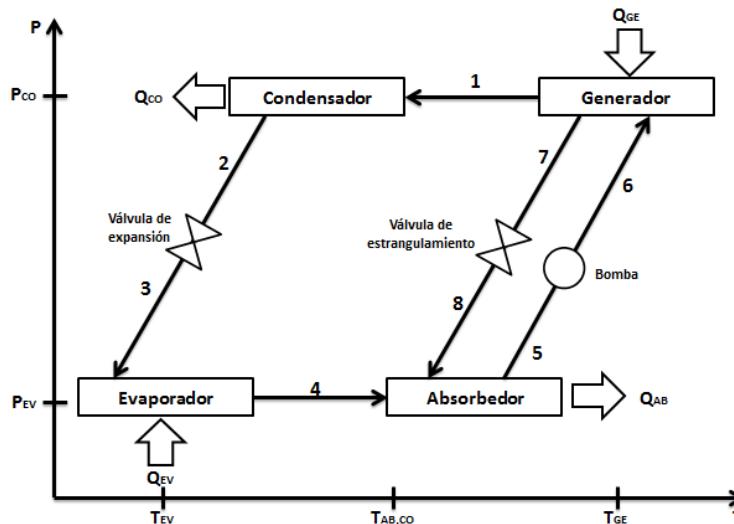


Figura 1. Diagrama esquemático de un ciclo de absorción

Durante el ciclo la concentración de la mezcla de trabajo tiene variaciones en el generador y absorbedor, que son los únicos componentes donde se tiene la mezcla, estas variaciones hacen que exista el riesgo de cristalización de la sustancia con la que se trabaja, lo que provocaría impactos negativos en la vida útil del equipo y costos. Debido a ello es importante poder conocer la concentración de la solución en cualquier momento de la operación.

En este trabajo el sistema de aire acondicionado solar por absorción utilizará la solución acuosa de NaOH como mezcla de trabajo. El método convencional para la determinación de la concentración de la solución del hidróxido de sodio es a través de una titulación, que consiste en determinar el volumen necesario de una solución para que ésta reaccione con cierta cantidad de otra sustancia, este es un proceso lento, que consume tiempo. Por otra parte, NaOH y CO_2 forman hidrogenocarbonato y carbonato durante el proceso de titulación, que cambia el pH y, dependiendo del tiempo de titulación, puede conducir a resultados de medición incorrectos. Determinar la concentración de una manera rápida y sencilla, resulta indispensable para el óptimo desempeño del sistema.

Romero et al. [5] reporta una técnica óptica para la medición de la concentración para sustancias corrosivas, a través de la medición del índice de refracción, que consiste en la desviación de trayectoria que sufre un haz de radiación monocromática al pasar desde el vacío a otro medio material de distinta densidad. Hoy en día se cuenta con equipos cada vez más sofisticados y precisos en la determinación del índice de refracción, que requieren de un par de minutos para realizar la medición, lo que resulta muy práctico.

El propósito de este trabajo es correlacionar la concentración de la solución acuosa de NaOH con su índice de refracción mediante una ecuación, con el objetivo de medir la concentración de la solución en cualquier momento de la operación en el ciclo de absorción.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para correlacionar el índice de refracción con la concentración y temperatura de la mezcla hidróxido de sodio agua, se prepararon las diluciones de esta mezcla partiendo de una solución NaOH-H₂O al 50%. El rango de concentraciones que se prepararon fue de 30% a 45%, de acuerdo a las condiciones de diseño.

Para comprobar que la solución preparada se encontraba en la concentración requerida, se realizó la medición de la densidad de la mezcla mediante el densímetro Anton Paar DMA 4100M (Figura 2.) con repetitividad de la densidad de 0.00005 g/cm³ y 0.02 °C de la temperatura. La medición de la densidad se realizó mediante un barrido de temperatura de 30°C a 80°C, en intervalos de 10°C. Los datos obtenidos se analizaron realizando una comparación de los datos experimentales contra los reportados en la literatura [6].



Figura 2. Densímetro Anton Paar DMA 4100M

Si el resultado del análisis de los datos correspondía a la concentración deseada, se procedía a la medición del índice de refracción, para lo cual se utilizó el refractómetro Anton Paar Abbemat 200 (Figura 3) de precisión típica ± 0.0001 y 0.02°C en la temperatura. El rango de temperaturas en el que se midió el índice de refracción fue de 10° a 60°C en intervalos de 5°C, esto con el objetivo de conocer la tendencia de los datos, así como identificar si en alguna temperatura el error era mínimo.



Figura 3. Refractómetro Anton Paar Abbemat 200

Se realizaron cuatro mediciones del índice de refracción por cada concentración preparada, los resultados de estas mediciones fueron promediados para su posterior análisis.

RESULTADOS

Con el objetivo de obtener una ecuación que nos permita conocer la concentración de la solución acuosa de hidróxido de sodio, se realizó una gráfica de las distintas concentraciones y el promedio de las mediciones del índice de refracción (Figura 4). El comportamiento de los datos presenta ligeras curvaturas, lo que nos indica que el comportamiento no es lineal. Por ello se propone una ecuación de segundo orden.

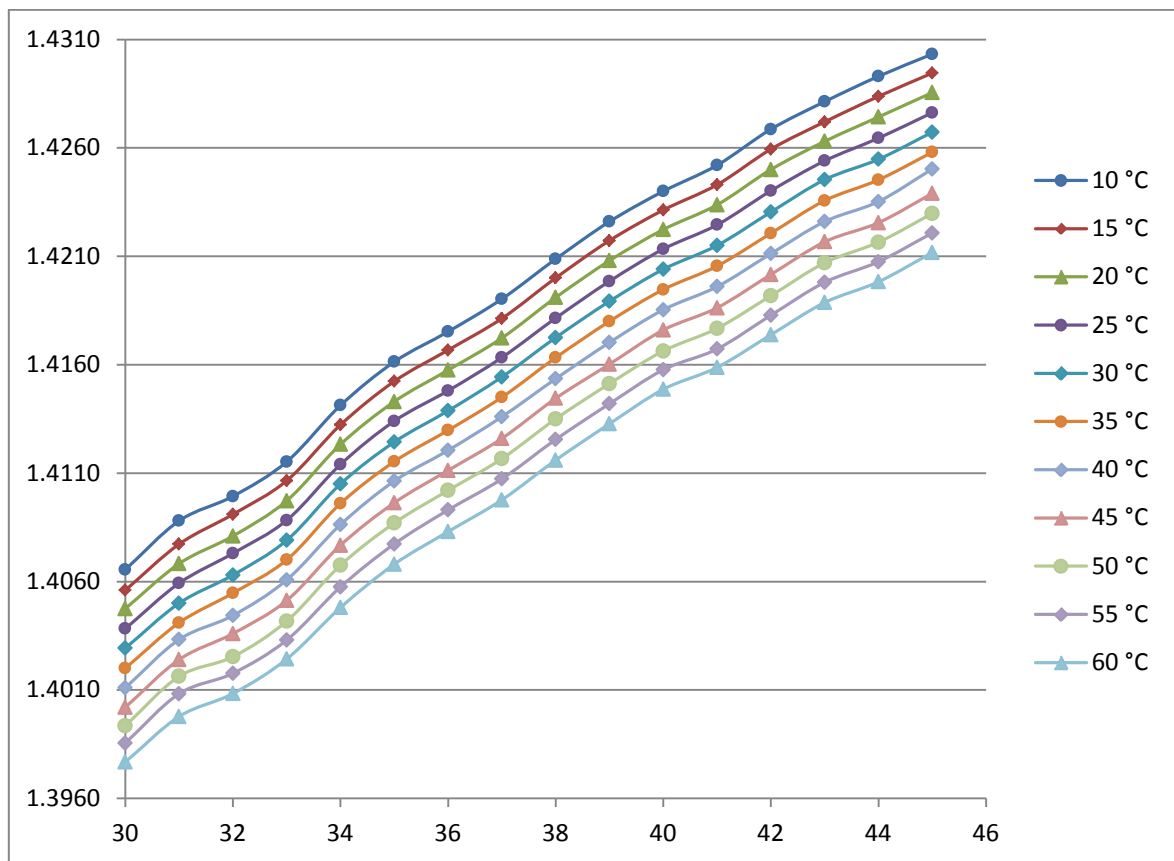


Figura 4. Datos experimentales de índice de refracción de NaOH-H₂O

Después de realizar el análisis matemático de los datos, la ecuación propuesta es la siguiente:

$$RI = A(T) + B(T) * X + C(T) * X^2 \tag{1}$$

Donde:

$$A(T) = 6.1845 \times 10^{-6} * T^2 - 4.0649 \times 10^{-4} * T + 1.3344 \tag{2}$$

$$B(T) = -3.1297 \times 10^{-7} * T^2 + 1.1288 \times 10^{-5} * T + 3.0663 \times 10^{-3} \tag{3}$$

$$C(T) = 3.8696 \times 10^{-9} * T^2 - 1.4092 \times 10^{-7} * T - 1.9635 \times 10^{-5} \tag{4}$$

La ecuación fue evaluada con las concentraciones y temperaturas medidas, obteniendo un error relativo máximo de 0.06% en el cálculo del índice de refracción.

Para determinar la concentración de la solución despejamos X de la ecuación 1, y al realizar la evaluación obtenemos un error relativo máximo de 1.48%.

CONCLUSIONES

Se propone una ecuación que correlaciona el índice de refracción con la concentración y una temperatura, para la solución NaOH-H₂O, en un rango de concentración de 30% a 45% en peso, con un error relativo máximo de 0.06% para el índice de refracción y 1.48% para la concentración. Con ello se proporciona una herramienta para la determinación de la concentración de la solución acuosa NaOH, lo que nos permite controlar las condiciones de diseño y operación del ciclo de absorción, así como prevenir la cristalización de la mezcla al interior del generador y absorbedor,

asegurando el correcto funcionamiento del sistema, evitando impactos negativos al costo de construcción del equipo.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto CEMIE-Sol Proyecto 09. Desarrollo de sistemas de enfriamiento operados con Energía Solar y al proyecto de ciencia básica CB-167434.

BIBLIOGRAFÍA

1. I. Daut, M. Adzriea, M. Irwantoa, P. Ibrahima, M. Fitraa, "A review of absorption refrigeration technologies", *Energy Procedia*, 36, 2013, pp. 444 – 453
2. P. Srihirin, S. Aphornratana, S. Chungpaibulpatana. "A review of absorption refrigeration technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5, 2001, pp. 343–372
3. V. Mittal, KS Kasana, NS Thakur, "The study of solar absorption air-conditioning systems" *Journal of Energy in Southern Africa*, Vol. 16 No 4, 2005, pp. 59-66.
4. R. Gugulothu, N. S. Somanchi, H. B. Banoth, K. Banothu, "A review on Solar Powered Air Conditioning System". *Procedia Earth and Planetary* 11, 2015, pp. 361-367.
5. R. J. Romero, M.A. Basurto-Pensado, A.H. Jiménez-Heredia, J.J. Sánchez-Mondragón, "Working fluid concentration measurement in solar air conditioning systems", *Solar Energy*, 80, 2006, pp. 177-181.
6. Responsible care, *Manual de solución de soda cáustica*, pp.12

ESTUDIO DE LA SEPARACIÓN DE ORO MEDIANTE MEMBRANAS POLIMÉRICAS UTILIZANDO UN FOSFATO ORGÁNICO

María Elena Núñez Gaytán, Ricardo Agustín López, Ana María Núñez Gaytán

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich.

RESUMEN

La separación de especies metálicas se puede realizar con sistemas de membranas poliméricas, los cuales son procesos continuos de extracción-reextracción. El oro es un metal valioso, por lo cual se optimizó el sistema de membranas poliméricas para la separación y recuperación de trazas de oro. Se sintetizaron membranas con diferente composición del soporte polimérico y de acarreador. El polímero utilizado fue el triacetato de celulosa y como acarreador un fosfato orgánico. Se utilizó una celda de dos compartimentos separados por la membrana polimérica y se determinó el tiempo necesario para el ciclo de operación del sistema. La fase de alimentación contenía oro(III) en un medio de ácido clorhídrico 1 M y como fase de recuperación una solución salina. La concentración de oro se midió con un espectrofotómetro UV-Vis a una longitud de onda de 313 nm. Se observó que la separación del oro se realiza en tiempos cortos y el acarreador demostró ser eficiente para la recuperación del metal en medios concentrados de ácido clorhídrico.

INTRODUCCIÓN

El oro es uno de los metales más caros por su importancia en la economía mundial, predomina como metal nativo y los metales con que frecuentemente se asocia son plata, cobre, fierro, rodio y platino [1]. Además por sus propiedades como su excelente conductividad térmica y eléctrica; y maleabilidad, es empleado en microprocesadores de computadoras y dispositivos electrónicos [2]. El oro es estable, ya que es inalterable con el aire y la mayoría de las soluciones acuosas; incluyendo ácidos fuertes. El oro es un metal valioso, por lo que la recuperación de trazas del metal a partir del reciclaje de fuentes secundarias (desperdicios electrónicos) ha incrementado el estudio de métodos de separación. Uno de los métodos de separación de oro más antiguo es la extracción líquido-líquido o extracción por solventes.

Los sistemas de separación por membranas poliméricas son actuales y novedosos debido a las grandes ventajas que presentan como son bajos costos de operación, utilizar extractantes o acarreadores baratos y selectivos, además disminuyen la cantidad de disolventes orgánicos. En caso contrario, la extracción líquido-líquido emplea grandes cantidades de diluentes orgánicos. La característica principal de estos sistemas es precisamente la membrana polimérica que separa dos fases líquidas [3]. El soluto de interés debe migrar de una fase a la otra a través de la membrana. Las membranas poliméricas se emplean principalmente para la separación de especies metálicas a nivel de trazas; así como para su concentración o enriquecimiento [4]. Hay varios métodos para permitir que las sustancias atraviesen una membrana. Ejemplos de estos métodos son la aplicación de alta presión, el mantenimiento de un gradiente de concentración y la introducción de un potencial eléctrico. La membrana funciona como una pared de separación selectiva. Ciertas sustancias pueden atravesar la membrana, mientras que otras no.

TEORÍA

Una membrana polimérica de inclusión (MPI) está compuesta por un polímero, un plastificante y un acarreador. Estas membranas presentan una excelente versatilidad y estabilidad; y disminuyen la pérdida del acarreador, particularmente comparadas con las membranas líquidas. El acarreador es

esencialmente el responsable de transportar la especie de interés a través de la membrana. El soporte polimérico le proporciona a la membrana fuerza mecánica, mientras que el plastificante le provee elasticidad y flexibilidad. En ocasiones el acarreador también funciona como plastificante [5]. Un ejemplo, es el tris(2-etilhexil) fosfato, TEHP, el cuál es capaz de proporcionar elasticidad a la membrana y ser eficiente en la separación de oro (figura 1).

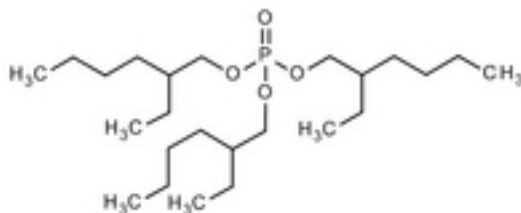


Figura 1. Estructura química del tris(2-etilhexil)fosfato.

La técnica de separación consiste de una celda de dos compartimentos separados por la membrana polimérica. Una de las fases es la alimentación y la otra fase es la de reextracción o recuperación. Ambas fases se agitan.

PARTE EXPERIMENTAL

Todos los reactivos utilizados son grado analítico o superior. La fase de alimentación se preparó a partir de una solución de oro certificada de 1025 ppm en HCl al 5% marca Aldrich.

Las membranas poliméricas de inclusión se sintetizaron mezclando triacetato de celulosa (soporte polimérico) y el fosfato orgánico (plastificante y acarreador); los que se disuelven con un diluyente orgánico volátil. La membrana se forma después de eliminar el diluyente orgánico. Se utilizó CH_2Cl_2 como solvente orgánico. Se sintetizaron 8 membranas poliméricas de inclusión con diferente composición del fosfato orgánico. Las membranas se colocan en medio de una celda de permeación de dos compartimentos, separando las fases de alimentación y recuperación. Ambas fases se agitan mediante unos motores colocados en la parte superior a una velocidad de 450 rpm para asegurar que las fases tienen un mezclado uniforme. Se tomaron muestras a diferentes intervalos de tiempo durante el transcurso del experimento para evaluar la separación del metal.

La eficiencia de cada membrana en la extracción de oro se evaluó con la determinación de la permeabilidad de la membrana. La concentración de oro se midió con un espectrofotómetro UV-Vis a una longitud de onda de 313 nm.

RESULTADOS

Se determinó el transporte de oro para membranas poliméricas de inclusión de diferente composición en una celda de permeación. La fase de alimentación contenía trazas de Au(III) en el nivel de 2×10^{-4} M en ácido clorhídrico 1 M. La solución de recuperación fue 0.1 M en medio cloruro. Se demostró que el medio cloruro es eficiente en la re-extracción del oro. La tabla I, muestra los valores de permeabilidad para cada membrana. La membrana óptima es la que presenta un mayor transporte del oro lo que corresponde al valor de permeabilidad más elevado. En la tabla I, se observa que la membrana de composición 49.34% de triacetato de celulosa y un 50.66% de tris(2-etilhexil) fosfato es la más eficiente. La membrana óptima separó un 80% del

metal en un ciclo de operación de 180 minutos. La figura 2, representa el perfil de concentraciones de la variación de Au(III) en las fases de alimentación y recuperación. La concentración se expresa en fracción molar del metal en cada fase, Au_F/Au_0 para la fase de alimentación y Au_S/Au_0 para la fase de recuperación.

Tabla 1. Eficiencia de las membranas poliméricas. TAC, triacetato de celulosa. TEHP, tris(2-etilhexil)fosfato. P_F , permeabilidad.

MEMBRANA	%TAC	%TEHP	P_F cm/min
M1	70.91	29.09	0.094
M2	66.3	33.7	0.099
M3	60.05	39.95	0.105
M4	55.27	44.73	0.167
M5	49.34	50.66	0.173
M6	43.8	56.2	0.163
M7	38.4	61.6	0.152
M8	31.09	68.91	0.140

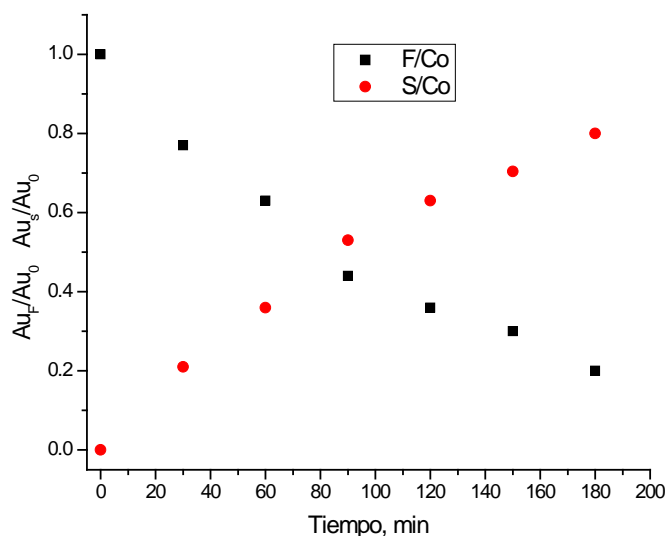


Figura 2. Transporte de Au(III) a través de la MPI. Alimentación: Au(III) en HCl 1 M. Recuperación: cloruro 0.1 M. Ciclo de operación: 180 min.

CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió la recuperación de trazas de oro en un sistema de membranas poliméricas de inclusión. Se demostró la eficiencia del acarreador en la separación del oro. La membrana no presentó acumulación durante el ciclo de operación. El tris(2-etilhexil) fosfato

funciona como acarreador y plastificante; y demostró ser eficiente para la recuperación de trazas de oro en medios concentrados de ácido clorhídrico mediante separación con membranas poliméricas. Se observó que la separación del oro se realiza en tiempos relativamente cortos.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. G. Evans, Henley K. J. Henley, "Gold ore mineralogy and its relations to metallurgical treatment," *Miner. Sci. Eng.*, Vol. 7, No. 4, 1975.
2. Kirk-Othmer, "Encyclopedia of chemical technology," Editorial Wiley & Sons, New York, NY., Vol. 12, 1994.
3. C. J. Geankopolis, "Procesos de transporte y operaciones unitarias," CECSA, 2005.
4. P. R. Danesi, "Separation of metal species by supported liquid membranes," *Sep. Sci. Technol.*, No. 19, 1984.
5. M. Sugiura y H. Hirata, "Effect of phospholipids on carrier-mediated transport of lanthanide ions through cellulose triacetate membranes," *Sep. Sci. Tech.*, Vol. 28, No. 10, 1993.

REMOCIÓN DE FLUORUROS DE SOLUCIONES ACUOSAS MEDIANTE MICROPARTÍCULAS DE SEMILLAS DE GUAYABA

Selene Anaid Valencia-Leal, Ruth Alfaro Cuevas Villanueva, Raúl Cortés-Martínez

Facultad de Biología
Facultad de Ingeniería Química
Facultad de Químico Farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
Francisco J. Mujica S/N, C.P. 58030. Morelia Michoacán. Mexico.
Email: mayaguin_154@hotmail.com

RESUMEN

Se investigó la biosorción de iones fluoruro (F^-) por micropartículas de semillas de guayaba (MSG) a partir de soluciones acuosas en sistemas discontinuos. Se evaluaron los parámetros cinéticos de biosorción en solución acuosa mediante experimentos tipo lote. Las MSG muestran una afinidad por los iones fluoruro en comparación con los adsorbentes convencionales; mostrando menor tiempo de remoción a menor concentración de F^- . Por lo tanto, puede ser considerado como un buen biosorbente de bajo costo para la defluoración del agua.

INTRODUCCIÓN

El flúor en agua potable es conocido por efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud, niveles de concentración de flúor entre 0.5 y 1 mg/L son beneficiosos para la salud, pero concentraciones más altas de fluoruro (1.5-2 mg/L) pueden conducir a fluorosis dental y a 3-6 mg/L, se puede observar esquelética, estas enfermedades son irreversibles y no existe tratamiento para ellas (WHO, 2008; Jiménez *et al.*, 2012). El único remedio es la prevención mediante el mantenimiento de la ingesta de fluoruro dentro de los límites seguros (Sujana *et al.*, 2009. Teutli *et al.*, 2012). La adsorción se considera como uno de los métodos más eficientes para su remoción de aguas de consumo humano, ya que resulta ser económica y fácil para su realización. Muchos estudios han informado de la utilización de adsorbentes de biomasa, como algas (Venkata *et al.*, 2007), cáscara de tamarindo (Sivasankar *et al.*, 2010) y arroz (Vivek y Karthikeyan, 2011), entre otros. En este trabajo se evaluó la capacidad de las micropartículas de semillas de guayaba MSG para remoción de fluoruros de soluciones acuosas.

TEORÍA

El método convencional de eliminación de fluoruros incluye intercambio iónico, ósmosis inversa y la adsorción. El intercambio iónico y ósmosis inversa son relativamente caros. Por lo tanto, la adsorción es un método viable para la remoción de flúor. Los materiales de origen vegetal se ha reportado que acumulan flúor y por lo tanto, se ha sugerido la aplicación de éstos como agentes defluorizantes. Ejemplos de tales biosorbentes son Tamarindo en gel, Hydrilla verticillata (Sinha *et al.*, 2000) Aloe vera (Murugan y Subramanian, 2006) pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) manejado bajo el concepto de cultivo hidropónico (Ruiz *et al.*, 2006).

En Chihuahua, el Laboratorio de la Junta Municipal de Aguas y Saneamiento con muestras de agua de un pozo, utilizó el sulfato de aluminio y un polímero aniónico para disminuir la presencia de flúor. El resultado obtenido fue de un porcentaje de remoción de hasta 77% para el flúor. A medida que se aumenta la concentración de sulfato de aluminio, disminuye la presencia de flúor,

siendo la concentración de 450 mg/L de sulfato de aluminio la que disminuye la concentración de flúor de 5.9 a 1.2 mg/L, cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana (Piñón *et al.*, 2002).

PARTE EXPERIMENTAL

Se molió la semilla debido a su dureza, se le hicieron distintas moliendas utilizando equipos comerciales, como molino para granos y luego en un molino para granos más pequeños y finalmente se tamizó para la selección del tamaño de la partícula entre 200 a 500 micrómetros.

Para determinar el efecto de la dosis de biosorbente microparticulas de semillas de guayaba en la adsorción, se realizaron experimentos de contacto con soluciones acuosas de fluoruro de sodio (NaF) a 10 mg/L y diferentes concentraciones de semillas (desde 0.1 hasta 1g), esto permitió determinar la cantidad óptima para el proceso de biosorción.

Se realizó una cinética de biosorción con la dosis óptima. Poniendo en contacto 0.8 g de microparticulas de semillas de guayaba con 20 mL de solución de acuosa de fluoruro de sodio (NaF) a distintos tiempos de contacto, a una concentración de 10 mg/L con agitación.

La influencia del pH, se realizará un experimento de biosorción con soluciones de fluoruros a diferentes valores de pH, se colocó 0.8 g de MSG con 20 mL de la solución de fluoruros de 10 mg/L a diferentes valores de pH (3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9). El valor de pH se ajustó con ácido clorhídrico (HCl) 1M y con hidróxido de sodio (NaOH) 1M.

Las isotermas se realizaron a 25°C, 35°C y 50°C con soluciones acuosa de fluoruro de sodio (NaF) a distintas concentraciones 10 hasta 1000 ppm.

Los experimentos se realizaron por triplicado.

La determinación de fluoruros (F⁻) en los sobrenadantes de los experimentos anteriores se realizó mediante un fluorímetro marca Hanna.

Los datos de las cinéticas e isotermas de adsorción se analizaron mediante regresión no lineal, utilizando el software STATISTICA 7.

RESULTADOS

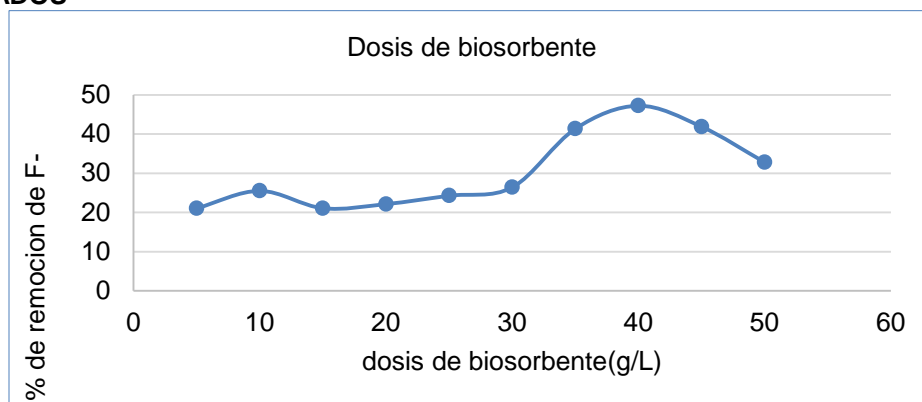
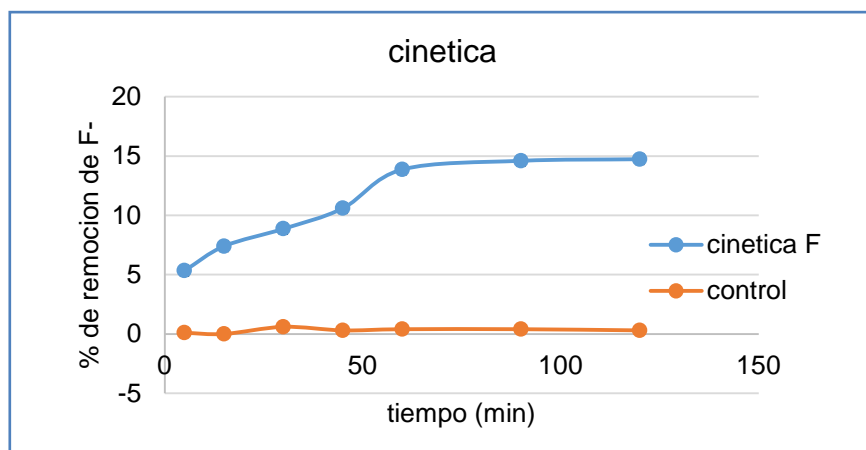


Figura 1. Dosis optima de biosorbente.

En la figura 1 se puede observar la dosis óptima de biosorbente que es de 40 g/L. Con la que se trabajó para los experimentos. El porcentaje de remoción de F^- se incrementa cuando la dosificación cambia. Se entiende que el proceso de adsorción es muy rápido a dosis más bajas de absorbente (<30 g) debido a que se satura de forma rápida todos los tipos de sitios activos que fueron expuestos. A dosis altas de absorbente (> 50 g) la eficiencia decrece debido a que existen mayor cantidad de sitios activos disponibles, es decir que hay mayor área superficial, que no han sido ocupados por los iones fluoruro.

Figura 2. Cinética de biosorción de F^- con dosis optima de



microparticulas semillas de guayaba a 25°C.

En la figura 2 se muestran los resultados de la cinética de biosorción a diferentes tiempos, se observó que el tiempo de equilibrio es a los 120 minutos, con una remoción de 14.7%, la dosis óptima de biosorbente que es de 40 g MSG/L. Se colocó un control el cual mostro una pérdida significativa.

Los resultados obtenidos en la cinética de biosorción son analizados por regresión no lineal utilizando el programa STATISTICA 7.0 para los siguientes modelos: pseudo-primero orden (Lagergren), Elovich y pseudo-segundo orden. Los resultados se muestran a continuación.

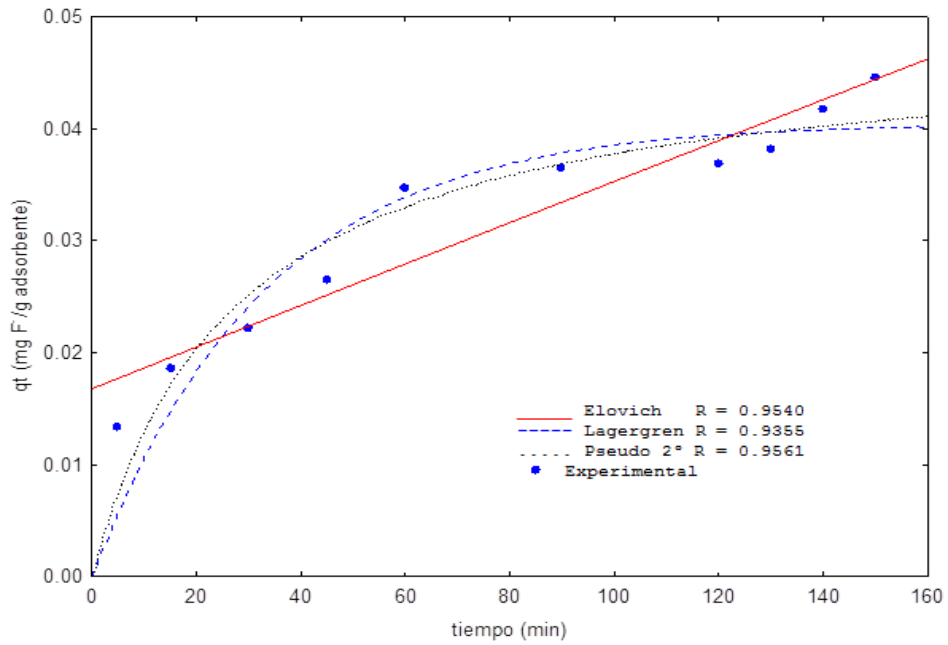


Figura. 3 Modelos cinéticos para biosorción de fluoruros con MSG

Los ajustes a los modelos de cinética muestran un ajuste para los tres modelos. Siendo el modelo de Pseudo-segundo orden el que más se ajustó con un R de 0.9561.

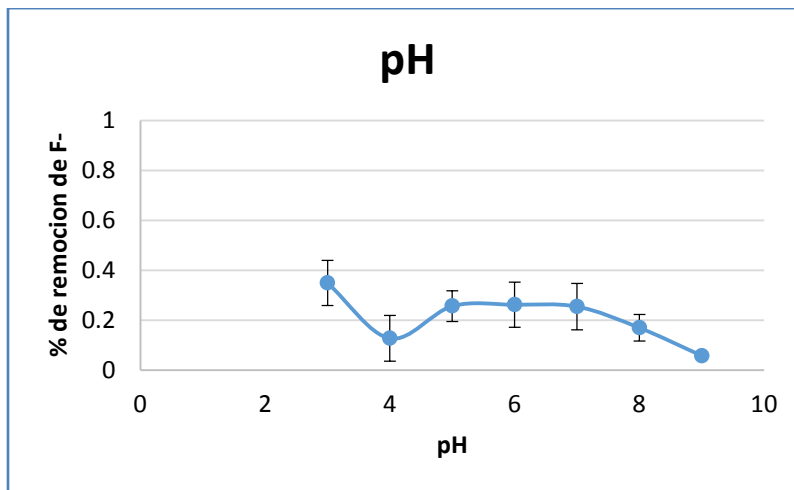


Figura 4. Efecto del pH sobre la biosorción de iones de F⁻ con MSG

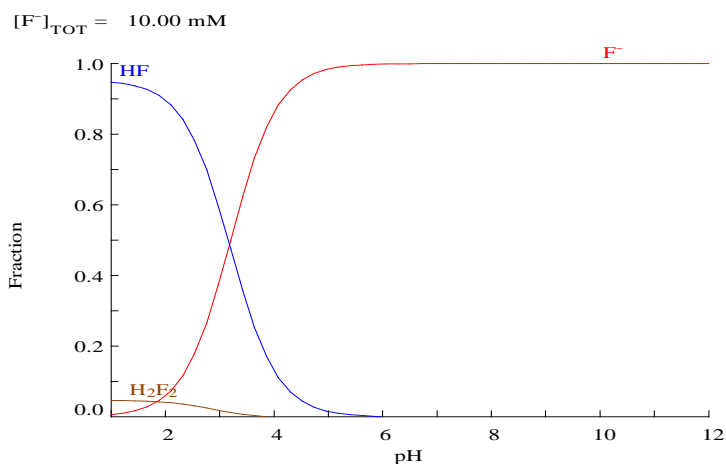


Figura 5. Diagrama de distribución de especies de flúor en solución acuosa.

El pH de la solución es uno de los parámetros más importantes a controlar en el proceso de biosorción. El efecto del pH de la solución sobre la remoción de fluoruros con semillas de guayaba, en un rango de pH de 3 a 9, se muestra en la Figura 4. Donde el *qt* son mg de F⁻ adsorbidos por g de semillas, la remoción de fluoruros se encuentra en un rango de pH de 5 a 7.

Puede atribuirse al hecho de que a pH bajos, la formación de ácido fluorhídrico débil tiene lugar y que retarda la velocidad de la biosorción de fluoruro, como se muestra en la Figura 5. A medida que se eleva el pH de la solución, los grupos funcionales quedan cargados negativamente, lo cual impide la remoción de fluoruros a un pH mayor de 8 como se muestra en la Figura 4.

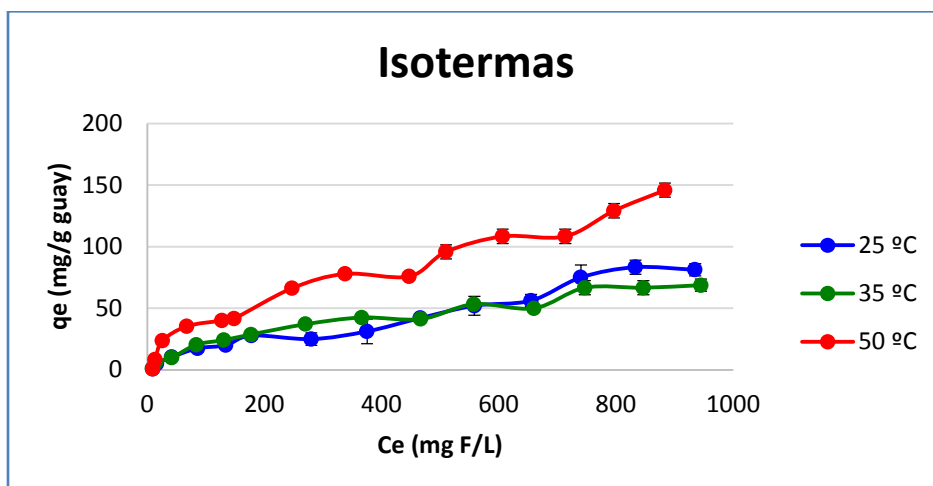


Figura 6. Capacidad de biosorción de F⁻ con MSG a diferentes temperaturas.

En la figura 6 se muestran los resultados de las isotermas realizadas a tres temperaturas y los resultados se ajustaron a modelos para obtener las capacidades máximas de adsorción (Q_0), presentadas en la tabla 1

En la Tabla 1 se muestran los parámetros obtenidos por los diferentes modelos isotérmicos, se observa para el sistema de fluoruros con las micropartículas de semillas de guayaba a tres temperaturas (25, 35 y 50 °C) los modelos que mejor se ajustaron a los resultados experimentales de las tres temperaturas fue el de Freundlich y Langmuir-Freundlich. Este hecho indica que la biosorción es de tipo heterogénea. Se observa también que la capacidad máxima de adsorción fue mayor a una temperatura de 25 °C con un valor de $Q_0 = 500.72$. El coeficiente de correlación fluctúa entre 0.9783 y 0.9883.

Tabla 1. Parámetros obtenidos de los modelos isotérmicos aplicados al proceso de biosorción para fluoruros con MSG.

Temperatura (°C)	Langmuir			Freundlich			Langmuir-Freundlich			
	Q_0 (mg/g)	b (L/mg)	R	K_F	n	R	K_{LF}	a_{LF}	N	R
25	500.721	0.000217	0.9783	0.27014	1.1931	0.9814	0.268421	0.000000	0.839123	0.9814
35	97.5605	0.002211	0.9827	1.50136	1.7859	0.9882	1.247451	0.000005	0.607703	0.9883
50	233.579	0.001457	0.9788	2.00564	1.6101	0.9882	1.994215	0.000000	0.622555	0.9881

CONCLUSIONES

En las cinéticas el tiempo de equilibrio se alcanza a un tiempo menor en comparación con otros adsorbentes. Se observó en la cinética de biosorción de fluoruros al ajustarse a los modelos tiene una mayor correlación con el de pseudo-segundo orden.

En las isotermas de biosorción de fluoruros en MSG a diferentes temperaturas, se observó que el aumento en la eficiencia de remoción con el aumento de la temperatura sugiere que el proceso está cinéticamente controlado por un proceso endotérmico. En las isotermas se ajustó a los modelos de Freundlich y Langmuir-Freundlich para las tres temperaturas lo que nos sugiere que la literatura una biosorción heterogénea.

BIBLIOGRAFÍA

1. Jiménez-Becerril J., Solache-Ríos M., and García-Sosa I. "Fluoride removal from aqueous solutions by boehmite," *Water Air Soil Pollut.*, vol. 223, pp. 1073-1078, March 2012.
2. M. Murugan and E. Subramanian 2006 Studies on defluoridation of water by Tamarind seed, an unconventional biosorbente Q IWA Publishing 2006 *Journal of Water and Health* | 04.4 | 2006 p.454
3. Piñón Miramontes Manuel; Pérez Hernández Antonino; Bautista Margulis Raúl; 2002 Disminución de flúor y arsénico utilizando sulfato de aluminio y polímero aniónico en agua subterránea XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México, 27 al 31 de octubre, 2002
4. Ruiz C, Luque O., Rodríguez O y Alarcón M. 2006 "Desarrollo de un sistema de tratamiento para la remoción de flúor del agua mediante el uso de vetiver *Vetiveria zizanioides* L., IV Conferencia Internacional sobre Vetiver (ICV-4), Guarataro, Yaracuy, Venezuela, 22 al 26 de octubre de 2006.
5. Sinha, S., Saxena, R., & Singh, S. (2000). Fluoride removal from water by *Hydrilla verticillata* (Lf) Royle and its toxic effects. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 65(5), 683-690.
6. Sivasankar V., Ramachandramoorthy T., and Chandramohan A., "Fluoride removal from water using activated and MnO₂-coated Tamarind Fruit (*Tamarindus indica*) shell: Batch and column studies," *J. Hazardous Mat.*, vol. 177, pp. 719-729. May 2010.
7. Sujana M. G., Pradhan H. K., and, Anand S. "Studies on sorption of some geomaterials for fluoride removal from aqueous solutions," *J. Hazardous Mat.*, vol.161, pp. 120-125, Jan. 2009.
8. Teutli-Sequeira A., Solache-Ríos M., and Balderas-Hernández P. "Modification effects of hematite with aluminum hydroxide on the removal of fluoride ion from water," *Water Air Soil Pollut.*, vol. 223, pp.319-327, Jan. 2012.
9. Venkata Mohan S., Ramanaiah S.V., Rajkumar B., and Sarma P.N. "Biosorption of fluoride from aqueous phase onto algal *Spirogyra* IO1 and evaluation of adsorption kinetics," *Biores. Technol.* vol. 98, pp. 1006-1011, March 2007.
10. Vivek Vardhan C.M., and Karthikeyan, J. "Removal of fluoride from water using low-cost materials," *Int. Wat. Technol. J.*, vol. 1, pp. 1-12, Sept. 2011.
11. World Health Organization (WHO), 2008. *Guidelines for Drinking-Water Quality*, 3rd ed., vol. 3.

ARQUITECTURA Y DESARROLLO DE UNA MÁQUINA DESPACHADORA CONECTADA A LA NUBE CON COBRO VÍA MONEDERO ELECTRÓNICO

Alma Ochoa-Barajas, Luis Gutiérrez-Preciado, Mildreth Alcaraz-Mejía

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente

RESUMEN

En este trabajo se desarrolló una máquina en la que su circuito principal se compone de un procesador ARDUINO [1] que toma la lectura de un monedero electrónico, el identificador lo manda a través del serial en un programa desarrollado en PYTHON [2] y este programa se conecta a una base de datos en MySQL [3] que está en la nube. En la base de datos se realizan las validaciones necesarias para saber si el monedero electrónico tiene crédito, está activo y si la máquina tiene producto disponible, si todo esto se cumple el producto es despachado. El sistema se compone de un sistema de información que gestiona la información de las tarjetas, las existencias en las máquinas, los lugares donde están instaladas y las notificaciones de surtido o de intentos fallidos de compras. Las tarjetas se pueden recargar desde un sistema punto de venta en tiendas propias y a través de paypal. En México estamos familiarizados con las máquinas despachadoras principalmente de golosinas y refrescos y en la mayoría de ellas el pago se realiza en efectivo. Aunque existen soluciones donde el pago se realiza por medio de tarjeta bancaria, dichas soluciones son muy costosas lo que representa una gran barrera para su implementación. Con este desarrollo se pretende otorgar a las empresas un esquema de comercialización que sea seguro para el cliente y práctico para la organización.

INTRODUCCIÓN

Hay máquinas despachadoras que ofrecen casi cualquier producto. Hay aproximadamente 3.8 millones de máquinas expendedoras en Japón. De estas 2.2 millones venden refrescos. Las ventas anuales de las máquinas expendedoras en Japón superan los 5 millones de Yenes, alrededor de \$40 millones de dólares.

En México y América Latina se está comenzado a popularizar este canal de ventas y cada vez más consumidores se familiarizan con él, por lo que la demanda va en aumento. De acuerdo con revistas como *Entrepreneur* [4], es considerado uno de los negocios más lucrativos y rentables en la actualidad. La tendencia en el comercio es automatizar los procesos de venta con lo cual se ahorre en costos, personal y tiempo. En México Coca-Cola tiene 37,000 máquinas despachadoras, Pepsi tiene 7,000 máquinas, otras cadenas importantes sumarían otras 7,000 máquinas, lo que nos da un total de 51,000 máquinas operadas por grandes cadenas y podemos suponer que operadores independientes tienen el 30% restante de máquinas lo que nos da más de 21,000 máquinas, sumando el gran total de 73,000 máquinas. Las bebidas frías y el snack tiene el 85% del mercado el café un 10% y otros productos el 5% restante [5].

En el mercado existen máquinas que están usando la tecnología para dar un valor agregado al cliente. Existen máquinas que venden medicamento con prescripción y su esquema de seguridad

está basado en muestras dactilares. Otras máquinas venden pequeños lingotes de oro y sus precios se actualizan cada 10 minutos a través de Servicios Web. En este trabajo se presenta una máquina que nació de la necesidad de desarrollar un nuevo canal de comercialización sin tener que abrir tiendas físicas. Se buscaba la mínima operación por eso el requerimiento mínimo fue que el pago se realizara por algún medio electrónico y así evitar el manejo de efectivo. Ya existen máquinas despachadoras con sistemas de telemetría y pago con tarjeta bancaria, sin embargo, son máquinas especializadas en venta de refrescos y snacks y aunque se podrían ajustar a nuestro tipo de producto son máquinas costosas demasiado grandes lo que nos generaría problemas de traslado.

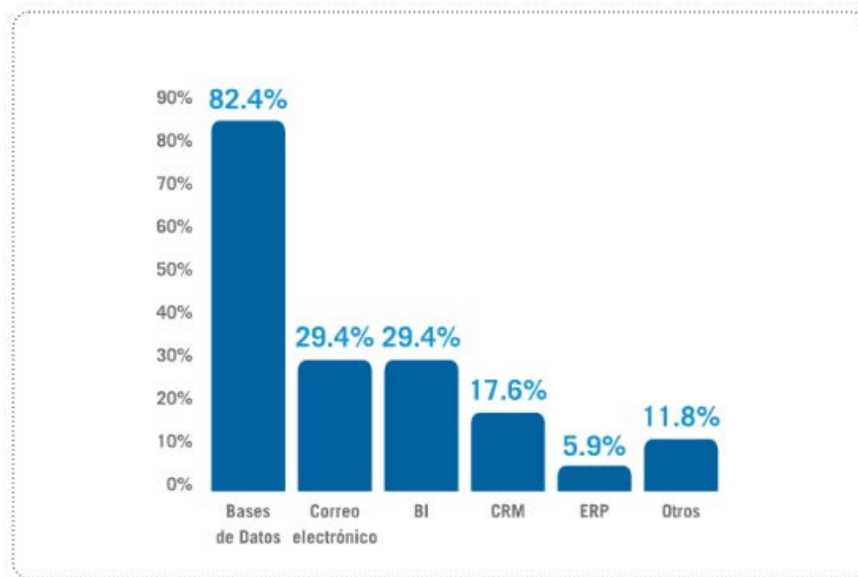


Figura 1. Porcentaje de adopción de aplicaciones en la nube por las empresas mexicanas

MARCO CONCEPTUAL

Los sistemas de información requieren de información integral y que pueda ser consultada o actualizada desde cualquier dispositivo conectado a la red. Ya no podemos esperar al final del día para detectar una falla en los precios de un producto, detectar un saldo erróneo de un cliente o problemas más graves como suministrar medicamento erróneo a un paciente. La computación en la nube es un espacio virtual de uso individual o compartido donde reside la información en espera de ser consultada y/o compartida a través de Internet y además puede ser utilizada por un pequeño comerciante hasta una gran organización con grandes volúmenes de información.

Para el Instituto Nacional de Estándares y Tecnologías de Estados Unidos (NIST), La Informática en la Nube se define como *“Un modelo para habilitar acceso conveniente por demanda a un conjunto compartido de recursos computacionales configurables (por ejemplo: redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios), que pueden ser rápidamente provisionados y liberados con un esfuerzo mínimo de administración o de interacción con el proveedor de servicios.”*

¿QUÉ NOS PERMITE LA COMPUTACIÓN EN LA NUBE?

Podemos obtener **Infraestructura como Servicio (IaaS)** donde accedemos a hardware, almacenamiento e infraestructura de red. Aquí podemos “contratar” máquinas virtuales configurar el espacio de almacenamiento, el tipo de procesador, capacidad de memoria. Se pueden implementar estrategias de balanceo de cargas entre varios servidores con las propias herramientas de gestión de la nube. En el modelo **Plataforma como Servicio (PaaS)** se ofrecen entornos dedicados para el desarrollo, pruebas, ejecución de aplicaciones en distintos lenguajes de programación como Java, PHP, Python, etc y en el **modelo Software como Servicio (SaaS)** las empresas pueden usar aplicaciones realizadas para distintos fines como ERP's, CRM's, sistemas contables, de recursos humanos, de producción que ya tienen implementadas las mejores prácticas y además se pueden contratar por usuario o por uso [6].

Como parte del modelo Plataforma como Servicio las organizaciones pueden hacer su propia implementación de bases de datos ya sea SQL o NoSQL. Cada empresa que provee computación en la nube tiene distintos despliegues de gestión de bases de datos como MySQL, Oracle, SQL Server donde las actualizaciones, copias de seguridad, replicación y seguridad son parte de sus tareas.

EL USO DE LA NUBE EN MÉXICO

Como se puede ver en la Figura 1, de acuerdo a las primeras encuestas de mercado realizadas en México, las herramientas en la nube que más usan las empresas son: bases de datos, correo electrónico y business intelligence. Una encuesta disponible en México sobre las principales barreras para la adopción de “cómputo en la nube” muestra que las principales barreras para adoptar la nube en México son: seguridad, falta de información sobre el concepto, pérdida de control, acceso a Internet, la cultura de TI en las corporaciones [7].

DIFERENCIAS ENTRE BASES DE DATOS SQL Y NOSQL

Las bases de datos SQL utilizan el modelo relacional para su manipulación se utiliza el lenguaje estándar de consultas y por el tiempo en el mercado tienen más soporte y productos para su gestión. Es fundamental el diseño para evitar duplicidad de información y pérdida de eficacia en el acceso a la información. En las bases de datos NoSQL (Not Only SQL) sus datos no se almacenan a manera de tuplas sino que se almacenan como estructuras esto hace que sean más abiertas y flexibles pero esto a su vez hace que no haya un estándar bien definido para su manejo.

PHP Y MYSQL HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO WEB

El lenguaje de programación PHP es el lenguaje de scripting multipropósito que está diseñado especialmente para el desarrollo de páginas web. Su claridad en el diseño, módulos bien organizados y mejor mantenimiento de tecnologías, lo hacen el lenguaje más popular en la industria actual. Es un lenguaje de código abierto, multiplataforma y con suficiente soporte para el desarrollo eficiente de una aplicación. Provee instrucciones para la gestión de bases de datos en MySQL, desde creación de tablas, manipulación de datos y optimización de recursos.

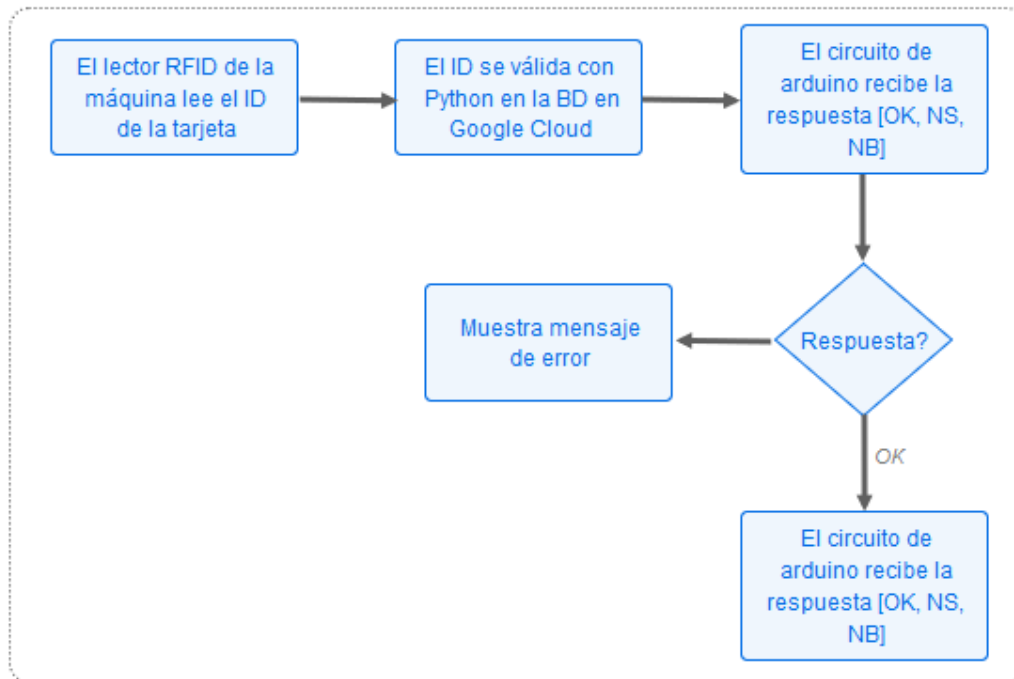


Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de despacho del producto

DESARROLLO

Para el desarrollo de la máquina se realizaron las siguientes etapas, que se pueden apreciar en a figura 2.

- 1) Diseño y armado de la parte mecánica de la máquina; chasis, engranes, sensores y bandas que permiten el despacho del producto, así como el lector de tarjetas RFID y el display de instrucciones para el usuario final.
- 2) Programación de microprocesador arduino que toma la lectura de la tarjeta para enviar el ID a través del puerto serial de la computadora y recibir respuesta de la misma. Tomar la respuesta y enviar instrucciones al despachador de la máquina para la salida o no del producto y el envío de mensajes al display.
- 3) Programa en Python instalado en la computadora local montado con Linux, que gestiona la solicitud de venta. Con ID de la tarjeta el programa valida su crédito, valida las existencias en la máquina y registra la venta en una base de datos MySQL implementada en Google Cloud. Envía al puerto serial un código del resultado de la operación como OK (Despachar producto), NS (No hay producto disponible en la máquina) ó NB (La tarjeta no tiene saldo suficiente)
- 4) Para la recarga de tarjetas se programó una aplicación web con PHP y MySQL que permite abonarle crédito a la tarjeta. La recarga también se puede realizar desde la página web de la organización a través de PAYPAL, el saldo queda actualizado en automático ya que se utilizó la API de PAYPAL para que las transacciones de pago se vieran reflejadas en tiempo real en nuestra base de datos.
- 5) Se implementó una segunda aplicación web donde los gerentes de los negocios pueden ver las comisiones ganadas por ventas de máquinas que tienen alojadas en sus locales.



Figura 3. Vista frontal de la máquina

RESULTADOS

Se creó una máquina dispensadora de un tipo de producto (suplementos vitamínicos) que se muestra en la figura 3. En esta máquina el pago, el manejo de existencias en las máquinas y los reportes de ventas y comisiones están completamente automatizados. La máquina envía notificaciones por venta realizada, producto por debajo del punto de resurtido, fallas en el servicio de internet o fallas en el despacho del producto por alguna lectura errónea de los sensores.

Las tarjetas (RFID) son monederos electrónicos que se pueden usar y recargar en tiendas propias a través del punto de venta o se pueden recargar con PayPal.

El proyecto se desarrolló en seis meses. La parte mecánica de la máquina y la programación del procesador Arduino la realizó un proveedor. El trabajo principal desarrollado y presentado aquí, corresponde a la implementación de la base de datos en la nube y la programación del algoritmo de validación de la tarjeta, así como las aplicaciones web para la recarga de la tarjeta y el sistema de reportes. Este desarrollo se realizó para y con el patrocinio por parte de la empresa Celesterra SA DE CV.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de esta máquina hubo un ahorro del 70% por máquina, además se definió el esquema para el diseño de otras máquinas que se puedan adaptar rápidamente a las estrategias comerciales de la organización. La empresa en la que se realizó este proyecto no es del área tecnología por lo que la fabricación de esta máquina se conceptualizó desde cero y sin ningún antecedente previo. Fue un trabajo muy enriquecedor por los tipos de problemas a los que nos enfrentamos, desde la selección del hardware que nos permitiera instalarse dentro de la máquina,

la selección y puesta a punto del entorno de desarrollo local. Principalmente, que la máquina fuera capaz de establecer comunicación con las aplicaciones que se instalaron en la nube, lo cual nos permitió tener la capacidad de poder fabricar máquinas escalables.

BIBLIOGRAFÍA

1. "ARDUINO". Procesador [documentación en línea], [15 Febrero 2017]. Disponible en: <http://www.arduino.org/>
2. "PYTHON". lenguaje de programación para integración de sistemas, [documentación en línea], [15 Febrero 2017]. Disponible en: <https://www.python.org/>
3. "MySQL". Base de datos de código abierto, [documentación en línea], [15 Febrero 2017]. Disponible en: <https://www.mysql.com/>
4. Real, J. (2010). Educación "en la nube". España: Universidad Autónoma de Madrid.
5. "ARROVA". Asociación Regia Reguladora de Operadores Vending Activos. [documentación en línea], [1 Abril 2017]. Disponible en: <http://www.arrova.com.mx>
6. Management Solutions, "La nube: oportunidades y retos para los integrantes de la cadena de valor". pp 16,20, España 2012.
7. Frost y Sullivan, "Cloud Computing End User Analysis Mexico". 2011.

ELECTROESTIMULADOR ANALGÉSICO DESARROLLADO CON LA TARJETA MY RIO EN LA PLATAFORMA DE LABVIEW

H. García Estrada, O.A. Linares Escobar, A. Pastrana Manzanero, M. G. Ramírez Sotelo, A.I. Cabrera Llanos

Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional

Departamento de Bioingeniería, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló un electroestimulador destinado para fines analgésicos por medio de la emisión de señales eléctricas mandadas al tejido muscular. Éste proyecto fue dividido en una etapa analógica y otra digital. La etapa analógica se divide en generación del tren de pulsos, adecuación y amplificación. Para generar el tren de pulsos se utilizó un circuito oscilador 555 con un ancho de 200 μ s. En la adecuación se aplicó un arreglo de transistores de manera que se convierte el tren de pulsos en una señal de corriente alterna. Por otra parte, se utilizó un transformador con el objetivo de amplificar el voltaje de la señal y así este genere el efecto deseado en el paciente. Mediante un programa desarrollado en LabVIEW se aplicó la modulación de diversas frecuencias (2, 20, 40, 80 y 120 Hertz), a las señales de trenes de pulsos mediante los bloques de salida destinados para la tarjeta de control conocida como NI myRIO-1900, controlados por variables de tipo booleano y representados por medio de una gráfica, permitiendo así poder visualizar el tiempo de la señal con respecto a la amplitud de estas mismas.

INTRODUCCIÓN

A. Electroterapia Analgésica

La electroterapia analgésica es una técnica que consiste en la aplicación de energía electromagnética en determinadas zonas del organismo, siendo esta de diferentes formas, con la finalidad de producir algún cambio fisiológico. Por ello es fundamental establecer los sistemas adecuados de dosificación, con el fin de que la energía aplicada pueda conseguir el efecto pretendido en la terapia, ya que toda acción de la corriente eléctrica sobre el organismo puede desencadenar un efecto analgésico [1] y [2]. Este se da a nivel tisular mediante la estimulación de las fibras nerviosas gruesas A α mielínicas de conducción rápida. Esto pone en marcha los sistemas analgésicos descendentes de carácter inhibitorio sobre la transmisión nociceptiva hacia el sistema nervioso central (SNC), vehiculizada por las fibras amielínicas de pequeño calibre, obteniendo de esta manera una reducción del dolor [3].

B. TENS por trenes de impulsos

La expresión TENS proviene del acrónimo inglés “*Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*”, o lo que es lo mismo, estimulación eléctrica transcutánea del nervio [3]. Es de esta manera como definimos a todos los estimuladores del sistema nervioso y como consecuencia de la organización de este, se han desarrollado diferentes modelos de estimulación mediante la TENS, uno de ellos

es aquel que se da mediante trenes de impulsos. Este tipo de TENS se encuentra fundamentada en las publicaciones de Sjölund y Eriksson, las cuales nos dicen que este tipo de estimulación provoca la liberación de endorfinas centrales, las cuales son la causa de la disminución del dolor. Por lo cual, es necesario utilizar amplitudes o intensidades de corriente elevadas, de cierto es que esto hace que este tipo de estimulación sea bastante agresiva, indicándose en tratamientos en donde el dolor sea crónico [3].

C. Timer 555

Se entiende por circuito oscilador a todo aquel que tiende a variar su señal de salida. La señal puede ser conocida como de onda cuadrada o de pulsos debido a que el valor de voltaje de salida alcanza con rapidez un nivel y luego se reduce del mismo modo a otro nivel de voltaje (figura 1).

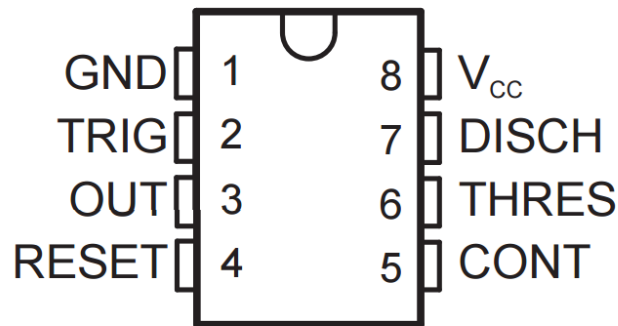


Fig. 1 Configuración interna del temporizador 555

Una de las configuraciones que se pueden manejar con el circuito integrado 555 es un multivibrador astable, también conocido como, circuito de reloj. De ahí es que a este también se le conoce como temporizador [4].

D. Tarjeta de adquisición NI myRIO-1900

La tarjeta de adquisición y control de señales conocida como NI myRIO-1900, es un dispositivo de diseño embebido para estudiantes, el cual cuenta con múltiples entradas y salidas analógicas, así como también digitales, canales de audio, una alimentación de salida, entre otras cosas. Esta se conecta a un ordenador por medio de un cable tipo USB o mediante una red inalámbrica. La tarjeta de control NI myRIO-1900 posee tres puertos principales, los cuales son nombrados mediante las letras A, B y C de los cuales, los dos primeros son conocidos como puertos de expansión (MXP) mientras que el último es llamado puerto del mini sistema (MSP). Estos cuentan con una descripción del tipo de señales que pueden recibir o emitir [5] (figura 2).



Fig. 2.- Conectores A y B del MXP



Fig. 2 Conector C del MSP

E. LabVIEW

El software conocido como LabVIEW es un lenguaje gráfico de programación, utilizado como estándar en el desarrollo de aplicaciones de test y medida, control de instrumentación y sistemas de adquisición de datos. National Instruments ha ido desarrollando desde hace 5 años nuevas áreas estratégicas, relacionadas con nuevos campos de trabajo como Simulación, Diseño de Control, sistemas embebidos en tiempo real (FPGAs, DSPs, microprocesadores), algoritmos matemáticos avanzados, entre otras cosas.

LabVIEW cuenta con una caja de herramientas exclusivas para la tarjeta myRIO-1900, en la cual encontramos los bloques de adquisición o generación de las señales, ya sean de tipo analógicas o digitales [6].

METODOLOGÍA

El electroestimulador aquí presentado está conformado por dos etapas principales de funcionamiento: la generación de señales analógicas y la entrada/salida de señales digitales por medio de la tarjeta myRIO-1900, la cual regula el proceso de generación de la señal hacia los electrodos colocados sobre la piel del paciente (figura 3).

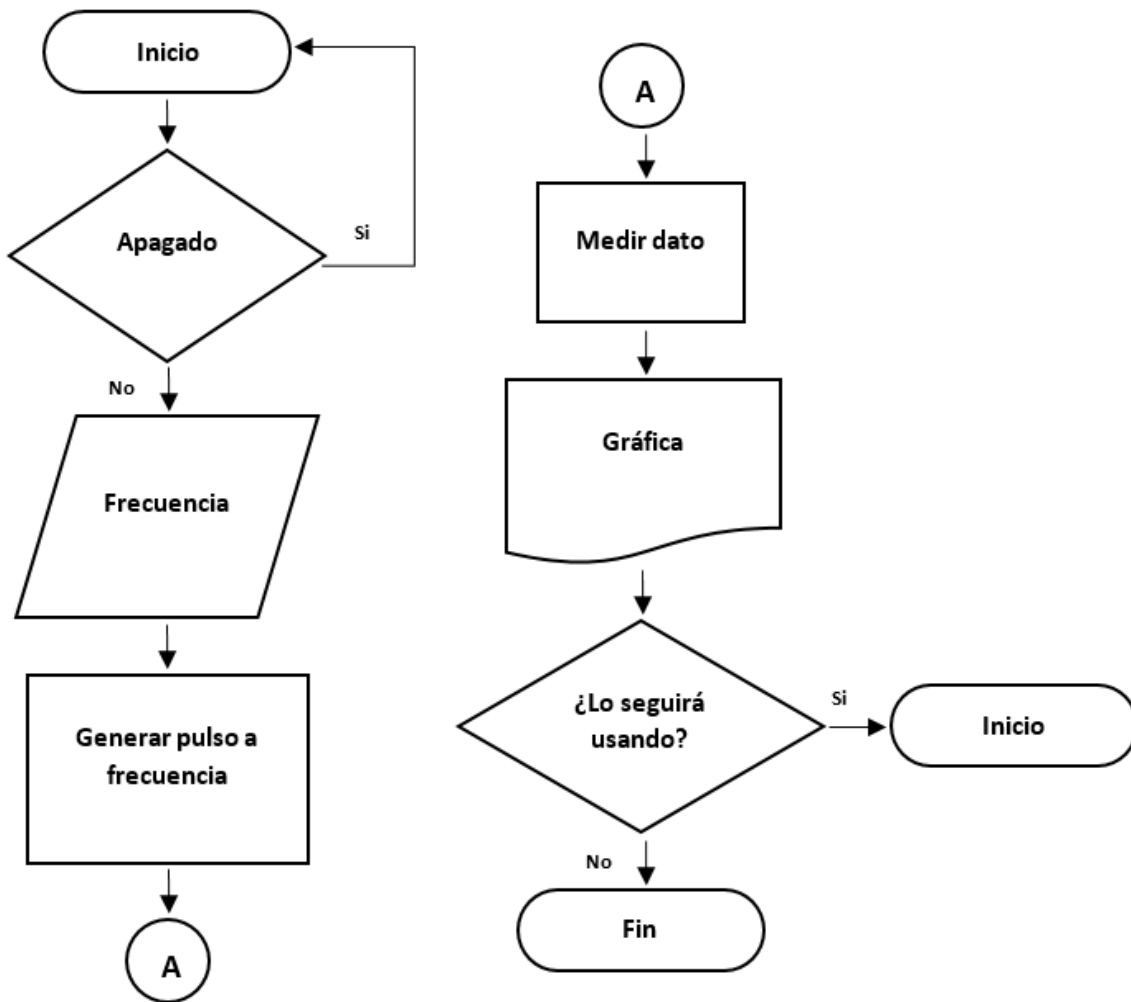


Fig. 3 Diagrama de flujo del programa

A. Generación de las frecuencia de operación (LabVIEW – myRIO)

Para la realización de este sistema de generación de señales, se implementó la plataforma LabVIEW, así como también una tarjeta programable de datos myRIO-1900. Para la generación y el manejo de las señales enviadas al circuito, se configuro el canal de salida digital de la tarjeta myRIO-1900, esta va alternando entre encendido y apagado de la señal por medio de constantes booleanas, este se encuentra controlado de manera: secuencial y temporal. Se muestra el panel frontal por medio del cual se controla este canal de salida para las diferentes frecuencias (figura 4).

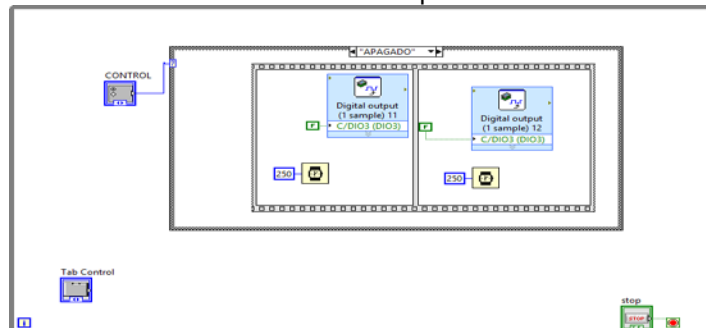


Fig. 4 Generación de las frecuencias de operación

B. Generación del tren de pulsos

Se utilizó un circuito integrado 555 en modo astable se necesitó de un resistor y un capacitor externos para ajustar el intervalo de temporización de la señal de salida. Para poder calcular la frecuencia del circuito se necesitó obtener previamente los intervalos de tiempo durante los cuales la salida alcanza un valor en alto y en bajo. Esto se logró mediante las siguientes 2 ecuaciones:

$$T_{alta} \approx 0.7(RA + RB)C \quad (1)$$

$$T_{baja} \approx 0.7RBC \quad (2)$$

Para el periodo en alto se necesita de un tiempo de 200µs como máximo, siendo este el valor de tiempo que nos marca la teoría que se puede inducir en el paciente.

Por otro lado el periodo total se calcula sumando los dos semiperiodos anteriores

$$T = Periodo = T_{baja} + T_{alta} \quad (3)$$

Para con ello obtener la frecuencia de operación de nuestro circuito con esta última ecuación

$$f = \frac{1}{T} \approx \frac{1.44}{(RA+2RB)C} \quad (4)$$

La configuración de oscilador en el 555 se debe al uso de la realimentación positiva en el circuito, dando como resultado una amplificación con ganancia en lazo cerrado mayor que 1, la cual también satisface todas las condiciones de fase (figura 5).

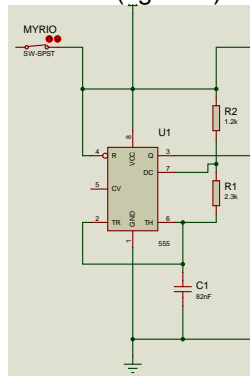


Fig. 5 Timer 555 configuración en modo astable

C. Adquisición de la señal no amplificada

Una vez generado el tren de pulsos por el 555 es necesario visualizar esta señal en el panel frontal introduciéndola en la tarjeta myRIO-1900 por medio de un bloque de entrada digital, para después ser conectado a una función grafica conocida como *Waveform Chart*. Es de esta manera cómo podemos ver las características y el tipo de onda en la señal que nuestro circuito oscilador nos está generando (figura 6). Con esto sabremos que la señal entregada al paciente es la más adecuada para el tratamiento.

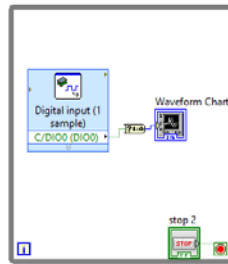


Fig.6 Adquisición de la señal

D. Amplificación de la señal

Para que la señal estuviera dentro de los valores de voltaje en los que se tiene un efecto sobre el músculo, fue necesario amplificar la señal. Para esto se utilizó el siguiente arreglo de transistores conectado a un transformador (figura 7).

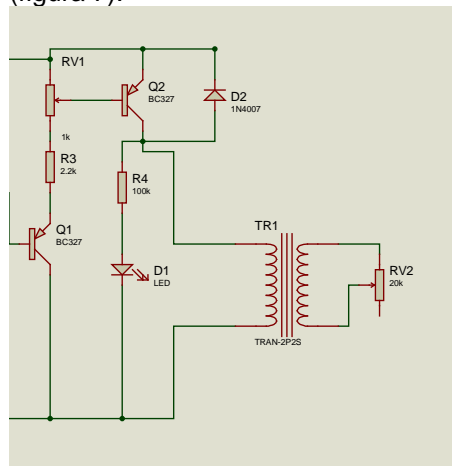


Fig. 7 Circuito de amplificación

El primer transistor esta configurado de manera que al recibir la señal del 555 se satura activando al segundo transistor. El segundo transistor alimenta al transformador, para este proyecto se uso un transformador con relación 14:1 por lo que la señal se amplifico 14 veces.

RESULTADOS

En la figura 8 se muestra el comportamiento del tren de pulsos en el osciloscopio utilizando unas puntas de atenuación de voltaje, esto debido al voltaje entregado por el transformador.

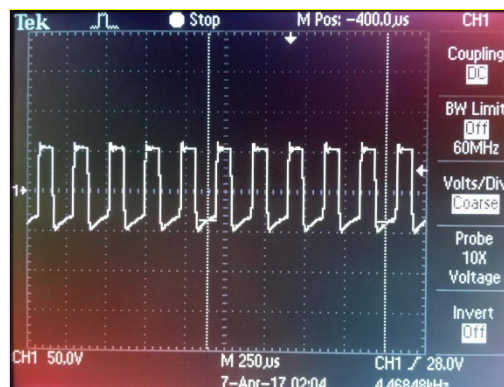


Fig. 8 Visualización del tren de pulsos generado por el 555

El desarrollo del panel frontal con las frecuencias de operación establecidas para el electroestimulador son comparadas con las capturas tomadas en el osciloscopio (figuras 9 y 10).



Fig. 9 Electroestimulador a 20Hz

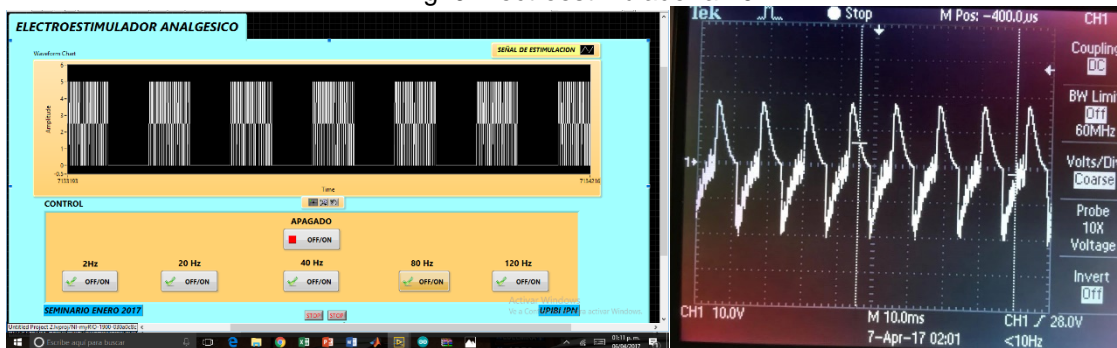


Fig. 10.- Electroestimulador a 80Hz

La manera en la que se conectaron los electrodos fue en la parte anterior del brazo derecho ubicado en regiones nerviomusculares con el debido gel para electrodos (figura 11).

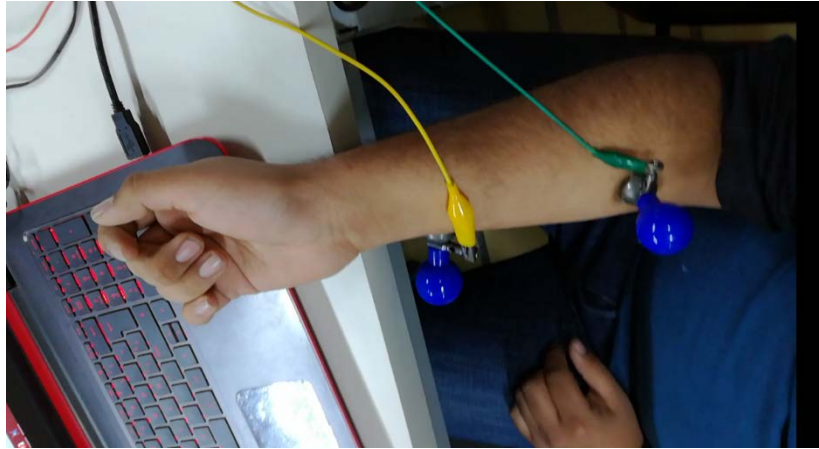


Fig. 11 Terminales de entrada del electroestimulador conectadas a un brazo

CONCLUSIONES

Se desarrolló un electroestimulador para terapia analgésica que por medio de la programación en LabVIEW y la aplicación de la tarjeta NI myRIO-1900 permite operar a diferentes frecuencias al activar un generador de trenes de pulsos lo que permite el tratamiento para aliviar el dolor muscular de acuerdo a las necesidades del paciente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Rodríguez Martín J.M. (2004). Electroterapia en fisioterapia. Buenos Aires. Médica panamericana. pp. 17&19.
2. González Mas R. (1997). Rehabilitación médica. Barcelona, España. Masson, S.A. pp. 53.
3. Maya Martín J. & Albornoz Cabello M. (2010). Estimulación eléctrica transcutánea y neuromuscular. Barcelona, España. Elsevier. pp. 1&8.
4. Boylestad R.L. & Nashelsky L. (2009). Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. México. Pearson Educación. pp. 755&721.
5. National Instruments. (2013).USER GUIDE AND SPECIFICATIONS NI myRIO-1900. Estados Unidos. National Instruments Patents.
6. Lajara J.R., Pelegri J. (2011). LabVIEW entorno gráfico de programación. España: Marcombo.
7. Texas Instrument. (Septiembre 2014). Datasheet NE555 129P. Abril 2017, de Sitio web: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>

EFFECTO DE DIFERENTES EXTRACTOS ÁCIDOS VEGETALES EN LA REMOCIÓN DE HIERRO PRESENTE EN EL CAOLÍN

A.I. Reyes-Aparicio, M. Villanueva-Ibáñez, M.A. Flores-González, M.A. Hernández-Pérez, C.A. Lucho-Constantino, P.N. Olvera-Venegas.

Laboratorio de Nanotecnología, Sistemas Biológicos y Aplicaciones industriales. Universidad Politécnica de Pachuca.
Departamento de Ingeniería en Metalurgia y Materiales. ESIQIE-IPN.
Área de química, UAEH.
patriciaolvera@upp.edu.mx.

RESUMEN

El caolín es un mineral arcilloso blanco, el cual es utilizado en la industria del pap-el, cosmética, farmacéutica, etc. Sin embargo, presenta algunos inconvenientes para su uso, uno de los principales es la presencia de óxidos de hierro, que le proporcionan una coloración beige. Su eliminación ha sido tratada principalmente por métodos químicos que pueden dañar la matriz arcillosa y el medio ambiente. En este sentido, los extractos de plantas contienen compuestos capaces de llevar a cabo las reacciones necesarias para su purificación. En el presente trabajo se realizó la remoción de hierro presente en el caolín mediante los extractos de *Citrus limon*, *Citrus latifolia*, *Opuntia joconostle* y *Allium sativum*. El mineral arcilloso fue tamizado para obtener un tamaño $\leq 38\mu\text{m}$ y llevar a cabo la disolución de hierro, ajustando el pH a 3, 90°C y 1.25% ó 2.25% de caolín, parámetros que fueron obtenidos por experimentación previa. Se realizó una marcha fitoquímica de los extractos para conocer sus metabolitos, presentándose en común los ácidos orgánicos, carbohidratos y azúcares reductores. El licor obtenido fue caracterizado mediante espectroscopia de absorción atómica, obteniendo para *Citrus limón*, *Citrus latifolia* y *Opuntia joconostle* porcentajes de remoción de hierro alrededor de 80%; para *Allium sativum* su remoción no fue significativa, así mismo el mineral arcilloso fue caracterizado antes y después de la disolución de hierro por FT-IR donde se observó que las bandas características de las moléculas de la caolinita están más pronunciadas luego de la disolución. MEB permitió observar una morfología pseudohexagonal del caolín y EDS conocer sus componentes.

INTRODUCCIÓN

En México existe una gran diversidad de minerales, por lo que es uno de los países más importantes a escala mundial en cuanto a riqueza mineral (Mexicano, 2014). Entre los minerales no metálicos más abundantes se encuentra el caolín (Olvera, 2014), que es un silicato de aluminio hidratado de color blanco formado a partir de la descomposición de rocas feldespáticas. El término caolín hace referencia a arcillas en las que predomina el mineral caolinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Economía, 2012).

Los principales estados productores de caolín en México son: Guanajuato, Veracruz e Hidalgo, sin embargo los yacimientos presentan algunos inconvenientes para su uso tales como: tamaños heterogéneos e impurezas (óxidos de hierro, cuarzo, sílice, feldespato, esmectita, anatasa, rutilo, trazas de turmalino, zirconio y otros metales pesados) (Economía, 2012) (Murray, 2007). Uno de los problemas principales que impide su aprovechamiento es la presencia de hierro puesto que la blancura del mineral arcilloso se ve afectada (Ibáñez, *et al.*, 1990). Por ello se han empleado diferentes métodos de purificación, entre los más destacados se encuentran la lixiviación química que consiste en la remoción de hierro mediante ácidos y la flotación en atrapar impurezas con

burbujas de aire generadas por un surfactante hidrófobo a la solución del caolín (Flores, *et al.*, 2012). Sin embargo, los métodos convencionales resultan dañinos para el medio ambiente debido a que generan compuestos potencialmente tóxicos (Machado, *et al.*, 2011). Por otro lado, se ha reportado que en los extractos vegetales existen compuestos tales como azúcares reductores, ácidos orgánicos, entre otros, capaces de llevar a cabo reacciones de complejación y/o reducción, las cuales son útiles en el blanqueo del caolín (Ledezma, *et al.*, 2014). Por ello en el presente trabajo se plantea evaluar el efecto de diferentes extractos ácidos vegetales a fin de obtener la mayor remoción de hierro presente en el caolín (Wei, *et al.*, 2016).

PARTE EXPERIMENTAL

Preparación del mineral arcilloso y extractos. El mineral arcilloso proveniente de la mina La Guadalupe, ejido el Carbonero de Huayacocotla, Veracruz, México, se tamizó en húmedo con las mallas 200 y 400 de la serie Tyler. Por otra parte, la preparación de los extractos se realizó de la siguiente manera; para *Opuntia joconostle* se trituró la cáscara, una vez obtenido el jugo se centrifugó a 5000 rpm por 15 minutos y se filtró por membrana de 0.45 μ m; para el extracto de *Citrus limon* y *Citrus latifolia* se cortaron a la mitad los frutos y se exprimieron, posteriormente el jugo fue filtrado al vacío con papel filtro grueso y papel whatman No. 5; para el extracto de *Allium sativum* se cortó en pequeños trozos, y se colocó en una relación 2:1 agua desionizada/ajo, se llevó a ebullición por 10 minutos y se filtró con papel grueso.

Disolución de hierro. En la disolución de hierro se montó el experimento como se muestra en la Figura 1, en el matraz bola se colocó el extracto, se estabilizó la temperatura a 90°C y se adicionó el mineral arcilloso al 1.25% en *Allium sativum* y *Opuntia joconostle* y para *Citrus latifolia* y *Citrus limon* al 2.5% peso por volumen, se mantuvo una agitación constante, se tomaron muestras a 30 y a 60 minutos, posteriormente cada hora por un periodo de 360 minutos.



Figura 1. Dispositivo experimental para la disolución de hierro del caolín mediante extractos ácidos vegetales.

Análisis complementarios. Se realizó un análisis fitoquímico a los extractos y al licor de lixiviación, donde se analizaron azúcares reductores por la prueba de Fehling, carbohidratos por Molish, flavonoides con la prueba de espuma, taninos con la prueba de FeCl₃, lactonas con la prueba de lactonas y ácidos orgánicos con la prueba de azul de timol; así mismo el licor fue analizado por espectrofotometría de absorción atómica de flama (EAA), el caolín obtenido después de la

disolución de hierro se analizó por espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR), por microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectroscopia de energías dispersivas (EDS).

RESULTADOS

El proceso de tamizado permitió clasificar por tamaños el mineral arcilloso dando como resultado un tamaño de partícula homogéneo. Del tamizado en húmedo con la malla 200, el 79.2% del caolín correspondió a la fracción $\leq 75\mu\text{m}$, equivalente a 379.47 g del caolín de partida, esta fracción fue posteriormente tamizada por la malla 400 en donde se obtuvieron 370.64 g de caolín con un tamaño $\leq 38\mu\text{m}$ que corresponde al 97.60%; la fracción de tamaño $\leq 38\mu\text{m}$ fue empleada para los experimentos de disolución.

Por otra parte, los análisis fitoquímicos realizados a los extractos y a los licores obtenidos del proceso de disolución, se pueden observar en la Tabla 1, los componentes que presentan en común todos los extractos fueron azúcares reductores, carbohidratos, flavonoides y ácidos orgánicos, también cabe resaltar que en el extracto de *Allium sativum* los azúcares reductores y los taninos ya no se presentan en el licor y para el caso de *Opuntia joconostle* las saponinas ya no se encuentran presentes, se consideran estos biocompuestos parte importante en el proceso de disolución del hierro.

Tabla 1. Resultados análisis fitoquímico de los extractos ácidos vegetales y licores de disolución.

Compuesto/ Extracto	Control				Licor			
	<i>Allium sativum</i>	<i>Opuntia joconostle</i>	<i>Citrus latifolia</i>	<i>Citrus limon</i>	<i>Allium sativum</i>	<i>Opuntia joconostle</i>	<i>Citrus latifolia</i>	<i>Citrus limon</i>
Azúcares reductores	+	+	+	+	-	+	+	+
Carbohidratos	+	+	+	+	+	+	+	+
Flavonoides	+	+	+	+	+	+	+	+
Saponinas	+	+	-	+	+	-	-	+
Taninos	+	-	+	+	-	-	+	+
Lactonas	-	+	+	+	-	+	+	+
Ácidos carboxílicos	+	+	+	+	+	+	+	+

En la figura 1 se observan el porcentaje de remoción de hierro al cabo de 360 minutos para cada extracto evaluado, obteniendo un 62.18% con *Allium sativum*, 77.31% con *Opuntia joconostle*, 82.62% con *Citrus latifolia* y una mayor remoción del 92.86% con el extracto de *Citrus limon*. Esto es atribuido al contenido de ácido cítrico en los extractos puesto que juega un papel importante en el proceso de disolución de hierro. El pH de inicio para *Citrus limon* fue menor; se sabe que a mayor acidez, mayor cantidad de ácido cítrico, éste representa de un 70 a un 90% de la acidez del fruto cítrico (García, et al., 2003). Cabe mencionar que los ácidos orgánicos son capaces de reducir y/o complejar iones metálicos, tales como el hierro y llevar a cabo su remoción en el caolín (Olanipekun, 1999).

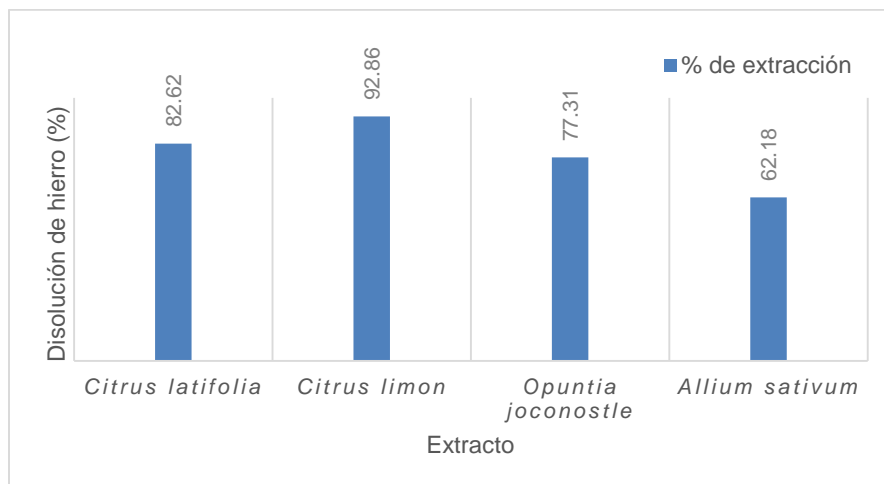


Figura 1. Disolución de hierro del caolín mediante los extractos *Citrus latifolia*, *Citrus limon*, *Opuntia joconostle* y *Allium sativum*.

Posteriormente se analizaron las muestras del mineral arcilloso por FT-IR, donde se muestra que las bandas correspondientes al mineral caolinita se observan más prolongadas a 3695 y 3620 cm^{-1} , de igual manera se identificaron bandas a 917 cm^{-1} atribuida a OH unido a 2Al^{3+} ; en 787 cm^{-1} al OH unido a $\text{Al}^{3+}, \text{Mg}^{2+}$; 690 cm^{-1} al cristal Si-O; 546 cm^{-1} al estiramiento de Fe-O, Fe_2O_3 Si-O-Al; en las muestras de caolín lixiviadas se encontraron también las bandas características de la caolinita además de otras, para *Citrus latifolia* a 2931 y 2853 cm^{-1} que corresponden a una extensión C-H; en 1666 cm^{-1} a grupos carbonilo; para *Citrus limon* a 2925 y 2846 cm^{-1} característica de la extensión C-H; 1648 cm^{-1} a una flexión de agua H-O-H; 541 cm^{-1} al estiramiento de Fe-O, Fe_2O_3 Si-O-Al; 470 cm^{-1} al doblamiento Si-O-Si; para *Opuntia joconostle* a 2854 cm^{-1} se debe a la extensión C-H; 541 cm^{-1} al estiramiento de Fe-O, Fe_2O_3 Si-O-Al; 471 cm^{-1} al doblamiento Si-O-Si; para *Allium sativum* a 2923 y 2864 cm^{-1} correspondiente a la extensión C-H; 1720 cm^{-1} al estiramiento de carbonilo; 1274 cm^{-1} a estiramientos simétrico y asimétrico de los enlaces C-CO-O-CO-C; 1118 y 1100 cm^{-1} a la torsión del carbonilo; 1036 y 1013 cm^{-1} al estiramiento de Si-O; 915 cm^{-1} a OH, unido a 2Al^{3+} ; 800 cm^{-1} a OH, unido a $\text{Al}^{3+}, \text{Mg}^{2+}$; 693 cm^{-1} al Cristal Si-O; 542 cm^{-1} al estiramiento de Fe-O, Fe_2O_3 Si-O-Al.

*

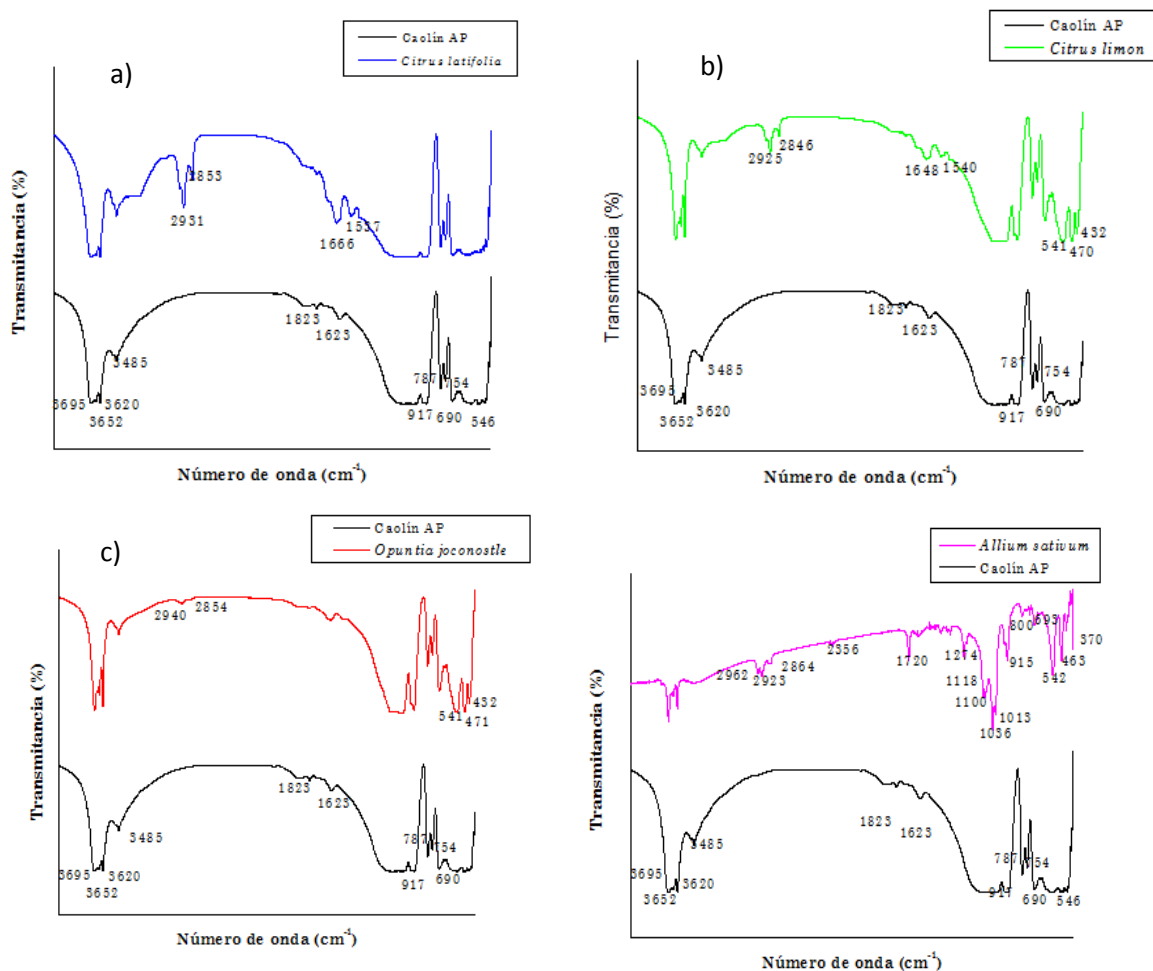


Figura 2. Análisis FT-IR del caolín lixiviado con a) *Citrus latifolia*, b) *Citrus limon*, c) *Opuntia xocconostle* y d) *Allium sativum*.

Para observar la morfología de las muestras del caolín de partida y después de la disolución de hierro, se realizó una microscopia electrónica de barrido a cada muestra, en la figura 3 se puede observar la forma pseudo-hexagonal característica de la caolinita.

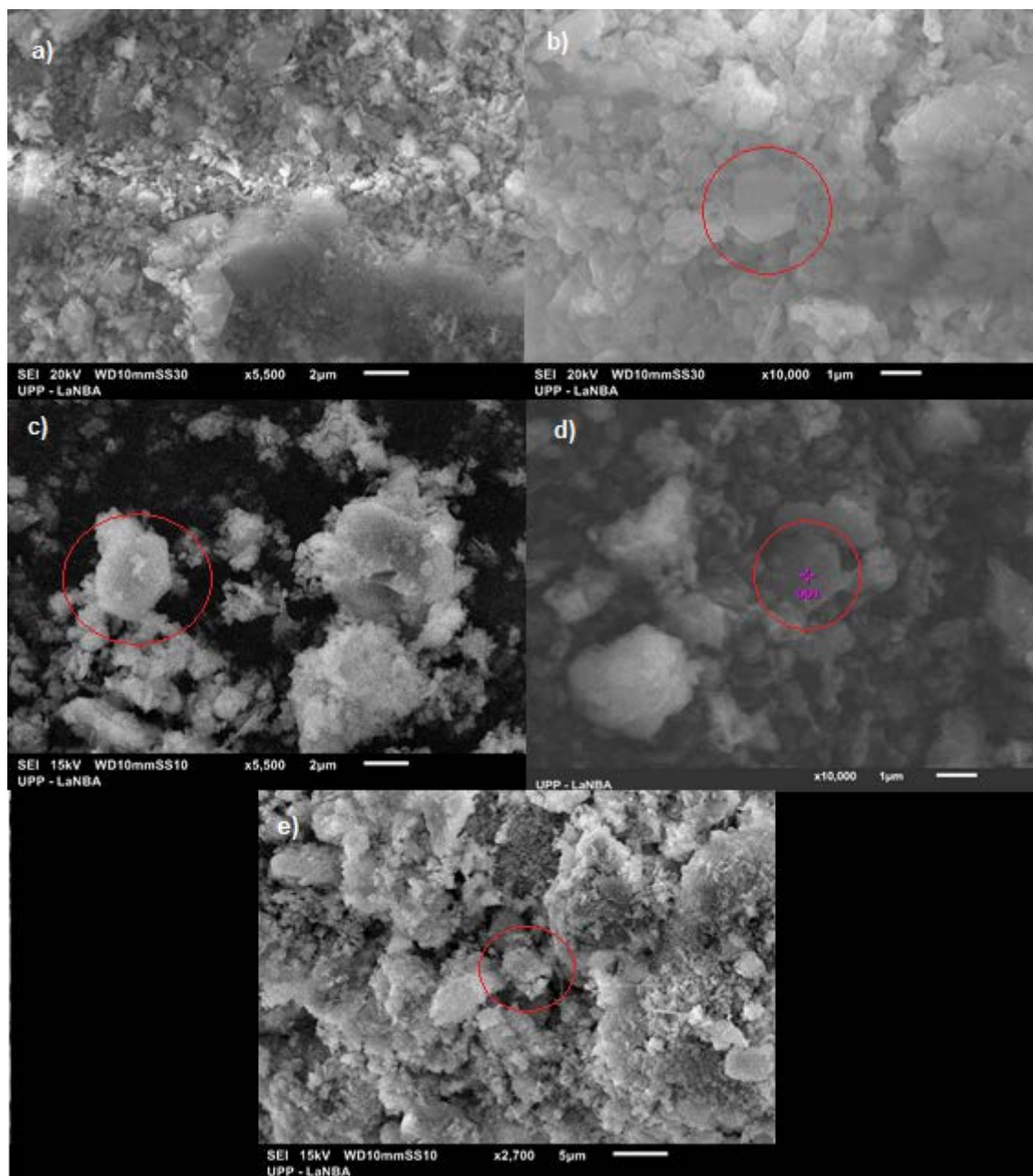


Figura 3. Análisis MEB de a) Caolín de partida, caolín lixiviado con los extractos de b) *Citrus latifolia*, c) *Citrus limon*, d) *Opuntia joconostle* y e) *Allium sativum*.

Asimismo, se realizó un EDS para conocer sus componentes elementales, donde también se puede observar que el porcentaje en masa del hierro disminuye en las muestras del caolín después de la lixiviación con respecto al mineral arcilloso de partida (tabla 2), sin embargo, EDS es un análisis semicuantitativo y no permite identificar con claridad los extractos con mejor remoción de hierro.

Tabla 2. Análisis EDS del caolín antes y después del proceso de disolución de hierro.

Elemento	Caolín de partida (% masa)	Caolín lixiviado con:			
		<i>Citrus latifolia</i> (% masa)	<i>Citrus limon</i> (% masa)	<i>Opuntia joconostle</i> (% masa)	<i>Allium sativum</i> (% masa)
Na	0.07	0.05	0.08	Nd	0.07
Mg	0.12	Nd	0.05	Nd	Nd
Al	32.42	32.13	41.72	35.34	37.49
Si	61.99	64.98	57.13	64.14	60.85
S	0.20	1.20	0.15	0.12	0.37
K	0.10	0.66	0.19	Nd	0.05
Ca	0.03	0.03	0.11	Nd	Nd
Ti	3.74	0.82	0.20	0.28	0.95
Fe	1.34	0.11	0.37	0.13	0.22

CONCLUSIONES

Los extractos ácidos vegetales tienen un gran efecto en la remoción de hierro del caolín, presentando una disminución con respecto al caolín de partida, obteniendo mayor remoción en las muestras tratadas con los extractos de *Citrus limón* (92.86%) y *Citrus latifolia* (82.62%); sin embargo, con *Citrus limon* se logró una mayor remoción lo cual se atribuye principalmente al pH del extracto. Por otra parte, con *Opuntia joconostle* se obtuvo un porcentaje de remoción del 77.31% y con *Allium sativum* del 62.18% el cual se consideró un valor no significativo puesto que a vista macroscópica no se observó una coloración blanca debido a la baja disolución de hierro. Este trabajo da una alternativa ecoamigable para la disolución de hierro del caolín mediante extractos ácidos vegetales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Economía, S. d. (2012). Perfil del mercado del caolín. Obtenido de http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/mineria_estadisticas_300513/estadisticas_perfiles_caolin_0513.pdf.
2. Flores, J. C., Reyes, V. E., Legorreta, F., Hernández, L. E., & Veloz, M. A. (2012). Purificación de arcillas de caolín mediante técnicas electroquímicas. En *Desarrollos recientes en metalurgia, materiales y medio ambiente*. (págs. 277-278). CINVESTAV.
3. García, Á., del Río, J. A., Porras, I., Fuster, M., & Ortuño, A. (2003). *El limón y sus componentes bioactivos*. Murcia, España: Región de Murcia.

4. Ibáñez, A., González, J., Sandoval, P., & País, J. (1990). Tratamiento del caolín y su utilidad en la fabricación del papel. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 3(29), 3-12.
5. Ledezma, A., Romero, J., Hernández, M., Moggio, I., Arias, E., & Padron, G. (2014). Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (*Opuntia sp.*) y su electrohilado polimérico. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales.*, 27(4), 133-140.
6. Machado, A. T., Valenzuela, F. R., de Souza, C. A. C., & de Andrade Lima, L. R. P. (2011). Structural ceramics made with clay and steel dust pollutants. *Applied Clay Science*, 51(4), 503–506. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2011.01.004>.
7. Mexicano, S. G. (2014). Obtenido de <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/yacimientos-minerales/yacimientosmexico>
8. Murray, H. H. (2007). *Applied clay mineralogy*. Oxford: Elsevier.
9. Olanipekun, E. (1999). A kinetic study of the leaching of a Nigerian ilmenite ore by hydrochloric acid. *Hydrometallurgy*, 53(1), 1-10.
10. Olvera, P. N. (2014). *Estudio del blanqueo de arcillas caoliníticas por medio de lixiviación*. Pachuca, Hgo.: Tesis doctoral. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
11. Wei, Y., Fang, Z., Zheng, L., Tan, L., & Tsang, E. P. (2016). Green synthesis of Fe nanoparticles using *Citrus maxima* peels aqueous extracts. *Materials Letters*, 185(September), 384–386. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.09.029>

FORMULACIÓN DE ADHESIVOS “VERDES” SUSTITUYENDO FENOL POR LIGNINA

López Gómez Adelaida. López Albarrán Pablo. Munro Rojas Abril

Maestría en Ciencias y Tecnología de la madera. FITECMA-UMSNH.

Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera UMSNH.

RESUMEN

La alternativa de sustituir fenol por lignina en las resinas fenol-formaldehído se considera viable desde el punto de vista económico y ambiental, debido a que el precio del fenol depende de las fluctuaciones del precio del petróleo y es considerado un solvente que afecta la calidad del medio ambiente. La lignina es un recurso renovable y tiene una estructura química semejante al fenol, es el segundo polímero natural más abundante después de la celulosa, tiene la función de unir las fibras de celulosa en las plantas superiores, además de ayudar al transporte de agua y nutrientes. Industrialmente se considera un residuo de la industria papelera. La lignina presente en el licor negro del pulpeo kraft puede ser separada por precipitación (Abarca, et-al 2003), mediante la reducción del pH. Otros autores han conseguido sustituir lignina en lugar del fenol en proporciones máximas del 45%, utilizando ligninas grado reactivo. Se consiguió exitosamente sustituir con lignina en fenol en porcentajes superiores a los reportados en otros trabajos.

En este trabajo se obtuvo lignina mediante cuatro técnicas de precipitación, partiendo de licor negro industrial, variando el pH; utilizando ácido sulfúrico en distintas concentraciones y ácido acético glacial al 20% v/v. Para las formulaciones adhesivas se utilizaron dos catalizadores, uno ácido (HCl) y otro básico (NaOH). En las formulaciones con catalizador básico se logró una sustitución máxima del 60% de fenol por lignina. En las formulaciones con catalizador ácido se logró una sustitución máxima de hasta el 70% de lignina en lugar de fenol.

INTRODUCCIÓN

La lignina estructuralmente se define como un polímero aromático, amorfo, altamente complejo. Su red tridimensional compleja sirve como una matriz continua que confiere soporte estructural, impermeabilidad y resistencia contra el ataque de microorganismos y tensión oxidativa (Pérez et al, 2002; Kubo y Kadla, 2005). Con una gran variedad de grupos funcionales que proporcionan centros activos para las interacciones químicas y biológicas. (Vásquez G ,et al 1994).

La producción de lignina en el mundo llega a unos 50 millones de toneladas de sólido por año procedente de los diferentes procesos de pulpeo (Gosselink et al., 2004b). Esta producción no tiene en cuenta ligninas derivadas de otros procesos de aprovechamiento de la biomasa. Dentro de las ligninas comercializadas señaladas anteriormente, el lignosulfonato se encuentra en grandes cantidades a nivel comercial (hasta 1.000.000 de toneladas de sólido por año), y la kraft está disponible comercialmente en cantidades moderadas de hasta 100.000 toneladas de sólido al año (Gosselink et al., 2004c).

De hecho, la selección de la lignina para su uso en materiales, especialmente en adhesivos, no depende únicamente de sus características estructurales, sino de otros factores relacionados con

su disponibilidad, su composición química, y del proceso de modificación que les debe aplicar previo a su utilización en caso de prever aumentar su reactividad inicial.

PARTE EXPERIMENTAL
OBTENCION DE LIGNINA KRAFT

Tabla 1.- Descripción de las cuatro técnicas empleadas para la obtención de lignina Kraft.

TÉCNICA	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO
Caracterización de fracciones de lignina extraídas del licor negro con solventes orgánicos.(González .A, 2007) Técnica A	100 ml de Licor Negro	1.- Preparación de muestras
	100 ml de NaOH 0.1 M	2.- Baño María
	200 ml de NaOH 0.5 m/v	3.- Precipitación pH 3
	2630 ml de CH ₃ COOH	4.- Centrifugación
	10000 ml de agua destilada	5.- Lavado
		6.- Estufado 50 a 60 °C
Caracterización de fracciones de lignina extraídas del licor negro con solventes orgánicos. .(González .A, 2007) Técnica B	100 ml de Licor Negro	1.- Preparación de muestras
	730 ml de H ₂ SO ₄ 1 N	2.- Baño María
	300 ML DE H ₂ SO ₄ 0.1 N	3.- Precipitación pH 2
	10000 ml de Agua destilada	4.- Centrifugación
		5.- Lavado.
		6.- Estufado 50 °C
Caracterización de Tectona grandis de plantación y evaluación del uso potencial de la pulpa y la lignina obtenidas(Abarca R. 2003) Técnica C	100 ml de Licor Negro.	1.- Preparación de muestras.
	17.8 ml de H ₂ SO ₄ Concentrado.	2.- Precipitación del licor pH
		3.- Refrigeración.
	5000 ml de agua destilada	4.- Lavado.
		5.- Estufado 50 °C
Producción de carbón activado del licor negro y su aplicación como adsorbente(Mancera A, 2008) Técnica D	100 ml de Licor Negro.	1.- Preparación de muestras.
	17.2 ml de H ₂ SO ₄ Concentrado.	2.- Precipitación.
		3.- Lavado.
	5000 ml de agua destilada	

4.- Estufado 105 °C

FORMULACIONES ADHESIVAS EN MEDIO ÁCIDO Y BÁSICO

Tabla 2.- Descripción de las Formulaciones adhesivas en medio ácido y básico

FORMULACIÓN	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO
ÁCIDO Humbert (1969)	1.-Formaldehido 2.- Fenol 3.- Lignina Kraft 4.- CH ₃ COOH 5.-HCL concentrado	Se agregaron 2.5 g de formaldehído y 2 g de fenol, respectivamente a la solución fenol- formaldehido se le agregó 5 ml de CH ₃ COOH y al final se le agregó 4 ml de HCL, se dejó reposar durante 10 minutos. Se sustituyó el fenol por la lignina con los siguientes porcentajes (80, 70, 60, 50, 40,30) de fenol. Este procedimiento se realizó con las cuatro ligninas kraft.
BÁSICO Çetin y Özme (2002)	1.- formaldehido al 22% 2.- Fenol 3.- NaOH 10 N	Se pesaron 2 g de fenol y se disolvieron en 5.4 ml de formaldehído y se agitó por 10 minutos .Se le agregó 3.2 ml de NaOH hasta alcanzar un pH de 11 y se agitó por 10 minuto se calentó la mezcla a 80 °C permitiendo la reacción por 2 horas. Se sustituyó el fenol por la lignina con los siguientes porcentajes (80, 70, 60, 50, 40, 30) de fenol.

**RESULTADOS
OBTENCION DE LIGNINA KRAFT**

Tabla 3.- Comparación de los gramos de lignina obtenida / 100 mL de licor negro para las diferentes técnicas.

TÉCNICA	ml DE LICOR NEGRO KRAFT	g DE LIGNINA
A	100	22.6298
B	100	31.6543
C	100	31.2942
D	100	29.198

FORMULACIONES ADHESIVAS

Tabla 4.- Porcentaje de sustitución de fenol por lignina en las formulaciones adhesivas en medio ácido.

	MEDIO ÁCIDO					
%FENOL-LIGNINA	80-20	70-30	60-40	50-50	40-60	30-70
Lignina Kraft A						
Lignina Kraft B						
Lignina Kraft C						
Lignina Kraft D						

Polvo	
Polímero	

Tabla 5.- Porcentaje de sustitución de fenol por lignina en las formulaciones adhesivas en medio básico.

	MEDIO BÁSICO				
%FENOL-LIGNINA	80-20	70-30	60-40	50-50	40-60
Lignina Kraft A					
Lignina Kraft B					
Lignina Kraft C					
Lignina Kraft D					

Polímero	
----------	--

CONCLUSIONES

De manera general para las ligninas Kraft obtenida en cuatro técnicas, se logró sustituir el 60% de lignina y 40% de fenol en formulaciones adhesivas en medio básico, en cuanto las formulaciones

realizadas en medio ácido para la técnica A, B y D se pudo sustituir el fenol hasta un 50% y para técnica C fue hasta un 70% de sustitución del fenol por lignina. Lo anterior abre posibilidades para la utilización de adhesivos a base de lignina, a nivel industrial.

BIBLIOGRAFIA

1. - Abarca Ricardo y Blanco María Lorena. (2003) Caracterización de *Tectona grandis* de plantación y evaluación del uso potencial de la pulpa y la lignina obtenidas. Proyecto de graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química, San José, CR, Universidad de Costa Rica.177p.2003.
- 2.- Çetin S. y Özmen N (2002). Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production. I Organosolv Lignin modified resins. Int. Jour. Of Adhesions & Adhesives 22 (2002) 477-480
- 3.- El Mansouri Nour-Eddine (2006). Despolimerización de lignina para su aprovechamiento en adhesivos para producir tableros de partículas. Para optar al Título de Doctor en Ingeniería Química y de Procesos. Tarragona
- 4.- González Aurora, Herrera Juan y Rodríguez Antonio (2007). Caracterización de fracciones de lignina extraídas del licor negro con solventes orgánicos. Pág. 51-64. Rev.
- 5.-Gosselink A, Abächerli A, Semke H, Malherbe R, Käuper P, Nadif A, Van Dam G. (2004). Analytical protocols of characterization of sulphurfree lignin. Ind. Crops Prod. 19, 271-281.
- 6.- Kubo J, Kadla J.F.(2005). Hidrogen bonding in lignin: A fourier transform infrared model compound study. Biomacromolecules.6:2815-2821
- 7.- Mancera Andrea, Velásquez Jorge, Quintana German y Betancur Mariluz. (2008). Producción de carbón activado del licor negro y su aplicación como adsorbente. Revista Investigaciones Aplicadas. Publicada en línea por la Universidad Pontificia Bolivariana.
- 8.- N. Alyea Humbert (1969). Dem 672 Phenol – Formaldehyde plastic .compiled by, Princeton University, volumen 46 number 10 / A755.
- 9.- Perez J,Muñoz Dorado J, de la Rubia T y Martinez J.(2002).Biodegradation and biological treatment of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview int microbiol 5:53-63

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES LUMINISCENTES DE UN NANOCOMPOSITO POLIMÉRICO: EFECTO DE LA MORFOLOGIA DEL $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$

Aristeo Garrido Hernández, Ana Karen Cedillo Avendaño, Wendy Lilian Zavala Toledo, María del Consuelo Márquez Rueda, Antonieta García Murillo, Felipe de Jesús Carrillo Romo.

División de procesos industriales, área nanotecnología, Universidad Tecnológica de Tecámac, UTTEC, Carretera Federal México, Pachuca Km 37.5, Col. Sierra Hermosa, Tecámac, Estado de México, CP 55740, México.

CIITEC, Instituto Politécnico Nacional, Cerrada de Cecati S/N, Col. Santa Catarina, Azcapotzalco, Ciudad de México, CP 02250, México.

RESUMEN

El óxido de aluminio o alúmina, es un cerámico con alta estabilidad química y térmica, presenta durezas de 9 en la escala de Mohs, además cuando esta dopado con el europio muestra propiedades luminiscentes interesantes.

En este trabajo se muestra la síntesis de nanopartículas de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ por el método hidrotermal. El método hidrotermal es un método de síntesis versátil que permite el control de tamaño de morfología mediante la modificación de parámetros de síntesis.

Las caracterizaciones de los polvos se realizaron mediante las técnicas de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), difracción de rayos X (DRX), microscopia electrónica de barrido (MEB) y espectroscopia de fluorescencia. Los resultados de DRX y FT-IR muestran una correcta cristalización de los polvos, mientras que las micrografías muestran un cambio de morfología cuando se utilizó dodecil sulfato de sodio (SDS) como surfactante en la síntesis. Se presenta un estudio para mejorar la dispersión de los nanopolvos de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ en el polímero.

INTRODUCCIÓN

La nanotecnología es usada extensivamente para definir las ciencias y técnicas dedicadas al estudio, diseño, creación, síntesis y manipulación a escala nanométrica de los materiales, es una disciplina que inicio en 1959, a partir de las ideas de Richard Feynman. [1]

Debido al gran impacto de la nanotecnología y las enormes aplicaciones que de ella se derivan, proviene la creación de los ahora llamados materiales avanzados con aplicación en materiales compuestos: metálicos, poliméricos, y cerámicos. Los materiales compuestos se combinan entre sí de forma heterogénea para dar como resultado un material con nuevas propiedades. [2] El uso de nanotecnología puede dar lugar a nuevas funciones, ya que modificando la estructura molecular de los materiales es posible modificar sus propiedades. [3]

Recientes avances de la nanotecnología brindan una gran alternativa para la creación de nanocompuestos con distintas aplicaciones. [4] Los nanocompuestos son materiales formados por

dos o más fases donde al menos una de estas fases tienen una de sus tres dimensiones en escala nanométrica. [5]

Uno de estos materiales es el óxido de aluminio o alúmina que como se había mencionado anteriormente cuenta con una dureza de 9 en la escala de Mohs, tiene una resistencia a la compresión de 2700 MPa, una flexión de 380 MPa, y es resistente a la corrosión y al desgaste. El óxido de aluminio presenta diversas fases siendo todas ellas metaestables a excepción de su fase de alta temperatura α - Al_2O_3 (corindón), además de tener una baja densidad, tiene excelentes propiedades como aislador eléctrico y es muy resistente al ataque de los ácidos y de las bases. [6]

La alúmina se puede obtener por diverso métodos de síntesis; reacción en estado sólido, sol-gel, precipitación, hidrotermal, etc. En esta investigación se utilizara la técnica hidrotermal, la cual Byrappa y Yoshimura definen al método hidrotermal como cualquier reacción química homogénea o heterogénea en presencia de un disolvente (acuosa o no acuosa) por encima de la temperatura ambiente en un sistema cerrado. [7] Es una técnica de síntesis, que permite un mejor control de los parámetros de reacción tales como concentración, tiempo de reacción, temperatura de reacción, uso de solventes, surfactante, pH etc. y por lo tanto nos ofrece poder controlar, el tamaño de partículas y estructura cristalina de las nanopartículas.

La alúmina adquiere propiedades luminiscentes cuando se dopa con tierras raras como el europio, en literatura reportan que este cerámico se excita en la región ultravioleta y su emisión está en el espectro visible (región rojo-naranja). [8] [9]

Es por ello que en esta investigación se presenta el estudio de un nanocomposito que tiene como refuerzo a los nanoalambres de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ y como matriz a un polímero (transparente de poliuretano) llevándolo a cabo, con una adecuada dispersión de la alúmina, mediante la técnica de sonicación. [10] [11]

PARTE EXPERIMENTAL

Las condiciones propuestas en la experimentación se determinaron tomando como referencia investigaciones en las que se obtuvieron nanoalambres de γ - Al_2O_3 por la ruta bohemita mediante el método hidrotermal. [12]

En la primera fase, para la síntesis de Al_2O_3 dopados con Eu^{3+} , se utilizó cantidades estequiometrias de cloruro de aluminio (15mL. de AlCl_3 a 0.5M), como precursor; y óxido de europio (Eu_2O_3) como dopante al 7%. El hidróxido de sodio (15mL. de NaOH a 2M) se usó para ajustar pH; como tensioactivo se utilizó Sulfato dodecil de Sodio. (SDS) y Bromuro de hexadeciltrimetilamonio (CTAB).

Posteriormente se pesó el AlCl_3 y se disuelve en 15 ml de agua destilada en un vaso de precipitado, posterior a ello se agrega el ion dopante Eu^{3+} , la solución se lleva a una agitación constante de 1100 rpm, se agrega la solución de hidróxido al cloruro de aluminio por goteo con ayuda del soporte universal, hasta obtener una solución con un pH de 9 a 11, esto promueve a la formación de un oxihidroxido de aluminio, posteriormente se agregan los gramos necesarios de sodio dodecil sulfato (SDS). Una vez ajustado el pH de 9 a 11, la solución se transfiere a una autoclave con una capacidad de 45ml, la autoclave se introduce en una estufa de calentamiento a 200°C por 24 horas y es aquí en donde el método hidrotermal tiene lugar ya que presentara las condiciones de presión y temperatura del sistema. Finalizado el tiempo de reacción, se lavaron los polvos con etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) en una centrifuga a 4000 rpm por 30 minutos, para la separación de la fase solido-liquido.

Posteriormente los polvos son tratados térmicamente en un proceso de calcinado de 700 °C por un tiempo de 4 horas, esto para favorecer la cristalización y disminución de defectos con el fin de aumentar la intensidad luminiscente, el tratamiento térmico inducirá a la formación de la alúmina.

Los polvos se analizaron mediante DRX, FT-IR, MEB y espectroscopia de fluorescencia. Una vez que se obtuvieron los polvos caracterizados se dispersan en el polímero, sin embargo la dispersión no fue estable por lo cual se realizaron experimentos para modificar la carga superficial de la alúmina con el propósito de mantener una mejor dispersión.

Después de este proceso, se dispersó ciertas cantidades de alúmina en una el transparente de poliuretano, para la dispersión se utilizó el baño ultrasónico a una temperatura de 35°C durante 15 minutos. Finalmente para polimerizar el polímero se mezcló con las cantidades adecuadas de catalizador.

RESULTADOS

Espectroscopia infrarroja (FT-IR) de alúmina.

La figura 1 muestra los espectros infrarrojos de la $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$, de acuerdo a la literatura la banda de absorción observada a 3433 cm^{-1} (figura 1.a) se atribuye al estiramiento de grupos OH, los cuales se confirman con la banda localizada a 2976 cm^{-1} además de observarse una disminución de estas bandas en la síntesis 2 (figura 1.b). Esta observación se confirma con el tratamiento térmico de 700°C por 4 horas donde hay una reducción evidente de estas bandas. La banda a 1059 cm^{-1} se asigna a δ_s Al-O-H respectivamente. [13] Las bandas de 780 y 734 cm^{-1} representan el modo de vibración de AlO_6 octaedros. Finalmente las bandas a 602 y 524 cm^{-1} se encuentran relacionadas con los enlaces característicos de Al-O correspondientes a la vibración de flexión asimétrica. Estas bandas de absorción son precisamente, simultaneas con el resultado de la literatura. [14] [15]

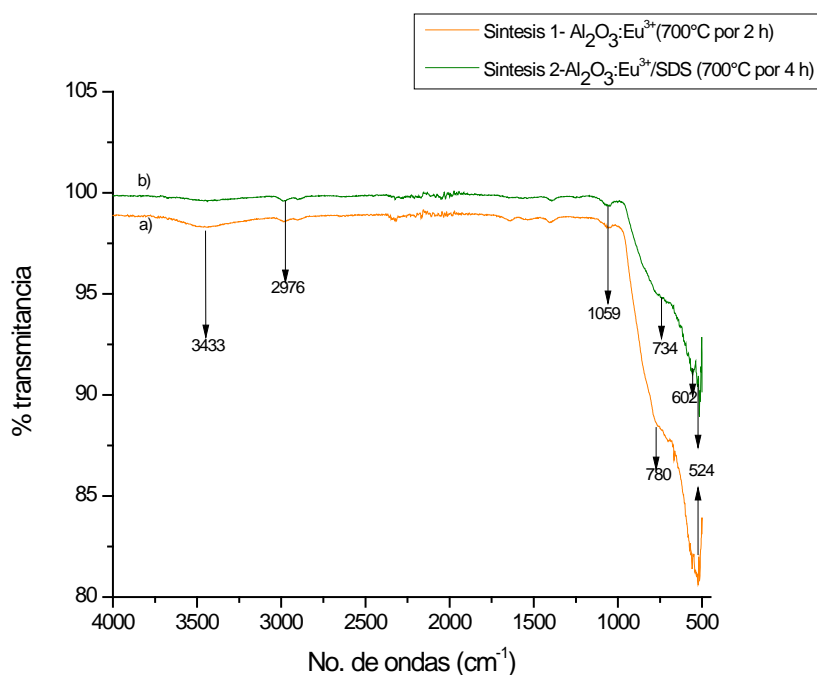


Figura 4. Espectro FTIR de Síntesis Al_2O_3

DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX) DE ALÚMINA.

La Figura 2 muestra los patrones de difracción del $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ sintetizado por la técnica hidrotermal. Las muestras de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ fueron analizadas en el intervalo de 2θ de 10 a 85° . Los polvos de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ cristalizan en la fase cubica, según la carta ICOD-050-0741 ya que se obtienen picos característicos de esta fase en los planos (2 2 0), (4 0 0) y (4 4 0) y que además coinciden con el de las síntesis 1 y 2.

Los patrones de difracción, revelan buena cristalinidad, sin embargo existen picos situados alrededor de 18° , 49° y 57° el cual no están asociados a la fase cubica, por lo cual es una fase intermedia antes de obtener alúmina en fase cubica, este resultado concuerda con lo discutido en la sección del análisis del infrarrojo donde se corroboró la presencia de los enlaces de Al-O.

Los picos del difractograma formados son estrechos y de mayor intensidad lo que es indicativo de un mayor incremento en el tamaño de partícula de la alúmina, señal de un mayor orden de cristalinidad. [13]

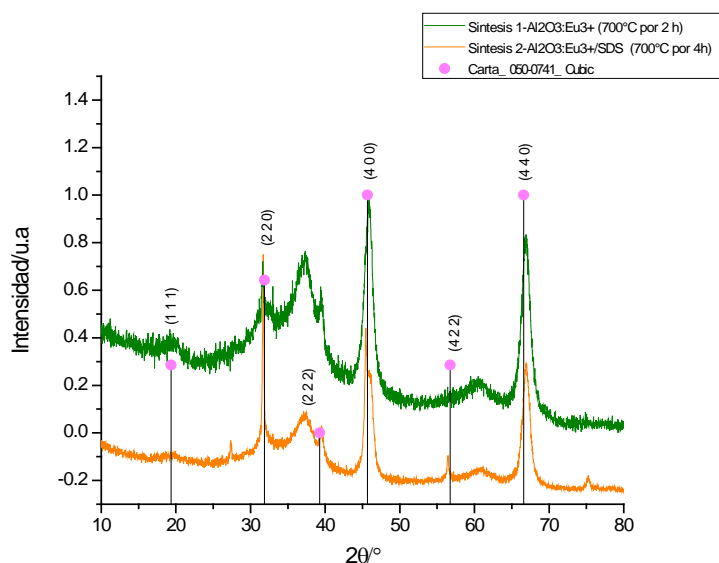


Figura 5. Difractograma DRX de síntesis Al_2O_3

Espectroscopia de fluorescencia.

La espectroscopia de fluorescencia analiza la fluorescencia de una muestra. Implica el uso de un haz de luz, la luz ultravioleta. La intensidad de fotoluminiscencia del $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ preparado por el método hidrotermal es dependiente de la estructura de fase cristalina y los defectos estructurales

propios del sistema. [16] Los espectros de emisión para polvos de óxido de aluminio dopado con un porcentaje de 7 %mol de Europio emite en la región rojo-naranja se muestra en la Figura 3.

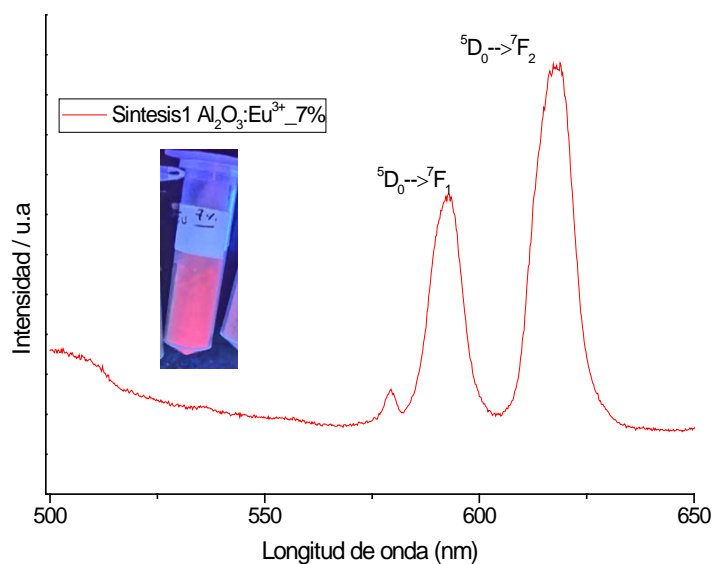


Figura 6. Intensidad de luminiscencia en polvos de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$

En el gráfico se muestran las transiciones ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_1$ y ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$ del Eu^{3+} que aparecen en 592 y 618 nm respectivamente [16], el pico dominante para estos espectros es el asociado con la transición a 592 nm.

Los polvos de alúmina dopados fueron expuestos bajo radiación ultravioleta usando una lámpara comercial, cabe mencionar que la longitud de la lámpara no corresponde a la longitud de onda óptima de absorción es decir con la longitud de onda apropiada la intensidad luminiscentes de los polvos incrementaría.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

La Figura 4 muestra la microscopía de los polvos de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ tratados térmicamente a 700°C por 4 horas, los polvos de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ en figura 4a se sintetizaron sin surfactante la morfología consta de formas de partículas irregulares, algunas de ellas de tamaño nanométrico, las partículas están aglomeradas lo cual indica que es necesario dispersarlas homogéneamente, con la finalidad de aprovechar el área superficial. En la figura 4.b se muestra los polvos de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ con un surfactante catiónico (CTAB), el uso del surfactante añadido en la funcionalización de los polvos de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ provoca un cambio en la morfología de la alúmina, conservando sus propiedades luminiscentes. De acuerdo a la morfología presentada en la Figura 4.b los polvos adoptan una morfología de nanorodillos cuyo diámetros varia de 20-50 nm y la longitud de 500 a 1000 nm. En la Figura 4.c se muestra los polvos sintetizados de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ con un tratamiento térmico de 700°C por 4 horas, una reacción hidrotérmica a 200°C por 24h, un pH de 5.3 y empleando el 8% de surfactante aniónico (SDS), el empleo de este surfactante también ocasiona la formación de nanorodillos con tamaños mayores a los que se obtienen cuando se usa el surfactante CTAB. Además, es posible observar una aglomeración en estos polvos lo que indica que la carga superficial de la nanopartículas cambia.

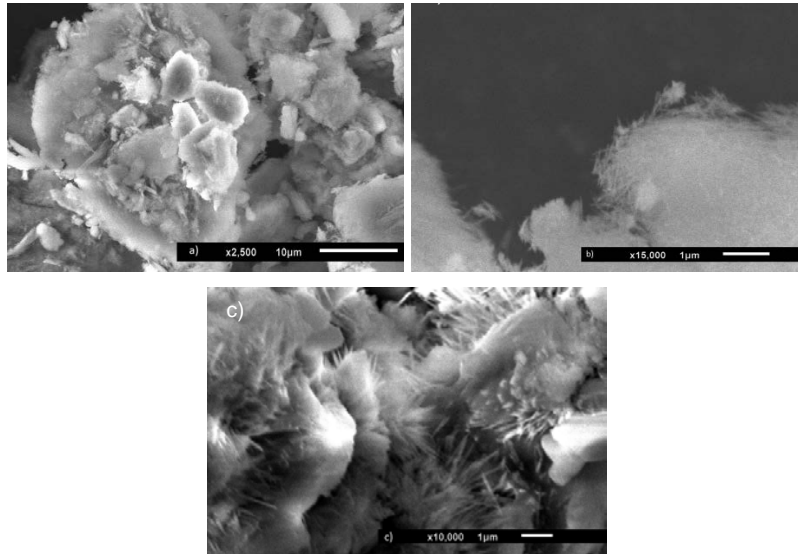


Figura 7. Micrografía de polvos de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ sintetizadas bajo diferentes condiciones a) Sin surfactante b) Surfactante catiónico (CTAB) c) Surfactante aniónico (SDS).

Para garantizar que las nanopartículas cubran la mayor área superficial es necesario una correcta dispersión, es decir que no exista aglomeraciones, cuando las partículas son estables no se sedimentarán rápidamente, esto ayuda en la obtención de recubrimientos homogéneos. Por tal motivo se realizó la funcionalización de las partículas ya que cuando se utilizan sin este tratamiento la dispersión no es estable. Para la funcionalización se utilizaron diversos parámetros y se propusieron diversos porcentajes en peso para la alúmina.

CONCLUSION

Se sintetizaron polvos de $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ con diferentes concentraciones por el método hidrotérmico. Mediante el estudio químico y estructural se optimizaron los parámetros de síntesis para el $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$.

La morfología es de suma importancia, ya que el tamaño de las partículas o forma, puede afectar la estabilidad de la dispersión.

Una vez obtenido el nanocompuesto, el proyecto de investigación tiene la perspectiva de generar pruebas mecánicas necesarias.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. P. O. F. J. Poole, "Introducción a la nanotecnología", México: Reverté, 2007.
2. P. L. Mangonon., "Ciencia de materiales, Selección y diseño"., Mexico: Pearson

Educación, 2001.

3. D. R. F. P. P. W. W. J. Askeland, "The Science and Engineering of Materials"., Estados Unidos de America.: Cenagage Learnig, 2010.
4. V. S. Gálvez, " Materiales para la Defensa," *España: ISDEFE-UPM*, vol. 14., nº 13, 2012.
5. A. Miravete, "Materiales compuestos", vol. 1, reverté, p. 192.
6. R. R. Chacón, "La alumina como material aislante," *Tesis*, pp. 22-23, 2007.
7. Y. M. Byrappa K., "Handbook of hidrothermal technology," *Noyes publications*, 2001.
8. F. E. R. G. H. a. M. X. Nikifor Rakov, "Strong photoluminescence and cathodoluminescence due to f–f transitions.," *Applied physics letters.*, vol. 83, nº 2, pp. 271-274, 2003.
9. N. P. M. T. J. G.-O. y. J. M. G. Hirata, "Luminescence study in Eu-doped aluminum oxide phosphors," *El sevier, Optical Materials*, nº 27, pp. 1311-1315, 2005.
10. T. P. O. C. Y. W. a. H. T. H. Zhanhu Guo, "Surface functionalized alumina nanoparticle filled polymeric.," *Journal of Materials Chemistry*, nº 16, pp. 2800-2808, 2006.
11. V. M. M. Richard D. West, "Rupture of Nanoparticle Agglomerates and Formulation of Al₂O₃-Epoxy Nanocomposites Using Ultrasonic Cavitation Approach: Effects on the Structural and Mechanical Properties.," *Polymer engineering and science.*, pp. 426-430, 2006.
12. Q. YANG, "Synthesis of γ -Al₂O₃ nanowires through a boehmite precursor route," *Bull. Mater. Sci.*, vol. 34, nº 2, pp. 239-244, April 2011.
13. J. M. W. Z. y. X. D. Lian Jiabiao, "Morphology Controllable Synthesis of γ -Alumina," *Crystal Growth y Design.*, vol. 10, p. 2928–2933, 2010.
14. W. L. L. Z. X. B. B. Y. Y. I. a. X. S. Yongli Feng, "One-Step Synthesis of Hierarchical Cantaloupe-like AlOOH Superstructures via a Hydrothermal Route," *Cryst. Growth Des*, vol. 8, nº 4, p. 1426–1429, 2008.
15. B. Pacewska, "Influence of aluminium precursor on physico-chemical properties of aluminium hydroxides and oxides," *Springer Science*, vol. 90, p. 783–793, 2007.
16. A. G. Hernandez., "Synthesis by hydrothermal process of lanthanide orthophosphates for optical applications," *Universite Blaise Pascal*, vol. 821, nº 2564, pp. 177-180, 2015.
17. K. Davis, "Material Review: Alumina (Al₂O₃)," p. 6, 2010.
18. M. C. Wefers K, "Oxides and Hydroxides of Aluminum.," *Alcoa Laboratories*, pp. 1-74, 1987.
19. Instituto del Plástico Industrial S.C., Enciclopedia del Plástico, Cap. XVII. Resina

Epóxica, 1-3, 7-8., 1997.

20. C. I. R.-S. E. P. A. J. G.-C. Natalia L. Cadena, "Caracterización termica y física de nanofluidos de Al_2O_3 y AlN en aceite dieléctrico," *Memorias del xix congreso internacional anual de la somim* , pp. 3-10, 2013.
21. S. G. M. Á. C. A. E. Borja Fernández-d'Arlas, "Preparación de dispersiones de partículas en resinas," *Revista Iberoamericana de Polímeros* , vol. 15, nº 4, p. 8, 2014.

PROTOTIPO DE UNA MAQUINA DE ENSAYO PARA EMPLEARSE EN PRUEBAS OPTICAS NO DESTRUCTIVAS

Jorge M. Uribe M., M. Fernanda González R., Cesar G. Tavera R. y Manuel H. De la Torre I.

Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.. jmarioum@outlook.com

RESUMEN

El contar con una máquina de ensayos calibrada es esencial para llevar a cabo estudios mecánicos en diversos tipos de probetas. La industria de la transformación ha adoptado varios estándares y protocolos para las mediciones con este tipo de instrumentos. Pero actualmente, las pruebas ópticas no destructivas han ganado terreno en este tipo de estudios debido a sus características de ser no invasivas, de alta resolución y remotas. Lo anterior hace necesario contar con máquinas de ensayos pensadas para este tipo de técnicas que permitan análisis en campo completo en una variedad mayor de muestras. En este trabajo, se desarrolló un prototipo funcional de una máquina de ensayos por compresión para probetas sólidas que pueden ser de materiales de ingeniería o biológicos. En su desarrollo inicial se consideraron tres ejes fundamentales: mecánico, electrónico y software (control). Para posteriormente en su caracterización micrométrica utilizar una técnica óptica no destructiva de alta velocidad. También se realizaron pruebas de repetitividad empleando estándares de la industria como galgas extensiométricas adheridas en probetas de aluminio 6061. De los resultados obtenidos con este prototipo fue posible caracterizar la aplicación de la fuerza de compresión en transitorios de alta velocidad, que permiten fijar el rango en el que la maquina puede ser empleada para estudiar una muestra biológica anisotrópica o bien para una de ingeniería tipo isotrópica.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los materiales requiere de diferentes pruebas para obtener propiedades mecánicas (elasticidad, dureza, etc.), químicas (corrosión, reactividad, etc.), térmicas (expansión térmica, conductividad térmica, etc.), entre otras. A demás esta evaluación cualitativa y cuantitativa permite rediseñar y fabricar nuevos materiales con mejores características, como: mayor resistencia a esfuerzos, materiales más livianos, incluso mayor rentabilidad y competitividad en una empresa, entre otros.

Existen dos tipos de pruebas o ensayos para obtener las propiedades de los materiales. En las primeras pruebas el material se deforma y/o dañan, de tal forma que cambie su estructura interna e incluso llegar a la ruptura. Este tipo de ensayos se conocen como ensayos destructivos y algunos ejemplos de estos son: fatiga, ductilidad, dureza, entre otros. En cambio, existen ensayos en donde el material no sufre ninguna modificación y estos ensayos son conocidos como no destructivos. Ejemplo de estos ensayos son: rayos X, inducción de corriente y métodos ópticos. Dentro de los métodos ópticos existe un grupo de técnicas llamadas pruebas ópticas no destructivas. Ejemplo de estas técnicas son: Interferometría electrónica de patrones de moteado (ESPI por sus siglas en inglés), proyección de franjas, holografía interferométrica digital (DHI por sus siglas en inglés) entre otros.

El objetivo de este trabajo fue diseñar y llevar a cabo un prototipo una máquina de ensayo por compresión de escala menor en peso y tamaño a las maquinas comerciales y que pueda aplicar una fuerza controlada a una probeta en pruebas ópticas no destructivas.

TEORÍA

En el estudio de las propiedades de los materiales se utilizan diferentes instrumentos que miden propiedades térmicas, eléctricas, mecánicas, entre otros. El principio de funcionamiento de estos instrumentos depende de la propiedad que se desea medir. Por ejemplo, para el estudio de las propiedades mecánicas, los instrumentos someten a las probetas a una fuerza externa controlada.

Para el desarrollo de este trabajo, se ha diseñado y construido una máquina para obtener propiedades mecánicas.

El prototipo de la máquina en compresión que se diseñó y fabricó, está compuesta por una cruceta que se desplaza verticalmente hacia arriba o abajo, aplicando una fuerza controlada de tracción o compresión sobre la probeta a evaluar. Este es el principio básico de una máquina universal electromecánica. En la figura 1 se observa las principales partes que componen una máquina universal electromecánica para pruebas de tensión y compresión

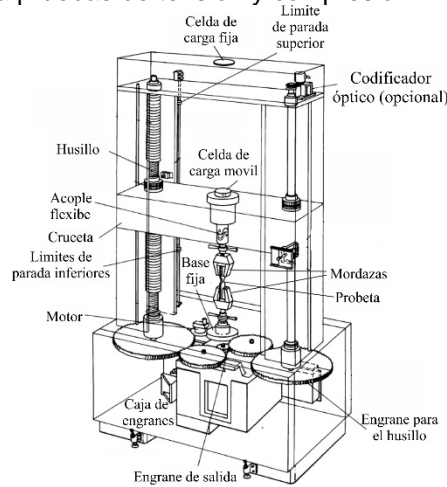


Figura 8. Partes de una máquina universal

El desplazamiento de la cruceta se logra utilizando dos tornillos o husillos que pasan a través de una tuerca que está incrustada en los extremos de la cruceta. Así, cuando los dos tornillos giran en el mismo sentido, la cruceta se desplaza hacia arriba o abajo, dependiendo del sentido de giro de los tornillos. El movimiento rotacional de los tornillos se realiza por medio de dos engranes rectos ubicados en la parte superior o inferior de estos (dependiendo del diseño de la máquina). Los engranes de los tornillos se acoplan a otro engrane que está sujeto en el eje de un motor.

El dispositivo para detectar la fuerza aplicada por la cruceta es una celda de carga. Ésta se puede ubicar en la base inferior, en la parte superior de la máquina e incluso en la cruceta. La ubicación depende principalmente del diseño de la máquina y del tipo de ensaño que puede realizar la máquina. Para pruebas de compresión se utilizan celdas tipo botón ubicadas en base inferior de la máquina, mientras que para pruebas de tensión se utilizan celdas tipo S ubicadas en la cruceta de la máquina.

La fuerza axial (F_{axial}) que aplica la cruceta tiene una relación directamente proporcional al par-torque (T) que puede aplicar el motor, sin embargo existe otros parámetros que intervienen en la fuerza axial. Los demás parámetros son: el coeficiente de rozamiento entre los tornillos y la cruceta (μ_r), el ángulo de la rosca (2θ), el diámetro del tornillo (d_m), el avance del tornillo (l) y los radios de los engranes que se encuentran en el tornillo (r_2) y en el motor (r_1) [1]. La ecuación 1 establece la relación entre la fuerza axial y el torque del motor.

$$T = \frac{r_1}{r_2} \frac{d_m}{2} F_{axial} \cdot \left(\frac{\pi \mu_r d_m \sec \theta - l}{\pi d_m + \mu_r l \sec \theta} \right) \quad (1)$$

DHI

La interferometría holográfica digital es una técnica óptica que permite medir desplazamientos estáticos y dinámicos, a partir de la diferencia de fase óptica entre dos frentes de ondas. La técnica utiliza dos hologramas de un objeto para obtener un patrón de interferencia. El primer holograma pertenece a un estado inicial o no deformado del objeto en cualquier momento del tiempo, mientras que el segundo holograma corresponde a un estado de deformación del objeto en un instante

posterior [2]. En la figura 2 se observa el arreglo óptico para realizar mediciones fuera de plano utilizando DHI en. La luz que emite el láser es dividida en dos haces, un haz de referencia y un haz objeto, mediante un divisor de haz (D1). El haz de referencia se acopla por un extremo de la fibra óptica (FO) mediante una lente (L). La luz viaja por la fibra óptica hasta llegar al otro extremo para salir. La fibra óptica permite que el arreglo sea flexible y además de filtrar el haz de luz. Por otra parte, el haz objeto también se acopla a una fibra óptica para iluminar el objeto. El backscattering que produce el objeto es recolectado por una lente L.

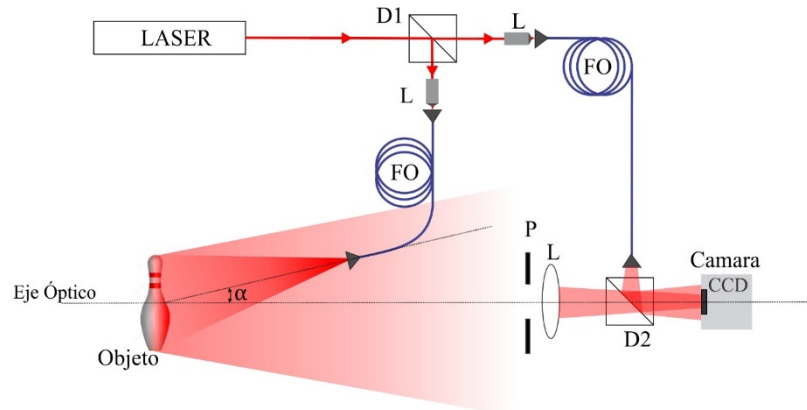


Figura 9. Interferómetro fuera de plano para realizar DHI

PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo de la parte experimental consistió de dos etapas. En la primera se realizó el diseño y la construcción del prototipo de la máquina de ensayo en compresión, y en la segunda se realizaron las pruebas de funcionamiento. En la figura 3 se observa las principales actividades para cada una de las etapas.

En el diseño y construcción se fijaron tres ejes fundamentales: la mecánica, la electrónica y la programación. Para la parte mecánica se realizaron: la estructura para soportar los tornillos que desplazan la cruceta, el diseño de los engranes y el análisis de la relación fuerza par motor. La estructura se realizó con solera de acero 1018 para la base superior, inferior y la cruceta, y para las columnas se utilizó perfiles de aluminio. Se utilizaron tornillos M10 y los engranes se realizaron utilizando impresión 3D.

Para el diseño electrónico se realizó: la instrumentación de la celda de carga utilizando un amplificador de instrumentación INA128, además se utilizó el microcontrolador MSP43055f22 para controlar el motor y enviar-recibir datos hacia y desde la computadora.

Por último se realizó un conjunto de funciones para controlar la máquina y visualizar el comportamiento de la fuerza desde una interfaz gráfica elaborada en Matlab 2014. En la figura 4 se puede observar la construcción final de la parte mecánica y electrónica para el prototipo de la máquina de ensayo en compresión.

Después de construir las partes mecánica y electrónica, se realizó la segunda etapa del proyecto. En ésta se ejecutó la calibración de la celda de carga, la calibración de la fuerza de carga y DHI. La calibración se realizó con el objetivo de obtener una medición sin errores sistemáticos. Para la calibración de la celda se utilizó un conjunto de bloques que fueron pesados en una báscula calibrada y después se realizó la medición del peso con la celda de carga, de esta forma se obtuvo la diferencia de las mediciones y se determinaron los parámetros de corrección para el error de offset y el de ganancia.

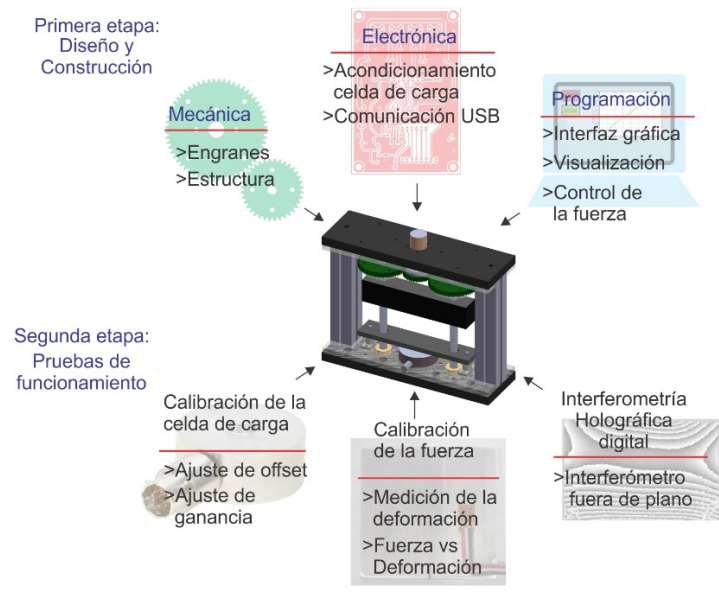


Figura 10. Principales actividades para la primera y segunda etapa para el prototipo de la máquina.

Para la calibración de la fuerza que aplica la cruceta del prototipo, se sometió una placa de aluminio 6061 (60x40x3 mm) a la fuerza axial controlada e incremental, al mismo tiempo, se registró la deformación que experimentaba la placa de aluminio. Para detectar la deformación se utilizó una galga extensiométrica (CEA-06-062UW-120) adherida a la superficie de la placa de aluminio y el registro de la deformación se realizó por medio del el indicador y registrador de esfuerzo modelo P3 de la empresa *Vishay micro-measurements*.

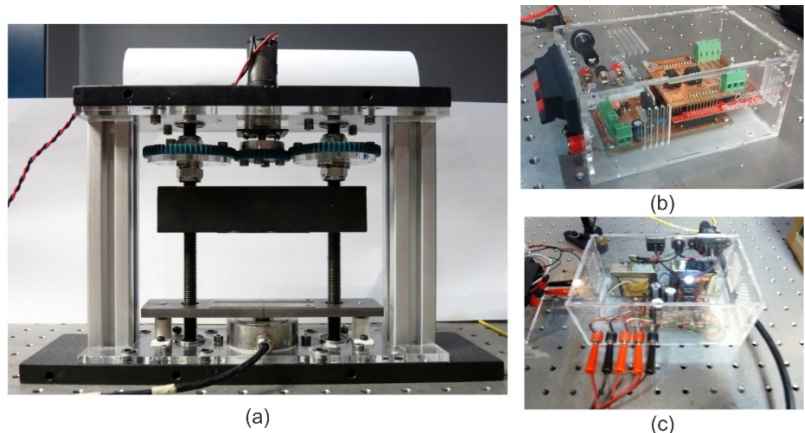


Figura 11. Prototipo de la máquina de ensayo en compresión. a) estructura mecánica, b) acondicionamiento de la señal, etapa de potencia y microcontrolador, y c) fuente de voltajes

Por último se realizó la medición del desplazamiento relativo fuera de plano utilizando DHI, para lo cual se utilizó un montaje óptico como se mostró en la figura 2. En este procedimiento también se aplicó una fuerza controlada e incremental, pero el registro de la deformación se hizo a través del desplazamiento normal a la superficie de la placa de aluminio. Para esta técnica, se realizaron dos tipos de prueba: la primera consistió en aplicar incrementos de la fuerza de 10 lb-f, con un tiempo de espera de 1 a 2 segundos entre incremento, y la segunda consistió en aplicar una fuerza linealmente con una tasa de crecimiento de 1 lb-f/s.

RESULTADOS

A continuación se presenta los resultados que se obtuvieron en el desarrollo de este trabajo. En la figura 5-a se observa la diferencia que existe entre la medición registrada por la celda de carga y la medición real o deseada (recta azul) del peso de los bloques. Y en la figura 5-b se observa la corrección de la medición al utilizar las ecuación 2, la cual tiene los factores de corrección para los errores de offset y de ganancia.

$$F_Calibrada = (F_celda - 14,6) * 0,97 \tag{2}$$

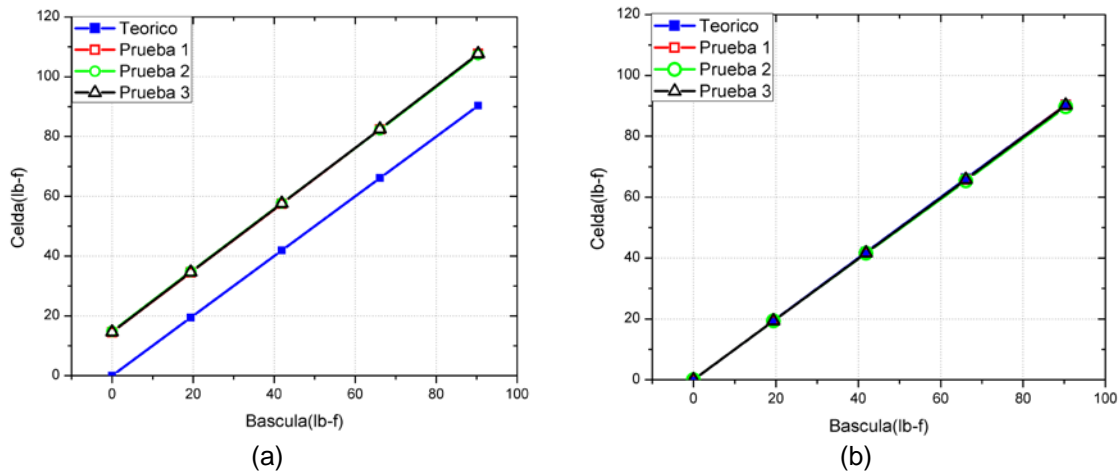


Figura 12. Procedimiento para calibrar la celda de carga. (a) comparación entre la medida real y la deseada y b) corrección de los errores de offset y de ganancia.

En la figura 6 se observa la repetibilidad de la medición de la deformación unitaria cuando se aplica una fuerza controlada y proporcional a una probeta de aluminio, para la medición de la deformación con la galga extensiométrica. El resultado presentado en ésta grafica se realizó removiendo y ubicando la probeta en la máquina entre las diferentes pruebas, por lo tanto, el resultado indica que la repetibilidad y reproducibilidad es alto.

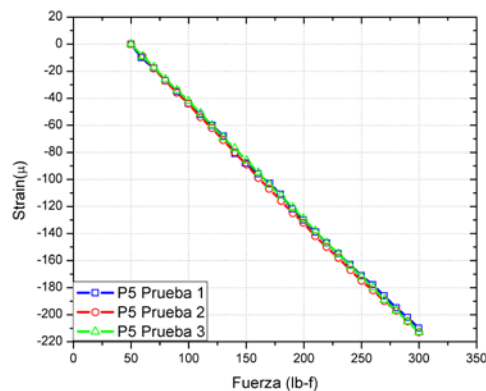


Figura 13. Medición de la deformación en función de la fuerza para la calibración de la fuerza que aplica el prototipo de máquina de ensayo en compresión.

Finalmente se observa los resultados para las pruebas con DHI en la figura 7. En la parte a de la figura se observa los mapas de fase para incrementos constantes en la fuerza aplicada de 10 lb/f y la distribución de los mapas de fase para las dos pruebas. Se puede evaluar que para las dos

pruebas realizadas la distribución de la fase envuelta tiene gran similitud, así pues se verifica los resultados observados en la figura 6. En la figura 7-b se observa una sección del resultado total para una prueba en donde la fuerza se aplicó con una tasa de crecimiento de 1 lb-f/s. la tasa de muestreo de los hologramas fue de 100 cuadros por segundo

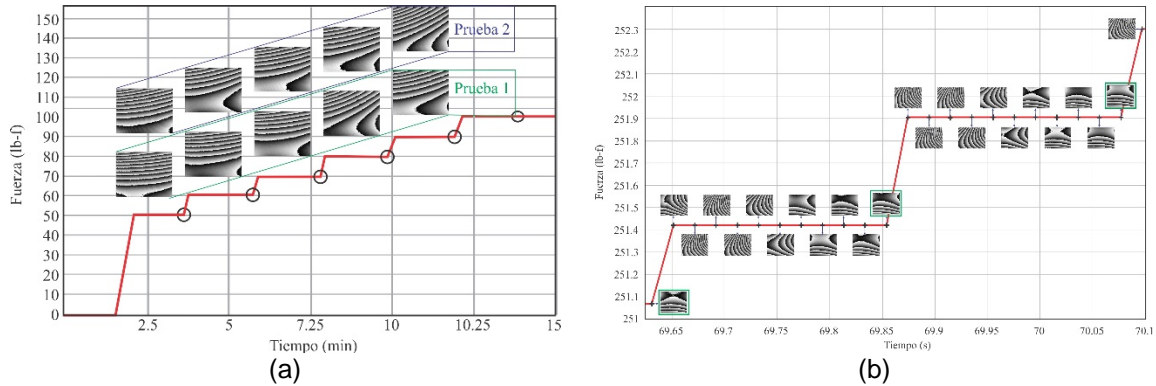


Figura 14. Mapas de fase envuelta para las pruebas realizadas con DHI. a) medición cuando se establece un tiempo de espera entre incrementos de la fuerza y b) medición cuando se aplica una fuerza lineal a una tasa de crecimiento de 1 lb-f/s (este resultado es una sección ampliada del resultado original de esta prueba).

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se mostró todo el proceso para el diseño, fabricación y puesta en marcha de una máquina de ensayo en compresión, a nivel prototipo para realizar pruebas ópticas no destructivas. Las características finales de la maquina son: 300 lb-f para la fuerza máxima, la fuerza puede aplicarse de forma incremental y lineal con una tasa de mínima de 0.5 lb-f/s y máxima de 2 lb-f/s. La resolución en la medición de la fuerza fue de ~0,2 lb-f, la cual estuvo determinada por el sistema de adquisición para la celda de carga y el protocolo de comunicación. El consumo de energía fue de 70 mW/h y su peso fue es de ~3 Kg sin el sistema eléctrico y electrónico, lo que le otorga un alto grado de portabilidad.

Se comprobó la repetitividad de la aplicación de fuerza en la máquina mediante la medición de la deformación unitaria en probetas de aluminio 6061 utilizando galgas extensiométricas. Esta medición basada en el estándar de la industria de la transformación por medio de un instrumento indicador y registrador de esfuerzo modelo P3.

Al utilizar una la técnica de DHI se reveló que los engranes impresos en 3D no son los más adecuados para transferencias de carga rápida, ya que se observó (figura 7-b) cómo los mapas de fase entre estados de deformación cambian drásticamente cuando la fuerza es aplicada y cómo cambia la fase óptica después de que se relajan los engranes. Esta caracterización de los transitorios permite establecer los rangos en donde la maquina entrega la compresión de forma lineal y controlada, como se pudo observar con las pruebas de DHI.

BIBLIOGRAFÍA

1. F. P. Beer, J. T. DeWold, and D. F. Mazurek, Mecánica de Materiales, 6ta ed. 2013.
2. K. Anderson, M. Ayres, B. Sissom, and F. Askham, "Holographic data storage: rebirthing a commercialization effort," 2014, p. 90060C.

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOMÉTRICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE SOLUCIONES CON LABVIEW

Cruz Bazán Iván Rodrigo, Sánchez Avendaño Ixchel Sirenia, Islas Padilla Adriana Carolina, Agustín Ignacio Cabrera Llanos, María Guadalupe Ramírez Sotelo

Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México CDMX.

Departamento de Bioingeniería, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México CDMX.

RESUMEN

En el presente trabajo se diseña un sistema fotométrico que determina las concentraciones de diferentes soluciones, utilizando emisores de luz infrarroja, esta luz incide en la solución, lado contrario se haya un receptor de ésta, que conectado adquiere de los valores de voltaje asociados a las diferentes concentraciones, el proceso de tratamiento de la señal empieza por medio de la tarjeta de adquisición de datos NI myRIO1900 y su procesamiento en la plataforma de programación gráfica LabVIEW. Para poder caracterizar el sistema se genera un barrido de diferentes concentraciones de una misma solución que se utiliza como solución base, a un determinado número de veces, garantizando la fiabilidad de las mediciones del sistema. Estos datos se tratan estadísticamente para poder generar la ecuación característica que permita calcular la concentración de la solución de manera precisa. El sistema cuenta con la unidad de despliegue creada en el panel frontal de LabVIEW, de esta manera permite ser amigable con el usuario, ofreciendo una accesibilidad del sistema fotométrico.

INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones de la fotometría es la determinación de la intensidad en que un rayo atraviesa un medio con base en los siguientes fundamentos:

A. Espectro de luz.

La luz está formada de partículas y la energía de cada partícula es proporcional a la frecuencia de la luz. [1]

En términos de la longitud de onda se describe la energía como:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío, λ longitud de onda y h es la constante de Planck.

Es decir, a mayor longitud de onda tenemos menos energía, lo que favorece la radiación infrarroja en el cuerpo sin que afecte como lo hace los rayos X.

Dentro del espectro electromagnético existe una franja a la que conoceremos como luz visible cuyas longitudes de onda son 400 a 780 nm, y en sus extremos rayos infrarrojos (780 nm) y ultra violetas (100-400 nm)

B. Absorbancia y transmitancia.

La transmitancia óptica se refiere a la fracción de luz de la radiación incidente transmitida por la solución, es decir, la cantidad de luz que atraviesa un cuerpo y la absorbancia a la energía que es retenida por el cuerpo en una determinada longitud de onda. [2]

En la figura 1, se muestra el principio de un espectrofotómetro cuyos parámetros se obtienen matemáticamente indicada en la ecuación 2 y 3.

La transmitancia se expresa como:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

Donde I es la luz transmitida e I₀ es la luz de incidencia total.

La absorbancia se expresa como:

$$A = -\log(T) \quad (3)$$

Donde T es transmitancia.

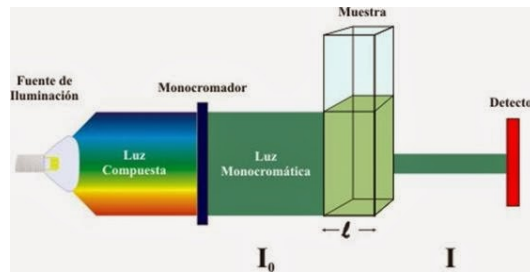


Fig. 1. Sistema básico de un espectrofotómetro.

C. Efecto fotoeléctrico.

Es el fenómeno en el que la luz interactúa con la materia, cuando incide un haz sobre un metal algunos electrones, que reciben el nombre de fotoelectrones, son emitidos con diferentes energías, estas dependen de la longitud de onda que tiene la luz. Es decir, trata del efecto que tiene al pasar de energía electromagnética a corriente eléctrica como se muestra en la figura 2. [3]

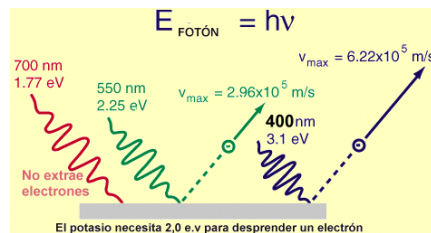


Fig. 2. Efecto fotoeléctrico

Para remover un electrón de la superficie de algún material sólido se requiere de una cantidad de energía que varía de acuerdo al material, si la energía de un fotón es mayor que ésta el electrón es emitido de la superficie, es decir, el electrón es expulsado transportando energía cinética a causa de su propio movimiento.

D. Dispositivos electrónicos.

Los dispositivos electrónicos: fotodiodo y fototransistor, que emiten o adquieren respectivamente la energía electromagnética para operar correctamente. En este caso se presenta las gráficas de la figura 3, de un emisor y receptor comercial, donde demuestra la longitud de onda con su

desempeño. Y en términos de frecuencia electromagnética, observamos que se encuentran dentro del espectro infrarrojo. [4]

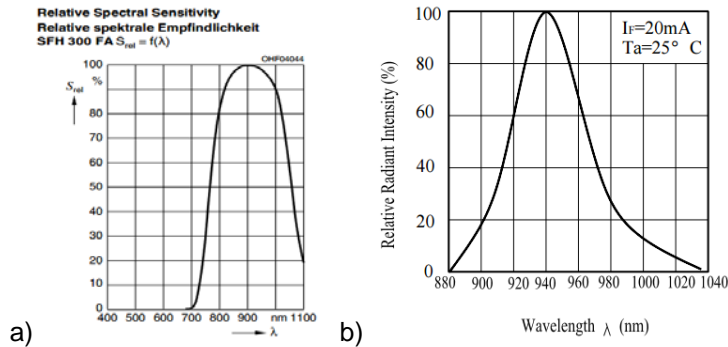


Fig. 3. Desempeño del emisor a) y receptor b) con respecto a la longitud de onda.

F. LabVIEW y NI myRIO 1900.

LabVIEW es un entorno de programación gráfico que permite diseñar programas de manera que el procesamiento se asemeje al pensamiento del programador permitiendo interactuar entre el diagrama de bloques que es la parte programable y el panel frontal que permite la visualización de los datos procesados. En tanto la tarjeta NI myRIO 1900 desarrollada por National Instrument permite la adquisición de datos analógicos con una resolución de 24 bits. [5] y [6]

El fotómetro desarrollado determina el porcentaje de concentración de la solución en el tubo de muestra empleando leds infrarrojos y fototransistores registrando la varianza entre la lectura arrojada por los fototransistores con la emitida por los leds, después de atravesar la solución.

El fototransistor posee una base fotosensible. La corriente inducida por los efectos fotoeléctricos de la luz infrarroja al salir de la solución es la corriente de base del transistor. Un incremento en la intensidad de luz infrarroja corresponde a un incremento en la corriente de colector.

METODOLOGÍA

A) Sistema físico

Se empleó material MDF para el sistema cerrado y aislado de la luz externa, una base para el tubo con la muestra. Se forró el interior con papel aterciopelado color negro para evitar la entrada y refracción de la luz externa dentro del sistema, la cual produce incertidumbre y error al momento de realizar las mediciones, como se muestra en el diseño de la figura 4.

El sistema utiliza tubos de ensayo con dimensiones de longitud 75mm x 12 mm Ø ext.

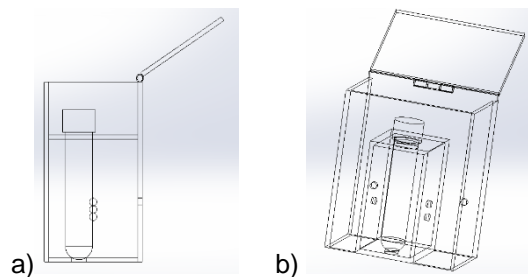


Fig. 4. Sistema del fotómetro realizado en SolidWorks 2015, vista lateral a) y vista trimetrica b).

B) Sistema eléctrico

El diseño del sistema eléctrico, mostrado en la figura 5, se realiza a partir de las características eléctricas de los componentes.

Un foto-receptor que cuente con una región de trabajo máxima en la longitud de onda infrarroja, ya que los diodos IF se tienen mayor facilidad de acceso.

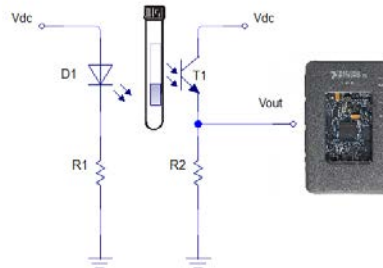


Fig. 5. Diseño del sistema eléctrico.

Para calcular los valores de las resistencias se utilizan los datos que nos ofrece el fabricante.

$$V_{R1} = I_{D1}R_1 \quad (4)$$

$$V_{R2} = I_E R_2 \quad (5)$$

En la parte de led IR se utiliza la malla por leyes de Kirchhoff

$$V_{dc} - V_{D1} - V_{R1} = 0 \quad (6)$$

Para el análisis del fototransistor obtenemos una malla diferente.

$$V_{dc} - V_{T1} - V_{R2} = 0 \quad (7)$$

Como parte del sistema de adquisición se utiliza una tarjeta NI myRIO 1900, ya que permite una mayor velocidad de procesamiento y no necesita de una señal amplificada.

C) Programación

Se empleó el software LabVIEW 2015, la obtención de datos se lleva a cabo con la tarjeta NI myRIO 1900 mientras que el procesamiento y despliegue de resultados es en una computadora.

El procesamiento que se realizó comienza con la adquisición de señales para concentraciones conocidas, almacenando un total de 500 datos para cada muestra en un archivo Excel para su análisis. Esta función de guardar es habilitada por el usuario, si la función se encuentra deshabilitada el programa continuará el procesamiento para obtener la concentración de la muestra presente en el sistema, el cual se visualiza en la figura 6.

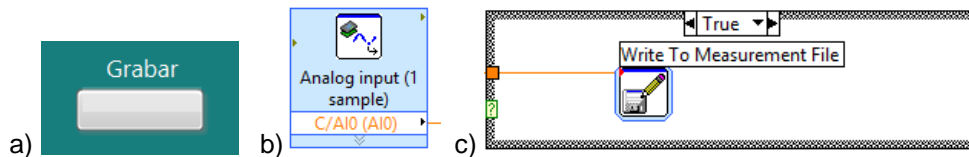


Fig. 6. a) Función de grabar datos en panel frontal, b) adquisición con NI myRIO 1900, c) diagrama de bloques.

Para tener una mejor visualización de los datos que el sistema está procesando se utiliza la herramienta gráfica de LabVIEW, señalada en la figura 7.

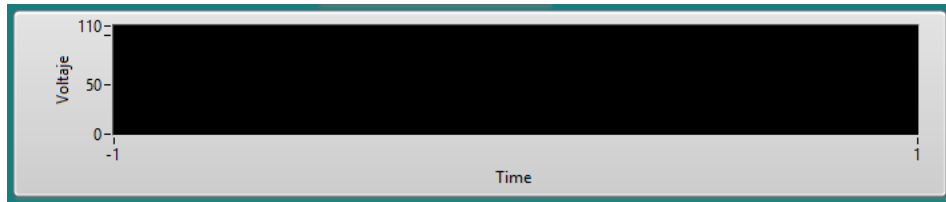


Fig. 7. Despliegue de datos que el sistema procesa.

Para la determinación de las curvas de regresión polinómica esto se emplearon 11 tubos, un “blanco” y 10 de concentración conocida, tras el registro de 500 datos por muestra se realizó el ajuste de curvas, se obtuvieron tres ecuaciones características, ya que en la gráfica de la figura 14 se observa un punto de cambio en la tendencia provocando una división de los datos. Dos ecuaciones para los datos divididos y una que engloba todos los datos.

Utilizaremos las ecuaciones en intervalos de tiempo, el primer tiempo sondeará la ecuación de datos totales, y el segundo tiempo dependiendo del primer dato sondeado se seleccionará la ecuación correspondiente, para finalmente desplegar la concentración asociada a la señal, como se expone en la figura 8.

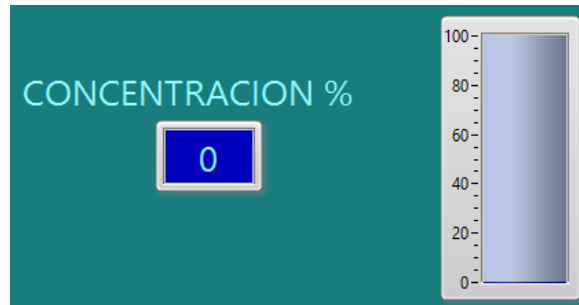


Fig. 8. Despliegue de concentración en forma numérica y gráfica.

Para efecto de animación, el programa al finalizar de procesar la señal también despliega un tono de color correspondiente para cada concentración de acuerdo al esquema mostrado en la figura 9.

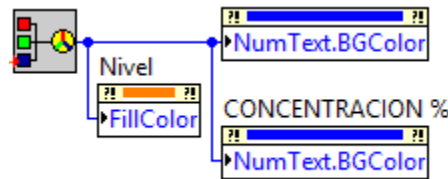


Fig. 9. Acondicionamiento de tono del color dependiente de la concentración.

En la figura 10 se presenta el proceso que realiza el entorno de LabVIEW para analizar los datos.

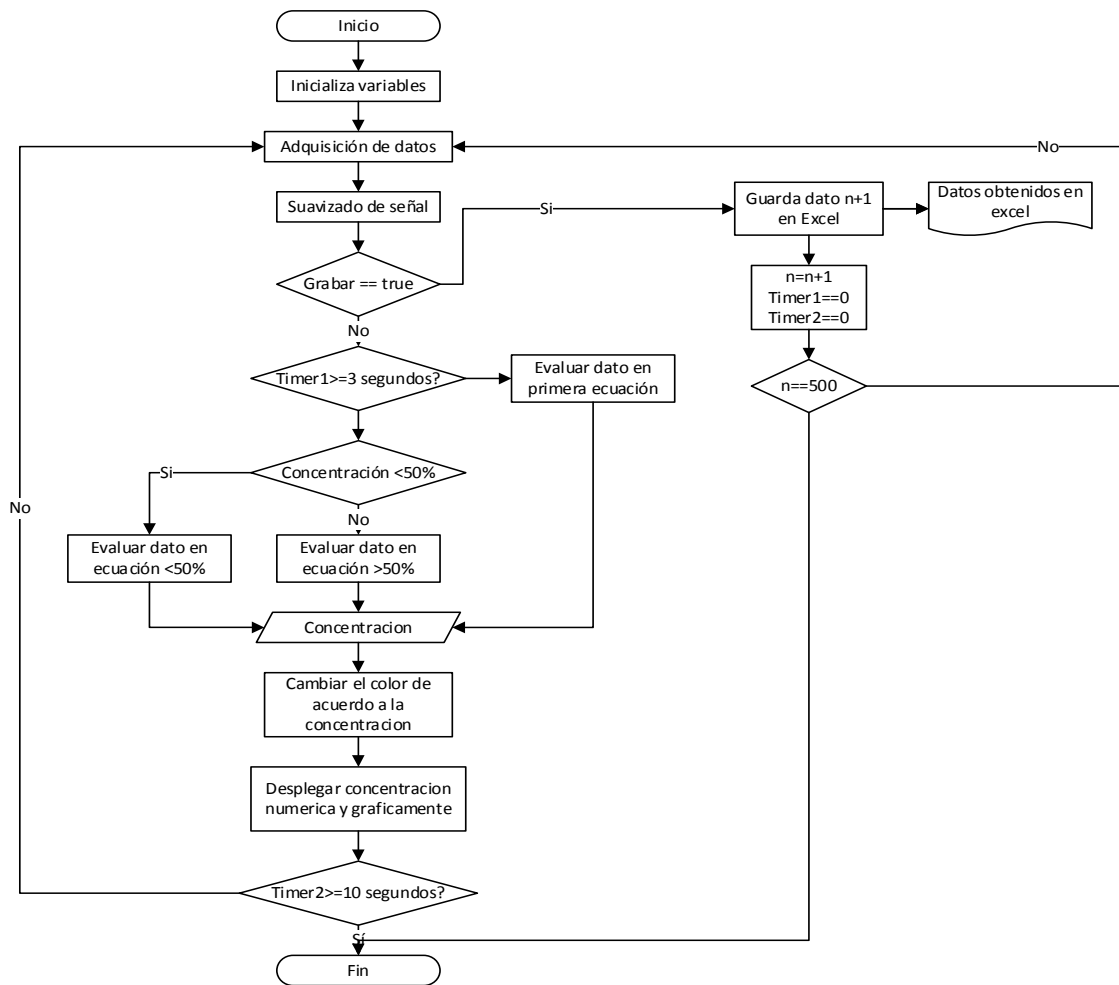


Fig. 10. Diagrama de flujo del programa.

RESULTADOS

En la figura 11 se presenta el sistema desarrollado para la adquisición de datos.

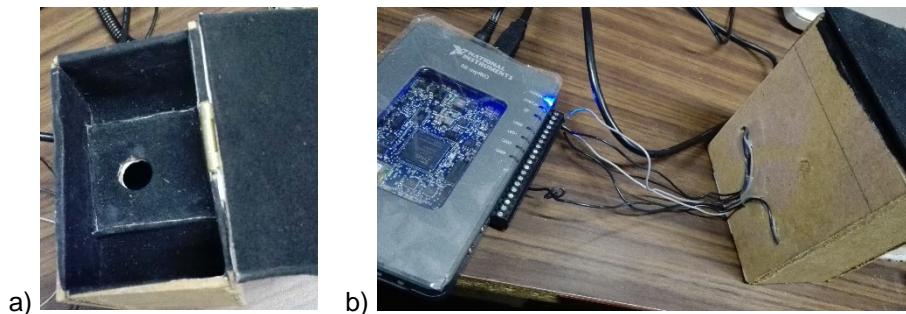


Fig. 11. a) Interior del modelo físico, b) Conexión a la tarjeta NI myRIO 1900

Para la caracterización del sistema se emplearon tubos de concentraciones conocidas que se muestran en la figura 12.



Fig. 12. Tubos muestra

Se desarrolla el programa intuitivo para determinar la concentración de una solución, el cual es amigable con el usuario y permite tener una portabilidad del sistema.

En la adquisición de los datos observamos parte de la información recopilada para la caracterización.

Valores de concentraciones									
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,01953 1	0,01464 8	0,01464 8	0,01464 8	0,01464 8	0,00976 6	0,00976 6	0,00976 6	0,00976 6	0,00488 3
0,01709 4	0,01464 8	0,01221 1	0,01221 1	0,01464 8	0,00976 6	0,01220 3	0,00976 6	0,01220 3	0,00488 3
0,01628	0,01464 8	0,01139 7	0,01302 3	0,01302 3	0,00976 6	0,01301 7	0,00976 6	0,01139 1	0,00488 3
0,01587 2	0,01464 8	0,01342 9	0,01342 9	0,01220 9	0,00976 6	0,01220 5	0,00976 6	0,01098 5	0,00366 3
0,01562 8	0,01464 8	0,01367 3	0,01269 7	0,01172 1	0,01074 2	0,01171 7	0,00976 6	0,00976 6	0,00195 5
0,01627 8	0,01464 8	0,01383 5	0,01220 8	0,01139 5	0,01139 2	0,01220 6	0,00976 6	0,00895 2	0,00244 3
0,01604 5	0,01464 8	0,01395 1	0,01186	0,01116 2	0,01116 2	0,01225 9	0,01046 3	0,00906 8	0,00279 1

Fig. 13. Fragmento de tabla de datos almacenados en el documento Excel.

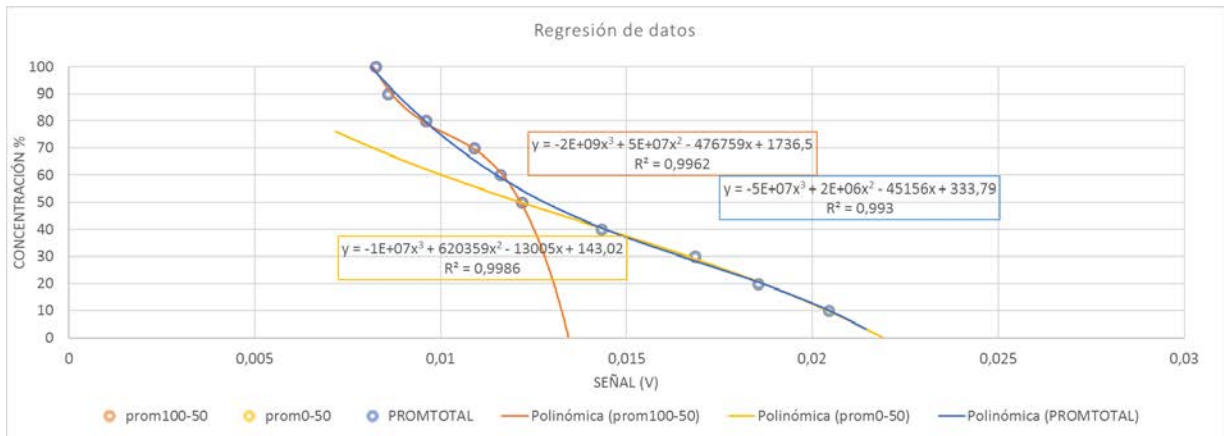


Fig. 14. Gráfica característica obtenida con tres líneas de tendencia.

En el caso del procesamiento de las señales, el sistema utiliza tres regresiones polinómicas para determinar la concentración. La primera es una regresión que abarca desde la concentración 0% hasta el 100% lo que permite aproximar alrededor de que concentración apunta la señal, la segunda y tercera regresión corresponden a las concentraciones 0%-50% y 50%-100% respectivamente que ayudan en la precisión de la concentración.

Se muestran las imágenes de la figura 15 el funcionamiento del programa y se pueden observar como varía de tono de acuerdo a las concentraciones.



Fig. 15. Resultado de muestra conocida a 70% a), 50% b) y 10% c).

Se obtiene una recta de comparación entre concentración conocida y concentración medida.

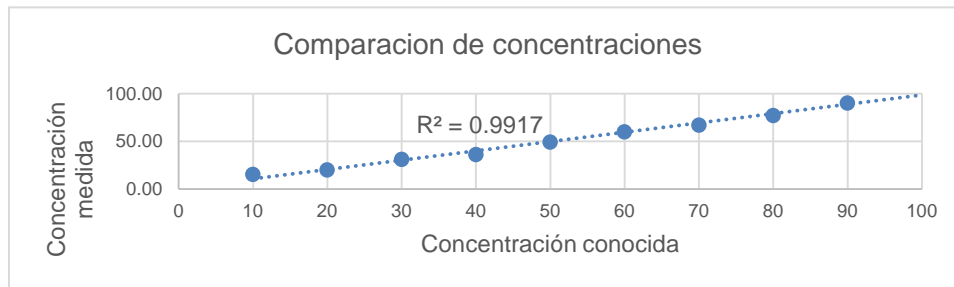


Fig. 16. Comparación entre concentraciones

Al realizar un análisis a los resultados muestreados obtenemos que el error porcentual del instrumento es 1% debido al coeficiente de determinación visualizada en la figura 16 que muestra un 99% de las mediciones se encuentran dentro del valor verdadero.

Ya que la resolución del instrumento son pasos de 1% es aceptable el margen de error con la variación de $\pm 0.5\%$

CONCLUSIÓN

Con el empleo de la tarjeta NI myRIO 1900 se puede hacer una lectura de la diferencia de voltaje registrado por el foto-receptor sin la necesidad de acondicionar analógicamente la señal, ya que el procesamiento de los valores adquiridos se realiza en el ordenador, lo que permite una reducción de circuitería.

Se consiguió el desarrollo del sistema que determina la concentración desconocida siendo este caracterizado por el usuario de acuerdo a sus muestras patrón, ofreciendo la posibilidad de adaptarse a diferentes soluciones para cada sustancia de interés, obteniendo una curva específica la cual presenta información para poder determinar la concentración porcentual de la muestra. En el caso del solvente utilizado se obtuvo un error del 1%.

REFERENCIAS

1. Paul Allen Tipler, G. M. (2007). Física para la ciencia y la tecnología (5 ed., Vol. 2). México: Reverté.
2. Harold Frederic Walton, J. R. (2005). Análisis químico e instrumental moderno. España: Reverté.
3. Robert L. Boylestad, L. N. (2003). Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. México: Pearson education.
4. Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas. México: Pearson education.
5. José Rafael Lajara Vizcaíno, J. P. (2011). LabVIEW: Entorno gráfico de programación (2 ed.). México: Marcombo.
6. Laínez, I. M. (2014). Desarrollo de Sistemas Robóticos con la Plataforma National Instruments. Colombia: National Instruments.

NANOTUBOS DE NITRURO DE BORO (20,0) ENCAPSULANDO A DIFERENTES FÁRMACOS

María del Rosario Melchor Martínez, José Cano Ordaz, Dolores García Toral

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, Ciudad Universitaria, San Manuel, Puebla, Código Postal 72570, México

RESUMEN

Los cálculos de primeros principios son hoy en día una herramienta esencial para el modelado de estructuras nanométricas. Siguiendo el criterio de mínima energía total, se realiza una optimización geométrica del nanotubo de nitruro de boro (BNNT) con los funcionales HCTH[1], BLYP[2], HSEh1PBE[3] y base 6-31g(d), esto con la finalidad de conocer qué funcional reporta la mínima energía del BNNT, una vez conocido el funcional óptimo, se realiza la optimización geométrica con dicho funcional y misma base 6-31g(d) de la cafeína, norepinefrina y primidona, así como de su interacción con las paredes internas del BNNT (BNNT-Cafeína, BNNT-Norepinefrina y BNNT-Primidona), de estas, se reportan las propiedades electrónicas, tales como, el gap, potencial químico, momento dipolar, función de trabajo y energía de adsorción. Los resultados de la simulación indican que la absorción es de tipo física para los sistemas BNNT-Norepinefrina y BNNT-Primidona con una energía de interacción de -0.32 y -0.07 eV respectivamente, mientras que para el sistema BNNT-Cafeína tiene un valor de 0.5 eV.

INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años, la ciencia y tecnología se han transformado a pasos agigantados, sin embargo, las necesidades humanas también se han tornado de manera creciente; a nivel mundial, una de las necesidades con mayor importancia es la salud, y en numerosas ocasiones el principal problema en un tratamiento médico es el transporte del fármaco dentro del cuerpo humano, es por ello que se introduce un estudio químico cuántico a través de métodos computacionales, pensando en la viabilidad de que los BNNTs (20,0) sirvan de transportadores de fármacos.

A partir de las últimas décadas los nanotubos se han utilizado en gran cantidad de aplicaciones en diversas categorías, como ingeniería mecánica, nanoeléctrica, optoelectrónica y tecnologías biomédicas [4]. Los BNs son materiales análogos a los de C, en dónde los átomos de C son reemplazados por átomos de B y N. Refiriéndose a aplicaciones biológicas, los nanotubos de carbono (CNTs) y el óxido de grafeno (GO) han sido investigados, sin embargo, en su uso surge un impedimento relacionado a su toxicidad y es por ello que comienzan a estudiarse los BNNTs, ya que además de que tiene propiedades electrónicas y estructurales excepcionales, no son tóxicos para la salud o el medio ambiente debido a su inercia química y estabilidad estructural [4,5,6]. Aunado a esto, es de suma importancia la investigación de la interacción de los BNNTs con diferentes grupos funcionales o moléculas con el fin de modificar las propiedades electrónicas y

estructurales de los nanotubos [7,8], en este caso particular, la interacción del BNNT con las moléculas farmacéuticas: cafeína (BNNT-Cafeína), norepinefrina (BNNT-Norepinefrina) y primidona (BNNT-Primidona).

Ahora bien, tanto la cafeína como la primidona son fármacos que intervienen principalmente en el sistema nervioso central. La cafeína, comúnmente se encuentra en el café, sin embargo, en dosis adecuadas es utilizada principalmente como estimulante del sistema nervioso central, además de que, numerosos estudios han asociado el consumo de cafeína con un menor riesgo de padecer la enfermedad de Parkinson [9]; mientras que la primidona se caracteriza por ser un fármaco anti-epiléptico/anti-convulsivo que actúa controlando las sustancias químicas que envían las señales a los nervios, estabilizando la membrana neuronal y evitando así la aparición de convulsiones [10]. Por otra parte, la norepinefrina es un neurotransmisor adrenérgico que interviene tanto en el sistema nervioso como en el cardiovascular, una de sus acciones principales es incrementar la presión arterial, al aumentar la resistencia vascular periférica [10].

Así mismo, el área de simulación molecular se ha convertido en una de las técnicas más importantes para la realización de estudios químicos cuánticos, permitiendo predecir y comprender las propiedades de dichas estructuras tubulares en aplicaciones específicas, tal como el transporte de fármacos. La teoría de los funcionales de la densidad (DFT, por sus siglas en inglés), desarrollada en la década de los 60's [11,12] es una de las herramientas más utilizadas en la práctica de la simulación molecular, al ser una teoría que ofrece precisión fiable en la realización de cálculos de estructura electrónica del estado fundamental [13,14].

TEORÍA

El BNNT con quiralidad (20,0) mostrado en la Figura 1 es una nanoestructura tubular de 336 átomos ($N_{154}B_{154}H_{28}$), mientras que las moléculas: cafeína, norepinefrina y primidona (Figura 2), son de fórmula molecular ($C_8H_{10}N_4O_2$), ($C_8H_{11}NO_3$) y ($C_{12}H_{14}N_2O_2$) respectivamente.

La metodología de esta investigación se divide en las siguientes etapas:

Se utilizaron los funcionales BLYP, HCTH y HSEh1PBE con una base de valencia dividida 6-31g (d) bajo el software de química cuántica, Gaussian 09 [15] cabe destacar que el BNNT fue considerado un sistema neutro y con multiplicidad uno ($Q=0$, $M=1$); lo anterior, con la finalidad de encontrar el estado fundamental.

Una vez localizado el funcional que reporta la mínima energía para el BNNT, se realizó la optimización geométrica de las moléculas: cafeína, norepinefrina y primidona, así como de los sistemas: BNNT-Cafeína, BNNT-Norepinefrina y BNNT-Primidona, utilizando este funcional y las mismas condiciones de base, carga y multiplicidad que se utilizaron en la optimización del BNNT, esto para obtener las propiedades estructurales y electrónicas para cada sistema de interés.

Posteriormente, se realizó la optimización geométrica del sistema BNNT-Cafeína con el funcional B97D [16] y base 6-31g (d), $Q=0$ y $M=1$, con la finalidad de sumar términos dispersivos del sistema electrónico.

Finalmente, se realizó el análisis de los resultados obtenidos; refiriéndose a las propiedades estructurales se reportan los cambios en los diámetros de los sistemas BNNT-Cafeína, BNNT-Norepinefrina y BNNT-Primidona, con respecto al BNNT; y, en cuanto a las propiedades electrónicas se reportan: la energía de los sistemas; el gap, el cual es obtenido mediante la diferencia absoluta de energía entre los orbitales de frontera HOMO (highest occupied molecular orbital) y LUMO (lowest unoccupied molecular orbital), ($GAP = |HOMO - LUMO|$); el potencial químico (μ), que se determina como el promedio aritmético de la energía total de los orbitales moleculares ($HOMO + LUMO / 2$); la función de trabajo que se define como $WF = LUMO - \mu$; y la energía de adsorción de la molécula sobre el nanotubo, que se calcula mediante la ecuación $E_{ads} = E_{(BNNT+X)} - E_{BNNT} - E_X$, donde X representa a las moléculas de interés.

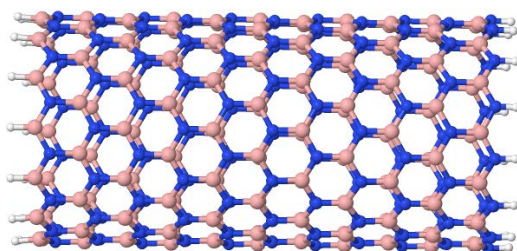
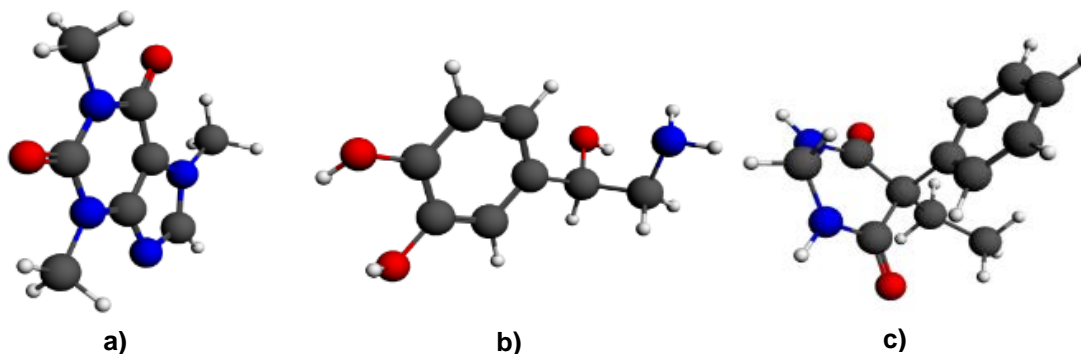


Figura 1. BNNT (20,0).



RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la optimización geométrica del BNNT indican que de los tres funcionales utilizados BLYP, HCTH y HSEh1PBE, el funcional BLYP establece la geometría con la mínima energía, tal como se reporta en la Tabla 1, por lo que, es éste funcional con el que se trabajó en las siguientes optimizaciones.

Tabla 1. Energía de convergencia geométrica correspondiente a cada funcional.

Energía (eV) del BNNT (20,0)		
BLYP	HCTH	HSEh1PBE
-334288.82	-334279.61	-334054.82

En la Tabla 2 se indican las propiedades electrónicas calculadas en este trabajo sobre la optimización geométrica del BNNT, la cafeína, norepinefrina, primidona y los sistemas: BNNT-Cafeína, BNNT-Norepinefrina y BNNT-Primidona con el nivel de teoría BLYP/6-31g (d), Q=0 y M=1. Se observa que el BNNT posee una función de trabajo de 2.71 eV, un valor para el potencial químico de -6.73 eV que indica baja reactividad química y por lo tanto que puede existir una interacción de moléculas sin afectar la estabilidad química del sistema, y un valor de momento dipolar de 22.75 D que al ser elevado demuestra que el BNNT puede solubilizarse en disolventes polares; todas estas características favorables para utilizarlo en aplicaciones médicas. El BNNT tiene un valor de gap de 5.42 eV, este se encuentra dentro del rango de 5~6 eV [17], comprobando que independientemente de la quiralidad y morfología del BNNT, esta propiedad conserva ese intervalo de valores para dichas nanoestructuras, sin embargo, este valor de gap es asociado a un comportamiento aislante, por lo que es importante su funcionalización, en este caso con otras moléculas para obtener un comportamiento semiconductor y poder utilizarlo como transportador de fármacos.

Con respecto a las moléculas, éstas demuestran un comportamiento semiconductor, momentos dipolares altos y baja reactividad química, por lo que es posible realizar su interacción con el BNNT.

En cuanto a las interacciones, tanto en el sistema BNNT-Norepinefrina como en el sistema BNNT-Primidona se presenta una disminución en el gap con un valor de 3.56 y 4.07 eV, respectivamente, lo que representa una transición de un comportamiento aislante a un comportamiento semiconductor con respecto al BNNT; asimismo, en ambos casos se observa un aumento en el momento dipolar, lo cual favorece aún más la solubilidad del sistema, y aunque hay una ligera disminución tanto para los valores de potencial químico y función de trabajo, dichas propiedades siguen siendo favorables. Aunado a lo anterior, el sistema BNNT-Norepinefrina tiene una energía de absorción de -0.32 eV y el sistema BNNT-Primidona de -0.07 eV, ambas indican una absorción física (fisisorción), lo cual es de suma importancia, ya que al tener una interacción débil entre los nanotubos y las moléculas farmacéuticas, éstas podrían desprenderse del nanotubo y ser entregadas dentro del cuerpo humano satisfactoriamente, el cual podría ser un trabajo a futuro.

Por otro lado, en el caso del sistema BNNT-Cafeína como en los sistemas BNNT-Norepinefrina y BNNT-Primidona se muestran cambios de un comportamiento aislante a semiconductor con respecto al BNNT, y sus propiedades de momento dipolar, potencial químico y función de trabajo siguen siendo favorables, no obstante, este sistema tiene una energía de absorción de 0.51 eV, que al ser una interacción muy fuerte, no cumple con las características de interacción buscadas; como consecuencia de lo anterior se realizó la optimización geométrica de la interacción BNNT-Cafeína a nivel de teoría B97D/6-31g (d), Q=0 y M=1; los resultados de esta optimización mostrados en la Tabla 3 indican que la energía de absorción del sistema BNNT-Cafeína tiene un

valor de -2.05 eV, el cual se asocia a una absorción química (quimisorción) que al ser una interacción muy fuerte entre la cafeína y el BNNT, no resulta viable como aplicación médica.

Tabla 2. Propiedades electrónicas de las moléculas, el BNNT y los sistemas de interés, obtenidas con el funcional BLYP y base 6-31g (d).

Sistema	Energía (eV)	GAP (eV)	MD (D)	Potencial Químico (eV)	Función de Trabajo (eV)	Energía de Adsorción (eV)
Cafeína	-18500.31	3.93	3.71	-4.69	1.97	-
Norepinefrina	-16092.85	4.02	1.86	-5.17	2.01	-
Primidona	-19730.79	4.13	5.16	-5.68	2.06	-
BNNT	-334288.82	5.42	22.75	-6.73	2.71	-
BNNT-Cafeína	-352788.62	3.25	25.51	-5.03	1.62	0.51
BNNT-Norepinefrina	-350381.99	3.56	26.27	-5.40	1.78	-0.32
BNNT-Primidona	-354019.68	4.07	26.08	-5.66	2.04	-0.07

Tabla 3. Propiedades electrónicas de la molécula de Cafeína, el BNNT y la interacción BNNT-Cafeína, obtenidas con el funcional B97D

Sistema	Energía (eV)	GAP (eV)	Potencial Químico (eV)	Función de Trabajo (eV)	Energía de Adsorción (eV)
Cafeína	-18493.67	3.53	-3.31	1.76	-
BNNT	-334153.24	4.43	-3.20	2.21	-
BNNT-Cafeína	-352648.96	3.55	-3.64	1.78	-2.05

Haciendo referencia a las propiedades estructurales en la Figura 3, se observa que los cambios en el diámetro del BNNT al interactuar con las moléculas cafeína, norepinefrina y primidona, son despreciables, esto se debe a las interacciones débiles en el interior de la pared del nanotubo, teniendo diámetros finales (1.062, 1.164), (1.124,1.136) y (1.121, 1.145) nm, respectivamente.

Puede notarse, que el sistema BNNT-Cafeína es el que presenta cambios más significativos, sin embargo, en los tres casos de estudio la interacción no altera la estabilidad estructural del BNNT.

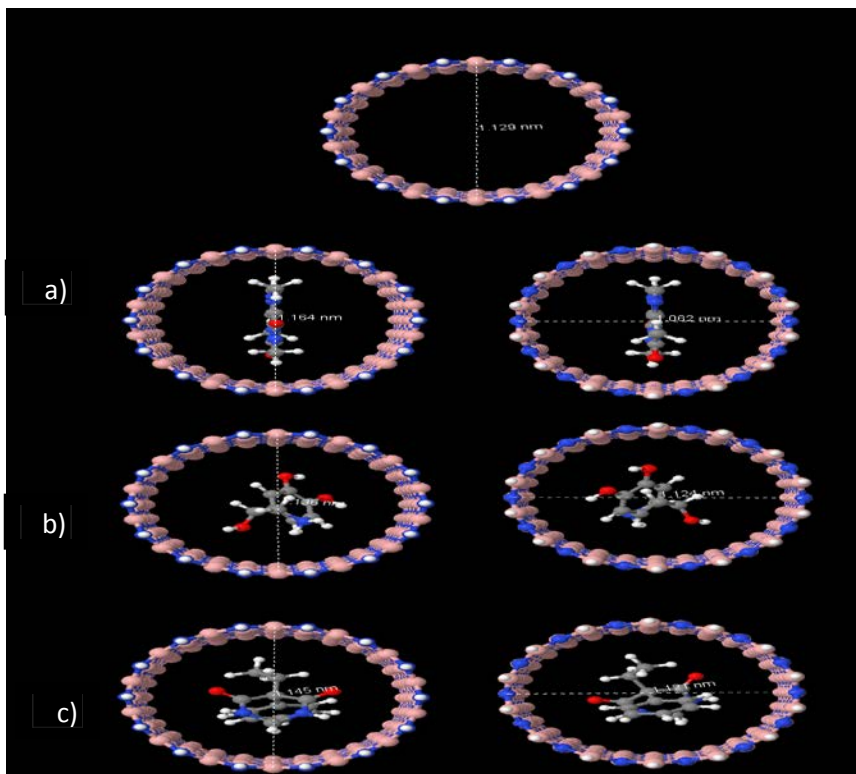


Figura 3. Diámetros a) BNNT, b) BNNT-Cafeína, c) BNNT- Norepinefrina y d) BNNT-Primidona.

CONCLUSIONES

Este tipo de investigación a través de cálculos de primeros principios es importante para obtener las propiedades electrónicas y estructurales de los BNNTs y su interacción con la cafeína, norepinefrina y primidona, y por lo tanto incrementar el conocimiento sobre el transporte de fármacos en nanoestructuras.

Se determinó que el absorber las moléculas por las paredes internas de BNNT no afecta de manera significativa la estabilidad estructural del BNNT.

Hay un cambio en el comportamiento de aislante en el caso del BNNT a un comportamiento de semiconductor para los tres sistemas estudiados, así como altas polaridades y comportamientos poco reactivos.

Los resultados de las optimizaciones muestran que la energía de absorción es de tipo físico tanto para el sistema BNNT-Norepinefrina como para el sistema BNNT-Primidona, lo que significa que pueden ser utilizados en el transporte de fármacos; mientras que la absorción química que presenta el sistema BNNT-Cafeína demuestra poca posibilidad para este fin.

BIBLIOGRAFÍA

1. Boese, A. D., & Handy, N. C. (2001). A new parametrization of exchange–correlation generalized gradient approximation functionals. *The Journal of Chemical Physics*, 114(13), 5497-5503.
2. Lee, C., Yang, W., & Parr, R. G. (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Physical review B*, 37(2), 785.
3. Adamo, C., & Barone, V. (1999). Toward reliable density functional methods without adjustable parameters: The PBE0 model. *The Journal of chemical physics*, 110(13), 6158-6170.
4. Horvath, L., Magrez, A., Golberg, D., Zhi, C., Bando, Y., Smajda, R., & Schwaller, B. (2011). In vitro investigation of the cellular toxicity of boron nitride nanotubes. *ACS nano*, 5(5), 3800-3810.
5. Weng, Q., Wang, B., Wang, X., Hanagata, N., Li, X., Liu, D., & Golberg, D. (2014). Highly water-soluble, porous, and biocompatible boron nitrides for anticancer drug delivery. *ACS nano*, 8(6), 6123-6130.
6. Liao, Y., Chen, Z., Connell, J. W., Fay, C. C., Park, C., Kim, J. W., & Lin, Y. (2014). Chemical sharpening, shortening, and unzipping of boron nitride nanotubes. *Advanced Functional Materials*, 24(28), 4497-4506.
7. Khatti, Z., & Hashemianzadeh, S. M. (2016). Boron nitride nanotube as a delivery system for platinum drugs: Drug encapsulation and diffusion coefficient prediction. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 88, 291-297.
8. Anota, E. C., Cocolenzi, G. H., & Ramírez, J. S. (2013). Armchair BN nanotubes—levothyroxine interactions: a molecular study. *Journal of molecular modeling*, 19(11), 4991-4996.
9. Góngora J. (2010). La cafeína como un fármaco preventivo de la enfermedad de Parkinson: evidencias epidemiológicas y sustrato experimental. *Rev Neurol*, 50 (4), 221-229.
10. IMSS. (2017). *Cuadro básico de medicamentos*.
11. Hohenberg, P., & Kohn, W. (1964). Inhomogeneous electron gas. *Physical review*, 136(3B), B864.
12. Kohn, W., & Sham, L. J. (1965). Self-consistent equations including exchange and correlation effects. *Physical review*, 140(4A), A1133.
13. Kohn, W., Becke, A. D., & Parr, R. G. (1996). Density functional theory of electronic structure. *The Journal of Physical Chemistry*, 100(31), 12974-12980.
14. Yu, H. S., Li, S. L., & Truhlar, D. G. (2016). Perspective: Kohn-Sham density functional theory descending a staircase. *The Journal of Chemical Physics*, 145(13), 130901.
15. Frisch M., Trucks G., Schlegel H., Scuseria G., et al. (2009) Gaussian 09, Revision C.01-SMP. Gaussian Inc.
16. Grimme, S. (2006). Semiempirical GGA-type density functional constructed with a long-range dispersion correction. *Journal of computational chemistry*, 27(15), 1787-1799.
17. Blase, X., Rubio, A., Louie, S. G., & Cohen, M. L. (1994). Stability and band gap constancy of boron nitride nanotubes. *EPL (Europhysics Letters)*, 28(5), 335.

EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DEL COLORANTE AZUL DIRECTO 71 UTILIZANDO UN COAGULANTE NATURAL DE *MORINGA OLEIFERA*

María Fe Altamirano Corona¹, Ruth Alfaro Cuevas Villanueva², Raúl Cortés Martínez³

Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Francisco J. Múgica S/N, C.P 58030, Morelia, Michoacán, México. altamirano.mafe@gmail.com

Posgrado de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Francisco J. Múgica S/N, C.P 58030, Morelia, Michoacán, México.

Facultad de Químico Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Tzintzuntzan 173 Col. Matamoros, C.P. 58240, Morelia, Michoacán, México.

RESUMEN

La investigación se basa en la evaluación de la eficiencia de remoción del colorante aniónico de uso textil; Azul Directo 71 (AD71). Su remoción se lleva a cabo mediante el proceso fisicoquímico de coagulación-floculación, utilizando un coagulante natural de semilla de *Moringa oleifera* extraído en solución simple (agua destilada) y salina ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). El experimento es simulado a escala laboratorio a través del procedimiento de la Prueba de Jarras.

Mediante los ensayos de coagulación se analiza la influencia de la dosis de coagulante y la concentración inicial de colorante, habiendo obtenido una dosis óptima de 50 mg/L con una remoción de 98.86% al cabo de 20 minutos de tratamiento y una mejor remoción de coloides a concentraciones de entre 100 y 200 mg/L. La utilización de esta semilla como coagulante natural para la remoción de colorantes azoicos puede constituir una alternativa a los coagulantes químicos comerciales o disminuir su cantidad, además su obtención es sencilla, económica y ambientalmente sostenible.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales que contienen colorantes generan importantes impactos ambientales entre los que destacan: bioacumulación de contaminantes tóxicos (algunos de ellos carcinógenos y mutágenos) en las redes tróficas de los ecosistemas acuáticos, inhibición de la actividad fotosintética y déficit del intercambio de oxígeno. En la actualidad, existen una gran cantidad de tecnologías de tratamiento para efluentes que contienen colorantes; sin embargo, no se ha logrado implementar un proceso que sea completamente sostenible desde el punto de vista económico, ambiental y técnico.

TEORÍA

La industria textil es considerada una de las industrias más contaminantes debido a los grandes volúmenes de agua potable que consume y a la compleja composición de sus aguas residuales, las cuales se caracterizan por poseer baja biodegradabilidad y fluctuaciones extremas en parámetros, tales como DQO, DBO, pH, color y salinidad [1]. Durante los últimos años, las

investigaciones se han centrado en remover y/o degradar los colorantes. Existe un gran número de métodos convencionales que involucran la decoloración, por ejemplo, fotocatalisis, oxidación química, electrocoagulación, tecnologías de membrana, intercambio iónico y recientemente los métodos enzimáticos [2]. Sin embargo, no existe un proceso único que sea completamente viable desde el punto de vista económico, técnico y ambiental.

El proceso de coagulación-floculación es ampliamente utilizado en la decoloración de efluentes debido a su fácil operación y bajo costo. Sin embargo, al aplicarlo en las aguas residuales textiles propicia la generación de grandes volúmenes de lodos y la decoloración ineficaz de algunos colorantes solubles [3]. En los últimos años, se ha investigado el uso de coagulantes de origen orgánico, los cuales, como es el caso de *M. oleifera* poseen una eficiencia comparable con coagulantes químicos como el sulfato de aluminio [4], ya que tienen una gran capacidad de producir flóculos densos y más fuertes, lo que les brinda excelentes características de sedimentación, además de una buena eficiencia a bajas temperaturas y variaciones de pH, no producen excesivas cantidades de lodos y destaca su fácil biodegradabilidad [5].

PARTE EXPERIMENTAL

Preparación del coagulante. Se prepararon dos tipos de coagulante a partir de la semilla de *Moringa* deshidratada, pelada y molida; en solución acuosa simple y solución salina. En el primer caso, se elaboró una disolución de 1 L de agua destilada con 10 g de polvo de semilla, la cual se centrifugó durante 30 minutos a 600 rpm, en el caso del extracto salino, se disolvieron 0.05 g de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ y se aforó a 1 L, en la disolución salina preparada se agregaron 10 g de semilla y se centrifugó por el mismo tiempo y velocidad, en ambos casos se obtuvo un líquido de aspecto lechoso que se almacenó a 4 °C durante el periodo de análisis.

Ensayos de coagulación-floculación. La cinética de remoción del colorante AD71, se analizó mediante la metodología de la Prueba de Jarras, sometiendo las muestras con una concentración de colorante de 100 mg/L a una agitación rápida (100 rpm) durante 1 min, seguido por 10 min de agitación lenta (30 rpm) y 50 min de sedimentación. La remoción de los colorantes se evaluó con el extracto salino (*Moringa*- $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) en un tiempo de contacto de 60 min con dosis variables de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 150 y 200 mg/L. Además, el coagulante anterior se comparó con el extracto de *Moringa* simple y el $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ por sí solo bajo la dosis óptima obtenida en el primer ensayo de coagulación (50 mg/L) y la misma concentración inicial de colorante (100 mg/L). Luego de los ensayos de coagulación variando la dosis de coagulante, se analizó el factor de la concentración inicial de colorante con concentraciones de AD71 de 50, 100, 150, 200 y 250 mg/L. La remoción de colorante en todos los experimentos se midió mediante espectroscopia UV/Vis a una longitud de onda de 590 nm, tomando alícuotas del sobrenadante cada 5 minutos.

RESULTADOS

El extracto salino fue evaluado a diferentes dosis, logrando un resultado muy similar al término del ensayo (60 minutos) con dosis de 10, 25, 50 y 100 mg/L, obteniendo un porcentaje de remoción de 98.45, 98.86, 99.92 y 98.29% respectivamente (Fig. 1). Como se muestra en la Figura 2, se realizó además una comparación del coagulante *Moringa*- $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, con el coagulante de *Moringa* simple, y el sulfato férrico por sí sólo. Los tres con una misma dosis de 50 mg/L, presentando una mayor eficiencia en el proceso cuando el coagulante se extrae en solución salina, ya que el

coagulante simple y el $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ solo alcanzan un porcentaje de remoción de 87.88 y 15.05% respectivamente.

El hecho de que el coagulante extraído en solución salina sea más eficiente puede atribuirse a la combinación de varios mecanismos de coagulación, propios de cada coagulante que ocurren de forma simultánea; adsorción, formación de micro-puentes y neutralización de cargas (coagulante natural) y atracción electrostática y formación de especies solubles hidrolizadas dependientes del pH (coagulante químico). Además, al combinar ambos coagulantes, la sal de hierro, que actúa como un electrolito en solución, aporta cargas positivas que desestabilizan y neutralizan los coloides negativos del colorante AD71 e incrementa la solubilidad de la proteína por el “efecto salino”, modificando así las propiedades cinéticas de la disolución electrolítica y a su vez incrementando la actividad de los iones primarios que pueden provocar la ruptura de proteína-proteína, proteína-polisacárido u otras asociaciones existentes en la semilla de *Moringa* dejando más expuestas las proteínas catiónicas con efecto coagulante.

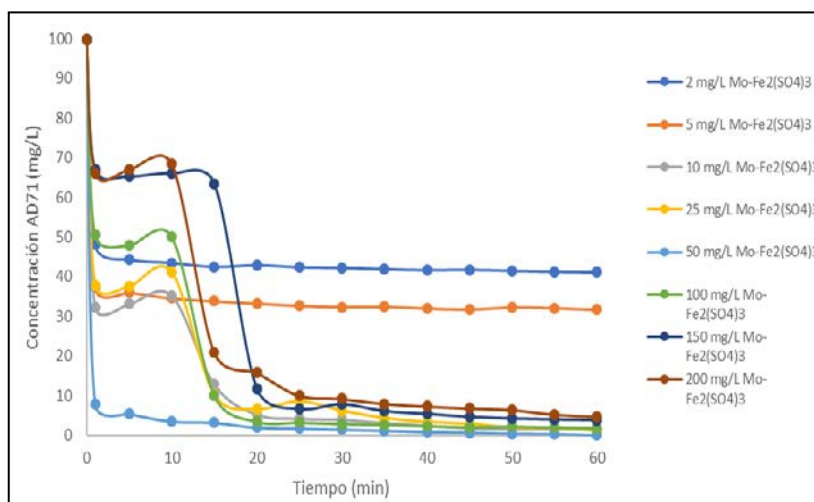


Figura 1. Cinética de remoción del colorante AD71 a dosis variables de coagulante *Moringa-Fe₂(SO₄)₃*.

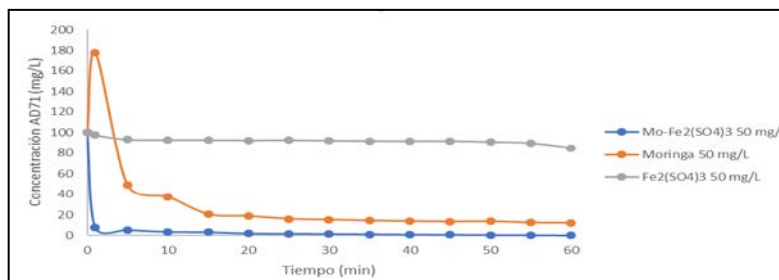


Figura 2. Cinética de remoción de AD71 con 3 tipos de coagulantes: *Moringa-Fe₂(SO₄)₃*, *Moringa* y *Fe₂(SO₄)₃*.

Cabe destacar que la apariencia de decoloración final bajo las cuatro dosis antes mencionadas resulta con una variación visual casi imperceptible (Fig. 3), sin embargo, la dosis de 50 mg/L logra llegar al equilibrio luego del primer minuto de mezclado rápido, lo cual significa, que se elimina del sobrenadante hasta un 92% en tan sólo 60 segundos, además, dicha dosis sobresale debido a las características de sus flóculos, cuyo tamaño y densidad son mayores (Fig. 4 y 5), permitiendo incrementar su velocidad de sedimentación y consiguiendo al término del proceso una mejor compactación que evita su fácil resuspensión.

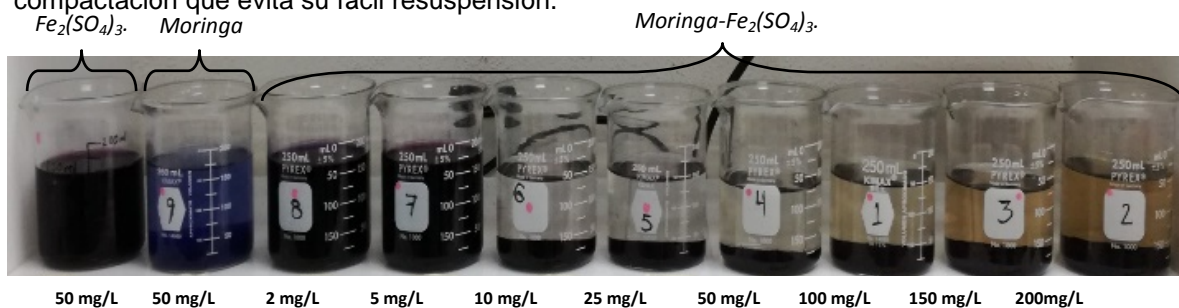


Figura 3. Remoción de colorante después del proceso de coagulación-floculación-sedimentación con diferentes dosis y tipos de coagulantes.

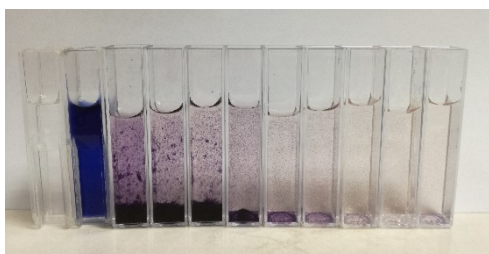


Figura 4. Cinética de remoción de AD71 con Moringa-Fe₂(SO₄)₃ a 50 mg/L.

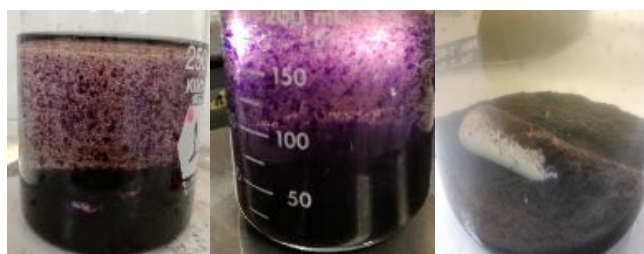


Figura 5. Apariencia de los flóculos y sedimento con Moringa-Fe₂(SO₄)₃ a 50 mg/L.

Por otra parte, como se muestra en la Figura 6, la concentración inicial de colorante AD71 fue variada, obteniendo una mayor remoción a concentraciones de 100 mg/L (99.92%), sin embargo, de acuerdo a lo reportado en la literatura, se esperarían mejores remociones de colorante a concentraciones mayores de este debido a que se reduce el espacio intermolecular e incrementa el movimiento browniano que facilitan la formación de flóculos, pero en los ensayos realizados se observa que existe una posible resuspensión de partículas coloidales y los flóculos que se forman a concentraciones mayores a 200 mg/L son débiles y se rompen incluso con el mezclado lento.

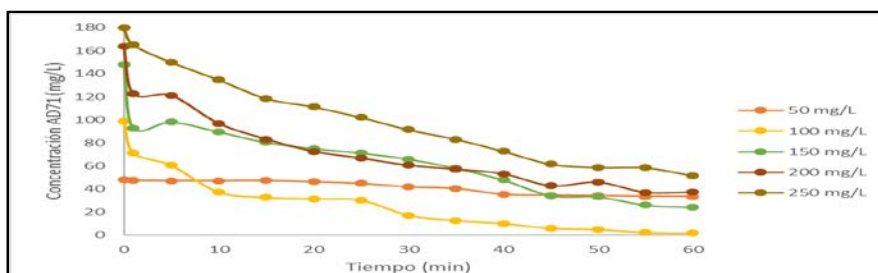


Figura 6. Cinética de remoción de AD71 a concentraciones variables de colorante.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los mecanismos de coagulación referidos en la literatura para *Moringa oleifera* cuando esta se utiliza en el tratamiento de aguas superficiales y residuales domésticas, y lo que se ha observado a lo largo de los distintos ensayos realizados en la presente investigación, se puede inferir que los mecanismos que predominan en la remoción, principalmente del colorante aniónico AD71, son la neutralización parcial de carga electrostática, y la adsorción y formación de micropuentes. En el caso de la neutralización de carga, esta ocurre de manera parcial y no total como ocurre en los coagulantes químicos, debido a que *Moringa oleifera*, además de ser considerada un polielectrolito, es también un polímero catiónico de cadena corta y de bajo peso molecular, por lo cual, desarrolla menos pérdida de carga cuando se encuentra en solución. La remoción de colorantes catiónicos podría resultar insuficiente, pero existen factores aún no estudiados como las variaciones de pH en función del punto isoeléctrico y el potencial zeta que podrían mejorar el proceso.

La utilización del extracto de *Moringa* como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales con colorantes puede constituir una alternativa a los coagulantes químicos comerciales o disminuir la cantidad requerida de estos, ya que es posible alcanzar eficiencias similares y su obtención es sencilla, económica y ambientalmente sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Solís, M., Gil, J. L., Solís, A., Pérez, H. I., Manjarrez, N. y Perdomo, M. "El proceso de sedimentación como una aplicación sencilla para reducir contaminantes en efluentes textiles". *Revista mexicana de ingeniería química*, 12(3), 585-594, 2013.
2. Cortázar A., González C., Coronel C., Escalante J., Castro J. y Villagómez J. "Biotecnología aplicada a la degradación de colorantes de la industria textil". *Universidad y Ciencia* 28(2):187-199, 2012.
3. Anjaneyulu Y., Sreedhara-Chary N. y Suman-Raj S. "Decolourization of industrial effluents – available methods and emerging technologies – a review". *Reviews in Environmental Science and Bio/ Technology*, 4: 245-273, 2005.
4. Feria D., Bermúdez R. y Estrada T. "Eficiencia de la semilla *Moringa Oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú". *Producción + Limpia* Vol.9, No.1, 9-22, 2014.

5. Renault, F., Sancey, B., Badot, P. M. y Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes—an eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45(5), 1337-1348, 2009.

ESTUDIO DEL TAMAÑO DE LA FIBRA DE TULE (TYPHA DOMINGUENSIS) ADICIONADA AL CONCRETO EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN.

Fabiola Erika Lugo del Angel, Eder Uzziel Pulido Barragan, Liz del Carmen Cruz Netro, Enrique Esteban Espinosa Sosa Rodolfo Barragán Ramírez, Rodolfo Garza Flores.

Universidad Politécnica de Altamira

Universidad Autónoma de Tamaulipas. fabiola.lugo@upalt.edu.mx

RESUMEN

Se preparó un material compuesto de fibra de tule (*Typha Dominguensis*) y concreto, donde las fibras presentaron una distribución aleatoria dentro del compuesto. Se estudió la influencia del tamaño y de la adición de fibras expresadas en porcentaje del peso total, en la resistencia a compresión y en la flexión, para ello la fibra recolectada se dejó secar al sol para posteriormente cortarla en trozos pequeños y molerla usando dos tipos de mallas (1 mm y 2 mm). Después de la molienda, se realizó un proceso de cribado utilizando tamices 16 y 40 de acuerdo a la norma ASTM E-11/95 (1.18 mm y 0.425 mm respectivamente), con la finalidad de homogeneizar el tamaño de la fibra. Para la prueba de compresión se elaboraron probetas cilíndricas de 5 cm de diámetro por 10 cm de altura, adicionando 3% en peso de la fibra de tule al concreto elaborado en una proporción 1:2 cemento: arena (cemento portland CPC 30R), con ensayos a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-155. Y obteniendo vigas de 5 cm x 5 cm x 20 cm para la prueba de flexión, con ensayos a los 7 y 28 días de acuerdo a la norma. Se determinó con qué tipo de malla mejoró, en mayor medida, la compresión y la flexión, comparadas con pruebas hechas a un concreto testigo.

INTRODUCCIÓN

Existe una gran cantidad de materiales utilizados en la industria de la construcción, pero el más usado a nivel mundial es el concreto hidráulico a base de cemento Portland. En esta industria es cada vez más común el uso de diferentes tipos de fibras, como lo son las fibras de acero, poliméricas e incluso fibras naturales. Esto con el objetivo de proporcionarle mejores propiedades mecánicas y/o térmicas, haciéndolos a la vez, más amigables con el medio ambiente, ya que al incrementarse el uso de materiales alternativos permite reducir la extracción y el uso de los materiales convencionales [1,2].

El hormigón o concreto es un material compuesto de partículas grandes formado por una matriz continua cementante que une a un agregado de partículas (agregado fino o arena, y agregado grueso o grava). La matriz cementante es la que otorga la resistencia mecánica y el agregado de partículas se usa para rellenar la mezcla otorgando volumen y siendo unido por la matriz cementante. [3]

Con anterioridad ya han sido utilizados diferentes tipos fibras naturales como refuerzo en el concreto, como las fibras de bagazo de caña, cascarilla de arroz, luffa, bambú, entre otras [4]. Pero hasta la fecha no se ha encontrado en la literatura el uso del Tule (*Typha Dominguensis*) como refuerzo al concreto/mortero. El tule es considerada como planta acuática invasiva o plaga por parte de la SEMARNAT, y en la zona conurbada del sur de Tamaulipas se presenta de manera cotidiana con estrago para los mantos acuíferos, ya que su tasa de reproducción es tan alta que ha llegado a abarcar toda el área que abarcan los cuerpos de agua como lagos, lagunas o humedales, que ha llegado a secarlos por completo, en detrimento de la flora y fauna acuática de la zona [5].

El tule es una planta con un potencial muy alto para ser utilizado como refuerzo al concreto, ya que se ha demostrado que como refuerzo a diferentes tipos de polímeros aumenta propiedades como compresión y flexión. Aunado a eso se cuenta con un fácil acceso a la planta y no se consideraría su uso como un daño a al medio ambiente ya que el gobierno invierte en dragar enormes cantidades de tule para evitar que abarque por lo completo la extensión de diversos cuerpos acuáticos.

PARTE EXPERIMENTAL

El tule fue recolectado de diversos cuerpos de agua en la zona de Altamira Tamaulipas, se corta en secciones de aproximadamente una pulgada y se deja secar a temperatura ambiente hasta que pierde toda su humedad. Una vez completamente seco, es triturado en molinos con diferentes tamaños de criba, así se obtienen fibras con características distintas.

Posterior al triturado se lleva a cabo un cribado utilizando tamices 16 y 40 (ASTM E-11/95, 1.18 mm y 0.425 mm respectivamente) para homogenizar la granulometría obtenida. Esto con el objetivo de poder analizar si existe una relación entre el tamaño de la fibra y influencia generada en las propiedades mecánicas de la muestra.

Se elaboraron mezclas en proporción 1:2 (1 cemento : 2 arena) con relación agua/cemento $R_{a/c} = 0.625$, utilizando cemento Portland CPC-30R, que es el que comúnmente se maneja dentro de la industria de la construcción. Las dosificaciones de las mezclas fueron las siguientes:

Dosificación N° 1. Cemento, arena, agua. (TESTIGO)

Dosificación N° 2. Cemento, arena, agua y 3 % de tule graduado por malla N° 16 (TAMIZ 16)

Dosificación N° 3. Cemento, arena agua y 3 % de tule graduado por malla N° 40 (TAMIZ 40)

Los valores específicos con los que fueron elaboradas las dosificaciones se muestran en la Tabla 1.

Los materiales fueron mezclados de forma homogénea y controlado en peso para asegurar la igualdad de condiciones en los especímenes. Se determinó el contenido de humedad al tule antes de mezclarlo y a las mezclas en general, de igual forma se determinó la masa volumétrica antes y después del fraguado, contracción volumétrica lineal y diametral, porcentaje de absorción y resistencia a la flexión.

Tabla 1. Dosificación de las mezclas.

Dosificación	Cemento (g)	Arena (g)	Agua (cm ³)	Tule	Peso Volumétrico γ_s Ton/m ³
1	2160	4752	1350	---	2.143
2	2160	4752	1350	248	1.815
3	2160	4752	1350	248	1.887

Con las diferentes dosificaciones se elaboraron vigas de 2" x 2" x 8", las cuales fueron ensayadas a los 7 y 14 días (por duplicado) después de la elaboración de las mezclas. Antes de ser ensayadas las vigas fueron pesadas para determinar su densidad.

RESULTADOS

Se determinaron las propiedades físicas del Tule, las cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físicas del Tule (Typha Dominguensis).

Descripción	Valores
Peso Volumétrico en estado semicompacto	195 kg/m ³
Peso Volumétrico en estado compacto	210 kg/m ³
Humedad	10.8 %

*El tule tuvo un proceso de secado de 72 horas a temperatura constante de 40° C.

Todas las vigas fueron ensayadas en las mismas condiciones, con temperaturas promedio de 27 °C y con una humedad relativa del 70 %. Cada una de las vigas fueron pesadas antes de ensayarse para determinar densidades, ya que existen pequeñas variaciones después del fraguado debido a que la mezcla del mortero pierde humedad, este mismo fenómeno se comporta de manera distinta en las vigas que cuenta con fibras de tule.

La densidad de las vigas de concreto con fibras de tule disminuyó en un 24 y 26 % con los tamices 16 y 40 respectivamente. Presentan una variación significativa con respecto al testigo con tan solo 3% en peso de fibra de tule que se añadió. El cambio tan drástico presentado en esta propiedad,

invariablemente repercute en las propiedades mecánicas del material, lo que se ve reflejado en los ensayos de flexión.

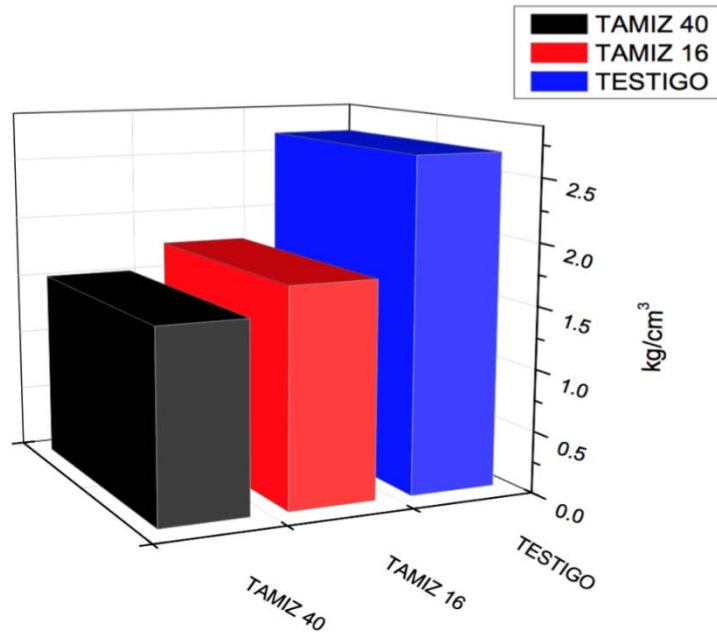


Figura 1. Densidad promedio de las vigas.

Los ensayos de flexión se realizaron en una Máquina Universal marca FORNEY modelo LT-1150, la cual cuenta con diferentes rangos de capacidad de carga utilizándose en este caso el de 30,000 kg con apreciación mínima de 50 kg, un marco de carga marca ALCON con capacidad de 4.5 ton. con apreciación de 5 kg y un marco de carga SOILTEST con capacidad de 3 ton con una resolución de 4.6 kg.

Los ensayos se realizaron los días 7 y 14. Los resultados de los ensayos de flexión se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de Ensayos de Flexión.

Muestra	Espécimen	Edad	Carga (kg)	Esfuerzo de Flexión kg/cm ²
TESTIGO	1	7	325.5	39.06
	2	7	334.8	40.18
	7	14	455.7	54.68

	8	14	457.3	54.87
TAMIZ 16	3	7	73.92	8.87
	4	7	73.90	8.86
	9	14	134.85	16.18
	10	14	134.81	16.17
TAMIZ 40	5	7	18.61	2.23
	6	7	18.73	2.24
	11	14	41.85	5.02
	12	14	41.21	4.94

Con base en los resultados obtenidos en el esfuerzo a la flexión, se convirtieron los datos para determinar la presión máxima soportada por las vigas, la cual se muestra en la Figura 2.

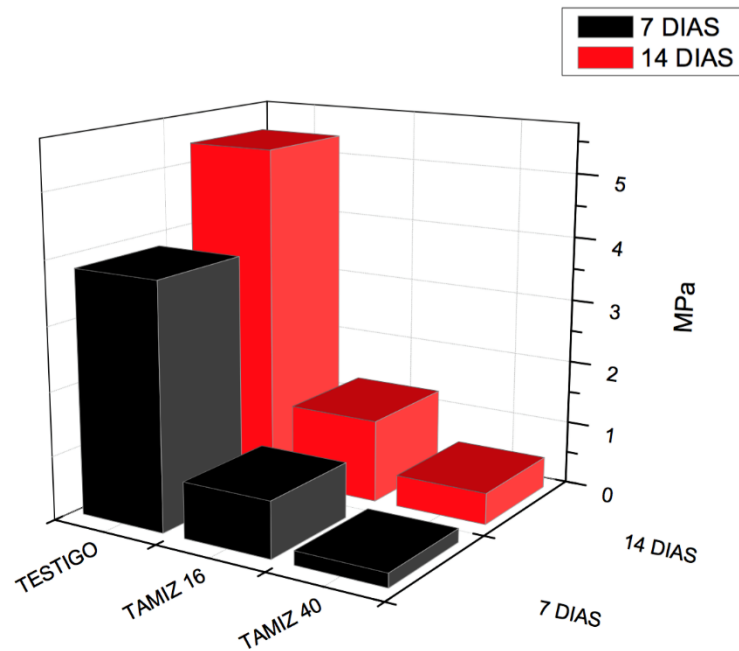


Figura 2. Gráfica de Ensayos de Flexión

La resistencia a la flexión se vio disminuida drásticamente con la adición de la fibra, esto se debe principalmente al tiempo de fraguado, ya que los especímenes con contienen tule tardaron mas del doble del tiempo en fraguar, esto debido a que la fibra absorbe la humedad, y mientras mas tarde una viga en fraguar es mayor el tiempo que debe transcurrir para que muestre las propiedades idóneas que le otorga el concreto. Esto se aprecia al analizar el incremento entre los días 7 y 14 de las muestras con fibra, ya que se registró un aumento superior al 50 %, dicho comportamiento se presenta en la muestra testigo durante los primeros 3 días después de su elaboración, hasta alcanzar su máxima resistencia y estabilizarse entre los días 14 y 28. Dicho esto, se espera que se incremente considerablemente la resistencia a la flexión, lo cual será el evaluado en un ensayos futuros al día 28 de su elaboración.

CONCLUSIONES

La resistencia a la flexión soportada por las vigas con fibra de tule, se vio disminuida considerablemente con respecto a la muestra testigo. Se asume este comportamiento a que tardó más tiempo en fraguar, y este fenómeno es considerado fundamental para que un concreto/mortero presente las propiedades mecánicas idóneas. Al tardar más tiempo en secarse completamente las propiedades reflejadas en los ensayos fueron bajas.

Se espera que al pasar el tiempo siga aumentando la resistencia a la flexión de las vigas con fibras de tule, debido a que el incremento presentado entre los días 7 y 14 es bastante pronunciado, lo que indica una tendencia a la alza, fenómeno que no se presentará en la muestra testigo, ya que está reportado que entre los días 14 y 28 el concreto/mortero presenta una estabilidad en sus propiedades. Esto se corroborará en ensayos a los 28 días que ya se encuentran programados.

Se aprecia una variación significativa de acuerdo al tamaño de fibra añadido, mientras menor sea el tamaño de fibra, menor es la resistencia a la flexión presentada en el ensayo. Se propone realizar experimentación en la misma concentración de fibra pero con diferentes tamices mayores, para identificar a que tamaño de fibra proporciona un mejor comportamiento mecánico, para después modificar la proporción de la fibra para encontrar las condiciones ideales para incrementar la resistencia a la flexión en vigas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Robayo R., Matthey P., Delvasto S., *Revista de la Construcción*. Vol. 12, Num 2, 2013. pp 139 – 151.
2. Agarwal A., Nanda B, Maity D. *Construction and Building Materials*. Vol 71. 2014. pp 610-617.
3. Osorio J., Varón F., Herrera J. *Dyna*. Vol. 74, Num. 153, 2007. pp 69 – 79.
4. Martínez G., Martínez M., Martínez E. Vol. 24, Num 4, 2013. pp 67 – 74.
5. Pulido E., Morales A., Zamudio M., Lugo F. *Revista Energía Química y Física*. Vol. 3, Num. 6, 2016. pp 31 – 38.

SÍNTESIS DE PELÍCULAS DE QUITOSANO PARA SU APLICACIÓN EN LA REGENERACIÓN CELULAR

M. E. Calixto-Olalde, S.F. Bustos-Vázquez

Ingeniería en Materiales, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

RESUMEN

El quitosano es un biopolímero con una gran versatilidad en sus aplicaciones; celdas de combustible, adsorción de metales, empaques para alimentos y en medicina como biomaterial que favorece el crecimiento de tejidos debido a sus propiedades regenerativas y antiinflamatorias, además de capacidad filmogénica. Sin embargo, las películas de quitosano puro presentan una gran fragilidad y baja elasticidad. El objetivo de este proyecto fue modificar su fragilidad mediante la incorporación de plastificantes; polialcohol vinílico y glicerina, para incrementar su elasticidad y constituir una película que posea características similares al tejido humano, piel. Las películas fueron preparadas mediante el mezclado en diferentes cantidades de quitosano, polialcohol vinílico y glicerina; 0.5, 1 y 1.25% peso para el quitosano, 1 y 1.5% peso para el polialcohol vinílico y la glicerina de 2, 3.5, 5 y 7% peso. La agitación mecánica fue a 400 rpm. La solución fue vaciada en cajas Petri y secadas a 29°C por 24 h. Una semana más se dejó a temperatura ambiente para su completo secado. Los resultados obtenidos muestran películas homogéneas bajo las condiciones de mezclado y secado establecidas, se encontró que el incremento en la temperatura de secado origina la segregación de la glicerina. Para valores de glicerina mayores a 5% peso las películas se deshacían fácilmente, y para valores mayores de 1% peso de quitosano la película presenta una mayor rigidez. Los resultados parciales muestran que para una composición de quitosano 1%, polialcohol vinílico 1% y glicerina 5% peso, presentan una mayor flexibilidad, elasticidad. El análisis por TGA presenta un comportamiento térmico que se atribuye a un buen mezclado de los componentes.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en el área de ingeniería de los biomateriales se han desarrollado diferentes investigaciones, entre las que destaca el desarrollo de películas poliméricas en usos médicos; como es la utilización de apósitos para la recuperación de tejido dañado. El tratamiento más común es uso de injertos de piel, sin embargo, estos injertos tienen diferentes problemas como el cambio de color de la piel, superficie de piel desigual, reducción, pérdida o aumento de la sensibilidad cutánea, etc. Es por eso que se han llevado investigaciones de alguna alternativa con mayor disponibilidad y con propiedades similares a la piel natural dando como resultado el uso de materiales biosintéticos. La obtención de piel artificial ha cobrado gran importancia ya que ha demostrado ser una de las mejores alternativas de tratamiento para la regeneración de piel permitiendo mejorar la calidad de vida tanto en lo estético como en lo funcional de los pacientes tratados, el alto costo de los productos disponibles a nivel internacional limita su utilización. Se ha encontrado que el quitosano posee una excelente actividad antimicrobiana, es muy conocido por sus excelentes propiedades fílmicas pues la película hecha a partir de este biopolímero muestran dureza, y transparencia, además de ser resistente a grasas y aceites y que actualmente está siendo utilizado como agente cicatrizante en quemaduras y sistemas liberadores de fármacos.[1]. Una desventaja de la formación de películas puras de quitosano es la rigidez que estas presentan y las cuales no son apropiadas para la aplicación que se requiere utilizar, por lo cual es necesario la presencia de un plastificante. Los plastificantes o agentes plastificantes se

añaden a los polímeros para mejorar la fluidez, y por ende su facilidad en el procesado, y para reducir la fragilidad del producto. Los requisitos básicos que un plastificante debe cumplir son la compatibilidad y la permanencia. El plastificante debe ser miscible con el polímero, esto implica una similitud de las fuerzas intermoleculares activas en los dos componentes. [4]. La glicerina o glicerol es el plastificante más utilizado debido a su buena eficiencia de plastificación y a su amplia disponibilidad, así como su bajo precio. En estudios realizados, se ha considerado un muy buen plastificante debido a que reduce las fuerzas intermoleculares incrementando la movilidad de la cadena del biopolímero y por su habilidad de reducir la energía superficial en soluciones acuosas, el grupo funcional –OH influye en estas propiedades, de igual manera se ha encontrado que posee propiedades regenerativas sobre el tejido. [4]. El Polialcohol vinílico (PVA), es un polímero considerado como inocuo, plastificante y surfactant, un polímero sintético cristalino soluble en agua. Este polímero ha sido extensamente utilizado en la preparación de mezclas y compuestos con varios polímeros renovables, además se lo ha estudiado por sus interesantes propiedades físicas, las cuales surgen por la presencia de grupos OH y su formación de puentes de hidrógeno. Entre las propiedades físicas de consideración que brinda el alcohol polivinílico se encuentran la resistencia a la tracción y la fácil formación de películas. Así también, es biocompatible, no tóxico y biodegradable. [2]

Es por ello que con la presente investigación busca sintetizar y caracterizar una película que cuente con elementos biodegradables y no dañinos para la salud y que al mismo tiempo presente una actividad antibacteriana, ayude a la rápida regeneración del tejido y se asemeje a la piel humana, es decir no solo una película sintética que cubra la herida, si no que al mismo tiempo ayude a sanar la misma.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la obtención de películas biodegradables, el trabajo experimental se lo dividió en tres partes. La primera que consta del mezclado de los 3 principales elementos, que es el quitosano, la glicerina y el polialcohol vinílico, la segunda es la obtención propiamente de las películas biodegradables utilizando el método de evaporación lenta o “casting” y la tercera es la evaluación de las propiedades mecánicas de las películas biodegradables.

Material

Para la preparación de las biopelículas se utilizó quitosano de bajo peso molecular (Sigma Aldrich), alcohol poli vinílico con un grado de hidrólisis del 99% (Sigma Aldrich), ácido acético concentrado al 99% (Sigma Aldrich) y glicerina de grado commercial y agua tridestilada.

Preparación de las biopelículas

En un matraz de tres bocas, se colocan 137 ml de agua tridestilada y 62.5 ml de solución, previamente disuelto en agua a 80°C durante una hora la cantidad de PVA es equivalente al 1 y 1.5%, porcentajes utilizados en la película, seguido de esto se adiciona una cantidad de ácido acético para tener una concentración del ácido del 2%. La mezcla se agita a 300 rpm, durante dos minutos para homogenizarla, después de éste tiempo se agrega el quitosano de manera gradual en el matraz y se suben las revoluciones a 350. El quitosano es incorporado en un porcentaje de; 0.5, 1 y 1.25 % peso/volumen. Después de media hora de agitación se incorpora la glicerina, ésta se utilizó en porcentajes de 2, 3.5, 5 y 7%. El secado de las películas se realizó en una incubadora a 28°C durante 24h, utilizando el método de evaporación lenta o “casting”

Caracterización

A las películas biodegradables obtenidas se les evaluó el efecto de la composición sobre la deformación de las películas. Se utilizó una máquina universal SHIMATSU de una tonelada (AGS-X 10KN) a temperatura ambiente con una longitud de calibre de 100mm y con una velocidad de 1mm/min. Las pruebas se realizaron bajo la norma ISO 527-1:1993.

La probeta se realizó acorde a la Figura. 1

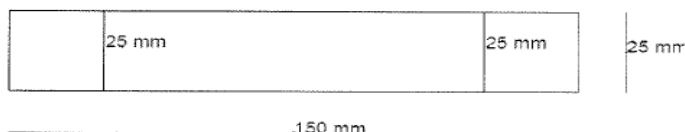


Figura 1: Dimensiones de la probeta para el ensayo de tensión

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El principal hallazgo de este trabajo fue establecer las condiciones de preparación y secado de las películas de QT/PVA/G. La temperatura de secado fue una variable crítica del proceso de síntesis. Se evaluaron diferentes temperaturas de secado y a temperatura ambiente. A temperaturas por arriba de 30°C, la glicerina es segregada de la película (Figura 2) y es muy frágil, a temperatura ambiente el tiempo de secado se incrementa significativamente por más de una semana. Después de varias pruebas se estableció la temperatura de secado a 28°C, a la cual se reduce el tiempo de secado y evita la segregación de la glicerina. Otra de las variables modificadas durante la preparación de las películas fue la velocidad de agitación la cual era de 1500 rpm, lo que provocaba la formación de una gran cantidad de burbujas (Figura 3), como resultado de la presencia del PVA el cual tiene propiedades surfactantes y hace que se generen una gran cantidad de espuma a altas revoluciones, a pesar del reposo que se le daba a la solución antes de su vaciada, finalmente se estableció la velocidad de agitación en 350 rpm. Las burbujas afectan la respuesta mecánica del material.

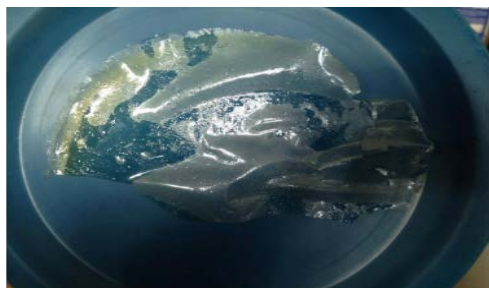


Figura 2: Segregación de glicerina a $T > 30^\circ\text{C}$.

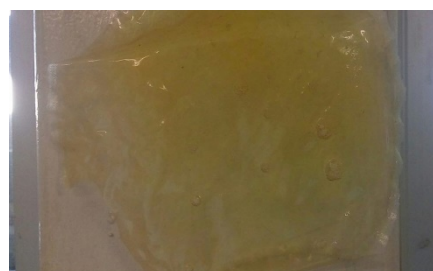


Figura 3 Película con defectos de burbujas ocasionados por el PVA a 1500 rpm.

Caracterización mecánica

La celda de carga utilizada fue de 10 KN, lo cual resultó ser poco adecuado para evaluar el módulo de todas las mezclas QT/PVA/G, ya que sólo fue posible realizarlo para las muestras de QT/PVA. Sin embargo para cada muestra fue determinado el % deformación. Para las muestras QT/PVA, el módulo se incrementa con el aumento del QT, siendo más significativo este incremento cuando el PVA va de 1 a 1.5%, el módulo va de 42120 a 80058 MPa, (Figura 4) respectivamente, lo cual se

considera es el resultado del mezclado e interacción entre ambos polímeros a través de sus grupos -OH del PVA y -NH₂, para el quitosano. El porcentaje de deformación es mayor para porcentajes de PVA del 1%.

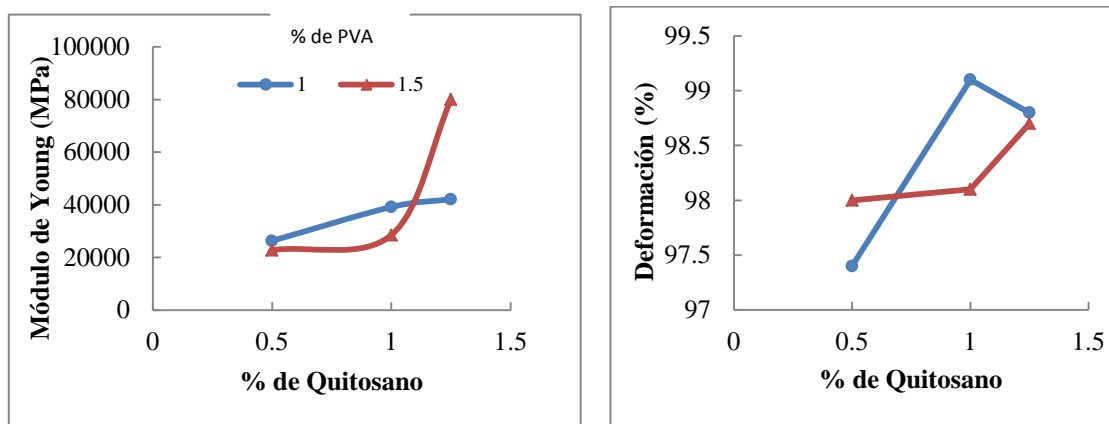


Figura 4. Resultados de pruebas mecánicas para la mezcla QT/PVA, para diferentes contenidos de PVA (1 v 1.5%). A) Módulo de Younga v b) Deformación (%)

Así mismo, para la mezclas QT/PVA, se determinó el efecto de la glicerina sobre la deformación obtenida. Como recordaremos la glicerina se varió de 2, 3.5, 5 y 7%. La deformación se incrementa conforme se incrementa el porcentaje de glicerina, cuando el PVA se mantiene en 1%. Excepto para 7%, ya que a esta concentración de glicerina, la película es difícil de manipular y se fragiliza mucho más. Por lo cual, para PVA al 1%, la glicerina es adecuada hasta un 5%.

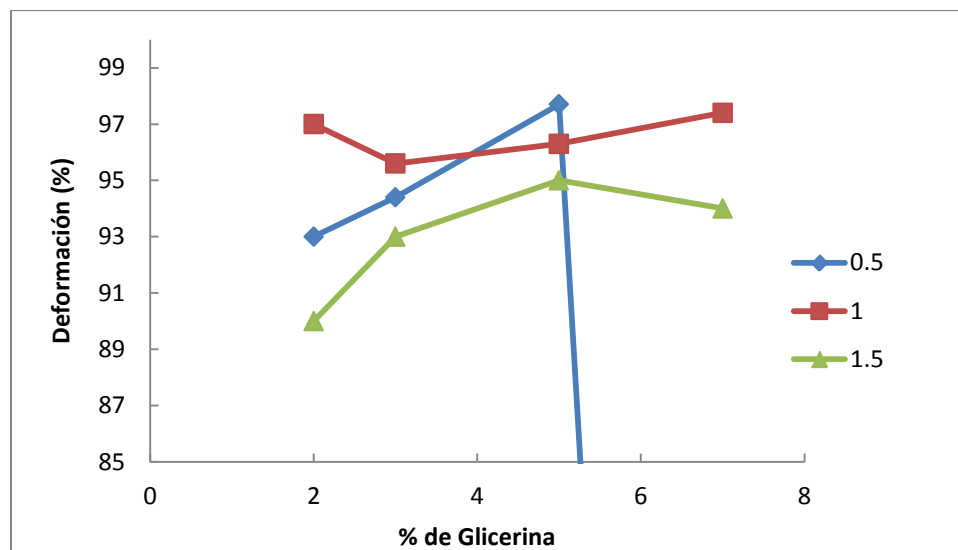


Figura 5. Efecto del contenido de glicerina sobre el porcentaje de deformación de las películas de QT/PVA/G para diferentes porcentajes de quitosano y PVA fijó en 1%..

Para cuando el PVA se incrementa al 1.5% la tendencia es diferente, se obtiene fácil manipulación de la película hasta 2% de glicerina únicamente y con valores de quitosano no mayores del 1%.

CONCLUSIONES

Las propiedades de las películas de Q/PVA/G dependen de sus condiciones de mezclado y secado. El secado influye de manera muy importante en la segregación de la glicerina, más aun que la velocidad de agitación. El análisis de los resultados permite establecer que se obtienen una película más flexible para PVA en 1%, Quitosano 1% y glicerina en 5%. Sin embargo, el PVA como plastificante funciona mucho mejor que la glicerina, es importante recordar que la aplicación propuesta para este tipo de material es como piel sintética y conforme a otras publicaciones se ha encontrado que la glicerina tiene efecto también sobre la regeneración celular.

RECONOCIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Irapuato por el apoyo brindado para la realización del presente proyecto y presentación del mismo

BIBLIOGRAFÍA

1. Quintero, C. Juan.I; Falguera, Victor.II; Munoz, H. Aldemar.I. Películas y recubrimientos comestibles. 2011.
2. Rodríguez García Aída. Elaboración de biopelículas a base de quitosano y pululano. 2006.
3. Vanegas Hinojosa María Gabriela. Obtención de películas biodegradables a partir de mezclas de quitosano. 2009.
4. G.Hernández Olivares Gabriel. Plastificantes en la utilización de Biopolimeros.2006
5. A. Chávez Huerta , Colina Rincón M, Valbuena Inciarte A. C, Adriana López. (2012) *Obtención y caracterización de películas de quitosano elaborado a partir de los desechos de la industria cangrejera*. Revista Iberoamericana de Polímeros. 13(3), 77-88.

ESTUDIO CINÉTICO DE LA DESTRUCCIÓN DE CIANURO DE POTASIO CON MATERIALES MESOPOROSOS POLIAMINOFUNCIONALIZADOS

Ma. Mercedes Salazar Hernández, Enrique Elorza Rodríguez, Martín Caudillo González, María Jesus Puy Alquiza, García Pichardo Lizareli Monserrat, Christian Iván Mercado Morfin, Fernando Emmanuel Arenas Amador.

División de Ciencias e ingenierías, Universidad de Guanajuato; *merce@ugto.mx

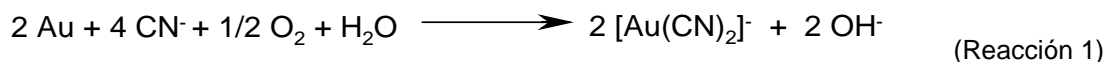
Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato del IPN

RESUMEN

El presente trabajo muestra el estudio cinético de la destrucción de cianuro en soluciones sintéticas de kcn de 50 ppm con materiales mesoporosos de sílice poliaminofuncionalizados de bajo costo, obtenidos a partir de ácido silícico. Estos materiales mostraron una capacidad de destrucción del cianuro en un 82.8% a los quince minutos de contacto. El análisis cinético de los datos experimentales se ajustó a un modelo cinético de primer orden con una constante de velocidad de 0.098 min. Se observó una buena correlación a dicho modelo al evaluar el tiempo de vida media, obteniéndose un tiempo de vida media de 7.1 min de acuerdo al modelo y un tiempo de vida media experimental de 7.5 min, la correlación entre estos valores sugiere la concordancia del modelo cinético utilizado.

INTRODUCCIÓN

Los principales métodos para el beneficio-extracción de oro y/o plata de sus menas son la flotación y la cianuración. En general los esquemas de flotación son utilizados para el beneficio de oro nativo y son relativamente simples; este proceso incluye etapas como: a) molienda en presencia de un promotor (A-404, A-31), b) acondicionamiento por espacio de 5 a 10 minutos con 50-300 g/ton de CuSO_4 , c) flotación a 35-40% de sólidos en peso en presencia de 25-50 g/ton de xantato amílico de potasio (XAP) y 60 g/ton de espumante. El CuSO_4 usado durante la flotación de oro libre, puede aumentar la recuperación del metal, reactivando aquellas partículas que se encuentran empañadas o bien estabilizando la espuma de manera que el oro acarreado entre los intersticios de burbujas no se pierda al emerger éstas a la interface líquido-aire [1-8]. El segundo proceso y el más utilizado en México y en la mayor parte del mundo para la extracción del oro y la plata de sus menas; es el llamado **proceso de cianuración**; la viabilidad de la disolución del oro y plata por cianuro fue primeramente demostrada por Forrest y MacArthur [4,5]. Este proceso es relativamente simple y económico, consiste únicamente en colocar durante un tiempo determinado (hasta 72 h), la mena en contacto con una disolución básica de NaCN en presencia de O_2 , que puede provenir de un sistema simple de aireación. La disolución del metal puede expresarse de acuerdo a la Reacción 1.



Aunque se busca que los procesos de cianuración trabajen en un esquema de cero descargas, las colas de estos procesos son común mente desechadas en presas de jales, para su desecho en dichas presas deben pasar por un proceso de destrucción del cianuro libre y de los complejos Metal-Cianuro presentes en dichos efluentes. En este sentido los procesos de destrucción del cianuro en estos efluentes involucran oxidantes fuertes tales como cloro, ozono, SO₂, y peróxido de hidrógeno entre otros. [9-14]. El proceso de destrucción de cianuro que se utilice en estos procesos, depende de diversos factores como son las regulaciones ambientales del país que obliga a ciertas concentraciones máximas en las colas, la composición química del efluente que involucra tanto cianuro libre como cianuro acomplejado y el consumo del reactivo oxidante a utilizar [9-14].

Los procesos común mente utilizados en la industria (oxidación con oxidantes fuertes) permiten la destrucción del cianuro libre y cianuro WAD (que se refiere al cianuro complejado con iones metálicos que generan complejos lábiles, tales como la Ag, Cu, Cg, Hg, Ni y Zn) sin embargo solo en alguno de estos procesos se permite la precipitación de los complejos de Fe-CN. En este sentido se han propuesto algunas otras alternativas como son el uso de foto-catalizadores como la titania o titania soportada en silice para la destrucción de estos complejos, cianuro WAS y cianuro libre [12,13]. Una de las desventajas de estas reacciones es el hecho de que en todos los casos se requiere de un exceso del oxidante para la destrucción cuantitativa del cianuro. En este sentido, la búsqueda de sistemas eficaces que permitan la destrucción de este reactivo es de interés para esta industria.

Recientemente Arenas y col. reportaron la destrucción de cianuro simultánea en el proceso de adsorción de Cu(I) en efluentes de cianuración con alto contenido de cobre con materiales mesoporosos poliaminofuncionalizados de silice (UGM-triamin) (Figura 1)[15]. En estos trabajos, se observó la destrucción cualitativa del cianuro libre y cianuro-WAD, por lo que estos resultados podrían sugerir a este material como un nuevo agente de destrucción de cianuro en estos sistemas.

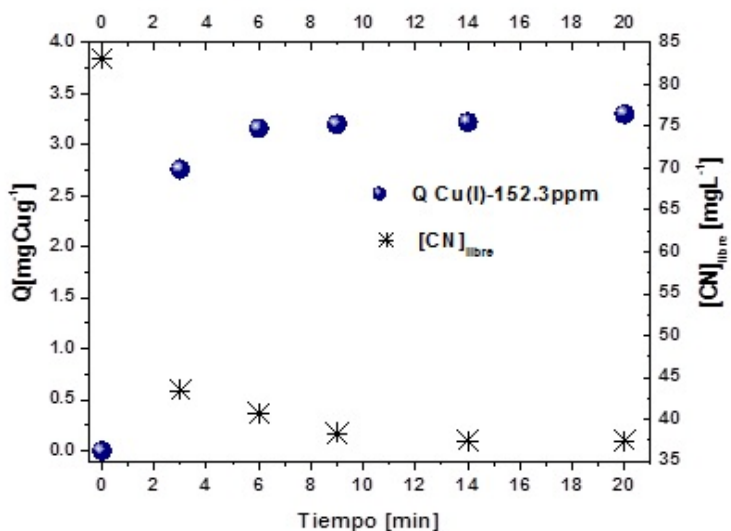


Figura 1. Cinética de adsorción de Cu(I) y destrucción del cianuro libre en una solución sintética de CuCN con una concentración inicial de 152.3 ppm de Cu(I) con la UGM-triamin [15].

El presente trabajo, muestra el estudio cinético de la destrucción de KCN con materiales poliamino funcionalizados sílice, como un estudio para evaluar la capacidad de destrucción de cianuro de estos materiales.

PARTE EXPERIMENTAL

Todos los reactivos utilizados en este trabajo fueron grado reactivo. La síntesis de la sílice mesoporosa poliamino funcionalizada, se realizó mediante la metodología del tamiz molecular utilizando Pluronic P-123 como director de estructura y silicato de sodio como precursor de sílice bajo la metodología que a continuación se expone.

Síntesis de la sílice mesoporosa (MS)

Se hacen pasar 100mL de silicato de sodio al 25% en V a través de una columna de intercambio iónico, el sistema se eluye con agua desionizada y se recolecta la fracción ácida a pH de 2-3 que corresponde al $\text{Si}(\text{OH})_4$ generado; la disolución del ácido silícico obtenida es añejada por 24 h. Después del añejamiento el sistema es mezclado en una relación de volumen 2:1 $\text{Si}(\text{OH})_4$:P-123 y colocado a reflujo a una temperatura entre 50-70 °C. El sólido obtenido es filtrado y lavado con etanol y secado en la estufa a 90°C por 12h, para posteriormente ser calcinado a 600°C por 1h.

Síntesis de la MS-triamin

La modificación de la sílica mesoporosa se realizó mediante técnicas de post-síntesis utilizando como precursor del grupo orgánico el N¹-propildietilentriaminotrimetoxisilano. Se coloca bajo reflujo una mezcla de 83.33 mmol de la MS con 16.66 mmol de la N¹-propildietilentriaminotrimetoxisilano utilizando 0.5 mL de NH_4OH como catalizador de condensación por 24 h, el sólido resultante se filtra y lava con etanol para posteriormente ser secado a 90°C por 12 h.

Estudios cinéticos de destrucción de KCN

Los estudios cinéticos de la destrucción de KCN, se evaluaron determinando la concentración del CN⁻ residual en la disolución a 2, 6, 8, 15 y 20 minutos de contacto. Se colocó 0.1 gr del material (MS-triamin) con 10 ml de KCN a 50 ppm de CN⁻. La concentración del cianuro en la solución se determinó por titulación volumétrica con nitrato de plata utilizando rodamina como indicador para el punto final de la titulación

RESULTADOS

La Figura 2, muestra la caracterización por FTIR de la MS obtenida y de la sílice modificada con los grupos triamino funcionales, ambas sílicas presentan las vibraciones de la red a 1037-1096, 956 y 793 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones $\nu\text{Si-O-Si}$, $\delta\text{Si-OH}$, $\delta\text{Si-O-Si}$ respectivamente, las vibraciones correspondientes a la materia orgánica que se observan en los intervalos de 2968.9-2857 y 1570-1418 cm^{-1} que corresponden a las vibraciones $\nu\text{C-H}$, $\delta\text{C-H}$, estas señales demuestran la modificación de la matriz con los grupos triamino.

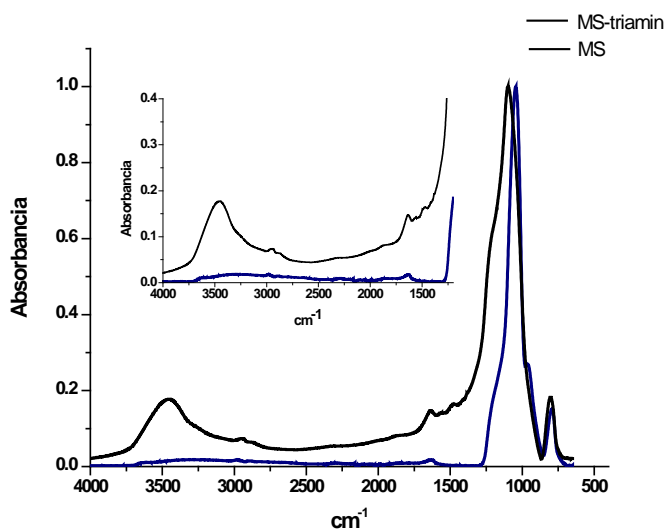
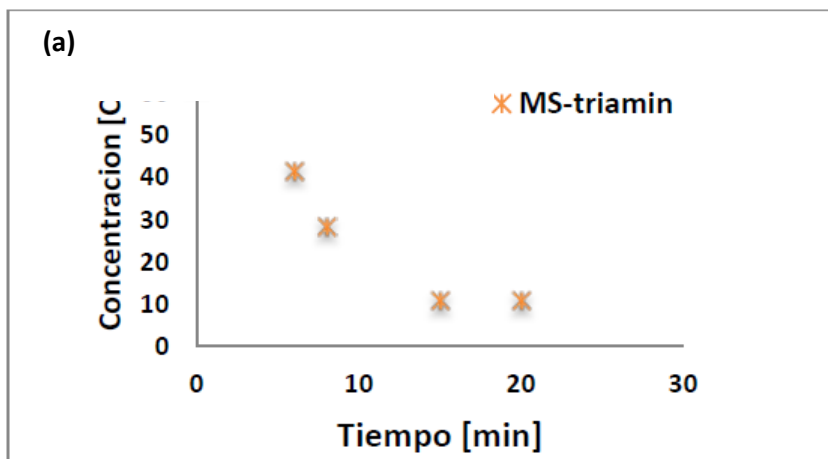


Figura 2. Espectros de FTIR de la MS y la MS-triamin.

La Figura 3a, muestra la cinética de destrucción de KCN con la MS-triamin, observándose la caída de la concentración del cianuro en un 83 % en los primeros 15 minutos de contacto, manteniéndose constante está a tiempos superiores. El ajuste de los datos experimentales al modelo cinético de primer orden de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2, se muestra en la Figura 3b, mostrándose una constante cinética de 0.098 min^{-1} .

$$-\frac{d[CN^-]}{dt} = K[CN^-] \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\frac{\ln[CN^-]}{[CN^-]_0} = -Kt \quad \text{Ecuación 2}$$



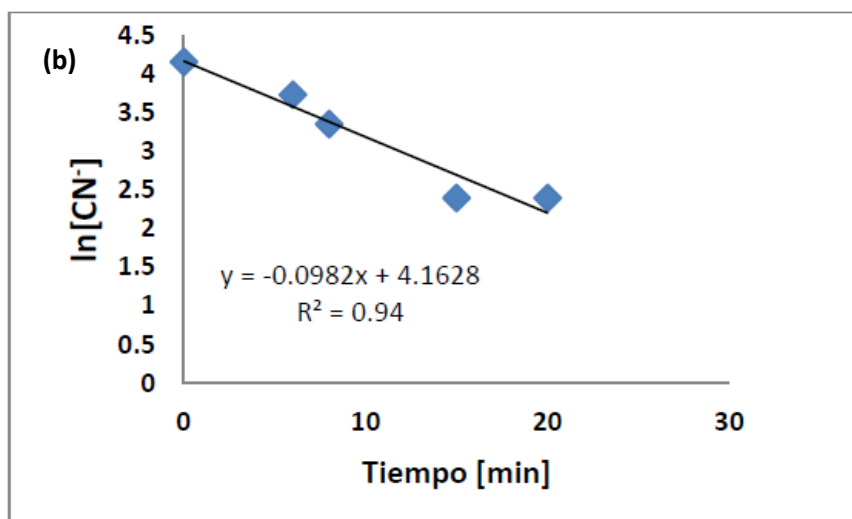


Figura 3. Cinética de destrucción del KCN con la MS-triamin (a) y Ajuste de los datos cinéticos al modelo de primer orden (b).

La caracterización del producto de la destrucción de cianuro, se evaluó mediante espectroscopia FTIR, una vez evaporada el agua de la disolución de KCN tratada por 20 min con la MS-triamin, el espectro de FTIR del producto de destrucción, confirma la ausencia de la señal $\nu\text{C-N}$ a 2080 cm^{-1} , confirmando la destrucción de este, la banda ancha 1200 cm^{-1} , sugiere la presencia de carbonato en el sistema, sugiriéndose la mineralización total del cianuro (Figura 4).

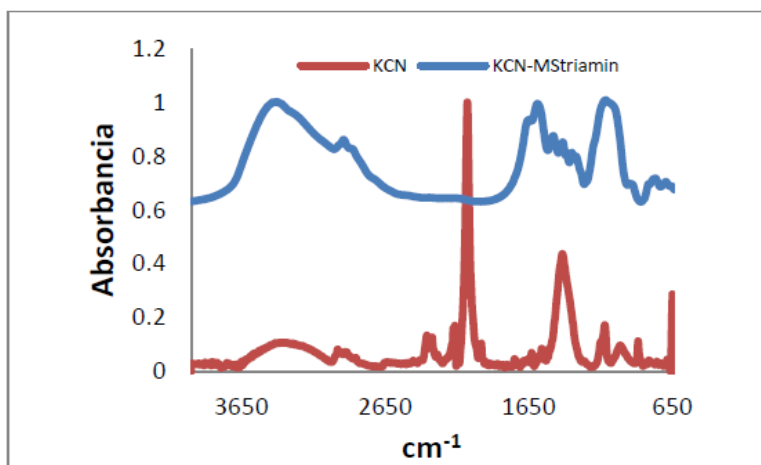


Figura 4. Espectro FTIR del producto de destrucción de KCN con la MS-triamin

La evaluación de la posible adsorción del cianuro en el material se descartó al estudiar el sólido obtenido por FTIR (Figura 5), en donde no se observa en el sólido la banda de adsorción del cianuro a 2080 cm^{-1} .

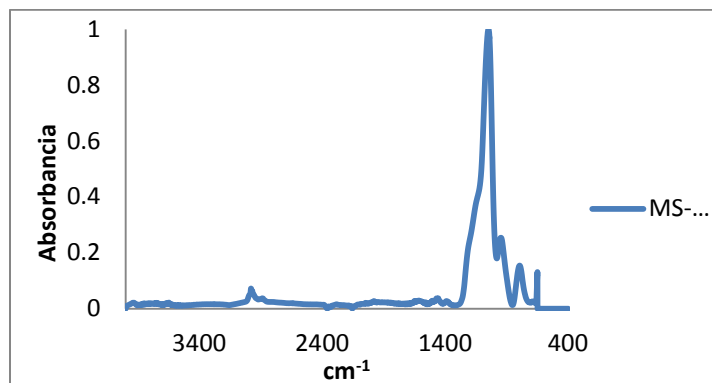


Figura 5. Estudio por FTIR de la MS-triamin una vez realizado el tratamiento con KCN.

CONCLUSIONES

Los estudios realizados en este trabajo, demuestran la factibilidad de la destrucción del cianuro con la MS-triamin, bajo una cinética de primer orden con una constante de velocidad de 0.098 min^{-1} . Los estudios de FTIR del sólido después del tratamiento confirman la nula adsorción o remoción del cianuro del sistema con la MS-triamin, mientras que el estudio de FTIR de la solución residual demuestra la ausencia del cianuro en el sistema y sugiere la presencia de carbonatos, proponiéndose la mineralización total del cianuro con la MS-triamin.

BIBLIOGRAFÍA

1. Deventer, J. S., Teague. A. J., Swaminathan C. **Factors Affecting the Flotation of free gold in the presence of Refractory Gold** *Proceedings of the XXI International Mineral Processing Congress (2000)* B8a: 24-32.
2. Aksoy, B. S. and B. Yarar. **"Processing of Complex Ores"**, Pergamon Press, N.Y, (1989).
3. Yarar, B. and G. Pine. **"Precious metal content of Arizona cinder cones"**. Elsevier, Amsterdam, (1989).
4. Habashi, F. **"Kinetics and Mechanism of Gold and Silver Dissolution in Cyanide Solutions"**. Montana, Department of Metallurgy, Montana College of Mineral Science and Technology, ,(1967).pag. 42
5. Habashi F. **"Kinetics of Metallurgical"** Laval University Bookstore, (1999).
6. Fink, C. K. and Putman G. L. **"The Action of Sulphide Ion and of Metals Salts on the Dissolution of Gold in Cyanide Solutions"** *Mining Engineering Transactions (1950)* 187: 952-955.
7. Cathro, K. J. and Koch D. F. A. **"The Dissolution of Gold in Cyanide Solutions-An Electrochemical Study"** *Australasian Inst. Min. Met. Proc. (1964)* 210: 111-126.
8. Yannopoulos J.C. **Treatment of Refractory Gold Ores (Chapter 5). "The Extractive Metallurgy of Gold"** Van Nostrand Reinhold, New York, pág.: 79-110. (1991).
9. Proulx Ch. R., Chattopadhyay P. J., Paramus, Eul W. **"Destruction of cyanide and other pollution in aqueous solutions"** (1993) US Patent # 5246598
10. Work Report: **"Cyanide Destruction"** *SGS Minerals Service-T3 SGS 018 (2005)*.
11. Koksai E., Ormanoglu G., Devuyt E. A. **"Cyanide destruction: full scale operation at Ovacik gold mine"** *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection (2003)* 3(3): 270-280.

12. Parga J. R., Shukla S. S., Carrillo-Pedraza F. R. **“Destruction of cyanide waste solution using chlorine dioxide, ozone and titania sol”** *Waste Management* (2003) 23:183-191.
13. Harraz F. A., Abdel-Salam O. E., Mostafa A. A., Mohamed R. M., Hanafy M. **“Rapid synthesis of titania-silica nanoparticle photocatalysts by modified sol-gel method for cyanide degradation and heavy metals removal”** *Journal of alloys and compounds* (2013) 551:1-7.
14. Work Report: **“Sodium Chorite Cyanide Destruction w/Chlorine Dioxide”** *Oxyxhem Basic Chemicals* (2014).
15. Arenas Rivera Judith. (2015). **“Extracción selectiva de cobre de los efluentes acuosos del proceso de Cianuración de la industria minera”** Tesis para la obtención del grado de ingeniero metalúrgico; Universidad de Guanajuato.

TECNICA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL DIAGNÓSTICO DE UN EMBARAZO DE ALTO RIESGO

Munguía Gutiérrez Sandra Marcela, Ledesma Orozco Sergio Eduardo, Segovia Domínguez Ignacio de Jesús, García De la Rosa Luis Armando

Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato

Universidad de Guanajuato

RESUMEN

Se realizó un estudio para comprender los diferentes síntomas de un embarazo de riesgo y sus explicaciones médicas; así como la comprensión de selección de los factores de riesgo realizada por los doctores durante el periodo de gestación.

La información utilizada para realizar este estudio proviene de cuadros clínicos llamados Historias Clínicas Perinatales, comúnmente localizados en los archivos de cualquier hospital. La información recabada se analizó mediante diversas técnicas de Minería de Datos. Seleccionando variables de acuerdo a la diversidad de su comportamiento entre ellas son: edad de la paciente, edad de gestación y caracterización del líquido amniótico. Se muestran los resultados obtenidos al emplear las técnicas: Mapas de Auto-organización y K-means. Al término de las pruebas, ambos algoritmos presentaron un comportamiento similar. Sin embargo, se observó que la agrupación generada por los Mapas de Auto-organización (SOM) se asemeja más al diagnóstico proporcionado por el médico.

INTRODUCCIÓN

La muerte materna es el evento más dramático que puede sufrir un amplio sector de las mujeres mexicanas durante el embarazo. En este contexto, la inteligencia artificial ha tenido valiosas aportaciones dentro de la medicina; como es el caso de los sistemas de diagnóstico médico basados en la experiencia de casos previos, los cuales permiten realizar un diagnóstico médico interactivo a través de la Internet [1]. Un sistema de esta naturaleza puede ser usado por los mismos pacientes para diagnosticarse sin tener la necesidad de ir con el médico. Otra herramienta empleada en aplicaciones médicas son las Redes Neuronales; por ejemplo para el caso en diagnósticos de cáncer [2] y para tratamientos en infartos miocárdicos [3].

La minera de datos es una técnica de Inteligencia Artificial usada para el descubrimiento del conocimiento en grupos grandes. La manera en la que estas herramientas extraen conocimiento a partir de los datos puede ser empleada en diversas áreas de la medicina. En este sentido, Maojo [4] publicó un artículo sobre la utilización de tecnología de minería de datos para el tratamiento de datos biomédicos, donde menciona el uso de la posibilidad de la integración de datos clínicos y

genómicos. Es tal el rango de posibles aplicaciones de la minería de datos que actualmente es empleado para el análisis de exploraciones de datos del sueño (Exploratory analysis of sleep data) [5]; en este contexto, se desarrollan aplicaciones usando reconocimiento estadístico de patrones para analizar las irregularidades del sueño en los seres humanos.

El objetivo fundamental de este trabajo de investigación es la eficaz atención en la prevención de la muerte materna en el periodo de gestación en el que se encuentra la mujer, a través de un análisis profundo del comportamiento de la población mediante técnicas de reconocimiento de patrones/minería de datos.

METODOLOGÍA

La población está representada por las pacientes embarazadas que acudieron al Centro de Salud de Valle de Santiago a solicitar servicio médico para el control de su embarazo. Debe señalarse que los factores de riesgo son simplemente expresiones de probabilidad, esto es, no son términos absolutos, ni diagnósticos. Los factores de riesgo son características individuales que influyen sobre la probabilidad de que un individuo pueda sufrir una enfermedad particular o un grupo de enfermedades en un periodo de tiempo definido [6]. Los factores de riesgo son los siguientes: nivel socioeconómico, edad, anemia, tensión arterial, proteinuria, obesidad. Se consideraron más variables que no pertenecían a los factores de riesgo: edad gestacional, fecha del último parto, número de embarazos, ruptura de la membrana, líquido amniótico, sufrimiento fetal, trimestre infecciones, antecedentes de hipertensión, placenta previa y número de cesáreas.

Los casos clínicos son expedientes de mujeres embarazadas que acuden a la institución con la finalidad de la revisión prenatal durante el periodo de embarazo y hasta la culminación del parto; tal y como se muestra en la figura 1 el formato que se llena en el centro de Salud.

APLICACIÓN DE LA MINERÍA DE DATOS

PREPARACIÓN DE DATOS

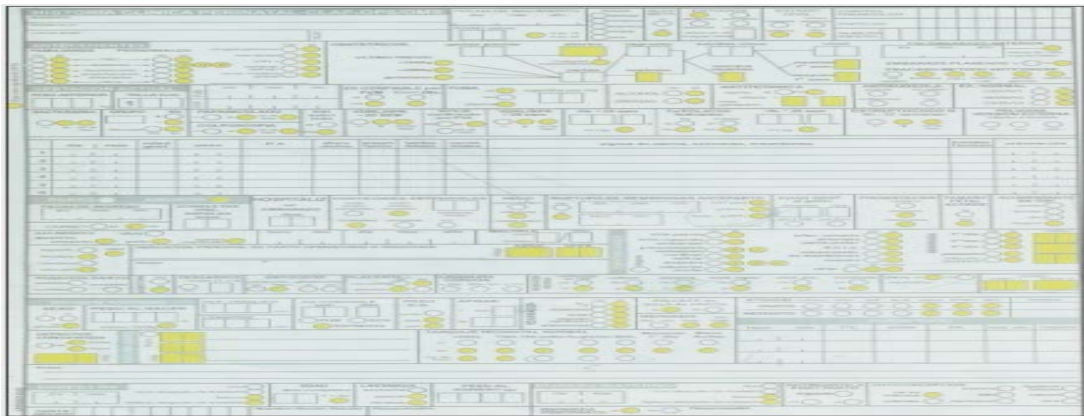


Figura 1 "Historia Clínica Perinatal-CLAPOPS/OMS"

Teniendo un total de 215 casos, lo primero es buscar los datos incompletos, esto es consultas prenatales y no culminaron con el parto en la institución o viceversa, por lo tanto se eliminaron se procedió a normalizar los datos en formato numérico con un intervalo de 1 a -1.

APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS

SELF ORGANIZING MAP (SOM)

Es un tipo de red neuronal artificial entrenada utilizando el aprendizaje no supervisado para producir una representación de baja dimensión (normalmente de dos dimensiones), discretizada en el espacio de entrada de las muestras de entrenamiento, llamado mapa [7]. El objetivo de este aprendizaje es categorizar los datos que se introducen en la red [8].

K-MEANS (K-MEDIAS)

En las estadísticas y de aprendizaje automático, k-means clustering es un método de análisis. Tiene por objeto las particiones n en grupos k en el que cada clúster pertenece a la agrupación más cercana con la media.

SELECCIÓN DE VARIABLES EN LAS PRUEBAS

Se analizaron solamente tres variables, siendo estas la edad de la paciente, la edad de la gestación y el líquido amniótico.

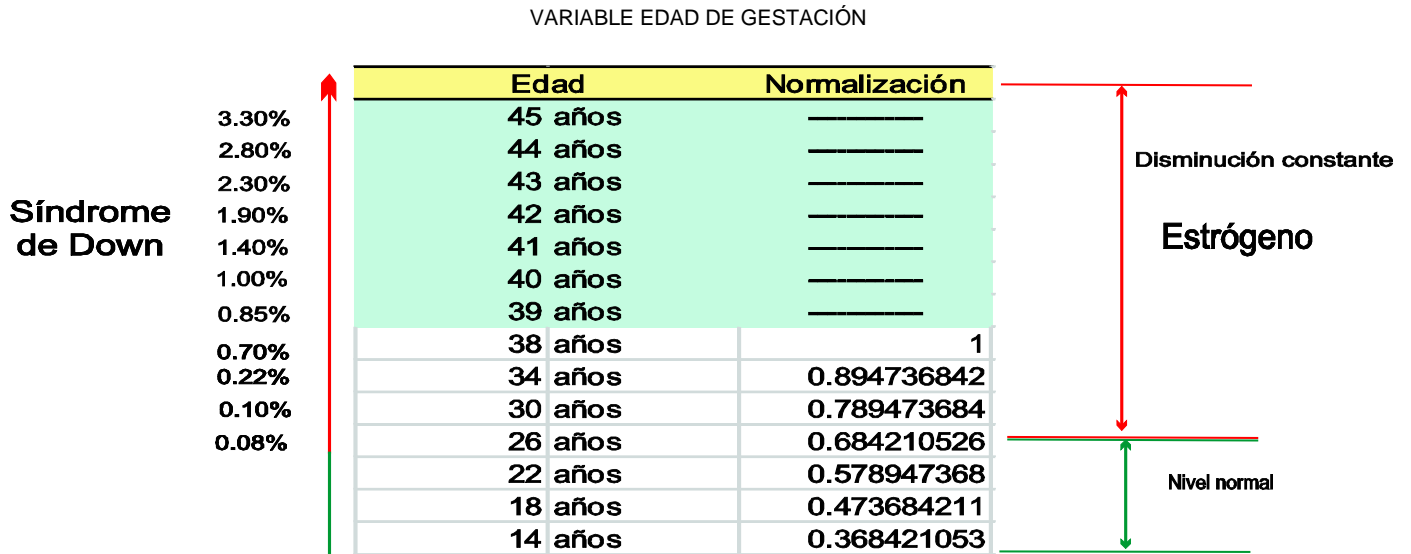
NORMALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Con el fin de facilitar el manejo de los datos obtenidos de las variables seleccionadas; se determinó expresar estos datos en valores relativos de por unidad (pu), que se define como la división del valor obtenido entre un valor base seleccionado.

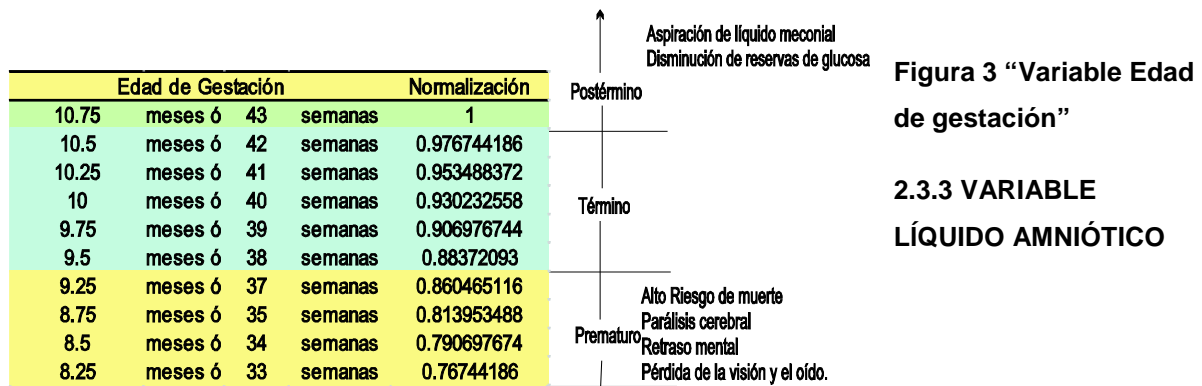
2.3.1 VARIABLE EDAD

En la figura 2, se indican los datos recolectados asociados con su factor de normalización, así como también el nivel de estrógeno 1, que se mantiene constante hasta los 25 años, a partir de estos empieza a disminuir constantemente. Durante el embarazo la producción de estrógenos se incrementa, debido a su importancia para el mantenimiento de la gestación [9].

Figura 2 “Variable Edad normalizada”



En la figura 3 se muestra los datos normalizados de la variable edad de gestación. El recién nacido post maduro es el producto de una gestación pos término o gestación prolongada que presenta signos clínicos de post madurez [11].



En la siguiente figura 4 se puede observar

las características del líquido amniótico normalizadas junto con el riesgo que pueden presentar.

Cuando el médico observa la presencia de meconio durante el parto, puede tratar a la madre con una amnio-infusión para intentar evitar estas complicaciones en el bebé [12].

Líquido Amniótico	Normalización
aumentado	1
normal	0.75
disminuido	0.5
transparente	0.25

Figura 4 “Variable Líquido Amniótico”

Hipoxia fetal
 Madurez fetal
 Inmadurez fetal

RESULTADOS

PRUEBA EDAD DE LA PACIENTE VS EDAD DE GESTACIÓN.

En esta prueba se podrá observar la distribución de la población dentro de la gráfica, referida a la comparación entre los factores de las variables de la edad de la paciente contra la edad de gestación, es decir cómo evoluciona el feto de acuerdo a la edad de la madre. El resultado de k-means se muestra en la figura 5.

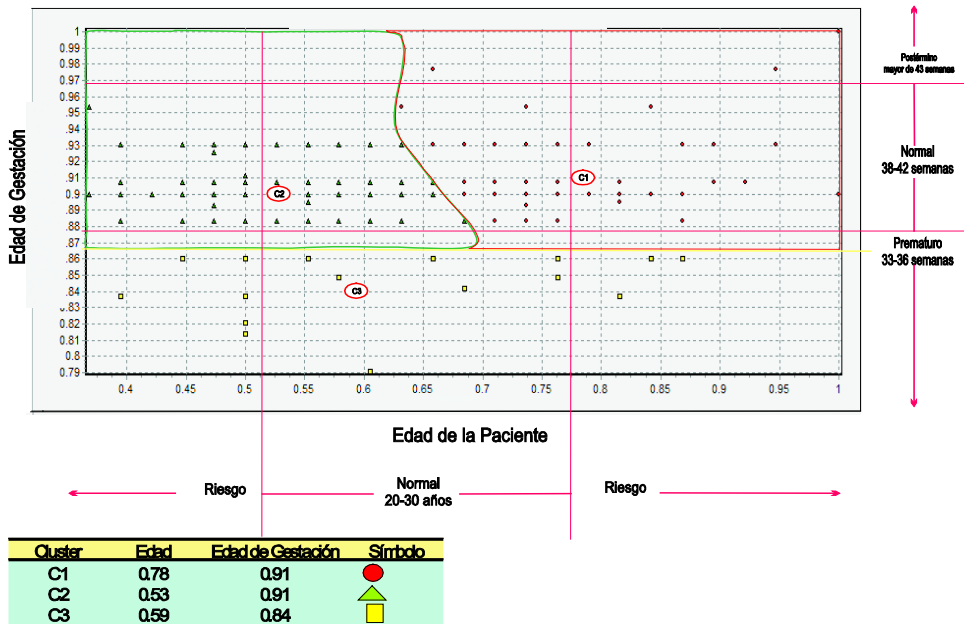
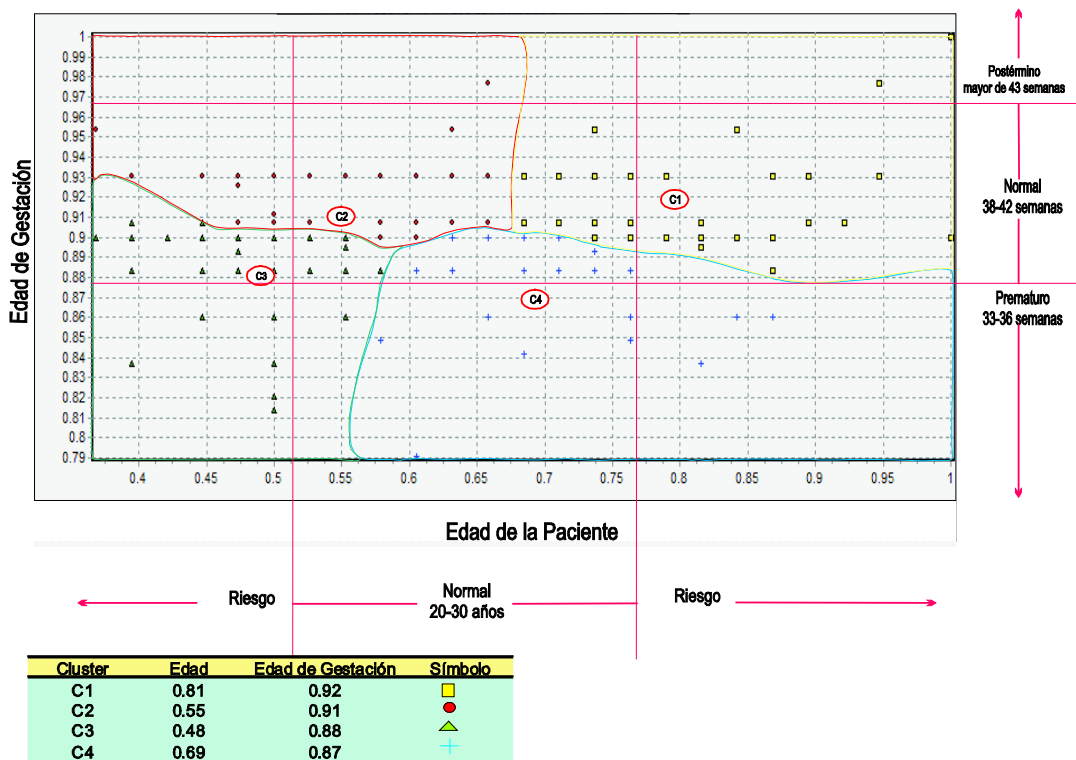


Figura 5 “Gráfica Resultado K-means”

Se puede apreciar que son tres clústeres los que se crean. El clúster denominado con la etiqueta C1 agrupa las pacientes con edades aproximadamente de 27 a 38 años es decir, su límite inferior es un poco más de la mitad del rango normal en la edad de la paciente y va incrementando. El clúster denominado con la etiqueta C2 agrupa las pacientes lo inverso de C1, su límite superior es la mitad del rango normal en la edad. Entre C1 y C2 se aprecia que agrupan los recién nacidos normales y pos términos. El clúster C3 agrupa a las pacientes de todas las edades con los recién nacidos prematuros. El resultado de SOM se muestra en la siguiente figura 6.

Figura 6 “Gráfica Resultado de SOM”



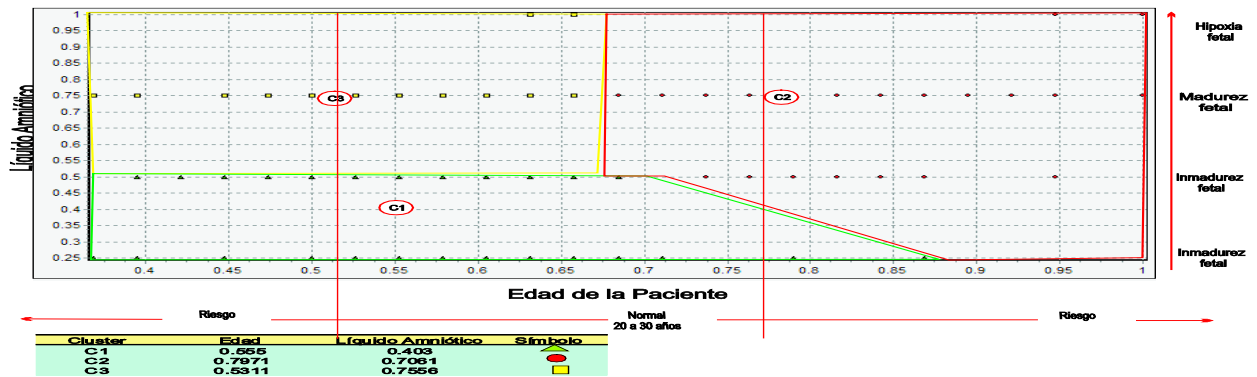
Se generan cuatro clústeres, se observa que el clúster C1 abarca las pacientes con edades de 27 años en adelante. Mientras que el clúster C2 abarca inversamente el clúster C1 en la variable edad, es decir su límite superior es de los 27 años y se va incrementando.

PRUEBA LÍQUIDO AMNIÓTICO VS EDAD DE LA PACIENTE.

Esta prueba está compuesta por las características que presenta el líquido amniótico durante el parto y edad de la paciente. El resultado de k-means se muestra en la figura 7. Se observa que se generaron tres clústeres. El clúster C1 agrupa las mujeres el rango de 14 a 33 años de edad, con el riesgo de inmadurez fetal que puede presentar su recién nacido de acuerdo a las características del líquido amniótico.

Figura 7. “Resultado del k-means”

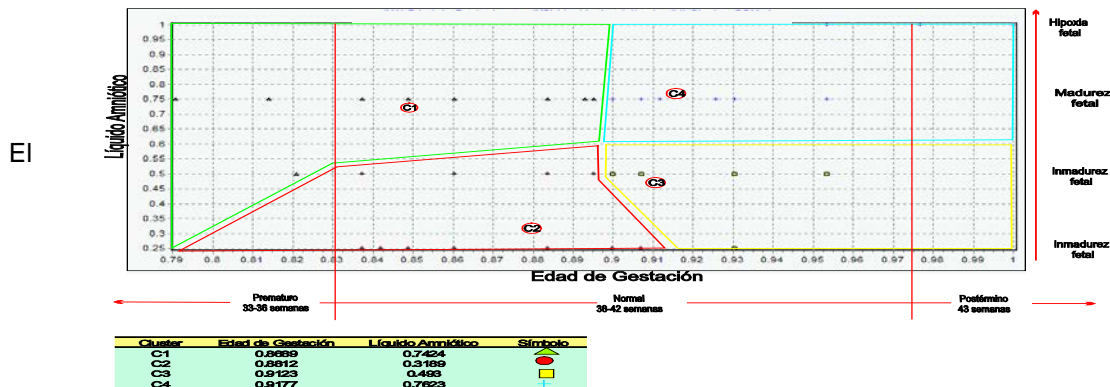
El clúster C2 abarca las pacientes con edad de 25 a 38 años de edad, teniendo el riesgo que sus recién nacidos puedan tener el riesgo de hipoxia fetal e inmadurez fetal. El clúster C3 agrupa a las mujeres de 14 a 33 años, con el riesgo que su recién nacido pueda presentar inmadurez fetal.



En la figura 8 se observa el resultado de SOM en esta prueba.

Se observan cuatro clústeres, el clúster C1 agrupa parte de las mujeres jóvenes hasta los 25 años y sus recién nacidos pueden presentar madurez fetal e hipoxia fetal por las características del líquido amniótico.

Figura 8“Resultado de SOM”



clúster C2 agrupa a las pacientes de 25 a 38 de edad de igual modo sus recién nacidos pueden presentar madurez fetal e hipoxia fetal. El clúster C3 abarca a las mujeres con jóvenes hasta los 26 años con y sus recién nacidos pueden presentar inmadurez fetal por las características del líquido amniótico. El clúster C4 agrupa a las mujeres de 26 a 38 años y sus recién nacidos pueden presentar inmadurez fetal.

CONCLUSIONES

En el desarrollo de las pruebas se pudo constatar que SOM genera cuatro clústeres y K-means genera solo tres, esto es indicativo de la eficacia de SOM para poder agrupar, ya que son menos datos que le corresponden a cada clúster y la distancia entre los clústeres es menor.

SOM tiene como fundamento buscar la preservación de la unión de sus clústeres y K-means dependiendo del número de datos que se van a clasificar coloca sus clústeres. Es decir, SOM actúa de manera sistemática y K-means solo lo hace de manera automática y calculando tan solo la cantidad de datos que se quieren clasificar. Por lo tanto, se concluye que la edad de la paciente es importante porque varía la edad de la gestación y está a su vez varía las características del líquido amniótico; es decir la edad de la paciente cambia el estado en que se encuentre el recién nacido. Asimismo es importante la opinión médica ya que no se pretende sustituir los conocimientos médicos, solo determinar si la mujer cuenta con una edad dentro del rango de 24 a 30 años, el producto contará con las características dentro de lo aceptable, pero si la edad de la mujer está fuera de este rango el producto tiene la posibilidad de estar en niveles altos de riesgo y de salud.

BIBLIOGRAFÍA

1. Manickam, 2000 S. Manickam, S.S.R. Abidi (2000): Unsupervised case classification and re-retrieval using Kohonen self-organising feature maps in a case base reasoning system, Proc. Of the IEEE TENCON 2000, Kuala Lumpur, 2000, p.24-31.
2. S.A Karkanis, G.D Magoulas, D.K Iakovidis, D.A Karras, and D.E Maroulis, Evaluation of Textural Feature Extraction Schemes for Neural Network-based Interpretation of Regions in Medical Images, in Proc. ICIP 2001, Thessaloniki, Greece, pp. 281-284, 2001
3. Heden B, Ohlsson M, Edenbrandt L, Rittner R, Pahlm O, Peterson C. Artificial neural networks for recognition of electrocardiographic lead reversal. Am J Cardiol. 1995; 75:929-33.
4. Maojo, V., F. Martín-Sánchez, J. Crespo, and H. Billhardt. Theory, Abstraction and Design in Medical Informatics. Methods of Information in Medicine 2002b, 41: 44-50.
5. ANALYSIS OF SLEEP DATA Project Members Faculty: Carolina Ruiz, Sergio A. Alvarez (Boston College), Majaz Moonis (University of Massachusetts Medical School). (Graduate Student: Parameshvya Laxminarayan).
6. González-Merlo, Jesús (2006). "Capítulo 38: Parto pretérmino", Obstetricia, 5ta edición (en español), Elsevier España. ISBN 8445816101.
7. "Introducción a la SOM de Kohonen Teuvo". SOM Toolbox. Retrieved el 2006-06-18.
8. Kohonen, T. Honkela, T. (2007). "Red de Kohonen".
9. Paul S. Cooke; Afia Naaz (2004). "Role of Estrogens in Adipocyte Development and Function". Experimental Biology and Medicine (229): pp. 1127-1135.
10. Botero Uribe, Jaime; Alfonso Júbiz Hazbún y Guillermo Henao (2004). "Capítulo 38: Parto pretérmino", Obstetricia y Ginecología, 7ma edición (en español), Corporación para Investigaciones Biológicas, pp. 349. ISBN 9583358339.
11. Manual Merck. Postmature Infant. www.merck.com, section 19 ch.260
12. Ross, m.g., brace, r.a. y participantes del taller del nih. National institute of child health and development conference summary: amniotic fluid biology - basic and clinical aspects. Journal of maternal-fetal medicine, volumen 10, febrero de 2001, págs. 2-1

ARQUITECTURA DE SOFTWARE CON BASE EN MIDDLEWARE PARA LA GENERACIÓN DE APLICACIONES DE LA WEB 4.0

J. Guadalupe Ramos Díaz, Jakqueline Herrera García, Miguel Ángel Acosta Castro e Isela Navarro Alatorre

Instituto Tecnológico de La Piedad.

RESUMEN

La adquisición de información a partir de la Web para fines diversos, tanto de esparcimiento como de trabajo, se ha vuelto un ejercicio constante en la vida moderna del ser humano. La Web ha evolucionado desde versiones que permitían sólo la lectura de información estática, i.e., la Web 1.0, hasta modelos avanzados de la Web 3.0 (Web Semántica [1]) que permiten la publicación de información que incluye descriptores (etiquetas) y categorizada mediante vocabularios formales llamados ontologías. El etiquetado hace posible concebir nuevas aplicaciones capaces de actuar de manera autónoma a partir de la garantía del marcado preciso de información. Sin embargo, hacen falta modelos formales que ayuden a organizar la forma de operar de los programas que consuman información marcada ontológicamente y a partir de ahí, concebir el desarrollo de aplicaciones más inteligentes y masivas para la Web.

En este trabajo se presenta un diseño de arquitectura de aplicaciones para la Web 4.0 y posteriormente se pone a prueba mediante prototipo. El diseño arquitectónico está compuesto por un intermediario (*middleware*) y fuentes de datos, que permitirán la publicación masiva de información etiquetada y el consumo de la misma por agentes de software.

INTRODUCCIÓN

La enorme masa de datos que supone la Web en la red de Internet es una manifestación y almacén tácito de la inteligencia humana. Hace algunos años se vislumbraba a la Web como a una biblioteca, actualmente, el contenido de la Web es el producto dinámico de la creatividad y actividad de muchas personas en todo el mundo. El tamaño de la Web es infinito, no deja de crecer, de ahí que uno de los grandes retos sea propiamente la localización, discriminación y extracción de información que permita hacer algo con ella. Si consideramos la gran cantidad de información disponible es natural pensar en la necesidad de herramientas que pudieran consumir automáticamente la información y presentar al ser humano extractos específicos [5,6].

Así pues, hacen falta modelos y técnicas automáticas para explotar la información presente en la Web, en la medida que se generen tales modelos y técnicas será posible construir herramientas que operen de manera autónoma sustituyendo en parte el trabajo repetitivo de un humano.

Para lograr lo arriba mencionado hace falta garantizar precisión en la información dispuesta en la Web, esto es posible a partir del concepto de Web Semántica [1]. Esta nueva Web, pretende que la escritura de documentos utilice lenguajes recientes, enfocados a etiquetar con descriptores la información que se publica y a partir de ahí, garantizar la recuperación precisa.

En este trabajo presentamos un modelo de organización de componentes orientados a permitir la creación de aplicaciones que consuman automáticamente información de la Web Semántica, nuestra expectativa es que a partir de nuestro modelo sea posible la creación de aplicaciones tales como agentes inteligentes capaces de realizar acciones automáticas a partir de la información de la Web. Por ejemplo, un agente capaz de realizar de forma independiente reservaciones en restaurantes a partir de una comunidad de negocios no fija, es decir, a partir de la propia Web.

TEORÍA, GENERACIONES DE LA WEB Y TECNOLOGÍAS SEMÁNTICAS

En esta sección presentamos las generaciones en las que la Web se puede categorizar.

La Web 1.0 es la primera generación de la Web y su creación data de 1989 por Tim Berners-Lee, quien residía laboralmente en el CERN (*The European Organization for Nuclear Research*) en Suiza. Fue la primera implementación de la Web y su duración se puede ubicar de 1989 a 2005 [2].

A la Web 1.0 se le consideró como una red de sólo lectura con poca interacción, en la que el consumidor podía obtener información pero le era imposible interactuar con el sitio del proveedor. El rol del usuario lector era muy pasivo. En palabras simples, la Web permitía buscar información y leerla. De manera similar, la creación de contenido carecía de contribución. A pesar de sus limitaciones cumplía con las expectativas de aquel tiempo, que se limitaban al objetivo de establecer presencia online y poner su información para que estuviera disponible para cualquiera y a cualquier hora.

Web 2.0: De acuerdo a Patel [2], el concepto comenzó con una lluvia de ideas en una sesión de conferencia entre O'Reilly y Media Live International. La Web 2.0 se considera una web de lectura-escritura. La Web 2.0 permite la gestión y ensamblado de grandes multitudes globales con intereses comunes en interacción social. La Web 2.0 posibilita la participación, colaboración y la ejecución de prácticas distribuidas que unen ámbitos de esferas formales y no formales de actividades cotidianas. Algunos términos adicionales para caracterizar la Web 2.0 son, por ejemplo, tecnologías "relacionantes", medios de participación y tecnología digital social, la cual se conoce también como la sabiduría de la web, web centrada en la gente, web participativa con lectura escritura, etc.

La Web 3.0 es una frase que fue acuñada por John Markoff en el New York Times en 2006, que usualmente se simplifica como la Web para incluir contenido con etiquetas semánticas. De hecho, se le conoce como la Web Semántica término introducido en 2001 por Tim Berners-Lee. El fundamento de la Web Semántica es la integración de datos por medio de metadatos, las etiquetas de formato de versiones previas se emplean o convierten en etiquetas descriptoras de significado (semántica). Los datos se convierten en información con significado que puede ser localizada, evaluada y recuperada por agentes de software. La Web Semántica no se ha materializado masivamente, más bien, hay dos vertientes de la misma, la web semántica en minúsculas que usa etiquetas descriptoras de significado y que sirven para introducir fragmentos semi-estructurados de información en las páginas web, de esta manera es posible el diseño de rastreadores para recuperar tarjetas personales, información de eventos, lugares geolocalizados, etc.

La vertiente formal emplea estándares más sofisticados que usan vocabularios formales llamados ontologías y se emplean lenguajes derivados del XML para escribir los documentos tales como RDF y RDFS. Adicionalmente a dichos estándares se inventaron lenguajes de consulta tales como

el SPARQL que permite lanzar consultas a repositorios de información semántica de manera similar a como se consulta una base de datos.

Web 4.0: No hay una definición completamente estándar de la Web 4.0, pero sin duda la evolución esperada se refiere a la posibilidad de tener una interacción más inteligente con la Web. Por inteligente se refiere al hecho de que se tenga un diálogo con la Web para que haga algo por nosotros. Por ejemplo, un usuario podría decir que quiere hacer un viaje. La interfaz con la Web (no necesariamente el navegador) debería investigarnos los posibles proveedores de promociones de viaje, debería contrastarlos con nuestros gustos e intenciones y finalmente, a partir de un diálogo con el usuario, debería realizarnos una reserva. El escenario descrito requiere para su implementación la presencia de agentes con capacidad de búsqueda, la inteligencia para la discriminación y la organización de la información conveniente.

En conclusión, nuestro trabajo pretende crear un modelo para la creación de aplicaciones para la Web 4.0

El diseño de la arquitectura se basa en Tecnologías de la Web Semántica. Algunos de sus lenguajes formales son los siguientes: a) RDF (*Resource Description Framework*), un lenguaje de descripción de recursos análogo al HTML de la Web 1.0, b) RDFS (*RDF-Schema*) un lenguaje para describir conceptos y atributos, y c) OWL (*Ontology Web Language*) [3], también para describir abstracciones y atributos, con la posibilidad de especificar propiedades lógicas que posibilitan la inferencia de conocimiento. Ellos, proporcionan mecanismos sólidos para la presentación de la información de manera estructurada, sin ambigüedad y por otro lado permite la recuperación de la información a través del lenguaje de consulta SPARQL [4].

Para etiquetar información, al estilo de la Web Semántica, se define un conjunto de conceptos y atributos, un vocabulario, de manera que sea posible describir profusamente un contexto. Dichos conceptos y atributos constituyen lo que se conoce como "ontología", que después se emplea para escribir oraciones. Por ejemplo:

```
<rdfs:Class rdf:about="http://www.itlapiedad.edu.mx/taller#Television">
```

```
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Electronicos"/>
```

```
</rdfs:Class>
```

```
<rdf:Property rdf:about="#marca">
```

```
  <rdfs:domain rdf:resource="#Television"/>
```

```
  <rdfs:range rdf:resource="#Marca"/>
```

```
</rdf:Property>
```

```
<rdf:Property rdf:about="#diagonal">
```

```
  <rdfs:domain rdf:resource="#Television"/>
```

```
  <rdfs:range rdf:resource="&xsd;integer"/>
```

```
</rdf:Property>
```

Es un código que define el concepto “Televisión” y “marca” y “diagonal” como dos de sus atributos. Esto constituye una ontología, y lo que sigue;

```
<rdf:Description rdf:about="#Tv_id1">
  <rdf:type rdf:resource="#Television" />
  <teclp:diagonal>55 </teclp:diagonal>
  <teclp:marca>Sony </teclp:marca>
</rdf:Description>
```

Conforma tres enunciados que se escriben empleando el lenguaje de marcado RDF. Tales enunciados pueden ser recuperados mediante una consulta SPARQL. Todos los enunciados en Web Semántica se componen de sujeto, atributo y valor, por ello se les denomina tripletes o triples. Los enunciados de manera simplificada son:

```
<"#Tv_id1"><rdf:type><"#Television">, Tv_id1 es una televisión.
```

```
<"#Tv_id1"><teclp:diagonal ><55>, Tv_id1 tiene diagonal de 55.
```

```
<"#Tv_id1"><teclp:marca > <Sony>, Tv_id1 tiene marca Sony.
```

Estos enunciados poseen información a partir de que se empleó la ontología “electrónicos” y pueden estar almacenados como archivos RDF en cualquier servidor Web. Los enunciados al seguir un formato estándar pueden consultarse de manera manual o automática con garantía de precisión. Ciertamente etiquetar la información implica un esfuerzo al producir contenido, sin embargo, la recompensa se obtiene con la garantía de que la información recibida es la deseada, en contraparte por ejemplo a la Web tradicional.

PARTE EXPERIMENTAL

En la presente sección introducimos un modelo arquitectónico (de sistema de información) con base en conceptos de la Web Semántica que hace posible el lanzamiento de consultas, la recuperación de información de interés (en función de la consulta) y la disposición de reportes precisos para entregarse a un usuario solicitante. Se hace énfasis en el aspecto de consulta precisa, ya que esta característica hace posible la concepción de agentes de software autónomos.

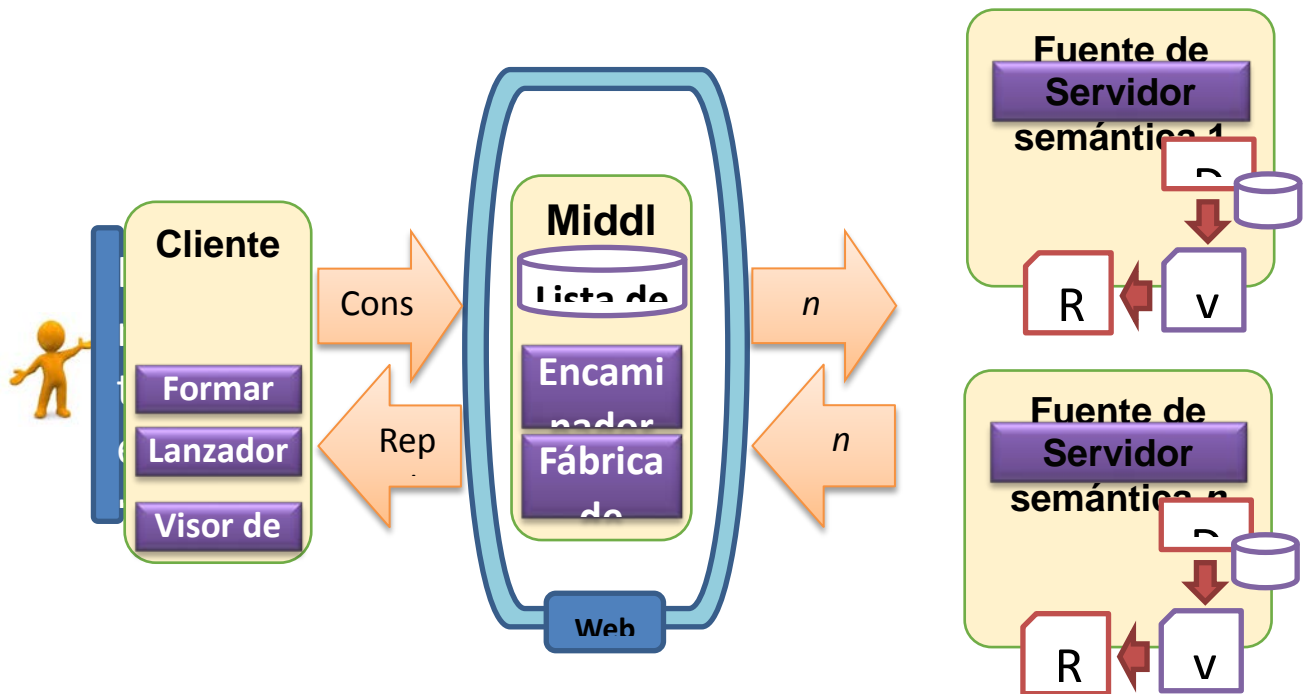
El modelo se compone de los siguientes elementos: a) Cliente gestor de consultas y visor, b) Intermediario (*middleware*) y, c) Fuentes de datos semánticas.

a) Cliente gestor de consultas: El usuario cliente construye, ya sea de forma manual o automáticamente (en este caso, mediante un agente de software) una consulta compleja a partir de los atributos definidos para cada clase de la ontología. Dicha consulta finalmente se expresa en el

lenguaje de consulta SPARQL y se lanza hacia el intermediario quien deberá responder con un reporte que será desplegado mediante el visor de reporte en el cliente.

b) Intermediario: De la misma manera que la Web anterior a la Semántica, la existencia de intermediarios (servidores de búsqueda) es necesaria. La función del intermediario debe ser concentrar un listado de sitios que ofrecen información y los vocabularios que usan, esto es, vínculo web y ontología empleada. El intermediario debe proveer un conjunto de servicios web libres para que cualquier empresa se dé de alta en dicha lista de sitios. Eventualmente un intermediario puede concentrar volúmenes de información provenientes de los sitios registrados, de la misma manera que un servidor de búsqueda actual mantiene un cache de información, con la diferencia que este caché semántico admitiría consultas complejas con resultados precisos. Cuando un cliente presente una consulta al intermediario, éste debe indagar los n sitios que posean información relacionada con la ontología empleada, una vez obtenidos, debe encaminar la consulta a tales sitios, obtener las n respuesta y confeccionar un solo reporte para devolverlo al cliente origen.

c) Fuentes de datos semánticas: La información que consultan los usuarios a través de un buscador hoy en día, reside en los servidores web empresariales. En un escenario semántico el modelo debería ser el mismo, pero, con características adicionales. Si bien un Servidor Web actual responde a peticiones http (consultas web), una fuente de información semántica debe alojar archivos RDF de manera que puedan ser accedidos por el intermediario. Enseguida se ilustran los componentes:

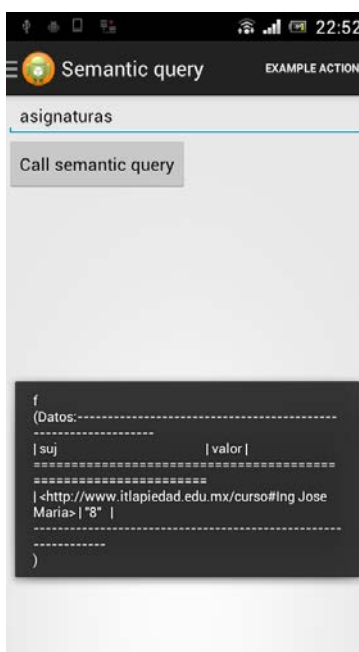


A continuación se detalla el proceso de consulta. En el modelo de la figura anterior, el consumidor (Cliente) emite una consulta mediante interfaz de gestor de consulta. La interfaz debe permitir la selección de atributos a presentar, de modo tal que sea posible construir la consulta SPARQL y obtener como respuesta sólo los atributos deseados.

La consulta se envía al intermediario, quien a partir de la lista de fuentes de información semántica encaminará la consulta hacia aquellas fuentes de datos semánticas que conocen la ontología de la consulta origen. La fuente de datos semántica proveerá de los archivos RDF y a partir de ellos se obtendrán las tripletas. Finalmente el intermediario recibirá los reportes parciales de las fuentes semánticas, compondrá un solo reporte y lo encaminará hacia el cliente solicitante, quien desplegará el reporte detallado.

RESULTADOS

Se diseñó una aplicación de servidor web compuesta por un conjunto de servicios web del tipo REST. Dichos servicios permiten que un proveedor de información se dé de alta, gestiona también la categoría de tipo de información esto es, propiamente la ontología que emplea cada proveedor. También permite obtener la lista de proveedores de datos para una ontología. También se desarrolló una aplicación móvil Android con la finalidad de consumir dichos servicios y probar el modelo. A continuación se muestra una salida de datos.



CONCLUSIONES

Sin duda la Web Semántica ofrece un conjunto de tecnologías consolidadas y aceptadas universalmente para la confección de soluciones para la gestión de conocimiento. Sin embargo, y eso es un hecho, no ha sido posible explotar dichas tecnologías para la diseño y construcción de aplicaciones masivas que beneficien a la humanidad tano por su uso, como por el mercado económico que generan. Esto se debe, creemos, a la carencia de modelos que combinen de manera adecuada las tecnologías y que planteen soluciones específicas o bien modelos de soluciones específicas, tal como hacemos en este trabajo. Nosotros consideramos que a partir de nuestro modelo es posible la creación de agentes de software autónomos capaces de decidir por un humano en situaciones concretas. Por ejemplo podríamos concebir un agente que escoja la mejor oferta de un producto ante un universo dinámico de oferentes, siempre y cuando todos los

actores manejen la misma ontología, sin embargo esto se puede considerar ya como una solución totalmente factible y pensamos que nuestro modelo es útil en un escenario de esa naturaleza.

BIBLIOGRAFÍA

1. T. Berners-Lee, J. Hendler, O Lassila, "The Semantic Web", Scientific American, May 2001.
2. Karan Patel, Incremental Journey for World Wide Web: Introduced with Web 1.0 to Recent Web 5.0 – A Survey Paper. Research Paper. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. Smt Chandaben Mohanbhai Patel Institute of Computer Science and Applications, CHARUSAT University, Charusat Campus - Changa 388421 Gujarat, India T. Kreis, "Speckle Metrology," in *Holographic Interferometry* (Akademie Verlag Inc., New York, NY, 1996), Chapter 4, pp. 125-149.
3. L. Yu. A Developer's Guide to the Semantic Web. Springer, 2011.
4. World Wide Web Consortium. SPARQL Query Language for RDF. <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>, 2008.
5. J. Guadalupe Ramos Díaz, Informe de año sabático, Tecnológico Nacional de México, AS-1-101/2014.
6. J. Guadalupe Ramos, Ricardo A. Solís, Juan Carlos Olivares, Luis Alfredo Moctezuma y Maya Carrillo, Hacia la comparación precisa de productos a partir de fuentes de datos distintas en la Web, *Research in Computing Science*, vol 99, pp. 83-93, 2015.

PREREQUISITE PROGRAMMES ON FOOD SAFETY -; ISO / TS 22002 -1. PROCEDIMIENTOS DE OPERACIONES ESTANDARIZADOS (POES) Y BUENAS PRÁCTICAS DE PRODUCTOS (BPP)

Mónica Mondelo Villaseñor, Roberto Javier Gamboa Santiago, Bertha Mondelo Villaseñor

Escuela de Nivel Medio Superior de León de la Universidad de Guanajuato.

Departamento de Estudios Organizacionales, de la Universidad de Guanajuato.

RESUMEN

El Rastro de Aves Municipal (RAM) de León, Gto. ha implementado Sistemas de Gestión de la Calidad con el protocolo internacional ISO 9001:2008 y de Inocuidad de los Alimentos con la norma ISO 22000:2005 teniendo como alcance los procesos de sacrificio y eviscerados de aves, elaboración de hielos, lavado y desinfectado de jaulas y plataformas vehicular. El propósito fundamental de la investigación aplicada es establecer el programa de prerrequisitos de seguridad de los alimentos en los procesos del RAM en relación a los Procedimientos de Operaciones Estandarizados (POES) definiendo claramente los pasos a seguir asegurando el cumplimiento de los requisitos de limpieza y desinfección y el desarrollo de las Buenas Prácticas de Productos (BPP) aplicados a todos los procesos de manipulación de alimentos. Son una herramienta fundamental para obtener procesos inocuos, saludables y sanos.

Establecidos por la Especificación Técnica Internacional ISO/TS 22002-1 Programa de Prerrequisito de la Seguridad de Alimentos parte 1: Manufactura de Alimentos y la

NOM-008-ZOO-1994, NOM-009-ZOO-1994, NOM-120-SECRETARÍA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA1-1994, Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios.

Se establecieron 21 POES a partir de la descripción gráfica de los procesos mediante diagramas de flujo y mapeo de riesgo de la distribución de planta, así como los BPP en los procesos de sacrificio y eviscerado de aves. Lo realizado servirá para desarrollar e implementar un Plan de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP, Hazard Análisis Critical Control Points).

Se concluye que el RAM cuenta con el seguimiento y control de sus procesos e instalaciones asegurando la inocuidad de sus productos. POES y BPP representan las bases para establecer e implementar después el HACCP, metodología para la planificación y realización de productos inocuos que exige la norma internacional certificable ISO 22000:2005 Sistema de gestión de inocuidad alimentaria.

INTRODUCCIÓN

En el Rastro de Aves Municipal de León, Guanajuato se mantiene un sistema de gestión de la calidad ISO 9001:2008 y de inocuidad de los alimentos ISO 22000:2005 en sus procesos de sacrificio y eviscerados de pollos, elaboración de hielos, lavado y desinfectado de jaulas y plataformas vehicular.

La presente investigación aplicada efectuada en el Rastro de Aves, tiene como alcance el desarrollo de las Buenas Prácticas de Productos (BPP) y los Procedimientos de Operaciones Estandarizados (POES), mediante la Especificación Técnica ISO/TS 22002-1 Programa de

Prerrequisito de la Seguridad de Alimentos parte 1: Manufactura de Alimentos, con la finalidad de coadyuvar en el desarrollo e implementación de un Plan de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP).

El marco teórico conceptual de la investigación se encuentra establecido por la especificación técnica ISO/TS 22002-1. El propósito fundamental es el establecimiento del programa de prerrequisitos de seguridad de los alimentos en relación a los procedimientos de operaciones estandarizados (POES) y las buenas prácticas de productos (BPP) en los procesos del Rastro de Aves.

METODOLOGÍA (MÉTODOS, HERRAMIENTAS, TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS)

El marco teórico conceptual de la investigación se encuentra establecido por la especificación técnica ISO/TS 22002-1 Prerequisite Programmes on Food Safety.

Para empezar a utilizar este modelo, el equipo POES del rastro de aves primero se describió el producto o productos que forman parte de esta categoría de procesos y que están cubiertos por este plan POES. El producto o productos fueron descritos de dos maneras:

- (1) con un simple diagrama que muestre los pasos que el rastro de aves utiliza cuando produce el producto y
- (2) con una descripción breve por escrito que suministre los factores clave acerca del producto y de su uso.

Especificación de los productos del Rastro de Aves

Procesos de realización del producto inocuo	Producto inocuo o Categorías de productos inocuos	Cliente	Lugares de producción	Descripción de los procesos
Sacrificio de Aves	Ave sacrificada	Introduttore s:	Área de Sacrificio	Procesado de aves vivas que son sacrificadas mediante degüello y procesadas en condiciones higiénicas.
Eviscerado de Aves	Ave eviscerada		Área de eviscerado	Se extraen las vísceras comestibles del ave en proceso para ser preparadas para el consumo humano.
Elaboración y Venta de Hielo	Hielo triturado.		Máquina de hielo	Hielo elaborado específicamente para ser incluido en el empaquetado de aves y eviscerado

<p>Lavado y desinfectado de Jaulas, plataformas y llantas del transporte</p>	<p>Lavado y desinfección de jaulas, plataformas y llantas del transporte</p>	<p>Comercializadores de aves</p>	<p>Área de lavado</p>	<p>Se lavan y desinfectan las jaulas, las plataformas y llantas del transporte solamente se lavan para prevenir la ocurrencia de enfermedades.</p>
---	--	----------------------------------	-----------------------	--

Una vez que el equipo POES del rastro municipal preparó el diagrama de flujo del proceso, el equipo verificó mediante un recorrido por el establecimiento para seguir el flujo del producto y asegurar que todos los pasos del proceso estén incluidos en el diagrama de flujo. El equipo también revisó la información suministrada en la descripción del producto para asegurar que todos los factores clave estuvieran incluidos, tales como la identificación de los consumidores, especialmente aquellos con problemas de salud específicos, o de los que se conoce alguna condición de riesgo.

Se puede utilizar el diagrama de flujo del proceso en particular, para auxiliar en el complemento del resto del análisis de riesgos.

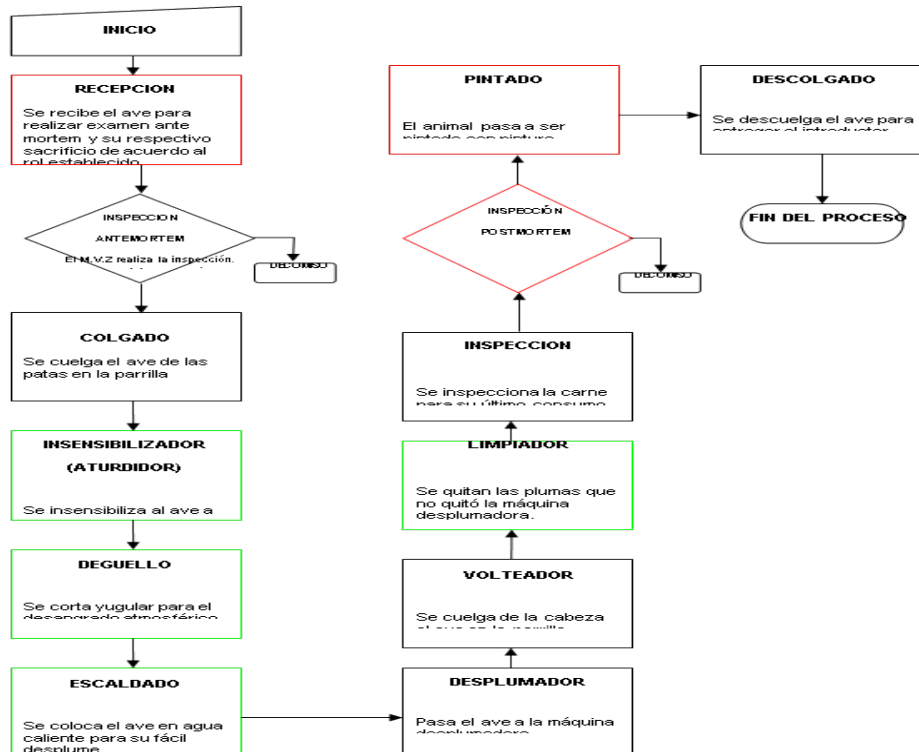
Los diagramas de flujos que se muestran son: Sacrificio de aves, eviscerado de aves, lavado y desinfectado de jaulas, plataformas y llantas del transporte y elaboración de hielo. En los cuales se muestran con líneas rojas los puntos críticos de control y con los puntos de control.

..

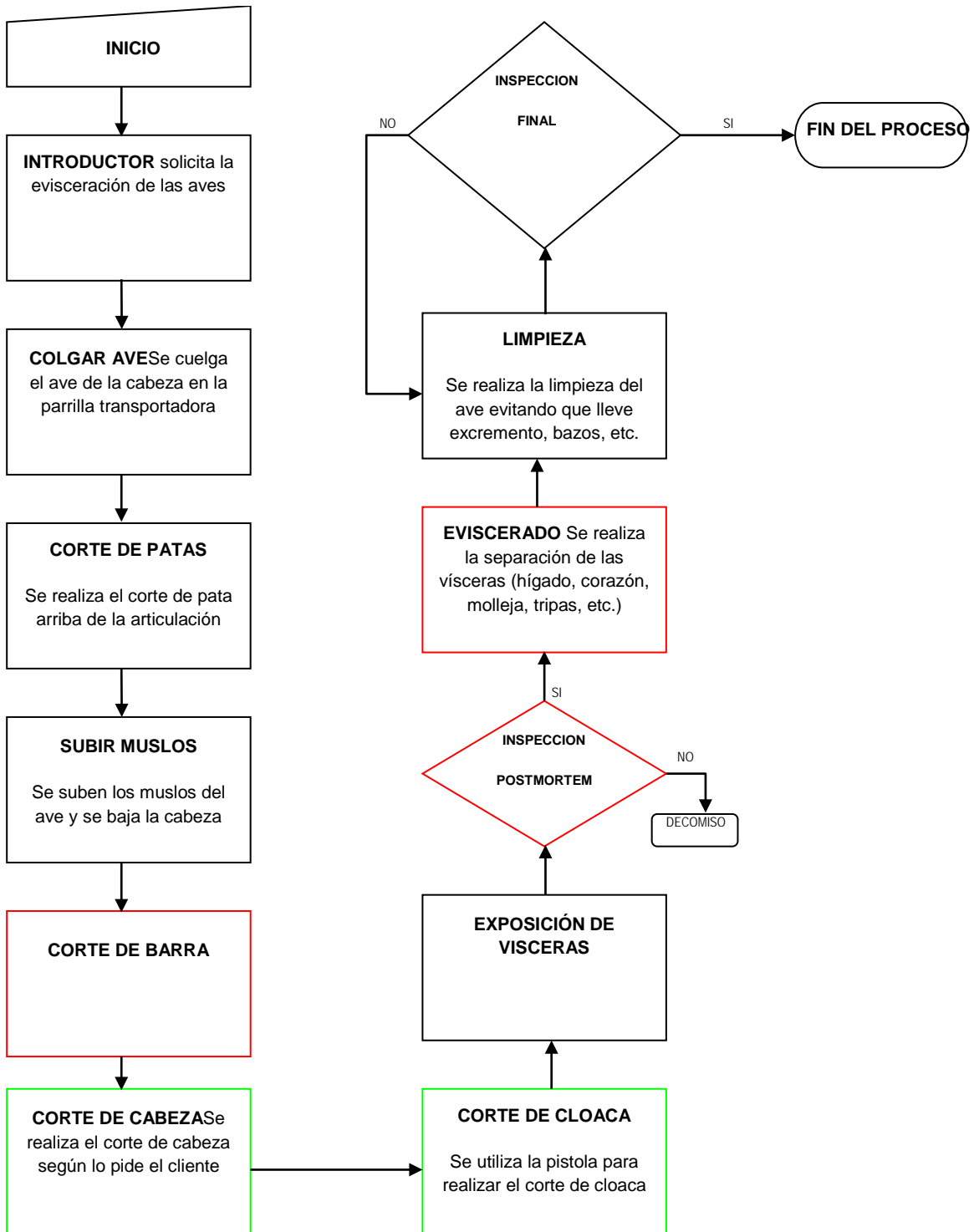
SACRIFICIO DE AVES

Puntos Críticos de Control

Puntos de control.



EVISCERADO DE AVES



RESULTADOS

PROCEDIMIENTOS DE OPERACIONES ESTANDARIZADOS (POES).

Los POES, se conocen también como Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento y, en lengua inglesa, como Sanitation Standard Operating Procedures (SSOPs).

Los POES definen claramente los pasos a seguir para asegurar el cumplimiento de los requisitos de limpieza y desinfección. Precisa el cómo hacerlo, con qué, cuándo y quién. Para cumplir sus propósitos, deben ser totalmente explícitos, claros y detallados, para evitar cualquier distorsión o mala interpretación. Son procedimientos elaborados por y para las personas directamente involucradas en las tareas.

El mantenimiento de la higiene en una planta procesadora de alimentos es una condición esencial para asegurar la inocuidad de los productos que allí se elaboran.

Una manera eficiente y segura de llevar a cabo las operaciones de saneamiento, es la implementación de los Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES).

El tema de los POES está actualmente muy vigente dada su obligatoriedad "Todos los establecimientos donde se faenen animales, elaboren, fraccionen y/o depositen alimentos están obligados a desarrollar Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES) que describan los métodos de saneamiento diario a ser cumplidos por el establecimiento. (...)"

En cada etapa de la cadena alimentaria desde la producción primaria hasta el consumo son necesarias prácticas higiénicas eficaces. Definen secuencialmente los pasos a seguir para realizar una actividad. Contestan a las preguntas de cómo (hacerlo), con qué, cuándo, dónde, quién y si es necesario, el porqué. Incluyen criterios para tomar decisiones.

Actividades Documentadas.

Procedimiento de limpieza y desinfección del/de:

- 1) Equipo del área de recepción.
- 2) Instalaciones del área de recepción.
- 3) Equipo del área de sacrificio y sangrado.
- 4) Instalaciones del área de sacrificio y sangrado.
- 5) Equipo para escaldado.
- 6) Equipo para desplume.
- 7) Tina de pigmento y la mesa de trabajo.
- 8) Línea de transporte.
- 9) Área de procesado.
- 10) Línea de transporte del área de eviscerado.
- 11) Canales para vísceras.
- 12) Pistola para el corte de cloaca.
- 13) Equipo para enfriamiento de canales.
- 14) Instalaciones del área de eviscerado.
- 15) Equipo del área libre.
- 16) Instalaciones del área libre.
- 17) Material de transporte.
- 18) Utensilios.
- 19) Equipo para fabricar hielo.
- 20) Cámara refrigeración para almacenar hielo.
- 21) Cisterna.

BUENAS PRÁCTICAS DE PRODUCTOS (BPP).

Las Buenas Prácticas de Manufactura se aplican a todos los procesos de manipulación de alimentos y son una herramienta fundamental para la obtención de un proceso inocuo, saludable y sano

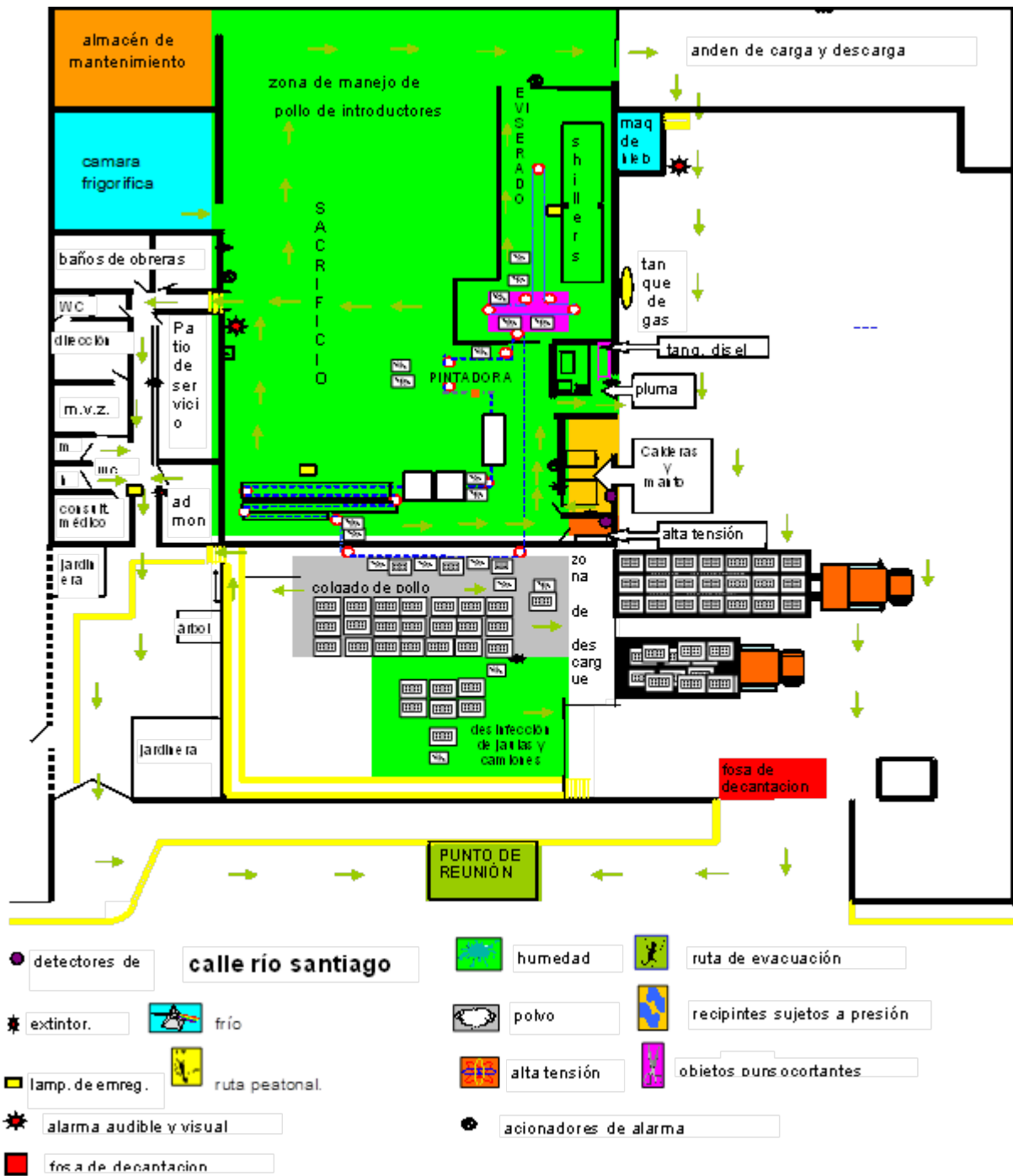
Es importante destacar que las Buenas Prácticas de Manufactura tienen tres objetivos claros: evitar errores, evitar contaminación cruzada del producto fabricado con otros productos y garantizar la trazabilidad hacia adelante y hacia atrás en los procesos.

Las instrucciones de trabajo y/o actividades, son mecanismos que con el apoyo de los POES contribuyen al desarrollo de una capacitación específica en apoyo de un plan de HACCP, que definen las tareas del personal operativo que se destacará en cada punto crítico de control.

El manual de buenas prácticas de productos recogerá tanto especificaciones referidas a la higiene e indumentaria del personal manipulador como pautas de trabajo específicas de cada empresa y de cada fase del proceso (instrucciones sobre almacenamiento y estiba, manejo de utensilios y maquinaria, recogida y eliminación de residuos).

Instrucciones de trabajo y/o actividades de Buenas Prácticas de Productos (BPP) establecidas en el Rastro de Aves:

- 1) Indumentaria y vestimenta oficial.
- 2) Flujo higiénico del personal y del producto.
- 3) Lavado y antisepsia de las manos.
- 4) Manipulación higiénica de utensilios del proceso (cuchillos, chairas y guantes metálicos).
- 5) Tapete sanitario (preparación y uso).
- 6) Limpieza y desinfección de los utensilios de limpieza.
- 7) Limpieza y desinfección de jaulas y vehículos.
- 8) Disposición higiénica de decomisos ante mortem (cadáveres).
- 9) Disposición higiénica de decomisos post mortem.
- 10) Disposición higiénica de despojos y vísceras.
- 11) Descontaminación de canales.
- 12) Envasado y enhielado higiénico de canales.
- 13) Tablas de diluciones y precauciones.



Fuente: Rastro de Aves Municipal de León.

CONCLUSIONES

La presente investigación representa qué son los POES y BPP. Se concluye que el Rastro de Aves Municipal de León, Guanajuato cuenta con el seguimiento y control de sus procesos e instalaciones en la que se asegura la inocuidad de sus productos. Tanto los POES y BPP representan las bases para establecer e implementar en un futuro el Plan de Análisis de Peligros y

Puntos Críticos de Control (HACCP, por sus siglas en inglés Hazard Análisis Critical Control Points), que es la metodología para la planificación y realización del producto inocuos que exige la norma internacional certificable ISO 22000:2005 Sistema de Gestión de la Inocuidad de los Alimentos – Requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria.

BIBLIOGRAFÍA

1. ISO, "ISO & Food. Quality and Safety from farm to fork", 2012, pp-1-3.
2. ISO, "Technical Specification ISO/TS 22002-1 Prerequisite Programmes on Food Safetey – Part 1: Food Manufacturing", 2009, pp-1-19.
3. ISO, "ISO 22000:2005 Food Safety Management Systems – Requirements for any Organization in the Food Chain", 2005, pp. 1-39.
4. ISO, "ISO 22004:2005 Food Safety Management Systems – Guidance on the application of ISO 22000:2005", 2005, pp. 1-16.
5. Kenneth E. Stevenson y Dane T. Bernard, "HACCP Un Enfoque Sistemático Hacia la Seguridad de los Alimentos", The Food Processors Institute, 1999, pp. 33-53.

EFFECTIVIDAD DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA PARA ELIMINAR PATÓGENOS EN SUELOS REGADOS CON AGUAS RESIDUALES

Marina Olivia Franco Hernández, María de Lourdes Moreno Rivera y María del Socorro Camargo Sánchez

Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología.
mofrancoh@hotmail.com

RESUMEN

El agua residual que utilizan para regar cultivos es un problema muy extendido en el país, ya que no existe la tecnología ni la disponibilidad para que las personas del campo tengan agua limpia ya que con estas tienen una mejor producción, sin embargo tiene muchos organismos patógenos que afectan a quienes consumen sus productos, por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad de nanopartículas de plata (AgNPs) para eliminar patógenos en un suelo de bosque de Villa de la Paz, contaminado con aguas residuales. Por lo se caracterizó microbiológicamente el suelo y el agua residual, determinando organismos mesofílicos aerobios (OMAs), actinomicetos, mohos, levaduras y coliformes fecales. Las normas utilizadas para los análisis fueron: NOM-092-SSA1-1994 para la cuenta de bacterias en placa, NOM-112-SSA1-1994 para determinación de bacterias coliformes, NOM-210-SSA1-2014 para la determinación de *Salmonella* y NOM-111-SSA1-1994 para cuenta de Mohos y Levaduras. Se utilizó un suelo de bosque de Toluca, con pH de 3.7 y se acondicionó una capacidad de Retención de Agua (CRA) del 40%. Para eliminar coliformes fecales y *Salmonella sp* se trabajó con una concentración de AgNPs de 0.625 mL y un tiempo de exposición de 20 minutos, en un suelo contaminado con agua residual. Se probaron diferentes concentraciones de AgNPs entre 1 y 10 mL con tiempos de exposición de 10 a 40 minutos. Con una reducción de OMAs 78%, Mohos 51%, Actinomicetos 9%.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad se había observado que la plata prevenía enfermedades, se sabe que el ejército de Alejandro Magno añadía monedas de plata a sus almacenes de agua para mantenerla pura, ha sido reconocida como antimicrobiano por su alto poder biosida pero es cara, por lo que una alternativa para la descontaminación biológica es el uso de nanopartículas de plata (AgNPs), que son utilizadas en productos de consumo de las industrias textiles y de envasado de alimentos médicos debido a sus propiedades antimicrobianas y antivirales (Benn, Cavanagh, Hristovski, Posner, & Westerhoff, 2010). Las bacterias al entrar en contacto con las AgNPs muestran daños a la membrana celular y algunos elementos del citoplasma. Aunque aún no se ha podido descifrar si la plata tiene uno o varios blancos de ataque, se cree que su alta reactividad con compuestos de azufre la hace reaccionar con enzimas, las cuales contienen éste elemento, localizadas en la membrana (Holt & Bard, 2005).

TEORIA

En el suelo se encuentran varios organismos patógenos que afectan a los humanos, ganado, plantas cultivadas y otras especies de plantas y animales. Algunas veces, su presencia se nota por

la aparición de síntomas en personas que tuvieron contacto con el suelo o con plantas que crecieron en el mismo, pero otras veces se requiere de medios y técnicas altamente selectivas para demostrar su existencia en una localidad específica o para enumerarlos.

El riego de cultivos con aguas residuales es un problema de salud porque no solo aporta gérmenes saprofitos, sino también algunos patógenos como: coliformes fecales, *Salmonella*, *E. coli*, *C. perfringens* (Herrera Marteache & Conchello Moreno, 1999). Si bien, el uso de aguas residuales impulsa la producción de los campos agrícolas, también origina riesgos para la salud de los productores, sus familias y a la población que consuma los cultivos irrigados (SEMARNAT, 2007).

Por lo que el **objetivo** del siguiente trabajo fue: Evaluar la efectividad de AgNPs para eliminar patógenos en un suelo de bosque de Villa de la Paz, Toluca, regado con aguas residuales.

METODOLOGÍA O PARTE EXPERIMENTAL

El suelo usado en este ensayo es proveniente de Villa de La Paz en el Estado de México, fue suelo boscoso, sin embargo, se cambió su uso para la siembra de gladiolas, crisantemos, cempasúchil, entre otras flores. Estos cultivos se riegan con agua residual constantemente.

Muestreo de suelo y agua residual

El suelo proveniente de Villa de La Paz en el Estado de México, fue suelo boscoso, sin embargo, se cambió su uso para la siembra de gladiolas, crisantemos, cempasúchil, entre otras flores, se muestreo en zigzag con una pala se cavó un hoyo, en forma de "V," de 20 cm de profundidad, se cortó una rebanada de uno de los lados y la parte central de la rebanada se pasa a la bolsa, hasta completar 2 kilos.

El muestreo del agua se realizó del efluente del sedimentador secundario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Juan Ixhuatepec (ASJISU), ubicada en Av. La presa # 17 colonia La presa Del. Gustavo A. Madero. CDMX.

Caracterización microbiológica del suelo

Se caracterizó microbiológicamente el suelo pesando 10 gramos de suelo colocándose en un frasco con 90 ml de solución salina, del cual se realizaron diluciones hasta 10^{-4} y se inocularon 1 ml de cada dilución en cajas Petri, agar Cuenta estándar para bacterias, agar Czapeck para Actinomycetos, agar Papa y Dextrosa para Mohos y Levaduras por medio del vaciado en placa, realizándose por triplicado, como se muestra en la siguiente figura 1.

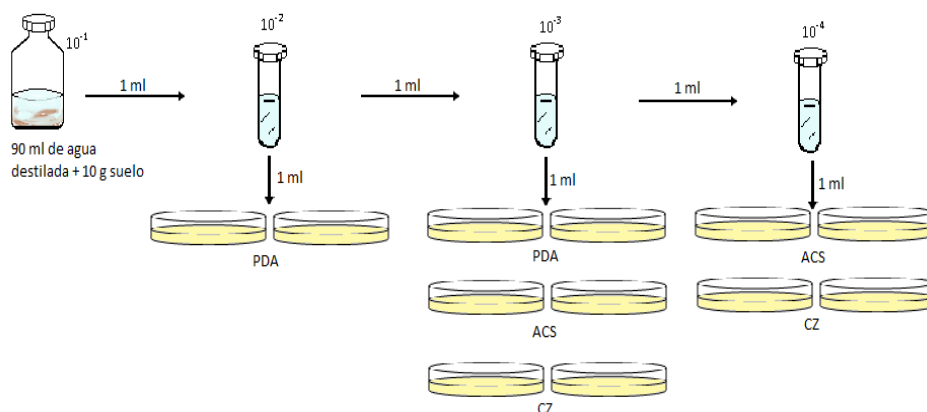


Figura 1. Esquema de la técnica de vaciado en placa.

Se utilizaron los procedimientos de las normas NOM-092-SSA1-1994 para la cuenta de bacterias en placa, NOM-112-SSA1-1994 para determinación de bacterias coliformes, NOM-110-SSA1-1994 para dilución de muestras para análisis microbiológicos, NOM-210-SSA1-2014 para la determinación de *Salmonella* y NOM-111-SSA1-1994 para cuenta de Mohos y Levaduras.

Para la caracterización de los Coliformes se utilizó la técnica del número más probable NOM-112-SSA1-1994 para determinación de bacterias coliformes como se muestra en la figura 2.

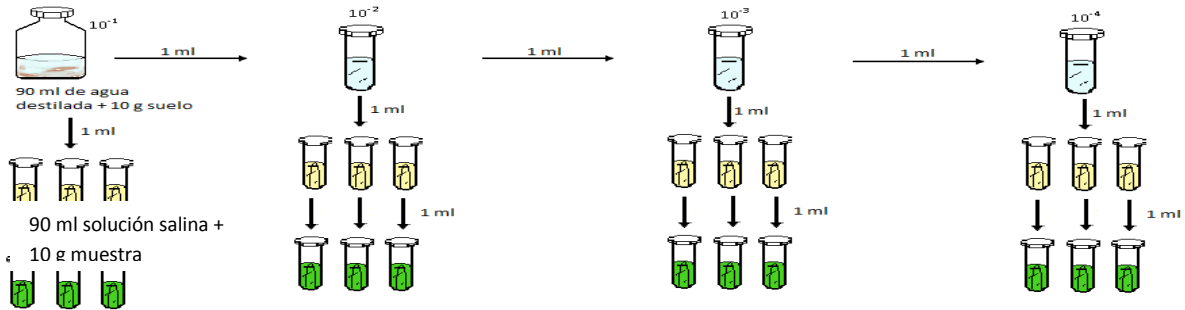


Figura 2. Esquema de la técnica número más probable (NMP) para determinar coliformes fecales en el suelo

Caracterización del agua residual

Para el agua residual se cuantificaron OMA, Actinomicetos, para Mohos, Levaduras, Coliformes totales y fecales, anteriormente señalados. La Capacidad de Retención de Agua (CRA) del suelo boscoso se llevó al 40% debido a que es en esta saturación los microorganismos tienen un mejor crecimiento.

Tratamiento con AgNPs del suelo con agua residual

Para el tratamiento se utilizaron 100 gramos de suelo al que se le agregaron 24.6 ml de agua residual que representa el 40% de CRA. Se tomaron 10 g de esta mezcla y se le agregaron 1, 2.5 y 10 mL de AgNPs 1mmol se tomaron muestras cada 5, 10, 20 y 40 minutos, posteriormente se caracterizaron en cada uno de los tiempos: Organismos mesofílicos aerobios, actinomicetos, mohos y levaduras, coliformes totales y fecales, como se muestra en la figura 3.

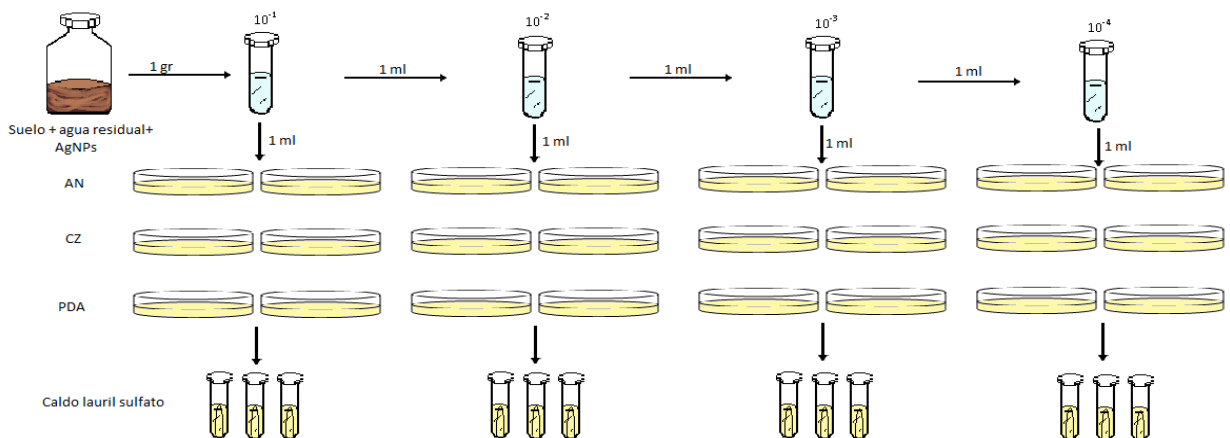


Figura 3. Esquema de procedimiento experimental.

RESULTADOS

En la siguiente tabla se muestra la caracterización microbiológica del suelo de bosque, agua y suelo de bosque con agua residual.

La caracterización del suelo de bosque sirvió como referencia para calcular el porcentaje de reducción, su microbiota es muy variada y sin patógenos, lo que representa un suelo saludable, al agregar el agua residual se cambian sus propiedades, por la adición de coliformes fecales, el aumento de actinomicetos y el cambio en el pH. Al agregar el agua residual al suelo, los resultados muestran que los microorganismos se suman a las preexistentes en el mismo. Los OMA y actinomicetos presentes en la mezcla de suelo con agua residual son mayores a los de las muestras de suelo y agua por separado porque se sumaron al combinarse. En cuanto a los mohos, el agua no cuenta con una gran cantidad y los patógenos del agua residual al agregarse al suelo se diluyeron al agregarse. El pH aumento en la mezcla de suelo con agua residual de 3.7 a 4.

Tabla 1. Caracterización microbiológica del suelo de bosque, agua residual y mezcla de suelo de bosque con agua residual.

Microorganismos	Suelo de bosque	agua residual	Suelo de bosque con agua residual.
OMA (UFC/g)	13×10^4	25×10^4	42×10^4
Actinomicetos (UFC/g)	44×10^4	20×10^4	19×10^5
Mohos (UFC/g)	44×10^2	0	10×10^4
Coliformes totales (NMP/g)	0	23×10^7	21×10^4
Coliformes fecales (NMP/g)	0	24×10^6	92×10^2
pH	3.7	6	4
Humedad	17.8%		
CRA (g/100g)	106		

Se probaron diferentes concentraciones de AgNPs entre 1 y 10 mL con tiempos de exposición de 0 a 40 minutos. Se muestran los resultados con mejor porcentaje de eliminación de microorganismos.

Tabla 2 Muestra la reducción de OMAs 78%, Mohos 51%, Actinomicetos 9%, coliformes fecales y *Salmonella* sp 100 %.

Tratamiento con 10 ml de AgNPs 0.625mM					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Tiempo de exposición	0 min	5 min	10 min	20 min	40 min
OMA (UFC/g)	90 x10 ⁵	69x10 ⁵	32x10 ⁵	28x10 ⁵	20x10 ⁵
% OMA eliminada	0%	23%	64%	69%	78%
Mohos (UFC/g)	15x10 ³	14x10 ³	11x10 ³	92x10 ²	74x10 ²
% eliminado	0%	7%	27%	39%	51%
Actinomicetos (UFC/g)	53x10 ⁴	47x10 ⁴	51x10 ⁴	48x10 ⁴	48x10 ⁴
% eliminado	0%	11%	4%	9%	9%
Coliformes totales (NMP/g)	93x10 ³	21x10 ³	0	0	0
% eliminado	0%	77%	100%	100%	100%
Coliformes fecales (NMP/g)	91x10 ²	30x10 ²	0	0	0
% eliminado	0%	67%	100%	100%	100%
Salmonella (UFC/g)	0	0	0	0	0

Se utilizaron entre 1 y 10 mL de NPs en 10 g de suelo, pero los patógenos no se eliminaron por completo, sin embargo, si se notó cierta disminución en la carga microbiana y un tiempo de exposición entre 10 y 40 minutos. Como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el porcentaje de remoción de los microorganismos en todos los casos aumenta a medida de que el tiempo de contacto aumenta. Los OMAs se redujeron hasta un 78% respecto al tiempo cero, los mohos disminuyeron 51%, los coliformes se lograron eliminar por completo en 20 minutos, comparándolo con los trabajos previos fue más efectivo en suelo, ya que en los proyectos previos mencionados se eliminaron menos de 96%. Respecto a los actinomicetos su reducción fue del 9% en el tiempo 4, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se tiene una reducción del 11% en el tiempo 2, es posible que en este punto se hayan eliminado bacterias, pero no esporas que pudieron crecer para el siguiente tiempo, sin embargo se observa con claridad la tendencia a disminuir la carga microbiana.

Para determinar la concentración real de AgNPs en el suelo, se usó la ley de la conservación de la masa, que nos dice que la concentración 1 por el volumen 1 es igual a la concentración 2 en el volumen 2, por lo tanto si la solución de AgNPs usada tenía una concentración de 1mmol en 10 ml de solución y el volumen ocupado por la mezcla de suelo, agua residual y NPs es de 16 ml, la concentración de Ag en este volumen es de 0.625 mmol.

CONCLUSIONES

En el suelo no se detectaron Coliformes fecales ni *Salmonella sp.* Los microorganismos en mayor concentración fueron los actinomicetos. En el agua residual no se detectaron mohos y los microorganismos en mayor cantidad fueron los coliformes fecales, características comunes en este tipo de aguas. La concentración de AgNPs efectiva fue de 0.625 mmol, en un tiempo de exposición de 20 minutos, eliminaron a los coliformes fecales y *Salmonella sp.*, pero no tuvo ningún efecto sobre los OMA, mohos y actinomicetos.

BIBLIOGRAFIA

1. Alexander, M. (1994). *Introducción a la microbiología del suelo*. México, D.F.: AGT Editor, S.A.
2. Benn, T. M., & Weterhoff, P. (2008). Nanoparticle silver released into water from commercially available sock fabrics. *Environ. Sci. Technol.* , 42, 4133-4139.
3. Colman, B., Espinasse, B., Richardson, C., Matson, C., Lowry, G., & Hunt, D. (2014). Emerging contaminant or an old toxin in Disguise? Silver nanoparticles impacts on ecosystems. *Environ. Sci. Technol.* , 5229-5236.
4. Nowack, B., Ranville, J., Diamond, S., Gallego-Urrea, J., Metcalfe, C., Rose, J., y otros. (2012). Potential scenarios for nanomaterial release and subsequent alteration in environment. 31, 50-59.
5. Ritman, Bruce, McCarty, & Perry. (2001). *Biotecnología del medio ambiente*. Madrid: McGraw-Hill.
6. SEMARNAT. (2007). Programa de saneamiento de aguas residuales en Hidalgo. México.

EFFECTO DEL TAMAÑO DE CRISTAL Y MICROESFUERZOS SOBRE LA ESTRUCTURA CRISTALINA Y LAS PROPIEDADES MAGNÉTICAS DEL BiFeO_3 OBTENIDO POR MECANOSÍNTESIS ASISTIDA

F. Pedro-García, F. Sánchez-De Jesús, A.M. Bolarín-Miró, C.A. Cortes-Escobedo, G. Torres-Villaseñor.

Área Académica de Ciencia de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, Instituto Politécnico Nacional.

Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

La ferrita de bismuto, presenta comportamiento multiferroico por encima de la temperatura ambiente; particularmente antiferromagnetismo y ferroelectricidad. El orden antiferromagnético en ella está gobernado por la interacción Dzyaloshinskii–Moriya, la cual presenta una cancelación del momento magnético en un cicloide con longitud de periodo de 64 nm, por tal motivo en este trabajo se busca inhibir esta interacción con tamaños de cristal menores al valor de la longitud de periodo del cicloide y evaluar su efecto sobre las propiedades magnéticas de la ferrita de bismuto. Se sintetizó BiFeO_3 , utilizando mezclas estequiométricas de óxidos metálicos de hierro y bismuto, mediante molienda de alta energía durante 5h, posteriormente se aplicó un tratamiento térmico hasta 650°C durante 2 horas, seguido de un nuevo proceso de molienda desde 0 hasta 60 minutos, con intervalos de 10 minutos, con la finalidad de reducir el tamaño de partícula (RTP) y en consecuencia modificar el tamaño de cristal. Se empleó difracción de rayos X, magnetometría de muestra vibrante, mediciones dieléctricas y microscopia electrónica de barrido para caracterizar los materiales sintetizados. Se obtuvieron exitosamente partículas de BiFeO_3 con estructura romboedral tipo perovskita después de 5 horas de molienda y tratamiento térmico a 650°C seguido del proceso de RTP durante diferentes tiempos, desde 0 hasta 60 min. Las partículas de BiFeO_3 presentaron un orden ferromagnético débil a temperatura ambiente, el cual se vio cambiado a ferromagnético al aumentar el tiempo de RTP. El material presenta propiedades dieléctricas para todos los tiempos de RTP. El comportamiento ferromagnético y con mayor magnetización específica se obtuvo para un tiempo de RTP de 60 minutos.

INTRODUCCIÓN

La ferrita de bismuto (BiFeO_3 o BFO) es un material multiferroico a temperatura ambiente, posee ferroelectricidad y antiferromagnetismo, cuenta con una estructura tipo perovskita distorsionada en el eje $[1\ 1\ 1]$, grupo espacio $R3c$ y un factor de tolerancia de Golschmith de 0.88 [1-3]. Los iones de Fe^{3+} y Bi^{3+} están desplazados de sus posiciones centro-simétricas dando como resultado la polarización espontánea a lo largo de la dirección $[1\ 1\ 1]$. El comportamiento antiferromagnético está gobernado por la interacción Dzaloshinski-Moriya (D-M) [4], la cual se basa en primera estancia en el antiferromagnetismo tipo G, es decir, por cada espín paralelo el espín vecino es

antiparalelo, seguido de esto, los octaedros donde se encuentra el Fe tienen una rotación de 154-156° que da como resultado un ferromagnetismo débil, para finalizar, la superestructura resultante de estos momentos presenta nuevamente una cancelación de los momentos magnéticos en un periodo de 62-64 nm. Existen trabajos que buscan inhibir la interacción D-M y poder obtener ferromagnetismo en la BFO, ellos se centran en el dopaje con cationes magnéticos en las posiciones del hierro, crecimiento epitaxial de películas delgadas, aplicaciones de campos magnéticos muy elevados, aplicación de campos eléctricos, o búsqueda de tamaños nanométricos [5-6]; sin embargo resulta de gran interés obtener tamaños nanométricos directos de un método mecánico. Es por ello que en este trabajo se realiza un refinamiento de tamaño de partícula por medio de molienda mecánica a ferrita de bismuto obtenida por mecanosíntesis y evalúa la influencia del tamaño de cristal y microesfuerzos sobre la estructura cristalina y propiedades magnéticas de la ferrita de bismuto.

PARTE EXPERIMENTAL

El proceso para obtener ferrita de bismuto se realizó mediante molienda de alta energía, durante 5 horas, de polvos de óxidos de bismuto y hierro (Bi_2O_3 y Fe_2O_3), asistida con tratamiento térmico hasta 650°C durante 2 horas. Los polvos obtenidos se sometieron nuevamente a molienda mecánica de alta energía (RTP) durante diferentes tiempos: 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, agregando metanol al 5% en peso como surfactante, y una relación bolas:polvo de 50:1. Los polvos sometidos a RTP se evaluaron mediante difracción de rayos X (DRX) en un difractómetro Equinox 2000, con fuente de cobalto, posteriormente se realizó el análisis de tamaño de cristal y microesfuerzos por medio del software MDI Jade 6.5. Se realizó el análisis morfológico por medio de microscopia electrónica de barrido (MEB). Finalmente realizó el análisis del comportamiento magnético mediante magnetometría de muestra vibrante con un magnetómetro MicroSense modelo EV7.

RESULTADOS

En la Figura 1 se presenta los difractogramas de los polvos de ferrita de bismuto después de ser sometidos a RTP durante tiempos desde 0 hasta 60 minutos con un agente surfactante y una relación bolas:polvo de 50:1, en la figura se puede apreciar que a 0 minutos de RTP, el ancho de los picos de la fase de BiFeO_3 es característico de dicho compuesto, con 10 minutos de RTP se comienza a observar el ensanchamiento de los picos de la BiFeO_3 , sin ocurrir ninguna transformación de fase, en ese orden, el ensanchamiento de los picos sigue aumentando, incluyendo el caso de 60 minutos de RTP, esta tendencia está relacionada con dos factores: la presencia de microesfuerzos o una reducción en el tamaño de cristal; la conservación de la fase de ferrita de bismuto confirma que el surfactante y la relación bolas:polvo ha sido satisfactoria. Un método empleado para determinar la influencia de los microesfuerzos y el tamaño de cristal sobre la anchura de los picos en un difractograma es por medio del ajuste total del patrón (Whole Pattern Fitting, WPF), es por ello que se efectuó dicho análisis sobre las muestras sometidas a RTP desde 0 hasta 60 minutos.

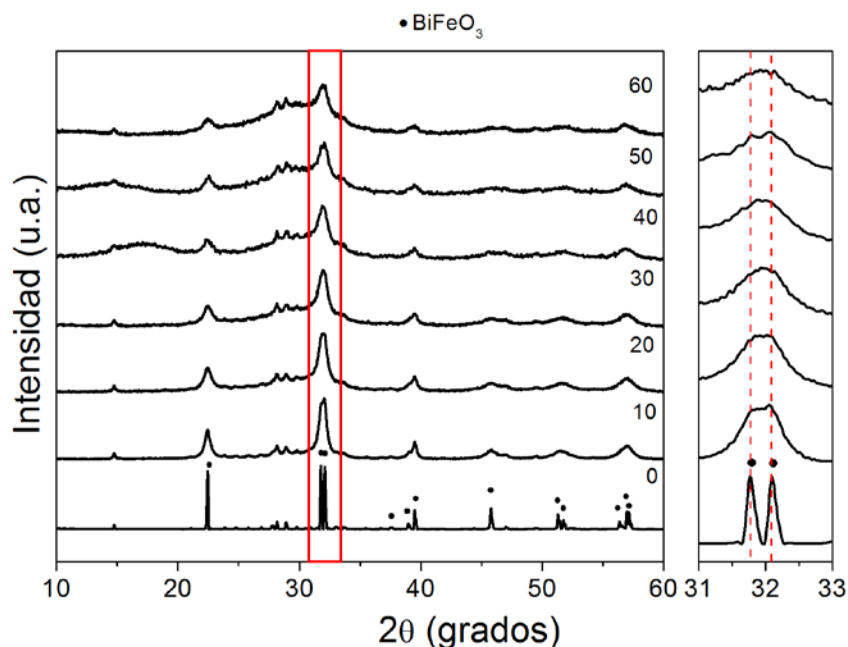


Figura. 1. Difractogramas de polvos de ferrita de bismuto sometidos a 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos de remolienda.

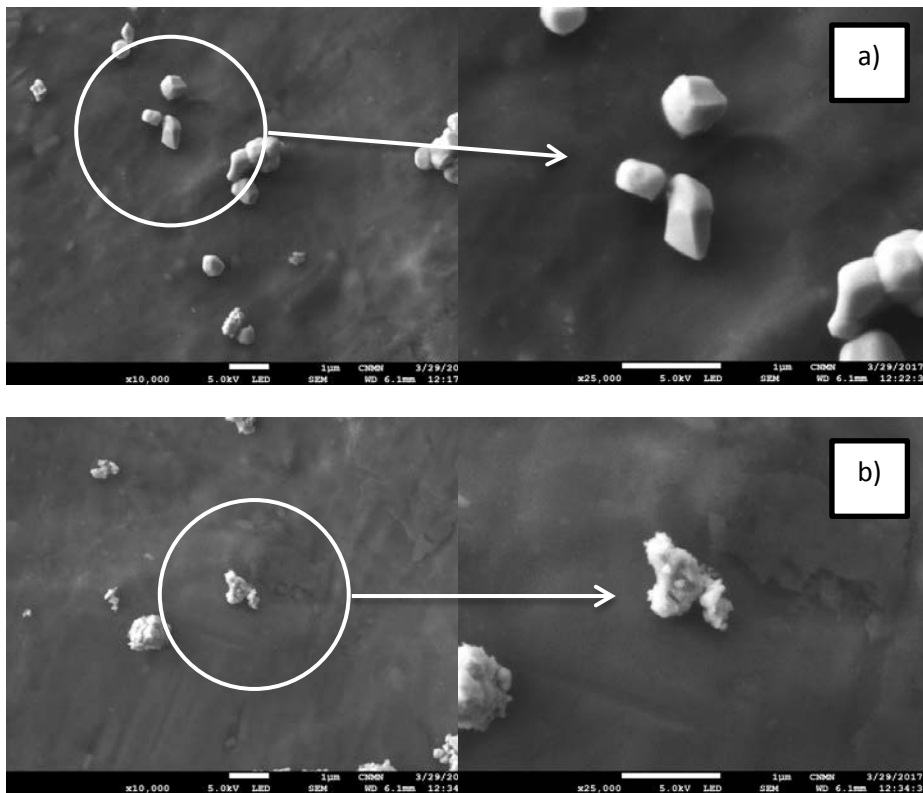
Los datos mostrados en la Tabla 1 indican que tanto el tamaño de cristal así como la presencia de microesfuerzos, son causantes del ensanchamiento de los picos, y han tenido efecto en la estructura cristalina de BiFeO₃, además de ello se puede observar que al incrementar el tiempo de RTP disminuye el tamaño de cristal y el porcentaje de microesfuerzos aumenta. El incremento del tiempo de RTP, genera aumentos en el tamaño de los parámetros de red a y b, por el contrario, el parámetro c disminuye.

Tabla1. Datos del Ajuste Total del Patrón o Whole Pattern Fitting de las muestras a 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos de remolienda.

RTP (min)	Tamaño de cristal			Grupo espacial	Parámetros de red		
	Tamaño (Å)	Esfuerzo (%)	ESD		a (Å)	b (Å)	c (Å)
0	1212	0.095	0.00032	R3c	5.56538	5.56538	13.8384
10	949	0.187	0.00405	R3c	5.58439	5.58439	13.76051
20	899	0.587	0.00573	R3c	5.5872	5.5872	13.72658

30	728	0.676	0.00537	R3c	5.59212	5.59212	13.73212
40	422	0.718	0.02132	R3c	5.59319	5.59319	13.73652
50	227	0.751	0.0345	R3c	5.59603	5.59603	13.69596
60	237	0.766	0.00006	R3c	5.59689	5.59689	13.63297

En la Figura 3 se observan las micrografías de las muestras sometidas a remolienda de: a) 0, b) 10, c) 30 y d) 60 minutos. En la micrografía correspondiente a BFO sin RTP (a) se observan partículas poliédricas con tamaños entre 300-400 nm, para un tiempo de RTP de 10 minutos (b) se observan partículas de tamaños entre los 300 nm con superficie rugosa que indica el comienzo de la amorfización, además de la presencia de algunas partículas de menor tamaño (~200 nm). En la micrografía de remolienda a 30 minutos (c) se muestran partículas de ~100 nm con una distribución uniforme y algunos aglomerados de ellas, y para el caso de 60 minutos (c) se muestran partículas con tamaños poco menores a 100 nm generalmente en aglomerados de no más de 200 nm.



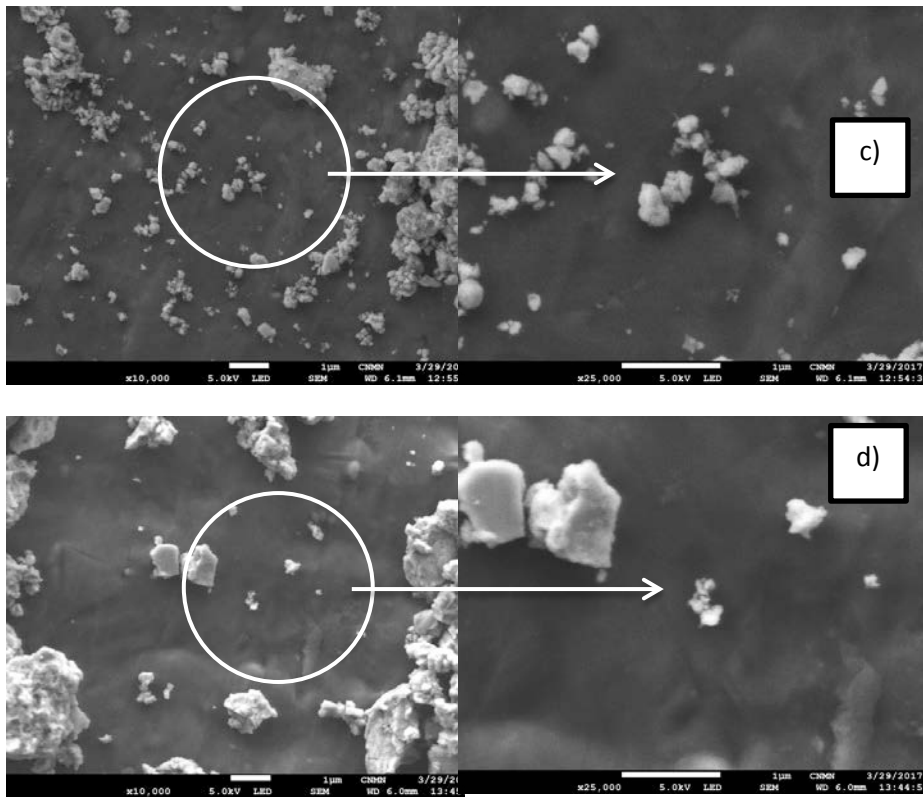


Fig. 2. Micrografías de polvos de BiFeO₃ a 0, 10, 30 y 60 minutos de remolienda.

En la Figura 3 se presentan los ciclos de histéresis de las muestras sometidas a RTP desde 0 hasta 60 minutos, se puede observar que los cambios en la estructura cristalina, mostrados en la tabla 1 afectan sobre el comportamiento magnético de los polvos de BFO, cambiando de antiferromagnético a ferrimagnético, para todas las muestras con RTP, pero alcanzando valores de magnetización específica más altos para tiempos de molienda más prolongados, obteniendo cerca de 1.6 emu/g para el caso de 60 min de RTP. Este incremento en la magnetización específica es congruente con la hipótesis planteada en este trabajo, es decir para tamaños de cristal inferiores a 64 nm o 640 amstrongs se puede modificar la cancelación de los momentos magnéticos del cicloide que gobierna el comportamiento antiferromagnético de la BiFeO₃, adicionalmente los microesfuerzos inducidos por el proceso de RTP también influyen sobre este comportamiento.

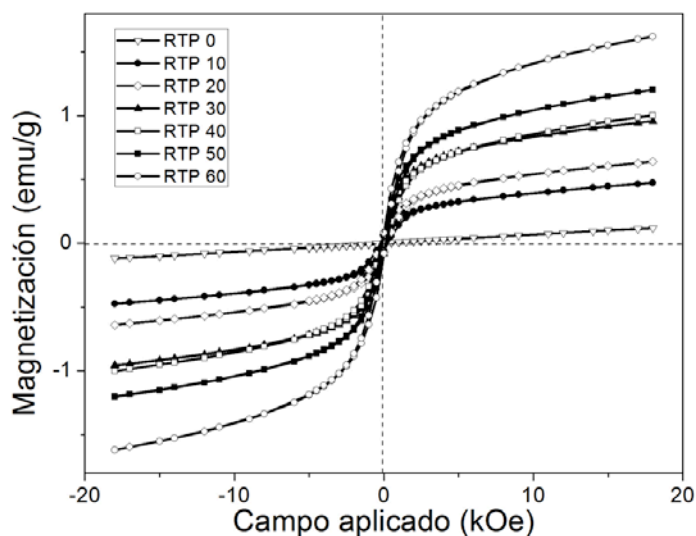


Fig. 3. Ciclos de histéresis de BiFeO_3 para muestras con diferente tiempo de RTP: 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min.

CONCLUSIONES

Se logró reducir el tamaño de cristal de la ferrita de bismuto obtenida por mecanosíntesis asistida por medio del RTP, durante distintos tiempos de molienda. Se calculó, mediante un ajuste total del patrón de difracción (whole pattern fitting), el tamaño de cristal para las muestras procesadas con RTP durante 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, obteniendo valores de: 121, 94, 89, 72, 42, 23 y 22 nm respectivamente; en cada una de ellas se pudo observar por medio de DRX que se sigue conservando la fase de BiFeO_3 . El efecto del RTP sobre el tamaño de partícula, pudo evaluarse de manera cualitativa a través de microscopía electrónica de barrido, observándose una disminución gradual de las partículas de BiFeO_3 , reduciéndose desde 400 nm, para las muestras sin RTP, hasta tamaños de aproximadamente 100 nm para la muestra con RTP durante 60 minutos. La influencia del tamaño de cristal y el microesfuerzo sobre las propiedades magnéticas de la BFO se pudo verificar mediante magnetometría de muestra vibrante en el cual para muestras sin RTP se tiene el comportamiento antiferromagnético típico de una BiFeO_3 ($M_s \sim 0.13$ emu/g a 18 kOe), y para muestra de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, comportamientos ferrimagnéticos con magnetizaciones específicas de 0.49, 0.60, 0.9, 1.1, 1.3 y 1.6 emu/g a 18 kOe, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. M.S. Bernardo, Synthesis, microstructure and properties of BiFeO_3 -based multiferroic materials: a review, Bol. Soc. Española Cerámica Vidr. 53e1 (2014) 1-14.
2. F. Kubel, H. Schmid, Structure of a ferroelectric and ferroelastic monodomain crystal of the perovskite BiFeO_3 , Acta Crystallogr. Sect. B 46 (1990) 698-702.
3. R. Safi, H. Shokrollahi, Physics, chemistry and synthesis methods of nanostructured bismuth ferrite (BiFeO_3) as a ferroelectro-magnetic material, Prog. Solid State Chem. 40 (2012) 6-15.

4. I. Dzyaloshinskii, On the magneto-electrical effect in antiferromagnets, J. Exptl. Theor. Phys. 10 (1960) 628e629.
5. B. Andrzejewski, A. Molak, B. Hilczer, A. Budziak, R. Bujakiewicz-Koro_nska, Field induced changes in cycloidal spin ordering and coincidence between magnetic and electric anomalies in BiFeO3 multiferroic, J. Magn. Magn. Mat. 342 (2013) 17-26.
6. T. Park, G.C. Papaefthymiou, A.J. Viescas, A.R. Moodenbaugh, S.S. Wong, Sizedependent magnetic properties of nanoparticles, Nano Lett. 7 (2007) 766-772.

APLICACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR PARA MONITOREO DE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS EN CULTIVO DE TILAPIA

Gabriela del Carmen Suárez Lizárraga, Sergio Saúl Osuna Peraza, Manuel de Jesús Sol Hernández, Irma Lorena Sánchez Humarán, Alma Verónica Suárez Lizárraga

Instituto Tecnológico de Mazatlán
Colegio de Bachilleres del Estado de Sinaloa 95
gasuli@hotmail.com, gsuarez@itmazatlan.edu.mx

RESUMEN

En la región noroeste de nuestro país, así como en muchos otros lugares, es imprescindible buscar alternativas que permitan tanto incrementar la cantidad, como mejorar la calidad de los alimentos que consume la población. En esta zona, uno de los alimentos preferidos es la tilapia tanto por su sabor como por su aporte nutricional. Para poder atender a la demanda de este alimento, haciendo uso de la tecnología para facilitar esta labor, se realizó un proyecto de investigación en el Instituto Tecnológico de Mazatlán con la autorización del Tecnológico Nacional de México, en el cual, se realizó un cultivo de tilapia en una zona sub-urbana de Mazatlán, Sinaloa, haciendo uso de un sistema embebido que tuvo por objetivo monitorear las variables fisicoquímicas pH, Temperatura y porcentaje de oxígeno disuelto entre otras. Este sistema, estuvo alimentado por un sistema de paneles solares respaldados por una batería de 12 Volts y un inversor de voltaje de 127 Volts de CA. Se demostró al concluir este proyecto, que la tasa de crecimiento de los ejemplares fue satisfactoria, de acuerdo a lo esperado y la tasa de mortandad debido a la demanda de espacio en el estanque, fue relativamente baja, gracias al monitoreo de las condiciones fisicoquímicas que permitieron ir tomando acciones de prevención.

INTRODUCCIÓN

Indudablemente, la acuicultura ha ido tomando auge en nuestro país desde hace ya varias décadas. Por ello, la gran demanda de productos acuícolas, ha ocasionado que las granjas existentes actualicen sus sistemas de producción, intentando obtener cada vez más y mejores especímenes. Por otra parte, este hecho provoca a su vez, el incremento en el costo de producción y por ende, el aumento del precio al consumidor final.

Es por ello, que en muchas poblaciones, sobre todo las más alejadas de los centros urbanos, han optado por hacer sus propios cultivos acuícolas. No obstante, algunos de ellos han acudido por asesoría para tratar de obtener los mejores resultados, sobre todo evitando un alto porcentaje de mortandad de ejemplares debido a diferentes factores, que en algunas ocasiones, podrían controlarse. Tal es el caso de las variables fisicoquímicas pH, temperatura y porcentaje de oxígeno disuelto, las cuales podrían monitorearse y con ello controlarse, utilizando un sistema electrónico acorde a sus requerimientos.

El proyecto aquí presentado, se trata de un sistema embebido capaz de monitorear las variables antes mencionadas el cual, está alimentado por medio de energía solar, pensando sobre todo en su aplicación en poblaciones pequeñas y aisladas.

TEORÍA

El objetivo principal de este proyecto fue fortalecer la autosuficiencia alimentaria y económica de las comunidades rurales y semiurbanas, utilizando un sistema electrónico de monitoreo de parámetros para el óptimo cultivo y cosecha de peces. De acuerdo a ello, se inició el trabajo de investigación, eligiendo el producto de mayor demanda en la región y cuyo cultivo no representara una labor desgastante para el propietario, fue por eso que se eligió la tilapia (*Oreochromis niloticus*) mejor conocida como Tilapia del Nilo que es la más común en el mundo.

Esta especie tropical, gusta de vivir en aguas someras. Las temperaturas letales para ella son inferiores a 11°C y superiores a 42°C, en tanto que las ideales varían entre 31 y 36°C, por lo que la región del municipio de Mazatlán, Sinaloa, es un buen escenario para llevar a cabo el cultivo de estos ejemplares. Se alimentan principalmente de fitoplancton, plantas acuáticas, pequeños invertebrados, desechos y capas bacterianas. Esta tilapia tiene la capacidad de filtrar alimentos tales como partículas suspendidas y bacterias que atrapa en las mucosas de la cavidad bucal.

Además de la alimentación, es necesario tener en cuenta las características del estanque, la cantidad de individuos que se considera vivirán ahí y el tamaño y peso que adquirirán en el tiempo planeado, para que el pH y el porcentaje de oxígeno, no se vean afectados de forma tal que pudieran significar la muerte de los ejemplares.

Por ello, fue importante seleccionar los sensores que se encargarían de monitorear estas variables, así como los requerimientos de espacio, ventilación y alimentación que requerían.

Las celdas solares resultaron ser ideales para el tipo de dispositivo que se construyó, pues no se debe perder de vista que la idea principal, es ayudar a que comunidades aisladas, realicen este tipo de cultivos.

PARTE EXPERIMENTAL

Una vez seleccionados los dispositivos que se utilizaron para construir el sistema electrónico, se procedió a realizar pruebas y para ello, se dio inicio al cultivo de tilapias. Se inició este proyecto con 60 tilapias macho con una talla entre 14 y 17 cm y un peso de 100 y 138 g aproximadamente (ver Figura 1) en un estanque de 1.80 m de diámetro, con una profundidad de 40 cm, con 240 litros de agua. Si se sabe manejar bien el tratamiento del agua, no es necesario utilizar grandes cantidades de ella y eso es lo recomendable pensando que tal vez este cultivo lo deban reproducir en comunidades donde no abunda este líquido.



Figura 1.- Talla y peso de las tilapias utilizadas al inicio del proyecto.

Teniendo ya a los peces, se procedió a implementar el sistema de monitoreo, utilizando un sistema embebido Arduino MEGA, dos sensores de temperatura, un sensor de caudal y un sensor de pH, un sensor para la turbidez, un detector de nivel de agua entre otros dispositivos para conformar el circuito.

Las salidas de los sensores de temperatura, fueron etiquetadas en el display como T1 y T2; la primera es para monitorear la temperatura ambiente, la segunda para detectar la temperatura del agua en el estanque.

Es importante recalcar que todos los valores monitoreados, debían corregirse en caso de que éstos pudieran alterar la salud de las tilapias y, además de asesoría de especialistas, se consultaron los valores típicos que deben mantenerse para asegurar el buen estado de las tilapias. La temperatura debe permanecer en valores de 20 a 30°C, el valor óptimo del oxígeno disuelto de 5-9 mg/l, el pH de 6-9 unidades, alcalinidad de 50-150 mg/l, Amonio total 0.1 mg/l, turbidez (disco Secchi) de 20-30 cm y salinidad de 0-36 ppm.

Los sensores de temperatura y de pH, son relativamente fáciles de implementar y también obtener los datos requeridos de ellos. Por lo general, las señales que arrojan como resultados, se deben acondicionar para ser procesadas.

En cambio, para monitorear la turbidez, se utilizó una fotorresistencia que permitía valorar la coloración del agua, en vez de utilizar un disco Secchi que es un dispositivo que hace esta tarea de manera mecánica. En el panel principal se colocaron 3 LED, uno verde que indica transparencia en el agua, el amarillo señala turbidez media y el rojo recomienda cambiar el agua.

El sensor de caudal indica la cantidad de agua que pasa por el filtro biomecánico; la señal de este sensor se procesa con la ayuda de un microcontrolador PIC 16F877A y un sistema electrónico que cuenta con dos interruptores para calibrar el sensor. Si el caudal disminuye de los 40 l/min, se debe proceder a limpiar el filtro biomecánico.

Otra situación que es frecuente, es que baje el nivel del agua. En el municipio de Mazatlán, contamos con uno de los climas más húmedos del mundo y, debido a ello, el agua tiende a evaporarse y en este caso en particular, afecta a la población de tilapias en el estanque. Por este motivo, se instaló un medidor de nivel de agua, utilizando elementos mecánicos y como sensor, un potenciómetro colocado con otras resistencias en configuración de divisor de voltaje, el cual, serviría como señal en los cambios que pudieran presentarse en el nivel de agua. Como indicadores, se utilizaron 3 LED nuevamente, donde el verde indica el tanque lleno, el amarillo un nivel medio y el rojo, nivel bajo de agua.

Para tratar de proteger lo más posible a todos los sensores mencionados, se montaron en una base tubular de PVC, que resultó ser el material ideal para evitar la humedad en los circuitos.

El sistema embebido utilizado es de la familia Arduino MEGA, que es una placa electrónica basada en el ATmega1280. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 Karts (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio.

Para alimentar a este sistema y tratar de garantizar su sustentabilidad, se utilizó un panel solar que entrega un voltaje a pleno sol de 25 Vcd, y a las 6 de la tarde aproximadamente, baja a 20 Vcd, con una potencia de 80 W, la corriente del panel es de 8 A; este panel cuenta con un regulador de voltaje, para alimentar el banco de baterías (plomo-ácido de 12 Vcd y corriente de 250 A/hr), el voltaje regulado es de 13.5 Vcd, el cual, es suficiente para mantener un ciclo de alimentación de voltaje continuo a las baterías. El panel solar, es lo que le da, junto con el banco de baterías, autonomía al sistema y lo hace autosustentable. También se utilizó un inversor de 250 W, de 12 Vcd a 127 Vca, se hicieron modificaciones al circuito para tener mayor potencia. Este dispositivo permite transformar la corriente continua de 12 Vcd, que produce el panel solar y que almacena en las baterías, en 127 Vca. El sistema completo, quedó finalmente como se ilustra en la Figura 2.



Figura 2.- Sistema embebido terminado.

RESULTADOS

Se obtuvieron peces con tallas de hasta 30 cm y 460 g de peso, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3.- Talla y peso final promedio de las tilapias cultivadas.

Esto fue logrado en 166 días en que se les administró alimentación no intensiva dos veces al día y tratando de mantener los parámetros adecuados para su desarrollo y supervivencia, los cuales fueron pH de 6, temperatura entre 29-32 °C, una turbidez de 25 cm y oxígeno al 6% (7 mg/l).

Se observa una desaceleración en el peso ganado y esto es debido a la mortandad, la cual fue del 25%, debido principalmente a la densidad de población una vez que ya estaban desarrollados los ejemplares y que demandaban más espacio en el estanque. La tasa de crecimiento del producto cultivado, se muestra en la Figura 4.

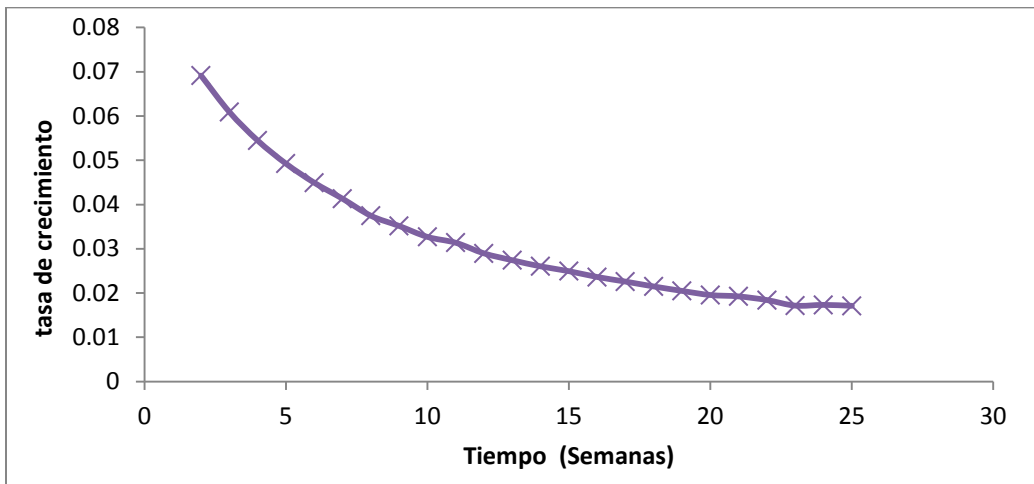


Figura 4.- Tasa de crecimiento de las tilapias cultivadas.

CONCLUSIONES

El cultivo de tilapia es muy delicado por los diversos factores que se deben tener en cuenta durante el tiempo requerido para llevar a cabo el cultivo, sin embargo, en este proyecto, se mostró que llevando un monitoreo y subsecuente control adecuados, se pueden lograr excelentes resultados y, al reproducirse este sistema de monitoreo, la inversión monetaria no será onerosa para el usuario, además de que esta inversión se recuperará en corto tiempo con una buena cosecha.

El sistema embebido utilizado, es un ejemplo de cómo la tecnología electrónica, puede ser de utilidad en una gran variedad de aplicaciones. Por otra parte, el hecho de que se alimentara con energía solar, lo vuelve un sistema más atractivo aún y además, sustentable y accesible para poblaciones alejadas de la mancha urbana.

Sin duda, hay mucho más por hacer, en cuanto a la implementación de tecnología electrónica para mejorar la cantidad y la calidad de los productos acuícolas, no obstante, cabe reconocer que este es un ejemplo del camino a seguir para lograr buenos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amador del Ángel L. E., Córdoba Rivera C. M., Gómez Vázquez J., Villarreal López C., Valdez Morales S. & Cabrera Rodríguez P., 2006, "Diagnóstico de las unidades femeniles de producción rural (UFPR) de Mojarra Tilapia (*Oreochromis spp*) en la Península de Atasta, Campeche (México)". Comunicación Científica - CIVA 2006, 907-915
2. W. Bolton, "Mecatrónica, sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica". 2ª edición, Ed. Alfaomega, 2001.
3. "Criterios técnicos y económicos para la producción sustentable de tilapia en México". Manual SAGARPA-CONAPESCA. 2012
4. S.O. Kasap. "Optoelectronics and Photonics principles and practices". Ed. Prentice-Hall 2001. Chapter 6, pp 254-269.
5. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/es
6. <https://www.arduino.cc/>

SÍNTESIS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DOSIMÉTRICAS DE $\text{KMgF}_3:\text{Tb}$ PARA RADIACIÓN IONIZANTE.

M. Itzel Ramírez Romero, Maricela Villicaña Méndez, Pedro R. González Martínez, M. de la S. Laura García Salinas, Rafael Huirache Acuña, José Apolinar Cortés.

Facultad de Ingeniería Química, UMSNH. Francisco J. Mújica S/N, Ciudad Universitaria, Col. Felicitas del Río, C.P. 58030. Morelia, Mich., México.
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), Carretera México-Toluca s/n. La Marquesa, Ocoyoacac. C.P. 52750, México.

RESUMEN

La radiación ionizante está en todas partes. Llega desde el espacio exterior en forma de rayos cósmicos. Los isótopos radiactivos que se originan de forma natural entran y permanecen en todos los seres vivos, y los sentidos de los seres humanos no son capaces de detectarla.

Debido a investigaciones ya realizadas, se ha encontrado que ciertos materiales nanométricos de la familia de los cerámicos presentan una modificación en su respuesta óptica al exponerlos a un campo de radiación ionizante y se ha demostrado que las tierras raras actúan como centros importantes de luminiscencia dentro de un material base. Estos materiales en conjunto cuentan con propiedades de termoluminiscencia, pudiéndose obtener respuesta lineal entre la cantidad de radiación recibida y la intensidad de la señal termoluminiscente (TL), por lo cual estos materiales tienen una potencial aplicación en seguridad radiológica al utilizarse como dosímetros TL.

En base a la bibliografía se sintetizó vía microondas el $\text{KMgF}_3:\text{Tb}$; se elaboraron dosímetros en forma de pastillas y se llevó a cabo la caracterización dosimétrica para conocer las propiedades y la respuesta del material TL, haciendo diferentes pruebas tales como: la respuesta TL en función de la Dosis, la reproducibilidad, las curvas de brillo, y en base a esos resultados concluimos si el material es apto o no, para su utilización como dosímetro de radiación ionizante.

INTRODUCCIÓN

Numerosos usos de la radiación ionizante y de los materiales radiactivos mejoran la calidad de vida y ayudan a la sociedad de muchas maneras (Gallego D. E.) pero siempre se deben sopesar los beneficios de cada uso con sus riesgos. Estos pueden afectar a los trabajadores que intervienen directamente en la aplicación de la radiación o el material radiactivo, a la población en general, a las generaciones futuras y al medio ambiente (Robert N. Cherry, Jr, 2010). Es de gran importancia la seguridad radiológica para eliminar o limitar al mínimo los efectos nocivos de la radiación ionizante y del material radiactivo en los trabajadores, el público y/o el medio ambiente sin obstaculizar su empleo en actividades beneficiosas.

El hombre siempre ha estado sometido a la acción de las radiaciones ionizantes, sin embargo, ninguno de nuestros sentidos está capacitado para percibirlos, a pesar de que pueden causar daño. Para detectar y cuantificar la presencia de radiación ionizante, es necesario utilizar detectores de radiación llamados dosímetros, que son dispositivos o materiales que permite evaluar la cantidad de radiación absorbida (dosis absorbida).

El objetivo de dicho trabajo es evaluar las propiedades dosimétricas del material $\text{KMgF}_3:\text{Tb}+\text{PTFE}$ sintetizado vía microondas, y emplearlo como dosímetro para radiación ionizante.

MARCO TEÓRICO

Radiación

La radiación es la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas. Sin embargo el termino se emplea frecuentemente en el sentido de radiación ionizante; es decir, que al interactuar con la materia logra desprender un electrón y de esta manera alterar el estado físico de la materia en la que incide haciendo que sus átomos queden eléctricamente cargados. (Faiz M. Khan, Ph. D. 2003).

Los efectos de la radiación sobre la materia se puede manifestar mediante tres mecanismos principales: ionización, excitación y disociación o radiólisis. La ionización se produce cuando uno o más electrones atómicos reciben la energía suficiente para abandonar el átomo; cuando uno de los electrones atómicos recibe la energía suficiente para ocupar un nivel de energía superior al que le corresponde, se dice que ha ocurrido excitación, mientras que, si se produce la ruptura de enlaces químicos moleculares, se dice que ha ocurrido disociación o radiólisis, la que a su vez produce transformaciones químicas en las sustancias irradiadas.

Síntesis por microondas

La irradiación por microondas ha sido un método atractivo para síntesis de nanomateriales debido a sus efectos de reacción únicas, tales como calentamiento volumétrico rápido y el consiguiente aumento dramático en la velocidad de reacción y por lo tanto, es considerado como un método limpio, económico y es un método de calentamiento conveniente que a menudo se consigue mayores rendimientos y tiempos de reacción cortos (Zewei Q., Piaoping Y., 2009). En la Figura 1 se puede observar la diferente distribución de la temperatura durante un calentamiento convencional y por microondas.

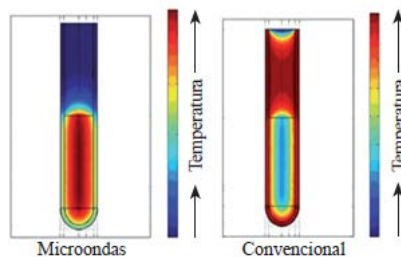


Fig. 1. Distribución de la temperatura durante un calentamiento por microondas y uno convencional.

Termoluminiscencia

La ley de Stoke dice que cuando la radiación incide sobre un material, parte de su energía puede ser absorbida y reemitida como luz de una longitud de onda más larga de acuerdo a las características del propio material, a este proceso se le llama luminiscencia. Los diversos fenómenos de luminiscencia reciben su nombre por el tipo de mecanismo utilizado para excitar la emisión. Por ejemplo: la fotoluminiscencia que es la excitación por medios ópticos o luz ultravioleta, la radioluminiscencia que es la excitación por radiaciones nucleares, la quimioluminiscencia que es luminiscencia generada por una reacción química, sonoluminiscencia que se genera por onda sonoras, etcétera (Flores O., 2011). En la Figura 2 se puede ver el proceso de Termoluminiscencia.

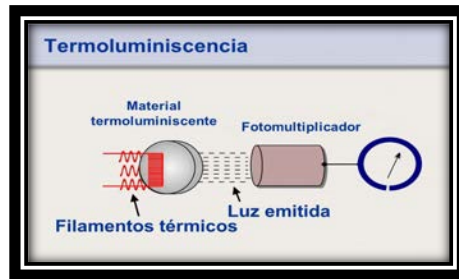


Fig. 2. Proceso de Termoluminiscencia.

La termoluminiscencia o Fenómeno de Luminiscencia Térmicamente Estimulada es un proceso de radiación inducida en materiales cristalinos, en los cuales se consideran tres espacios continuos de energía a los que se les llama bandas: banda de valencia (BV), banda prohibida (BP) y banda de conducción (BC) (González U. B, 2000).

En efecto, durante la irradiación el material absorbe cierta cantidad de energía que se traduce en la creación de pares electrón hueco (e^+h^-), excitando electrones a la banda de conducción y dejando sus respectivos huecos en la banda de valencia. Ambos tipos de cargas pueden moverse por sus respectivas bandas y tras un corto intervalo de tiempo se recombinan bien sea por canales radiativos o por no radiativos, es decir que emiten o no luz respectivamente. La existencia de esos niveles intermedios en la banda prohibida hace que se abra un canal alternativo a través del cual parte de esos electrones y/o huecos generados tras la irradiación quedan estabilizados retrasando o impidiendo su inmediata recombinación. La figura 3 representa el proceso (Flores O., 2011).

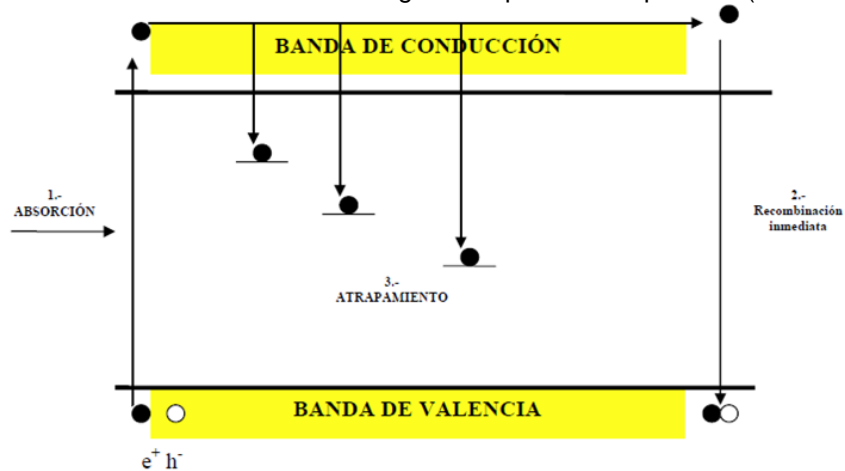


Fig. 3 Proceso de luminiscencia térmicamente estimulada.

- 1.- *La absorción de energía:* Se lleva un electrón a la banda de conducción dejando un hueco en la banda de valencia.
- 2.- *La recombinación inmediata:* representa el regreso al estado fundamental previo a la irradiación ya sea por canales radiativos o no radiativos.
- 3.- *El atrapamiento:* Es la captura de los portadores de carga. Estos niveles intermedios o trampas sirven como lugares en los que una pequeña fracción de la energía absorbida por el material del campo de radiación puede quedar almacenada una vez que la irradiación ha concluido.

Dosimetría Termoluminiscente

A medida que crece el interés en conocer los efectos sobre la salud de las bajas dosis de radiación natural o artificial, se hace más necesario un sistema dosimétrico capaz de medir con precisión esos niveles de dosis. Por más de veinte años los dosímetros termoluminiscentes (TL) han

constituido un método simple y preciso para tales mediciones. En el monitoreo ambiental se requiere de materiales TL que reúnan las siguientes propiedades: alta sensibilidad, estabilidad en las condiciones climáticas severas a que son expuestos, lectura cero y dosis mínimas medibles, desvanecimiento pequeño de la respuesta entre el momento de la irradiación y la lectura (fading) (Molina P. D., Díaz B. E., Prendes A. M.).

La dosimetría TL presenta ventajas respecto a otros métodos de dosimetría ya que posee las siguientes características:

- No necesitan un empaque especial
- Cubren un amplio intervalo de dosis
- Hay materiales equivalentes al tejido

PARTE EXPERIMENTAL

Material y Métodos

Se utilizaron distintos compuestos y equipos tales como:

- CF_3COOK ; Trifluoracetato de potasio
- $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; Hidromagnesita
- TbCl_3 ; Cloruro de terbio
- $\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{N}$; (OM) Oleilamina
- $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$; Ácido oleico
- CF_3COOH ; Ácido trifluoroacético
- Politetrafluoretileno (PTFE)
- Mufla
- Reactor de Microondas
- Prensa Hidráulica
- Irradiador Gammacell 220 del ININ
- Lector Harshaw TLD System 4000

1. Síntesis de $\text{KMgF}_3:\text{Tb}$ vía Microondas.

La síntesis se llevó a cabo en un reactor de microondas Monowave 300 Anton Paar de 850W, con sensor de temperatura IR de $300^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, termómetro de rubí de $300^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, cubierta giratoria, presión máxima de 30 bar, agitación magnética y enfriamiento con aire comprimido. Se realizó a intervalos de temperatura hasta 220°C ; se impurificó con distintas concentraciones de Terbio, presentando mayor sensibilidad la muestra con 2 mol% Tb.

2. Elaboración de dosímetros.

La pérdida de masa de los dosímetros ocasiona la baja reproducibilidad en la respuesta TL y la presencia de partículas extrañas atraídas por el material crea señales TL espurias, entre otros. Para evitar éstos inconvenientes se elaboran dosímetros en forma de pastillas. Se mezcló el $\text{KMgF}_3:\text{Tb}$ con politetrafluoretileno (PTFE) relación 2:3, comprimiéndolo en un molde de acero inoxidable. Se sinterizaron en un intervalo de temperatura de 40°C - 400°C , aproximadamente por 6 horas.

3. Caracterización dosimétrica:

- Respuesta TL en función de la dosis. A los dosímetros se les realizó un tratamiento térmico de borrado a 300°C durante 30 min y en seguida se agruparon para irradiarse a diferentes dosis de radiación. Esta prueba es para conocer su respuesta TL en función de la dosis que se le emplee. Las irradiaciones se realizaron usando el irradiador Gammacell 220. El intervalo de dosis a estudiar fue de 1-1000 Gy.

-Reproducibilidad. Para evaluar la reproducibilidad de los dosímetros de $\text{KMgF}_3:\text{Tb}+\text{PTFE}$, se tomó un lote de 3 dosímetros, se les dio su tratamiento térmico de borrado y se irradiaron a una dosis de 10 Gy, en el irradiador Gammacell 220 del ININ. Se tomaron las lecturas 15 minutos después de cada irradiación. Este procedimiento se repitió por 10 ciclos consecutivos. Tomando en cuenta que

se debe cumplir la siguiente expresión, recomendada por las normas internacionales de protección radiológica, desviación estándar entre la media por cien:

$$\frac{DS}{\bar{x}} 100 < 7.5\% \tag{1}$$

- Prueba de Estabilidad de la señal TL (Fading). Se refiere a la estabilidad o desvanecimiento de la señal TL de los dosímetros respecto al tiempo, después de haber sido irradiados, el periodo de tiempo de estudio fue por dos meses. La prueba se llevó a cabo con un lote de 10 dosímetros que posteriormente a su tratamiento térmico de borrado, se irradiaron a una dosis de 10 Gy y fueron leídos en una misma jornada un día después de la irradiación para obtener su lectura TL inicial. Posteriormente los dosímetros fueron borrados y se irradiaron a la misma dosis, se agruparon en pares para almacenarlos aislados de la luz, en un portadosímetros diseñado para 8 dosímetros circulares. Las lecturas de los dosímetros irradiados, se tomaron a 5, 15, 30, 45 y 60 días posteriores a la irradiación.

RESULTADOS

- Dosis vs respuesta TL

En la figura 4, se observa la curva de calibración obtenida con los valores TL promedio para cada dosis empleada en cada dosimétero.

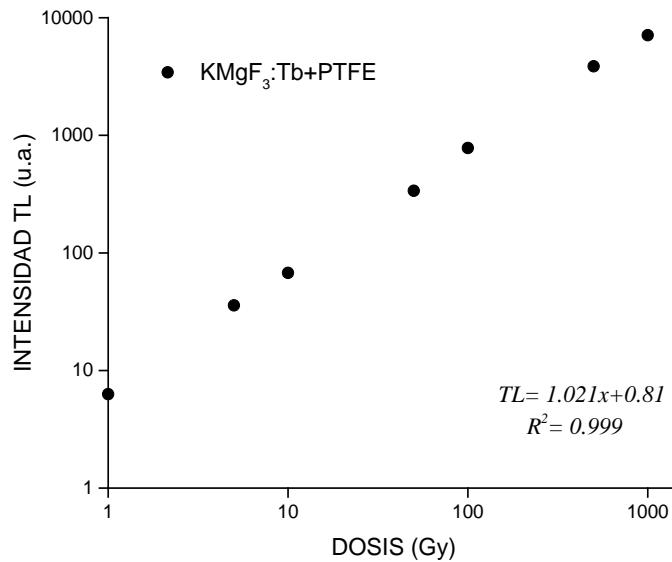


Figura 4. Linealidad de la respuesta TL de los dosímetros en función de la dosis.

- Reproducibilidad

Al sustituir los valores en la ecuación (1) se obtiene el porcentaje de reproducibilidad, el cual cumple con las normas. Obteniendo:

$$3.7 < 7.5\%$$

Gráficamente se puede ver en la Figura 5.

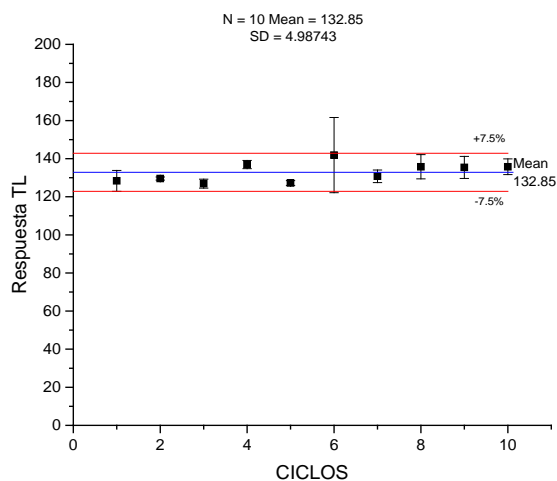


Figura 5. Respuesta de los dosímetros

- Desvanecimiento de la señal TL (*fading*)

En la tabla 1, se presentan las lecturas TL de los dosímetros de $KMgF_3:Tb$, tomados entre 5 y 60 días después de la irradiación. Estos resultados se presentan gráficamente en la Figura 6.

Tabla 1. Desvanecimiento de la información TL de $KMgF_3:Tb$.

No. De días	Intensidad TL	Sensibilidad (nC/mg.Gy)	Sensibilidad relativa
5	46.07	4.6	1.00
15	47.08	4.7	1.0217
30	44.68	4.46	0.9696
45	43.52	4.35	0.9457
60	53.82	5.38	1.1696

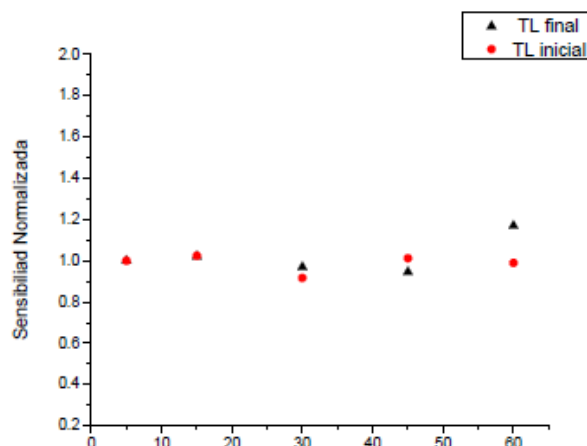


Figura 6. Desvanecimiento TL de $\text{KMgF}_3:\text{Tb}$ al día siguiente y en dos meses.

CONCLUSIONES

Se logró el objetivo principal de evaluar las propiedades dosimétricas del material $\text{KMgF}_3:\text{Tb}+\text{PTFE}$ al realizarle distintas pruebas, presentando muy buenos resultados, como fue su respuesta TL lineal al irradiarlo a distintas dosis y esta linealidad nos indica que en ese intervalo de dosis son confiables las mediciones hechas con este dosímetro.

Se comprobó también que la reproducibilidad de este material cumple ampliamente con el valor recomendado por las normas, por lo que el $\text{KMgF}_3:\text{Tb}$ posee una reproducibilidad aceptable para su uso como dosímetro en dosimetría gamma.

En el desvanecimiento de la señal se apreció que en los primeros 45 días después de la irradiación la variación en las lecturas TL presentan un 3.4%DS, por lo tanto el desvanecimiento es nulo, mientras que a los 60 días después, el *fading* o desvanecimiento de la señal aumento a 8.92%DS, se dedujo que este incremento se debe a la alta sensibilidad del material, por lo cual, al pasar mayor tiempo almacenado de alguna manera detecta las pequeñas dosis de radiación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

1. D. E. Gallegos, "Radiaciones ionizantes y protección radiológica". Foro Nuclear, Foro de la Industria Nuclear Española. 1-31.
2. Cherry Robert N. Jr., Upton Arthur C., Lodde Gordon M. et al., "Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo". (2010)
3. Faiz M. Khan, Ph. D. "The Physics of Radiation Therapy" Third Edition, Department of Therapeutic Radiology University of Minnesota Medical School. Minneapolis, Minnesota. (2003).
4. Zewei Q., P. Yang, C. Li, J. Yang, D. Yang et al. (2009) "Shape and Phase-Controlled Synthesis of KMgF_3 Colloidal Nanocrystals via Microwave Irradiation". J. Phys. Chem., 113, 4018-4025.
5. Flores O. López et al. (2011) "Implementación dosimétrica de la técnica de irradiación a cuerpo entero con electrones de 6 MeV por termoluminiscencia". CICATA LEGARIA-IPN.
6. González U. B. (2000). "Dosimetría termoluminiscente de las radiaciones ionizantes en aplicaciones médicas". Universidad Veracruzana (2000).
7. Molina P. D et al. "Pruebas tipo al sistema de Dosimetría Termoluminiscente Automático adquirido por el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones

- (CPHR) para dosimetría personal". IX International Symposium/XIX Nacional Meeting on Solid State Dosimetry.
8. Herrero R., Villicaña M., García L., González P. R., et al. "Desarrollo de detectores de radiación, basados en nanocristales de $\text{KMgF}_3:\text{Tb}$ sintetizados por microondas". Facultad de Ingeniería Química, UMSNH. (2015)
 9. Alcaraz B. M. (2001). "Magnitudes y unidades radiológicas". Bases físicas y biológicas de radiodiagnóstico médico (tema 3). Universidad de Madrid, 271p.
 10. Azorín Nieto J., N.M. Khaidukov et al. (2007). "*Thermoluminescence of terbium doped double fluorides*" *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* 263 (2007) 36–40.

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DESPACHO ÓPTIMO DE GENERACIÓN CONSIDERANDO PUNTOS VÁLVULA MEDIANTE EL GA DE MATLAB

José Reyes Vargas Rodríguez, María del Refugio González Ponce, José Miguel García Guzman,
Francisco Javier Ortega Herrera

Estudiante del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

Profesor del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

RESUMEN

La operación económica de un sistema eléctrico de potencia es muy importante para obtener los mayores beneficios del capital que se invierte. El despacho óptimo de generación es el método que permite obtener el costo mínimo de generación ajustando la potencia entregada por cada unidad generadora (generadores eléctricos) para satisfacer una potencia demandada. El despacho óptimo de generación es un problema de optimización no lineal restringido convexo, el cual puede ser resuelto mediante los métodos basados en gradiente. Sin embargo, cuando se consideran los puntos válvula, se modifica la formulación de la función objetivo convirtiendo al problema de despacho de generación en un problema de optimización no convexo que no puede resolverse por los métodos tradicionales basados en gradiente. Por lo tanto, en este trabajo se utilizan técnicas de optimización heurística-estocástica que permitan determinar el costo mínimo de generación de potencia activa. En este trabajo se utiliza la herramienta de GA de Matlab, la cual es una herramienta de optimización basada en algoritmos genéticos que permite implementar de manera sencilla y flexible el problema de optimización no convexo del DOG. Dos casos de estudio son llevados a cabo con el fin de validar la metodología propuesta en este trabajo y de ilustrar la confiabilidad y flexibilidad de la herramienta de optimización utilizada.

INTRODUCCIÓN

Los estudios de estado estacionario de sistemas eléctricos de potencia (SEPs) han sido los estudios que tradicionalmente se utilizan para llevar a cabo acciones de planeación, control y operación de los SEPs. Sin embargo, estos estudios no permiten planear, operar o controlar las redes eléctricas de manera óptima, por lo que, en los años recientes las empresas suministradoras de la energía eléctrica y los investigadores alrededor del mundo han puesto especial atención en los estudios de estado estacionario relacionados con la optimización de SEPs, tales como el análisis de Flujos de Potencia Óptimos (FPO) o el Despacho Óptimo de Generación (DOG). Estos estudios de optimización han recobrado gran importancia porque al planearse, controlarse u operarse las redes eléctricas desde esta perspectiva se reducen los costos de generación, se aumenta la seguridad, se reduce el impacto ambiental, se aumenta la confiabilidad o se alcanzan otros objetivos según se requieran.

El problema de DOG tradicional se formula como un problema de optimización no lineal restringido en el que se minimiza una función cuadrática, la cual representa el costo de generación de potencia activa mientras se satisface la demanda de potencia y las pérdidas de transmisión sin violar los límites de generación de las plantas eléctricas. En esta formulación del DOG, al ser el objetivo una función cuadrática, el punto óptimo se encuentra cuando el costo de todos generadores se incrementa linealmente (el mismo costo incremental), de manera que es posible

resolver este tipo de DOG mediante métodos de optimización basados en gradiente, métodos de iteración-lambda, entre otros [1]. Sin embargo, la formulación práctica del DOG involucra muchas consideraciones reales sobre la función objetivo, tales como los puntos válvula y múltiples combustibles [2]-[3], mientras que en las restricciones de igualdad y desigualdad se tienen algunas consideraciones como límites de rampas de generación, zonas de operación prohibidas o requerimientos de reserva de generación [4]-[5], entre otras. Con estas consideraciones el modelo práctico del DOG es no convexo, altamente no lineal e incluso discontinuo, por lo que, este tipo de DOG no puede ser resuelto mediante los métodos de optimización mencionados antes. Por lo tanto, es necesario utilizar métodos de optimización estocásticos-heurísticos para resolver dicho problema de DOG. Entre los métodos que se han utilizado para resolver el problema práctico de DOG están los algoritmos genéticos [6], programación evolutiva [7], las redes neuronales [8], enjambre de partículas [9], colonia de hormigas [10], entre otros.

Es bien sabido que los problemas de optimización restringidos no lineales no convexos representan una gran dificultad para determinar su solución, de manera que recientemente las compañías e investigadores alrededor del mundo han utilizado diversos paquetes computacionales especializados en optimización, tales como AMPL [11], GAMS [12] o herramientas de optimización global desarrolladas en Matlab® [13] o Python [14], por mencionar algunos. En este contexto, en el presente trabajo se utiliza la herramienta de optimización de algoritmos genéticos de Matlab (Matlab GA Toolbox, por su uso en inglés) para implementar y resolver el modelo del Despacho Óptimo de Generación considerando los puntos válvula, ya que con esta herramienta se facilita la implementación del modelo de optimización no lineal del DOG con puntos válvula.

TEORÍA

FORMULACIÓN DEL DESPACHO ÓPTIMO DE GENERACIÓN CON PUNTOS VÁLVULA

Cuando se considera el efecto los puntos válvula en el modelo del DOG, la función objetivo del costo de generación se modifica como se muestra en la Figura 1, en la cual se observa que la función deja de ser convexa para convertirse en una no convexa.

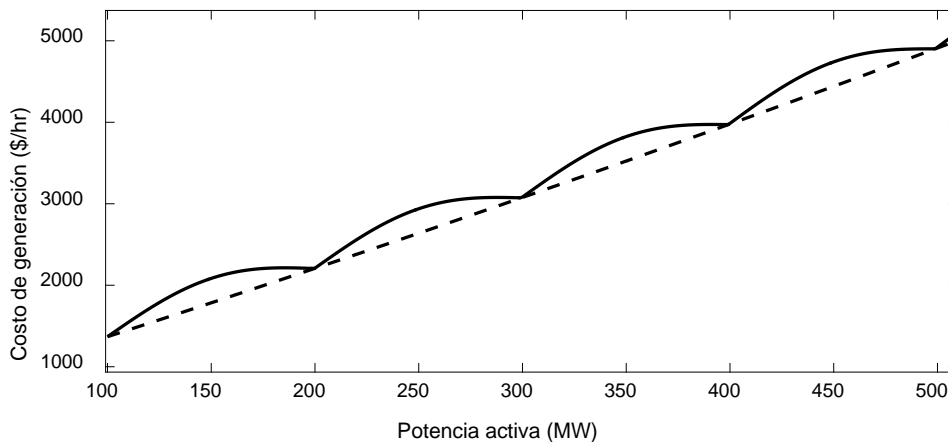


Figura 1. Función objetivo modificada con la adición del efecto de los puntos válvula.

Esta modificación se debe a la adición un término que contiene el valor absoluto de la función seno, de esta manera la función objetivo del DOG con el efecto de los puntos válvula es definida como sigue [6],

$$F_T(P_i) = \sum_{i=1}^{ng} \underbrace{a_i + b_i P_i + c_i P_i^2}_{\text{función de costo}} + \underbrace{e_i \sin[f_i(P_{i\min} - P_i)]}_{\text{puntos válvula}} \tag{1}$$

En la Ecuación (1) el término $F_T(P_i)$ representa el costo total de generación de potencia activa P_i obtenido como la suma del costo individual de cada generador i . Los coeficientes a_i , b_i , c_i del primer término representan los coeficientes del costo de generación en \$/hr, mientras que los coeficientes e_i y f_i son los coeficientes de entrada/salida de la curva del efecto de los puntos válvula.

B) RESTRICCIONES DE IGUALDAD Y DESIGUALDAD

En la formulación del DOG con puntos válvula solo existe una restricción de igualdad, la cual modela el balance de potencia activa. Esta restricción se expresa mediante la Ecuación (2).

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_D - P_L = 0 \tag{2}$$

La restricción de igualdad (2) se satisface cuando la potencia total de generación es igual a la suma de la potencia demandada P_D y las pérdidas en los elementos de transmisión P_L .

Las pérdidas de transmisión P_L , en la Ecuación (2), son representadas mediante una expresión cuadrática que es función de la potencia activa inyectada a los buses. Esta expresión es llamada fórmula de Kron [15] y es dada por,

$$P_L = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} P_{Gi} B_{ij} P_{Gj} + \sum_{i=1}^{ng} B_{0i} P_{Gi} + B_{00} \tag{3}$$

donde P_i y P_j son la potencia activa inyectada en el bus i y j , respectivamente, y los coeficientes B son representados por el término B_{ij} . Los coeficientes B son considerados como constantes y son calculados con un algoritmo computacional desarrollado como parte de este trabajo.

Además de la restricción de igualdad anterior, también se debe satisfacer el siguiente conjunto de restricciones de desigualdad a variables,

$$P_{i\min} < P_i < P_{i\max} \tag{4}$$

Esta restricción de desigualdad modela los límites de generación de cada generador i , de modo que evita que los generadores operen fuera de sus límites físicos y operacionales. Es importante mencionar que la restricción (2) siempre se mantiene activa durante el proceso de optimización, mientras que la restricción (4) solo se activa cuando un generador viola su límite inferior o superior.

RESULTADOS

Con el fin de verificar la confiabilidad de los resultados obtenidos mediante la herramienta de optimización global basada en algoritmos genéticos GA de Matlab, en el presente trabajo se reproduce un caso de estudio con un sistema eléctrico de tres generadores reportado en [6]. Los datos de los generadores se presentan en la Tabla 1; este sistema de generadores debe satisfacer una demanda de 850 MW. En el caso de estudio primero se determina el DOG sin considerar las pérdidas en los elementos de transmisión y posteriormente considerando dichas pérdidas, esto con la finalidad de observar la funcionalidad y flexibilidad de la herramienta GA ante distintas condiciones. Los coeficientes de pérdidas de transmisión se presentan en las tablas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Datos del sistema de tres generadores.

Parámetro	Generador 1	Generador 2	Generador 3
a_i	561	310	78
b_i	7.92	7.85	7.97
c'	0.001562	0.00194	0.00482
e_i	300	200	150
f_i	0.0315	0.042	0.063
P_{max}	350	400	200
P_{min}	100	100	50

Tabla 2. Coeficientes de pérdidas en los elementos de transmisión.

Coeficientes de pérdidas B			
B	0.00676	0.00953	-0.00507
	0.00953	0.00521	0.00901
	-0.00507	0.00901	0.0000294
B_{0i}	-0.00766	-0.00342	0.00189
B_{00}	0.000040357		

En la Tabla 3 se muestra una comparación entre los resultados obtenidos del DOG mediante la herramienta GA de Matlab y los reportados en [6], esto con el fin de ilustrar la confiabilidad y flexibilidad de esta herramienta. Es importante mencionar que el método de optimización basado en algoritmos genéticos calcula distintos puntos óptimos en cada ejecución, de manera que es necesario realizar diversas ejecuciones de la herramienta de optimización para tener una variedad adecuada de resultados, que permita llevar a cabo un análisis comparativo para determinar cuál resultado es el mejor considerando un punto de operación práctico del sistema de potencia. El criterio utilizado en este trabajo para seleccionar el mejor punto óptimo es aquel en el cual el costo de generación de potencia activa es el mejor, en este caso de estudio el punto óptimo del DOG seleccionado como el mejor, de todos los puntos calculados por el algoritmo genético utilizado en este trabajo, es el presentado en la Tabla 3. A partir de la comparación de resultados de esta tabla, se observa que el punto óptimo calculado mediante la herramienta de GA de Matlab es prácticamente igual al reportado en la literatura abierta, incluso el costo de generación obtenido

mediante la implementación propuesta es menor. De acuerdo con esto, es posible deducir que dicha herramienta es confiable para resolver el problema de DOG con funciones objetivo no convexas.

Tabla 3. Punto óptimo del DOG despreciando pérdidas.

Parámetro	GA de Matlab	[6-A]
Generador 1 (MW)	300.2679	299.1
Generador 2 (MW)	399.999	399
Generador 3 (MW)	149.7332	150.8
Costo (\$/hr)	8,234.12416	8,239.2

Por otro lado, en la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos mediante la herramienta de GA de Matlab para el DOG considerando pérdidas en los elementos de transmisión. Se debe notar que en este caso se utiliza el mismo criterio del caso anterior para seleccionar el mejor punto óptimo del DOG. En este caso los resultados obtenidos mediante la herramienta de GA de Matlab fueron confiables en forma práctica, ya que se verificó que se satisficieran las restricciones de igualdad y desigualdad con el mínimo costo de generación.

Tabla 4. Punto óptimo del DOG considerando las pérdidas en los elementos de transmisión.

Parámetro	GA de Matlab
Generador 1 (MW)	299.4661
Generador 2 (MW)	393.5759
Generador 3 (MW)	199.5994
Pérdidas (MW)	42.6414
Costo (\$/hr)	8680.569

Como puede observarse en la tabla anterior, el costo de generación se incrementa debido al incremento de la generación de potencia activa, lo cual es debido a que en este caso la generación debe satisfacer tanto la demanda como las pérdidas de potencia activa en los elementos de transmisión.

CONCLUSIONES

La solución del problema de Despacho Óptimo de Generación considerando el efecto de los puntos válvula se ha presentado en este trabajo. Al incluir este efecto en la función objetivo, el DOG se formula como un problema de optimización no convexo, el cual fue resuelto utilizando la

herramienta de algoritmos genéticos GA de Matlab. La confiabilidad y flexibilidad de esta herramienta se demostró mediante dos casos de estudio, en los cuales los resultados obtenidos mediante el GA de Matlab se comparan de manera adecuada con los reportados en la literatura abierta. Es importante mencionar que el criterio utilizado en este trabajo para seleccionar el mejor punto óptimo fue aquel en el cual el costo de generación de potencia activa es el mejor.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. J. Wood, and B. F. Wollenberg, *Power Generation, Operation, and Control*, New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 1984.
2. J. B. Park, K. S. Lee, J. R. Shin, and K. Y. Lee, "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 20, 1, pp. 34-42, Feb. 2005.
3. D. C. Walters and G. B. Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with the valve point loading", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 8, 3, pp. 1325-1332, Aug. 1993.
4. Z. L. Gaing, "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 18, 3, pp. 1187-1195, Aug. 2003.
5. A. El-Gallad, M. El-Hawary, A. Sallam, and A. Kalas, "Particle swarm optimizer for constrained economic dispatch with prohibited operating zones", *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Vol. 1, pp. 78-81, 2002.
6. D. C. Walters, G. B. Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 8, 3, pp. 1325-1332, August 1993.
7. N. Sinha, R. Chakrabarti, and P. K. Chattopadhyay, "Evolutionary Programming Techniques for Economic Load Dispatch", *IEEE Transactions on evolutionary computation*, Vol. 7, 1, pp. 83-86, February 2003.
8. K. Y. Lee, A. Sode-Yome, and J. H. Park, "Adaptive Hopfield neural network for economic load dispatch" *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 13, No. 2, pp. 519-526, May 1998.
9. Park, J. B, Lee, S., Shin, J. R. & Lee, K. Y. (2005). "A Particle Swarm optimization for Economic Dispatch with Nonsmooth Cost Functions", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 20, 1, pp. 34-42.
10. Gopalakrishnan, R. & krishnan, A. (2013). "An Efficient Technique to Solve Combined Economic and Emission Dispatch Problem Using Modified Ant Colony optimization", *Sadhana*, vol. 38, 4, pp. 545-556.
11. KNITRO. [Online]. Available: <http://www.ziena.com>.
12. A. S. Drud, *GAMS/CONOPT*, ARKI Consulting and Development, Bagsvaerdvej 246A, DK-2880 Bagsvaerd, Denmark, 1996, available at <http://www.gams.com/>.
13. The MathWorks, Inc., "Matlab Genetic Algorithm Toolbox", available at <http://www.mathworks.com>.
14. Python software, www.python.org
15. G. Kron, "Tensorial Analysis of Integrated Transmission System", Part II: Off-Nominal Turns Ratios, *AIEE Transactions*, Vol. 71, 1, pp. 505-512.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE MATERIALES COMPUESTOS DE HIDROXIAPATITA-PLATA.

Alfonso Núñez Tapia, Jessica Osorio Ramos, Silvia Corona Avendaño, Elizabeth Refugio

García, Deyanira Ángeles Beltrán y José Guadalupe Miranda Hernández

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco isrant86@gmail.com y
2010.josorio@gmail.com

Universidad Autónoma del Estado de México.

RESUMEN

La Hidroxiapatita (HPa) por ser un material cerámico posee fragilidad, que aumenta al estar en contacto con fluidos corporales, por tanto, suele emplearse con materiales de refuerzo, realizando el procesamiento por varias técnicas, como la de polvos, con el fin de mejorar las propiedades física y mecánicas de los compuestos, en este caso de HPa-Ag. El uso de esta técnica, responde a la necesidad de controlar variables como la macro porosidad, que está relacionada con las propiedades mecánicas. La HPa base fue sintetizada por vía precipitación y se reforzó con diferentes contenidos de plata (0.5, 1, 2 y 3% wt), sinterizando a 800°C por 1 h, en presencia de una atmósfera inerte. Posteriormente a estos compuestos se les determinaron parámetros como la densidad, tamaño de poro, porosidad, dureza y resistencia a la compresión. Encontrando que al hacer una comparación entre la HPa objeto de estudio y la comercial (aldrich), los resultados son similares al adicionar 3% de plata. Sin embargo, al realizar la comparación con el hueso trabecular humano, los mejores resultados se orientaron a un contenido de 2% de plata, presentando valores de esfuerzo de fractura en compresión que fluctúan entre 30 y 48.7 MPa para el hueso y un rango de 20 y 35 MPa para los materiales compuestos.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico, alimentario y de salud traen bienestar a la población, aunque este viene acompañado de nuevos retos, tales como el aumento de la población, y con ello el incremento de adultos mayores, los cuales están más expuestos que nunca a sufrir no solo de accidentes como caídas, sino también el embate de enfermedades degenerativas como la osteoporosis.

Disponer de materiales capaces de hacer frente a estas necesidades, hace que el ser humano, a lo largo de su historia se vea no solo en la necesidad de utilizar los materiales disponibles, si no también combinarlos.

Se ha investigado sobre diversos materiales, y la hidroxiapatita es uno de ellos, ya que forma parte de la composición ósea y posee características como la biocompatibilidad, osteoinducción y osteoconducción, que favorecen la osteogénesis, lo que da como resultado el amalgamamiento del implante-hueso. De tal forma que se obtiene un material que promueve la remodelación ósea.

La hidroxiapatita pertenece a la categoría de biomateriales cerámicos bioactivos, y posee las ventajas de biocompatibilidad y bioestabilidad, pero al ser un material de tipo cerámico posee también la fragilidad que aumenta al estar en contacto con los fluidos corporales. Por lo tanto, es conveniente trabajar con otros materiales empleados como refuerzo, que modifiquen las propiedades del cerámico, entre otras la tenacidad.

El presente trabajo explora las propiedades físicas y mecánicas de los materiales compuestos de hidroxiapatita - plata.

TEORÍA

Tener biomateriales que sean amigables con el huésped en el cual son implantados, desde el punto de vista de la biocompatibilidad es una tarea ardua, ya sea no solo por la ausencia de reacciones adversas durante el proceso de recuperación, sino también a lo largo del plazo es importante, por lo que los fosfatos de calcio en particular la HPa presentan dicha biocompatibilidad pues los productos desprendidos de ésta durante la etapa de degradación (fosfato y calcio en estado iónico) no provocan niveles anormales ni de calcio, ni de fósforo en la orina, y así se evita el daño a órganos vitales como los riñones^[1].

Los biomateriales compuestos están formados por una fase discontinua, también llamada carga o refuerzo, de la cual dependen muchas de las propiedades mecánicas, y por una fase continua o matriz, la cual se elige en función a las propiedades que se desee conferir al material. Por lo que esta matriz puede ser un cerámico, un metal o incluso un polímero, pero en cualquier caso deben tener propiedades de biocompatibilidad comprobadas. Por lo que desde el punto de vista de la investigación se hacen avances en el estudio de las relaciones de biocompatibilidad, pero se ha puesto poca atención en las propiedades mecánicas de dichos materiales.

Dichas propiedades mecánicas son complejas de abordar ya que el sistema óseo, es el resultado de la adaptación y evolución humana a lo largo del tiempo, razón por la que se presentan diferencias entre cada uno de los huesos que los conforman como son: la densidad, geometría, composición, etc.

Los estudios destinados a los biomateriales tienen como prioridad estudiar los procesos de evolución clínica y toxicológica de los mismos, dejando atrás las propiedades mecánicas, lo que implica dejar sin solución el problema de la baja resistencia mecánica de los materiales cerámicos como la HPa.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la formación de las probetas se mezcla HPa obtenida vía precipitación, con tamaño de partícula no mayor a 74 micrómetros, y partículas metálicas de plata (Aldrich, menores a 100 nm) en composiciones de 0.5, 1, 2, 3%wtAg, adicional a un blanco 100 % HPa.

Los polvos se vierten en un contenedor de alúmina, con elementos de molienda de zirconia en proporción de 1:15 y se dejan mezclar por 2 h a 200 rpm.

Con la mezcla obtenida y empleando dados de acero se preparan pastillas de diferentes características, las primeras de 20mm y peso inicial de 1.5 g, utilizadas para la caracterización física, segundas con unas dimensiones de 10 mm y un peso de 1.25 g, empleadas para las pruebas mecánicas. Ambas compactadas de manera uniaxial por una prensa hidráulica.

Las pastillas obtenidas fueron sinterizadas en una mufla, donde se llevó acabo la siguiente rampa de calentamiento: primeramente se llevaron a 500 °C, con un tiempo de permanencia de 10 min, posteriormente se incrementó la temperatura hasta los 800°C, que corresponde a la temperatura considerada para el proceso, y se mantuvieron a esa temperatura por 1 h, en presencia de una atmósfera inerte de argón.

RESULTADOS

Determinación de la densidad y porosidad.

La determinación de la densidad y porosidad de las probetas se realizó mediante el método de Arquímedes, obteniendo los resultados mostrados en la figura 1, donde se puede apreciar una disminución del valor de densidad conforme se incrementa la presencia metálica, esto se puede relacionar con el reordenamiento microestructural interno, y con la presencia de una segunda fase dispersa que modifica el comportamiento del material, lo cual tiende a disminuir la densidad.

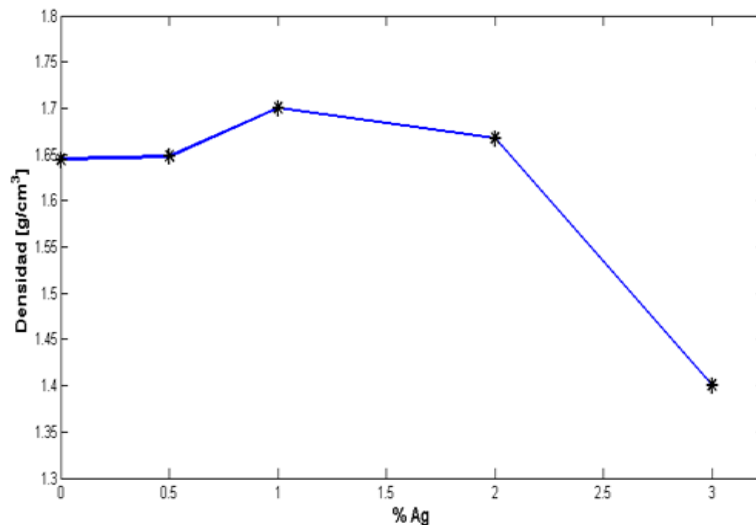


Figura 1: Densidad de materiales compuestos HPa-Ag, sinterizados a 800 °C

Por otra parte la porosidad aumenta ligeramente al ir variando la concentración de plata en la mezcla de HPa-Ag, como se puede apreciar en la figura 2. Para estos compuestos la presencia de porosidad es deseable debido a la biocompatibilidad, ya que tener un tamaño de poro similar al hueso reportados en la literatura aumenta la posibilidad de osteointegración.

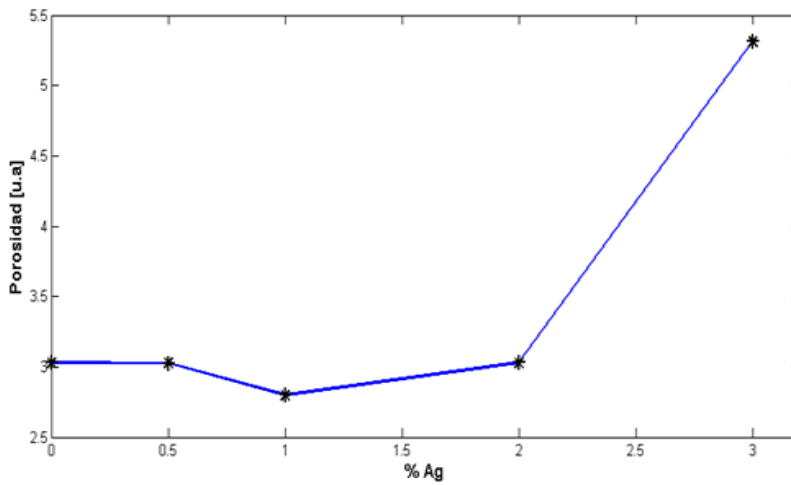


Figura 2: Porosidad de materiales compuestos HPA-Ag, sinterizados a 800 °C
Determinación de la dureza.

Se midió la dureza de cada compacto en un Microdurómetro Vickers obteniendo los resultados mostrados en la figura 3, donde se puede apreciar el incremento de la dureza del material, esto es debido no solo al aumento en la presencia del refuerzo (Ag), sino también al incremento de la porosidad, la cual está relacionada con la constante de conductividad térmica, y con el proceso difusivo, generando así la formación de conglomerados de partículas lo cual se traduce en el incremento de la porosidad., sobre todo al trabajar con 3% de plata

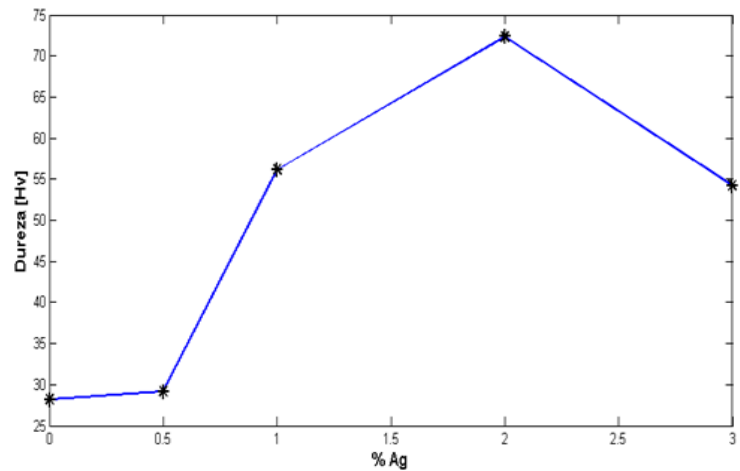


Figura 3. Dureza Vickers, de materiales compuesto de hidroxiapatita-plata sinterizados a una temperatura de 800° C, aplicando una carga de 25 gf

Esfuerzo de fractura

Un dato importante es el esfuerzo de fractura, ya que hace referencia a la cantidad de carga que puede soportar el material antes de fallar. El esfuerzo de fractura se muestra en la figura 4. Tiende a incrementarse conforme la concentración de plata aumenta.

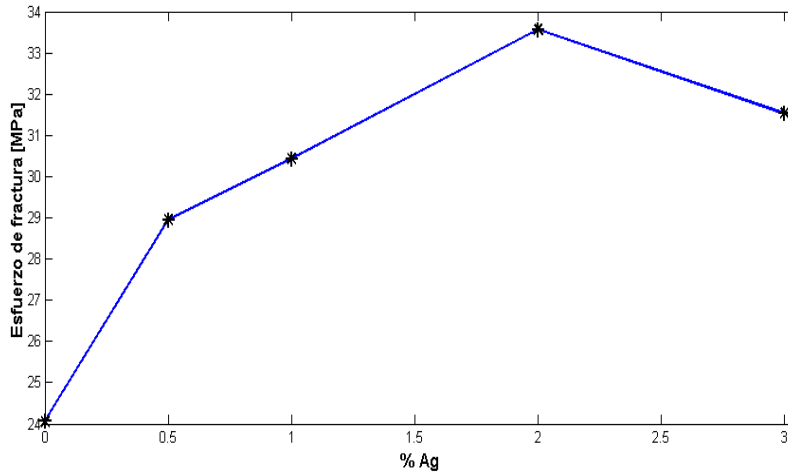


Figura 4. Esfuerzo de fractura, de materiales compuesto de hidroxiapatita-plata sinterizados a una temperatura de 800° C.

Módulo de Young.

El módulo de Young cuantifica la resistencia de los materiales y como se observa en la figura 5, al incrementar la concentración de metal reforzante (Ag), la resistencia del material aumenta.

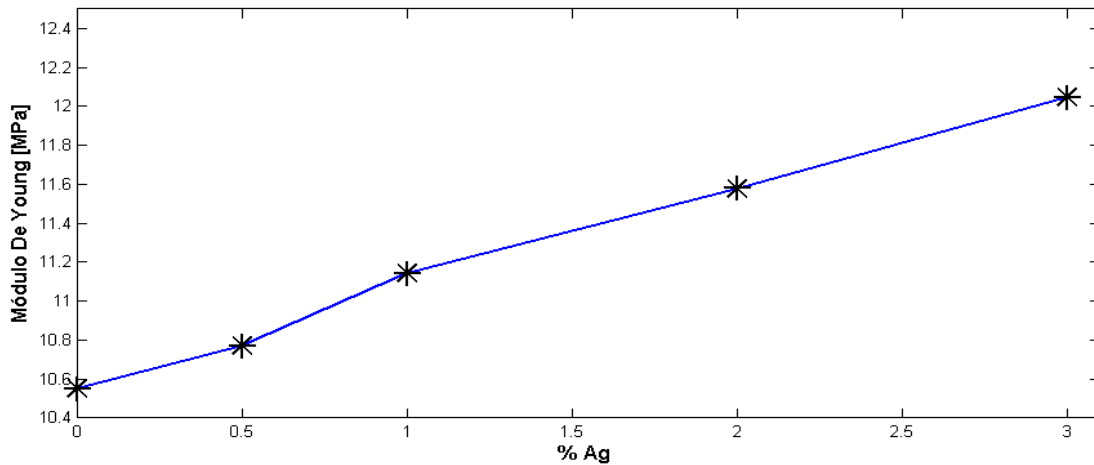


Figura 5. Módulo de Young, de materiales compuesto de hidroxiapatita-plata sinterizados a una temperatura de 800° C.

Análisis de resultados

Densidad.

Los valores de la densidad pueden variar debido a factores como la edad, raza, sexo, padecimiento de enfermedades o al tratamiento directo de las muestras antes y durante la

realización de los experimentos tales como los métodos de conservación. Por lo que los datos reportados pueden tener discrepancias.

En cuanto a los valores de densidad nuestros compositos HPA-Ag se encuentran entre 1.44 y 1.7 g/cm³ por lo que corresponde a valores reportados de densidad promedio de 1.85 g/cm³[2].

Tamaño de poro.

Los datos porosidad promedio pueden variar debido a el tipo hueso, ya que dependen de la cantidad de carga y funcionalidad de los mismos. Éstos materiales compuestos fluctúan entre valores mínimos y máximos de 94 y 367 μm^2 respectivamente, y los datos reportados de área de poro varían entre 100 a 300 μm^2 [3] por lo que lo que podemos considerar que los materiales obtjeo de este estudio se encuentran en el rango. Cabe señalar que la porosidad es de suma importancia ya que es determinante en el proceso de osteointegración.[4]

Esfuerzo de fractura

Al hablar sobre la resistencia presentada del sistema óseo es necesario hacer hincapié nuevamente en la funcionalidad de los mismos, ya que algunos huesos tienen que tolerar grandes cargas, y en otros casos cargas periódicas, lo cual se deriva en la adaptación ósea, teniendo así diferentes tamaños, geometrías, porosidades e incluso sistemas dinámicos de crecimiento, ya que se ha encontrado que el sistema óseo está en constante renovación, aunque tiende a decaer paulatinamente con la edad[3,5]

Un ejemplo de esto son los valores de resistencia en compresión del hueso trabecular que fluctúan entre 30 y 48.7[5] MPa mientras que los datos obtenidos experimentalmente tienen una aproximación importante ya que presentan valores entre 20 y 35 MPa.

CONCLUSIONES

La hidroxiapatita sintetizada vía precipitación presenta una similitud al compararla con la HPA de origen comercial. Por lo que se puede concluir que en el presente trabajo se logro obtener una hidroxiapatita cristalina, y con propiedades mecánicas y físicas que la hacen candidata a ser considerada un material idóneo para el remplazo óseo. Las pruebas mecánicas de los materiales compuestos se encuentran en el rango reportado en la bibliografía correspondiente a datos experimentales realizados a huesos humanos. La concentración con mayor estabilidad mecánica corresponde a 3% de Ag, debido a que los resultados obtenidos con esta composición, tienen mayor semejanza con los valores reportados en huesos humanos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Florence Barrère, "Bone regeneration: molecular and cellular interactions with calcium phosphate ceramics", International Journal of Nanomedicine, pp 317–332
2. Smith I. "Convulsion and coma associated with estrogenically y elevated CSF calcium level post spinal surgery". Crit Car Resusc 2005;7:173–6
3. Hildebrand T, "analysis of human cancellous bone: microstructural data from spine, femur, iliac crest, and calcaneus", J. Bone Miner. Res.14(7):1167–1174.
4. de Bruijn JD, Klein CP, de Groot K, et al. 1992b. "The ultrastructure of the bone-hydroxyapatite interface in vitro". J Biomed Mater Res, 26:1365–82.
5. McCalden, R. W, "Age-related changes in the compressive strength of cancellous bone: The relative importance of changes in density and trabecular architecture", J. Bone Joint Surg.79A(3):421–427

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA EL SUMINISTRO ENERGÉTICO DE CERVECERÍAS

Paulina Perea Eguia, Emilio Hernández Martínez

Universidad Autónoma de Baja California

RESUMEN

En el siguiente proyecto se pretende presentar los resultados de un estudio teórico de implementación de sistemas híbridos para el suministro energético de cervecerías artesanales. En los últimos años la producción de cerveza artesanal ha tenido un gran crecimiento a nivel nacional. El objetivo principal de la investigación es evaluar el poder calorífico de las materias orgánicas de desecho o afrecho de las micro cervecerías para la viabilidad de la producción de gas de síntesis con el fin de utilizarlo en diversos procesos de la misma industria, teniendo indicadores que describan si se genera una disminución del consumo de gas convencional reflejándose en los costos finales de la cervecería. El proyecto se realizó en la ciudad de Tijuana, Baja California, en donde la industria cervecera artesanal se encuentra en un desarrollo progresivo. En la metodología de evaluación se define un escenario sustentable para una cervecería con sistemas híbridos, valorando los litros producidos y el consumo energético, tanto de combustibles fósiles como de energía eléctrica; la simulación fue desarrollada en el software Retscreen. A partir del análisis final de variables se deduce que la implementación de sistemas híbridos en las cervecerías artesanales en la zona norte de México producirá una mejora considerable en la reducción del consumo energético de hasta un 25%, debido a las propiedades del afrecho y a la zona geográfica donde se desarrolla el proyecto el cual cuenta con una irradiación media anual de 5.68kWh/m²/día. Esto repercute en un alto porcentaje en la economía de la industria, el desarrollo cervecero, el cuidado del medio ambiente y la salud pública de la región al dejar de emitir gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global.

INTRODUCCION

En los últimos años, la producción de cerveza artesanal ha tenido un gran auge a nivel mundial, Esto debido a un creciente interés del consumidor debido a su alta calidad (EUFIC, 2015). La ciudad Tijuana, es reconocida a nivel nacional por su cerveza artesanal, con más de 60 cervecerías con este rubro, ha sido nombrada la capital de la cerveza artesanal en México. (La Jornada, 2016).

La cerveza artesanal es una de las bebidas fermentadas más antiguas de la humanidad, cuya materia prima usualmente suele ser la cebada, agua, lúpulo y levadura. Países nórdicos como Alemania e Inglaterra se favorecieron de la elaboración cervecera gracias a la resistencia de la cebada a climas fríos (EUFIC, 2015).

Ingredientes de la cerveza artesanal:

- Agua: De todos los elementos que forman la cerveza, probablemente el agua es el más importante de todos. (Cerveceros Caseros, 2011).
- Lúpulo: Es una planta de la familia de las cannabáceas, cuya flor es utilizada en la elaboración de la cerveza. Es la responsable de aportar el amargor y de que la cerveza tenga ciertos aromas y sabores propios. (Sabrosia, 2013).
- Malta: La malta son los granos de cereal, como la cebada, que son llevados a un proceso de “Malteado”, el cual consiste, a grandes rasgos, en remojar los granos con agua, esperar a que estos empiecen a germinar, para después detener el germinado secando los granos, de esta forma, la simple cebada, pasa a ser llamada ahora “malta de cebada”. (The Beer Box, 2009)
- Levadura: Existe desde hace más de cien años, su nombre científico es *Saccharomyces Cerevisiae*. Cuando se llega a una alta concentración alcohólica, el mismo microorganismo muere, ya que, el mismo alcohol actúa como sanitizante. (UNAM, 2014).

En el curso de la primera década del siglo XXI el mundo se ha visto en una necesidad de crear fuentes alternativas de energía como los biocombustibles con el fin de sustituir el empleo de hidrocarburos. El reciente aumento de los precios de los combustibles tradicionales dio paso a retomar el tema de la implementación de estos. (INERCO, 2013).

La obtención de energía mediante la gasificación de la biomasa que la convierte en gas de síntesis y su combustión para generar electricidad en sistemas híbridos, se ha desarrollado hasta convertirse en un segmento independiente dentro de la industria renovable. (INERCO, 2013).

En todos los procesos productivos de las cervecerías se generan desechos después de que se obtiene el producto deseado, del cual se dispone para que no haya daños al medio ambiente. La industria cervecera genera grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos orgánicos llamados afrecho o gabazo conformados por levaduras, malta, lúpulo entre otros. La utilización de estos desechos puede contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y además puede proporcionar a las empresas un ahorro considerable en la utilización de combustibles anualmente.

TEORÍA

Las cervecerías tienen un alto consumo de gas natural al calentar agua, pues se usa para distintos procesos en la fabricación de cerveza. El afrecho es un subproducto en la elaboración de la cerveza, que acaba empleándose en la industria ganadera para la alimentación de distintos animales, el cual no genera ninguna ganancia para la empresa. Está compuesto por la malta utilizada en la elaboración de la cerveza y el 76% de su peso es agua. (Cerveceros Unidos, 2012). La utilización del desecho orgánico como materia prima para la obtención de gas de síntesis podría llegar a ser un apoyo en la economía de la cervecería, al disminuir el consumo de gas natural, cuyo precio crece con ritmo acelerado.

- Características Generales

El proyecto consistirá en la implementación de un sistema híbrido termoquímico-solar para la generación de energía eléctrica, con el objetivo de alimentar parte de las operaciones en una industria micro cervecera, a partir de la producción de gas de síntesis utilizando los desechos orgánicos de los procesos industriales para la fabricación de la cerveza, dicho gas se utilizará para los procesos de calentamiento de agua. Para complementar la demanda de la industria, se utilizará un sistema fotovoltaico de acuerdo al sitio de implementación.

- Tecnologías a implementar

Se eligieron dos tecnologías para la producción de energía eléctrica.

1. La obtención de gas de síntesis a partir de los desechos orgánicos derivados de la fabricación de la cerveza para la producción de energía calorífica, por medio del diseño de un gasificador.
2. La utilización de paneles fotovoltaicos para el aprovechamiento del recurso solar de la zona para la producción de energía eléctrica para abastecer parte del consumo eléctrico de la empresa.

- Estudio económico

Una cervecería artesanal tiene en promedio los siguientes gastos por cada 250 litros de cerveza producidos:

Materias Orgánicas	\$ 3,000.00	Malta, lúpulo, levadura.
Agua	\$ 185.00	Agua total utilizada para la elaboración de la cerveza.
Gas	\$ 287.00	Gas L.P. Se obtienen 11.18 litros producidos/kg de gas L.P.
Electricidad	\$ 269.96	Ecuación utilizada tomando en cuenta el consumo de energía eléctrica total con relación a la cantidad de cerveza producida bimestralmente. 1.38kW/litro producido.
TOTAL	\$3741.96	

Tabla 1. Gastos de una cervecería por cada 250 litros producidos. (Fuente: Elaboración propia, 2017)

PARTE EXPERIMENTAL

- Metodología

Para la obtención del gas de síntesis se utilizarán los desechos orgánicos de los procesos industriales para la fabricación de la cerveza, se producirá en un gasificador. Se analizará una industria micro cervecera y la producción en litros semanales para hacer el cálculo de volumen de gas y energía que se podrá obtener, generando un modelo general para cualquier caso.

Para la generación de energía solar se obtendrán las irradiaciones promedio diarias de acuerdo a estaciones climatológicas cercanas a los sitios de implementación, empleando datos de irradiación diaria promedio de la NASA.

- Disponibilidad del recurso

a) Recurso solar

La irradiación media anual para la ubicación del proyecto es de 5.68kWh/m2/día (NASA, 2017, Estación climatológica 2038 Presa Abelardo Rodríguez, 32°26'49" N, 116°54'28" W).

b) Recurso de biomasa

El recurso de biomasa estará ligada a la cantidad de cerveza producida mensualmente por la cervecería, esta, a su vez, se calcula que tiene pérdidas del 76% en humedad, por lo que solamente se cuenta con el 24% del peso total del afrecho una vez que este ha sido utilizado para la elaboración de la cerveza. La cantidad de afrecho que se obtendrá al finalizar el proceso varía dependiendo de la cerveza elaborada, pero el promedio es de 65 kg de malta por cada 250 litros de cerveza.

- Recurso renovable del proyecto

Realización de una gestión energética, una vez implementado todos los ajustes a la industria para el ahorro de energía se hará una propuesta para la implementación de un gasificador para la obtención de gas de síntesis, complementado por un sistema fotovoltaico según las necesidades energéticas de cada cervecería.

- Caso de estudio

El proyecto se desarrollará en la cervecería ubicada en el centro de la ciudad de Tijuana, en la calle revolución, pasaje revolución entre calle 4ta y calle 3ra, municipio de la zona noroeste del país, donde el desarrollo cervecero se encuentra en un crecimiento progresivo. Las coordenadas del establecimiento son 32.53 en latitud Norte y 117.03 en latitud Oeste. Analizando los consumos

de electricidad tenemos que la empresa tiene un gasto promedio bimestral de \$6478. La energía promedio consumida es de 1352 kWh/bimestral. El consumo de gas L.P. es de 527.24 kg/bimestrales. La cervecería produce un estimado de 6,000 litros de cerveza bimestrales.

- Elección de equipo

En la selección del equipo se tomó en cuenta su eficiencia, su precio, materiales, que la potencia estuviera adecuada a las necesidades de la industria cervecera para no caer en un sobredimensionamiento innecesario. Paneles fotovoltaicos Suntech STP320-24/Vem de material policristalino, con una eficiencia del 16.5%, con una capacidad de producción de 320W. Inversor Sunny Boy 3.8 US de 208 V, con una potencia de entrada de 3450 W. Un gasificador Shangong Machinery de 40Kg/h de biomasa consumible con una generación de hasta 40kw/h.

- Enfoques del proyecto
 - 1) Dar una iniciativa renovable para las cervecerías artesanales.
 - 2) Utilizar tecnologías innovadoras en Baja California.
 - 3) Renovar el enfoque de las cervecerías artesanales a proyectos sustentables.
 - 4) Promover el área de energías renovables a nivel industrial.
 - 5) Reducir costos de consumo energético en las industrias cerveceras.
 - 6) Apoyar y aportar al medio ambiente.
- Propuesta

Se propone un arreglo fotovoltaico con una potencia instalada de 3.2 kW, el cual constara de 10 módulos de 320 W de la marca Suntech, un inversor central de la marca Sunny Boy de 208V. Un gasificador Shangong Machinery de 40Kg/h de biomasa consumible con una generación de hasta 40kw/h.

RESULTADOS

a) Cálculos sistema fotovoltaico

Formula 1.0 Promedio de consumo diario anual

$$C_{DPA} = \frac{\Sigma kWh_{bimestrales}}{365}$$

Sustituyendo

$$C_{DPA} = \frac{8312kWh}{365}$$

Resultado

$$C_{DPA} = 22.77kWh/día$$

Horas solar pico para la ciudad de Tijuana (PV Watts, 2016)

$$H_{SP} = 5.68 \text{ h}$$

Formula 2.0 Potencia requerida sistema fotovoltaico

$$P_{SFV} = \left(\frac{C_{DPA}}{H_{SP}\eta} \right) \alpha$$

Donde:

$\eta = \text{eficiencia del sistema}$

$\alpha = \text{porcentaje de energía a abastecer}$

Sustituyendo

$$P_{SFV} = \left(\frac{22.77 \text{ kWh/día}}{5.68 \text{ h} \cdot 0.75} \right) 0.65$$

Resultado

$$P_{SFV} = 0.32 \text{ kW}$$

Formula 2.1 Número de módulos fotovoltaicos necesarios

$$N_{FV} = \frac{P_{SFV}}{P_{MFV}}$$

Sustituyendo

$$N_{FV} = \frac{3.06 \text{ kW}}{0.32 \text{ kW}}$$

Resultado

$$N_{FV} = 9.58 \text{ modulos}$$

Voltaje máximo de entrada al inversor

$$V_{\max} = 600 \text{ V}$$

Voltaje de salida de los módulos

$$V_{oc} = 37.3 \text{ V}$$

Formula 2.2 Máximo número de módulos fotovoltaicos en serie

$$M_s = \frac{V_{\max}}{V_{oc}}$$

Sustituyendo

$$M_s = \frac{600 \text{ V}}{37.3 \text{ V}}$$

Resultado

$$M_s = 16.08 \text{ modulos}$$

Formula 2.3 Máximo número de módulos fotovoltaicos en paralelo

$$M_p = \frac{N_{MFV}}{M_s}$$

Sustituyendo

$$M_p = \frac{9.58 \text{ modulos}}{16.08 \text{ modulos}}$$

Resultado

$$M_p = 0.59 \text{ modulos}$$

b) Cálculos gasificador

$$\text{Volumen específico gas L.P. } V_{\text{gasL.P.}} = \frac{0.56 \text{ L}}{\text{Kg}}$$

Formula 1.0 Poder calorífico del gas L.P.

$$P_{\text{cgasL.P.}} = V_{\text{cgasL.P.}} \cdot V_{\text{gasL.P.}}$$

Sustituyendo

$$P_{\text{cgasL.P.}} = \frac{26568 \text{ KJ}}{\text{L}} \cdot \frac{0.56 \text{ L}}{\text{Kg}}$$

Resultado

$$P_{c_{gasL.P.}} = 14878.08 \frac{KJ}{Kg}$$

Formula 1.1 Energía calorífica de un kilogramo de gas L.P.

$$E_{gasL.P.} = P_{c_{gasL.P.}} \cdot \dot{m}_{gasL.P.}$$

Sustituyendo

$$E_{gasL.P.} = 14878.08 \frac{KJ}{Kg} \cdot 1 \frac{Kg}{s}$$

Resultado

$$E_{gasL.P.} = 14878.08 \frac{KJ}{s}$$

Formula 2.0 Kilogramos necesarios de gabazo para tener la energía de un kilogramo de gas L.P.

$$\dot{m} = \frac{E}{P_{cgabazo} \cdot \eta_{combustión} \cdot \eta_{gasificador}}$$

Sustituyendo

$$\dot{m} = \frac{14878.08 \frac{KJ}{s}}{19200 \frac{KJ}{Kg} \cdot 0.3 \cdot 0.6}$$

Resultado

$$\dot{m} = 4.305 \frac{Kg}{s}$$

Formula 3.0 Kilogramos de gabazo e producida por cada kilogramo de gabazo

$$m = \frac{E}{P_{cgabazo} \cdot \eta_{combustión} \cdot \eta_{gasificador}}$$

Sustituyendo

$$m = \frac{14878.08KJ}{19200 \frac{KJ}{Kg} \cdot 0.3 \cdot 0.6}$$

Resultado

$$m = 4.305Kg$$

Formula 4.0 Flujo de calor por hora

$$\dot{Q} = \frac{E}{3600}$$

Sustituyendo

$$\dot{Q} = \frac{14878.08KJ}{3600}$$

Resultado

$$\dot{Q} = 4.132 kWh$$

Formula 4.1 Flujo de calor por hora por cada kilogramo de gabazo

$$\frac{\dot{Q}}{Kg} = \frac{\dot{Q}}{m}$$

Sustituyendo

$$\frac{\dot{Q}}{Kg} = \frac{4.132kWh}{4.305Kg}$$

Resultado

$$\frac{\dot{Q}}{Kg} = 0.96 \frac{kWh}{Kg}$$

Formula 4.2 Energía calorífica producida

$$E = \left(\frac{\dot{Q}}{Kg}\right) (\dot{m}_{gasificador})$$

Sustituyendo

$$E = \left(0.96 \frac{kWh}{Kg}\right) \left(40 \frac{Kg}{h}\right)$$

Resultado

$$E = 38.4kW$$

CONCLUSIONES

Los sistemas híbridos termoquímicos-solares son redituables cuando las cervecerías tienen una producción a partir de los 6000 litros de cerveza mensuales, de otra manera el sistema tiene una tasa de retorno de hasta 17 años.

La utilización de materias de desecho es un gran aporte para la cervecería, utilizando residuos que no tienen un valor comercial, aprovechándolos para la producción de gas de síntesis como combustible para el calentamiento del agua para los distintos procesos en la elaboración de la cerveza llega a ser mejor que la utilización de estos para la generación de energía eléctrica.

La energía solar fotovoltaica en zonas con clima seco como en la ciudad de Tijuana tiene una alta generación de energía eléctrica, ya que el 80% del año se cuentan con días soleados o parcialmente nublados.

La utilización de energías alternas en cervecerías ha resultado como un atractivo para distintos cerveceros que quisieran implementar estos sistemas para tener un ahorro en sus cargas por consumo industrial y tener un atractivo para el consumidor como empresas responsables con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mago PJ, Chamra LM, Srinivasan K, Somayaji C. An examination of regenerative organic Rankine cycles using dry fluids. Applied Thermal Engineering.

2. Schuster A, Karellas S, Kakaras E, Spliethoff H. Energetic and economic investigation of organic Rankine cycle applications. *Applied Thermal Engineering* 2009;29:1809
3. Vélez F, Segovia J, Martín MC, Antolín G, Chejne F. Theoretical analysis of a transcritical power cycle for power generation from low temperature heat source. In: *Proceedings of the 24th international conference on efficiency, cost, optimization, simulation and environmental impact of energy systems*
4. Lemmon EW, Huber ML, McLinden MO. Reference fluid thermodynamic and transport properties (REFPROP). NIST Standard Referencia Biblioweb.tic.unam.mx. (2016). Libros. [online] Disponible en: <http://www.biblioweb.tic.unam.mx/libros/microbios/Cap16/> [Accedido 15 Marzo 2017].
5. Amt-solar.com. (2016). ¿Qué es la energía fotovoltaica? [online] Disponible en: <http://www.amt-solar.com/index.php/es/fotovoltaica> [Accedido 15 Marzo 2017].
6. Agve.com.ar. (2016). ¿Qué es un gasificador de biomasa? [online] Disponible en: <http://www.agve.com.ar/biomasaqueesgasificador.php> [Accedido 15 Marzo 2017].
7. L., Mosquera, P. Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. [online] Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. Disponible en: <http://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/los-paises-lideres-de-la-energia-solar-20151124> [Accedido 15 Marzo 2017].
8. Mundo Solar. (2016). Mundo Solar - Aprende sobre energía solar y paneles solares. [online] Disponible en: <http://www.dforcesolar.com/> [Accedido 30 Nov. 2016].
9. “Instalaciones eléctricas” Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012. Diario Oficial de la Federación, México D.F., a 12 de noviembre de 2012, Sexta sección, pp. 793-813.
10. Descubre baja california (2016). *Cerveza Artesanal*. [online] Disponible en: <http://www.descubrebajacalifornia.com/index.php/blogdescubrebc/item/cerveza-artesanal-2> [Accedido 15 Marzo 2017].

Anexo referencias formulas

1. Poderes caloríficos y eficiencias de combustión tomados de Holman, J. P.: *Transferencia de Calor*, 8a edición, Mc Graw-Hill, Madrid, 1998
2. Chapman A.J.: *Transmisión de calor*, Editorial Librería Editorial Bellisco, Madrid, 3a Edición, 1990.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ÓPTICA DE RECUBRIMIENTOS DELGADOS DE ZNO DOPADOS CON Cu OBTENIDOS POR SPIN COATING

Fabiola del C. Gómez Torres, David Salazar Marín, Osiris Escamilla Luna, Saúl García López Laura Lorena Díaz Flores y Ma Guadalupe Garnica Romo.

Estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Graduado de Ingeniería Química de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

fabiolagomeztr@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se obtuvieron recubrimientos transparentes de óxido de Zinc (ZnO) dopados con cobre (Cu) y depositados por el método de spin coating sobre sustratos de vidrio. Para conseguir tal propósito, por el proceso de hidrólisis forzada, se variaron las concentraciones molares de las soluciones precursoras del ZnO:Cu. Y se establecieron las condiciones adecuadas de las soluciones con pH ácido y viscosidad menor a 10 cP, para que éstas se depositaran sobre el vidrio a una velocidad de giro de 1000 rpm en atmósfera de N₂ por el método de spin coating, con hasta tres capas. Las muestras obtenidas se secaron 1 hora a 80°C para evaporar el solvente y tratadas térmicamente a 400 y 450°C durante 2 horas. La caracterización fue realizada por UV-Vis para evaluar la transmitancia óptica. Con los resultados previos obtenidos, se concluye que estos recubrimientos tienen propiedades para posibles aplicaciones fotocatalíticas y celdas fotovoltaicas.

INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de dispositivos tecnológicos de diferentes ramas de la industria actualmente requieren en algún momento de su construcción la síntesis y el apilamiento de diferentes capas o recubrimientos de materiales sólidos de espesores muy finos con un grosor de una micra o menor, estos recubrimientos se denominan películas o capas finas. Debido a que estas películas suelen ser muy delgadas y frágiles no suelen emplearse por sí solas, sino que se encuentran depositadas o soportadas sobre otros materiales de mayor grosor denominados sustratos que pueden poseer distintas propiedades físicas o químicas[1].

Las películas delgadas se suelen emplear con dos finalidades, la primera es optimizar las propiedades de los sustratos a los que recubren, o bien darles propiedades nuevas, en estos casos, a estas películas suelen llamarse recubrimientos. La segunda finalidad de estas películas es la fabricación de dispositivos con propiedades fisicoquímicas específicas y no suelen guardar relación con las propiedades del sustrato, el cual se utiliza simplemente como un soporte, para este tipo de aplicación no se suelen emplear capas sencillas, sino sistemas multilaminares con películas de diferentes composiciones [2].

Para poder determinar las posibles aplicaciones de las películas delgadas como recubrimiento o como un sistema multilaminar, es necesario que esta tenga perfectamente definidas sus características, las características más importantes a tomar en cuenta son: su grosor, que puede

ser de unos cuantos nanómetros a varias micras de espesor; su composición química, la cual puede llegar a tener composiciones muy complejas y con un estricto control de impurezas; su estructura cristalina, esta puede ser amorfa, mono o policristalina.

Estas características por si solas, determinaran las propiedades en conjunto de cada capa, por ejemplo, su comportamiento químico, y sus propiedades ópticas, mecánicas y eléctricas[3].

Actualmente, existen diferentes métodos de obtención de películas delgadas, algunos involucran procesos costosos energéticos de alta temperatura y presión, tales como deposición química de vapor, baño químico, evaporación térmica y la pulverización catódica. Estos métodos, son rentables, para la producción a gran escala de pequeñas piezas que conforman algún dispositivo optoelectrónico. Sin embargo, para el caso de recubrimientos a gran escala de piezas grandes, se propone el método de síntesis de sol-gel y la depositación por inmersión y centrifugado al presentar varias ventajas, tales como: Bajo costo de los reactivos precursores, homogeneidad en la depositación de la película sobre el sustrato, sencillez del procesamiento, no involucra altas presiones, ni altas temperaturas, control de la composición desde la síntesis y facilidad para recubrir diversos tipos de sustratos en composición y forma.

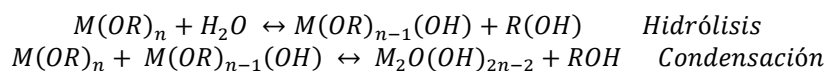
Uno de los materiales utilizados para la obtención de películas delgadas es el óxido de zinc, debido a sus propiedades ópticas de transmitancia es un buen material pues posee un buen porcentaje de transmisión en el espectro de luz visible; eléctricas, al poseer una baja resistividad eléctrica y una banda prohibida de aproximadamente 3.3 eV a temperatura ambiente[4]; mecánicas al ser resistentes a fuerzas de flexión y de corte, una vez realizado el tratamiento térmico [5] y químicas ya que al ser un óxido anfótero es insoluble en agua pero es soluble en alcoholes o medios ácidos, lo cual facilita su síntesis por el método sol-gel [6], además de ser un material de bajo costo, no tóxico e inofensivo para la salud ya que se emplea en productos de arreglo personal, destinados a prevenir daños a la piel y el alivio de pequeñas heridas e inflamaciones.

Por las razones expuestas en este trabajo se planteó la caracterización y estudio de las propiedades físicas y ópticas de las películas delgadas de ZnO y ZnO:Cu. Esto con la finalidad de encontrar una ventana de oportunidad en la aplicación de dispositivos optoelectrónicos, contactos conductores transparentes o celdas solares. Utilizando un método económico, eficaz y amigable con el medio ambiente, al emplear el método de sol-gel como síntesis y el de centrifugado como método de deposición se obtuvieron recubrimientos transparentes, con alta transparencia óptica en el rango de luz visible.

TEORÍA

Hidrólisis y condensación

El método sol-gel involucra el uso de precursores moleculares, principalmente alcóxidos metálicos, los cuales permiten la obtención de redes macromoleculares que contienen oxígenos, a través de reacciones de hidrólisis y condensación que se pueden expresar esquemáticamente en las reacciones de hidrólisis [7].

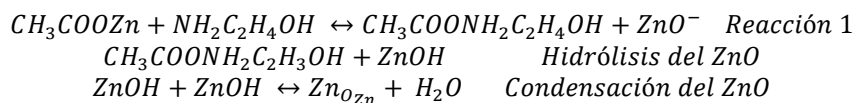


Donde:

M es un metal

R es un grupo alquilo

El mecanismo para la hidrólisis y condensación del óxido de zinc por el método sol-gel es se presenta en el siguiente esquema de reacciones:



Método de obtención de películas por Centrifugado o Spin-Coating

El centrifugado es un procedimiento usado para depositar películas delgadas uniformes sobre sustratos planos. Por lo general, una pequeña cantidad de material de recubrimiento se aplica sobre el centro del sustrato, que o bien está girando a baja velocidad o no gira en absoluto (Figura 1). El sustrato se hace girar a alta velocidad usualmente a una velocidad promedio de entre 1000 a 6000 rpm, con el fin de difundir el material de recubrimiento utilizando la fuerza centrífuga. La rotación se continúa mientras que el fluido se hace girar fuera de los bordes del sustrato, hasta que se alcanza el espesor deseado de la película. El disolvente aplicado es generalmente volátil, y al mismo tiempo se evapora. Por lo tanto, cuanto mayor es la velocidad angular de giro, más delgada es la película. El espesor de la película también depende de la viscosidad y la concentración de la solución y el disolvente.

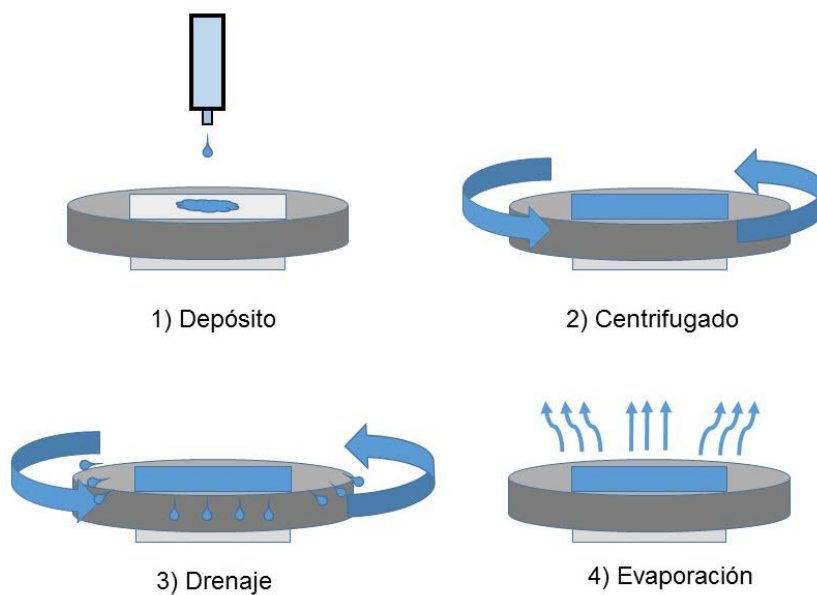


Figura 1. Etapas del proceso de spin coating para la obtención de películas delgadas

PARTE EXPERIMENTAL

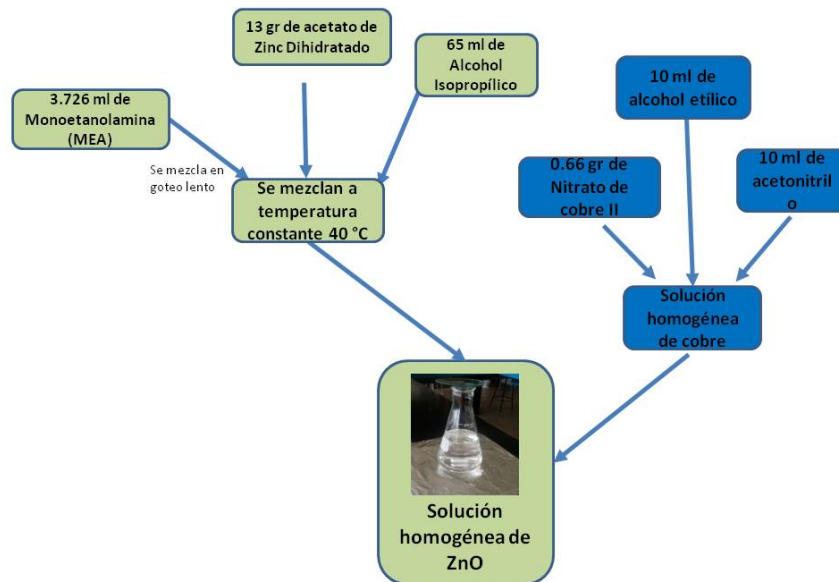


Figura 2. Diagrama esquemático del procedimiento de síntesis de las soluciones de ZnO y ZnO:Cu para la obtención de películas delgadas

Para la obtención de los recubrimientos de óxido de zinc y óxido de zinc impurificados con cobre, fueron necesarias dos soluciones precursoras, una solución precursora que contenía como compuesto principal acetato de zinc, y la otra con nitrato de cobre II respectivamente. Estas soluciones se mezclaron y se dejaron envejecer por tres días, para permitir la formación de las redes (Figura 2). Posteriormente, las soluciones se depositaron sobre sustratos de vidrio tipo Corning utilizando el método de centrifugado con hasta tres capas de depósito sobre el sustrato y finalmente se sometieron a un proceso de secado y sinterizado para su posterior caracterización.

RESULTADOS

Evaluación de la Transmitancia Visible de los recubrimientos de ZnO y ZnO:Cu, obtenidos por spin coating

Se utilizó un espectrofotómetro de luz ultravioleta y visible de marca Rayleigh modelo UV-1800 el cual se operó utilizando las dos lámparas de emisión de luz ultravioleta y visible para poder alcanzar un rango de medición de 250 nm de longitud de onda hasta 800 nm, con una velocidad de escaneo de 3 segundos por paso. Se utilizó como blanco para la realización del background un vidrio portaobjetos limpio del mismo lote que los utilizados para realizar los recubrimientos. Y con la medición de una línea base al 100 % de transmitancia, se obtuvieron las mediciones correspondientes al ZnO y ZnO:Cu con hasta tres capas. En la Figura 3 se presentan los espectros correspondientes a los recubrimientos de ZnO y ZnO:Cu, en estos espectros se puede observar que al incrementar el número de capas la transmitancia disminuye. Los recubrimientos presentan en general una mayor transmitancia en el rango de los 400 a los 700 nm. El recubrimiento de puro ZnO presenta una transmitancia de hasta el 88%, valor que decrece en los

de ZnO:Cu disminuyendo con el número de capas. Igualmente se puede observar que la impurificación con el cobre puede cambiar significativamente las propiedades ópticas de las películas de ZnO con la absorción a 365 nm, la cual se asume corresponde a cobre ocupando alguna vacancia del oxígeno en la red cristalina del ZnO [8].

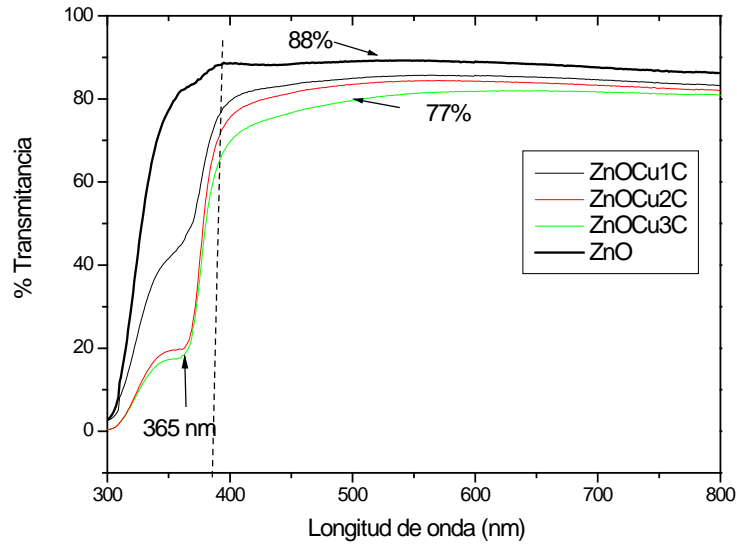


Figura 3. Gráfica de % de Transmitancia en las películas de ZnO y ZnO:Cu de 1, 2 y 3 capas

Valores de la energía de banda prohibida o band gap (Eg)

Los datos de la energía de banda prohibida fueron obtenidos utilizando los resultados obtenidos en la caracterización óptica Uv-Vis de absorbancia y se utilizó la ecuación

$$(Ah\omega)^2 \text{ vs } (h\omega - E_g) \dots \text{ecuación 1}$$

Donde:

A: absorbancia óptica del material (%)

h: constante de Planck (6.63×10^{-34} J/s)

ω : frecuencia angular del fotón incidente (rad/s)

Eg: energía de banda prohibida (eV)

Graficando los resultados, los valores de la banda prohibida fueron obtenidos utilizando extrapolación lineal y se realizó una comparación entre las distintas películas delgadas de ZnO y ZnO:Cu.

En la Tabla 1, se enlistan los valores obtenidos de las películas de ZnO con diferente número de capas, obteniéndose valores de 3.23 eV para las películas de 1 y 3 capas de ZnO y 3.26 para la película de 2 capas de ZnO, estos valores corresponden a los reportados en las bibliografías las cuales mencionan que la banda prohibida del óxido de zinc oscila entre los valores de 3 – 4 eV.

Tabla 1 Valores de energía de banda prohibida

Número de Capas	Película	Energía de banda prohibida
1	ZnO	3.23
	ZnO:Cu	3.22
2	ZnO	3.26
	ZnO:Cu	3.22
3	ZnO	3.23
	ZnO:Cu	3.245

CONCLUSIONES

El proceso sol-gel dio excelentes resultados en la síntesis de películas delgadas de ZnO y de ZnO impurificado con metales. La caracterización óptica por espectroscopia Uv-Vis demostró que los recubrimientos de ZnO impurificados con cobre disminuyen la transmitancia de los recubrimientos, en función del incremento del número de capas. Sin embargo, los valores de energía de banda prohibida demostraron que las películas poseen propiedades semiconductoras presentando valores de 3.22 a 3.26 eV.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto CONACYT CB-2015-256221 por el soporte financiero y al CONACYT por el apoyo otorgado mediante becas a los alumnos de maestría Fabiola del C. Gómez Torres (CVU 782251) y Osiris Escamilla Luna (CVU 782242).

BIBLIOGRAFÍA

1. A. a. W. Knoll, Functional Polymer Films, New York: Wiley, 2011.
2. J. B. S. Gero Decher, Multilayer Thin Films: Sequential Assembly of nanocomposite Materials, Second Edition, New York: Wiley, 2012.

3. M. Ohring, *Materials Science of Thin Films*, 2nd Edition, Academic Press, 2001.
4. D. S. a. Jow-LayHuang, «Development of ZnO based transparent conductive coatings» *Solar Energy Materials and Solar Cells*, pp. 1924-1927, 2009.
5. D. W. D. Nix, *Mechanical Properties of Thin Films*, Stanford University, 2005.
6. N. N. a. E. A. Greenwood, *Chemistry of the Elements* (2nd ed.), Butterworth-Heinemann, 1997.
7. M. Z. David Levy, *The Sol-Gel Handbook: Synthesis, Characterization and Applications*, John Wiley & Sons, 2015.
8. D. Sahu, «Studies on the properties of sputter-deposited Ag-doped ZnO films» *Microelectronics Journal*, vol. 38, p. 1252–1256, 2007.

EFFECTO DEL FLUIDO DE TRABAJO Y LA EFICIENCIA DE LAS TURBINAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO TOTAL DE UN CICLO BRAYTON

Francisco Javier Castañeda Cardoso, Francisco Javier Ortega Herrera, María de Refugio González Ponce, José Miguel García Guzmán y Juan Pablo Razón González.

Estudiante Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

Profesor de la Coordinación de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. frortega@live.com.mx

RESUMEN

El estudio plantea y desarrolla un sistema matemático empleando el método de calores específicos variables, el cual permite analizar el efecto del fluido de trabajo y la eficiencia térmica de las turbinas sobre el rendimiento térmico total, el trabajo neto y el trabajo de retroceso de un ciclo Brayton compuesto por dos compresores, un interenfriador, una cámara de combustión, dos turbinas y un regenerador. El modelo matemático es numéricamente resuelto con la ayuda de un software, los fluidos de trabajo empleados son el aire, nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno y la eficiencia térmica es considerada en un rango de 0.5 a 1 para las turbinas. Los resultados muestran que una turbina de gas tiene mayor rendimiento cuando utiliza dióxido de carbono como fluido de trabajo, además, se observa que para obtener una eficiencia térmica elevada del sistema, la segunda turbina debe tener una mayor eficiencia que la primera turbina, ya que que el sistema presenta una mayor sensibilidad a los cambios de eficiencia de la segunda turbina que de la primera porque cuando el fluido de trabajo entra a la segunda turbina tiene temperatura y presión más baja, por lo que, se debe aprovechar de mejor manera la energía que posee dicho fluido a esas condiciones de trabajo.

INTRODUCCIÓN

Las turbinas de gas son motores térmicos rotativos de combustión interna de ciclo abierto, capaces de transformar la energía contenida en una sustancia combustible en energía mecánica. Desde su construcción en el año de 1900 y hasta la fecha, las industrias generadoras de energía eléctrica, han implementado las turbinas de gas como una alternativa para desarrollar energía eléctrica de manera más fácil y eficiente. En el ciclo Brayton la cantidad de energía producida depende de la configuración de la turbina de gas, esto es, de los componentes que la conforman y de la eficiencia con la que operan los mismos, por tal motivo se desarrollan investigaciones que permitan evolucionar en el diseño de las turbinas de gas para alcanzar un mayor rendimiento. De manera similar, el fluido con el cual trabajan el ciclo Brayton es un factor de gran importancia, puesto que dependiendo del fluido de trabajo empleado este afectara de manera positiva o negativa a la eficiencia térmica, el trabajo neto y de retroceso del sistema.

Diversas investigaciones, como la realizada por Lingen Chen et al. (2011) quienes muestran el rendimiento para un ciclo de Brayton regenerado cerrado real mediante métodos de termodinámica de tiempo finito. Muestran que las características de rendimiento óptimo del ciclo pueden obtenerse optimizando la distribución de la conductancia de calor o áreas de transferencia de calor entre dos

intercambiadores de calor y regenerador, y la adaptación entre el fluido de trabajo y los depósitos de calor. De manera similar Vecchiarelli et al. (1997) en su análisis para aumentar la eficiencia de un ciclo de Brayton a través de adición de calor. Exponen como la modificación hipotética de motores de turbina de gas para incluir dos adiciones de calor en lugar de una puede dar lugar a mejoras significativas de eficiencia de más del 4% en comparación con los motores convencionales.

El análisis sobre la eficiencia del ciclo Brayton ha permitido evolucionar en el diseño de las turbinas de gas, como lo menciona Capella et al. (2000) quien muestra variadas alternativas para incrementar la eficiencia y capacidad de las turbinas de gas. Señala que para modificar la potencia de una turbina de gas se deben de alterar, principalmente, el flujo másico que pasa a través de los alabes de la turbina y la temperatura del fluido de trabajo a la entrada del rotor. Además expone cómo es posible incrementar la eficiencia y la potencia de un ciclo simple recuperando la energía remanente de los gases de escape mediante un recuperador de calor y proporciona condiciones para obtener un mejor ciclo cuando un intercambiador de calor puede acoplarse como. De manera similar Zhang et al. (2006) evidencia las condiciones para obtener un mejor ciclo cuando un intercambiador de calor puede acoplarse como regenerador. Además muestra que cuando el régimen de operación del ciclo es trabajo máximo o máxima eficiencia, siempre se puede acoplar un regenerador. Producir un aumento en el rendimiento térmico total de una turbina no solo se logra integrado más componentes al sistema, ya que como expone Aragón et al. (2013) el aprovechamiento del calor de los gases de combustión, especialmente del calor latente de una parte del vapor de agua contenido en los mismos, puede elevar el rendimiento térmico de las centrales termoeléctricas convencionales que funcionan con gas natural, así como lograr un aumento en la potencia.

En el presente trabajo se analiza el efecto del fluido de trabajo y el rendimiento de las turbinas, sobre la eficiencia térmica total, el trabajo neto y el trabajo de retroceso de un ciclo Brayton con dos etapas de compresión y dos etapas de expansión, con interenfriamiento y regeneración.

CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio analiza el efecto de los parámetros en un sistema de turbina de gas modelado bajo el ciclo Brayton. En la Figura 1 se presenta el sistema de turbina de gas sometido al análisis compuesto de dos turbinas, dos compresores, un interenfriador, una cámara de combustión y un regenerador.

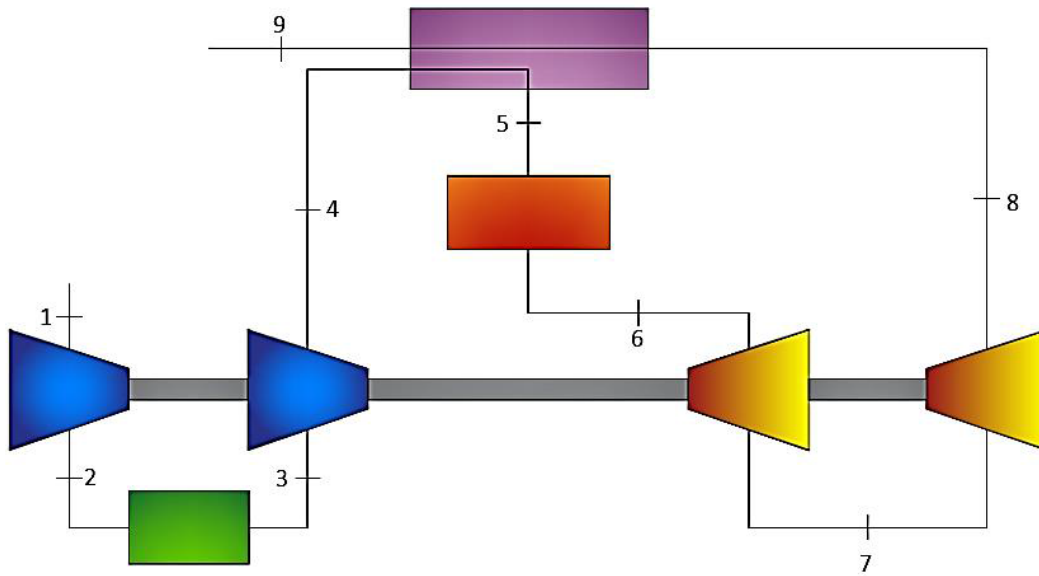


Figura 1. Sistema de turbina de gas analizado

MODELO MATEMÁTICO

La nomenclatura utilizada para el desarrollo del presente caso de estudio se muestra en la Tabla 1.

Partiendo del sistema mostrado en la Figura 1 se obtiene el correspondiente diagrama termodinámico temperatura-entropía presentado en la Figura 2.

Tabla 1. Nomenclatura utilizada

Símbolo	Significado	Unidades
$h_{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11}$	Entalpía del estado especificado	kJ
$P_{2,3,4,5,6,8,9}$	Presión del estado especificado	kPa
q_{in}	Calor de entrada al sistema	kJ
$rp_{c1,c2}$	Relación de presión de los compresores	
$rp_{t1,t2}$	Relación de presión de las turbinas	
$s_{1,2r,3,4r,5,6,7r,8r,8}$	Entropía del estado especificado	kJ/kg·K

$T_{5,8}$	Temperatura del estado especificado	°K
W_c	Trabajo total de los compresores	kJ
W_t	Trabajo total de las turbinas	kJ
W_{neto}	Trabajo total del Sistema	kJ
W_{ret}	Trabajo de retroceso de la turbina	kJ
η_{total}	Eficiencia total del ciclo Rankine	
$\eta_{c1,c2}$	Eficiencia de los compresores	
$\eta_{t1,t2}$	Eficiencia de las turbinas	

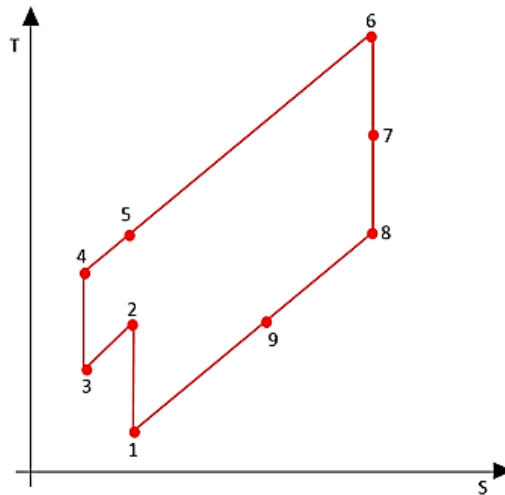


Figura 2. Diagrama T – s del sistema

Tomando como referencia el diagrama de la Figura 2 se plantean las ecuaciones de comportamiento del sistema de turbina de gas. Los procesos isobáricos e isoentrópicos del sistema son definidos por las Ecuaciones (1) – (4) y las Ecuaciones (5) – (8) respectivamente. La Ecuación (9) representa la relación de temperatura en el regenerador.

$$P_2 = P_3 \tag{1}$$

$$P_4 = P_5 \tag{2}$$

$$P_5 = P_6 \tag{3}$$

$$P_8 = P_9 \tag{4}$$

$$s_1 = s_{2r} \tag{5}$$

$$s_3 = s_{4r} \tag{6}$$

$$s_6 = s_{7r} \tag{7}$$

(7)

$$s_7 = s_{8r} \tag{8}$$

$$T_5 = T_8 \tag{9}$$

Las Ecuaciones (10) – (11) determinan las relaciones de presiones de los compresores y las Ecuaciones (12) – (13) las relaciones de presión de las turbinas. El trabajo total de las turbinas y compresores se determinan por las Ecuaciones (14) y (15) respectivamente.

$$rp_{c1} = \frac{P_2}{P_1} \tag{10}$$

$$rp_{c2} = \frac{P_4}{P_3} \tag{11}$$

$$rp_{t1} = \frac{P_6}{P_7} \tag{12}$$

$$rp_{t2} = \frac{P_7}{P_8} \tag{13}$$

Las eficiencias de los compresores y turbinas son dadas por las Ecuaciones (16) a (19). El calor que entra al sistema es determinado por la Ecuación (20). La Ecuación (21) calcula el trabajo neto del sistema, la Ecuación (22) muestra el trabajo de retroceso del sistema dado y el rendimiento térmico total del sistema es calculado con la Ecuación (23).

$$w_t = (h_6 - h_{7r}) + (h_{7r} - h_{8r}) \tag{14}$$

$$w_c = (h_{2r} - h_1) + (h_{4r} - h_3) \tag{15}$$

$$\eta_{c1} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2r} - h_1} \tag{16}$$

$$\eta_{c2} = \frac{h_4 - h_3}{h_{4r} - h_3} \tag{17}$$

$$\eta_{t1} = \frac{h_6 - h_{7r}}{h_6 - h_7} \tag{18}$$

$$\eta_{t2} = \frac{h_{7r} - h_{8r}}{h_{7r} - h_8} \tag{19}$$

$$q_{in} = h_6 - h_{5r} \tag{20}$$

$$w_{neto} = w_t - w_c \tag{21}$$

$$w_{ret} = \frac{W_c}{W_t} \tag{22}$$

$$\eta_{total} = \frac{W_{neto}}{Q_{in}} \tag{23}$$

RESULTADOS

El modelo matemático desarrollado en la sección anterior es resuelto numéricamente con la ayuda de un software. Para la solución numérica se consideran las siguientes condiciones iniciales, P = 101.2 KPa y T = 300 K como estado termodinámico de entrada al compresor 1, T = 300 K como la temperatura de entrada al compresor 2, T = 1300 K como temperatura de entrada a la turbina 1 y un relación global de presión igual a 9. Los resultados obtenidos se muestran en gráficos en función de la eficiencia turbinas. La Figura 3 muestra la eficiencia térmica total desarrollada, mientras que el trabajo neto es ilustrado en la Figura 4, finalmente el trabajo de retroceso se muestra en la Figura 5. Las gráficas de la Figura 3, 4 y 5 se obtienen variando la eficiencia de las turbinas 1 y 2 en un rango de valores de 0.5 a 1, al mismo tiempo, se cambia el fluido de trabajo del sistema por dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno y aire.

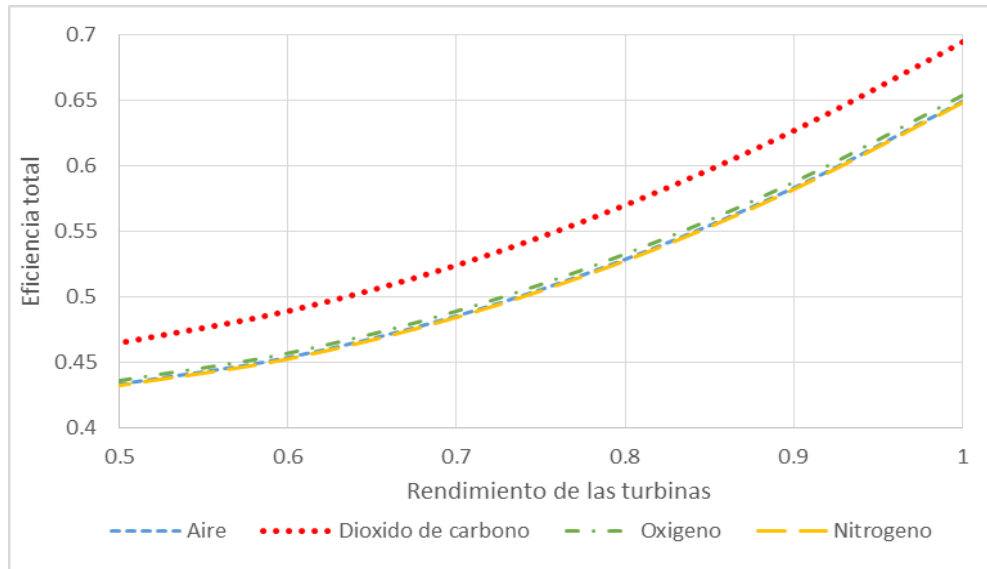


Figura 3. Eficiencia térmica total producida por diferentes fluidos de trabajo variando el rendimiento de las turbinas 1 y 2.

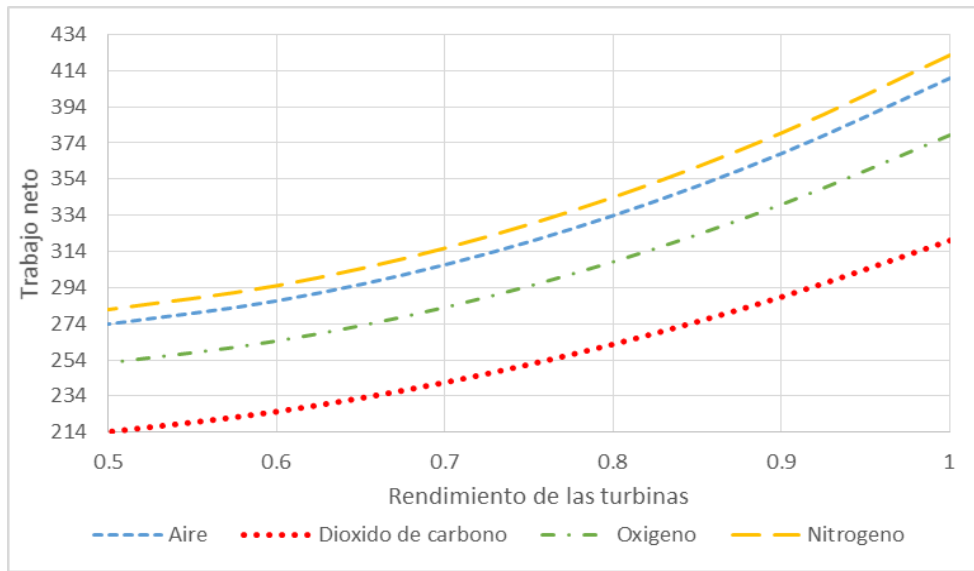


Figura 4. Trabajo neto producido por diferentes fluidos de trabajo variando el rendimiento de las turbinas 1 y 2.

La gráfica de la Figura 3, muestra que el sistema tiene un rendimiento térmico mayor cuando el fluido de trabajo es dióxido de carbono y cuando la eficiencia de la segunda turbina es mayor, produciendo un aumento del 5% con respecto a los otros tres fluidos de trabajo. Mientras que la gráfica de la Figura 4, demuestra que utilizando nitrógeno como fluido de trabajo, el sistema desarrolla un trabajo neto mayor en comparación al resto de los fluidos empleados para el análisis, y dejando al dióxido de carbono como el fluido que produce la menor cantidad trabajo neto, de manera similar la figura muestra que para generar la mayor cantidad de trabajo neto, la turbina 2 debe de operar bajo el máximo rendimiento posible. Caso contrario ocurre en la Figura 5, en la cual se observa que el emplear dióxido de carbono como fluido de trabajo produce un trabajo de retroceso menor, mientras que el usar nitrógeno desarrolla el mayor trabajo de retroceso, estos resultados se obtienen cuando la turbina 2 opera con la mayor eficiencia.

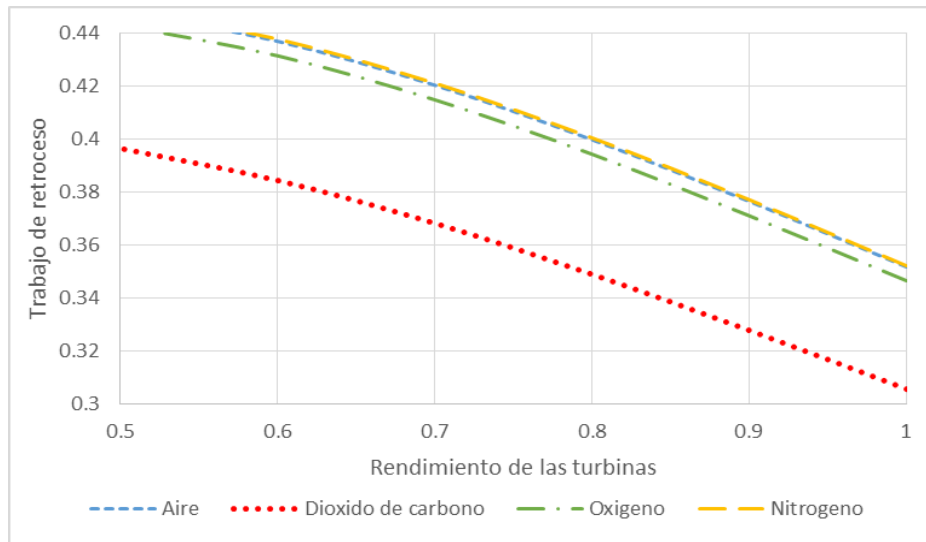


Figura 5. Trabajo de retroceso producido por diferentes fluidos de trabajo variando el rendimiento de las turbinas 1 y 2.

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se estudia el impacto que tiene el fluido de trabajo y la eficiencia de las turbinas sobre el rendimiento térmico total, el trabajo neto y el trabajo de retroceso de un ciclo Brayton. Los resultados incluyen una comparación cuantitativa entre la eficiencia total, el trabajo neto y el trabajo de retroceso de la turbina de gas, producido por el cambio en el fluido de trabajo y la variación del rendimiento en las turbinas 1 y 2.

Los resultados demuestran que la eficiencia térmica tiene un valor máximo cuando el fluido de trabajo es dióxido de carbono, seguido por el oxígeno y el aire. Sin embargo caso contrario ocurre con el trabajo neto, el cual alcanza un valor más grande cuando el fluido de trabajo es nitrógeno, después cuando el fluido es aire, posteriormente si el fluido es oxígeno y el valor más bajo se obtiene cuando el fluido es dióxido de carbono. Esto ocurre debido a que el nitrógeno requiere más calor de entrada, hasta 200 kJ más que el dióxido de carbono, para realizar la combustión, que el resto de los fluidos empleados. Por ende, a pesar de que el nitrógeno brinda la mayor cantidad de trabajo neto, al necesitar más calor de entrada hace que brinde una eficiencia térmica menor, mientras que el dióxido de carbono al necesitar una menor cantidad de calor de entrada, la combustión es más fácil y la eficiencia térmica es mayor.

El trabajo de retroceso es mayor cuando los fluidos de trabajo son aire o nitrógeno y es menor cuando el fluido de trabajo es dióxido de carbono, esto debido a que el dióxido de carbono es más fácil de comprimir y por lo tanto requiere menor cantidad de energía que el resto de los fluidos de trabajo empleados para el análisis. Para lograr los valores máximos de eficiencia térmica y trabajo neto es necesario que la turbina 2 trabaje siempre con el mayor rendimiento posible, esto debido a que es justamente la segunda turbina en donde se puede aprovechar el gas recién quemado en la cámara de combustión, además, ya que la temperatura del gas que entra en la turbina 2 es menor que la temperatura de entrada a la turbina 1, esto hace que sea más difícil para la segunda turbina lograr transformar la energía del fluido, por lo tanto la turbina debe de trabajar con el mayor

rendimiento para lograr un trabajo neto y una eficiencia térmica total mayor, por ello y para este modelo se recomiendan utilizar el nitrógeno como fluido de trabajo ya que produce un mayor trabajo neto a una relación de presión baja. Pero si lo que se requiere es un sistema con el mayor rendimiento se recomienda emplear como fluido de trabajo dióxido de carbono. Además es necesario que la segunda turbina trabaje con el mayor rendimiento posible para alcanzar los valores máximos de trabajo y eficiencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. Lingen, N. Ning, C. Gang, F. Sun y C. Wu, "Performance analysis for a real closed regenerated Brayton cycle via methods of finite-time thermodynamics", *International Journal of Ambient Energy*, volume 20, 2011, p. 95-104.
2. J. Vecchiarelli, J. G. Kawall y J. S. Wallece, "Analysis of a concept for increasing the efficiency of a Brayton cycle via isothermal heat addition", *International Journal of Energy Research*, febrero 1997.
3. M. Capella y D. Vasquez, "Alternativas para incrementar la eficiencia y capacidad de las turbinas de gas", *Ingeniería y Desarrollo*, 2000.
4. G. Aragón, A. Canales, A. León y J. R. Morales, "A regenerator can fit into an internally irreversible Brayton cycle when operating in maximum work or efficiency", *Revista Mexicana de Física*, 2013.
5. Z. Huda, T. Zaharinie y H. A. Al-Ansary, "Enhancing power output and profitability through energy-efficiency techniques and advanced materials in today's industrial gas turbine", *International Journal Mechanical and Materials Engeneering*, 2014.
6. C. Yang y C. Kuan, "Power optimization for an endoreversible regenerative Brayton cicle, *ScienceDirect*", Elsevier, Vol. 21, 1996, pp. 241-247.
7. Y. Zhang, C.J. Ou, B.H. Lin, y J.C. Chen, "The regenerative criteria of an irreversible Brayton heat engine and its general optimum performance characteristics", *Journal of Energy Resources Technology-Transactions of The ASME*, 2006.

AGRADECIMIENTOS

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI).

TRATAMIENTO DE EFLUENTES ACUÍCOLAS MEDIANTE UN BIOFILTRO EN SISTEMAS RECIRCULADOS

M.C. Cano-Correa, A. Munro¹ y J.C. Orantes.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México (came_1215@hotmail.com; julio.orantes@gmail.com)

RESUMEN

Los sistemas acuícolas recirculados (RAS) están orientados a la producción intensiva de peces, en poco espacio y con bajo consumo de agua. Uno de los retos principales en estos sistemas es remover eficientemente los contaminantes del efluente acuícola (e.g. amonio y materia orgánica). El amonio es tóxico para los peces en diferentes concentraciones, dependiendo de la especie de cultivo. En este trabajo se estudió un reactor de lecho móvil a escala laboratorio para el tratamiento de los efluentes acuícolas. El proceso está orientado a la remoción de amonio y materia orgánica. Se trabajó con un efluente acuícola sintético, a base de ácido acético, con dos relaciones C/N (DQO/N-NH₃) (C/N = 1 y 10). Se evaluó la eficiencia de remoción de amonio y materia orgánica en cada relación C/N.

En los resultados obtenidos se observan tasas medias de remoción de nitrógeno amoniacal de 98.8 % y 98.0 % con las relaciones C/N de 1 y 10 respectivamente. La remoción media de materia orgánica estimada fue de 82.8 % y 93.3 % con cada una de las relaciones C/N de 1 y 10 respectivamente. La eficiencia de remoción de materia orgánica con la relación C/N = 10 es mayor, pero no existe una diferencia estadísticamente significativa ($t=-2.2494$, $p=0.1291$). Las eficiencias de remoción alcanzadas permiten alcanzar concentraciones adecuadas para el cultivo de peces de un amplio rango de especies, por lo que se concluye que es un proceso satisfactorio y viable para el tratamiento de efluentes acuícolas y su aplicación en sistemas acuícolas recirculados.

Palabras claves: RAS; Reactor de lecho móvil; Biopelícula.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de recirculación en acuicultura se diseñaron para producir grandes cantidades de organismos, en volúmenes de agua relativamente pequeños. Sin embargo, hay una acumulación de alimento no utilizado y residuos metabólicos de los peces, algunos de ellos tóxicos. El nitrógeno amoniacal es la forma de contaminante más tóxica para los peces y es un subproducto de la digestión de las proteínas suministradas en el alimento. Se estima que el 16 % de las proteínas alimentadas es nitrógeno, del cual sólo el 80 % es ingerido por los peces, y de ese 80 % ingerido, el 90 % es excretado; del nitrógeno excretado, 90 % es Nitrógeno Amoniacal Total (TAN) y el 10 % es Urea (Timmons *et al.*, 2006). Se considera que, por cada 100 kg de alimento suministrado, 2.2 kg son transformadas en nitrógeno amoniacal (Masser *et al.*, 1999). Por lo tanto, resulta de vital

importancia el tratamiento de efluentes acuícolas, para la remoción de este contaminante tóxico para los peces (Jimenez *et al.*, 2015).

Los reactores de lecho móvil, son uno de los sistemas más utilizados en la remoción de amonio, debido a que en el material de soporte de la biopelícula favorece el crecimiento tanto de bacterias autótrofas como heterótrofas. Esto permite llevar a cabo de manera simultánea la oxidación de la materia orgánica y del amonio (Ebeling *et al.*, 2006). Hay varios estudios que usan este tipo de reactores para el tratamiento de efluentes acuícolas (Rusten *et al.*, 2006; Summerfelt *et al.*, 2015; Terjesen *et al.*, 2013).

La oxidación de amonio ocurre en dos pasos; i) el nitrógeno amoniacal es convertido a nitritos mediante las bacterias oxidantes del amonio (AOB) (e.g. *Nitrosomas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus* y *Nitrosovibrio*). Estas bacterias obtienen su energía mediante el catabolismo del amonio no ionizado a nitritos. ii) La oxidación de los nitritos a nitratos ocurre mediante las bacterias oxidantes de los nitritos (NOB) (e.g. *Nitobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* y *Nitrospina*). Las bacterias nitrificantes son principalmente autótrofas obligadas (Ebeling *et al.*, 2006). Posteriormente al proceso de oxidación y, si existen condiciones anóxicas, hay bacterias heterótrofas, con una mayor tasa de crecimiento, comparada con las bacterias nitrificantes. que se encargan de reducir los nitratos a nitrógeno gas.

La relación C/N del influente a tratar en el reactor es uno de los factores claves en la estructura de la comunidad de la biopelícula (Metcalf y Eddy, 2003). Las relaciones bajas favorecen el crecimiento de bacterias autótrofas, mientras que las relaciones altas favorecen el crecimiento de las bacterias heterótrofas (Ebeling *et al.*, 2006). El objetivo de este trabajo es evaluar la remoción de nitrógeno amoniacal y materia orgánica, al tratar un efluente acuícola sintético, a base de ácido acético, con dos relaciones C/N, en un reactor de lecho móvil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del reactor

Sé trabajó con un reactor de lecho móvil a escala laboratorio en forma cilíndrica, teniendo una base en forma de cono trunco (Fig. 1) con un volumen útil de 40 L. En la parte inferior del reactor se le colocó un difusor de aire de burbuja fina para suministrar oxígeno y provocar el mezclado del sistema. El sistema fue alimentado a un caudal de 40 L/d de manera continua, trabajando con un TRH de 24 h, suministrando el efluente acuícola con ayuda de una bomba peristáltica. El reactor fue operado a temperatura ambiente durante 4 meses. La inoculación del reactor, se llevó a cabo con material de soporte (Kaldnes, K1) de un reactor usado en el sistema RAS del laboratorio de biología acuática de la UMSNH. Se llenó con un 30 % del volumen útil del reactor piloto con material de soporte. Se estudió un efluente acuícola sintético a base de ácido acético con dos relaciones C/N (gdQO/gN-NH₃) (10 y 1), que denominaremos: 1AA Y 10AA.

Toma de muestras

Las muestras fueron tomadas al inicio y al final del tratamiento de manera periódica. En el reactor se determinaron: temperatura (T), pH, oxígeno disuelto (OD); en el efluente acuícola se determinaron: demanda química de oxígeno total (DQOt), nitrógeno amoniacal (N-NH₃), nitrógeno de nitratos (N-NO₃⁻); y en el efluente del RLM demanda química de oxígeno total (DQOt) y soluble (DQOs), sólidos suspendidos totales (SST) y volátiles volátiles (SSV), N-NH₃ y N-NO₃⁻. Todos los procedimientos se llevaron a cabo por métodos normalizados (APHA-AWWA-WEF, 1998).

Desprendimiento de la biopelícula

Tanto para el análisis de sólidos totales y volátiles en la biopelícula se desprendió la biopelícula del material de soporte. Se colocó una muestra de 25 Kaldnes del RLM, tomada al azar en un vaso estéril con 45 mL de solución buffer de fosfatos ([pH 7,0], 0.1 M) estéril. Se sónico la muestra por 20 min en un Sonicador Branson modelo 2510.

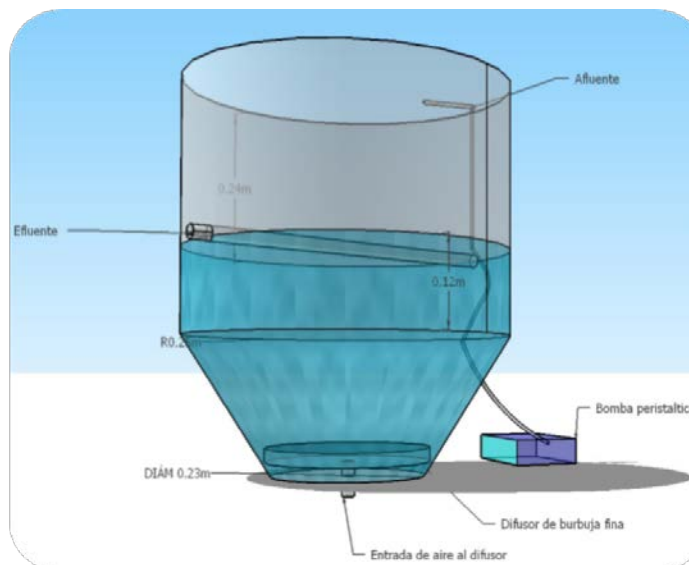


Fig.1.- Diagrama del reactor de lecho móvil a escala laboratorio usado para la experimentación.

Análisis estadístico

Se aplicaron pruebas de t de student, para analizar si existe diferencia estadísticamente significativa entre las diferentes relaciones C/N, tanto para la remoción de materia orgánica, como para la remoción de nitrógeno amoniacal en el efluente acuícola recirculado, utilizando el software PAST.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros fisicoquímicos monitoreados en el RLM, no obstante que no fueron controlados con objeto de simular el proceso de tratamiento en condiciones más reales, no tuvieron cambios importantes (Tabla 1), lo que muestra que el reactor estuvo en condiciones estables. El oxígeno disuelto se mantuvo con una concentración > 2 mg/L durante toda la fase experimental, condición mínima necesaria para que se pueda llevar a cabo tanto la oxidación de la materia orgánica, como del amonio.

Tabla 1.- Temperatura y pH del RLM durante la fase estable de cada relación C/N

Parámetros	1AA	10AA
T (°C)		
Promedio (± desviación estándar)	19.5 ± 1.0	18.0 ± 0.54
pH		
Promedio (± desviación estándar)	8.59 ± 0.11	8.45 ± 0.087

La temperatura registrada se mantuvo entre los 17.5 y los 20.5 °C. Esta es otra condición necesaria para que el proceso de nitrificación se pueda llevar de manera adecuada. Algunos estudios anteriores reportan que la tasa de nitrificación se lleva a cabo a temperaturas que van de 14 a 27 °C (Ebeling *et al.*, 2006). Mientras que el proceso de desnitrificación se lleva a cabo de manera satisfactorio en un rango de temperatura que va desde los 5 a 50 °C (Reboleiro-Rivas *et al.*, 2015).

El pH óptimo para que se lleve a cabo el proceso de nitrificación va de 7 a 9 unidades de pH, en el presente estudio, se mantuvo dentro del rango en las dos relaciones C/N. Además de que no presento cambios entre la misma relación C/N, lo que nos indica la estabilidad de la comunidad degradadora. Las concentraciones DQO del efluente acuícola disminuyeron considerablemente (Fig 2), en el reactor, en cada una de las relaciones C/N (Tabla 2). Esto muestra que hubo una correcta degradación de materia orgánica. Por otro lado, la concentración de nitrógeno amoniacal disminuyó y la concentración de nitrógeno de nitratos aumentaron en el reactor de lecho móvil, lo que muestra que hubo una buena remoción de nitrógeno amoniacal del efluente acuícola y que esta remoción se dio gracias a un proceso de nitrificación (i.e. oxidación del nitrógeno amoniacal) en el reactor. Esta oxidación del amonio no representa una remoción de la masa de nitrógeno del reactor, sin embargo, la tolerancia de los peces a los nitratos es considerablemente más alta que su tolerancia al nitrógeno amoniacal y, por las concentraciones de aireación de los tanques de cultivo, con concentraciones de OD mayores a los 2 mg/L, estos nitratos difícilmente se van a reducir a nitrógeno amoniacal, por lo que posibilita el reuso de este efluente tratado para su reuso en el cultivo de peces.

Tabla 2.- Parámetros del efluente acuícola y del efluente del reactor monitoreados durante la fase estable con cada una de las relaciones C/N.

Muestras	Efluente acuícola		Efluente del reactor	
	1AA	10 AA	1AA	10 AA
DQO (mg/L)	17.66 ± 1.15	170.66 ± 5.77	2.667 ± 1.15	11.667 ± 7.76
N-NH ₃ (mg/L)	16.93 ± 1.62	17.16 ± 1.47	0.19 ± 0.14	0.35 ± 0.035
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	20.5 ± 1.77	21.63 ± 1.06	36.43 ± 3.15	34.83 ± 1.45

La remoción media de nitrógeno amoniacal en este estudio, fue de 98.82 ± 0.47 % y 98.00 ± 0.39 % para cada una de las relaciones C/N (1 y 10) respectivamente (Fig. 2) ($t=8.63$, $p=0.013$). Las remociones alcanzadas resultan considerablemente mayores que en estudios previos donde se reportan porcentajes de remoción de 41.1 % trabajando con una relación C/N de 4.5 en un reactor de lecho móvil (Fu *et al.*, 2010) y 84 % con una relación C/N de 8.18 (González *et al.*, 2002).

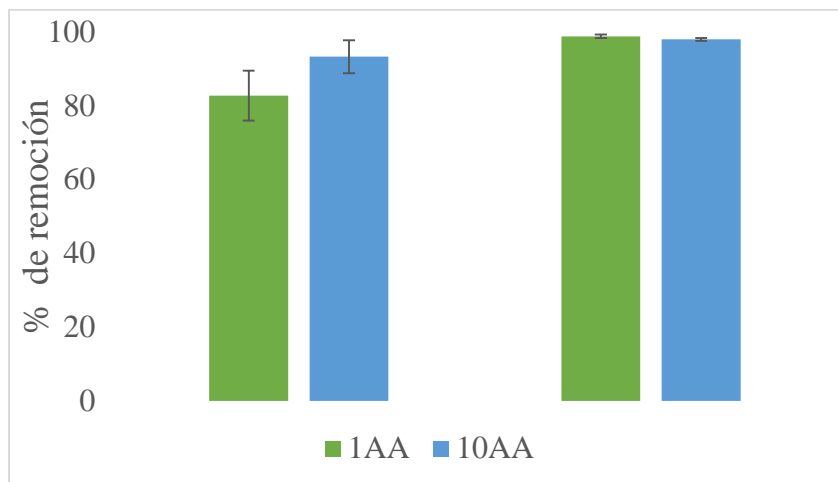


Fig. 2.- Porcentaje promedio de remoción de la concentración de materia orgánica y de nitrógeno amoniacal \pm desviación estándar obtenidas con cada relación C/N en el RLM (n=3)

La remoción de materia orgánica, medida como DQO, fue menor cuando se trabajó con la relación C/N de 1 (Fig. 2) con la cual se obtuvo una remoción media de 82.75 ± 6.78 %, mientras que con la relación C/N de 10 se obtuvo una remoción de 93.30 ± 3.64 %. Sin embargo, no se presentó una diferencia estadísticamente significativa entre la remoción de ambas condiciones ($t=-2.2494$, $p=0.1291$). Los porcentajes de remoción encontrados fueron menores que en otros estudios realizados en reactores de lecho móvil, donde reportan remociones de 91 % con una relación C/N de 4.5, y 95.7 % con una relación C/N de 13.5 (Fu *et al.*, 2010), pero mayores al 40 % de remoción obtenido con una relación C/N=8.18 (González *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

Las dos relaciones C/N (DQO/N-NH₃) estudiadas en el tratamiento del efluente acuícola sintético, a base de ácido acético, en un reactor de lecho móvil (RLM) permitieron la remoción tanto de nitrógeno amoniacal como de materia orgánica, debido a la flexibilidad de la biopelícula para adaptarse a distintas condiciones de operación. En ambos casos las concentraciones del efluente tratado permiten el reuso del agua para el cultivo de peces, por lo tanto, se concluye que este proceso de tratamiento resulta eficiente para su aplicación en sistemas acuícolas completamente recirculados.

No obstante que se alcanzaron buenas remociones y bajas concentraciones de nitrógeno amoniacal, en caso de implementar este proceso de tratamiento, se recomendaría acoplar una etapa de desnitrificación, para garantizar un mejor funcionamiento en un sistema acuícola completamente recirculado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ebeling, J. M., Timmons, M. B., & Bisogni, J. J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1–4), 346–358. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>
2. Federation, W. E. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Part 1000 Standard Methods for the Examination of Water and

- Wastewater.
3. Fu, B., Liao, X., Ding, L., & Ren, H. (2010). Characterization of microbial community in an aerobic moving bed biofilm reactor applied for simultaneous nitrification and denitrification. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(11), 1981–1990. doi:10.1007/s11274-010-0382-y
 4. González, S., Maldonado, L. E., & González, O. (2002). Tratamiento De Aguas Residuales Utilizando Biopelículas Sobre Un Material Poroso. *XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ambiental*, 1–8.
 5. Jimenez Montealegre, R., Zamora Castro, J., & Zuniga Calero, G. (2015). Determinacion del flujo de agua para la biorremediacion en sistemas recirculados acuaculturales utilizando tapetes microbianos construidos. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(1), 234–247. doi:10.3856/vol43-issue1-fulltext-20
 6. Masser, M. P., Rakocy, J., & Losordo, T. M. (1999). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems Management of Recirculating Systems, (452).
 7. Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering treatment and Reuse* (cuarta).
 8. Reboleiro-Rivas, P., Martín-Pascual, J., Juárez-Jiménez, B., Poyatos, J. M., Vilchez-Vargas, R., Vlaeminck, S. E., ... González-López, J. (2015). Nitrogen removal in a moving bed membrane bioreactor for municipal sewage treatment: Community differentiation in attached biofilm and suspended biomass. *Chemical Engineering Journal*, 277, 209–218. doi:10.1016/j.cej.2015.04.141
 9. Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., & Lygren, E. (2006). Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 322–331. doi:10.1016/j.aquaeng.2005.04.002
 10. Summerfelt, S. T., Zühlke, A., Kolarevic, J., Reiten, B. K. M., Selset, R., Gutierrez, X., & Terjesen, B. F. (2015). Effects of alkalinity on ammonia removal, carbon dioxide stripping, and system pH in semi-commercial scale water recirculating aquaculture systems operated with moving bed bioreactors. *Aquacultural Engineering*, 65, 46–54. doi:10.1016/j.aquaeng.2014.11.002
 11. Terjesen, B. F., Summerfelt, S. T., Nerland, S., Ulgenes, Y., Fjæra, S. O., Megård Reiten, B. K., ... Åsgård, T. (2013). Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in RAS environments. *Aquacultural Engineering*, 54, 49–63. doi:10.1016/j.aquaeng.2012.11.002

ESTUDIO DE LA TERMO-DEFORMACIÓN DE ELASTÓMEROS LÍQUIDO-CRISTALINOS CONTENIENDO NANOESTRUCTURAS GRAFÉNICAS

Hiram Baruck Ariguznaga Castillo, Fernando Ortega Bravo, Leticia Larios López y Rosa Julia Rodríguez Gonzalez.

Universidad Tecnológica de Altamira
Instituto Politécnico Nacional
Centro de Investigación en Química Aplicada

RESUMEN

El estudio, implementación y caracterización de nuevos materiales ha sido de relevancia para el desarrollo tecnológico en las áreas de la ciencia e ingeniería, por ello es importante comprender el comportamiento de los materiales potencializados con nanoestructuras de diferentes tipos. En años recientes, los elastómeros líquido cristalinos (LCE: liquid-crystalline-elastomers) han sido estudiados debido a su capacidad de orientación molecular (mediante esfuerzo mecánico, inducción magnética, etc.) y de termo-deformación en la cual el material puede reducir sus dimensiones hasta en un 50%, incrementando su interés para el desarrollo de músculos artificiales y micro válvulas para el desarrollo de sistemas de producción de nanopartículas. En este trabajo se estudiaron LCEs por medio de una reacción de adición y foto-polimerización de tiol-acrilato en dos etapas basado en lo reportado en la literatura. Estos LCEs fueron modificados mediante la adición de láminas de Grafeno usando diferentes concentraciones y métodos de adición, esto con la finalidad de mejorar sus propiedades de conductividad eléctrica y termo-respuesta así como la evaluación de otras propiedades de los LCE como la birrefringencia. Las concentraciones de Grafeno empleadas fueron desde 0.15 a 1% en peso con respecto al monómero diacrilato. Los materiales obtenidos fueron caracterizados por medio de las técnicas de DMA, POM y XRD. Se encontró que a mayor concentración de Grafeno el tiempo de secado así como la dispersión se ven significativamente reducidos, también se observó que la mejor dispersión fue la de 15% en peso, obteniendo así una lamina delgada y translúcida la cual presento un estiramiento hasta del 250% con respecto a sus dimensiones originales.

INTRODUCCIÓN

Los polímeros son materiales que se han utilizado por más de un siglo debido a la facilidad para obtenerlos y escalar su producción a nivel industrial. Hace más de 70 años se descubrieron los elastómeros (hules), los cuales son una clase de polímeros que se caracteriza por su capacidad de deformación al aplicar una fuerza mecánica, recuperando su forma original después de retirar la misma. Un grupo particular de elastómeros son los LCE que se caracterizan por poseer las propiedades de fluidez de un líquido conservando un cierto orden cristalino, permitiendo así ciertas propiedades únicas, como es la birrefringencia (doble refracción de la luz), y una alta flexibilidad sin perder su forma original. Este tipo de materiales han sido ampliamente estudiados en los últimos años debido a su capacidad de accionamiento por medio de la aplicación de calor una vez que sus moléculas son alineadas.

En la búsqueda de mejorar las propiedades de los LCE, se han reportado estudios en los cuales se han incorporado nanoestructuras de carbono, por ejemplo nanopartículas de negro de humo,^{1,2} Nanotubos de carbono³ y Óxido de Grafeno (GO)⁴ entre algunos otros. En estos sistemas se han reportado resultados interesantes como el incremento en las propiedades electro-termo-mecánicas¹, mejor cito-compatibilidad del LCE², etc. Courty y col.³ obtuvieron un decremento en la contracción termoaccionada de los LCE dopados con nanotubos de carbón alineados con un campo eléctrico, mientras que Cheng y col.⁴ estudiaron LCE dopados con GO y reportaron respuestas fototérmicas cuando irradiaron con longitudes de onda cercanas al infrarrojo, debido principalmente a la eficiente conversión fototérmica y a una mejor conductividad térmica. Sin embargo poco se ha profundizado en la incorporación de Grafeno sin modificar en LCE; es por este motivo, que en el presente trabajo se evaluó la termorespuesta y compatibilidad del Grafeno en una matriz polimérica de tipo LCE.

PARTE EXPERIMENTAL

Las láminas de Grafeno fueron proporcionadas por el Laboratorio Nacional de Materiales Grafénicos de CIQA. La elaboración del elastómero líquido cristalino se llevó a cabo basándose en lo reportado en la literatura⁵, usando como mesógeno el compuesto 1,4-bis-[4-(3-acriloxipropiloxi)bencenoiloxi]-2-metilbenceno (también conocido como RM257 por su nombre comercial), como material entrecruzante se utilizó el Pentaeritritol Tetra(3-Mercaptopropionato) (PETMP por sus siglas) y finalmente para añadir la flexibilidad del cristal líquido se adicionó el compuesto llamado 1,9 Nonanoditiol manteniendo una relación molar entre el PETMP y el Nonanoditiol de 1:1, y un 15% en exceso del RM257, (Tabla 3).

Tabla 3 Relación de los compuestos utilizados en la elaboración del Cristal Líquido Elastomérico

Compuesto	Peso (mg)	PM	Funcionalidad	Pureza	Relación mol
RM257	500	586.6	2	97.3	1.653
1,9-Nonaditiol	72.8	192.4	2	95	0.7187
PETMP	92.43	488.7	4	95	0.7187
Tolueno	750	-	-	-	-
HHMP	3	-	-	-	-
DPA/Tolueno	72	-	-	-	-

Para la preparación de las muestras estudiadas se partió primeramente de la dispersión del Grafeno en tolueno, la cual se efectuó mediante ultrasonificación durante 20 minutos. Esta mezcla fue calentada a 80°C por 5 minutos y se dejó en el baño de ultrasonido por 5 minutos más. A continuación se llevó a cabo la polimerización añadiendo el compuesto flexible (1,9 Nonanoditiol), el entrecruzante (PETMP), el fotoiniciador HHMP [2-Hidroxi-4'-(2-Hidroxietoxi)-2-MetilPropiofenona] y una solución previamente elaborada de DPA/Tolueno con una relación en peso aproximada de 1:50. La mezcla fue agitada en un agitador VORTEX Genius 3 de la marca IKA, promoviendo la generación de burbujas durante la polimerización, las cuales fueron removidas aplicando vacío.

Finalmente, el polímero obtenido se depositó en los moldes de teflón. El nanocomposito se dejó secar por un periodo aproximado de 20 horas. Después de este tiempo, las muestras fueron retiradas de los moldes y se procedió a calentar en una estufa a vacío a 60°C y 20 inHg de vacío por aproximadamente 15 horas.

Para obtener películas orientadas se realizó un alineamiento mecánico por medio de un esfuerzo de estiramiento a una velocidad constante de 1.4cm/m generando así un alineamiento temporal. Para mantener fijo este alineamiento se activó el fotoiniciador con una lámpara de luz ultravioleta de 365 nm de longitud de onda, irradiando las películas por 10 minutos. Durante su estiramiento se realizaron de manera empírica pruebas de resistencia mecánica con la finalidad de establecer un máximo de estirado previo a fallas de tipo estructural y comparar el comportamiento al estirado en sus diferentes concentraciones. Finalmente, a las muestras mecánicamente alineadas fueron observadas por Microscopia Óptica de luz Polarizada (POM) para evaluar su termoaccionamiento a temperaturas controladas por medio de una platina de calentamiento, llevando las muestras desde 30 hasta 140°C a una velocidad de 10°C/min.

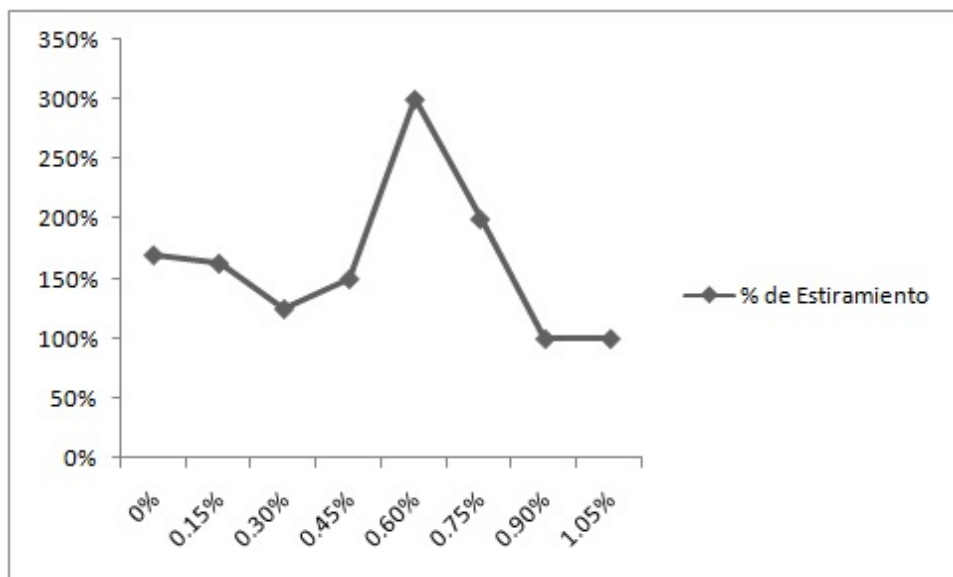
RESULTADOS Y DISCUSION

Estiramiento mecánico

Los resultados de las pruebas de alineamiento mecánico de los LCE mostraron un incremento máximo a una concentración de 0.60% de Grafeno, después de los cual decrece incluso a valores menores a los del LCE sin dopar (ver Tabla 2 y Gráfica 1). Es importante destacar que el mayor incremento alcanzado fue de 300%, el cual es 130% mayor al alcanzado por el LCE sin dopar, lo cual resulta interesante ya que esta respuesta está directamente relacionada con la presencia del Grafeno el cual podría estar actuando como un plastificante. De acuerdo a los resultados obtenidos, a concentraciones mayores al 0.60% de Grafeno, el material pierde elasticidad disminuyendo su propiedad de deformación hasta en un 70% menos que el LCE sin dopar. Estos resultados son interesantes, ya que muestran un límite óptimo en la concentración de Grafeno antes de que éste afecte negativamente las propiedades mecánicas de los LCE.

Tabla 4 Estiramiento maximo alcanzado por las muestras previo a la irradiacion UV

Muestra	Concentración de Grafeno	Distancia Inicial (cm)	Distancia Final (cm)	Estiramiento (%)
LCEG-00	0%	2	5.4	170%
LCEG-015	0.15%	2.2	5.8	163%
LCEG-030	0.30%	1	2.25	125%
LCEG-045	0.45%	1	2.5	150%
LCEG-060	0.60%	1	4	300%
LCEG-075	0.75%	1	3	200%
LCEG-090	0.90%	1	2	100%
LCEG-105	1.05%	1	2	100%



Gráfica 1 Comportamiento del porcentaje y tiempo de estirado

Termoaccionamiento

Para determinar y comparar la capacidad de termoreacción de las muestras se realizaron pruebas en una platina de calentamiento observándose el comportamiento mediante POM. Durante las pruebas se observó que los elastómeros dopados con Grafeno respondieron a temperaturas menores que el elastómero sin dopar (Tabla 3). En la Gráfica 2 se puede observar como el LCEG-00 (LCE sin dopar) mostró una reducción en sus dimensiones menor entre 50°C y 100°C en comparación con los elastómeros dopados. Sin embargo, hay que mencionar que mientras que estos elastómeros ya presentaron la transición de cristal líquido a líquido isotrópico a 100°C el LCEG-00 presenta esta transición hasta 120°C, en donde alcanza una contracción máxima de 43%. Este comportamiento se puede relacionar con la mejor conductividad térmica en los elastómeros dopados con Grafeno. Estos resultados muestran claramente que todos los elastómeros líquido-cristalinos preparados en este trabajo presentaron buena capacidad de termoaccionamiento.

Tabla 5 Longitudes de las muestras durante el termoaccionamiento medido desde un Microscopio de Luz Polarizada

Muestra	LCEG-00	LCEG-015	LCEG-030	LCEG-045	LCEG-060	LCEG-075	LCEG-090	LCEG-105
Temperaturas	Distancia (µm)							
30°C		742	1238	1280	1331	1033	1243	1220
50°C	1340	693	1153	1202	1304	1019	1213	1154
60°C		672	1103	1151	1259	995	1193	1124

70°C		634	1023	1079	1206	966	1149	1010
80°C		575	883	1012	925	940	1040	805
90°C		509	751	845	922	878	1026	711
100°C	1022	405	709	712	903	830	1025	704
Contracción de 50 a 100°C	23.73%	41.56%	38.51%	40.77%	30.75%	18.55%	15.50%	38.99%



Gráfica 2 Porcentaje de reducción de dimensiones a 50°C y 100°C

Durante las pruebas de termoaccionamiento por POM se pudo observar, además del cambio en las dimensiones de las muestras (ver Figura 1b y 1c), un cambio en la coloración, el cual está relacionado con la de birrefringencia del Cristal Líquido. Como se observa en la figura 1b, el elastómero dopado presenta opacidad, la cual disminuye al incrementar la temperatura, observándose además la presencia de tonalidades similares a las observadas en el elastómero sin dopar cuando éste alcanza temperaturas de la fase de cristal líquido. Este comportamiento indica una transición en la orientación, la cual pasa de monodominios inducidos mecánicamente a polidominios líquido-cristalinos inducidos térmicamente.

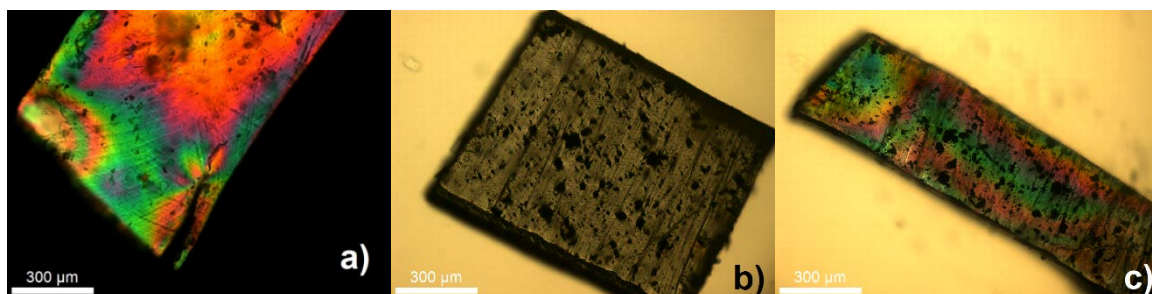


Figura 15 Micrografías en POM a) LCEG-00 a 140°C con polarizador, b) LCEG-015 a 30°C sin polarizador y c) LCEG-015 a 140°C sin polarizador

CONCLUSIONES

En el presente trabajo fueron evaluados el comportamiento térmico y la resistencia mecánica de un grupo de LCE dopados con Grafeno. Los resultados obtenidos en las pruebas de alineamiento mecánico mostraron una concentración límite de 0.60% de Grafeno a la cual se obtiene un estiramiento máximo del material, aumentando en un 300%, siendo 130% mayor con respecto al obtenido para el LCE sin dopar. En cuanto al termoaccionamiento, se observó que los elastómeros dopados con Grafeno respondieron a temperaturas menores que el elastómero sin dopar. Además, los elastómeros dopados presentaron la transición de cristal líquido a líquido isotrópico a temperaturas menores a los 100°C, mientras que el LCEG-00 presenta esta transición hasta 120°C, lo cual indica que la presencia de grafeno disminuye las temperaturas de transición.

AGRADECIMIENTOS

CONACYT (Proyecto CB-258195), a Julieta Sánchez, J. Alfonso Mercado y Antelmo Y. Ruiz por el apoyo técnico en la preparación y caracterización de los materiales.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Chambers, H. Finkelmann, M Remškar, A. Sánchez-Ferrer, B. Zalar, "Liquid crystal elastomer-nanoparticles systems for actuation", *J. Mater. Chem.*, 19, 2009, 1524-1531.
2. A. Agrawal, H. Chen, H. Kim, B. Zhu, O. Adetiba, A. Miranda, A. C. Chipara, P. M. Ajayan, J. G. Jacot, R. Verduzco, "Electromechanically Responsive Liquid Crystal Elastomer Nanocomposites for Active Cell Culture", *ACS Macro Lett*, 5, 2016, 1386-1390.
3. S. Courty, J. Mine, A. R. Tajbakhsh, E. M. Terentjev, "Nematic elastomers with aligned carbon nanotubes: New electromechanical actuators", *Europhys. Lett.*, 64(5), 2003, 654-660.
4. Z. Cheng, T. Wang, X. Li, Y. Zhang, H. Yu, "NIR-VIS-UV Light Responsive Actuators Films of Polymer-Dispersed Liquid Crystal/Graphene Oxide Nanocomposites", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 7, 2015, 27494-27501.
5. C. M. Yakacki, M. Saed, D. P. Nair, T. Gong, S. M. Reed, C. N. Bowman, "Tailorable and programmable liquid-crystalline elastomers using a two-stage thiol-acrylate reaction", *RSC Adv.*, 5, 2015, 18997

DISEÑO DE UN INTERFERÓMETRO MULTIMODAL

Lopez-Diequez, Y., Jauregui-Vazquez, D., Estudillo-Ayala, J.M., Herrera-Piad, L.A., Sierra-Hernandez, J.M., Hernandez-Garcia, J.C., Rojas-Laguna, R.

Departamento de Electrónica, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago Km 3.5+1.8 Km, Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Gto., 36885, México.

Catedrático CONACYT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Av. Insurgentes Sur No.1582, Col. Crédito Constructor, Del. Benito Juárez, C. P.039040 México, DF, México.

y.lopezdiequez@ugto.mx.

RESUMEN

En este trabajo se presenta una técnica para la fabricación de interferómetros multimodales por medio de descargas eléctricas. El procedimiento propuesto es de bajo costo y de una alta repetitividad en los patrones de interferencia obtenidos, además, la estructura puede adaptarse a diversos entornos debido a que está compuesto totalmente de fibra óptica convencional. El método propuesto sólo requiere la utilización de una empalmadora de arco eléctrico convencional operada en modo manual con la cual se realiza un empalme entre una fibra óptica convencional y una sección de fibra óptica estrechada. Posteriormente, se realizan descargas eléctricas de manera controlada con el objetivo de manipular la respuesta del patrón de interferencia. Para la validación de esta técnica se fabricaron numerosos interferómetros con características físicas similares los cuales presentan respuestas espectrales similares: un rango espectral libre entre 18nm y 25nm y un contraste de franja máximo de 13dB. Esta técnica de muy bajo costo ofrece la posibilidad de controlar la respuesta de los interferómetros mediante la aplicación de descargas eléctricas y garantiza la repetitividad de los patrones obtenidos. Las características de los interferómetros fabricados hacen posible la aplicación de estas estructuras en el ámbito de sensores.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el desarrollo alcanzado en el área de las comunicaciones con fibras ópticas ha conllevado al desarrollo de muchísimas áreas relacionadas con las fibras, una de las más importantes es el área de sensores ópticos, que se han hecho muy competitivos en cuanto a sus costos y por las facilidades que ofrecen [1]. Los sensores de fibra óptica pueden ser utilizados para medir una gran cantidad de parámetros tales como: detección de proteínas [2], presión [3], tensión [4], desplazamiento [5], curvatura [6], peso [7], campo magnético [8], [9], índice de refracción [10], temperatura [11], [12], humedad [13], detección simultánea de parámetros tales como temperatura e índice de refracción [14], [15], etc. Existen diversas técnicas para la obtención de interferómetros de fibra óptica que han resultado del interés de muchos investigadores, algunas de ellas utilizan fibras micro-estructuradas [12], [16]–[18] lo que encarece el dispositivo o el proceso de fabricación es complejo [19], [20].

En este trabajo, se propone un procedimiento de bajo costo basado en la técnica de arco eléctrico que permite obtener estructuras interferométricas usando fibra óptica convencional y una sección de fibra óptica convencional estrechada mediante la técnica de arco eléctrico. El rango espectral libre de los interferómetros multimodales obtenidos mediante el procedimiento descrito oscila entre

18nm y 25nm, el contraste de franja máximo es de 13dB y las pérdidas de inserción mínimas son de 4dB, por lo que se pudieran emplear estos dispositivos en el área de sensores.

FABRICACIÓN

El interferómetro propuesto se obtiene al realizar el empalme mediante la técnica de arco eléctrico de dos fibras ópticas con simetrías diferentes. Las fibras ópticas utilizadas en este procedimiento son fibra óptica convencional y un fragmento de fibra óptica convencional estrechada. El primer paso de la fabricación consiste en la obtención de la fibra óptica estrechada, utilizando una máquina controlada por software que utiliza una flama para aplicar calor a la sección de fibra óptica convencional que se desea estrechar y mediante el estiramiento consigue el estrechamiento deseado. Una vez obtenida esta fibra se realiza un corte en el centro que permite disponer de una punta de fibra óptica estrechada.

El esquema experimental utilizado en el proceso de fabricación se muestra en la Figura 1 y consta de cuatro elementos básicos. El primero es la fuente de amplio espectro, en este caso es un diodo superluminiscente (QPHOTONICS QSDM-1550-1) que brinda un espectro que abarca desde 1500nm hasta 1600nm (ver Figura 2) con una buena intensidad. La salida del diodo superluminiscente se introduce en un circulador de fibra óptica (segundo elemento del arreglo), este dispositivo permite guiar la luz de un puerto a otro en una sola dirección: la señal entra por el puerto 1 y es transmitida al puerto 2, igualmente, la señal que entra al puerto 2 (reflexión del dispositivo) es dirigida al puerto 3. Por tanto, el espectro amplio del diodo llega hasta el interferómetro, que sería el tercer elemento y la reflexión generada por el interferómetro es estudiada mediante un analizador de espectros ópticos (OSA: acrónimo del inglés Optical Spectrum Analyzer) (Yokogawa, AQ6370) que se coloca en el puerto 3 del circulador de fibra óptica y es el cuarto y último elemento del esquema. El OSA permite monitorear cambios en intensidad y de longitud de onda que ocurran en el sistema, por lo que este esquema permite monitorear constantemente el proceso de fabricación, lo que permite mejorar la respuesta del interferómetro mediante la aplicación de descargas.

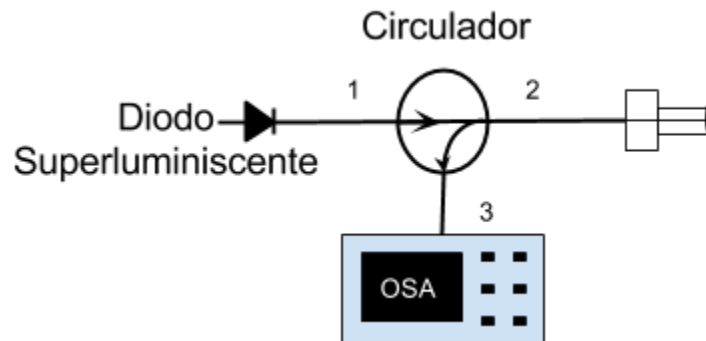


Figura 1: Esquema utilizado para la fabricación y caracterización de los interferómetros.

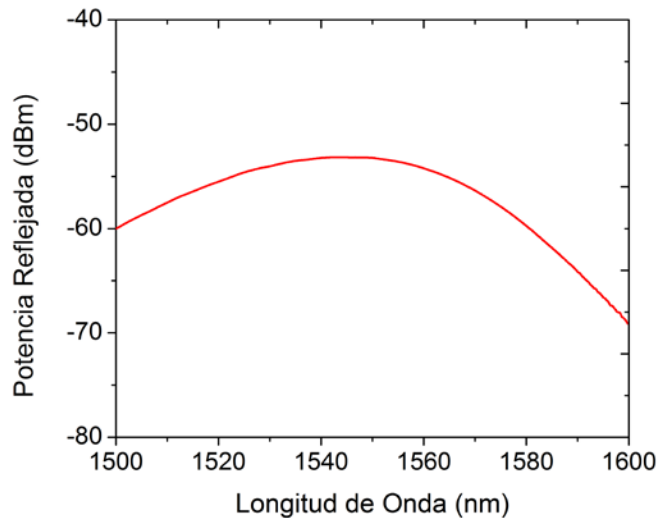


Figura 2: Espectro de la fuente de luz utilizada.

El siguiente paso en el proceso de fabricación es la unión mediante empalme de la fibra convencional y la punta de la fibra estrechada obtenida anteriormente. Ambos extremos son cortados apropiadamente y colocados en la empalmadora comercial (FITEL S-175 V.2000) con sumo cuidado, garantizando que queden desplazados del eje de los electrodos una distancia aproximada de $100\mu\text{m}$. Adicionalmente, se modifican los parámetros de la empalmadora y se aplican tres descargas (limpieza, pre-fusión y fusión). Este procedimiento garantiza que la fibra estrechada no se vea afectada por el calor generado al aplicar las descargas y que existe la suficiente energía resultante del arco eléctrico para realizar el empalme sin colapsos, tal como se observa en la Figura 3. Finalmente, se desplaza esta unión unos $500\mu\text{m}$, alejándola del eje de los electrodos de la empalmadora y se aplican descargas eléctricas hasta que se produzca el corte de la fibra estrechada.



Figura 3: Empalme entre la fibra convencional y la fibra estrechada.

RESULTADOS

Con el objetivo de demostrar la validez del procedimiento que se reporta, se fabricaron varios interferómetros y se realizó el análisis de sus respuestas espectrales, demostrándose que tienen características similares tanto para el rango espectral libre, el cual fluctúa entre 18nm y 25nm , como para la visibilidad del patrón de interferencia que varía entre 8dB y 13dB y las pérdidas de inserción fluctúan entre 4dB y 15dB , tal como puede apreciarse en la Figura 4 a), b) y c). Las pérdidas generadas durante el proceso de fabricación pueden disminuirse mediante la aplicación de descargas durante el proceso de fabricación ya que con esto se modifica la forma del interferómetro y la distancia entre el extremo de la fibra estrechada y la fibra convencional lo que provoca que se modifique el rango espectral libre y el contraste de franja.

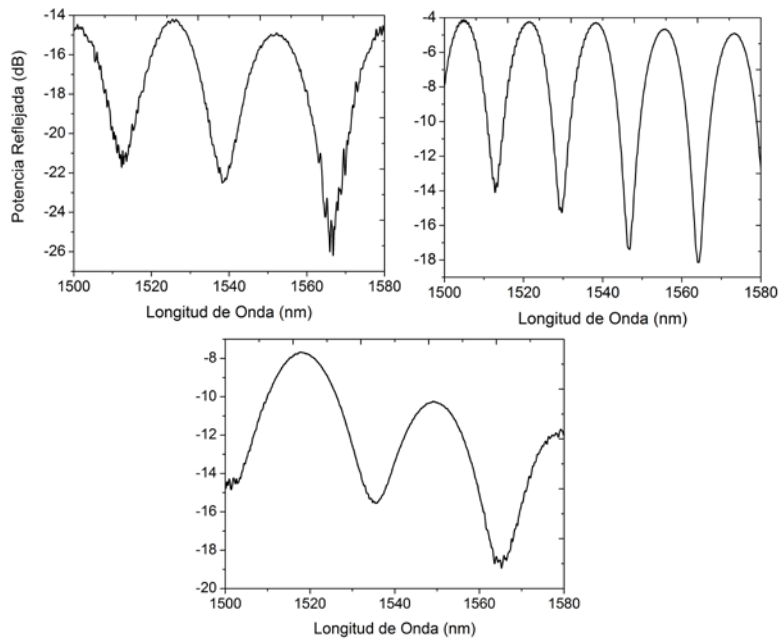


Figura 4: Espectros de los interferómetros fabricados.

Cuando la luz que viaja por el núcleo de la fibra óptica llega a la zona del empalme con la fibra óptica estrechada, el modo fundamental que viaja por ella se dispersa y se excitan algunos modos de alto orden del revestimiento de la fibra estrechada. Todos estos modos al interactuar entre sí generan los patrones de interferencia mostrados anteriormente. Las ondas evanescentes de los modos del revestimiento alcanzan la superficie externa por lo que pueden interactuar con el medio, permitiendo el uso de estas estructuras como sensores, por ejemplo, de índice de refracción. En la figura 5 a), b) y c) se muestra el análisis mediante la transformada rápida de Fourier (FFT: acrónimo del inglés Fast Fourier Transform) donde se observan los modos que intervienen en la generación de los espectros de interferencia.

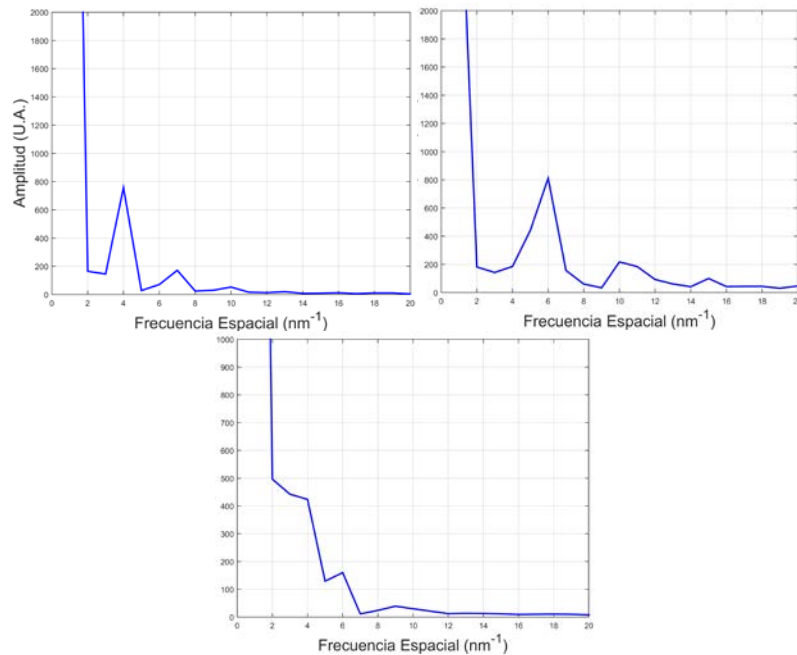


Figura 5: Análisis mediante FFT.

CONCLUSIONES

Muchos estudios realizados recientemente se han enfocado al diseño y fabricación de sensores de fibras ópticas debido a que ha sido ampliamente demostrado su eficacia en diversas aplicaciones. Muchos de ellos se utilizan para la detección de parámetros biológicos como proteínas, parámetros físicos y químicos como presión, desplazamiento, curvatura, índice de refracción, temperatura, etc. Muchos de los procesos de fabricación reportados suelen ser complicados o emplean equipos o materiales costosos. La técnica descrita en este trabajo para la fabricación de interferómetros es de bajo costo ya que se basa en el uso de una empalmadora comercial de arco eléctrico operada en modo manual, para obtener un empalme entre una pequeña sección de fibra convencional estrechada y una fibra óptica convencional. Los interferómetros obtenidos utilizando el procedimiento detallado en este documento, presentan respuestas espectrales similares: rango espectral libre de aproximadamente 20nm y contraste de franja de hasta 13dB, además de que poseen pérdidas de inserción relativamente bajas. Se prevé que estas estructuras puedan ser utilizadas como sensores de fibras ópticas dado que, al estar fabricadas completamente con fibras ópticas, podrían adaptarse a diversos entornos con ambientes agresivos, temperaturas extremas, espacios reducidos o difíciles geométricamente.

AGRADECIMIENTOS

Y. Lopez-Dieguez desea agradecer a CONACYT por el apoyo brindado mediante la beca número 577494/307127

BIBLIOGRAFÍA

1. G. Rajan *et al.*, *Optical Fiber Sensors, Advanced Techniques and Applications*. CRS Press Taylor & Francis Group, 2015.
2. T. K. Yadav, R. Narayanaswamy, M. H. Abu Bakar, Y. M. Kamil, and M. a. Mahdi, "Single mode tapered fiber-optic interferometer based refractive index sensor and its application to protein sensing," *Opt. Express*, vol. 22, no. 19, p. 22802, Sep. 2014.

3. W. P. Chen, D. N. Wang, B. Xu, C. L. Zhao, and H. F. Chen, "Multimode fiber tip Fabry-Perot cavity for highly sensitive pressure measurement," *Sci. Rep.*, vol. 7, p. Scientific Reports, 2017.
4. L. Gan *et al.*, "Spatial-Division Multiplexed Mach-Zehnder Interferometers in Heterogeneous Multicore Fiber for Multiparameter Measurement," *IEEE Photonics J.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2016.
5. D. Milewska, K. Karpienko, and M. J., "Application of thin diamond films in low-coherence fiber-optic Fabry Pérot displacement sensor," *Diam. Relat. Mater.*, vol. 64, pp. 169–176, 2016.
6. Y. Zhang *et al.*, "A novel Michelson Fabry-Perot hybrid interference sensor based on the micro-structured fiber," *Opt. Commun.*, vol. 374, pp. 58–63, 2016.
7. D. Jauregui-Vazquez *et al.*, "Modified All-Fiber Fabry-Perot Interferometer and Its Refractive Index, Load, and Temperature Analyses," *Photonics Journal, IEEE*, vol. 7, no. 3, pp. 1–9, 2015.
8. Y. Zhao, R. Lv, Y. Ying, and Q. Wang, "Hollow-core photonic crystal fiber Fabry-Perot sensor for magnetic field measurement based on magnetic fluid," *Opt. Laser Technol.*, vol. 44, no. 4, pp. 899–902, 2012.
9. Q. Liu, S. Li, C. Dou, and X. Wang, "Defected-core photonic crystal fiber magnetic field sensor based on Sagnac interferometer," *Appl. Phys. B*, vol. 123, no. 3, p. 65, 2017.
10. A. J. Rodriguez Rodriguez *et al.*, "Rum adulteration detection using an optical fiber sensor based on multimodal interference (MMI) Detección de adulteración de ron empleando un sensor de fibra óptica," *Óptica pura y Apl.*, vol. 46, no. 4, pp. 345–352, 2013.
11. M. A. Fuentes-Fuentes, D. A. May-Arrijoa, J. R. Guzman-Sepulveda, M. Torres-Cisneros, and J. J. Sánchez-Mondragón, "Highly Sensitive Liquid Core Temperature Sensor Based on Multimode Interference Effects.," *Sensors (Basel)*, vol. 15, no. 10, pp. 26929–39, 2015.
12. J. Wu *et al.*, "All-fiber reflecting temperature probe based on the simplified hollow-core photonic crystal fiber filled with aqueous quantum dot solution," *Appl. Opt.*, vol. 55, no. 5, pp. 974–978, 2016.
13. B. Gu, M. Yin, a P. Zhang, J. Qian, and S. He, "Optical fiber relative humidity sensor based on FBG incorporated thin-core fiber modal interferometer.," *Opt. Express*, vol. 19, no. 5, pp. 4140–4146, 2011.
14. L. Zhang, D. N. Wang, S. Member, J. Liu, and H. F. Chen, "Simultaneous Refractive Index and Temperature Sensing With Precise Sensing Location," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 28, no. 8, pp. 891–894, 2016.
15. P. Liu and Y. Shi, "Simultaneous measurement of refractive index and temperature using a microring resonator," *Appl. Opt.*, vol. 55, no. 13, pp. 3537–3541, 2016.
16. J. Villatoro, V. Finazzi, G. Coviello, and V. Pruneri, "Photonic-crystal-fiber-enabled micro-Fabry-Perot interferometer.," *Opt. Lett.*, vol. 34, no. 16, pp. 2441–2443, 2009.
17. O. Frazao *et al.*, "Fabry-perot cavity based on a suspended-core fiber for strain and temperature measurement," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 21, no. 17, pp. 1229–1231, 2009.
18. J. Li *et al.*, "Temperature-independent refractometer based on fiber-optic Fabry-Perot interferometer," *Opt. Lasers Eng.*, vol. 79, pp. 16–21, 2016.
19. V. R. Machavaram, R. A. Badcock, and G. F. Fernando, "Fabrication of intrinsic fibre Fabry-Perot sensors in silica fibres using hydrofluoric acid etching," *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 138, no. 1, pp. 248–260, 2007.
20. T. Wei, Y. Han, Y. Li, H.-L. Tsai, and H. Xiao, "Temperature-insensitive miniaturized fiber inline Fabry-Perot interferometer for highly sensitive refractive index measurement.," *Opt. Express*, vol. 16, no. 8, pp. 5764–5769, 2008.

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN EN ANDROID PARA EL DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS DE ANSIEDAD Y ESTRÉS

José Eladio Hernández Vázquez, Cristina Juárez Landín, José Luis Sánchez Ramírez

Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Valle de Chalco

RESUMEN

En este trabajo se presenta el proceso de diseño de una aplicación para diagnóstico enfermero, desarrollada para realizar el diagnóstico asociado con problemas de ansiedad y estrés. La herramienta se desarrolló con el objetivo de emitir un diagnóstico apegado a las normas de enfermería establecidas y en general el diseño del sistema se basa en el uso de NANDA (North American Nursing Diagnosis Association).

El desarrollo del sistema propuesto consta de cuatro etapas: (a) Base de Conocimiento, que contiene las representaciones del conocimiento que permiten la emisión de un diagnóstico positivo o negativo; (b) Máquina de Inferencia, es el proceso que efectúa el razonamiento a partir de los datos y que hace uso de la base de conocimientos; (c) Memoria de Trabajo, que contiene los datos de entrada que se generan durante el proceso de razonamiento y (d) Interfaz de Usuario, que será el enlace entre la entrada y salida para mostrar al usuario el sistema y en la cual usualmente se observarán la base de preguntas y de explicación.

Para el desarrollo de la aplicación propuesta se utilizara la metodología de Desarrollo Rápido de Aplicaciones (RAD), ya que el modelo se basa en un proceso de software incremental. Se realizara la aplicación en el sistema operativo Android porque es muy utilizado por una amplia gama de dispositivos móviles, utilizando el lenguaje lógico de PROLOG el cual se adapta mejor a los paradigmas de inteligencia artificial.

INTRODUCCIÓN

Desde los cincuenta en diversos lugares alrededor del mundo comenzó el interés por la IA (inteligencia artificial). Alan Turing fue pionero al dar los primeros pasos en el área de Inteligencia Artificial utilizando el hardware desarrollado hasta ese momento. Prácticamente existe una definición de Inteligencia Artificial por cada autor que escribe sobre el tema. Tal vez una de las definiciones que se puede considerar más ajustada a la realidad es la reflejada en la Encyclopedia Of Artificial Intelligence: "La IA es un campo de la ciencia y la ingeniería que se ocupa de la comprensión, desde el punto de vista informático, de lo que se denomina comúnmente comportamiento inteligente. También se ocupa de la creación de artefactos que exhiben este comportamiento" (Shapiro, 1992).

Actualmente en México los problemas de ansiedad y estrés han desencadenado otro tipo de padecimientos que se han convertido en problemas de salud pública, como es el caso de la hipertensión arterial la cual ha incrementado en los últimos 50 años de manera muy preocupante y diabetes que en México se diagnosticaron 6.4 millones de personas con este padecimiento, que es una de las principales causas de muerte en nuestro país (según datos del IMSS). En consecuencia, este trabajo describe el proceso de diseño de un sistema para diagnóstico

enfermero asociado con problemas de ansiedad y estrés. La herramienta prototipo emitirá un diagnóstico apegado a las normas de enfermería establecidas.

Un sistema experto se puede definir como aquel programa de computadora que contiene la erudición de un especialista humano versado en un determinado campo de aplicación. En este sentido, los expertos escasean y su contratación supone una gran inversión económica, por lo que se intenta construir un sistema de forma que los conocimientos del experto se representen en una forma que la computadora pueda procesar. Esto es un modelo computarizado de las capacidades de razonamiento y habilidades en resolución de problemas del especialista humano (Pino, 2001).

Para el desarrollo del modelo propuesto se utilizara la metodología de Desarrollo Rápido de Aplicaciones (RAD), el presente modelo se basa en un proceso de software incremental. Se realizara una app en Android, utilizando el lenguaje lógico de PROLOG el cual se adapta mejor a los paradigmas de inteligencia artificial, el SE móvil basara su funcionamiento en consultas a un servidor que se creara específicamente para esa función.

Desde la más remota antigüedad, el propósito de la medicina ha sido siempre el curar las enfermedades y, en ciertos casos eventuales, el prevenirla. De manera que el ejercicio de la profesión médica ha entrañado siempre una vocación de servicio (Santos, 2001).

METODOLOGÍA

El término estrés se sustenta en un conjunto numeroso de investigaciones desde que el eminente fisiólogo del siglo XIX Claude Bernard lo definió como respuesta adaptativa del organismo a un estímulo externo para mantener la homeóstasis. Hans Seyle, en 1936 formuló la noción de respuesta al estrés como un proceso que implica cambios que se dan en primer lugar sobre el sustrato orgánico y químico, limitando así la respuesta a las reacciones no específicas del organismo frente a un estímulo externo (Oblitas, 2000).

La ansiedad en medicina es la Angustia que suele acompañar a muchas enfermedades, en particular a ciertas neurosis, y que no permite sosiego a los enfermos (Real Academia Española, 2016).

NANDA es la guía definitiva de los diagnósticos de enfermería, cada uno de los diagnósticos presentados son apoyados por definiciones, aprobados por expertos en diagnósticos enfermeros, investigadores y educadores.

Android es un sistema operativo, inicialmente diseñado para teléfonos móviles como los sistemas operativos iOS (Apple), Symbian (Nokia) y Blackberry OS. En la actualidad, este sistema operativo se instala no sólo en móviles, sino también en múltiples dispositivos, como tabletas, GPS, televisores, discos duros multimedia, mini ordenadores, etcétera. Incluso se ha instalado en microondas y lavadoras. Está basado en Linux, que es un núcleo de sistema operativo libre, gratuito y multiplataforma (Sacristán, 2011).

Arquitectura del sistema experto

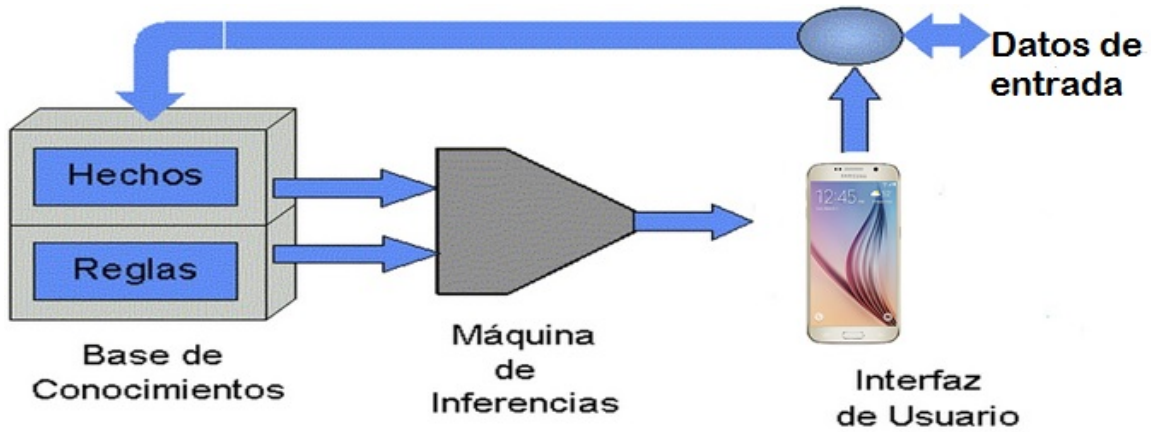


Figura 1: Arquitectura del Sistema Experto. (Fuente propia, 2017).

El sistema experto consiste en cinco etapas las cuales se mencionaran enseguida.

1.- Login del enfermero, el cual es único.



Figura 2: Interface de Bienvenida. (Fuente propia, 2017).

2.- Base de Conocimientos, la cual da un diagnóstico posible, está formada por toda la cantidad de información disponible sobre el campo en el que se desarrolla la aplicación. Esta información se obtendrá del libro NANDA.

3.- Máquina de Inferencia: es la porción del sistema experto que razona utilizando el contenido de la base del conocimiento en una secuencia determinada.

4.- Base de hechos: Alberga los datos propios correspondientes al problema de ansiedad y estrés, memorizando todos los resultados intermedios lo que permitirá conservar el rastro de los razonamientos llevados a cabo.

5.- Interfaz del Usuario: Son las pantallas en las cuales el usuario interactúa con el sistema, teniendo como característica principal ser amigable para él.

RESULTADOS

Se realizaron numerosos experimentos de simulación para comparar el desempeño de las interfaces de usuario, teniendo como resultado: pantalla de inicio



Figura 3: Interface de inicio de cuestionario. (Fuente propia, 2017).

CONCLUSIONES

El sistema experto es útil y ayuda a los enfermeros para realizar su diagnóstico de una forma rápida y eficaz, ya que esta se realizara desde una aplicación móvil que es lo que se está utilizando hoy en día.

El diseño de un sistema para el diagnóstico de problemas de ansiedad y estrés es muy útil ya que de estos problemas de salud se derivan otros como la diabetes, la presente investigación ayudaría a tener un historial clínico de los pacientes y tener estadísticas precisas para futuras estadísticas en estos problemas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Oblitas, L. A. (2000). *Psicología de la salud*. México: Plaza y Váldes.
2. Pino, R. (2001). *Introducción a la ingeniería Artificial: Sistemas Expertos, Redes Neuronales Artificiales y Computación Evolutiva*. Oviedo: Servicios de Publicaciones Universidad de Oviedo.
3. *Real Academia Española*. (22 de febrero de 2016). Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=2l0oQtn>
4. Sacristán, C. R. (2011). *Programación en Android*. Madrid: Ministerio de Educación de España.
5. Santos, L. S. (2001). *Introducción a la medicina general integral*. La Habana: Ciencias Médicas.
6. Shapiro, S. C. (1992). *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. New York: John Wiley & Sons.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PROCESO DE INSPECCIÓN DE PARTES MEDIANTE EL ESTUDIO GR & R POR ATRIBUTO APLICADO A LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Paola Abigail Escobedo Rodriguez, Alma Yolanda Guadían Rodriguez, Russell Pérez Gonzalez y Norma Lizbeth Ramírez Cabrera

Universidad Politécnica del Bicentenario

RESUMEN

La industria automotriz en México, ha tenido un creciente desarrollo a partir de los años 20's, en los 90's el auge fue aún mayor. Las empresas buscan la mejora continua de sus procesos y una forma de hacerlo es a través del análisis estadístico. Existen diversas técnicas y herramientas que permiten identificar la variación que tiene un sistema de medición. El análisis GR&R (Gage R & R) también conocido como R & R (repetibilidad y reproductibilidad) por atributo, se utiliza para verificar que los instrumentos, el analista y el método de trabajo para una inspección se realicen con el menor índice de variación posible.

Para las empresas de la industria automotriz, es un requisito que se establece en la norma ISO/TS, con este análisis, se garantiza que la inspección de las partes se realice de manera estandarizada y en caso de no ser así, se pueden aplicar acciones de mejora para incrementar dichos índices.

En el presente trabajo de investigación aplicada, se llevó a cabo el análisis GR&R por atributo considerando 3 observadores, los cuales se someten a análisis en 3 ocasiones, al azar se eligen 20 piezas, de las cuales 5 están fuera de especificación y el gage (instrumento) de medición debe estar calibrado.

La medida nominal de la pieza es de 29.12 cm. con un margen de tolerancia de ± 0.0125 . En base a las mediciones obtenidas se obtuvo el estado inicial del sistema que puede observarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis inicial de validación del proceso de medición

Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje aceptación
1	20	9	45%
2	20	14	70%
3	20	14	70%

--	--	--	--

El estadístico Kappa obtenido en el análisis estadístico inicial es de 0.249415, lo que indica que el nivel de concordancia de las mediciones es bajo y el porcentaje promedio del 61.6%. Como se puede observar, la repetitividad y la reproducibilidad no son las adecuadas, debido a que el porcentaje mínimo debe ser del 85% y el valor de Kappa de entre 0.7 y 1, por lo cual se realizaron acciones correctivas, logrando porcentajes del 85 al 100% de cumplimiento y concordancia.

INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de lograr el éxito y la calidad en sus procesos, empresas como Chrysler, Ford y General Motors, decidieron unificar los criterios de validación de sus procesos, por lo cual desarrollaron el Manual de Referencia "Measurement Systems Analysis" (Análisis de sistemas de medición). Según el Prefacio de dicho manual, este se diseñó para estandarizar los manuales de referencia, formatos de reporte y nomenclatura técnica, ya que generalmente compartían proveedores, a los que se les facilitó para trabajar en colaboración. El manual original se publicó en 1991. (Manual S. P. C., 2da edición, 2005, español).

En este caso, se realiza el análisis de normalización de un proceso de fabricación de engranes en una empresa proveedora de las antes mencionadas, ya que como requisito indispensable para continuar proveyendo a dichas empresas, es necesario cumplir con los lineamientos establecidos en la norma ISO/TS 16949:2009.

El manual MSA y la norma ISO, se encuentran alineadas con la finalidad de unificar criterios para la cadena de proveedores tier 1 y tier 2, por lo que se deben realizar inspecciones y análisis constantes, que garanticen que se cumple con los lineamientos establecidos.

Por su parte, el análisis estadístico se refiere a un conjunto de métodos, técnicas y procedimientos para el manejo de datos, su ordenación, presentación, descripción, análisis e interpretación que contribuyen al estudio científico de problemas planteados (Gil Flores, 1996:43). Es indispensable mencionar que la empresa que para fines prácticos y de confidencialidad se denominará "Fabrica de engranes", inicio operaciones en el año de 1917, por lo que su amplia experiencia garantiza que sus procesos sean de calidad aunque es claro entender que todas las empresas pueden estar en constante mejora. Actualmente cuenta con 18 plantas en todo el mundo, siendo Detroit como eje de la industria automotriz a nivel mundial, la sede original donde se iniciaron operaciones.

En el presente proyecto se desarrolla de manera clara y explícita, la implementación de un sistema de análisis estadístico GR & R por atributo, realizado en coordinación entre el área de medición y calibración y el departamento de ingeniería y calidad.

Se puede encontrar en primera instancia, un análisis diagnóstico que sirvió para conocer el estatus inicial del área, debido a que las auditorías que se establecen en la norma ISO/TS 16949:2009 no se realizaban de manera correcta y coordinada, lo que generaba incertidumbre en los resultados presentados. Como parte de la recertificación, era necesario realizar una actualización de los procesos y de los sistemas de medición de los mismos.

En seguida se realizó una serie de mejoras con la finalidad de que los resultados fueran acorde a las especificaciones de calidad establecidas por el cliente, con lo que se logró alcanzar índices óptimos de satisfacción.

Por último se presentan los resultados obtenidos aplicando nuevamente el análisis GR & R, con lo que se valida si las mejoras implementadas tuvieron o no impacto positivo en los resultados. En este caso, se alcanzó como resultado que el análisis de los engranes seleccionados, se realicen con una confiabilidad de entre el 85 y el 100%, con un índice Kappa de hasta 1 y mayores a 0.7, lo que garantiza que existe concordancia entre los evaluadores y el error en las mediciones va del 3 al 12%.

Por lo cual se logró el objetivo inicial del proyecto que es Generar un estudio GR &R para el instrumento de medición gage pasa /no pasa del número de parte 1482, que admita verificar que el método de inspección es confiable para su uso, permitiendo cumplir con los lineamientos de auditoria de recertificación ISO TS/16949 Y Q4.

TEORÍA

Los métodos de control estadístico son indispensables para determinar si existen variaciones en los procesos, las causas de dichas variación, el monitoreo de los procesos y el análisis de los resultados. Para ello es necesario tomar en cuenta algunos puntos principales de acuerdo al Manual de Análisis de Sistemas de Medición (MSA):

- Recolección de datos y uso de métodos estadísticos para interpretar la información obtenida.
- Comprensión de los sistemas de medición antes de la recolección de los datos para disminuir las variaciones en la interpretación.
- Comprender que las aplicaciones del MSA, aplican para el área de producción en piso de producción, en caso de aplicaciones administrativas, se debe considerar el apéndice correspondiente.
- Todos los procesos pueden mejorarse para incrementar la productividad y reducir los costos.

Análisis de Sistema de Medición

Es necesario comprender que un análisis de sistema de medición, evalúa la adecuación del mismo para una aplicación dada. Al medir la salida de un proceso, se consideran dos fuentes de variación.

- Variación parte a parte
- Variación del Sistema de medición

Si la variación del sistema de medición es grande en comparación con la variación parte por parte, es posible que las mediciones no proporcionen información útil. (Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 2010).

Estudio GR Y R del sistema de medición

Es necesario reconocer la variación total del proceso, causada por el sistema de medición, la cual se analiza a través de un estudio de Repetibilidad y de Reproducibilidad.

Cuando se estima la repetibilidad, cada operador mide cada parte por lo menos dos veces. Cuando se estima la reproducibilidad, por lo menos dos operadores deben medir las partes. Los operadores miden las partes en orden aleatorio, y las partes seleccionadas representan el posible rango de mediciones. (Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 2010).

Errores del sistema de medición

Los errores del sistema de medición se pueden clasificar en dos categorías:

- Exactitud.- es la diferencia entre el valor medido y el real de la parte.

- Precisión.- es la variación cuando la misma parte se mide repetidamente con el mismo dispositivo.

La exactitud de un sistema de medición tiene tres componentes:

- Sesgo- es una medida de la exactitud en el sistema de medición; la diferencia entre la medición promedio observada y un valor maestro.
- Linealidad.- medida de cómo el tamaño de la parte afectada el sesgo del sistema de medición; la diferencia en los valores del sesgo observado en el rango esperado de mediciones.
- Estabilidad una medida de en qué grado el sistema funciona en el tiempo; la variación total obtenida con un dispositivo particular en la misma parte, al medir una característica individual en el tiempo.

Por su parte, la precisión o variación de medición, tiene dos componentes:

- Repetibilidad.- Variación debido al dispositivo de medición, o la variación observada cuando el mismo operador mide la misma parte repetidamente con el mismo dispositivo.
- Reproducibilidad.- Variación debido al sistema de medición, o la variación observada cuando diferentes operadores miden la misma parte utilizando el mismo dispositivo.

Como se observa en la descripción de precisión, lo que se busca es eliminar la variación en las mediciones. (Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Cooperation, 2010).

Sistema de Medición

Es el conjunto de instrumentos o gages, patrones, operaciones, métodos, dispositivos, software, personal, medio ambiente y supuestos usados para cuantificar una unidad de medida o preparar la evaluación de una característica o propiedad a ser medida; el proceso completo usado para obtener mediciones.

Es necesario identificar el patrón, la pieza de trabajo, el instrumento, la persona, el procedimiento y el medio ambiente donde se desarrolla el procedimiento. Además, se debe minimizar el tamaño del sesgo, es decir, de la diferencia entre el promedio de las mediciones observado y el valor de Referencia es un componente de error sistemático del sistema de medición.

Para determina el grado de concordancia de evaluaciones nominales u ordinales realizadas por múltiples evaluadores cuando se evalúan las mismas muestras se analizan las estadísticas Kappa, estas se utilizan en aplicaciones de tabulación cruzada y en análisis de concordancia de atributos.

Por su parte, un Gage R&R es un sistema que combina la variación de responsabilidad, repetitividad y reproducibilidad. De otra manera, GRR es igual a la variación de la suma dentro del sistema y entre sistemas de variación, considerando la sensibilidad que presente el sistema afectado por el desempeño de un instrumento, la habilidad del operador y la repetitividad del instrumento de medición. (Manual S. P. C., 2da edición, 2005, español).

PARTE EXPERIMENTAL

El proyecto se realiza a la familia de engrane GM 8.25 con ranura, tomando como referencia el número de parte 1482, al que se aplicara la implementación de prueba estadística GR y R por atributo. Para la realización del análisis se tomaron 20 piezas de manera aleatoria, que en base a los procedimientos establecidos en los manuales MSA deben ser utilizados para considerar como representativa la muestra.

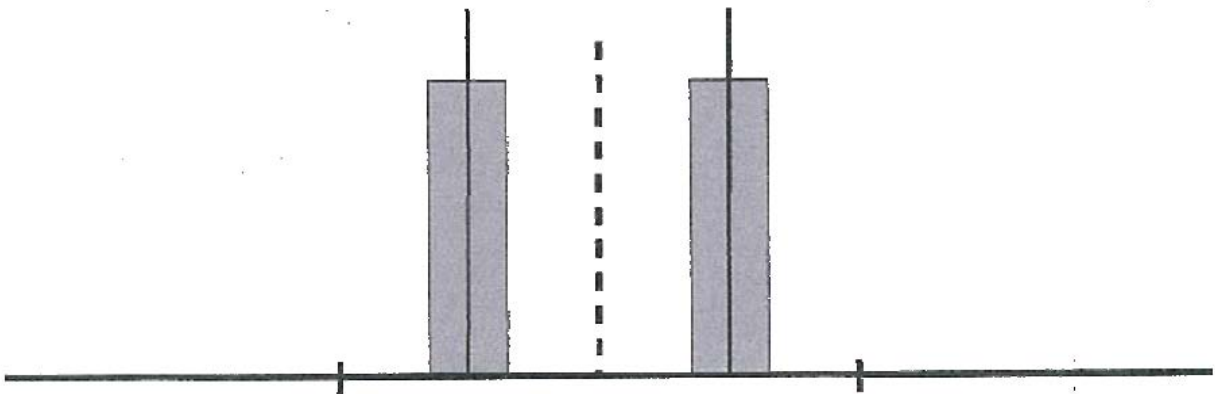
1.- Seleccionar un gage de atributos que compare cada parte con un conjunto de límites específicos y acepte la parte si los límites se satisfacen, de lo contrario rechaza la parte (conocido como gage pasa / no pasa). La mayoría de los instrumentos de medición de este tipo son ajustados para aceptar y rechazar en base a un conjunto de partes master observable en figura 1.

Figura 1 Gage pasa no /pasa



Este gage de atributos no puede indicar que tan bien o mal está una pieza, sino solo que la pieza se acepta o se rechaza, como en todos, este gage de atributos tiene áreas "Grisas" donde pueden tomarse decisiones equivocadas debido a que se encuentran en los límites inferior y superior de aceptación. (Ver figura 2).

Figura 2. Áreas grises asociadas con el sistema de medición.



2.- Método para calibración Gage Pasa /no Pasa

- Se limpia las partes mecánicas del Gage
- Se toma la medición del Gage y se compara con las medidas del diseño
- Se evalúa si es funcional que no presentes daño o desgaste
- Se registra en el sistema plex
- Se coloca etiqueta de calibración (número de la identificación de Gage, persona que realizo la calibración, fecha de calibración y fecha de vencimiento).

3.- Seleccionar tres evaluadores, con cada evaluador se toman tres decisiones en cada parte. Una decisión aceptable fue designada con un uno (1) y una decisión no aceptable con un cero (0).

El método por él que se realiza la prueba es por atributo, este consiste en tomar 20 piezas por cada operador; colocar las piezas en una área específica, medir, repetir esto 3 veces más con las mismas piezas y el mismo operador.

4.- Causas para una repetibilidad deficiente

Se realizó un diagrama de Ishikawa para determinar de los efectos como sus posibles causas que pueden ser las detonantes del problema, el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos del problema. Este tipo de diagrama se utiliza para establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización. Evaluar todas las fallas, saber si se pueden resolver o mejor evitarla. (Ver Figura 3 y 4)

Figura 3. Diagrama de Ishikawa

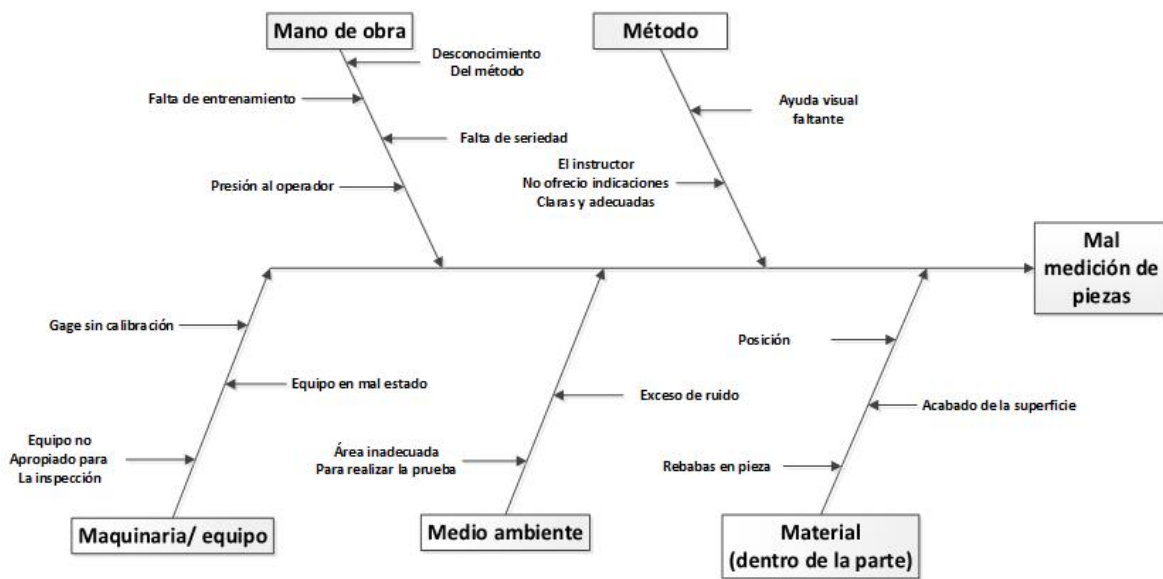
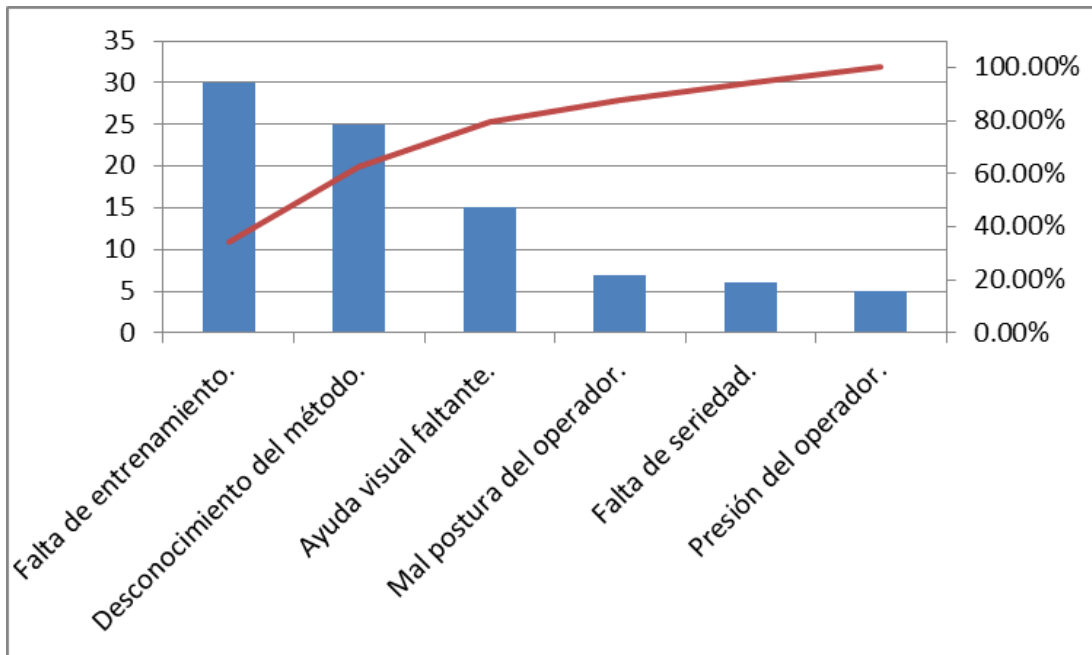


Figura 4. Diagrama de Pareto



5.- Método de prueba GR & R

- 1) Recolección 5 piezas con diámetro interior chico para la realización de prueba de GR&R por atributo y otras 15 más con las medidas establecidas por el diseño para la realización de la prueba.
- 2) Se enumeran las piezas del 1 al 20 con el objetivo de combinar las piezas malas con las buenas e identificar las piezas que se encuentran con las especificaciones correctas y fuera de especificación.
- 3) En la tabla de herramientas de estudio GR & R (ver Tabla 1 y 2) se presenta la información correspondiente a la pieza de estudio. Se colocaron números binarios para facilitar el resultado, el "0" será no pasa y "1" será pasa, cabe aclarar que el evaluador tendrá conocimiento de las piezas que cumplen con los lineamientos.

Conjunto de Datos	
Variable	Descripción
Engrane 1482	Pieza de engrane 1482
Operador	Operador que midió la pieza
Orden de corrida	Orden de corrida original del experimento
Diámetro	Diámetro de la pieza (29.120 ± 0.025 micras)

Tabla 1. Herramientas para el estudio GR & R

Tabla 2. Medidas de piezas NO conforme

Nominal	Máximo	Mínimo	Medidas
29.12	□□□□□□	□□□□□□	29.131
			29.093
			29.142
			29.123
			29.132
			29.094
			29.14
			29.133
			29.13
			29.127
			29.115
			29.11
			29.094
			29.124
			29.114
			29.0946
			29.12
			29.146
29.119			
29.131			

4) Se realiza una capacitación al operador donde se le explica cómo se utilizan los instrumentos de medición y los criterios a evaluar para llevar a cabo el estudio, además se le explicó las tolerancias que están permitidas de acuerdo al modelo de la pieza.

5) Se realiza la prueba, que consiste en tres intentos de acuerdo a lo establecido en el manual MSA, esto para evitar que el resultado sea repetitivo.

6.- En base al manual del estudio de análisis de medición (MSA), se tomó el tamaño de la muestra que establece que para poder tener resultados confiables, es necesario realizar la

operación repetidamente, para evitar que la persona que se a evaluada este arrojando valores no apropiados para el estudio. Y como se un estándar se toma que la operación se llevara a cabo tres veces por operador.

Tamaño de la muestra (20 piezas) x (3 operadores) x (3 repeticiones)=180 mediciones

Tabla 3. Recolección de datos

No - pieza	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	Referencia
1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
5	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
7	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
12	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
14	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1
18	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

RESULTADOS

Análisis de concordancia de atributo

Primer caso para los operadores 1, 2,3 (Ver tabla 4)

Los siguientes resultados se muestran a continuación (ver tabla 5) se muestran las coincidencias que los operadores obtuvieron con las piezas inspeccionadas y se muestra el porcentaje que se obtuvo.

Tabla 5. Acuerdo de evaluación

Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje aceptación
1	20	9	45%
2	20	14	70%
3	20	14	70%

A continuación se muestra el intervalo de confianza, en los que se encuentran cada uno de los evaluadores (ver tabla 6) como se puede observar los tres evaluados se encuentran por debajo del intervalo de confianza que es de 95% del límite permitido esta entre 85% a 95 % para que esa aceptable de acuerdo a lo establecido en el manual MSA.

Tabla 6. Intervalo de confianza

Evaluador	IC de 95%
1	(23.06,68.47)
2	(45.7 2,88.11)
3	(45.72,88.11)

Se analizan el número de coincidencias que el evaluador coincide consigo mismo a través de las pruebas (ver tabla 7).

Tabla 7. Estadística Kappa de Fleiss

Evaluador	Kappa	Error estandar de Kappa	z	P(vs >0)
1	-0.024845	0.129099	-0.19245	0.5763
2	0.440994	0.129099	3.41592	0.0003
3	0.332096	0.129099	2.57241	0.0050

Se muestra el número de coincidencias entre evaluadores en comparación con el número de inspección realizada durante la prueba, un porcentaje global y el intervalo de confianza que género el resultado de los tres evaluados (Ver tabla 8)

Tabla 8. Acuerdo de evaluación

No.de Inspecciones	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
20	8	40.00	(19.12,63.95)

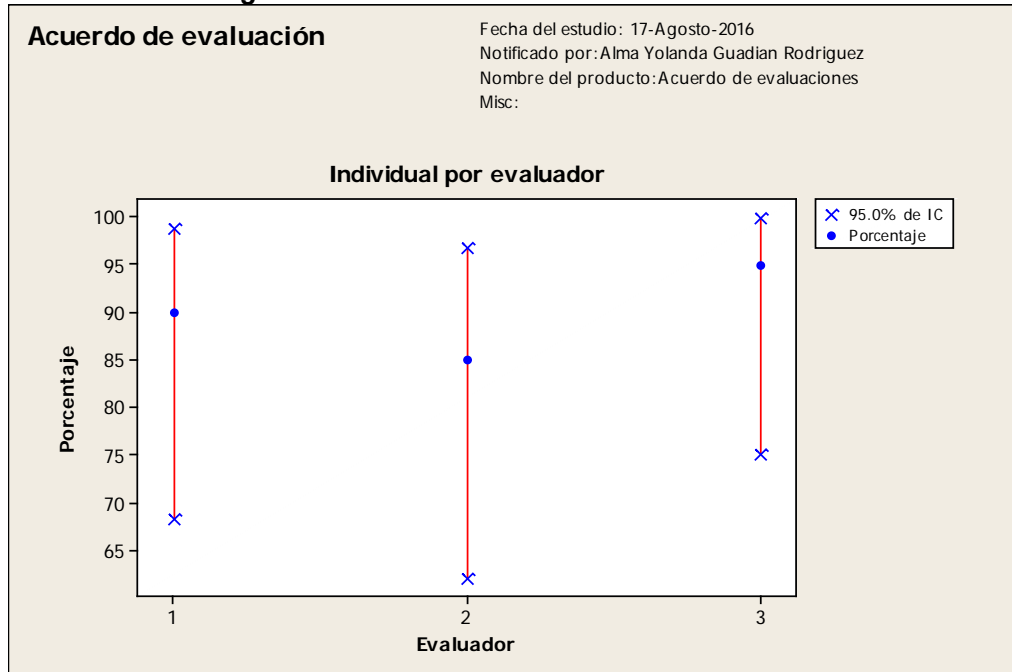
A continuación se muestran número de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden entre sí. (Ver tabla 9)

Tabla 9. Estadística Kappa de Fleiss

Respuesta	Kappa	Error estandar de Kappa	Z	P(vs>0)
0	0.337152	0.0372678	9.04674	0.0000
1	0.337152	0.0372678	9.04674	0.0000

A continuación se muestra el análisis de concordancia que existe entre los evaluadores donde se evalúa que el evaluador está de acuerdo consigo mismo en todos los ensayos.

Figura 5. Análisis de concordancia de atributos



Los puntos y símbolos indican la puntuación, mientras que las líneas verticales indican el margen de error. Podemos usar este gráfico para ayudar a juzgar si hay o no diferencias estadísticamente significativas entre los operadores.

Análisis de concordancia de atributo

Resultados de segunda prueba 4, 5,6. (Ver tabla 10)

Los siguientes resultados se muestran a continuación (Ver tabla 10) se muestran las coincidencias que los operadores obtuvieron con las piezas inspeccionadas y se muestra el porcentaje que se obtuvo

Tabla 10. Concordancia Individual por operador

Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje
4	20	17	85
5	20	20	100
6	20	15	75

A continuación se muestran el intervalo de confianza, en los que se encuentran cada uno de los evaluadores (Ver tabla 11), como se puede observar los evaluados 4,5, se encuentran por dentro del intervalo de confianza que es de 95% del límite permitido esta entre 85% a 95 % para que esa aceptable de acuerdo a lo establecido en el manual MSA.

Tabla 6. Evaluador dentro de intervalo de confianza estándar

Evaluador	IC de 95%
4	(62.11, 96.79)
5	(86.09, 100.00)

Se analizan el número de coincidencias que el evaluador coincide consigo mismo a través de las pruebas. (Ver tabla 12)

Tabla 12. Estadística Kappa de Fleiss

Evaluador	Kappa	Error estándar de Kappa	Z	P(vs > 0)
Rosy	0.79911	0.129099	6.18986	0.0000
Leo	1.00000	0.129099	7.74597	0.0000
Ceci	0.65714	0.129099	5.09021	0.0000

Se muestra el número de coincidencias entre evaluadores en comparación con el número de inspección realizada durante la prueba, un porcentaje global y el intervalo de confianza que genere el resultado de los tres evaluados (Ver tabla 13).

Tabla 13. Coincidencias de evaluadores entre sí.

No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
20	9	45.00	(23.06,68.47)

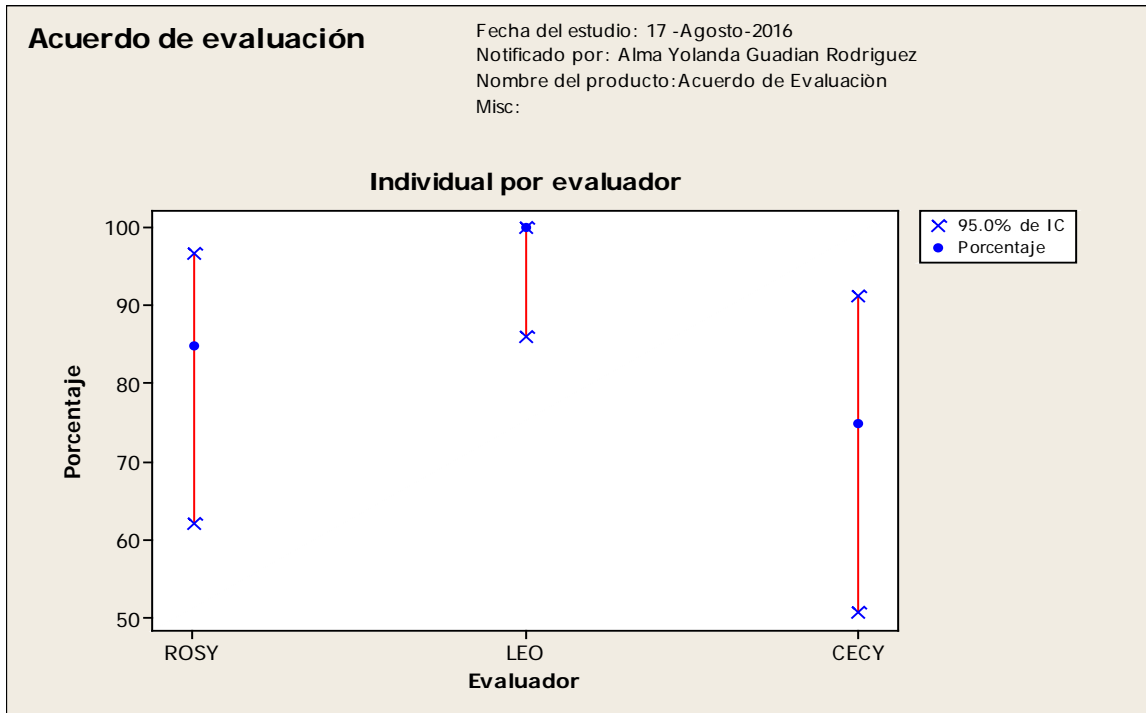
A Continuación se muestran número de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden entre sí. (Ver tabla 14)

Tabla 14. Estadística de Kappa Fleiss

Respuesta	Kappa	Error estándar de kappa	Z	P(vs>0)
0	0.494314	0.372678	13.2636	0.0000
1	0.494314	0.0372678	13.2638	0.0000

El análisis de concordancia que existe entre los evaluadores donde se evalúa que el evaluador está de acuerdo consigo mismo en todos los ensayos se puede observar en la figura 6.

Figura 6. Análisis de concordancia de atributos



Como se puede apreciar en las tablas anteriores, los resultados no son lo que se esperaban ya que de seis operadores que se evaluaron únicamente uno de ellos aprobó satisfactoriamente la prueba que se realizó. Se realizaron acciones de mejora y se alcanzaron índices acordes a las especificaciones establecidas en una prueba posterior.

El análisis de concordancia de atributo para los Evaluadores 4, 5,6 cuentan con un número de coincidencias de 20, contra el número de inspecciones que fue de 20, arrojado un porcentaje del 100% (Ver tabla 15).

Tabla 15. Individual por evaluador

Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje
1	20	20	100.00
2	20	20	100.00
3	20	20	100.00

CONCLUSIONES

En base al estudio realizado se detectó que es necesario tomar acciones ante los resultados negativos (60-65% de concordancia) que surgieron en el estudio estadístico de GR & R por atributo, esto no quiere decir que no se haya alcanzado el objetivo ya que al presentarse estas inconformidades se tomaron acciones correctivas inmediatas, tales como capacitación sobre el tema del estudio GR & R por atributo ya que es desconocido para los operadores y al realizar la evaluaciones no se tomó con la debida seriedad que se debería a ver tenido en la realización de dicho estudio.

Por ello se realizó nuevamente la prueba para corroborar resultados en donde se obtuvieron resultados positivos. Esto quiere decir que fue eficiente la capacitación que se les impartió, sobre la importancia de estudio GR & R por tributo y la seriedad con la que se tiene que tomar este tipo de estudios ya que impacta con el cliente principal que es GM y de esta depende que ACGS siga siendo proveedor de esta importante compañía automotriz.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. (2010). *Analisis de sistema de medicion*. ESTADOS UNIDOS: AIAG.
2. Dolezal, k. y. (1998). *Analysis of a two-Factor R&R Study with Fixed Operators*. (Vol. 30). Juarnal of Quality Technology.
3. Johnson, I. B. (2012). *Implementig an Expanded Gage R&R Study*. Anaheim,Ca.: ASQ Word Conference on Quality and improvement.

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y SINTONIZACIÓN DEL COLOR EN OXIFLUORUROS PARA ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO.

Dulce Guzmán, Haggeo Desirena, Jesus Castañeda, Elder De la Rosa.

Centro de Investigaciones en Óptica A.C., León, Gto. 37150, México
Universidad de Guadalajara Centro Universitario de los Lagos, Lagos de Moreno, Jalisco. 47460,
México dul_ara@yahoo.com.mx

INTRODUCCION

En el presente trabajo se sintetizaron cerámicos oxifluorados con la siguiente composición química SrAlBaOF: Ce^{3+} , por medio del método de reacción en estado sólido en una atmosfera reductora y con un tiempo de síntesis de hasta 30 minutos usando diferentes concentraciones de óxido de cerio (IV) que van desde de 0.1% hasta 1% en mol. El espectro de excitación muestra que se pueden excitar en el rango de 285 nm a 435 nm con un pico máximo en 403 nm. Los oxifluoruros presentan emisión en el azul y en el verde, el color puede ser sintonizable al modificar la concentración de óxido de cerio, esto se puede observar desde concentraciones bajas como 0.1% de óxido de cerio (IV).

Se estudió el efecto de la temperatura en función a la intensidad de la luminiscencia de los cerámicos oxifluoruros tomando la muestra de 0.1% de concentración de cerio. Las mediciones se realizaron en un rango de temperatura de 25°C a 68°C.

TEORIA

Los fósforos de oxifluoruro dopados con cerio han mostrado tener un gran potencial para ser usados como fosforo conversor en diodos emisores de luz blanca (LED), debido a que poseen buena estabilidad térmica, buena eficiencia cuántica y longitudes de onda de excitación apropiadas [1-8].

En el presente estudio, muestra la intensidad de la luminiscencia de oxifluoruros con estructura tetragonal con la siguiente composición, SrBaAlF:Ce^{3+} en función de la temperatura. Además de que se puede sintonizar el color modificando la concentración de Ce^{3+} .

El fósforo de estado sólido más utilizado para generar luz blanca, es el aluminato de itrio $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ dopado con cerio (YAG: Ce^{3+}), desarrollado por Blasse y Bril en 1967 [9,10]. El auge de su uso proviene de su fuerte absorción en el azul, lo cual es ideal para su uso con un LED de InGaN, presenta emisión en el amarillo con una eficiencia cuántica muy buena ($\text{QY} \approx 85\%$ o más), además de una excelente estabilidad química. Sin embargo el YAG: Ce^{3+} no es el fosforo ideal, ya que sufre de un bajo rendimiento del color R_a debido a la débil luminiscencia en el rojo, y de la extinción de la intensidad de luminiscencia a temperaturas elevadas [11].

Se han desarrollado una variedad de otros fósforos incluyendo óxidos, [12-14] oxifluoruros, [15,16] oxinitruros [17-19] y nitruros [20-23]. Algunos candidatos para ser usados como fósforos de estado sólido son los siguientes; $\text{LaSr}_2\text{AlO}_5: \text{Ce}^{3+}$ (LSA: Ce^{3+}) [12] y el $\text{Sr}_2\text{BaAlO}_4\text{F: Ce}^{3+}$ (SBAF: Ce^{3+}) [15]. SBAF: Ce^{3+} es un fósforo altamente eficiente con un rendimiento cuántico cercano al 100% y

buenas propiedades térmicas. Sin embargo, la emisión de SBAF: Ce³⁺ es demasiado azul para crear una luz blanca adecuada [24].

Im y su equipo compararon la extinción de la intensidad de la luminiscencia de La_{0.975}Ce_{0.025}Sr₂AlO₅ (LSA:Ce³⁺) y Sr_{1.975}BaCe_{0.025}AlO₄F (SBAF:Ce³⁺) en función de la temperatura en un rango de 77 a 298 K, encontrando que el fosforo de (SBAF:Ce³⁺) mantiene casi constante la intensidad de la luminiscencia.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la síntesis de los fósforos de oxifluoruros se usó el método de reacción en estado sólido, el cual consiste en mezclar todos los reactivos precursores, usando la siguiente composición: 45% mol de SrCO₃, 15% en mol Al₂O₃, 39.75% mol BaF₂ y 0.25% mol de CeO₂, se funden a 1400°C por dos horas a 1150°C en un horno para posteriormente moler en un molino de bolas. Para los espectros de excitación y emisión se realizaron pastillas de 600 mg en una prensa, las mediciones fueron realizadas a temperatura ambiente y en un rango de 45°C a 70°C.

RESULTADOS

En la figura 1 se presenta el espectro de excitación en el cual se observa que los fósforos se pueden excitar en el rango de 280 nm a 425 nm.

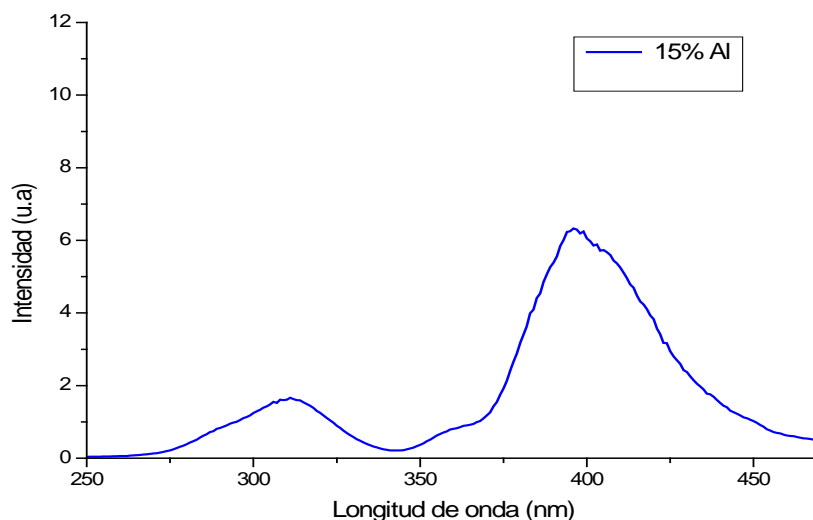


Figura 1. Espectro de excitación del fosforo de oxifluoruro

En la figura 2 se presenta el espectro de emisión a temperatura ambiente, 45 °C y 68°C, en los cuales se observa luminiscencia en el rango de 486nm a 550 nm, conforme aumenta la temperatura decrece la intensidad de la luminiscencia.

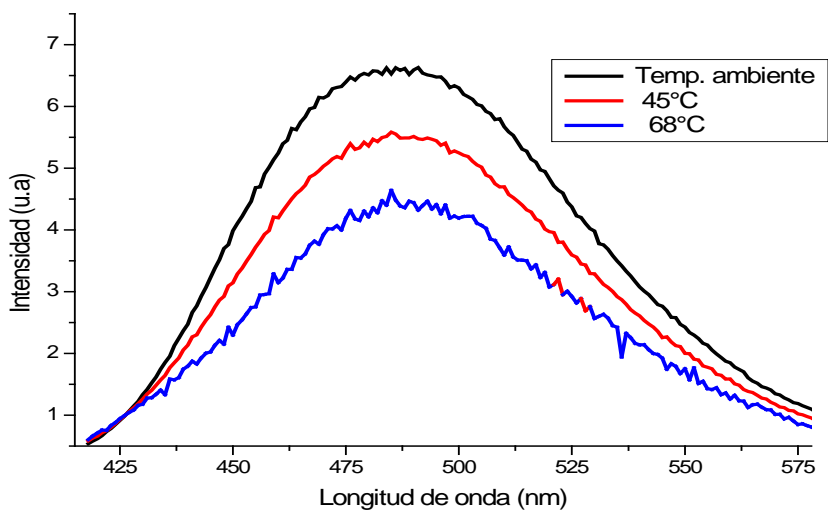


Figura 2. Espectro de emisión del fosforo de los oxifluoruros a diferentes temperaturas.

En la figura 3 se presentan los patrones de difracción de rayos X más representativos del fosforo de oxifluoruro, los cuales corresponden a una estructura tetragonal grupo espacial 14/mcm (140), número de tarjeta JCPDS 01-072-6617.

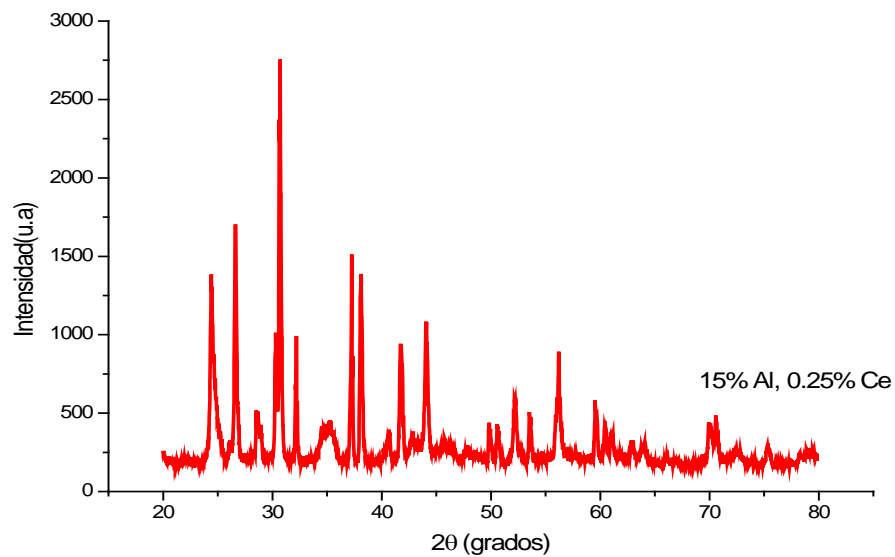


Figura 3. Patrones de difracción de rayos X del fosforo de oxifluoruro.

CONCLUSIONES

Se sintetizó el fósforo de oxifluoruro con la siguiente composición SrCO_3 , 15% en mol Al_2O_3 , 39.75% mol BaF_2 y 0.25% mol de CeO_2 , el cual se puede excitar en el rango de 280 a 550 nm con una emisión en el rango de 439 a 550 y un máximo centrado a 486 nm. Se estudió el efecto de la temperatura con la luminiscencia, obteniendo como resultado que al incrementar la temperatura la intensidad de la luminiscencia decrece.

BIBLIOGRAFÍA

1. Im, W. B.; George, N.; Kurzman, J.; Brinkley, S.; Mikhailovsky, A.; Hu, J.; Chmelka, B. F.; DenBaars, S. P.; Seshadri, R. Efficient and Color-Tunable Oxyfluoride Solid Solution Phosphors for Solid-State White Lighting. *Adv. Mater.* 2011, 23, 2300–2305.
2. Denault, K. A.; George, N. C.; Paden, S. R.; Brinkley, S.; Mikhailovsky, A. A.; Neufeind, J.; DenBaars, S. P.; Seshadri, R. A Green-Yellow Emitting Oxyfluoride Solid Solution Phosphor $\text{Sr}_2\text{Ba}(\text{AlO}_4\text{F})_{1-x}(\text{SiO}_5)_x:\text{Ce}^{3+}$ for Thermally Stable, High Color Rendition Solid State White Lighting. *J. Mater. Chem.* 2012, 22, 18204–18213.
3. Im, W. B.; Brinkley, S.; Hu, J.; Mikhailovsky, A.; DenBaars, S. P.; Seshadri, R. $\text{Sr}_{2.975-x}\text{Ba}_x\text{Ce}_{0.025}\text{AlO}_4\text{F}$: A Highly Efficient Green-Emitting Oxyfluoride Phosphor for Solid State White Lighting. *Chem. Mater.* 2010, 22, 2842–2849.
4. Chen, W.; Liang, H.; Ni, H.; He, P.; Su, Q. Chromaticity-Tunable Emission of $\text{Sr}_3\text{AlO}_4\text{F}:\text{Ce}^{3+}$ Phosphors: Correlation with Matrix Structure and Application in LEDs. *J. Electrochem. Soc.* 2010, 157, J159–J163.
5. Chen, W.; Liang, H.; Han, B.; Zhong, J.; Su, Q. Emitting-Color Tunable Phosphors $\text{Sr}_3\text{GaO}_4\text{F}:\text{Ce}^{3+}$ at Ultraviolet Light and Low-Voltage Electron Beam Excitation. *J. Phys. Chem. C* 2009, 113, 17194–17199.
6. Setlur, A. A.; Porob, D. G.; Happek, U.; Brik, M. G. Concentration Quenching in Ce^{3+} -Doped LED Phosphors. *J. Lumin.* 2013, 133, 66–68.
7. Setlur, A. A.; Radkov, E. V.; Henderson, C. S.; Her, J.; Srivastava, A. M.; Karkada, N.; Satya Kishore, M.; Kumar, N. P.; Aesram, D.; Deshpande, A.; Kolodin, B.; Grigorov, L. S.; Happek, U. Energy-Efficient, High-Color-Rendering LED Lamps Using Oxyfluoride and Fluoride Phosphors. *Chem. Mater.* 2010, 22, 4076–4082.
8. Fang, Y.; Li, Y. Q.; Qiu, T.; Delsing, A. C. A.; de With, G.; Hintzen, H. T. Photoluminescence Properties and Local Electronic Structures of Rare Earth-Activated $\text{Sr}_3\text{AlO}_4\text{F}$. *J. Alloys Compd.* 2010, 496, 614–619.
9. G. Blasse and A. Bril, *Appl. Phys. Lett.*, 1967, 11, 53–55.
10. G. Blasse and A. Bril, *J. Chem. Phys.*, 1967, 47, 5139.
11. V. Bachmann, C. Ronda and A. Meijerink, *Chem. Mater.*, 2009, 21, 2077–2084.
12. W. B. Im, Y.-I. Kim, N. N. Fellows, H. Masui, G. A. Hirata, S. P. DenBaars and R. Seshadri, *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 93, 091905.
13. W. B. Im, N. N. Fellows, S. P. DenBaars and R. Seshadri, *J. Mater. Chem.*, 2009, 19, 1325–1330.
14. W. B. Im, Y. Foure, S. Brinkley, J. Sonoda, S. Nakamura, S. P. DenBaars and R. Seshadri, *Opt. Express*, 2009, 17, 22673–22679.
15. W. B. Im, S. Brinkley, J. Hu, A. Mikhailovsky, S. P. DenBaars and R. Seshadri, *Chem. Mater.*, 2010, 22, 2842–2849.
16. W. B. Im, N. George, J. Kurzman, S. Brinkley, A. Mikhailovsky, J. Hu, B. F. Chmelka, S. P. DenBaars and R. Seshadri, *Adv. Mater.*, 2011, 23, 2300–2305.
17. K. Uheda, *Key Eng. Mater.*, 2009, 403, 15–18.
18. Y. Q. Li, A. C. A. Delsing, G. D. With and H. T. Hintzen, *Powder Diffr.*, 2005, 3242–3248.
19. R.-J. Xie and N. Hirotsaki, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 2007, 8, 588–600.
20. A. A. Setlur, W. J. Heward, M. E. Hannah and U. Happek, *Chem. Mater.*, 2008, 20, 6277–6283.

21. J. A. Kechele, C. Hecht, O. Oeckler, P. J. Schmidt, W. Schnick and D. Mu, *Chem. Mater.*, 2009, 21, 1288–1295.
22. C. Hecht, F. Stadler, P. J. Schmidt, V. Baumann and W. Schnick, *Chem. Mater.*, 2009, 21, 1595–1601.
23. H. Höppe, H. Lutz, P. Morys, W. Schnick and A. Seilmeier, *J. Phys. Chem. Solids*, 2000, 61, 2001–2006
24. Denault KA, George NC, Paden SR, Brinkley S, Mikhailovsky AA, et al. 2012. A green-yellow emitting oxyfluoride solid solution phosphor $\text{Sr}_2\text{Ba}(\text{AlO}_4\text{F})_{1-x}(\text{SiO}_5)_x:\text{Ce}^{3+}$ for thermally stable, high color rendition solid state white lighting. *J. Mater. Chem.* 22:18204. C

AUTOMATIZACIÓN DE LA MEDICIÓN DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO MEDIANTE COLORIMETRÍA

César Augusto García Isáis, Jessica Clara Hidalgo Villanueva, María Soraya Osegueda Robles

Instituto Politécnico Nacional, UPIIG

RESUMEN

Los métodos colorimétricos utilizados para medir compuestos químicos, están sujetos a la percepción del usuario, lo que se traduce en la poca reproducibilidad y exactitud. En este trabajo, se automatiza la medición de potencial de Hidrógeno (pH) que es realizada mediante tiras reactivas que viran de color dependiendo de la concentración de iones hidrógeno. Se emplea un sensor TCS3200 que consta de un arreglo de fotodiodos y un convertidor de luz a frecuencia, la cual es directamente proporcional a la irradiancia, obteniendo como salida los componentes rojo, verde y azul (RGB)¹. Sin embargo, en el modelo RGB se dificulta el análisis de color, por lo que se emplea el espacio de color HSL^{2,3}, permitiendo relacionar el viraje de la tira en un rango de 0° a 360° para tener una mayor precisión en la lectura.

INTRODUCCIÓN

Existen métodos para la realización de estudios de diversas variables químicas, como por ejemplo los espectrofotométricos [1]. Con el desarrollo de los diodos emisores de luz de alta intensidad se han desarrollado otro tipo de técnicas [2,3,4]. El planteamiento de este trabajo es desarrollar un sistema automatizado para la medición de pH, mediante la lectura de tiras a través de un sensor de color, el sistema y su funcionamiento se describe en las siguientes secciones.

TEORÍA

La medida de potencial hidrógeno, es uno de los procedimientos analíticos más importantes, ya que es una de las variables que caracterizan el estado de un objeto de estudio, esta medición determina la concentración de iones hidrógeno [H⁺]. En un rango de 0 a 7 se define como ácido y de 7 en adelante se dice que es alcalino. La técnica colorimétrica para determinar la concentración de H⁺, está basada en el uso de sustancias llamadas indicadores, estos pares conjugados pueden ser ácidos, bases o sales orgánicas, cuyas moléculas tienen un color cuando están disociadas y otro cuando están protonadas, el color de la solución dependerá de la relación entre los dos estados del indicador, es posible determinar el pH, al comparar el color del indicador en una solución de pH desconocido, con el del mismo indicador en una serie de soluciones de pH conocido. Un método práctico y económico para determinar el pH de manera colorimétrica son las tiras de pH, en las que sus indicadores viran de color de forma estable, dependiendo la cantidad presente de iones hidrógeno, en una solución debido a que están químicamente ligadas a las fibras de celulosa de la que está hecha la tira. Aunque hay diferencias menores entre los indicadores los cambios de en el espectro visible pueden no distinguirse cuando hay concentraciones muy bajas de iones hidrógeno, además de que están sujetas a la apreciación del usuario. Por lo que los resultados cuentan con poca reproducibilidad y carecen de exactitud. En este trabajo se automatiza la medición de los colores en la tira una vez que se realiza el proceso de viraje, para esta tarea se hace uso de un microcontrolador Arduino UNO, en conjunto con el sensor de color TCS3200. Con el fin de que la medición sea automatizada, se diseña y construye un sistema de control de posición para la tira, ya que esta se compone de cuatro secciones, y se deben de medir

individualmente. El sensor de color TCS3200, se compone de fotodiodos de silicón y un convertidor de luz a frecuencia, el cual se comunica directamente al microcontrolador. La señal de salida es una onda cuadrada con una frecuencia que es directamente proporcional a la intensidad de la luz. El sensor tiene sobre los fotodiodos filtros de color, de tal manera que la salida proporciona intensidades de luz para los colores Rojo, Verde, y Azul (RGB), con lo cual se puede representar cualquier color.

En esta aplicación, la variación de los colores en la tira es muy tenue, y el espacio de color RGB, no es el más conveniente puesto que este cambio no se puede modelar de manera sencilla por lo que se opta por otro espacio, en el cual se describe el matiz, la saturación y la luminosidad, el espacio de color HSL. En la figura 1, se muestra la diferencia entre los espacios de color RGB y HSL

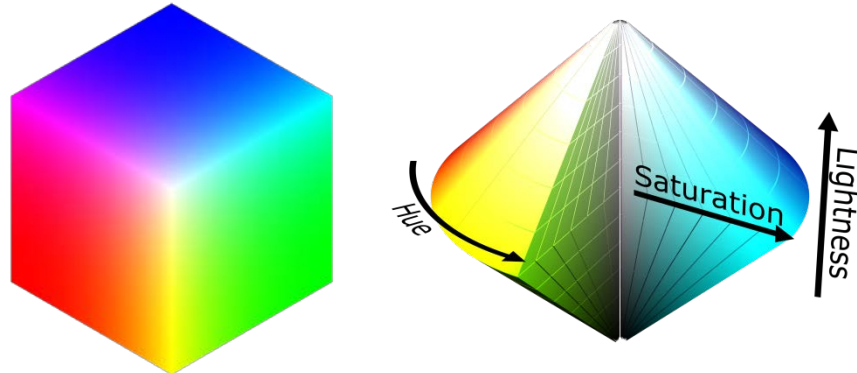


Figura 1 Representación del modelo RGB(tomado de [4]) y HSL(tomado de [5])

Para tener la intensidad de cada color en el el espacio RGB, es necesario realizar una normalización definida por la ecuación 1.

$$R = \frac{R}{R+G+B} \qquad G = \frac{G}{R+G+B} \qquad B = \frac{B}{R+G+B} \qquad (1)$$

A partir de los valores normalizados, se hace la conversión al modelo HSL, con las siguientes ecuaciones.

$$L = \frac{\text{Máximo}(G) + \text{Mínimo}(G)}{2} * 100 \qquad (2)$$

$$\text{Sí } \text{Max } G = \text{Min } G ; \qquad S = 0 \qquad (3)$$

$$\text{Sí } L < 0.5 \qquad ; \qquad S = \left(\frac{\text{Max } G - \text{Min } G}{\text{Max } G + \text{Min } G} \right) * 100$$

(4)

$$\text{Sí } L \neq 0.5 \qquad ; \qquad S = \left(\frac{\text{Max } G - \text{Min } G}{2 - \text{Max } G - \text{Min } G} \right) * 100 \qquad (5)$$

$$\text{Sí } \text{Max } G = R \qquad ; \qquad H = \left(\frac{G - B}{\text{Max } G + \text{Min } G} \right) * 60 \qquad (6)$$

PARTE EXPERIMENTAL

Para la parte mecánica se utilizó un motor a pasos con conectado mecánicamente a un tornillo sin fin y a la base de la tira para controlar su posición en el sistema de medición. Para el control del motor a pasos se utilizó el puente H L298N. El sistema se muestra en las figuras 2 y 3.

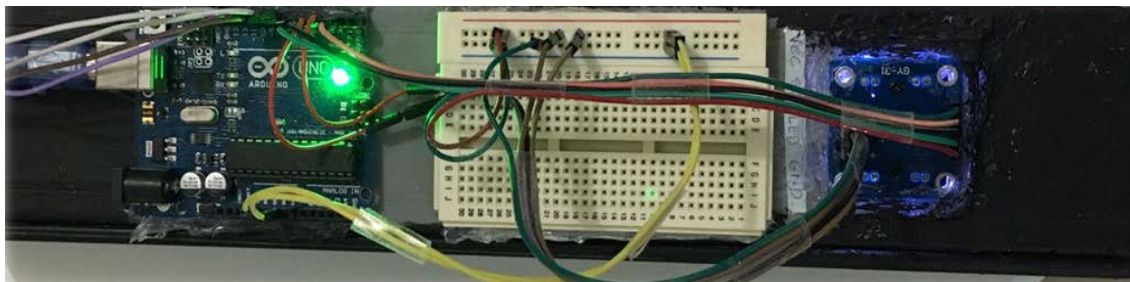


Figura 2. Parte superior del sistema desarrollado. Tarjeta de desarrollo Arduino uno, conectada con el sensor TCS 3200.



Figura 3. Parte interior del sistema desarrollado. Base para la tira conectada mecánicamente a través del tornillo sin fin, al motor a pasos.

RESULTADOS

Se tomaron mediciones de soluciones con concentración de iones hidrógeno conocidas de 4, 7 y 10, en la siguiente figura se muestran las variaciones de color en las tiras para estas concentraciones.

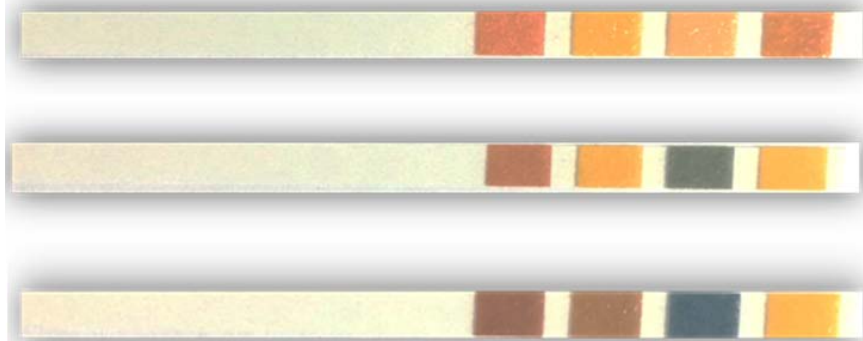


Figura 4. Tiras para tres concentraciones diferentes de arriba hacia abajo, 4, 7, y 10.

Las mediciones se realizaron para cuatro muestras para cada uno de los potenciales conocidos, 4, 7, y 10, los datos recabados mediante el sistema desarrollado se muestran en la tabla 1.

Ph	H_1	L_1	S_1	H_2	L_2	S_2	H_3	L_3	S_3	H_4	L_4	S_4
4	23.1	50	181.1	35	70.5	149	45.3	47	126.2	27	62	133
7	44	58.5	134	21.7	54.6	8.4	46	41.4	117	33	49.5	115
10	50	41	117.3	177	38	70	47.2	37	66	14.7	49.6	51

Tabla 1. Resultados de las mediciones por el sensor TCS3200 a pH 4, 7 y 10.

Los datos anteriores se emplean para realizar la calibración del sistema, y que para cualquier otro valor de pH, el sistema genere los resultados correctos.

CONCLUSIONES

Se desarrollo un sistema de medición automatizada de PH, mediante la lectura de las intensidades de color en tiras a través de un sensor de color TCS3200, y un sistema de control de posición para la tira, ya que esta contiene cuatro secciones, las cuales se miden por separado. El sistema de control se desarrollo utilizando el microcontrolador Arduino UNO, y mediante la comunicación serial los resultados se muestran en la pantalla de la computadora

BIBLIOGRAFÍA

1. Carlos Alberto Severiche Sierra, Humberto Gonzalez García, "Verificación analítica para las determinaciones de cromo hexavalente en aguas por espectrofotometría", 2013, Ing. USBMed, 4,(1)."
2. A. Estrada-Hernández et al. "Mediciones en LEDS de Alta Intensidad", Simposio de Metrología 2008.
3. Abdelhalim Zekry, M. Abouelatta-Ebrahim "LED Bases spectrophotometer can compete with conventional one" International Journal of Engineering & Technology 4 (2) 2015.
4. TAOS, "TCS3200, TCS3210 Programmable Color Light to frequency converter",. 2009, pp. 1-4.

EJEMPLOS:

5. https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:RGB_Colorcube_Corner_White.png
6. <https://es.pinterest.com/pin/394416879835384211/>

DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN DE ESTADO ESTACIONARIO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN MONOFÁSICAS RADIALES

Magnolia Angelina Motecillo-Torres, J. A. Santacruz-Granados, A. Pizano-Martínez, E. A. Zamora-Cárdenas, O. Rodríguez Villalón, J. Martínez-Patiño, H. J. Estrada García.

División de ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Salamanca, Gto.
Centro Mexicano de Energías Renovables (CEMER), Salamanca, Gto.
mag-yurippe9@hotmail.com, jasglink@hotmail.com, apizano@ugto.mx

RESUMEN

La determinación de la condición del estado estacionario de redes de distribución permite aproximar la respuesta eléctrica de dichos sistemas para un nivel de consumo energético especificado. Esta determinación revela si la red de distribución opera dentro de sus límites físicos y operativos para la condición de demanda especificada, lo cual resulta particularmente útil en la planeación de la operación realizada en los centros de control de estos sistemas. Adicionalmente, las redes de distribución convencionales se encuentran en un proceso de modernización hacia redes de distribución activas (micro-redes) para integrar fuentes renovables mediante generación distribuida, cuyo impacto en la condición de estado estacionario debe ser evaluada. La determinación de la condición de estado estacionario se puede formular como un problema de determinación de raíces, cuya solución se puede aproximar mediante distintos métodos. En este trabajo se presenta la aplicación del método de barrido hacia adelante y hacia atrás (FBS, por sus siglas en Inglés). El trabajo se centra en sistemas de distribución monofásicos radiales convencionales operando a frecuencia fundamental, tal que el modelo del sistema se expresa en el dominio fasorial. El método FBS se implementa en un programa para computadora digital en lenguaje Matlab. Este programa ha sido desarrollado de manera modular, lo que brinda flexibilidad para fácilmente incorporar modelos de diferentes componentes de los sistemas de distribución. El experimento de validación del programa desarrollado se realiza a través de la simulación de una red de distribución de 9 nodos.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de distribución (SD) de energía eléctrica son los encargados de transportar y suministrar la energía eléctrica a los consumidores finales. En este sentido, los SD son el penúltimo eslabón del proceso de generación, transmisión, distribución y consumo de la energía eléctrica. Por lo tanto, las compañías suministradoras tienen como objetivo mantener su operación segura para reducir al máximo la falta de suministro de energía eléctrica a los usuarios finales. Con la finalidad de contribuir en el cumplimiento de este objetivo, las compañías suministradoras, a través de los centros de control, deben realizar estudios que permitan evaluar una aproximación de la respuesta eléctrica del SD para condiciones de operación no previstas. Uno de los estudios prominentes consiste en la determinación de la respuesta de estado estacionario, a partir de la cual se pueden diseñar acciones de control para mejorar la seguridad estática del sistema.

Los bien conocidos métodos clásicos de Newton-Raphson (NR), Desacoplado Rápido (DR) y Gauss-Seidel han demostrado ser de gran utilidad para la determinación del estado estacionario de sistemas de transmisión. Sin embargo, a diferencia de los sistemas de transmisión, los sistemas de distribución están compuestos por redes mal condicionadas, predominantemente radiales y tienen

una mayor relación R/X. De tal forma que dichos métodos clásicos han experimentado dificultades y/o son ineficientes para determinar el estado estacionario de sistemas de distribución [1-3]. En este sentido, Shirmohammadi et. al. propusieron determinar el estado estacionario de los sistemas de distribución por medio de un algoritmo denominado como barrido hacia adelante y hacia atrás (FBS, por sus siglas en Inglés) [1].

En contraste a los métodos clásicos de NR y DR, el algoritmo FBS no requiere de la evaluación de un Jacobiano; cuya singularidad y dominancia diagonal son afectadas por la elevada relación R/X y por la topología radial de los sistemas de distribución [4]. En este contexto, el método FBS es generalmente más robusto y rápido (eficiente) en la determinación de la condición de estado estacionario de sistemas de distribución que el método clásico de NR [5,6]. En principio, el método FBS está diseñado para el análisis de sistemas de distribución estrictamente radiales. Sin embargo, utilizando los métodos de compensación propuestos en [1-3] también puede utilizarse para analizar sistemas de distribución ligeramente mallados. En adicción, técnicas de compensación similares a las mencionadas pueden utilizarse para modelar la integración de fuentes de generación distribuidas. A la fecha se han propuesto una gran cantidad de variantes del método FBS; una exhaustiva revisión de la literatura a este respecto puede encontrarse en [7]. En este trabajo se adopta el algoritmo propuesto en [8], el cual se implementa en un programa para computadora digital que permite evaluarla respuesta de estado estacionario de sistemas de distribución monofásicos radiales convencionales operando a frecuencia fundamental. El experimento de validación del programa desarrollado se realiza a través del estudio de caso considerando una red de distribución de 9 nodos.

FORMULACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO ESTACIONARIO DE SD

El trabajo se centra en sistemas de distribución monofásicos que tienen una topología radial, como el sistema genérico ilustrado en la Fig. 1. En estos sistemas, la energía demandada por las cargas C_i se abastece de una única subestación que es denominada como nodo fuente. En esta subestación se dispone de mediciones físicas de voltaje cuyas magnitudes pueden ser utilizadas como referencia (V_{fr}) para determinar el estado estacionario por medio del método FBS. La energía es transmitida desde esta subestación (nodo fuente, N_f) hasta los puntos de consumo (nodos de carga) a través de elementos E_i que componen la estructura de la red de distribución.

En este trabajo se asume que los elementos E_i que componen la estructura de la red de distribución monofásica son la subestación de distribución, transformadores, alimentadores y cargas. Los modelos matemáticos asociados a dichos elementos se resumen en esta sección y se usan directamente en el algoritmo FBS, descrito también en esta sección.

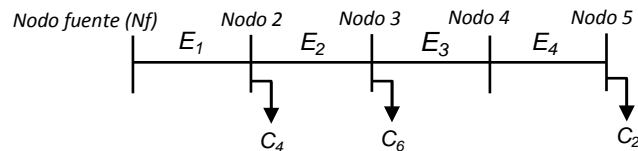


Figura 1. Sistema de distribución genérico

Modelo de la subestación de distribución

La subestación de distribución se modela simplemente como una fuente de voltaje ideal, cuyo fasor de voltaje es conocido (medido) y se considera como el voltaje de referencia V_{fr} . Tal que se representa por medio un fasor expresado ya sea en forma polar o rectangular [8],

$$V_{fr} = V_{fr} \angle \theta_{fr} = V_{fr}^{real} + jV_{fr}^{imag} \tag{1}$$

Modelo de alimentadores

Los alimentadores se modelan como líneas de trasmisión representadas por el modelo π , cuyo diagrama esquemático se muestra en la Fig. 2. En este diagrama la impedancia en serie y la admitancia en derivación se denotan por medio de Z_s y $1/2 Y_{sh}$, respectivamente. Los voltajes (de línea a neutro-tierra) en los nodos terminales n y m se representan por medio de los fasores V_n y V_m , respectivamente. Mientras que las corrientes inyectadas a dichos nodos se representan por los fasores I_n e I_m , respectivamente. La aplicación sistematizada de la ley de voltajes y corrientes de Kirchoff al circuito de la Fig. 2 permite obtener el modelo matricial descrito por (2). Donde las constantes a , b , c y d están dadas por (3) [8]. Este modelo permite evaluar el voltaje V_n y la corriente I_n en el nodo n en función del voltaje V_m y la corriente I_m en el nodo m. Lo cual será útil para aplicar el proceso de barrido hacia adelante involucrado en el algoritmo FBS.

$$\begin{bmatrix} V_n \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \\ I_m \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$a = 1 + \frac{1}{2} Z_s Y_{sh}; \quad b = Z_s; \quad c = Y_{sh} + \frac{1}{4} Y_{sh} Z_s Y_{sh}; \quad d = 1 + \frac{1}{2} Z_s Y_{sh} \tag{3}$$

En adición, el algoritmo FBS requerirá efectuar el proceso de barrido hacia atrás, tal que será necesario calcular el voltaje V_m en el nodo m en función del voltaje V_n y la corriente I_n en el nodo n. Para este fin se despeja el vector de voltaje y corriente del segundo miembro de (2), y tomando el primer renglón de la ecuación matricial resultante se obtiene (4). Donde las constantes se evalúan como $A=a$ y $B=-b$.

$$[V_m] = [A \quad B] \begin{bmatrix} V_n \\ I_n \end{bmatrix} \tag{4}$$

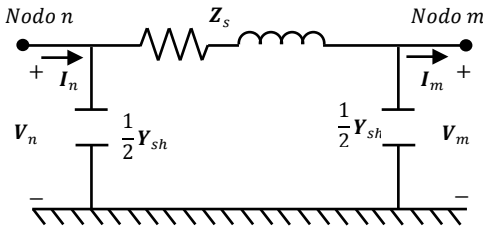


Figura 2. Alimentador.

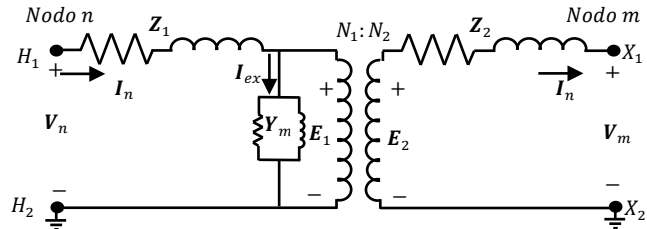


Figura 3. Transformador

Modelo del transformador

La Fig. 3 muestra el modelo esquemático del transformador monofásico [8]. Los devanados primario y secundario del transformador se representan por medio de las impedancias Z_1 y Z_2 , respectivamente. El número de vueltas de cada uno de estos devanados se representa por las variables N_1 y N_2 ; son útiles para determinar el radio de transformación n_t . El efecto de magnetización del transformador se representa por la admitancia Y_m . Las terminales de alta y baja tensión se designan por medio de las letras H y X, y se conectan al nodo n y m, respectivamente. Tal que los voltajes en dichas terminales se representan por los fasores V_n y V_m . Las corrientes en

las terminales del devanado primario y secundario se representan por medio de I_n e I_m , respectivamente. Aplicando la ley de voltajes y corrientes de Kirchhoff y utilizando el radio de transformación n_t , se obtiene el modelo dado por (5). Donde las constantes a_t , b_t , c_t y d_t para el transformador se evalúan de (6). El modelo (5) del transformador permite evaluar el voltaje V_n y la corriente I_n del nodo n en función del voltaje V_m y la corriente I_m del nodo m. Lo cual será útil para aplicar el proceso de barrido hacia adelante involucrado en el algoritmo FBS.

$$\begin{bmatrix} V_n \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_t & b_t \\ c_t & d_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \\ I_m \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$a_t = \frac{1}{n_t}; \quad b_t = \frac{Z_t}{n_t}; \quad c_t = \frac{Y_m}{n_t}; \quad d_t = \frac{Y_m Z_t}{n_t} + n_t; \quad Z_t = n_t^2 Z_1 + Z_2 \tag{6}$$

Durante el proceso de barrido hacia atrás el algoritmo FBS requerirá calcular el voltaje V_m . Para este fin se realiza manipulación algebraica sobre la expresión correspondiente al primer renglón del modelo matricial (5), lo cual permite obtener una expresión del voltaje V_m en función del voltaje V_n del nodo n y la corriente I_m del nodo m. Este modelo está dado por (7), donde las constantes se evalúan como $A=n_t$ y $B=Z_t$.

$$[V_m] = [A_t \quad B_t] \begin{bmatrix} V_n \\ I_m \end{bmatrix} \tag{7}$$

Modelo de carga

En este trabajo la demanda de potencia en cada nodo de carga del sistema se modela por medio de una potencia compleja constante, aunque distintos modelos de carga podrían ser fácilmente incorporados. Sin embargo, el algoritmo FBS requiere evaluar la corriente demandada por la carga únicamente durante el proceso de barrido hacia adelante. En este sentido, dicha corriente se evalúa del modelo (8). Donde I_n y S_n representan el fasor de corriente y la potencia compleja demandada por la carga conectada al nodo n. V_n representa el fasor de voltaje del nodo n. Debe notarse que P_m y Q_m representan la potencia activa y reactiva, respectivamente de S_n . El superíndice * denota la operación de complejo conjugado.

$$I_n = \left(\frac{S_n}{V_n} \right)^* = \left(\frac{P_n + jQ_n}{V_n} \right)^* \tag{8}$$

Algoritmo FBS

El algoritmo FBS se compone de la ejecución subsecuente de dos pasos principales: el barrido hacia adelante y el barrido hacia atrás [8]. Para realizar ambos barridos se requiere primeramente ordenar en forma ascendente todos los nodos del sistema en función de su distancia respecto al nodo fuente. Para los fines de este trabajo, dicho ordenamiento de los nodos se almacena en un vector denominado Nodes_ordering. De tal forma que el primer elemento de este vector almacena el nombre (numero) del nodo fuente, en el segundo elemento se almacena el nombre (número) del nodo que se encuentra en segundo lugar en cuanto a su distancia al nodo fuente, y así sucesivamente. Tal que el último elemento de este vector contiene el nombre (número) del nodo más lejano al nodo fuente. Cabe aclarar que los nombres (números) de los nodos que se

encuentren a una misma distancia del nodo fuente se almacenan en elementos consecutivos de este vector de ordenamiento. La ejecución del algoritmo también requiere la previa inicialización de los voltajes de los nodos de carga. Esta condición inicial se asigna como el voltaje nominal de las cargas conectadas a dichos nodos.

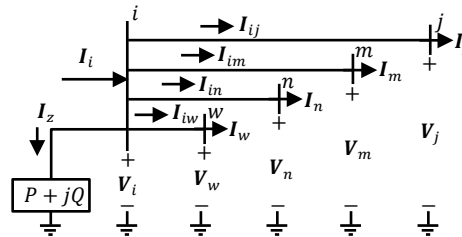


Figura 4. Diagrama representativo del nodo i.

El algoritmo FBS entonces realiza el proceso de barrido hacia adelante. Este barrido tiene por objetivo calcular el voltaje y la suma de corriente en cada nodo del sistema de acuerdo al orden subsecuente dado por el vector de ordenamiento Nodes_ordering; iniciando por el nodo indicado por el último elemento (más lejano al nodo fuente) y termina hasta que se realizan dichos cálculos en el nodo indicado por el primer elemento (nodo fuente). De aquí que recibe el nombre de barrido hacia adelante. Para describir el cálculo del voltaje y la suma de corrientes en cada uno de los nodos, considere que corresponde calcular el voltaje V_i y suma de corrientes I_i en el nodo i (ver Fig. 4). En este caso se han considerado que al nodo i inciden k elementos ($k \in i$) conectados en su otro extremo a los nodos j, m, n ...,w. Considere además que en estos nodos los voltajes V_r y la suma de corrientes I_r ($r=j, m, n, \dots, w$) fueron calculados previamente durante el proceso de barrido hacia adelante porque ocupan posiciones inferiores al nodo i en el vector de ordenamiento. Utilizando el voltaje V_r y la corriente I_r asociada a cada elemento k se evalúan, según corresponda, los modelos dados por (2), (5) o (8). Lo cual proporciona k corrientes I_{ir} y k voltajes V_i . Entonces, el valor del voltaje V_i buscado se considera como aquel resultante de evaluar el modelo para el último elemento $k \in i$. Finalmente, la suma de corrientes I_i se calcula simplemente aplicando la ley de corrientes de Kirchhoff en el nodo i, como se indica en (9). Este proceso de cálculo se repite para cada nodo del sistema hasta que se culmina el proceso de barrido hacia adelante.

$$I_i = \sum_{r=j}^w I_{ir} \tag{9}$$

Una vez culminado el proceso de barrido hacia adelante, se procede a realizar la prueba de convergencia. La prueba consiste en determinar si la magnitud del voltaje (V_f) del nodo fuente, el cual fue calculado justo al término del proceso de barrido hacia adelante, es muy próxima al valor de referencia V_{fr} . Si es así ($abs(V_{fr} - V_f) \leq Tol$), entonces el algoritmo FBS termina. De ser este el caso, los voltajes nodales y las corrientes calculadas durante este último el proceso de barrido

hacia adelante proporcionan la condición de estado estacionario que se desea determinar en este trabajo. De otra forma se procede a asignar el fasor de voltaje de referencia V_{fr} como el fasor de voltaje calculado en el nodo fuente ($V_f \leftarrow V_{fr}$) y se procede a iniciar el barrido hacia atrás.

El proceso de barrido hacia atrás tiene por objetivo recalculer el voltaje de cada nodo del sistema. Para este fin, se consideran las corrientes a través de cada elemento que fueron calculadas por el barrido hacia adelante previamente ejecutado. El recálculo de los voltajes nodales se efectúa en orden inverso en que fue realizado el proceso de barrido hacia adelante; es decir, iniciando por el nodo indicado por el segundo elemento del vector de ordenamiento. Esto debido a que el primer elemento corresponde al nodo fuente, cuyo voltaje fue actualizado durante la prueba de convergencia por medio de la asignación $V_f \leftarrow V_{fr}$. El barrido hacia atrás termina cuando se recalcula el voltaje del nodo indicado por el último elemento del vector de ordenamiento (nodo más lejano). Con el fin de describir como se recalculan los voltajes nodales refiérase a la Fig. 4 y considere que el nodo w ocupa la posición contigua inferior al nodo i en el vector de ordenamiento. Tal que el voltaje V_i del nodo i ya se ha recalculado durante el proceso de barrido hacia atrás y corresponde por lo tanto recalculer el voltaje V_w del nodo w . Esto se logra evaluando el modelo (4) o (7), según corresponda, con el valor actual del voltaje V_i y la corriente I_{iw} (calculada en el barrido hacia adelante). Este proceso de cálculo se repite para cada nodo del sistema hasta que se culmina el proceso de barrido hacia atrás. Enseguida el algoritmo FBS regresa a efectuar un nuevo proceso de barrido hacia adelante, y termina cuando se cumple la prueba de convergencia.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL ALGORITMO FBS

La implementación del algoritmo FBS descrito en la Sección 2.5 se desarrolló en un programa para computadora digital en lenguaje de Matlab. Esta herramienta inicia cargando un archivo de datos en el cual el usuario especifica los parámetros involucrados en los modelos de los componentes y la topología de la red de distribución (incluyendo la cantidad de nodos Nb y de elementos Ne , el nombre del nodo fuente, etc.). Así mismo, se especifica la tolerancia de convergencia, el número permisible de iteraciones del algoritmo FBS, y el voltaje de referencia V_{fr} para el nodo fuente.

Como parte inicial, la herramienta genera tres matrices primordiales para almacenar la solución e información necesaria por los procesos de barrido; *lelements*, *Nodes* e *ladd*, con dimensiones $Ne \times 1$, $Nb \times 1$, $Nbx1$, respectivamente. La matriz *Nodes* almacena los voltajes nodales calculados por el algoritmo FBS. La matriz *lelements* se utiliza para almacenar las corrientes en cada uno de los elementos y que son calculadas durante el barrido hacia adelante. De tal forma que en la convergencia, la condición de estado estacionario del sistema se encuentra registrada en *Nodes* e *lelements*. La matriz *ladd* se utiliza para almacenar la suma de corrientes en cada nodo que se calculan durante el barrido hacia adelante. A partir de los datos de la carga especificados por el usuario, la herramienta asigna las condiciones iniciales para los voltajes de los nodos de carga en las correspondientes localidades de la matriz *Nodes*.

En base a la topología de la red especificada por el usuario, la herramienta ejecuta una función que determina el vector de ordenamiento *Nodes_ordering*. El ordenamiento es determinado mediante la representación de la red de distribución como un diagrama de árbol. De esta forma la distancia de cada uno de los nodos respecto al nodo fuente se evidencia en términos de los niveles del árbol, lo que permite fácilmente establecer dicho vector de ordenamiento. Esta función además determina los elementos que inciden a cada nodo, lo cual se registra en una matriz denominada *Down_elements* y que es especialmente útil para evaluar (9).

El vector *Nodes_ordering*, así como las matrices *Down_elements*, *lelements*, *Nodes*, *ladd* y los parámetros involucrados en los modelos de los componentes son los argumentos de entrada principales de la función del barrido hacia adelante. En base a estos argumentos, esta función determina las corrientes a través de cada elemento, los voltajes nodales y las sumas de corrientes en los nodos por medio de utilizar los modelos (2), (5), (8) y (9). Los resultados obtenidos son

almacenados en las matrices *lelements*, *Nodes* y *ladd*. Las matrices *lelements* y *Nodes* son las salidas de esta función. La magnitud del fasor de voltaje del nodo fuente *Nf* almacenado en *Nodes* se utiliza para verificar la prueba de convergencia. En caso de cumplirse la tolerancia de convergencia la herramienta efectúa el reporte de resultados. De lo contrario, manda llamar la función de barrido hacia atrás.

Las entradas principales de la función de barrido hacia atrás son el vector *Nodes_ordering*, así como las matrices *Down_elements*, *lelements*, *Nodes* y los parámetros involucrados en los modelos de los componentes. En base a estos argumentos, esta función recalcula los voltajes nodales utilizando los modelos (4) y (7), los cuales sustituyen los registrados en la matriz *Nodes*.

Por último, cabe destacar que la programación de los modelos de los componentes se ha realizado de una manera modular utilizando funciones, las cuales son también modularmente llamadas por los barridos hacia adelante y hacia atrás. Esta modularidad permite la fácil implementación de modelos de componentes adicionales; por ejemplo, sistemas fotovoltaicos, sistemas de almacenamiento, etc. Esta flexibilidad, permite que la herramienta pueda ser extendida para abordar la determinación del estado estacionario de redes de distribución más complejas, como las redes de distribución activas y/o microrredes inteligentes, ya sean monofásicas y/o multifásicas. El aprovechamiento de esta flexibilidad es parte del trabajo de investigación que los autores tienen en vías de desarrollo.

ESTUDIO DE CASO

En esta sección se presenta la aplicación de la herramienta desarrollada en base al algoritmo FBS para determinar la condición de estado estacionario de la red de distribución ilustrada en la Fig. 5. Está compuesta por la subestación de distribución (representada por el nodo fuente número 1), cinco alimentadores (*A*), tres transformadores (*T*) y seis cargas (*C*), cuya interconexión forma una red de 9 nodos (numerados del 1 al 9) de topología radial. El voltaje nominal de operación de todos los componentes de la red es de 7.2kV, tal que el voltaje de referencia para el nodo fuente es de $V_{r1}=7.2kV\angle 0^\circ$. Cada alimentador tiene la misma composición física y tienen una longitud de 5km, tal que sus impedancias en serie son iguales y tienen un valor $Z_s=0.2273+j0.4545\Omega$. Debido a la corta longitud de los alimentadores su admitancia en derivación es despreciable ($Y_{sh} = 0$). Para los transformadores se considera un radio de transformación unitario (7.2kV/7.2kV), tienen una impedancia $Z_t = 0.23+j0.46\Omega$ y se desprecia el efecto de magnetización ($Y_m=0$). Las cargas consumen los niveles base de potencia compleja presentados en la Tabla 1.

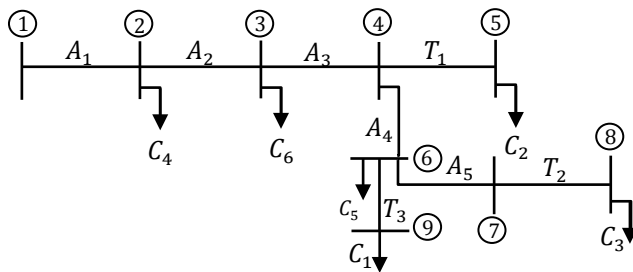


Figura 5. Sistema de prueba.

Tabla 1. Demanda de potencia compleja

Nodo de carga	P (W)	Q (VAR)
9	1500	750
5	900	500
8	900	500
2	1500	750
6	900	500
3	1500	750

A partir de los datos dados y en nivel base de demanda dado en la Tabla 1, la herramienta obtiene la determinación del estado estacionario de la red en únicamente 3 iteraciones del algoritmo FBS. El estado estacionario obtenido se representa por el perfil de las magnitudes de los voltajes nodales y las magnitudes de corriente a través de los alimentadores y transformadores, los cuales se muestran las tablas 2 y 3. Se puede observar que las corrientes a través de los elementos son bajas (en el orden de décimas a unidades de ampere), lo cual se debe a que la potencia demandada por las cargas es pequeña y el voltaje de operación del sistema es elevado. Estos bajos niveles de corriente por consecuencia deben implicar bajas caídas de voltaje en los nodos del sistema, lo cual se corrobora en el perfil de voltaje dado en la Tabla 2; note que las caídas de voltaje con respecto al nodo fuente se encuentra en el orden de apenas unidades de volt.

Tabla 2. Magnitudes de voltaje

Nodo	Voltaje (kV)
1	7.2000
2	7.1995
3	7.1992
4	7.1989
5	7.1988
6	7.1987
7	7.1986
8	7.1986
9	7.1986

Tabla 3. Corriente en elementos

Elemento	Corriente (A)
A1	1.1
A2	0.9
A3	0.7
A4	0.6
A5	0.1
T1	0.1
T2	0.1
T3	0.2

Para fines de complementar el estudio, se procede investigar el impacto del incremento de la demanda de potencia en la condición de estado estacionario del sistema. Para este fin la demanda base del sistema dada en la Tabla 1 se elevó gradualmente en incrementos del 10% hasta llegar a un 100%. La condición de operación de estado estacionario para cada incremento de carga se obtuvo ejecutando la herramienta desarrollada en este trabajo. Los resultados obtenidos se ilustran a través de los perfiles de voltaje (tensión) nodal y las corrientes a través de los alimentadores y transformadores ilustrados en las Figs. 6 y 7. A partir de estos resultados se puede observar que a mayor nivel de demanda se tienen mayores corrientes a través de los componentes del sistema. Este incremento implica mayores caídas en las magnitudes de los voltajes nodales. Se puede observar que para todos los incrementos de carga, la mayor caída de tensión se presenta en el nodo 9. Esto se debe a que este es el más lejano del nodo fuente (nodo 1). Note además que la máxima caída de voltaje ocurre con un incremento del 100% de la demanda y es de aproximadamente 200V (2.8%) respecto a los 7.2kV del nodo fuente. Tomado en consideración

que en la práctica se aceptan variaciones del 5% en la magnitud de los voltajes respecto a la magnitud del nodo fuente, se concluye que el sistema propuesto para el estudio es capaz de admitir un incremento del 100% de la carga base (dada en la Tabla 1). Por lo tanto, desde el punto de vista de soporte de voltaje, el sistema se puede declarar como seguro y robusto.

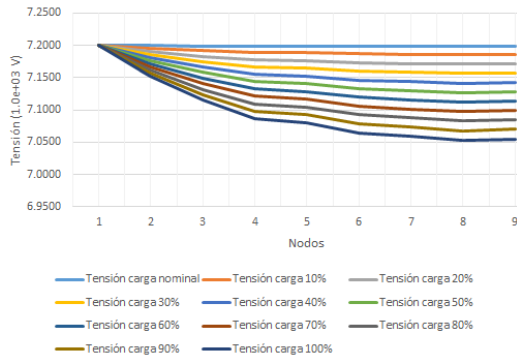


Figura 6. Caidas de voltaje

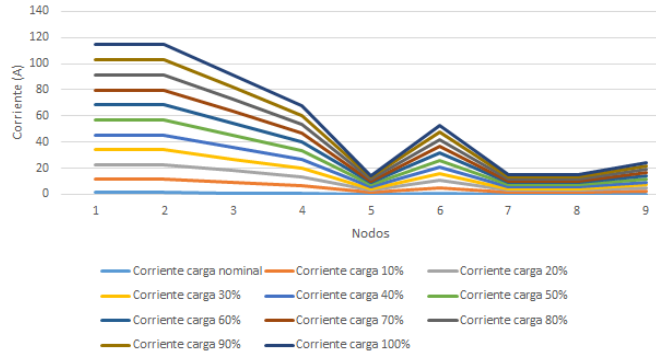


Figura 7. Incrementos de corriente

CONCLUSIONES

En este trabajo se aplicó el algoritmo FBS para la determinación del estado estacionario de sistemas de distribución monofásicos radial. Para este fin el algoritmo se implementó en un programa para computadora digital en lenguaje de Matlab. Para mostrar los resultados obtenidos por la herramienta se presentó un caso de estudio en el que se investiga el comportamiento de estado estacionario del sistema ante incrementos de la demanda eléctrica. Estos resultados permitieron establecer conclusiones que coinciden muy bien con el comportamiento físico de los sistemas de distribución prácticos. La implementación de la herramienta se ha realizado de una manera modular. Esta modularidad permite la fácil implementación de modelos de componentes adicionales; tal que la herramienta puede ser extendida para abordar la determinación del estado estacionario de distribución activas y/o microredes inteligentes. El aprovechamiento de esta flexibilidad es parte del trabajo de investigación que los autores tienen en vías de desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

1. D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen y G. X. Luo, "A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 3, no. 2, pp. 753-762, May 1988.
2. G. X. Luo y A. Semlyen, "Efficient load flow for large weakly meshed networks," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 5, no. 4, pp. 1309-1316, Nov 1990.
3. C. S. Cheng y D. Shirmohammadi, "A three-phase power flow method for real-time distribution system analysis," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 10, no. 2, pp. 671-679, May 1995.
4. G. Díaz, J. Gómez-Aleixandre y J. Coto, "Direct Backward/Forward Sweep Algorithm for Solving Load Power Flows in AC Droop-Regulated Microgrids," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7, no. 5, pp. 2208-2217, Sept. 2016.

5. U. Eminoglu y M. H. Hocaoglu, "Distribution systems forward/backward sweep-based power flow algorithms: A review and comparison study," *Elect. Power Compon. Syst.*, vol. 37, no. 1, pp. 91–110, Dec. 2008.
6. A. Lisboa, L. Guedes, D. Vieira, y R. Saldanha, "A fast power flow method for radial networks with linear storage and no matrix inversions," *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 901–907, Dec. 2014.
7. U. Eminoglu y M. H. Hocaoglu, "Distribution Systems Forward/Backward Sweep-based Power Flow Algorithms: A Review and Comparison Study," *Elec. Power Comp. and Systems*, vol. 37, pp. 91–110, Dec. 2009.

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ANODIZADO EN PIEZAS DE ALUMINIO A NIVEL PLANTA PILOTO

Samantha Valencia Rodríguez, Mario Alejandro Rodríguez Rivera, María del Rosario Galindo González

Universidad de Guanajuato DCNyE A

Centro de Investigaciones en ÓPTICA A. C. B

RESUMEN

El anodizado es un proceso electroquímico utilizado de manera industrial principalmente para proteger contra la corrosión el aluminio y sus aleaciones. Se basa en la electroformación de una capa de óxido, empleando la misma pieza a recubrir, como ánodo de sacrificio, de ahí proviene su nombre. En éste trabajo se utilizaron piezas de aluminio 6061, se estudiaron diferentes tipos de preparación de la superficie y su influencia en las propiedades de materia final. Para la etapa del anodizado electroquímico, se probaron los siguientes electrolitos: ácido sulfúrico, ácido tartárico y ácido cítrico. Se realizó un estudio comparativo entre diferentes electrolitos empleando la técnica de voltamperometría lineal que nos permite evaluar de manera rápida las condiciones para obtener una capa porosa de óxido de aluminio sobre cada una de las piezas. Algunos otros parámetros que se consideraron fueron: la concentración del electrolito, el tiempo de anodizado y la temperatura puesto que afectan notablemente. Como resultado de este trabajo se presentan las mejores condiciones para anodizar piezas de aluminio con una capa porosa uniforme, que mejora las propiedades mecánicas y proporciona una superficie apta para el depósito de anilinas.

INTRODUCCIÓN

El aluminio forma una capa natural de óxido de aluminio en la superficie, lo cual brinda protección a la pieza y modifica considerablemente algunas de sus propiedades como la conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión. De manera artificial se fabrican películas de óxido de mayor espesor y con mejores características de protección. [1] la capa de óxido que se genera sobre la superficie del material es formada a expensas del mismo material. Es decir, primero hay una degradación de la superficie y posteriormente un depósito de la capa de óxido. [2] durante el anodizado de aluminio se forman dos tipos diferentes de película de óxido: una película anódica de tipo barrera, y una película porosa de óxido. [3] las características de la capa de óxido formada anódicamente son: unión sólida con el metal base, acción protectora frente a la corrosión, capacidad de coloración e impregnación, dureza, resistencia al desgaste y a la abrasión, acción aislante, resistencia a la temperatura. [2,4]

Debido a que el incremento de la concentración del electrolito y la temperatura generalmente aumenta la velocidad de crecimiento de la capa tipo barrera son efectos interdependientes, la predicción del comportamiento del anodizado y la optimización de ciclos prácticos de anodizado son una difícil tarea y requieren un extensivo esfuerzo experimental. Por estas razones el anodizado potenciodinámico fue propuesto en 2013 por m. Curioni y col. Como una herramienta práctica para la optimización en procesos de anodizado debido a que esta técnica muestra la

relación entre el electrolito, la concentración del electrolito y el potencial de anodizado en un solo análisis. [5]

La voltamperometría lineal nos permite observar el potencial de oxidación en el proceso de anodizado. De ésta manera se puede hacer una comparación del requerimiento energético que necesita cada electrolito seleccionado para formar la capa anódica.

PARTE EXPERIMENTAL

La parte experimental de ese trabajo se dividió en tres etapas. La primer parte consistió en la selección del electrolito adecuado, la optimización de la concentración del electrolito y la velocidad de barrido, para lo cual se usaron técnicas electroquímicas como la voltametría de barrido lineal y potencial de circuito abierto. Todas las pruebas electroquímicas se realizaron en una celda convencional de tres electrodos, usando como electrodo de trabajo una placa de aluminio 6061 con un área de 0.5x0.5cm, un electrodo de referencia de saturado de calomelanos y como contra electrodo se utilizó un alambre de platino. Se prepararon 150 mL de las siguientes soluciones: ácido sulfúrico 0.4 M, ácido fosfórico 0.4 M, ácido oxálico 0.3 M, ácido cítrico 0.3 M y ácido tartárico 0.3 M. Se realizaron las pruebas de potencial de circuito abierto y voltamperometría lineal a cada electrolito. La segunda parte consistió en estandarizar las condiciones del proceso de anodizado para lo cual, se evaluaron tres tipos de preparación de la superficie. Para tratamiento mecánico se usaron lijas de diferentes granos, para la limpieza ultrasónica se usó como disolvente acetona y se sonicó durante 5 minutos a 37 Hz y para la limpieza de con líquidos alcalinos se utilizó hidróxido de sodio al 5% m/v. Se comparó el resultado obtenido por cada método, se evaluó la factibilidad técnica. Finalmente, se anodizaron y tintaron piezas de aluminio aleación 6061 con el electrolito y la concentración del electrolito seleccionados en la primer parte. El tiempo de anodizado fue de 50 minutos y se probaron los siguientes intervalos de temperatura: 0-13°C, 24-25°C, T>28°C.

Como parte de la caracterización se realizaron Espectroscopias de Impedancia Electroquímica y unas micrografías SEM. Esto con la finalidad de observar con más detalle las características de la capa anódica.

La tercera etapa consistió en aplicar al taller del Centro de Investigaciones en Óptica las mejoras mencionadas en las conclusiones de este trabajo y realizar adaptaciones de acuerdo a la escala.

RESULTADOS

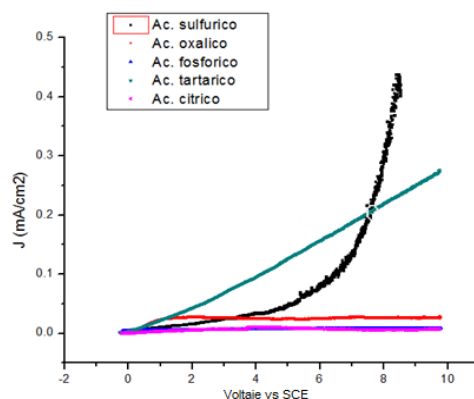
En la tabla 1 se resumen las ventajas y desventajas de los métodos probados. El método de preparación de la superficie que se seleccionó fue el de inmersión en líquidos alcalinos debido a que es el más viable técnica y económicamente.

Tabla 7. Resumen de resultados de la preparación de la superficie.

Método	Ventajas	Desventajas
Tratamiento mecánico	Elimina rastros del maquinado	Requiere mucho tiempo, cara a largo plazo
Limpieza ultrasónica	Rápido, tiempo de ultrasonido corto	No elimina los rastros de maquinado, no elimina tan fácilmente la grasa

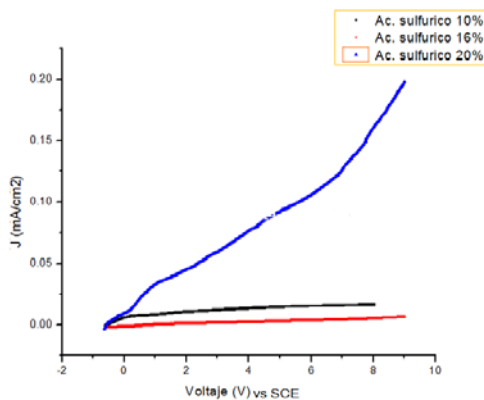
Inmersión en Líquidos alcalinos	Es económico y rápido	Desprende valores tóxicos
---------------------------------	-----------------------	---------------------------

La curva J-V obtenida al emplear H₂SO₄ como electrolito (gráfica 1), muestra un incremento continuo y no brusco en la densidad de corriente, conforme se incrementa el potencial, lo que indica que la oxidación sobre la superficie del aluminio está llevando a cabo de manera controlada. Éste es el electrolito con menor potencial de oxidación, cuyo valor es de 8.4 V aproximadamente, mientras que el resto de los electrolitos tienen un potencial de oxidación mayor a 10 V.



Gráfica 2. Respuesta electroquímica del electrodo de trabajo (pieza de aluminio 6061) al anodizado potenciodinámico con distintos electrolitos.

Empleando como electrolito ácido sulfúrico a una concentración del 20% v/v se presenta un potencial de oxidación de aproximadamente 8.5 V, es decir, a este voltaje comienza a formarse la capa anódica. Ver gráfica 2. Por lo que se considera la concentración óptima para la generación de una capa de óxido uniforme y controlado sobre la pieza de aluminio. El resto de las soluciones presentan un potencial de oxidación mayor a 10 V.



Gráfica 3. Respuesta electroquímica del electrodo de trabajo (pieza de aluminio 6061) a ácido sulfúrico al 10% v/v, 16%v/v y 20% v/v.

La pieza anodizada con ácido sulfúrico muestra una capa anódica porosa aunque no presenta uniformidad, esto se debe a la naturaleza del metal base. Esto coincide con los resultados de la voltamperometría lineal que muestran que el ácido sulfúrico se oxida a potenciales menores, lo cual significa que se empieza a formar la capa anódica a menores potenciales.

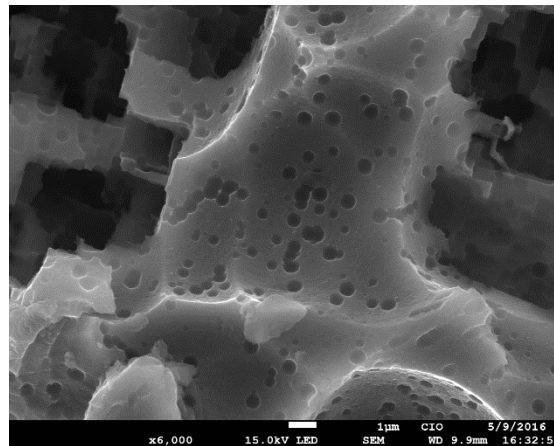


Figura 16. Micrografía SEM del anodizado potenciodinámico usando como electrolito Ácido sulfúrico.

Las pruebas de impedancia realizadas a los cinco electrolitos y a la pieza de aluminio sin anodizar muestran que hay una variación de la resistencia eléctrica posterior al anodizado. Todas las piezas fueron sometidas a anodizado potenciodinámico en un tiempo pequeño por lo que la capa anódica formada dependió del electrolito usado. Para electrolitos con potenciales de oxidación pequeños se observó la formación de una capa anódica porosa. Para electrolitos con potenciales de oxidación altos, se observó la formación de una capa tipo barrera. Ver figura 2.

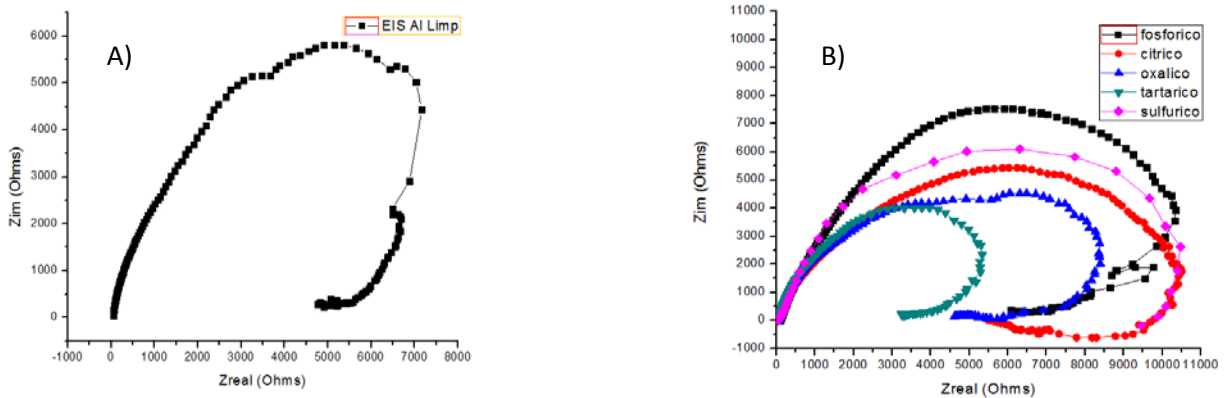


Figura 17. A) Grafica de EIS de una pieza de aluminio sin anodizar. B) Grafica de EIS para los distintos electrolitos usados.

Los espectros de impedancia corroboran los resultados obtenidos por voltamperometría lineal y SEM, el espectro para el caso cuando se utiliza ácido sulfúrico al 20 % es claro, continuo y homogéneo en un amplio intervalo de frecuencias. En el caso de la concentración más baja, que corresponde al 10 %, el espectro de impedancia muestra dos bucles y un comportamiento muy similar al de la pieza sin anodizar, lo que indica que la formación de la capa no es homogénea, que está en la tipo barrera, lo cual vuelve al material un aislante y además hay zonas similares a la pieza de aluminio sola.

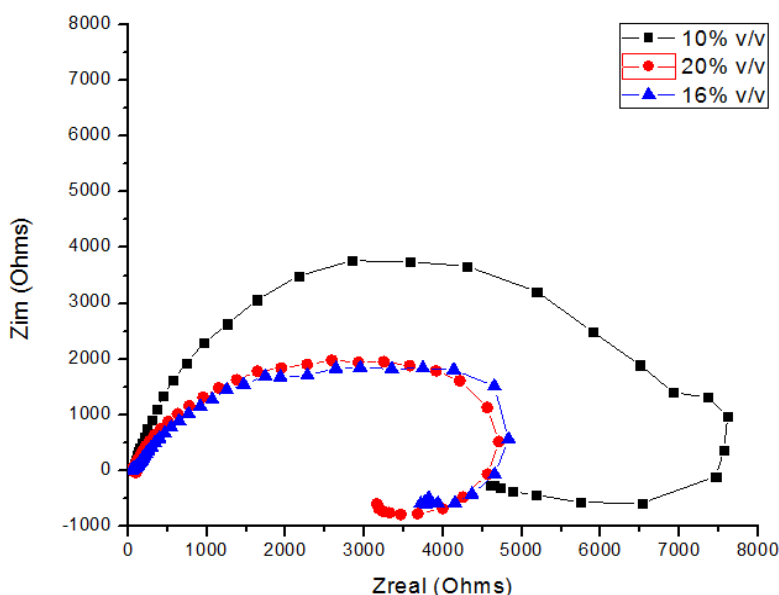


Figura 18. Grafica de EIS para ácido sulfúrico a concentraciones de 10% v/v, 16% v/v y 20% v/v.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos de la experimentación se estableció que las condiciones óptimas para operar y generar una capa anódica tipo porosa son las que se describen en la tabla 1. Entre cada etapa se debe realizar un enjuague con agua destilada para evitar contaminar la solución de la siguiente etapa con residuos de solución de la etapa anterior.

Tabla 8. Condiciones óptimas para el proceso de anodizado.

Preparación de la superficie				
Etapa	Reactivo	Concentración	Temperatura	Tiempo
Limpieza con líquidos alcalinos	Hidróxido de sodio	5% m/v	50-60°C	1 minuto
Neutralización	Ácido clorhídrico	50% v/v	Temperatura ambiente	15 segundos
Anodizado	Ácido sulfúrico	20% v/v	24-15°C	50 minutos
Tintado	Anilina negra	8 g/L	60-70°C	15 minutos
Sellado	Agua destilada	--	90-100°C	10 minutos

Se establecieron las condiciones estandarizadas, con lo que se redujo el número de piezas producidas con defectos. Antes de implementar las mejoras sólo un 69% de las piezas procesadas eran anodizadas y por tanto, coloreadas correctamente. Después de implementar las mejoras en el taller el porcentaje subió a 92%

Debido a las reacciones que toman lugar durante las diferentes etapas del proceso de anodizado, es necesario reemplazar las soluciones de trabajo cada determinado tiempo. Éste tiempo está determinado por la producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Coello Naranjo, L. (2006). "Diseño y optimización de una línea de anodizado cromo para piezas de aluminio en la industria aeronáutica." Tesis de licenciatura. Universidad de Cádiz, Provincia de Cádiz, España, 5-7.
2. Ramírez Medina, L.J. (2010) "Fatiga de aleaciones de aluminio aeronáutico con nuevos tipos de anodizado de bajo impacto ambiental y varios espesores de recubrimiento." Tesis de doctorado. Universidad de Coruña, Coruña, España. 15-16.
3. Rubio Alcaraz F. (2015) "Diseño de celda electroquímica automatizada, para inducir el crecimiento de membranas nanoporosas en aluminio." Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de México, Ciudad de México. 6-7.
4. Beltrán Martínez, A.M. (2014). "Estudio sobre el proceso de anodizado de aluminio y de una aleación Al-Mg-Si." Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de México, Ciudad de México. 24-25
5. Curioni M. et al. (2012) "Optimization of anodizing cycles for enhanced performance", Surface Interface Analysis, 45, 1485-1489.

SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS CAÓTICAS MEDIANTE ACOPLAMIENTO DE ROBOTS UNICICLO PARA LA COBERTURA DE ÁREAS DETERMINADAS DE FORMA SÍNCRONA

Silva-Campos JM, Lozoya-Ponce RE, Ontañon-García LJ.

Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ A.C., campus San Luis Potosí,
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus San Luis Potosí,
Coordinación Académica Región Altiplano Oeste UASLP,
*jmanuel.silva@itesm.mx

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es inducir trayectorias caóticas a una flotilla de robots tipo unicycle esclavos a partir de un sistema dinámico maestro para la cobertura de áreas determinada de forma síncrona. El método de acoplamiento utilizado para obtener la sincronización entre ambos robots, es el método unidireccional; el cuál se genera a partir de un sistema maestro que impulsa a un subsistema esclavo estable.

Palabras clave: Robot Unicycle, Caos, Sincronización.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos principales para el uso de robots móviles es el de realizar tareas eficaces y eficientes, después de veinte años de investigación continua, se han convertido en un tema de gran interés por sus aplicaciones cada vez mayores en las actividades industriales. Existen aplicaciones interesantes de los robots móviles, como transporte industrial [1], dispositivos de limpieza de pisos [2] y dispositivos contra incendios [3]. Recientemente, en el campo de la Robótica Avanzada, se han estado proponiendo tareas de exploración y vigilancia mediante robots móviles, en donde es necesario que los robots cumplan al menos con los objetivos de cubrir toda un área determinada y de realizarlo de una manera impredecible (sobre todo para los casos de vigilancia o patrullaje). Para cumplir con estos objetivos se ha propuesto el empleo de sistemas caóticos [4].

Los sistemas caóticos son aquellos que tienen comportamientos específicos que rara vez repiten su comportamiento, o pasan por algún punto o condición más de una vez. Son sistemas que si se inicializan con valores diferentes (por muy pequeña que sea la diferencia entre estos) resultarán en trayectorias muy diferentes pero acotadas a ciertas reglas propias del sistema. Uno de los rasgos más sobresalientes de los sistemas caóticos es su dependencia con las condiciones iniciales del sistema. Por lo que, al inducirle al robot una trayectoria caótica, se garantiza que realice un barrido total de un área determinada y con movimientos difíciles de predecir [5].

En este trabajo se presenta el acoplamiento de las trayectorias para dos robots unicycle mediante el método unidireccional, el cual se genera a partir de la trayectoria del robot maestro que impulsará al acoplamiento del robot esclavo por medio de un factor de forzamiento (K) presente en los dos primeros estados del sistema esclavo. Mediante las simulaciones realizadas se demuestra que para ciertos valores de K se presenta sincronización.

El artículo está conformado de la siguiente forma, en la Sección 2 se presenta la metodología de sincronización y estabilidad para el sistema dinámico del robot uniclo; en la Sección 3 se describe el método de acoplamiento unidireccional generado a través de un sistema maestro y un sistema esclavo estable. Los resultados experimentales se describen en la Sección 4 y por último las conclusiones en la Sección 5.

METODOLOGÍA

Modelo Cinemático de un Robot Uniclo.

Un robot móvil es un dispositivo electromecánico capaz de desplazarse dentro de un espacio de trabajo (laboratorio, nave industrial, corredor, habitación, etc.) con diferentes niveles de autonomía. El nivel de autonomía está determinado por la capacidad del robot para percibir el ambiente de trabajos mediante sensores (microinterruptores, dispositivos opto electrónicos, cámaras de video, etc.) y poder modificar su comportamiento en consecuencia [6].

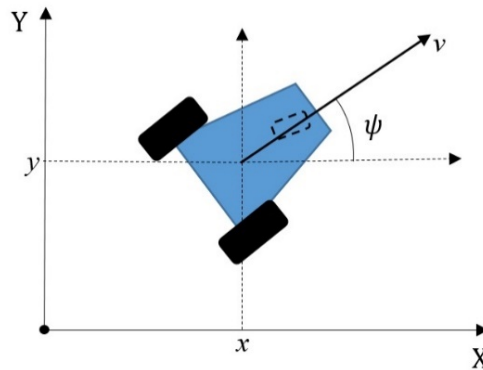


Figura 1. Robot Uniclo en el plano cartesiano

La posición y orientación de un robot móvil tipo uniclo pueden describirse por sus coordenadas (x,y) con respecto a un sistema de referencia fijo y el ángulo ψ que el robot forma con respecto al eje X, como se muestra en la Figura 1. Siendo v la velocidad lineal del robot en la dirección perpendicular al eje de sus ruedas y ω la velocidad angular. Entonces a partir de la Figura 1, se encuentran las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v \cos \psi; \\ \dot{y} &= v \sin \psi; \\ \dot{\psi} &= \omega; \end{aligned} \tag{2.1}$$

donde x representa la posición a lo largo del eje X, y representa la posición a lo largo del eje Y y ψ representa la orientación del eje longitudinal del vehículo con respecto al eje X.

Sincronización generalizada en un sistema maestro-esclavo.

Cuando se habla de sincronización uno se refiere a que dos sistemas presentan comportamientos similares, o tal vez que el comportamiento de alguno de ellos suceda como resultado de la dinámica del otro. La intención de este trabajo es estudiar el comportamiento y los fenómenos interesantes que surgen de este tipo de sistemas (2.1) mediante diferentes herramientas; con la intención de obtener sincronización en sistemas complejos y utilizar esta dinámica en diversas aplicaciones; por ejemplo: en la sincronización de robots móviles tipo uniclo.

Ahora bien, existen tareas que no pueden ser realizadas con un solo robot o que pueden ser completadas de una mejor manera utilizando varios de ellos, lo anterior fundamenta la Robótica

Móvil Colaborativa. Uno de los principales problemas, en este tipo de tareas, es evitar colisiones entre ellos para lograr que se cumpla un objetivo común. Se han realizado propuestas acerca de la asignación de tareas cooperativas y la planificación de coberturas en áreas determinadas para robots móviles basados en la sincronización del caos. Los sistemas multi-robot cooperativos pueden funcionar más rápido y con mayor eficiencia y fiabilidad que un sistema de robot único. Al sincronizar los controladores caóticos de los robots, se puede lograr una cooperación efectiva [7].

Después de los primeros reportes por Pecora y Carroll [8], se han desarrollado diferentes técnicas de acoplamiento entre sistemas caóticos, por ejemplo, las descritas en [9]. Por lo cual es posible diseñar métodos de acoplamiento para el control de sistemas, o el forzamiento de trayectorias específicas. Por ejemplo, en el uso de robots móviles para realizar tareas eficaces y eficientes de forma sincronizada.

Se pueden distinguir tres métodos para acoplar a un par de sistemas. El primero se genera a partir de un sistema maestro y un sistema esclavo estable, a este tipo de acoplamiento se le llama unidireccional, ya que el sistema esclavo no influye en el comportamiento del maestro. El segundo esquema de acoplamiento involucra a dos sistemas que interactúan mutuamente, a este tipo de acoplamiento se le conoce como acoplamiento bidireccional o acoplamiento mutuo, con este tipo de acoplamiento no se puede hablar de un sistema maestro o esclavo [10]. El último método consiste en acoplar un par de sistemas por medio de una señal externa a ambos, con este tipo de acoplamiento se tiene a dos sistemas esclavos forzados mediante una señal generada de un sistema lineal o a lineal [11]. Uno de los modelos que proponen es que el sistema esclavo (2.3) se sincronice mediante alguno de los estados del sistema maestro (2.2), de manera unidireccional:

$$\begin{aligned}\dot{x}_M &= f_M(x_M, y_M, z_M); \\ \dot{y}_M &= g_M(x_M, y_M, z_M); \\ \dot{z}_M &= h_M(x_M, y_M, z_M);\end{aligned}\tag{2.2}$$

$$\begin{aligned}\dot{x}_E &= f_E(x_E, y_E, z_E) + K(x_M - x_E); \\ \dot{y}_E &= g_E(x_E, y_E, z_E); \\ \dot{z}_E &= h_E(x_E, y_E, z_E);\end{aligned}\tag{2.3}$$

donde $(x_M, y_M, z_M)^T$ y $(x_E, y_E, z_E)^T$ son los vectores de estado del sistema maestro y del sistema esclavo, respectivamente; el factor K es la señal de forzamiento mediante la cual se pretende llegar a la sincronización.

Estabilidad

Para entender el comportamiento y las propiedades que pueden surgir en este tipo de sistemas es necesario estudiar su estabilidad local. La parte lineal ayuda a entender la tendencia de movimiento de un sistema dinámico como los dados por las ecuaciones (2.1) y (2.2), que se calcula mediante el Jacobiano. Este tipo de estabilidad es fundamental en el diseño de sistemas con caos y múltiples enroscados. En general la estabilidad local está representada por los eigenvalores $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ del sistema. Por ejemplo, un sistema estable presentará puntos de equilibrio que resulten en eigenvalores negativos, un sistema caótico con múltiples enroscados tendrá puntos de equilibrio tanto estables como inestables del tipo ensilladura [12,13].

PARTE EXPERIMENTAL

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de este trabajo es realizar el acoplamiento de trayectorias en dos robots tipo unicycle utilizando el método de acoplamiento unidireccional generado a través de un sistema maestro y un sistema esclavo estable. De acuerdo al modelo cinemático descrito en la ecuación 1.1, los sistemas dinámicos para los robots maestro y esclavo quedan de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_M &= v_M \cos \psi_M; & \dot{x}_E &= v_E \cos \psi_E + K(x_M - x_E); \\
 \dot{y}_M &= v_M \sin \psi_M; & \dot{y}_E &= v_E \sin \psi_E + K(y_M - y_E); \\
 \dot{\psi}_M &= \omega_M; & \dot{\psi}_E &= \omega_E;
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Siendo:

- K : la señal de forzamiento externo en el primer y segundo estado del robot esclavo.
- v_M : velocidad lineal inicial del robot maestro.
- v_E : velocidad lineal inicial del robot esclavo.
- ψ_M : posición angular inicial de robot maestro.
- ψ_E : posición angular inicial de robot esclavo.
- ω_M : velocidad angular inicial del robot maestro.
- ω_E : velocidad angular inicial del robot esclavo.

Para realizar las simulaciones numéricas de los sistemas descritos anteriormente se hace uso del método numérico de Runge Kutta de cuarto orden (RK4).

RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del estudio de sincronización entre un par acoplado de sistemas dinámicos del robot unicycle y entre un sistema caótico con el sistema del robot unicycle. En la Figura 4.1, se muestran las trayectorias del robot maestro y el robot esclavo cuando $K=0$, se observa como ambos sistemas son estables e independientes bajo las siguientes condiciones iniciales:

Robot Maestro: $v_M = 2, \psi_M = \frac{\pi}{4}, \omega_M = \pi/2$;

Robot Esclavo: $v_E = 2, \psi_E = \pi, \omega_E = \pi/2$.

Para todas las simulaciones que se realizaron en este trabajo se asignó un valor de tamaño de paso $h = 0.01$; 10,000 iteraciones o una unidad de tiempo arbitrario de $t=100$.

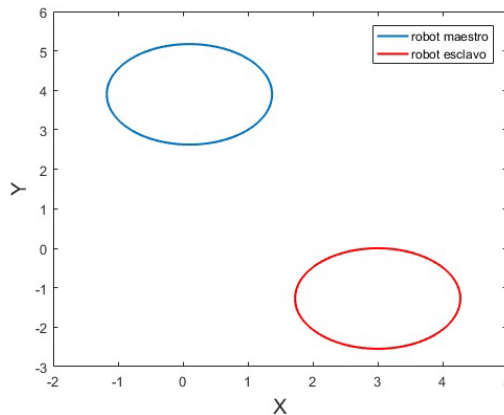


Figura 4.1: Proyección en el plano (x,y) de los sistemas maestros y esclavo de (3.1) con $K=0$. Posiciones iniciales: robot maestro (1,3) y robot esclavo (3,0).

El esquema de acoplamiento unidireccional fue utilizado para estudiar la sincronización generalizada. Este tipo de acoplamiento es dado por las ecuaciones (3.1). El fenómeno de sincronización se observa para determinados valores de K , sólo se presenta sincronía para valores positivos mayores de 1 y menores de 278 aproximadamente, fuera de este rango no se presenta sincronía y los sistemas maestro y esclavo se vuelven inestables. En la Figura 4.2 se puede observar el acoplamiento de las trayectorias y el margen error entre el sistema maestro y el

esclavo, para valores de $K=10$, $K=100$ y $K=277$. El margen de error para las simulaciones se calculó mediante $e = \sqrt{(x_M - x_E)^2 + (y_M - y_E)^2}$. Se puede apreciar que este error disminuye dependiendo del valor del parámetro K .

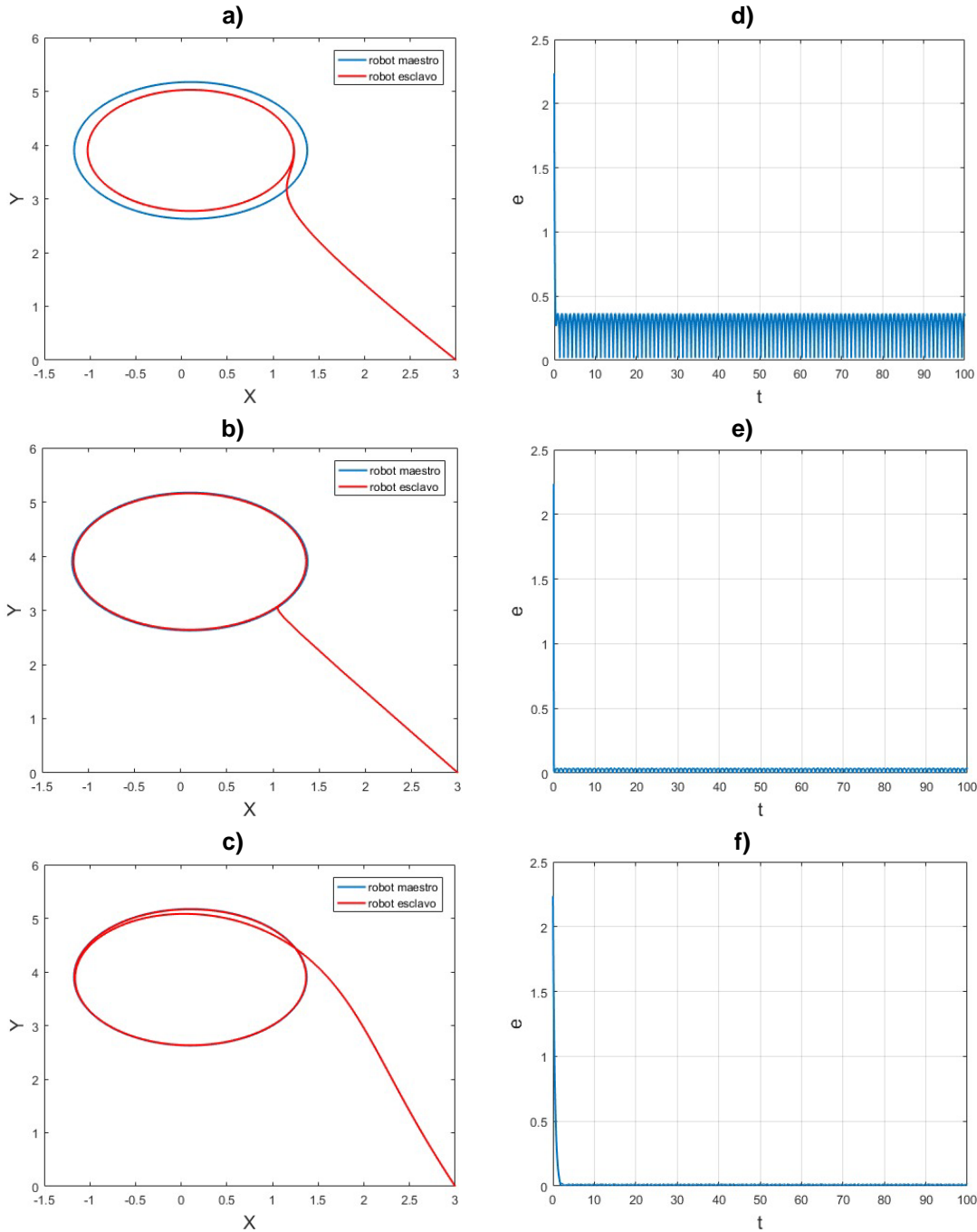


Figura 4.2: Trayectorias generadas por el modelo (3.1). Proyección en el plano (x,y) del acoplamiento de los sistemas maestro y esclavo: a) $K=10$. b) $K=100$. c) $K=277$. Margen de error entre las trayectorias del robot maestro y esclavo: d) $K=10$. e) $K=100$. f) $K=277$.

Para comprobar el acoplamiento unidireccional del sistema esclavo (3.1) con una trayectoria caótica, se utilizó el atractor de Rössler (4.1) como el sistema maestro; presentándose el fenómeno de sincronización generalizada entre ambos sistemas. El fenómeno de sincronización se observa para determinados valores del parámetro K , ya que solo se presenta sincronía para valores positivos mayores a 0 y menores a 278 aproximadamente, para valores mayores de 278 los sistemas crecen demasiado y se vuelven inestables, provocando que se rompa el acoplamiento.

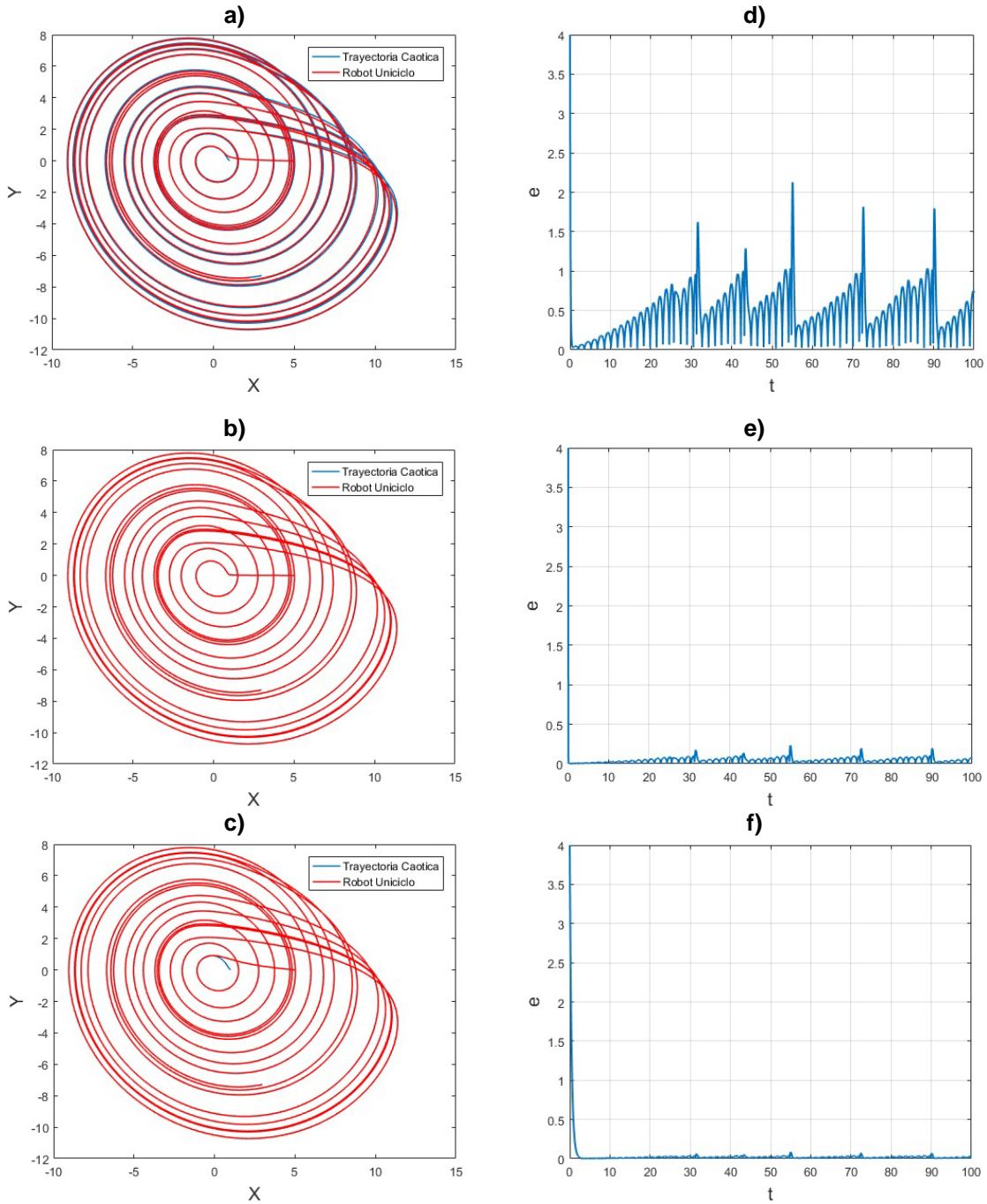


Figura 4.3: Trayectorias generadas por el modelo (4.2). Proyección en el plano (x,y) del acoplamiento de los sistemas maestro y esclavo: a) $K=10$. b) $K=100$. c) $K=277$. Error entre las trayectorias del sistema maestro y el robot esclavo: d) $K=10$. e) $K=100$. f) $K=277$.

$$\begin{aligned} \dot{x}_M &= -y_M - z_M \\ \dot{y}_M &= x_M + ay_M \\ \dot{z}_M &= b + (x_M - c) \end{aligned} \tag{4.1}$$

El acoplamiento unidireccional para el sistema caótico maestro y el sistema del robot esclavo queda de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \dot{x}_M &= -y_M - z_M; & \dot{x}_E &= v_E \cos \psi_E + K(x_M - x_E); \\ \dot{y}_M &= x_M + ay_M; & \dot{y}_E &= v_E \sin \psi_E + K(y_M - y_E); \\ \dot{z}_M &= b + (x_M - c); & \dot{\psi}_E &= \omega_E; \end{aligned} \tag{4.2}$$

Los parámetros usados en la simulación para el sistema maestro en (4.2) son: $a=b=0.2$ y $c=5.7$. En la Figura 4.3 se puede observar las trayectorias simuladas obtenidas de (4.2), las cuales toman la misma forma del sistema maestro.

CONCLUSIONES

Utilizando el método de acoplamiento unidireccional generado a través de un sistema maestro, se demostró que al forzar o inducir algún comportamiento específico en un sistema esclavo, este puede cambiar su equilibrio siguiendo alguna trayectoria deseada. El valor de la fuerza de acoplamiento K

demostró ser un parámetro esencial en el acoplamiento, ya que solo para un rango de valores específicos de este, se presenta sincronización. Para generar la trayectoria caótica se utilizó el atractor de Rössler debido a que este sistema ha sido uno de los más utilizados para el estudio de sistemas caóticos debido a la simplicidad de su modelo matemático, ya que sus ecuaciones son menos complejas por que contienen únicamente un término no lineal, a comparación del modelo de Lorenz que contiene dos términos no lineales [14,15]. Como trabajo futuro queda el estudio para inducir las trayectorias caóticas al modelo físico del robot y que este pueda adoptar un comportamiento del sistema en su movimiento. Finalmente, las simulaciones presentadas muestran resultados satisfactorios, lo cual valida la metodología propuesta.

AGRADECIMIENTOS

JM Silva-Campos agradece el apoyo a CONACYT por la beca otorgada para el programa de Doctorado en Manufactura Avanzada modalidad Posgrado con la Industria del Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ.

LJ Ontañón-García agradece a la UASLP por el apoyo otorgado del proyecto No. C16-FAI-09-46.46.

BIBLIOGRAFÍA

1. J. Suh, Y. Lee and K. Lee, "Object-transportation control of cooperative agv systems based on virtual-passivity decentralized control algorithm", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 19, No. 9, pp. 1720-1730, (2005).
2. J. Palacin, J. Salse, I. Valganon and X. Clua, "Building a Mobile Robot for a Floor-Cleaning Operation in Domestic Environments", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 53, No. 5, pp. 1418-1424, (2004).

3. M. Tavera, M. Dutra, E. Veslin, O. Lengerke, "Implementation of Chaotic Behavior on a Fire Fighting Robot". Presentado en 20th International Congress of Mechanical Engineering, Gramados, Brasil, (2009).
4. Y. Nakamura, A. Sekiguchi, Chaotic mobile robot, "Transactions on Robotics and Automation", IEEE, Vol. 17, pp. 898–904, (2001).
5. Aguilar-Bustos, A. Y. y E. Bugarin, "Robots Móviles en Colaboración con Desplazamientos Caóticos", XVI Congreso Latinoamericano de Control Automático, (2014).
6. E. Aranda-Bricaire, T. Salgado-Jiménez, and M. Velasco-Villa. "Control no lineal discontinuo de un robot móvil". Computación y sistemas, (Número especial):42—49, (2002).
7. Fallahi K. and Leung H. A, "Cooperative Mobile Robot Task Assignment and Coverage Planning Based on Chaos Synchronization". Int. J. of Bif. And Chaos, Vol. 20, No.1, pp.161-176, (2010).
8. L.M. Pecora y T.L. Carroll, "Synchronization in chaotic systems". Physical review letters, Vol. 64, No. 8, pp. 821, (1990).
9. K. Pyragas, "Continuous control of chaos by self-controlling feedback". Physics Letters A, Vol.170, No. 6, pp. 421-428, (1992).
10. L. Pecora, T. Carroll, G. Johnson, D. Mar and J. Heagy, "Fundamentals of synchronization in chaotic systems, concepts, and applications", Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, Vol. 7, No. 4, pp. 520-543, (1997).
11. J. S. González Salas, E. Campos-Cantón, F. Cruz Ordaz and I. Campos-Cantón, "Forced synchronization of a self-sustained chaotic oscillator", CHAOS, Vol. 18, No. 2, (2008).
12. S. H. Strogatz "Nonlinear dynamics and chaos. With applications to physics, biology, chemistry, and engineering", Addison Wesley, (1994).
13. L. Perko "Differential equations and dynamical systems", Springer, Texts in applied mathematics Vol. 7, 2nd edition, (1996).
14. O. E. Röessler, "An equation for continuous chaos", Physics Letters, Vol. 57A, No. 5, pp. 397-398, (1976).
15. E. N. Lorenz, "Deterministic Nonperiodic Flow", Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 20, pp 131-141, (1963).

CONSTRUCCIÓN DE AGENTES INTELIGENTES CON JADE

Ma. Susana Flores Alarcón, Claudia Josefina Torrero Flores, Iveth Rocio Flores de La Cruz y
Silvana Marina Flores Barajas

Instituto Tecnológico de la Laguna

RESUMEN

La Inteligencia Artificial (IA) tiene como meta comprender y construir entidades inteligentes. Dentro de las entidades que la IA estudia se encuentra el concepto de agente. En el área de la computación, el concepto agente cumple con solicitudes actuales de ubicuidad, interconexión, inteligencia, delegación y homocentrismo, en ambientes de dispositivos muy diversos de cómputo distribuido, emergiendo como la herramienta para que las personas deleguen adecuadamente su trabajo.

La sociedad de cómputo IEEE promociona estándares para tecnología basada en agentes y la interoperabilidad de sus estándares con otras tecnologías, de esta forma se funda en 1996 la Foundation of Intelligent Physical Agents (FIPA), en Suiza, siendo admitido en el IEEE en 2005 con el conjunto de estándares de especificaciones de software para sistemas basados en agentes y agentes heterogéneos e interactivos. Un marco de trabajo de fuente abierta para hacer desarrollo sobre estos estándares lo constituye el Java Agent DEvelopment Framework (JADE), él cumple con la especificación de FIPA. Con este proyecto se realizará una investigación que muestre la creación de agentes que cumplan con el estándar FIPA-IEEE, utilizando el marco de trabajo JADE.

INTRODUCCIÓN

El paradigma de los agentes se aplica a conceptos de la inteligencia artificial y de la teoría del acto lingüístico (speech act theory). El paradigma de agente está basado en la abstracción agente, un componente de software que es autónomo, proactivo y social.

Agente

La abstracción de agente, consiste en un componente de software que es autónomo, proactivo y social. Los agentes al ser autónomos tienen cierto grado de control de sus propias acciones, a ellos les pertenece su hilo de control y bajo ciertas circunstancias son capaces de tomar sus propias decisiones e iniciativa. Los agentes reaccionan a eventos externos (por ejemplo, un método de llamado remoto), así como un comportamiento dirigido a metas. Tienen un comportamiento social y necesitan interactuar con otros agentes, de tal manera que puedan alcanzar tareas que permitan completar metas del sistema.

Los agentes son entidades activas débilmente acopladas y con la capacidad de decir 'no'. Su comunicación se basa en mensajes asíncronos entre agentes. Así cuando un agente necesita comunicarse envía un mensaje a un cierto destino. De esta manera el agente receptor podrá seleccionar el mensaje que sea enviado a él y desechar los que no son enviados a él. Ésta forma

de comunicación permite al agente que envía tener un control de su hilo de ejecución y no ser bloqueado hasta que el receptor lea y conteste el mensaje. Finalmente, el agente borra cualquier dependencia temporal entre el que envía y el que recibe [1]

FIPA-IEEE

FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) se fundó en 1996 en Suiza, con la finalidad de producir especificaciones de estándares de software para agentes heterogéneos e interactivos y sistemas basados en agentes. Su participación en la definición de estos roles ha sido fundamental para establecer los estándares de agentes. Ha sido promotor para que esta tecnología sea aceptada, así como también para que sea considerada en especificaciones de nuevas tecnologías para Web/Internet.

Los estándares para sistemas de agentes y multi-agentes FIPA fueron oficialmente aceptados en 2005 por la IEEE. Convirtiéndose en una organización que promociona la tecnología basada en agentes y la interoperabilidad de sus estándares con otras tecnologías [2].

JADE

Java Agent DEvelopment Framework (JADE), es un marco de trabajo de software, el cual se implementó en el lenguaje Java. Contiene un conjunto de herramientas gráficas que le dan soporte a la tarea de depuración y de despliegue y cumple con las especificaciones FIPA para el desarrollo de sistemas multi-agente. Los sistemas creados con JADE permiten ser distribuidos a través de máquinas con sistemas operativos diferentes, además de que la configuración puede ser controlada con una intreface gráfica remota, la cual puede ser cambiada en tiempo de ejecución, moviendo agentes de una máquina a otra, cuando sea necesario. JADE es una plataforma de fuente abierta para aplicaciones basadas en agentes de igual a igual, requiriendo el ambiente de ejecución de Java o el JDK [3].

Lenguaje de Comunicación de Agentes

El lenguaje de comunicación entre los agentes (ACL), permite transmitir una serie de conocimientos expresado en lenguaje de contenido, que pertenece al vocabulario común a los distintos agentes llamado ontología. La comunicación es fundamental para potenciar a los sistemas multiagente y determinar su comportamiento social (Figura 1) [4].

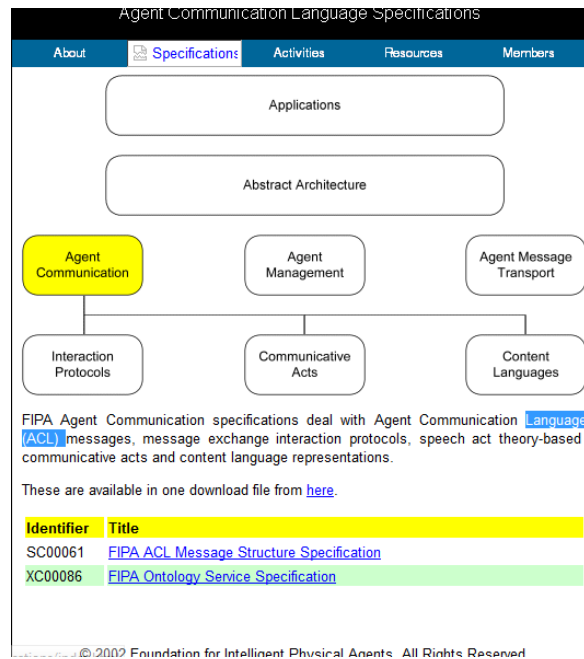


Figura 1. Ubicación en la arquitectura de FIPA del Lenguaje de comunicación de agente(ACL).

Instalación de JADE

Para llevar a cabo la instalación de JADE, es necesario obtener los archivos de instalación, los cuales se encuentran en su página alojada en la URL: <http://jade.tilab.com/> y seleccionar la pestaña "Downloads" (Figura 2). En la página de descargas se encuentran varias versiones de JADE para descargar. Para esta instalación solo se bajaron dos archivos: jadeBin y jadeExamples. Estos archivos se alojaron directamente en la raíz del directorio de la computadora. Cuidando antes de iniciar la instalación de bajar la última versión de jdk del sitio: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jdk8-downloads-2133151.html?ssSourceSiteId=otnes>,

Los archivos vienen comprimidos, por lo que es necesario descomprimirlos en la misma unidad raíz en que fueron alojados.



Figura 2. Página oficial de JADE.

Una vez que se realizó la descompresión de los archivos, se creó una carpeta “Jade”, como se muestra en la Figura 3.

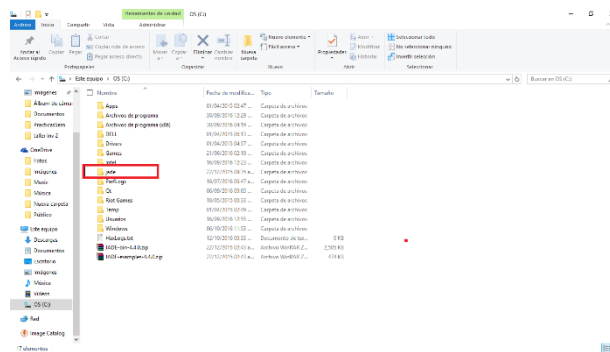


Figura 3. Carpeta JADE, al descomprimir los archivos de JADE.

Para poder utilizar JADE, necesitamos establecer algunas variables, para lo cual abrimos una terminal del sistema y escribimos:

```
set CLASSPATH=%CLASSPATH%;.;c:\jade\lib\jade.jar; c:\jade\lib\jadeTools.jar;
c:\jade\lib\Base64.jar; c:\jade\lib\http.jar
```

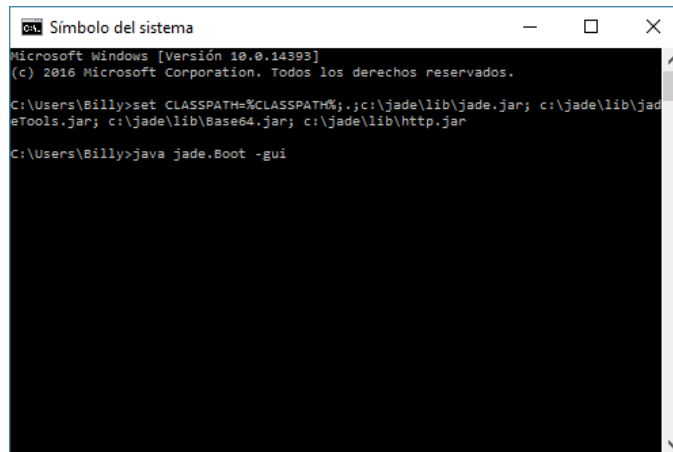


Figura 4. Variables y ejecución de JADE.

Una vez realizada esta instrucción es necesario que escribamos en la terminal:

java jade.Boot –gui

Este conjunto de instrucciones se muestra en la Figura 4.

Si todo se instaló correctamente la pantalla de la aplicación JADE aparece (Figura 5). Con ella se podrá empezar a crear agentes.

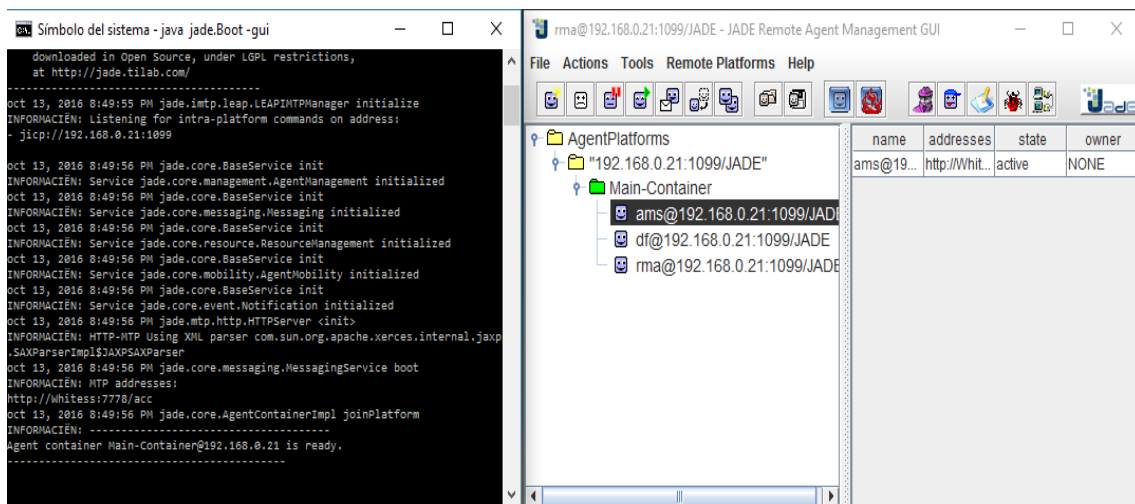


Figura 5. Interfaz de JADE.

CONCLUSIONES

El uso de y aparición de dispositivos que utilizan sistemas operativos diversos, así como la gran capacidad en respuesta del hardware hace propicio el uso de la tecnología de agentes, de tal forma que se pueda delegar ciertas tareas a agentes distribuidos utilizando estándares que permitan la comunicación eficiente entre ellos. JADE es un ambiente que permite la creación y gestión de agentes, además de ser de uso libre. Una vez instalado se empezará a conocer el lenguaje de comunicación de agentes para empezar a realizar pruebas y revisar el alcance de la plataforma JADE para desarrollar sistemas multi-agentes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México por el apoyo a profesores con perfil deseable, por permitirnos realizar este trabajo.

REFERENCIAS

1. F. Bellifemine, G. Caire, A. Paggi y G. Rimassa, «JADE A White Paper,» exp in search of innovation, Italia, 2003.
2. A. Guerra, «Agentes Inteligentes,» [En línea]. Available: www.uv.mx/aguerra/documents/2013-ia2-01.pdf. [Último acceso: 01 09 2016].
3. FIPA, «Welcome to FIPA !,» [En línea]. Available: www.uv.mx/aguerra/documents/2013-ia2-01.pdf . [Último acceso: 20 08 2016].
4. FIPA, «FIPA Specification,» [En línea]. Available: <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/index.html>. [Último acceso: 18 09 2016].

GRAFENO: UNA MIRADA A LOS DIFERENTES MÉTODOS DE SÍNTESIS.

F. Ortiz-Ruiz, B. Ruiz-Camacho, C. Gonzalez-Nava, M. A. López-Pastrana, O. Martínez-Alvarez.

Ingeniería en Energía. Universidad Politécnica de Guanajuato. Avenida Universidad sur 1001, sin colonia, Localidad Juan Alonso Cortázar, Gto. C.P. 38483.

Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas, Noria Alta s/n, Col Noria Alta, Guanajuato, Guanajuato, México. CP 36050.

Autor de correspondencia: omartinez@upgto.edu.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica de los diferentes métodos asociados a la síntesis de grafeno, en donde, se observa que la reducción de óxido de grafeno (OG) es más sencilla y económica estas dos características juegan un papel de suma importancia en el momento de intentar llevar a cabo la producción a escala industrial, sin embargo se ha demostrado que los productos obtenidos mediante reducción térmica no pueden ser dispersados y procesados de una manera sencilla, mientras que para la reducción química los agentes reductores convencionalmente utilizados como la hidracina, hidroquinona, borohidruro de sodio, son perjudiciales para la salud humana y nocivos contra el medio ambiente, por lo tanto como una posible alternativa para solucionar a estos problemas se sugiera que el método más adecuado para la síntesis de grafeno, considerando tanto aspectos económicos como ambientales, es la reducción química del OG utilizando agentes reductores naturales.

INTRODUCCIÓN

La preocupación por los efectos económicos y ecológicos del consumo excesivo de combustibles fósiles nos conduce a la necesidad de encontrar nuevas tecnologías de producción de energía limpia y renovable, con ello la búsqueda de nuevos dispositivos de almacenamiento y generación de energía [1-2]. El grafeno como un material relativamente nuevo se presenta como una posible solución a las problemáticas anteriormente mencionadas, forma parte de los llamados nanomateriales siendo miembro de la familia de alótropos del carbono, a pesar de que su existencia teórica y sus propiedades fueron descritas por Wallace desde 1947 [3], fue sintetizado por primera vez hasta el 2004 por Andre Geim y Konstantin Novoselov, mediante la exfoliación mecánica de grafito utilizando una cinta adhesiva, gracias a ese trabajo ganaron el premio Nobel de física 2010, el grafeno se puede relacionar con una sola capa de la estructura del grafito [4], por lo que cuenta con un espesor de tan solo un átomo, debido a esto su estructura es la de una hoja bidimensional (2D) de átomos de carbono dispuestos en una red hexagonal unidos mediante enlaces sp^2 [5-7]. Desde que fue sintetizado por primera vez y hasta la actualidad se ha convertido en un gran campo de interés e investigación tanto para la comunidad científica como para la industria [8-9], esto debido a sus excelentes propiedades eléctricas (movilidad electrónica $200,000 \text{ cm}^2 \text{ v}^{-1} \text{ s}^{-1}$), térmicas (conductividad $5000 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$), mecánicas (módulo de Young 1.0 TPa), fácil

funcionalización química, impermeabilidad a los gases, transparencia óptica (transmitancia 97.7%) y una gran área superficial específica (teóricamente $2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) [10-14], propiedades que le permiten ser considerado en un gran número de aplicaciones entre las que podemos destacar: dispositivos fotovoltaicos, eléctricos, almacenamiento de energía y en la formación de nanocompuestos [15-19], sin embargo a pesar de sus excelentes propiedades y de su gran campo de aplicaciones en la actualidad no es un material de uso comercial, debido principalmente a que los métodos de síntesis a gran escala son costosos o no muy eficientes, entonces los procesos de síntesis para la obtención de grafeno tienen una gran repercusión dentro de las potenciales aplicaciones de este material [20], existe un número considerable de métodos para la obtención de grafeno, de forma general podemos mencionar: exfoliación mecánica de grafito también conocido como exfoliación micromecánica [21,3], exfoliación química [5], deposición química en fase de vapor (CVD por sus siglas en inglés), crecimiento epitaxial [21], métodos de reducción del óxido de grafeno (GO) [5] y se puede hacer una mención especial para los métodos de “síntesis verde” [10]. A continuación, se analizarán cada uno de los métodos mencionados anteriormente, así como sus diferentes variantes con la finalidad de establecer, mediante los parámetros de costo, eficiencia e impacto en el medio ambiente cuál de ellos resulta más conveniente para la producción de grafeno a escala industrial.

MÉTODOS DE SÍNTESIS DE GRAFENO

Exfoliación mecánica:

Coloquialmente conocido como el “método de la cinta escocesa” fue el primer método con el que se logra aislar una lámina de grafeno, es un método demasiado sencillo y el que no se necesita material o equipo especializado, se basa en la separación de hojuelas de grafito mediante el uso de una cinta adhesiva, las hojuelas se colocan en la superficie adherente de la cinta, después se une y separa la cinta sobre sí misma cuantas veces sea necesaria cabe recalcar que con cada movimiento realizado las capas de grafito son separadas y se vuelven más delgadas, hasta lograr obtener una sola capa “grafeno” las capas de grafeno adheridas en la cinta son depositadas en una superficie fotoresistente y se colocan en acetona finalmente son capturadas en un sustrato tal como SiO_2 [20,3,5], a pesar de que esta es una vía para producir grafeno de muy alta calidad (Grafeno prístino) y a un muy bajo costo, el problema se encuentra en la muy baja cantidad de grafeno que se produce mediante este método esta problemática lo limita a aplicaciones donde la cantidad de grafeno que se necesita es sustancialmente pequeña.

Deposición química en fase de vapor (CVD)

En años recientes el método de CVD se ha presentado como una de las principales alternativas para la producción de grandes cantidades de capas de grafeno de una alta calidad y con ello la posibilidad de su producción a escala industrial [22], de manera muy general, se basa en la descomposición de moléculas que contienen carbono mediante el uso de temperaturas elevadas y la captura de este mediante un sustrato reduciendo la temperatura con ello se logra la adsorción de una capa o pocas capas de grafeno [5], generalmente estos procesos se realizan en reactores CVD en donde una fuente de calor rodea el exterior de un tubo de cuarzo [23], los precursores para la síntesis son los compuestos portadores de carbono, siendo los principales: los hidrocarburos en estado gaseoso debido a su alta pureza, entre ellos el metano es el más popular,

los sustratos son considerados catalizadores para la reacción y estos pueden ser metales de transición tales como: Platino, Cobalto, Níquel, Cobre entre otros. El cobre (Cu) es el catalizador más utilizado gracias a su bajo costo y su baja solubilidad en carbono [24]. El procedimiento de CVD consta de varias etapas: 1) la lámina de cobre o cualquier otro catalizador metálico se limpia previamente para eliminar cualquier tipo de contaminante esto se puede realizar mediante acetona, alcohol isopropílico y ácido acético, 2) el catalizador es colocado en una recámara del tubo de cuarzo del reactor CVD y esta se sella creando un vacío mediante descompresión, cuando la temperatura se logra controlar el catalizar es recocido en una atmósfera de nitrógeno, dependiendo de su punto de función el recocido se puede llevar alrededor de los 1000°C, 3) posteriormente se introduce una atmósfera de metano combinado con argón para iniciar la síntesis, la temperatura puede mantenerse cerca de los 800°C, 4) finalmente cuando al grafeno se ha depositado sobre el catalizador la temperatura es disminuida por debajo de los 100°C y el sustrato es retirado del reactor, posteriormente se inicia un proceso de transferencia para separar la capa de grafeno del sustrato [23-25], existen algunas variantes de este método que buscan reducir el costo del proceso así como aumentar su eficiencia, entre ellos podemos encontrar la síntesis de grafeno por CVD en reactores de pared fría [23], deposición química en fase de vapor a presión atmosférica (APCVD por sus siglas en inglés), deposición química en fase de vapor a bajas presiones (LPCVD por sus siglas en inglés), deposición química en fase de vapor mejorado con plasma (PECVD por sus siglas en inglés) [25], este método como se mencionó anteriormente es una vía prometedora para la producción a gran escala de capas de grafeno con una muy alta calidad, lo que le permite ser considerado en varias aplicaciones, tales como: la electrónica, por otra parte el proceso es en general relativamente sencillo, sin embargo hay que tomar en cuenta que se debe tener un amplio control tanto de la temperatura como de la presión, además en el proceso de transferencia se puede ocasionar un deterioro del grafeno y de sus propiedades, finalmente también se tiene que mencionar que no todos los laboratorios o centros de investigación cuentan con el material necesario para realizar la síntesis mediante CVD.

Crecimiento epitaxial

La producción de grafeno mediante crecimiento epitaxial se basa en la descomposición térmica a altas temperaturas en un ultra alto vacío (UHV por sus siglas en inglés) de carburo de silicio (SiC) mediante la sublimación de los átomos de silicio (Si) presentes en él [26], el mecanismo de crecimiento es básicamente sencillo, en primer lugar, el sustrato de SiC es depositado en un UHV con una atmósfera inerte o atmósfera de argón, posteriormente es calentado a temperaturas (entre 1200°C y 1800°C) con esto se logra hacer que los átomos de Si presentes en la superficie sufran una desorción y los átomos de carbono dispuestos en ella se reordenen formando una capa o pocas capas de grafeno [27-28], el grafeno procedente del crecimiento epitaxial es adecuado para aplicaciones de microelectrónica [29], o aplicaciones de semiconductor como sucesor del silicio [27], una de las ventajas presentes en el crecimiento epitaxial en comparación con el CVD es que no es necesario el proceso de transferencia, sin embargo las películas producidas son de baja calidad y poco homogéneas [27], en los últimos años se han logrado superar estas desventajas produciendo capas de grafeno de muy alta calidad y con un tamaño considerable utilizando 4H-SiC(0001) como sustrato [30-31], pese a esto último el principal problema del crecimiento epitaxial es el elevado costo del SiC lo que lo convierte en un proceso bastante costoso para la producción a escala industrial.

Exfoliación en fase líquida (LPE por sus siglas en inglés):

Entre los diferentes métodos de producción de grafeno, la exfoliación en fase líquida o como también se le suele llamar exfoliación química se presenta como una de las principales alternativas para la producción a gran escala de este material, además es un proceso con el que se logra un producto de muy buena calidad, el grafeno producido mediante LPE es útil en aplicaciones como: fotovoltaica, transistores y en la formación de nanocompuestos [32,5], en este método prácticamente el grafito es exfoliado mediante la disolución en algún disolvente [32], el proceso en general es bastante sencillo y se puede realizar en tan solo tres etapas: 1) grafito en polvo es dispersado en el disolvente mediante sonicación con lo que se obtiene una solución de tonalidad gris, 2) la solución obtenida es centrifugada produciendo una dispersión oscura y homogénea, 3) finalmente el producto obtenido es purificado [32,20], entre los disolventes que se han reportado para la exfoliación en fase líquida podemos encontrar N-metilpirrolidona, fluoruro de polivinilideno, N,N-Dimetilacetamida, γ -Butirolactona, 1,3-dimetil-2-imidazolidinona [32], un disolvente adecuado para realizar la LPE debe cumplir con dos características específicas: 1) tener la capacidad de exfoliar altas concentraciones de material, 2) debe mantener estables los materiales exfoliados el mayor tiempo que sea posible [20], otro proceso para lograr la LPE es mediante el uso de surfactantes en este caso el grafito es mezclado con agua y el surfactante mediante sonicación, ambos procesos han sido adaptados de la LPE para nanotubos de carbón [3], en la actualidad se han reportado concentraciones muy altas de grafeno en solución (63 mg ml^{-1}), en general este proceso es de bajo costo y no tiene efectos negativos en el medio ambiente cuando se utilizan disolventes naturales, el principal problema de la LPE radica en que los disolventes orgánicos que producen altas concentraciones de grafeno cuentan con puntos de ebullición muy elevados lo que los vuelve difícil de eliminar cuando se quiere procesar el grafeno, por otro lado los disolventes con puntos de ebullición bajos tiene un bajo rendimiento en la concentración de grafeno cerca de (0.1 mg ml^{-1}), también es importante mencionar que algunos disolventes pueden afectar las propiedades del grafeno producido [22,5,3], debido a estos problemas producirlo mediante LPE no es una opción viable para su producción a escala industrial.

Reducción del óxido de grafeno (OG):

Este método es una de las alternativas más populares y mayormente utilizadas para la producción a gran escala de grafeno, el proceso consiste de dos etapas: en primer lugar, se encuentra la formación de OG mediante la disolución de grafito en ácidos fuertes, en segundo lugar se realiza un procediendo de reducción del OG mediante agentes reductores, recocido a altas temperaturas y un número muy variado de técnicas para obtener óxido de grafeno reducido (OGr), que es un material con características y propiedades muy similares a las del grafeno prístino.

OG:

El óxido de grafeno (OG), es conocido desde 1859 cuando fue sintetizado por primera vez por Brodie [33], es un material que ha llamado en gran medida la atención de los científicos debido a sus excelentes propiedades entre las que se pueden mencionar: su hidrofilia, capacidad de formar coloides acuosos y la más importante, su capacidad de ser modificado para producir materiales muy parecidos al grafeno, propiedades basadas en la abundancia de grupos funcionales de oxígeno que contiene [34-35], debido a que el OG es el principal precursor en la producción de OGr, entonces se vuelve un requisito indispensable el desarrollo de metodologías adecuada para la producción no solo a gran escala de OG si no también de una excelente calidad [36], entre los procesos para la producción de OG encontramos el método Brodie que es un método actualmente obsoleto debido a que el tiempo de reacción es demasiado largo y el procediendo es poco

eficiente, método Staudenmaier, en este método se logra la oxidación total de grafito en un solo paso sin embargo al igual que el método Brodie el proceso de reacción es demasiado largo además de ser sumamente explosivo, por otra parte Hummers y Offerman desarrollaron un método conocido como el método Hummers que está basado en oxidación de grafito mediante ácido sulfúrico, nitrato de sodio y permanganato de potasio este método ha sido uno de los más empleados para la producción de OG [36], en los últimos años múltiples trabajos han reportado la producción del OG de buena calidad y con la factibilidad de escalarse a una producción industrial utilizando variaciones de método Hummers [37], la metodología de síntesis del OG mediante el método Hummers y algunas variaciones del mismo están ampliamente descritos en los siguientes artículos [33,34,36,38].

Reducción térmica del OG:

La producción de OGr mediante reducción térmica, es un proceso demasiado sencillo, básicamente los grupos funcionales de oxígeno presentes en el OG son eliminados mediante un secado térmico en un horno tubular con flujo de gas nitrógeno a temperaturas que pueden variar entre los (400°C y los 1000°C), las principales aplicaciones de la reducción térmica es la formación de nanocompuestos [39], otros experimentos han mostrado la funcionalización de grafeno con tejidos de algodón mediante reducción térmica, con un procedimiento muy parecido al anteriormente descrito [40], también se ha reportado la reducción de grafeno a bajas temperaturas (por debajo de los 300°C) en una atmosfera ambiente [41-42], una de las desventajas de este método es el control de las temperaturas elevadas lo que aumenta el costo del proceso [43], otro punto a tomar en cuenta es que el daño y los defectos en la red de grafeno producidos por la liberación de gases en el proceso de reducción son inevitables [22].

Reducción química del OG:

La producción de grafeno mediante la reducción química de OG es considera un de las técnicas más eficientes para la preparación de este material a escala industrial, además cuenta con las ventajas de ser un método de bajo costo y no requiere un equipo especializado para realizarse, en este caso la reducción del OG se lleva a cabo mediante agentes reductores, básicamente los grupos funcionales de oxígeno presentes en el OG son eliminados mediante reacciones químicas [44,22], en general el procedimiento se puede realizar en dos etapas: 1) el OG en solución es mezclado con el agente reductor mediante agitación a temperaturas moderadas (por debajo de los 100°C), 2) al terminar el OGr es purificado. Los agentes reductores más comunes para la producción de OGr son: hidracina, hidroquinona y el borohidruro de sodio [45], la principal desventaja de la reducción química del OG es que los agentes reductores normalmente utilizados son tóxicos y pueden tener efectos nocivos contra el medio ambiente.

Síntesis verde:

En esta sección se pueden incluir principalmente procesos de producción de grafeno mediante reducción química del OG, utilizando agentes reductores naturales, debido a que en los últimos años se han realizado una cantidad sustancial de trabajos en este campo, entre los agentes reductores naturales, podemos encontrar a los antioxidantes como: aminoácidos, vitaminas, ácidos orgánicos, etc. [10], algunos de los trabajos realizados reportan la correcta reducción del OG y la producción de OGr de excelente calidad utilizando alanina [46], extracto de *Lycium Barbarum* [45], soluciones de té verde [47] y glucosa [48]. Este parece ser el enfoque adecuado para la producción

de OGr un material que tiene todas las características de grafeno y que puede cumplir todas sus funciones y es adecuado para la mayoría de las aplicaciones.

CONCLUSIONES

El grafeno es un material con propiedades extraordinarias y con un campo de aplicaciones muy amplio, en este trabajo se analizaron las diferentes técnicas de producción de este material, tomado como principales parámetros tanto el costo como la complejidad del proceso de producción, estos dos parámetros pueden considerarse como las bases para llevar a cabo la producción de grafeno a escala industrial, dentro de las diferentes métodos se puede observar que le exfoliación mecánica del grafito, cumple con ambos parámetros sin embargo la cantidad de material que se produce es sustancialmente baja, por otra parte métodos como CVD son procesos algo complejos y en los que se requieren de material especializado, por otra parte el crecimiento epitaxial es un método bastante costoso, la reducción térmica del OG presenta ciertas complicaciones, finalmente se encuentra la reducción química del OG este método cumple perfectamente con los parámetros de costo y complejidad incluso la cantidad de material producido es considerable para la producción a escala industrial, el único problema con este método es el efecto tóxico en personas y dañino contra el medio ambiente, sin embargo en los últimos años se ha trabajado para sustituir los agentes causantes de estos problemas, dando como resultado un método ideal para la producción de grafeno a escala industrial en la reducción química de OG mediante agentes reductores naturales.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. R. Ezeigwe, P. S. Khiew, C. W. Siong, and M. T. T. Tan, "Solvothermal synthesis of NiCo₂O₄ nanocomposites on liquid-phase exfoliated graphene as an electrode material for electrochemical capacitors," *J. Alloys Compd.*, vol. 693, 2017, pp. 1133–1142.
2. J. Bouclé and N. Herlin-Boime, "The benefits of graphene for hybrid perovskite solar cells," *Synth. Met.*, 2015, no. 2015.
3. K. E. Whitener and P. E. Sheehan, "Graphene synthesis," *Diam. Relat. Mater.*, vol. 46, 2014, pp. 25–34.
4. Z. Wang *et al.*, "Synthetic methods and potential applications of transition metal dichalcogenide/graphene nanocomposites," *Coord. Chem. Rev.*, vol. 326, 2016, pp. 86–110.
5. Y. Zhao, X. Li, X. Zhou, and Y. Zhang, "Review on the graphene based optical fiber chemical and biological sensors," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 231, 2016, pp. 324–340.
6. V. Chabot, D. Higgins, A. Yu, X. Xiao, Z. Chen, and J. Zhang, "A review of graphene and graphene oxide sponge: material synthesis and applications to energy and the

- environment," *Energy Environ. Sci.*, vol. 7, no. 5, 2014, p. 1564.
7. C. Fu, M. Li, H. Li, C. Li, C. Qu, and B. Yang, "Fabrication of graphene/titanium carbide nanorod arrays for chemical sensor application," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 72, 2017, pp. 425–432.
 8. H. B. Wang, T. Maiyalagan, and X. Wang, "Review on Recent Progress in Nitrogen-Doped Graphene: Synthesis, Characterization, and Its Potential Applications," *Acs Catal.*, vol. 2, no. 5, 2012, pp. 781–794.
 9. A. Alazmi, S. Rasul, S. P. Patole, and P. M. F. J. Costa, "Comparative study of synthesis and reduction methods for graphene oxide," *Polyhedron*, vol. 116, 2016, pp. 153–161.
 10. S. Thakur and N. Karak, "Alternative methods and nature-based reagents for the reduction of graphene oxide: A review," *Carbon N. Y.*, vol. 94, no. August, 2015, pp. 224–242.
 11. B. Javvaji *et al.*, "Mechanical properties of Graphene: Molecular dynamics simulations correlated to continuum based scaling laws," *Comput. Mater. Sci.*, vol. 125, 2016, pp. 319–327.
 12. J. Molina, J. Fernández, and F. Cases, "Scanning electrochemical microscopy for the analysis and patterning of graphene materials : A review," *Synth. Met.*, vol. 222, 2016, pp. 1–17.
 13. Q. Fang, Y. Shen, and B. Chen, "Synthesis, decoration and properties of three-dimensional graphene-based macrostructures: A review," *Chem. Eng. J.*, vol. 264, 2015, pp. 753–771.
 14. Y. Zhu *et al.*, "Graphene and graphene oxide: Synthesis, properties, and applications," *Adv. Mater.*, vol. 22, no. 35, 2010, pp. 3906–3924.
 15. X. F. Lin *et al.*, "Graphene-based materials for polymer solar cells," *Chinese Chem. Lett.*, vol. 27, no. 8, 2016, pp. 1259–1270.
 16. P. Mahala, A. Kumar, S. Nayak, S. Behura, C. Dhanavantri, and O. Jani, "Graphene, conducting polymer and their composites as transparent and current spreading electrode in GaN solar cells," *Superlattices Microstruct.*, vol. 92, 2016, pp. 366–373.
 17. M. S. Islam *et al.*, "In-situ direct grafting of graphene quantum dots onto carbon fibre by low temperature chemical synthesis for high performance flexible fabric supercapacitor," *Mater. Today Commun.*, 2016.
 18. H. Kahimbi, S. B. Hong, M. Yang, and B. G. Choi, "Simultaneous synthesis of NiO/reduced graphene oxide composites by ball milling using bulk Ni and graphite oxide for supercapacitor applications," *J. Electroanal. Chem.*, vol. 786, 2017, pp. 14–19.
 19. Z. Liu, P. You, C. Xie, G. Tang, and F. Yan, "Ultrathin and flexible perovskite solar cells with graphene transparent electrodes," *Nano Energy*, vol. 28, 2016, pp. 151–157.

20. T. Zhang, J. Liu, C. Wang, X. Leng, Y. Xiao, and L. Fu, "Synthesis of graphene and related two-dimensional materials for bioelectronics devices," *Biosens. Bioelectron.*, vol. 89, 2017, pp. 28–42.
21. L. Chen, N. Li, M. Zhang, P. Li, and Z. Lin, "Effect of preparation methods on dispersion stability and electrochemical performance of graphene sheets," *J. Solid State Chem.*, vol. 249, 2017.
22. Y. Yang *et al.*, "Graphene-based materials with tailored nanostructures for energy conversion and storage," *Mater. Sci. Eng. R*, vol. 102, 2016, pp. 1–72.
23. W. Mu *et al.*, "Controllable and fast synthesis of bilayer graphene by chemical vapor deposition on copper foil using a cold wall reactor," *Chem. Eng. J.*, vol. 304, 2016, pp. 106–114.
24. H. C. Lee *et al.*, "Synthesis of Single-layer Graphene: A Review of Recent Development," *Procedia Chem.*, vol. 19, 2016 pp. 916–921.
25. A. Kumar, S. Khan, M. Zulfequar, Harsh, and M. Husain, "Low temperature synthesis and field emission characteristics of single to few layered graphene grown using PECVD," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 402, 2017, pp. 161–167.
26. H. Hibino, H. Kageshima, F. Maeda, M. Nagase, Y. Kobayashi, and H. Yamaguchi, "Microscopic thickness determination of thin graphite films formed on SiC from quantized oscillation in reflectivity of low-energy electrons," *Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys.*, vol. 77, no. 7, 2008, pp. 1–7.
27. K. V Emtsev *et al.*, "Towards wafer-size graphene layers by atmospheric pressure graphitization of silicon carbide.," *Nat. Mater.*, vol. 8, no. 3, 2009, pp. 203–207.
28. P. N. First, W. A. de Heer, T. Seyller, C. Berger, J. A. Stroscio, and J.-S. Moon, "Epitaxial Graphenes on Silicon Carbide," *MRS Bull.*, vol. 35, no. April, 2010, pp. 296–305.
29. C. Berger *et al.*, "Electronic Confinement and Coherence in Patterned Epitaxial Graphene," *Science (80-.)*, vol. 312, no. 5777, 2006, pp. 1191–1196.
30. C. Berger *et al.*, "Ultrathin Epitaxial Graphite: 2D Electron Gas Properties and a Route toward Graphene-based Nanoelectronics," *J. Phys. Chem. B*, vol. 108, no. 52, 2004, pp. 19912–19916.
31. J. Hass *et al.*, "Highly ordered graphene for two dimensional electronics," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 89, no. 14, 2006.
32. Y. Hernandez *et al.*, "High yield production of graphene by liquid phase exfoliation of graphite," *Nat. Nanotechnol.*, vol. 3, no. 9, 2008, pp. 563–8.
33. W. S. Hummers and R. E. Offeman, "Preparation of Graphitic Oxide," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 80, no. 6, 1958, pp. 1339–1339.
34. J. Guerrero-Contreras and F. Caballero-Briones, "Graphene oxide powders with different

- oxidation degree, prepared by synthesis variations of the Hummers method," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 153, 2015, pp. 209–220.
35. S. Rana and S. B. Jonnalagadda, "Synthesis and characterization of amine functionalized graphene oxide and scope as catalyst for Knoevenagel condensation reaction," *Catal. Commun.*, vol. 92, 2017, pp. 31–34.
 36. J. Chen, Y. Li, L. Huang, C. Li, and G. Shi, "High-yield preparation of graphene oxide from small graphite flakes via an improved Hummers method with a simple purification process," *Carbon N. Y.*, vol. 81, no. 1, 2015, pp. 826–834.
 37. A. V. Talyzin *et al.*, "Brodie vs Hummers graphite oxides for preparation of multi-layered materials," *Carbon N. Y.*, vol. 115, 2017, pp. 430–440.
 38. C. I. Chang, K. H. Chang, H. H. Shen, and C. C. Hu, "A unique two-step Hummers method for fabricating low-defect graphene oxide nanoribbons through exfoliating multiwalled carbon nanotubes," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 45, no. 5, 2014, pp. 2762–2769.
 39. M. R. Vengatesan, S. Singh, S. Stephen, K. Prasanna, C. W. Lee, and V. Mittal, "Facile synthesis of thermally reduced graphene oxide-sepiolite nanohybrid via intercalation and thermal reduction method," *Appl. Clay Sci.*, vol. 135, 2017, pp. 510–515.
 40. G. Cai, Z. Xu, M. Yang, B. Tang, and X. Wang, "Functionalization of cotton fabrics through thermal reduction of graphene oxide," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 393, 2017, pp. 441–448.
 41. E. Tegou, G. Pseiropoulos, M. K. Filippidou, and S. Chatzandroulis, "Low-temperature thermal reduction of graphene oxide films in ambient atmosphere: Infra-red spectroscopic studies and gas sensing applications," *Microelectron. Eng.*, vol. 159, 2016, pp. 146–150.
 42. T. Wang, H. Guo, X. Chen, and M. Lu, "Low-temperature thermal reduction of suspended graphene oxide film for electrical sensing of DNA-hybridization," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 72, 2017, pp. 62–68.
 43. Y. Shang *et al.*, "Preparation and characterization of graphene derived from low-temperature and pressure promoted thermal reduction," *Compos. Part B Eng.*, vol. 99, 2016, pp. 106–111.
 44. R. Wang *et al.*, "A simplified chemical reduction method for preparation of graphene : Dispersivity , reducibility and mechanism," vol. 42, 2016, pp. 19042–19046.
 45. D. Hou, Q. Liu, H. Cheng, H. Zhang, and S. Wang, "Green reduction of graphene oxide via Lycium barbarum extract," *J. Solid State Chem.*, vol. 246, no. November 2016, 2017, pp. 351–356.
 46. J. Wang, E. C. Salihi, and L. Miller, "Green reduction of graphene oxide using alanine," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 72, 2017, pp. 1–6.
 47. Y. Wang, Z. X. Shi, and J. Yin, "Facile synthesis of soluble graphene via a green reduction of graphene oxide in tea solution and its biocomposites," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol.

3, no. 4, 2011, pp. 1127–1133.

48. O. Akhavan, E. Ghaderi, S. Aghayee, Y. Fereydooni, and A. Talebi, “The use of a glucose-reduced graphene oxide suspension for photothermal cancer therapy,” *J. Mater. Chem.*, vol. 22, no. 27, 2012, p. 13773.

CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE PELÍCULAS DE TiO_2 -W OBTENIDAS POR SPIN COATING

Ma Guadalupe Garnica Romo, Maricela Villicaña Mendez, Laura Díaz Flores, Leandro García González y Cindy Velázquez González

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

Facultad de Ingeniería Química. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

Facultad de Ingeniería, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología, Universidad Veracruzana.

Estudiante de Maestría en Ciencias en Ingeniería Física, Facultad de Ciencias en Físico-Matemáticas, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.

RESUMEN

Caracterización de películas delgadas de TiO_2 dopadas con W crecidas por spin coating sobre sustratos de vidrios corning, secadas y tratadas térmicamente a $500\text{ }^\circ\text{C}$ por una hora. Se obtuvieron películas de TiO_2 -W transparentes. La síntesis del TiO_2 -W se obtuvo por el proceso sol-gel se analizaron sus propiedades estructurales y morfológicas por difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido, microanálisis por dispersión de energía, espectroscopia Raman y tamaño de partícula. La síntesis presenta aumento de ácidos del TiO_2 -W con respecto al TiO_2 puro, lo cual representa mayor afinidad de foto-oxidación de la película. Los patrones de difracción de rayos X muestran que el óxido de titanio se encuentra en su fase anatasa que la más activa del TiO_2 . Caracterización morfológica de las películas realizada por microscopía electrónica de barrido presenta microesferas. Espectros de infrarrojo revelan los modos de vibración característicos del TiO_2 a 1122 cm^{-1} , mientras que por espectroscopia ultravioleta-visible presenta absorción a los 400 nm, con una transmisión de la luz del 80%, análisis de reflectancia difusa muestra una superficie reflectiva y un band gap de 3.24 eV y por último los espectros de Raman muestran bandas características de TiO_2 a 142, 196 y 394 cm^{-1} . Lo cual podemos observar que las películas dopadas con W son transparentes.

INTRODUCCIÓN

La técnica sol-gel consiste en la hidrólisis de los precursores moleculares y la policondensación a una forma vidriosa (matrices amorfas). Por su porosidad permite la agregación de sustancias orgánicas e inorgánicas durante la formación de la red vidriosa alrededor de $20\text{ }^\circ\text{C}$ y a presión atmosférica. Esta técnica es atractiva por las siguientes razones: buena homogeneidad, fácil control de la composición, procesamiento a bajas temperaturas, gran área de recubrimiento, posibilidad de mezclar y dopar óxidos con otros materiales, control de la microestructura de los recubrimientos depositados, buenas propiedades ópticas y bajo costo del equipo puesto que no se requiere utilizar sistemas para alcanzar alto vacío ⁽¹⁾.

Ha habido extensos estudios de TiO_2 exhibiendo propiedades antirreflectantes, así como una alta estabilidad mecánica y química, además de una elevada transparencia en el espectro solar visible ⁽²⁾. El dióxido de titanio (TiO_2) también ha sido ampliamente utilizado como material fotocatalítico; para la purificación del medio ambiente ha atraído considerable atención debido a la aplicación para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes, en fases líquida y gaseosa. Es bien sabido que este semiconductor tiene algunas desventajas tales como una alta

relación de recombinación y amplia banda de energía 3(V. Iliev, 2001. La aplicación práctica de TiO_2 es inhibida por su baja eficiencia de utilización de fotones y la necesidad de una fuente de excitación ultravioleta que representa solo una pequeña fracción de la energía solar (3-5%). Por lo tanto, es un problema desarrollar nuevos sistemas fotocatalíticos de TiO_2 con actividades mejoradas tanto en el espectro Ultravioleta y luz visible. En los últimos años, varios enfoques de dopaje de tungsteno han sido desarrollado para mejorar la actividad fotocatalítica de TiO_2 , se encontró que la actividad fotocatalítica en luz visible de nanopolvos TiO_2 producida por síntesis pulverización de llama (FSS) se mejoró significativamente por el W-dopaje, así como por tratamiento térmico adicional de los nanopolvos.

PARTE EXPERIMENTAL

La síntesis del TiO_2 , se obtuvieron por el proceso vía sol-gel a partir del hidrolisis y la condensación de tetraisopropoxido de titanio en un medio acuoso. Para este propósito se adiciono 0.220 ml de agua desionizada a 37 ml de 2-propanol y se acidifico con ácido acético y ácido nítrico; posteriormente se incorporó por goteo 0.02 mol de tetraisopropoxido de titanio. En la síntesis del TiO_2 dopados con tungsteno, contienen 0.5-4% de tungsteno, a la matriz de TiO_2 se incorpora en habitación oscura una disolución de ácido túngstico en 2-propanol (20:1), por goteo en agitación vigorosa; las síntesis se dejan envejecer por 24 hrs en frascos ámbar para posteriormente ser depositados sobre vidrios corning por spin coater Figura 1, posteriormente estos recubrimientos fueron secados secadas a 60°C por 30 minutos (STT), tratados térmicamente por 1 hr a 500°C (TT).

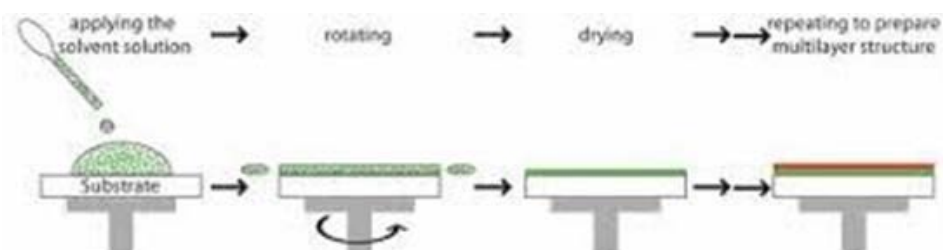


Figura 1. Proceso de deposición de las películas

RESULTADOS

Se utiliza la técnica de caracterización de DRX para identificar la estructura cristalina que forma la película depositada sobre el vidrio corning, las cuales son de TiO_2 puro y dopadas con tungsteno a diferentes concentraciones. Para verificar que es lo que sucede con la estructura de TiO_2 al incorporar el tungsteno en la matriz, si esta sufre o no alteración estructural.

La figura 2 podemos observar la película de TiO_2 puro se puede observar claramente el pico principal de la fase anatasa en la estructura del TiO_2 , mismo que fueron analizados. Note que en ninguno de los espectros aparece como pico principal alguno del tungsteno metálico o formando algún óxido, de acuerdo a los analizados; pero contrario a ello existe un corrimiento en el pico principal del TiO_2 , que se asocia a la inclusión del dopante, el cual se encuentra situado en ángulo de $2\theta=25.22^\circ$ para el TiO_2 puro y sufre ligeros corrimientos a la izquierda del plano en las diferentes concentraciones de W, las cuales tienden a moverse a un rango de los 24.60° - 25.14° pero aun considerados dentro de la estructura de la fase anatasa del TiO_2 .

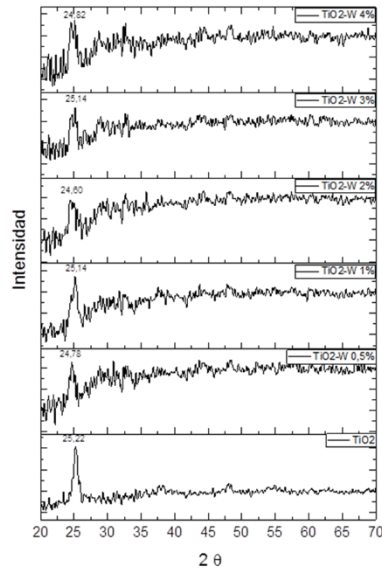


Figura 2. Películas de TiO₂ y dopadas (0.5-4%) W, tratadas a 500 °C por 1 hr.

En la figura 3, se observa que todas las concentraciones de tungsteno presentan la bandas que absorben de 290-370 nm, y a su vez se puede observar que las muestras con menor concentración de tungsteno (0.5-1%), presenta una segunda banda de absorción de los 390-530 nm; mientras que las películas TiO₂-W (2-4%) presentan una sola banda aunque de menor intensidad, esto es que presentan menor reflectancia difusa debido a que la energía es temporalmente absorbida y luego re-emitida por la película, es de menor intensidad, y por tanto la luz reflejada especularmente es relativamente más fuerte, lo cual ocurre en superficies brillantes.

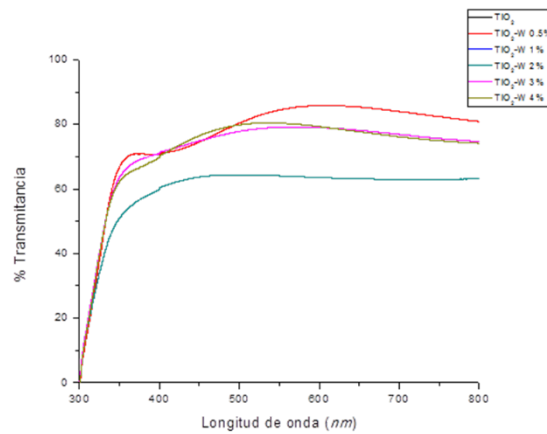


Figura 3. Espectro de Reflectancia Difusa de las películas de $\text{TiO}_2\text{-W}$ (0.5-4%) con tratamiento térmico

Los espectros Raman presentados, fueron analizados en los crecimientos de 5 capas, en película de titanio y titanio-tungsteno a diferentes concentraciones; en la figura 4, podemos apreciar las bandas características del TiO_2 las cuales se detectan a 142, 196, 394, 514 y 636 cm^{-1} , que son atribuidas al TiO_2 en fase anatasa, sin registro de bandas atribuidas a la fase rutilo, de acuerdo a lo reportado por Rampaul et. al. ⁽⁴⁾. La película de 0.5% de tungsteno, presenta unas pequeñas ondulaciones que a partir del 1% se intensifican formando las bandas a 122, 250 y 365 cm^{-1} , atribuidas a $\delta(\text{O-W-O})$ reportado por (Epifani, y otros, 2015) y (Djaoued, Balaji, & Beaudoin, 2013)

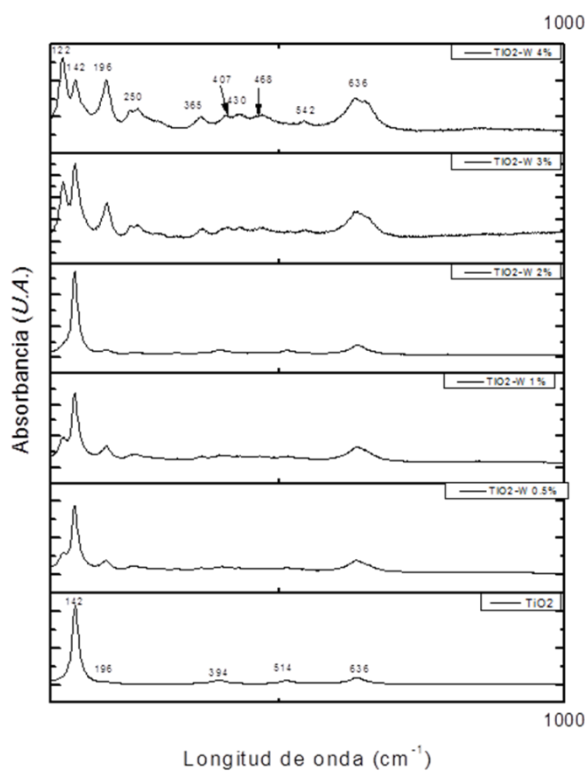


Figura 4. Espectroscopia Raman películas de TiO_2 y dopadas con W (0.5-4%) con tratamiento térmico

CONCLUSIONES

Analizando la caracterización por DRX, presenta los picos de difracción de la fase anatasa en la película de TiO_2 puro y dopados con tungsteno a los ($2\theta = 24.82\text{-}25.22$), se logra la fase deseada y se observa un corrimiento en el pico principal que se asocia de acuerdo a las mediciones de distancia interplanar un aumento en proporción al dopaje, los cuales muestran una expansión de la estructura en el plano (101), debida al agente dopante en los intersticios de la matriz de TiO_2 . De la misma manera la RAMAN presenta los modos de vibración características del TiO_2 en fase

anatasa ($142, 196, 394\text{cm}^{-1}$, etc.), corroborando lo observado en DRX; a su vez se observan los modos de vibración del $\alpha(\text{O-W-O})$ ($122, 250$ y 365 cm^{-1}).

Por espectroscopia de la UV-VIS, es notable en aumento en la absorción del TiO_2 de 348 nm con respecto al $\text{TiO}_2\text{-W } 4\%$ que absorbe a los 400 nm con 80% de transmisión de la luz lo cual nos ratifica la transparencia del material.

Agradecimientos: Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por su soporte económico al proyecto titulado “Síntesis y Caracterización de películas delgadas de TiO_2 dopado con W obtenidas por spin-coater”

BIBLIOGRAFÍA

1. P. Ivanov, Tzolov, “fabrication and characterization of thick-film gas sensor”, [Publicación periódica] // Universitat Rovira i Virgili Departament d'enginyeria electrònica, 2004
2. B.E. Yoldas T.W. O'keefe, Appl. Opt. [Sección de libro], 1979
3. **V. Iliev, D. Tomova, S. Rakovsky, A. Eliyas, G. Li** Journal of molecular catalysis [Publicación periódica]. - [s.l.] : Puma, 2001, 141, p.p. 51-57 .
4. A. Rampaul, I. Parkin, S. A. O'Neill, J. DeSouza, A. Mills y N. Elliott, “Titania and Tungsten doped titania thin films on glass; active photocatalysts”. Polyhedron, 2003, p.p. 35-44.

SECADO POR ASPERSIÓN DE EXTRACTOS DE CHILE HABANERO EMPLEANDO GOMA ARÁBIGA COMO MATERIAL DE SOPORTE

J.A. Olguín-Rojas, *M. Morales-Guillermo; J. Contreras Escobar; M. Ramirez-Velazquez; J. Torres-Cadena; M. A. Garcia-Alvarado; G.C. Rodríguez-Jimenes.

TecNM, Instituto Tecnológico de Veracruz, Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos

Verano Científico, Academia Mexicana de Ciencias

Universidad Tecnológica de Tecamachalco

RESUMEN

Los extractos de chile habanero contienen fitoquímicos de interés, debido a su actividad bioquímica benéfica para la salud humana. El secado por aspersión es el proceso más empleado para la conservación de extractos de origen natural. Sin embargo, es necesario emplear materiales de soporte o encapsulantes que permitan proteger dichos compuestos del medio ambiente, la goma arábica es de los más empleados para secar extractos vegetales. El objetivo de este proyecto es evaluar el efecto de las variables del proceso de secado por aspersión sobre las propiedades físicas de extractos secos de chile habanero, empleando goma arábica como material de soporte. El secado por aspersión se llevó a cabo en un secador por aspersión Buchi 290 empleando 140 - 130 °C y 70 °C – 60 °C de temperaturas de entrada y salida respectivamente. Se empleó una mezcla de goma arábica y sílice precipitada (95:05) en dos relaciones 66.6 % y 80 %. Se evaluó el efecto de las variables del secado sobre la humedad, aw, rendimiento del proceso, densidad a granel y fluidez de las partículas obtenidas. El análisis estadístico mostró que no hay diferencia significativa en la aw ($p < 0.05$), pero la concentración de material de soporte si tiene efecto significativo en el % de humedad y el efecto combinado de la concentración de material de soporte y temperatura de salida sobre el rendimiento del proceso y densidad a granel. Finalmente ninguna de las variables en el rango evaluado tiene efecto sobre la fluidez del polvo obtenido, el cual presenta una fluidez media.

INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense*) destaca debido a su contenido de capsaicina en el fruto (Pino et al., 2007), así como su aroma y su variedad de color al alcanzar la madurez, los cuales van desde amarillo, naranja, rojo, morado o blanco (Giuffrida et al., 2013). Además de los capsaicinoides, el fruto presenta otros compuestos de interés, tales como carotenoides y compuestos fenólicos; estos fitoquímicos o compuestos bioactivos, han demostrado tener efectos positivos en los humanos, por lo cual su uso es amplio, en industrias como la química, farmacéutica y recientemente en la industria alimentaria (Materska & Perucka, 2005; Reyes-Escogido, Gonzalez-Mondragon, & Vazquez-Tzompantzi, 2011). El proceso principal para la obtención de dichos compuestos, es la extracción sólido líquido, en el cual el chile previamente deshidratado, es puesto en contacto con un solvente, generalmente etanol (Boyadzhiev, Kancheva, Guiraud, & Gourdon, 1999; Fernández, 2007). Sin embargo, los compuestos bioactivos del extracto obtenido están propensos a la degradación debido a la exposición al medio ambiente (luz, calor y

oxígeno). Una alternativa para la conservación de compuestos bioactivos a partir de extractos vegetales es el secado por aspersión, dicho proceso permite generar partículas de fácil manipulación, en las cuales los compuestos bioactivos, son protegidos del ambiente por un recubrimiento polimérico, estas partículas permiten una mejor dosificación del agente activo (Ezhilarasi, Karthik, Chhanwal, & Anandharamakrishnan, 2013). Estos productos seco, polvos o capsulas, se ha empleado ampliamente en industrias tales como la farmacéutica, para la liberación controlada de fármacos, en la industria de los alimentos, para el control de propiedades sensoriales, como el sabor, color, olor y textura, también permite la adición de compuestos benéficos a la salud (An, Yan, Li, & Li, 2014; Da Silva et al., 2013; Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, & Saurel, 2007; William III, Watts, & Miller, 2012). Las variables del proceso a tener en cuenta durante el secado por aspersión de extractos vegetales son: la temperatura de entrada y de salida del agente de secado, las propiedades del gas (humedad, velocidad de flujo), así como, el contenido de sólidos, el tipo de disolvente, la viscosidad y la tensión superficial de la solución de alimentación o extracto además de la naturaleza de los compuestos bioactivos (Paudel, Worku, Meeus, Guns, & Van den Mooter, 2013; Vehring, 2008). El objetivo de este trabajo se centra en evaluar las condiciones de operación del secado por aspersión en ciclo cerrado de extractos de chile habanero, considerando las variables del proceso (temperatura de entrada y salida del gas de secado, N_2) y solución de alimentación (concentración del material de soporte), sobre la humedad, a_w , rendimiento del proceso, densidad a granel y fluidez de las partículas obtenidas (evaluada por el índice de Carr y la relación de Hausen).

TEORÍA

El cultivo del chile ha tenido importancia en la historia, tradición y cultura de México, ha llegado a ser un producto agrícola con alta demanda mundial, ubicado entre las siete hortalizas más cultivadas del mundo, con una producción mundial estimada de 24 millones de toneladas (Pérez Castañeda, Castañón Nájera, & Mayek Pérez, 2008). El género *Capsicum chinense*, al cual pertenece el chile habanero, es originario del Amazonas e introducido en Centro América, la región de Yucatán y las islas del Caribe (Navarro et al., 2008). Dentro de los atributos del chile habanero, destaca principalmente su alta concentración de capsaicinoides, con respecto a las demás especies del genero *Capsicum spp.* Así como su aroma y su variedad de color al alcanzar la madurez, los cuales van desde amarillo, naranja, rojo, morado o blanco (Crisótomo, 2012; Giuffrida et al., 2013). Diversas investigaciones han demostrado que los capsaicinoides, y la capsaicina, en particular, tienen una amplia variedad de actividades biológicas y fisiológicas que les proporcionan funciones tales como antioxidantes, anticarcinogénicos, y antiinflamatorios (Reyes-Escogido et al., 2011).

La oleorresina de *capsicum* es un aceite viscoso de color intenso, con aroma típico al chile, se extrae a partir de frutos maduros pertenecientes al género *capsicum* en sus diferentes variedades (*annuum*, *chinense* y *frutescens*). Para su obtención, convencionalmente, se realiza un proceso de extracción con solventes orgánicos (hexano o etanol principalmente), mediante maceración (Pérez-Gálvez, Jarén-Galán, & Isabel, 2006), recientemente se ha evaluado la extracción sólido líquido por maceración en etapas múltiples de matrices vegetales, con la intención de incrementar el rendimiento del proceso de extracción (Castillo-Santos et al., 2016). El extracto resultante contiene una mezcla compleja de aceites esenciales, ceras materiales coloreados y capsaicinoides (Pérez-Gálvez et al., 2006). También contiene ácidos de resinas y sus ésteres, proteínas, aminoácidos, terpenos y productos de oxidación o polimerización de éstos. Sin embargo son aquellos fitoquímicos con actividad biológica o benéfica para el ser humano (carotenoides, compuestos fenólicos y capsaicinoides) los de mayor interés. Una alternativa para la conservación de estos compuestos es mediante el secado por aspersión de extractos vegetales, lo que permite obtener partículas con diámetros de unos pocos mm a unos pocos nm (Vehring, 2008).

El secado por pulverización, aspersión o spray drying es un método ampliamente utilizado para secar soluciones acuosas u orgánicas, emulsiones, suspensiones o dispersiones en la industria

química y alimentaria. Implica el proceso de transformación de la alimentación (solución) en partículas secas asperjando la alimentación en un medio de gas seco caliente (Ezhilarasi et al., 2013). En las últimas décadas se ha convertido en un proceso altamente competitivo para la obtención de una variedad de productos, por ejemplo: leche en polvo, detergentes, colorantes, productos farmacéuticos, extractos en polvo, etc. (Büchi, 2002; Gouin, 2004). Sin embargo, para llevar a cabo el proceso de secado por aspersión, es necesario evaporar previamente el disolvente orgánico del extracto para evitar su combustión durante el secado. Esta etapa se asocia con la consecuente reducción del rendimiento de los compuestos bioactivos (Kumar, Duduku, & Awang, 2008). Una opción para evitar la evaporación previa del solvente del extracto, es emplear durante el secado, gases inertes en recirculación (por ejemplo, nitrógeno), lo cual se consigue acoplado a la unidad de secado por aspersión a una bomba de calor que le confiere una configuración de ciclo cerrado. Para el secado de extractos vegetales es necesario la adición de materiales de soporte, debido principalmente a las dificultades del secado por aspersión de compuestos de bajo peso molecular (Souza & Oliveira, 2006). La goma arábiga ha sido utilizada como material de soporte debido a su buena capacidad emulsionante y baja viscosidad en solución acuosa, lo que ayuda al proceso de secado por aspersión. Además, proporciona buena retención de sustancias volátiles y confiere una protección eficaz contra la oxidación (Reineccius, 1991).

Dentro de las características físicas de los productos obtenidos por el secado por aspersión, la fluidez del polvo es un parámetro importante, en el manejo de polvos farmacéuticos. Hay varios factores que influyen en el grado de fluidez de un polvo y entre ellos están: la cohesión entre moléculas, la composición química del material, el tamaño de partícula y la humedad, ya que en la práctica los polvos húmedos no fluyen tan fácilmente como lo hacen los secos. El comportamiento cohesivo en sólidos a granel es causado por numerosos mecanismos tales como la presencia de humedad, fuerzas de cohesión entre partículas (fuerzas electrostáticas, higroscopicidad, etc.) y entrelazamiento geométrico de materiales granulares (Tze et al., 2012).

PARTE EXPERIMENTAL

Secado por aspersión en ciclo cerrado de extractos etanólicos de chile habanero

Para la obtención del extracto se colocó chile habanero deshidratado (10 % b. h) en contacto con una mezcla de EtOH:H₂O (70:30) a 50 °C y 150 rpm, en un arreglo multietapas, hasta 3 etapas de extracción según lo reportado por Olguin-Rojas (2014). Para el proceso de secado por aspersión en ciclo cerrado, se empleó un secador por aspersión (BÜCHI B-290) acoplado a una bomba de calor (BÜCHI B-295) y un equipo deshumidificador (BÜCHI B-296). El secador funciona bajo el principio de un atomizador de flujo a co-corriente, esto es, el producto que es asperjado y el flujo de aire de secado fluyen en la misma dirección. El material de soporte se disolvió en agua previamente y se agregó al extracto, se mantuvo en agitación durante todo el proceso de secado con ayuda de un agitador magnético. La proporciones evaluadas fueron del 80 % y 66.67 % con respecto a los sólidos del extracto. Los experimentos se realizaron por duplicado, empleando diferentes temperaturas de entrada (130 y 140 °C) y de salida del gas (60 y 70 °C). Se empleó nitrógeno como gas de secado. El rendimiento del proceso se calculó como la relación entre el contenido total de sólidos del producto obtenido y los sólidos totales alimentados.

Determinación del contenido de humedad y actividad de agua

Al producto obtenido después del proceso de secado por aspersión, se le determinó el contenido de humedad por el método oficial AOAC 32.1.03 (2006), el cual consiste en la evaluación por diferencia de peso de la muestra inicial y la muestra después de un secado en horno al vacío a 60 kPa y 60 °C. Se expresó en términos de porcentaje en base húmeda (% b.h.). La actividad de agua (aw) se determinó utilizando un higrómetro AquaLab Series 3 (Decagon Devices Inc) a 25 °C.

Determinación de fluidez

La determinación de la fluidez del extracto seco de chile habanero se realizó mediante el índice de Carr y la relación de Hausen, para lo cual se determinó la densidad aparente o a granel y la densidad compactada del producto obtenido.

Determinación de densidad a granel y densidad compactada

El producto obtenido se colocó en una probeta hasta ocupar un volumen de 10 mL, posteriormente fue pesada. La densidad aparente se determinó como la relación entre el peso de la muestra y el volumen aparente observado, ecuación 1.

$$\rho_a = \frac{\text{peso de la muestra [g]}}{\text{volumen aparente [mL]}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Después del volumen inicial, la probeta fue golpeada ligeramente hasta observar un volumen constante, el cual fue registrado como volumen compactado. La densidad compactada se determinó como la relación del peso de la muestra y el volumen compactado, ecuación 2.

$$\rho_c = \frac{\text{peso de la muestra [g]}}{\text{volumen compactado [mL]}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Determinación de la Relación de Hausen y el Índice de Carr

La relación de Hausen, son valores adimensionales relacionados con la fluidez de un polvo, el índice de Carr representa la compresibilidad de un polvo, la fluidez de los polvos se determinó según la tabla 1

$$IC = 100 \times \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$RH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad \text{Ecuación 4}$$

Tabla 9 Relación del índice de Carr y relación de Hausner con la fluidez de polvos

Relación Hausner (RH)	Fluidez	Índice de Carr (IC)	Fluidez
1.0 < HR < 1.1	Libre	5 < IC < 15	Libre
1.1 < HR < 1.25	Media	15 < IC < 25	Media
1.25 < HR < 1.4	Pobre	IC > 25	Pobre
HR > 1.4	Muy pobre		

Análisis estadístico del proceso de secado por aspersión

Para la evaluación del efecto de las variables del secado por aspersión, sobre las propiedades físicas y de fluidez del extracto seco de chile habanero, se estableció el siguiente modelo estadístico incluyendo términos lineales y sus interacciones para obtener los estimadores de los parámetros (β_i) mediante regresión lineal multivariado. Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza multivariado (MANOVA) para definir los parámetros significantes para cada respuesta ($p < 0.05$).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \beta_{12} x_{i1} x_{i2} + \beta_{13} x_{i1} x_{i3} + \beta_{23} x_{i2} x_{i3}. \quad \text{Ecuación 5}$$

donde las variables independientes son:

x1 = Temperatura de entrada del aire

x2 = Temperatura de salida del aire

x3 = Proporción de goma arábica

Las variables dependientes corresponden a cada una de las respuestas evaluadas:

y1 = % de humedad

y2 = Actividad de agua

y3 = % de rendimiento del proceso

y4 = Densidad aparente

y5 = Densidad compactada

y6 = Relación de Hausner

y7 = Índice de Carr

RESULTADOS

Efecto del secado por aspersión sobre las propiedades físicas y de fluidez de extractos etanólicos de chile habanero

Las condiciones de operación: temperaturas de entrada y salida del gas de secado, son necesarios para garantizar la estabilidad y la calidad del producto terminado (Georgetti, 2008). A continuación se describen los resultados del análisis estadístico del proceso de secado por aspersión en ciclo cerrado.

Significancia de los estimadores de los parámetros del secado por aspersión de extractos de chile habanero

En la tabla 2 se presentan los valores promedios obtenidos para cada respuesta, así como su comparación entre tratamientos por medio de un análisis de pares de Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 10 Propiedades físicas y de fluidez del extracto seco de chile habanero en cada tratamiento evaluado.

T _{Entrada} [°C]	T _{Salida} [°C]	% MS	% humedad	aw	% Rendimiento	P _{aparente} [gmL ⁻¹]	P _{compactada} [gmL ⁻¹]	RH	IC
140	70	80	15.185 ^a	0.388 ^a	72.778 ^a	0.272 ^b	0.341 ^{ab}	1.249 ^a	19.601 ^a
130			14.492 ^a	0.260 ^a	63.611 ^a	0.297 ^{ab}	0.355 ^{ab}	1.196 ^a	16.214 ^a
140	60		10.590 ^{abc}	0.344 ^a	58.333 ^a	0.323 ^{ab}	0.369 ^{ab}	1.142 ^a	12.461 ^a
130			11.578 ^{ab}	0.575 ^a	54.722 ^a	0.351 ^a	0.445 ^a	1.267 ^a	21.083 ^a
1140	70	66.66	7.741 ^{bc}	0.300 ^a	59.259 ^a	0.271 ^b	0.322 ^{ab}	1.187 ^a	15.549 ^a
130			6.432 ^c	0.273 ^a	46.296 ^a	0.301 ^b	0.389 ^{ab}	1.291 ^a	22.477 ^a
140	60		7.131 ^{bc}	0.373 ^a	54.630 ^a	0.264 ^b	0.311 ^b	1.176 ^a	14.939 ^a
130			7.182 ^{bc}	0.303 ^a	50.926 ^a	0.280 ^{ab}	0.341 ^{ab}	1.216 ^a	17.733 ^a

Con los estimadores de los parámetros (β_i) se realizó el análisis de varianza multivariado (MANOVA) para determinar el efecto significativo de las variables del proceso de secado por aspersión sobre cada variable de respuesta (y_i). Los valores de las probabilidades (p) se utilizaron para definir la significancia de cada parámetro. Valores de $p < 0.05$ indicaron que los parámetros evaluados fueron significantes. En la tabla 3 se presentan los valores de las p . El análisis estadístico mostró evidencia de que las variables del proceso de secado por aspersión tienen efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el conjunto de variables de respuestas evaluado; a excepción de la actividad de agua, el índice de Carr y la relación de Husner, las cual no presentan variación significativa ($p < 0.05$) en las muestras obtenidas a partir de los diferentes tratamientos aplicados.

Humedad y actividad de agua del extracto seco de chile habanero

El contenido de humedad y la actividad de agua de los tratamientos evaluados se muestran en la tabla 2, las variables de proceso evaluadas no tiene efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la actividad de agua de los polvos obtenidos, sin embargo los valores obtenidos se encuentran en el rango de 0.26-0.57, de igual forma los valores de humedad alcanzados entre 7.1 - 15.1 %, a mayor concentración de goma arábica en el extracto, mayor es el contenido de humedad, contrario a lo observado para el uso de otros materiales de soporte como la maltodextrina, almidón o sílice precipitada, esto se le ha atribuido a las características higroscópicas de la goma arábica.

Tabla 11 Significancia de los parámetros del proceso de secado por aspersión para cada variable de respuesta.

	T _{ENTRADA}	T _{SALIDA}	% MS	T _{ENTRADA} - T _{SALIDA}	T _{ENTRADA} - MS	T _{SALIDA} - MS
% HUMEDAD	0.715	0.020	< 0.000	0.267	0.559	0.017

AW	0.973	0.060	0.098	0.100	0.276	0.352
% RENDIMIENTO	0.102	0.181	0.043	0.380	0.813	0.181
DENSIDAD APARENTE	0.036	0.085	0.011	0.786	0.861	0.009
DENSIDAD COMPACTADA	0.022	0.396	0.055	0.710	0.910	0.028
RELACIÓN DE HAUSEN	0.138	0.379	0.907	0.405	0.594	0.708
ÍNDICE DE CARR	0.126	0.410	0.882	0.395	0.623	0.734

Evaluación de la fluidez del extracto seco de chile habanero

La densidad aparente del polvo obtenido fue de 0.264 – 0.351 gmL^{-1} , la densidad compactada se observó en un rango de 0.322 – 0.445 gmL^{-1} , lo cual está relacionado con la humedad del producto. Estos valores coinciden con los reportados por Tonon et al., (2011) para el secado por aspersión de jugo de acai (*Euterpe oleracea*). El índice de compactación fue de 14.93 al 22.47 %, la fluidez del polvo, evaluada por la relación de Hausner, es de media a pobre, coincidente con los valores observados mediante el índice de Carr. La escasa fluidez está relacionada con las fuerzas de van der Waals y las fuerzas electrostáticas las cuales son reforzadas por la humedad adsorbida, ya que las distancias entre partículas disminuyen con el espesor añadido por la capa de agua absorbida (Tze et al., 2012).

CONCLUSIONES

El secado por aspersión empleando nitrógeno como gas de secado, en ciclo cerrado es una alternativa viable para la obtención de extractos etanólicos de chile habanero secos, empleando goma arábiga como material de soporte. El producto obtenido presenta características propias de un producto seco, con una fluidez de media a pobre.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada a J.A. Olgún-Rojas y M. Morales-Guillermo y a la Academia Mexicana de Ciencias por la beca otorgada a J. Contreras Escobar, así como al Tecnológico Nacional de México por el apoyo económico para el proyecto TNM-5671.15-P

BIBLIOGRAFÍA

1. An, Y. P., Yan, X. X., Li, B., & Li, Y. (2014). Microencapsulation of capsanthin by self-emulsifying nanoemulsions and stability evaluation. *European Food Research and Technology*, 239(6), 1077-1085. doi: 10.1007/s00217-014-2328-3
2. AOAC. (2006). Official Methods of Analysis. Washington, D.C.: Association of Official Analytical Chemists.

3. Boyadzhiev, L., Kancheva, D., Guiraud, P., & Gourdon, C. (1999). On carotenoids and capsaicin extraction from red paprika (*Capsicum annum* L.) fruits. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, 27(1), 37-41.
4. Büchi. (2002). Training papers spray drying. 19.
5. Castillo-Santos, K., Aguirre-Alonso, R. O., Rodríguez-Jimenes, G. C., Robles-Olvera, V. J., Salgado-Cervantes, M. A., & García-Alvarado, M. A. (2016). An optimization based algorithm for solving design problems of counter-current multistage batch solid-liquid extractors for complex systems: Application to vanilla extract. *Computers & chemical engineering*, 89, 53-61.
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.03.004>
6. Crisótomo, M. P. (2012). *Caracterización nutrimental de chile habanero (Capsicum chinense Jacq) deshidratado cultivado bajo condiciones de invernadero*. (Licenciatura), Universidad Veracruzana, Orizaba-Cordoba.
7. Da Silva, F. C., Da Fonseca, C. R., De Alencar, S. M., Thomazini, M., Balieiro, J. C. d. C., Pittia, P., & Favaro-Trindade, C. S. (2013). Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried propolis, a natural food additive, using gum Arabic and OSA starch-based carrier systems. *Food and Bioprocess Processing*, 91(1), 28-36. doi: 10.1016/j.fbp.2012.08.006
8. Ezhilarasi, P. N., Karthik, P., Chhanwal, N., & Anandharamakrishnan, C. (2013). Nanoencapsulation Techniques for Food Bioactive Components: A Review. *FOOD AND BIOPROCESS TECHNOLOGY*, 6(3), 628-647. doi: 10.1007/s11947-012-0944-0
9. Fernández, T. J. P. (2007). Extracción convencional de oleoresina de pimentón dulce y picante I. Generalidades, composición, proceso e innovaciones y aplicaciones. *Grasas y aceites*, 58(3).
10. Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121.
11. Giuffrida, D., Dugo, P., Torre, G., Bignardi, C., Cavazza, A., Corradini, C., & Dugo, G. (2013). Characterization of 12 Capsicum varieties by evaluation of their carotenoid profile and pungency determination. *Food Chemistry*, 140(4), 794-802. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.09.060
12. Guin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*, 15(7-8), 330-347.
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005>
13. Kumar, P., Duduku, K., & Awang, B. (2008). Selection of optimum process, solvent and drying method for extraction of antioxidants. *Jurnal Teknologi*, 48(F), 85-98.
14. Materska, M., & Perucka, I. (2005). Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1750-1756.
15. Navarro, L. A. A., López, J. F. J., López, D. J. P., López, R. L., Hernández, M. B. R., Ramírez, M. J. A. R., . . . Sánchez, A. M. (2008). *Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del chile habanero (Capsicum chinense Jacq.) en el estado de Tabasco*
16. Olguín-Rojas, J. A. (2014). *Optimización del proceso de extracción de oleoresinas de chile habanero (Capsicum chinense)*. (Maestría Tesis de maestría), Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz México.
17. Paudel, A., Worku, Z. A., Meeus, J., Guns, S., & Van den Mooter, G. (2013). Manufacturing of solid dispersions of poorly water soluble drugs by spray drying: Formulation and process considerations. *International Journal of Pharmaceutics*, 453(1), 253-284. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.07.015>
18. Pérez-Gálvez, A., Jarén-Galán, M., & Isabel, M. (2006). Processing of red pepper fruits (*Capsicum annum* L.) for production of paprika and paprika oleoresin. In Y. H. Hui (Ed.), *Handbook of fruits and fruit processing* (pp. 565).

19. Pérez Castañeda, L. M., Castañón Nájera, G., & Mayek Pérez, N. (2008). Diversidad morfológica de chiles (*Capsicum spp.*) de Tabasco, México. *Cuadernos de biodiversidad*, nº 27 (septiembre 2008); pp. 11-22.
20. Pino, J., González, M., Ceballos, L., Centurión-Yah, A. R., Trujillo-Aguirre, J., Latournerie-Moreno, L., & Sauri-Duch, E. (2007). Characterization of total capsaicinoids, colour and volatile compounds of Habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jack.) cultivars grown in Yucatan. *Food Chemistry*, 104(4), 1682-1686.
21. Reineccius, G. A. (1991). Carbohydrates for flavor encapsulation. *Food Technology*, 45(3), 144-146.
22. Reyes-Escogido, M. d. L., Gonzalez-Mondragon, E. G., & Vazquez-Tzompantzi, E. (2011). Chemical and pharmacological aspects of capsaicin. *Molecules*, 16(2), 1253-1270.
23. Souza, C., & Oliveira, W. (2006). Powder Properties and System Behavior during Spray Drying of Bauhinia forficata Link Extract. *Drying Technology*, 24(6), 735-749. doi: 10.1080/07373930600685905
24. Tonon, R. V., Freitas, S. S., & Hubinger, M. D. (2011). Spray drying of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) juice: Effect of inlet air temperature and type of carrier agent. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(5), 691-700.
25. Tze, N. L., Han, C. P., Yusof, Y. A., Ling, C. N., Talib, R. A., Taip, F. S., & Aziz, M. G. (2012). Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. *Food Science and Biotechnology*, 21(3), 675-682. doi: 10.1007/s10068-012-0088-z
26. Vehring, R. (2008). Pharmaceutical particle engineering via spray drying. *Pharmaceutical research*, 25(5), 999-1022.
27. William III, R. O., Watts, A. B., & Miller, D. A. (2012). *Formulating poorly water soluble drugs* (Vol. 3): Springer.

ESTUDIO DE TERMOFLUENCIA DE LA PRUEBA SMALL PUNCH POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM) EN UN ACERO 5CR - 0.5MO

Arturo Ortiz Mariscal, Tania Soriano-Cruz, Valeria Miranda López,

Maribel Leticia Saucedo-Muñoz

Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE), IPN, Ciudad de México.

arturoortizm@live.com.mx.

RESUMEN

En la industria energética se utilizan materiales que trabajan a altas temperaturas y presiones, por largos periodos de tiempo. La alta demanda energética de las últimas décadas ha elevado las condiciones de uso de estos materiales y se estima que la mayoría de ellos se encuentran en las últimas etapas de su ciclo de vida. Por ello, el costo de reparación y análisis de la integridad de los componentes en servicio es la mayor preocupación para las industrias hoy en día.

La prueba Small Punch permite evaluar las propiedades de termofluencia de los materiales utilizando muestras miniatura, sin remover los componentes de análisis y minimizando el daño por muestreo. La prueba consiste en empujar un balín con un indentador a una carga constante sobre la muestra y la deflexión se registra hasta fracturar. El método de elementos finitos aplicado a termofluencia permite el cálculo de tiempos de ruptura a largo plazo en un corto tiempo.

En este estudio, pruebas de Small Punch en termofluencia con discos de TEM de $\Phi 3.00$ se llevaron a cabo a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un acero 5Cr - 0.5Mo en estado de recibido. Los resultados de la prueba se compararon contra información obtenida por medio de la prueba Uniaxial de termofluencia, ajustando un modelo para obtener tiempos de ruptura esperados y el coeficiente carga-esfuerzo.

Utilizando las propiedades mecánicas del material y resultados de pruebas uniaxiales, se obtuvo por elemento finito el coeficiente Esfuerzo (σ) - Carga (F):

$$F = 0.49\sigma$$

Los esfuerzos equivalentes obtenidos con la ecuación anterior muestran un buen ajuste comparados contra los resultados de la prueba Uniaxial. El modelo permitió calcular el espesor final de la probeta tras ser ensayada.

INTRODUCCIÓN

En la industria petroquímica y energética, los aceros de baja y media aleación con altos contenidos de Cr juegan un papel fundamental para aquellas aplicaciones a altas temperaturas y con presiones constantes. Los aceros ASTM A387 son usados en tuberías de agua, tubos liberadores de humo, precalentadores de aire, tubos en supercalentadores, en boilers, intercambiadores de calor, condensadores; en general, en aplicaciones a altas temperaturas con presiones en la

industria química y petroquímica. La alta resistencia mecánica y a la corrosión que tienen estos aceros los hacen ideales para aplicaciones en ambientes de petróleo crudo.

La cantidad de Cr y Mo de este tipo de aceros determina el grado que tendrá la aleación; los grados más comunes son: el grado 2, 5, 9 y 12. Cada grado de esta designación tiene al menos dos clases y estas clases se determinan con las propiedades mecánicas finales al recibir los tratamientos térmicos designados en el estándar. [1]

El acero 5Cr-0.5Mo tiene la composición química descrita en la Tabla 1 y se caracteriza por tener las propiedades mecánicas presentadas en la Tabla 2. Este acero es comercializado con un tratamiento de recocido y de normalizado con enfriamiento acelerado desde la temperatura de austenizado. La temperatura mínima de temperizado para el grado 5 es de 705 °C. Estos tratamientos térmicos proveen al material de una matriz ferrítica con precipitados de la forma $M_{23}C_6$ distribuidos homogéneamente. [2]

Tabla 1. Composición química del acero 5Cr-05Mo con base en la designación ASTM A387 [2]

C%	Mn%	P%	S%	Si%	Cr%	Mo%
0.15 max	0.25-0.66	0.035 max	0.030 max	0.50 max	3.90-6.10	0.40-0.70

En años recientes, la necesidad de proveer a la industria con pruebas cuasi no destructivas para materiales a condiciones extremas, permitió el desarrollo de la prueba Small Punch. En esta prueba se deforma una probeta con un balín aplicando una carga hasta que la probeta fracture. La deflexión de la probeta es registrada mediante software especializado y a partir de los datos se obtienen las propiedades deseadas del material. Esta prueba utiliza probetas cuadradas de 10x10x10 mm y probetas cilíndricas de $\varnothing 8 \times 0.5$ o $\varnothing 3 \times 0.25$ mm. Además, es posible analizar tres propiedades importantes de los materiales: Tenacidad a la fractura, Temperatura de transición dúctil-frágil y de Termofluencia.

El objetivo de este estudio es obtener una relación teórica del coeficiente Esfuerzo (σ) – Carga (N) para termofluencia; por medio del uso del Método de Elementos Finitos (FEM), utilizando tiempos de ruptura obtenidos por la prueba Uniaxial y de Small Punch en el acero 5Cr-0.5Mo.

Tabla 2. Requerimientos de tensión para placas de Acero A387 [2]

	Clase 1	Clase 2
Resistencia a la tensión, ksi [MPa]	60-85 [415-585]	75-100 [515-690]
Resistencia a la cedencia, min, ksi [MPa]	30 [205]	45 [310]
Elongación en 8" [200 mm]
Elongación en 2" [50 mm]	18	18
Reducción de área, min, %	45, 40	45, 40

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El material de estudio es el acero A387 Gr5 C2 (5Cr -0.5Mo), cuya composición química se presenta en la Tabla 3. Este acero recibió de fábrica un tratamiento térmico de normalizado a 950 °C a 1 min/mm y un tratamiento de revenido a 770 °C a 2 min/mm.

Se realizaron pruebas Uniaxiales de termofluencia a 600 °C, usando probetas cilíndricas de $\phi 6.00$ mm con una longitud calibrada de 30 mm. La deformación se registró con un extensómetro posicionado en la zona calibrada. Los esfuerzos utilizados para realizar las pruebas se encuentran en el rango de 78 a 170 MPa. De estas pruebas se obtuvieron las curvas de termofluencia Deformación (δ) – Tiempo (h).

Tabla 3. Composición química actual del acero de prueba

%	C	Mn	P	S	Si	Cu
	0.096	0.356	0.009	0.0005	0.344	0.047
Ni	Cr	Mo	Al	Nb	V	Ti
0.117	4.531	0.454	0.031	0.003	0.009	0.002

Las pruebas Small Punch se hicieron utilizando discos de TEM con dimensiones de $\phi 3.00 \times 0.25$ mm. Para obtener las dimensiones deseadas se maquinaron cilindros de $\phi 3.00 \times 16$ mm los cuales se seccionaron cuidadosamente con una máquina de corte con disco de diamante. Las probetas obtenidas en el corte tienen un espesor de 0.35 mm. Para obtener el espesor deseado se desbastó cuidadosamente cada probeta desde lija de carburo de Silicio grado 800 hasta lija grado 1500.

Usando Alúmina (Al_3O_2) en solución, se obtuvo el acabado final a espejo. Las pruebas se realizaron a 600 °C con cargas desde 67 a 100 N. Los resultados se graficaron como Deflexión (δ) contra Tiempo (h).

El software utilizado para simular la prueba por FEM es ABAQUS CAE 6.14. El modelo usado es Simétrico al eje a 2D y los elementos que lo componen son: un elemento deformable (espécimen) y tres elementos rígidos (dado superior, dado inferior y balín), ver Figura 1. El modelo es una representación de la Prueba Small Punch cuyas condiciones y propiedades mecánicas se detallan en la Tabla 4. El comportamiento plástico del material se obtuvo realizando una prueba de tensión a alta temperatura.

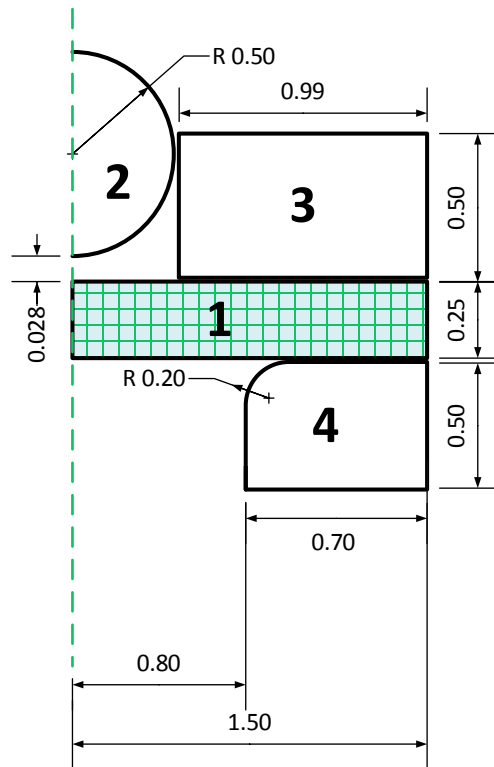


Figura 1. Modelo simétrico al eje de la Prueba Small Punch. (1) Probeta, (2) Balín, (3) Dado superior y (4) Dado inferior.

Tabla 4. Propiedades y condiciones usadas en el FEM.

Material	ASTM A387 Gr5 C2 (5Cr-0.5Mo)
Programa	ABAQUS CAE 6.14-15
Modelo de análisis	2D-Simétrico al eje
Elementos	Rígidos y un deformable
Tamaño del elemento	0.0125 x 0.0125 mm
Coefficientes de fricción	$\mu = 0.39$ (Probeta/Balín) $\mu = 0.50$ (Datos/Probeta)
Propiedades mecánicas	$A = 2 \times 10^{-16}$, $n = 6.3$ $E = 152\,457$ MPa $\nu = 0.30$ Comportamiento plástico a 600 °C
Cargas	99.6, 85.3, 80.6, 75 y 67.5 N

RESULTADOS

En la Figura 2 se presentan los resultados de las Pruebas Uniaxiales realizadas en acero 5Cr-0.5Mo. Se aprecia en cada una de las curvas las principales características de una curva de termofluencia: el estado transitorio, el estado estable y el estado de aceleración. En el estado transitorio ocurre la deformación inicial del material a causa de la aplicación de la carga constante. Después de un tiempo, la curva alcanza la etapa estacionaria que se asocia a una desaceleración constante de la velocidad de deformación hasta encontrar el mínimo de deformación y finalmente, alcanzar la etapa de aceleración a la fractura. A 78 MPa se obtuvo un tiempo de ruptura de 1300 h y a 170 MPa el tiempo de ruptura es de 12 h. Comparando estos resultados con la literatura [3], el grado 2 del acero 5Cr-0.5Mo presenta ligeramente una mayor resistencia a la ruptura que en el grado 1.

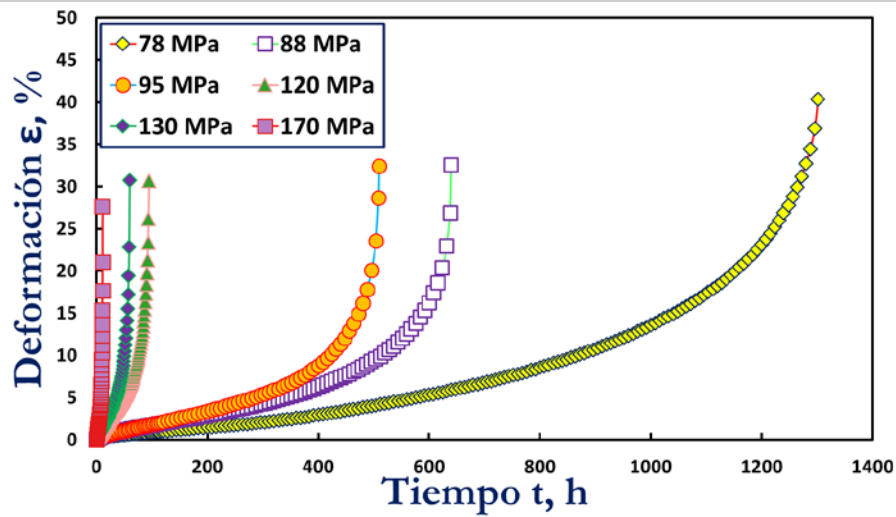


Figura 2. Curvas de termofluencia Uniaxial del acero 5Cr.-0.5Mo.

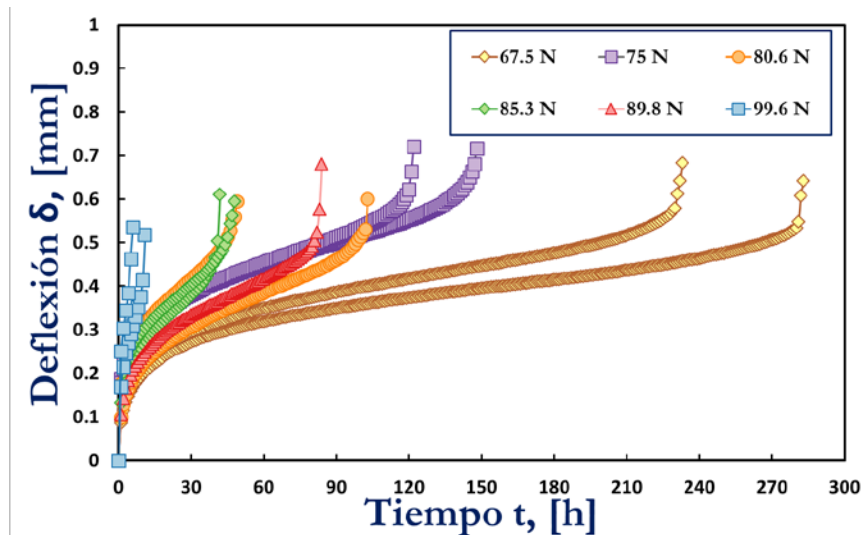


Figura 3. Curvas de termofluencia obtenidas por la prueba Small Punch en el acero 5Cr-0.5Mo.

En la Figura 3 se muestran las curvas de termofluencia obtenidas en el material original por la prueba de Small Punch. Comparando estos resultados con las curvas de termofluencia uniaxiales, se aprecian claramente las tres etapas de termofluencia. La mayor característica de la prueba Small Punch es que debido a que se grafica la deflexión que sufre la probeta, se aprecia con mayor detalle la deflexión inicial (δ_i), la etapa transitoria y la etapa estacionaria [4-5]. Este hecho permite la comparación directa de los resultados obtenidos por medio de la prueba de Small Punch, mediante un coeficiente de conversión entre ambas pruebas considerando que existen resultados con similitudes en tiempos de ruptura, usando la ecuación (1):

$$F = \alpha \sigma \tag{1}$$

Para obtener la ecuación de conversión por medio del método de Elementos Finitos, es necesario calcular la ecuación de Norton; ver ecuación (2), para los resultados obtenidos por la Prueba Uniaxial.

$$\dot{\epsilon}_M = A\sigma^n \tag{2}$$

Donde: $\dot{\epsilon}_M$ es la Mínima Velocidad de Deformación, A es una constante, σ el esfuerzo y n el exponente característico del material. La ecuación de Norton permite representar matemáticamente la velocidad de deformación que sufre el material ante un esfuerzo aplicado, siendo el exponente n el valor clave para modelar la deformación del material a la temperatura y esfuerzos de estudio. La Figura 4 grafica la Mínima Velocidad de Deformación ($\dot{\epsilon}_M$) contra el Esfuerzo (σ) y de la regresión de los datos se obtuvo la ecuación de Norton [6] del acero 5Cr-0.5Mo a 600 °C, ver Ecuación (3).

$$\dot{\epsilon}_M = 2 \times 10^{-16} \sigma^{6.3466} \tag{3}$$

Esta ecuación se introdujo en las propiedades del material en ABAQUS juntos con las condiciones descritas en la tabla 4 para simular la prueba Small Punch. En la Figura 5 (a) se muestra una comparación del resultado simulado contra el experimental en una prueba realizada a en la gráfica de Deflexión contra Tiempo. Ambas curvas tienen similitudes en la etapa estacionaria y en la etapa transitoria; aunque en la gráfica obtenida por la simulación se registró un tiempo de ruptura mayor. Esto se debe a que en el análisis no es necesario considerar la etapa de fractura en la termofluencia del material. Lo que realmente se analiza con los resultados simulados es que la simulación alcance el mínimo de velocidad de deflexión al mismo tiempo que el resultado experimental y que su magnitud sea similar, ver Figura 5 (b).

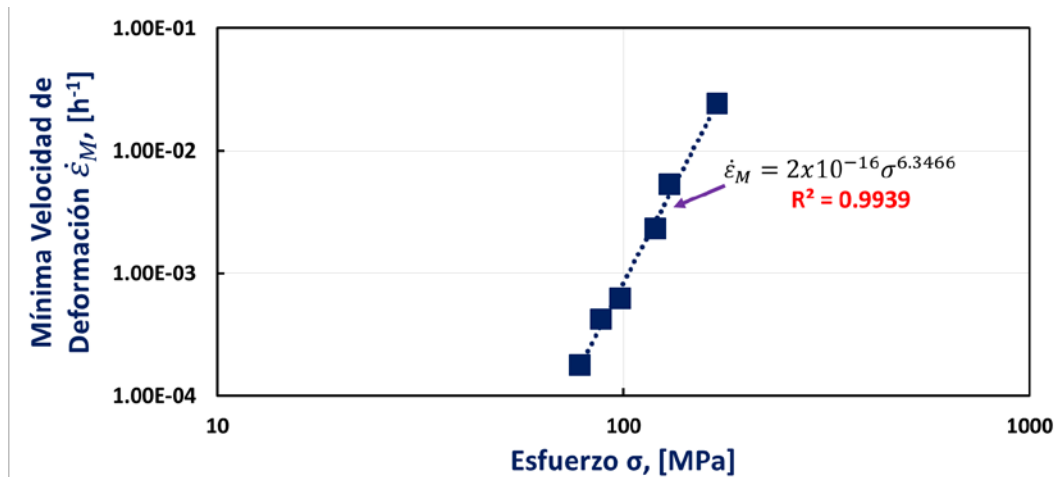


Figura 4. Gráfica de Mínima Velocidad de Deformación contra Esfuerzo.

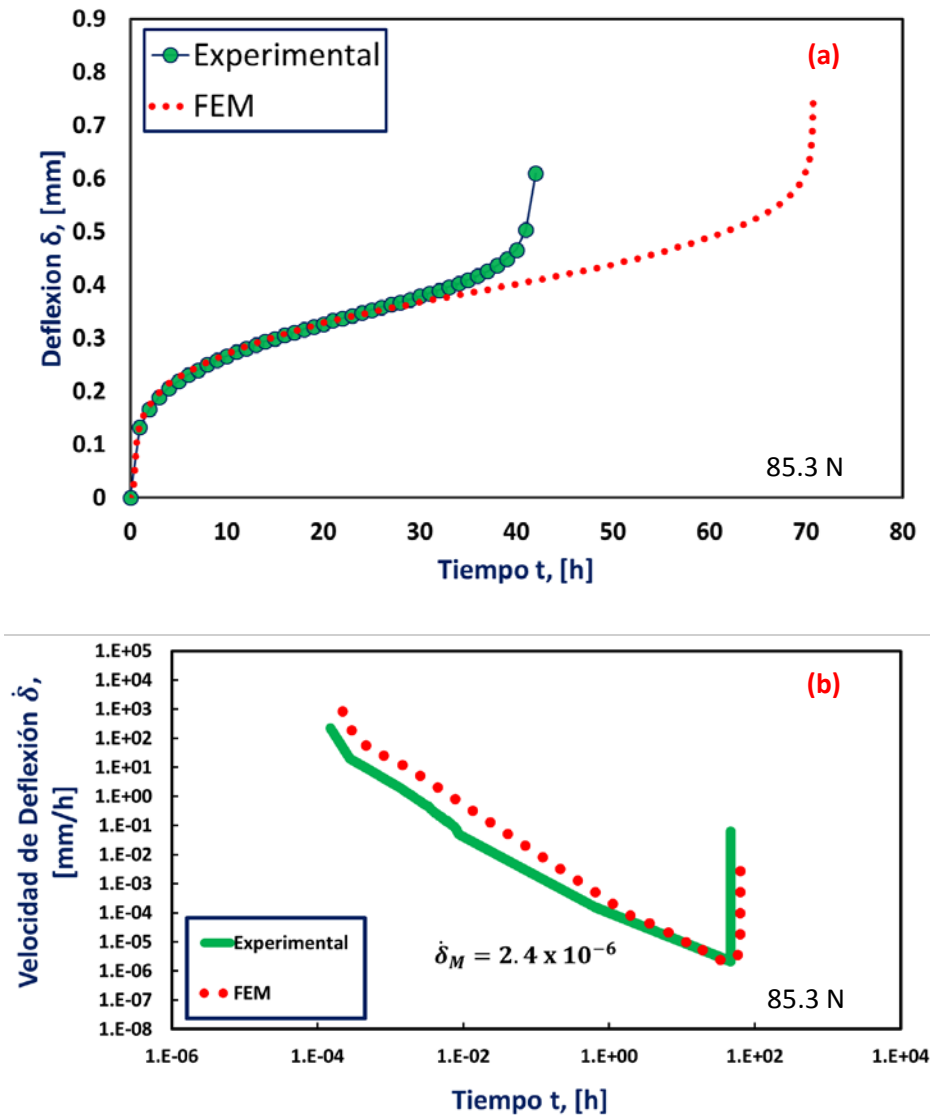


Figura 5. Comparación de resultados simulados en ABAQUS contra resultados experimentales de una prueba a 85.3 N: (a) Gráfica de Deflexión contra Tiempo y (b) Gráfica de Velocidad de Deflexión contra Tiempo.

Después de simular todas las cargas propuestas, se analizó un conjunto de nodos para determinar el esfuerzo equivalente (σ_s) de la prueba en la zona de fractura de la probeta, ver Figura 6 (a). Tras obtener todos los esfuerzos equivalentes, estos se graficaron contra la carga de prueba y se realizó una regresión para determinar el coeficiente Esfuerzo-Carga, ver Figura 6 (b). El coeficiente obtenido se presenta en la Ecuación 4.

$$F = 0.49\sigma \tag{4}$$

Usando el la ecuación 4, se convirtieron las cargas (N); usadas en las pruebas por Small Punch, a Esfuerzos equivalentes (σ_{eq}) para comparar el ajuste obtenido por la ecuación de conversión, ver figura 7 (a). El ajuste alcanzado con esta técnica es del 83.5%, este valor tiende a ser bajo debido

a que la ecuación de Norton no considera la etapa de fractura. Aun así, esta ecuación permite convertir esfuerzos y cargas para realizar pruebas de termofluencia en el acero 5Cr-0.5Mo.

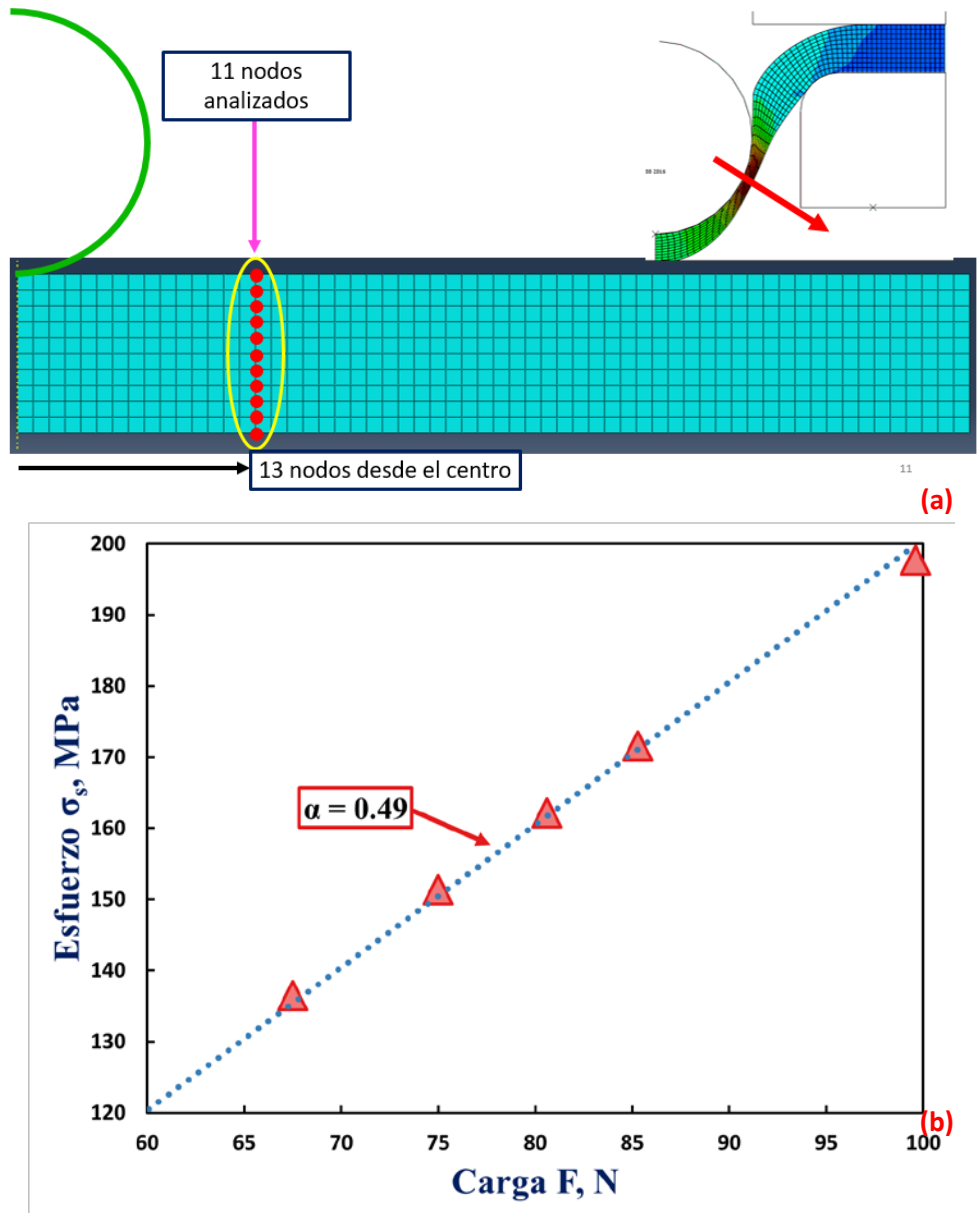


Figura 6. Análisis de resultados obtenidos por FEM, (a) Sección de análisis del modelo simétrico al eje y (b) Gráfica de Esfuerzo-Carga con el coeficiente obtenido.

Finalmente, el modelo ajustado de FEM para el acero 5Cr-0.5Mo permitió calcular el espesor final de las probetas ensayadas. En la Figura 7 (b) se muestra una imagen obtenida por el Microscopio Electrónico de Barrido sobrepuesta con la probeta deformada obtenida en la simulación. El espesor de la probeta simulada es de 0.0450 mm y el espesor de la probeta experimental es de 0.0542 mm. Debido a que la ecuación de Norton presenta un buen ajuste, es posible determinar el espesor final de las probetas con poca desviación.

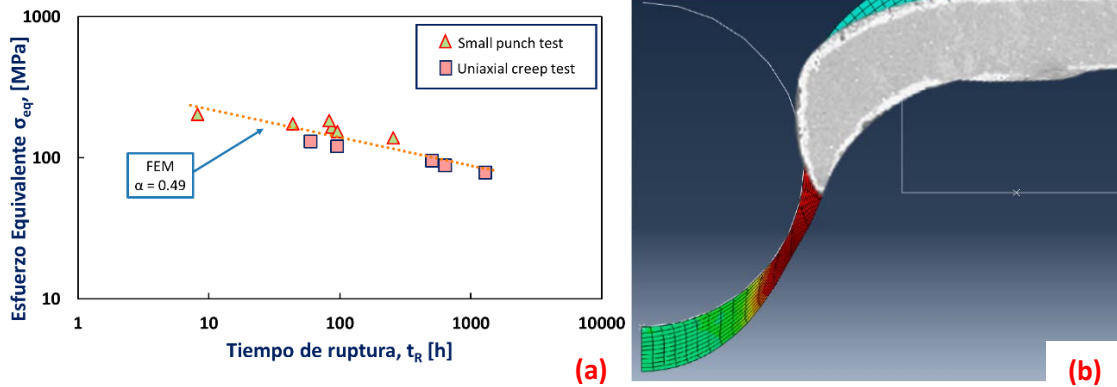


Figura 7. Correlación de los resultados obtenidos por FEM: (a) Comparación de la deformación entre la simulación FEM y la prueba Small Punch y (b) Esfuerzo equivalente obtenido por la ecuación (4).

CONCLUSIONES

Se realizaron pruebas de termofluencia a 600 °C mediante la prueba Uniaxial y la prueba Small Punch para determinar el coeficiente Esfuerzo (σ) – Carga (N) por simulación de FEM. Los resultados alcanzados en esta investigación indican:

- La ecuación de Norton obtenida a partir de los resultados de las pruebas Uniaxiales realizadas a 600 °C es: $\dot{\epsilon}_M = 2 \times 10^{-16} \sigma^{6.3466}$.
- La relación Esfuerzo (σ) – Carga (F) para el acero 5Cr-0.5Mo calculada por FEM para 600 °C es: $F = 0.49\sigma$.
- La predicción del espesor final de la probeta simulada presenta un buen ajuste contra el valor real de una probeta ensayada por Small Punch.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASME International, Damage mechanism and life assessment of High-Temperature components, Metals Park, USA, 1993.
2. A387/A387M 11, Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Molybdenum, 2011.
3. 12B, Data sheets on the elevated-temperature properties of 5Cr-0.5Mo steel tubes for boilers and heat exchangers (STBA 25), 1992.
4. H.K.D.H., Bhadeshia, Bainite in steels, The institute of Materials, London, 229-246.
5. F. Abe, Fundamental aspects of creep deformation and deformation mechanism maps, Creep resistant steels, CRC, Glasgow, UK, 2008, 265-278.
6. F. Dobes y P. Dymacek, Fracture-based correlation of uniaxial and small punch creep data, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 86, A, (2016), 3

ESTUDIO EN TIEMPO REAL PARA IDENTIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL NIVEL DE ATENCIÓN Y CONCENTRACIÓN EN ACTIVIDADES PRODUCTIVAS DE ENSAMBLE MANUAL

Gabriela Guadalupe Reyes Zárate, Aída Ignacia Salazar Compañ

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (reyes.gabriela@itesm.mx)

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (aida.sc@itesm.mx)

RESUMEN

Existen unas medidas del rendimiento mental de acuerdo a la actividad que realiza la persona. Una actividad laboral de ensamble manual implica un orden y adecuada colocación de componentes para lograr un funcionamiento óptimo del producto. Un ensamble de componentes considera importante la atención y concentración al momento de ejecutar la actividad. Comprobar el grado de atención de una persona para realizar trabajos de ensamble manual de piezas requiere de un estudio detallado. Bajo este contexto se llevó a cabo un estudio en actividades de ensamble manual. El método que se utilizó para este estudio es experimentación con la herramienta EMOTIV. El estudio toma la actividad eléctrica del cerebro. Para realizar este estudio se deben colocar electrodos al cuero cabelludo de la persona. Existen equipos de medición EEG que son fijos como los que se encuentran en un consultorio, hospital o clínica y también están los inalámbricos. El estudio mostró las áreas del cerebro de la persona que están relacionadas con la atención de la actividad y la identificación de momentos en que se pierde la atención por la fatiga de actividades repetitivas. Con el resultado obtenido del estudio se concluye que es importante conocer e identificar las características de atención y concentración para determinar los momentos importantes en actividades productivas y proponer espacios de descanso breves o cambios de actividad para mejorar el rendimiento del operador.

INTRODUCCIÓN

Es bien conocido por personas experimentadas que una clave para realizar una tarea exitosa dentro de un proceso productivo, es la estructura, la organización y el orden de ese proceso. Con el ensamble de piezas, esto se vuelve una parte aún más esencial debido a su naturaleza multifacética. Sin embargo, la formulación de una medida de concentración ligada al rendimiento nunca ha sido estudiada ni desarrollada de manera analítica, pese a que la estructura y su orden tienen su razón de ser por medio del conocimiento común de que se debe visualizar el objetivo que la tarea debe de tener y los pasos que se deben seguir para lograr su sentido práctico, conocimiento al cual sólo se puede llegar a partir de observaciones, pruebas y comprobaciones sobre dichas hipótesis. Ciertamente es que, visto a comparación de factores más importantes en el proceso de ensamble, la capacidad de rendimiento pudiera parecer irrelevante, casi minúsculo, un detalle casi imperceptible. Pero como parte de la gran imagen, la atención al detalle se vuelve parte crucial en el éxito del proceso productivo. Adicionalmente el ser humano cuenta con todo lo necesario para desarrollar tareas productivas. Es importante que la persona, una vez que aprende la secuencia de actividades para el ensamble de piezas, las vaya ejecutando durante su jornada laboral. Este estudio preliminar tiene el objetivo de identificar las características de atención que alcanza una persona durante el proceso de ensamble manual.

TEORÍA

Ensamble manual

En el ensamble manual el trabajador humano ejecuta operaciones de unión, armado, procesado. Cada trabajador utiliza los materiales necesarios para el armado completo de la pieza. Puede haber ensambles manuales de una sola estación en donde una sola persona coloca los componentes hasta terminar la pieza completa o líneas de ensamble manual que realiza el ensamble de productos en varias estaciones de trabajo de forma secuencial.¹

Atención y concentración en el trabajo

La atención activa es una parte específica de la percepción del pensamiento. Los efectos de la atención no solo dependen de los rasgos centrales de la personalidad y de los intereses y actitudes, sino también del material sobre el que se dirige.

Se puede estar atento, pero concentrarse solo en una cosa. De un estudio realizado se encontraron tres factores de atención y concentración: a) retener muchos datos (factor cantidad), b) disposición hacia determinados datos (factor de espera y anticipación) c) realizar varias cosas simultáneamente. Es por ello que es posible delimitar un sentido de la atención como la concentración que supone siempre dirigirse hacia algo.²

Sistema Nervioso

Es importante aprovechar el funcionamiento del cerebro para nuestras actividades. El Sistema nervioso y el endocrino aseguran las funciones del control del organismo. El Sistema nervioso controla actividades corporales rápidas.

El sistema nervioso procesa toda la información que recibe y produce respuestas motoras adecuadas. La información sensorial importante, se canaliza a regiones motoras adecuadas del cerebro para producir las respuestas adecuadas. Esta canalización de la información se denomina función integradora del sistema nervioso. Cada parte del sistema nervioso realiza funciones específicas. Muchas funciones integradoras están bien desarrolladas en la médula espinal, y muchas de las funciones subconscientes tienen su origen y son ejecutadas por completo, en las regiones encefálicas inferiores. Pero es la corteza la que abre la mente al mundo.³

El sistema nervioso actúa como una unidad en la que sus distintas estructuras realizan sus funciones de forma simultánea, aunque coordinada. Tanto las conscientes como las inconscientes están íntimamente imbricadas, la corteza y el hipotálamo están en continua comunicación y ambos sistemas participan en distinta medida en todas las funciones, sean conscientes o no.⁴



Figura 1 Sistema nervioso

EPOC EMOTIV

Una de las primeras empresas en presentar dispositivos con interfaces para videojuegos basados sobre la tecnología utilizada en la electroencefalografía (EEG) fue la australiana Emotiv Systems. El EPOC Emotiv utiliza un conjunto de sensores que sintoniza señales eléctricas producidas por el cerebro para detectar los pensamientos, sentimientos y expresiones de la persona y se conecta de forma inalámbrica a la mayoría de las PC.⁵



Figura 2 Dispositivo EMOTIV EPOC para colocarlo en la cabeza de la persona

PARTE EXPERIMENTAL

Se realizó un experimento con un operador para realizar ensamble manual en una sola estación. El producto seleccionado fue un plafón automotriz que consiste en una base metálica, una goma, una mica, un tornillo y una base soporte que al ensamblarlos se introducen en una bolsa para empaque. El operador tiene todos los componentes en un espacio con las piezas a ensamblar dentro del alcance de sus brazos. La silla utilizada es ergonómica para dar a la persona una sensación de confort al realizar su trabajo.

Posteriormente se le informó de la colocación del dispositivo EMOTIV para la parte experimental.

Se humedecieron las almohadillas de los electrodos y se procedió a la colocación del EMOTIV y a la realización del ensamble. En la figura 3 se puede observar al operador trabajando con el dispositivo colocado en su cabeza.



Figura 3 Operador realizando la actividad de ensamble manual

RESULTADOS

Después de haber realizado el ensamble se procedió al análisis de los resultados.

Se observó que los primeros componentes del producto se van colocando sin ninguna dificultad, como lo es la goma, tomar y colocar la base, colocar la mica, la bolsa, y el único componente que se identificó como importante en la parte de la atención y la concentración fue el tornillo. Éste se debe centrar e introducir con mucha precisión para que el ensamble se realice de manera óptima, si el tornillo se introdujera inclinado se dañan las cuerdas, además de que no se puede hacer la correcta unión. En la gráfica se observa que en los momentos en donde se coloca el tornillo, aunque el tiempo de colocación es de hasta 5 segundos, el sistema lo detecta para tener una mayor concentración y atención.



Figura 4 Resultados obtenidos

CONCLUSIONES

Después de realizar este estudio preliminar se llegó a la conclusión que es muy importante considerar los espacios de atención y concentración que debe tener la persona que realiza estas actividades productivas.

Una vez que se identificaron los cambios en la actividad neuronal cuando se tienen momentos de atención y concentración a detalle, lo que se sugiere es que se pueda reforzar el trabajo productivo

con estos estudios para mejorar las condiciones de las personas y que puedan tener espacios de tiempo en que puedan hacer breves pausas para que realicen sus actividades productivas en forma estandarizada sin que se afecte su trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Groover P. Mikell, "Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas" (Editorial Pearson Prentice Hall) 3a edición 2009 pp 912-920
2. Russel Arnold, "Psicología del Trabajo" 3a Editorial Morata pp 60-65
3. Guyton C.G y Hall, "Tratado de Fisiología Médica" 11a Edición España pp500-501
4. <https://neuropediatra.org/2013/06/15/quien-es-quien-en-el-sistema-nervioso/> recuperado 9 de mayo 2017
5. <https://www.emotiv.com> recuperado el 9 de mayo 2017

SEPARACIÓN DE O₂/N₂ COMO FUNCIÓN DE DIFERENTES CONDICIONES DE ALIMENTACIÓN EN MEMBRANAS TUBULARES DE LTA Y SILICALITA-1

E. M. Salinas Barrios, S. Gómez Torre, M.G. Hernández Morales, V. Vega Jiménez

Departamento de IPH, División C.B.I., UAM-I

Av. San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, 09430 Ciudad de México.

Departamento de C.B., Física Atómica Molecular Aplicada, División de C.B.I. UAM-A, 02200 Ciudad de México.

RESUMEN

La separación de oxígeno (O₂) a partir de Aire es de gran importancia tanto en la industria como en instituciones de salud. En este trabajo estudiamos la separación de O₂ a partir de Aire utilizando membranas tubulares de zeolita, tipo LTA y Silicalita-1 bajo diferentes flujos y condiciones de alimentación a temperatura ambiente y presión atmosférica. El método de permeación fue el de Wicke Kallenbach, utilizando He como gas de arrastre. En un primer caso se hizo pasar helio (He) por la parte interior de la membrana tubular e inyectando la corriente de Aire por la coraza, en un segundo caso el Aire se introdujo por el interior de la membrana tubular, mientras que se alimentó He por la coraza. Presentamos los resultados experimentales de la permeación y selectividad de O₂/N₂, en las dos membranas, bajo las dos condiciones de alimentación. Finalmente comparamos nuestros resultados con datos de la literatura.

INTRODUCCIÓN

Debido a la gran importancia que tiene la producción de oxígeno (O₂), el cual es utilizado en diversos procesos industriales tal como en la producción de metales, vidrio, amoníaco, fabricación de productos químicos y en la producción de energía, al igual que tiene aplicaciones en la medicina [1], en este trabajo se estudia la separación de oxígeno a partir de aire utilizando membranas tubulares de zeolitas tipo LTA y Silicalita-1, con diámetro de poro $d_k=0.50$ nm y $d_k=0.42$ nm respectivamente, adecuado para la separación de estos gases. La manera en la que se realizó el estudio, fue variando los flujos volumétricos tanto de helio como de aire, a diferentes condiciones de alimentación, esto es, utilizando aire dentro y helio fuera como gas de arrastre y helio dentro con aire fuera como gas de arrastre. Se utilizaron membranas de zeolitas por tener propiedades únicas como son: su estabilidad térmica y química y debido a que por su diámetro de poro y estructura cristalina, las membranas de zeolita actúan como tamices moleculares ya que pueden discriminar los componentes en una mezcla gaseosa o líquida dependiendo de su diámetro molecular y forma [2]. Las membranas poliméricas también se han utilizado en la separación de

O₂/N₂, sin embargo un inconveniente es que estas membranas no son resistentes ante altas temperaturas ni ambientes corrosivos, por esta razón las membranas de zeolita ofrecen una ventaja para la separación de O₂/N₂.

METODOLOGÍA

Las membranas utilizadas en este trabajo se sintetizaron por el método de gel seco en su variante de cristalización asistida por vapor (CAV). La estructura cristalina y morfología de las membranas se analizó usando difracción de rayos-X (XRD, Brucker, D8 advance model) con una fuente de Cu K α . Para el análisis por microscopía electrónica de barrido se utilizó un equipo, SEM, Leica-Cambridge Stereoscan 440, con filamento de tungsteno y con control de temperatura de 77 hasta 550 K.

Las membranas están formadas por una capa activa de zeolita de aproximadamente 55.8 μ m y 37.5 μ m de espesor para la Silicalita-1 y LTA respectivamente, depositada sobre la cara interna de un cilindro hueco poroso de α -alúmina (Inoceramic, con espesor de 0.26 para la Silicalita y 0.34 cm para la LTA y longitud 4.4 cm y 4.65 respectivamente), con diámetro aproximado de poro de 200 nm. Los experimentos de permeación se realizaron en un tubo de vidrio (2.1 cm diámetro y 5.0 cm de longitud) donde se colocó la membrana tubular de zeolita. El método de permeación fue el de Wicke Kallenbach, utilizando He o bien aire como gas de arrastre Figura 1.

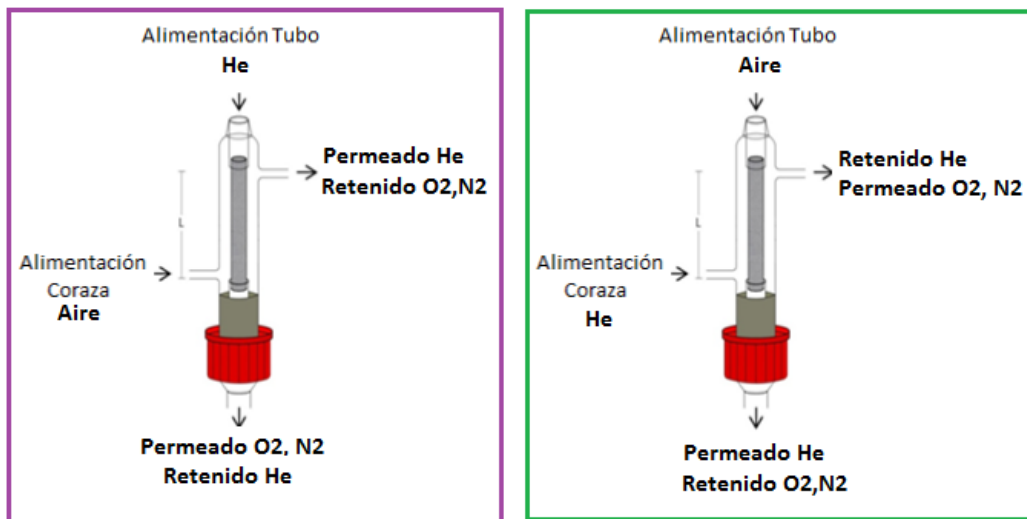


Figura1. Sistema de permeado con las dos condiciones de alimentación [3]

Los experimentos se hicieron con diferentes flujos volumétricos de He y Aire como gas de alimentación, variándolos en el intervalo, para el primer caso Q_{He}^T (21.28 mL/min) y Q_{Aire}^C (8.54, 30.72, 23.52mL/min); de modo que la razones Q_{He}^T / Q_{Aire}^C consideradas estuvieran dentro del intervalo [0.69, 2.49]._Mientras que para el segundo caso se utilizo Q_{He}^C (22.65, 21.28mL/min) y

Q_{Aire}^T (17.31, 5.66, 8.54, 16.32, 23.52, 30.72 mL/min); similarmente de las razones Q_{Aire}^T / Q_{He}^C consideradas estuvieran dentro del intervalo [0.25, 1.44].

Los flujos volumétricos a la salida del tubo, se midieron con un flujómetro de burbuja y se analizaron en línea con un cromatógrafo de gases (CG) (Shimadzu GC-12 A con una columna HP-plot Q, detector de conductividad térmica y válvula de inyección de tres puertos). Los flujos volumétricos y su composición a la salida de la coraza, se calcularon por balance de masa. En la Figura 2 se muestra el dispositivo experimental.

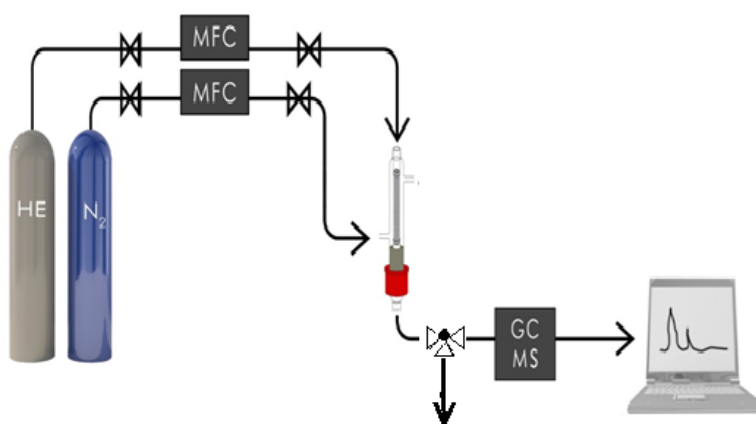


Figura 2. Dispositivo experimental [3]

RESULTADOS

Los experimentos se hicieron cambiando tanto los flujos de alimentación, como el gas de arrastre y utilizando las dos membranas tubulares de zeolita tipo LTA y Silicalita-1. En todos los casos se obtuvieron, las fracciones molares permeadas de helio, y_{He} , oxígeno, y_{O_2} , y nitrógeno, y_{N_2} , el coeficiente de difusión de O_2 en la corriente permeada, así como, el factor de separación α_{O_2/N_2} de O_2/N_2 para determinar qué tan eficientes son las membranas en este proceso de separación.

He en la coraza como gas de arrastre

Bajo esta condición de alimentación se obtuvieron las fracciones molares permeadas en las membranas LTA y Silicalita-1. En la tabla 1 se muestran las fracciones molares permeadas así como la razón de flujos.

Tabla 12. Fracciones molares permeadas en membranas tubulares LTA y Silicalita-1 respectivamente utilizando aire dentro del tubo y He en la coraza.

Membrana	QHe/QAire	Fracciones molares permeadas		
		y_{He}	y_{O_2}	y_{N_2}
LTA	1.230	0.018	0.104	0.177
Silicalita-1	1.308	0.483	0.098	0.305

En la Figura 3 se observa que la fracción molar permeada de O₂ es prácticamente la misma en las dos membranas y es independiente de la razón de flujos, mientras que para $Q_{He} / Q_{N_2} = 1.23$, $y_{He} < y_{O_2} < y_{N_2}$ en la membrana LTA. Este comportamiento se invierte en la Silicalita-1 cuando $Q_{He} / Q_{N_2} = 1.31$ donde $y_{O_2} < y_{N_2} < y_{He}$. Probablemente este comportamiento se debe a que $d_p^{Silicalita-1} > d_p^{LTA}$.

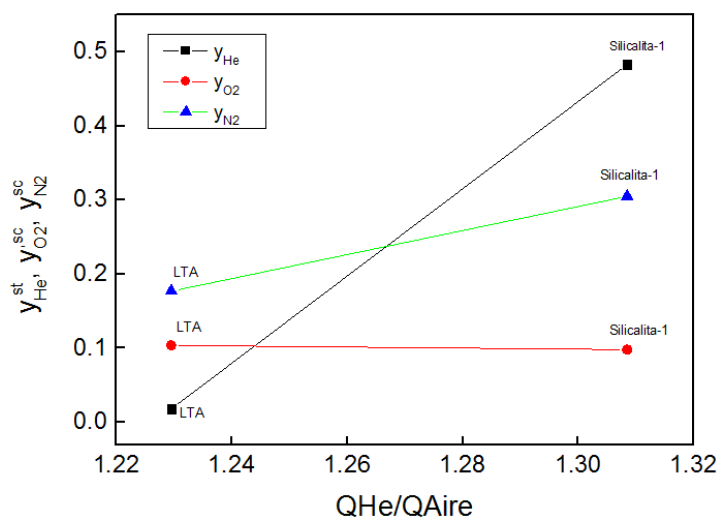


Figura 3. Fracciones molares permeadas de helio (He), oxígeno (O₂) y nitrógeno (N₂) permeados, en una membrana LTA y Silicalita-1 a diferentes razones de flujos volumétricos utilizando aire en el tubo y helio en la coraza.

En la Figura 4 se muestra y_{He} permeada en dos membranas, LTA y Silicalita-1, con Helio como gas de arrastre en la coraza. El símbolo en naranja corresponde a nuestros resultados en Silicalita-1, mientras que el símbolo en verde corresponde a LTA. Los símbolos en negro son datos de la literatura [3] en Silicalita-1 con Aire como gas de arrastre. Como puede observarse, y_{He} permeada en Silicalita-1 no depende de la condición de alimentación, nuestro punto experimental coincide con los datos de la literatura en los cuales su utilizó He como gas de arrastre a diferencia de los

datos de la literatura en los cuales se utilizó Aire como gas de arrastre. Respecto a la membrana LTA no tenemos datos para comparar, pero vemos que y_{He} permeada es mucho menor en LTA que en Silicalita-1. El mismo comportamiento se observa para la fracción molar permeada de N_2 , mientras que como ya se había observado, la permeación de O_2 es independiente tanto de la membrana utilizada como de la forma de alimentación, como puede verse en las Figuras 5 y 6.

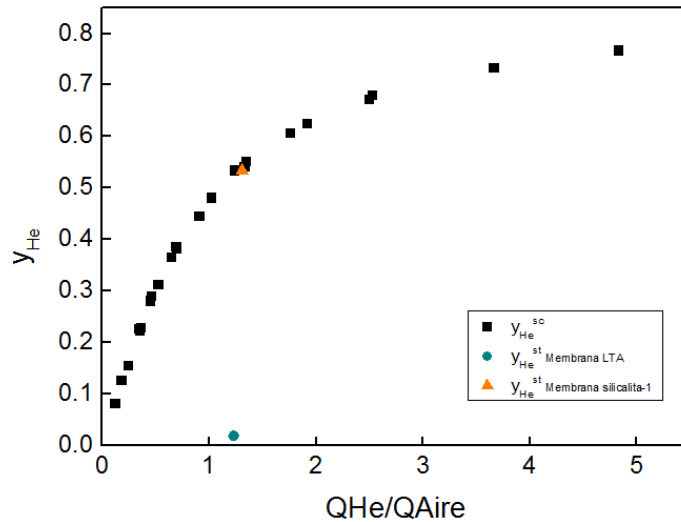


Figura 4. Fracción molar permeada de helio en dos membranas LTA y Silicalita-1 respectivamente, usando aire en el tubo y helio en la coraza comparada con datos experimentales obtenidos por otros autores [3], utilizando helio en el tubo y aire en la coraza con una membrana Silicalita-1 a diferentes razones de flujos volumétricos.

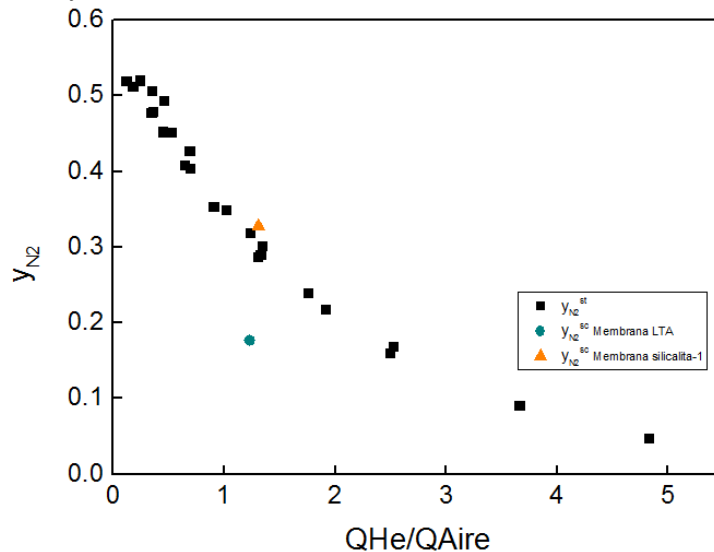


Figura 5. Fracción molar permeada de nitrógeno en dos membranas LTA y Silicalita-1 respectivamente, usando aire en el tubo y helio en la coraza comparada con datos experimentales

obtenidos por otros autores [3], utilizando helio en el tubo y aire en la coraza con una membrana Silicalita-1 a diferentes razones de flujos volumétricos.

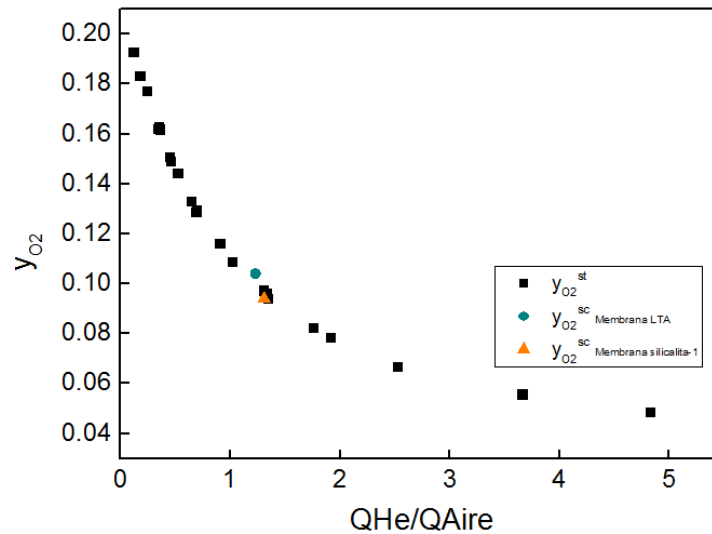


Figura 6. Fracción molar permeada de oxígeno en dos membranas LTA y Silicalita-1 respectivamente, usando aire en el tubo y helio en la coraza comparada con datos experimentales obtenidos por otros autores [3], utilizando helio en el tubo y aire en la coraza con una membrana Silicalita-1 a diferentes razones de flujos volumétricos.

En la tabla 2 se muestran los resultados de las permeancias y del factor de separación en ambas membranas. Como puede verse la permeancia en la Silicalita-1 es mayor que en la LTA, aunque el factor de separación es mayor en la LTA que en la Silicalita-1.

Esto indica que la membrana LTA es más adecuada para separar O₂ de N₂. Por otro lado el factor de separación para O₂/N₂>1, cuando el Helio es alimentado en la coraza como gas de arrastre esto quiere decir que separa más O₂ que N₂, mientras que cuando el Aire es alimentado en la coraza como gas de arrastre, separa más N₂ que O₂. Al comparar nuestros resultados con los de la literatura, Tabla 3, vemos que el factor de separación en nuestro caso es mayor que los reportados en la literatura

Tabla 2. Resultados de las permeancias y factor de separación para las membranas LTA y Silicalita-1 en las dos condiciones de alimentación.

	zeolita	Soporte	T [K]	Permeancia $\times 10^{-7}$ <i>mol/sm²Pa</i>	Factor de separación
Alimentación	LTA	α -Al ₂ O ₃	298	<i>He</i> = 1.4837 <i>N</i> ₂ = 0.56226 <i>O</i> ₂ = 0.72615	<i>O</i> ₂ / <i>N</i> ₂ = 8.4280 <i>N</i> ₂ / <i>H</i> _e = 7.7017
He coraza g. arrastre	Silicalita -1	α -Al ₂ O ₃	298	<i>He</i> = 15.791 <i>N</i> ₂ = 3.1578 <i>O</i> ₂ = 2.1889	<i>O</i> ₂ / <i>N</i> ₂ = 2.1533 <i>H</i> _e / <i>O</i> ₂ = 1.8022 <i>H</i> _e / <i>N</i> ₂ = 1.1948
He coraza g. arrastre	Silicalita -1	α -Al ₂ O ₃	298	<i>He</i> = 5.6670 <i>N</i> ₂ = 1.4138 <i>O</i> ₂ = 1.7194	<i>O</i> ₂ / <i>H</i> _e = 1.3236 <i>N</i> ₂ / <i>O</i> ₂ = 1.3086 <i>N</i> ₂ / <i>H</i> _e = 1.7320
Aire coraza g. arrastre	Silicalita -1	α -Al ₂ O ₃	298	<i>He</i> = 6.6116 <i>N</i> ₂ = 3.6477 <i>O</i> ₂ = 5.0927	<i>N</i> ₂ / <i>O</i> ₂ = 1.1679 <i>H</i> _e / <i>O</i> ₂ = 1.7459 <i>H</i> _e / <i>N</i> ₂ = 1.4949
Aire coraza g. arrastre	Silicalita -1	α -Al ₂ O ₃	298	<i>He</i> = 6.1471 <i>N</i> ₂ = 2.4808 <i>O</i> ₂ = 3.1568	<i>N</i> ₂ / <i>O</i> ₂ = 2.8080 <i>H</i> _e / <i>O</i> ₂ = 2.9329 <i>H</i> _e / <i>N</i> ₂ = 1.0445
Aire coraza g. arrastre	Silicalita -1	α -Al ₂ O ₃	298	<i>He</i> = 6.6921 <i>N</i> ₂ = 1.6142 <i>O</i> ₂ = 2.1118	<i>O</i> ₂ / <i>H</i> _e = 1.3069 <i>N</i> ₂ / <i>O</i> ₂ = 1.5492 <i>N</i> ₂ / <i>H</i> _e = 2.0247

Tabla 3. Permeancias y factor de separación para las membranas LTA y Silicalita-1. Datos de la literatura

Tipo de Zeolita	Soporte	T [K]	Permeancia $\times 10^{-7}$ <i>mol/sm²Pa</i>	Factor de separación	Referencia
Silicalita-1	α -Al ₂ O ₃	298	N ₂ = 0.8		[4]
ZSM-5	α -Al ₂ O ₃	300	N ₂ = 0.32 O ₂ = 0.46 He = 1.03	He / N ₂ = 3.22 O ₂ / N ₂ = 1.45	[4]
ZSM-5	α -Al ₂ O ₃	300	N ₂ = 15.6 He = 26.7	He/N ₂ = 1.7	[4]
LTA	Al ₂ O ₃	293	N ₂ = 0.305		[5]
LTA	Al ₂ O ₃	298	N ₂ = 6.66		[5]
LTA5/PTMSP				O ₂ / N ₂ = 1.84	[6]

*PDMS = polydimethylsiloxane.

CONCLUSIONES

Al realizar este estudio, no se pudo analizar con mayor profundidad el comportamiento de las membranas LTA y Silicalita-1 utilizando aire por dentro (tubo) y helio fuera (coraza) como gas de arrastre, ya que al tratar los datos solo en dos de ellos se observó presencia de oxígeno y helio. Al comparar los resultados en ambas membranas, se pudo concluir, que, para el caso de las fracciones molares permeadas de helio y nitrógeno, la membrana Silicalita-1 permea más helio que la LTA, esto se debe a su estructura y tamaño de poro. En el caso del oxígeno, observamos que la fracción molar permeada depende muy poco de la razón de flujos para el intervalo de flujo utilizados. También encontramos que la fracción molar permeada de O₂ es ligeramente mayor en Silicalita-1 que en LTA. En esta misma condición de alimentación se encontró que la fracción molar permeada de N₂ es mayor que la O₂ y que la de He, esto es $y_{N_2} > y_{O_2} > y_{He}$. Se encontró también que la fracción molar permeada tanto de He como de N₂ no depende de la forma de alimentación, esto es, es independiente si se utiliza He ó Aire como gas de arrastre.

Al analizar los resultados obtenidos con una membrana de Silicalita-1 para diferentes flujos volumétricos, introduciendo He dentro (tubo) y aire fuera (coraza), se observó, que la fracción molar de He aumenta con la razón de flujos, en tanto que cuando $Q_{He} / Q_{Aire} \leq 1$, la fracción molar de N₂ y O₂ es mayor.

Por otro lado, al comparar nuestros resultados con los de otros autores, observamos que la permeancia de N₂ en la membrana LTA coincide con los datos reportados en la literatura.

El resultado que se obtuvo al calcular la selectividad o factor de separación en la membrana LTA y Silicalita-1 utilizando He como gas de arrastre fue $O_2/N_2 > 1$, esto quiere decir que separa más oxígeno que nitrógeno. Mientras que cuando se utiliza Aire como gas de arrastre $N_2/O_2 > 1$, lo que indica que en esta condición de alimentación separa más N₂ que O₂.

A lo que concluimos es que si se quiere obtener mayor cantidad de oxígeno a partir de aire la condición de alimentación debe ser, aire dentro del tubo y Helio en la coraza como gas de arrastre ya sea en una membrana LTA o Silicalita-1.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hashim, S. S., Mohamed, A. R., & Bhatia, S. (2011). Oxygen separation from air using ceramic-based membrane technology for sustainable fuel production and power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1284–1293. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.002>
2. Fernández Ana, B., Clara, C. C., Susana, V., & Angel, I. (2016). Mixed Matrix Membranes for O₂/N₂ Separation: The Influence of Temperature. *MDPI*, 1–12.
3. Hernández Morales, M. G. (2016). *Permeación de helio en una membrana de Silicalita-1*.
4. Tavolaro, A., & Drioli, E. (1999). Zeolite Membranes, (12), 975–996.
5. Yanshuo Li, Hongliang Chen, Jie Liu, W. Y. (2006). Microwave synthesis of LTA zeolite membranes without seeding. *Membrane Science*, 231–239. <http://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.10.033>
6. Fernández-Barquín, A., Casado-Coterillo, C., Valencia, S., & Irabien, A. (2016). Mixed matrix membranes for O₂/N₂ separation: The influence of temperature. *Membranes*, (2), 1–12. <http://doi.org/10.3390/membranes6020028>

APLICACION MÓVIL PARA EL COBRO E IMPRESIÓN DE ARCHIVOS A TRAVÉS DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES DE ITSOEH

Aguilar O. Cristy Elizabeth, Godínez J. Alicia Montserrat, Villeda A. Gabriela, Fuentes M. Yeimi

Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo

RESUMEN

En el Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo (ITSOEH), además de ofrecer programas educativos de nivel superior, proporciona servicios complementarios para el desarrollo de las actividades escolares, en caso concreto el servicio de impresión, que se ha convertido en una necesidad preponderante en la entrega de trabajos o en la documentación requerida para el logro de las competencias.

Actualmente el Instituto solo cuenta con el servicio de impresión en uno de los seis edificios que lo conforman, atendiendo a una matrícula de 2579 estudiantes, sin contar personal docente y administrativo que también hace uso de dicho servicio. Al tener una alta demanda de impresiones, es necesario optimizar los recursos y tiempo para agilizar el proceso; motivo por el cual es necesario desarrollar la investigación de una aplicación que se controle en la red de telecomunicaciones de ITSOEH y que permita ejecutar las funciones necesarias para gestionar el cobro de impresión y que además controle tanto a los usuarios a través de un inicio de sesión como los archivos que se van a utilizar.

Bajo este contexto, se analizaron las aplicaciones disponibles en la tienda de PlayStore que ofrecen servicios de impresión, con el objetivo de identificar áreas de oportunidad y analizar los servicios existentes; por otra parte, se diseñó y aplicó un instrumento de recolección de datos (encuesta) para determinar la pertinencia del desarrollo de una aplicación móvil, propia de ITSOEH, que permita gestionar el proceso de impresión y controlar el cobro del servicio.

El proyecto describe el análisis del estado del arte de las aplicaciones móviles encontradas, así como el resultado del instrumento de recolección de datos; donde se encontró que los problemas comunes a los que se enfrentan estudiantes y docentes con el servicio actual corresponden a la larga fila de espera y al costo excesivo, lo que proporciona un panorama favorable para el desarrollo e implementación de una aplicación personalizada.

INTRODUCCIÓN

La impresión móvil es una tecnología importante que permite mejorar la productividad y la rentabilidad de las operaciones del servicio, mejorando la eficacia de los esfuerzos de automatización optimizando los recursos humanos y económicos. Además, proporciona un retorno rápido de la inversión al aumentar el grado de respuesta, el servicio al cliente y los mejoramientos

de eficiencia de los programas que utiliza para entregar el servicio a los usuarios. Este servicio aumenta la confianza y la lealtad de los usuarios, ayudando a optimizar tiempos, costos e infraestructura cuando algún docente o alumno requiera imprimir un documento.

El propósito del presente proyecto surge de la necesidad de brindar a ITSOEH la oportunidad de mejorar sus procesos y eficientar sus actividades con la implementación de tecnologías que optimicen el uso de sistema de impresión que la institución posee para poder atender las necesidades, se ha realizado una investigación previa acerca del tipo de dispositivos que son adecuados para la aplicación móvil de impresión tales como: impresoras de puesto, de red, multifunción, fotocopiadoras, etc. con estos datos de estudio se puede presentar una propuesta que satisfaga las necesidades que proporciona el servicio de impresión de calidad, con los consumos necesarios, ubicando el tipo de dispositivos adecuados en cada espacio de un modo más racional y con una distribución efectiva.

ESTADO DEL ARTE

En la actualidad son muchas las aplicaciones que se han desarrollado para solucionar problemas relacionados con el acceso remoto y el control de actividades diarias que realiza el ser humano. El *cloud computing* se ha convertido en una de las tendencias más importantes para compartir y distribuir información mediante el acceso remoto y/o en tiempo real utilizando internet como medio esencial para lograr que dichos desarrollos funcionen de manera óptima.

Existen aplicaciones móviles que utilizan los sistemas de telecomunicaciones y los servicios de internet para proporcionar facilidad y accesibilidad a recursos que faciliten el desarrollo de tareas; como es el caso de las actividades educativas que cada día deben resolverse con eficacia y rapidez además de un costo accesible; por ejemplo la impresión de los archivos generados en actividades como tareas, trabajos, etc., implican tiempo y dinero para la entrega de cada uno de ellos; motivo por el cual es necesario realizar mejoras para optimizar dicho proceso.

En el caso de las aplicaciones móviles orientadas a satisfacer este tipo de necesidades, se ha encontrado que la mayoría de ellas están desarrolladas en la plataforma Android, que corresponde a la tecnología más utilizada en el mercado. Dentro de las que se destacan las siguientes:

- ❖ Google Cloud Print. Aplicación que permite realizar impresiones desde el dispositivo móvil aceptando imprimir documentos, contactos, páginas web, mensajes de texto, correos electrónicos, archivos adjuntos. (Google, 2017)
- ❖ Easy Print. Permite administrar impresoras y trabajos de impresión, e imprimir documentos y correos electrónicos (Microsoft, 2017)
- ❖ Mobile Print. Desarrollado por la compañía Samsung, asegura impresión de archivos, páginas web, imágenes, eventos del calendario, contactos, mensajes de texto, mensajes de correo electrónico, cuenta con opciones para elegir el tamaño del papel, la orientación, copias, color, del tipo de archivo que se va a imprimir. (MobileDynamix, 2017)
- ❖ PrintJinni. Aplicación que imprime cualquier archivo y permite la pre-visualización antes de imprimirlo, no se encuentra disponible en México. (Thinxtream, 2017)

Es evidente que las aplicaciones satisfacen las necesidades básicas de impresión para los usuarios, pero no controlan el monitoreo de los archivos y el pago por el servicio.

METODOLOGÍA

Para poder identificar los problemas en el servicio de impresión de ITSOEH y conocer las necesidades y/o preferencias de los usuarios, se diseñó y aplicó un instrumento de recolección de datos, el cual sólo fue proporcionado a usuarios de las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales y Arquitectura, debido a que ambas se encuentran en el edificio IV donde se

localiza el único servicio de impresión; a continuación se detalla la metodología empleada para obtener la información antes mencionada:

1.- Diseño de instrumento de recolección de datos. En esta primera etapa se generó una encuesta que incluía preguntas para identificar en qué periodo del semestre se imprime más, el tiempo promedio del servicio, preferencias de impresión, entre otras preguntas clave. La Figura 1, corresponde al instrumento diseñado.

2.- Cálculo de muestra. Considerando una población de 540 usuarios incluyendo estudiantes, docentes y personal administrativo, dentro de las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales y Arquitectura, y aplicando la ecuación 1, se obtuvo una muestra de 224.71., considerando un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{(N-1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}$$

Ecuación 1. Fórmula para calcular muestra (Hernandez Sampieri & al, 2006)

Donde

n = Tamaño de la muestra a calcular

N = Tamaño de la población

Z = Desviación del valor medio,

e = Margen de error máximo que admito

p = Proporción que se espera encontrar

3.- Aplicación de instrumento. Durante esta etapa se aplicaron 225 encuestas a usuarios, a través de formatos impresos que fueron entregados a estudiantes, docentes y administrativos, de las carreras ya mencionadas.

4.- Análisis de resultados. Para analizar los datos encontrados en la aplicación del instrumento, se utilizaron herramientas ofimáticas.



ENCUESTA PARA CONOCER LAS PREFERENCIAS
SERVICIO DE IMPRESIÓN EN EL EDIFICIO IV



1. ¿A qué división de carrera perteneces?
 - Ingeniería en sistemas computacionales
 - Arquitectura
2. ¿Cuál es tu rol en la división de carrera?
 - Administrativo
 - Docente
 - Alumno
3. ¿En qué periodo del semestre imprimes más archivos?
 - Al iniciar el semestre
 - En cada corte parcial
 - Al final del semestre
 - Apertura de convocatorias
 - Otro: _____
4. ¿Dónde imprimes tus archivos?
 - En la papelería del edificio IV
 - En la jefatura de la división de carrera
 - En mi casa
 - En un ciber
 - Otro: _____
5. ¿Cuántas hojas al día imprimes?
 - 1 a 3 impresiones
 - 4 a 7 impresiones
 - De 8 a 10 impresiones
 - Más de 10 impresiones
6. Al elegir las preferencias de impresión ¿Cuál es la opción que más utilizas?
 - A color
 - Blanco y/o negro
 - Las dos anteriores
7. ¿Cuál es el tamaño de papel que más utilizas para imprimir tus archivos?
 - Carta
 - Oficio
 - Tabloide
8. ¿Cuál es el tipo de papel que más utilizas para imprimir tus archivos?
 - Papel bond
 - Opalina gruesa
 - Opalina delgada
 - Otro: _____
9. ¿Cuál es el mayor problema que observas al momento de imprimir en la papelería de ITSOEH? (Elige varias opciones)
 - Larga fila de espera
 - Infección de virus en la USB
 - El costo de hojas en blanco
 - El costo de las impresiones
 - El tiempo en modificar el archivo para imprimirlo
10. ¿Cuánto estás dispuesta a pagar por cada impresión a color?
 - 0.50 c - \$2.00
 - \$3.00 - 5.00
11. ¿Cómo describirías la calidad de impresión del servicio de la papelería de ITSOEH?
 - Excelente
 - Aceptable
 - Mala
12. ¿Cuentas con un teléfono inteligente?
 - Sí
 - No
13. Selecciona el sistema operativo con el que trabajas:
 - ANDROID
 - IOS
 - WINDOWS Phone
 - Otro: _____
14. ¿Qué opinas acerca de utilizar una aplicación móvil que te facilite imprimir tus archivos a través de un sistema de red?
 - Interesante
 - Regular
 - Indiferente
15. Si la aplicación te permite comprar saldo para pagar automáticamente tus impresiones ¿Cuál sería tu forma de pago para adquirirlo?
 - Tarjeta de saldo
 - Bitcoin
 - Otro: _____
16. ¿Qué propones para mejorar el servicio de impresión en ITSOEH?



Gracias por tu participación

Figura 19. Instrumento de recolección de datos

RESULTADOS

De las 225 encuestas aplicadas, 89% correspondieron a estudiantes, 10% a personal docente y el 1% restante a personal administrativo. Como lo muestra los resultados que se presentan en la Tabla 1, dentro de los datos que más destacaron se encontró que los periodos donde más se hace uso del servicio de impresión corresponden a cada corte parcial y al final del semestre, con 110 y 60 ocurrencias, por parte de los estudiantes, mientras que para el personal fue de 13 y 9, respectivamente. Los resultados mostraron que los lugares concurridos para el proceso de impresión corresponden al edificio IV, que contempla la papelería y la división de carrera, con 131 respuestas.

Se destacaron que los principales problemas que intervienen en el servicio de impresión son el excesivo tiempo de espera, el costo de servicio y finalmente, el daño de los archivos electrónicos a través de virus. Los encuestados argumentaron que el medio para mejorar el servicio sería incrementar el número de acceso a las computadoras y reducir el costo de impresión.

Pregunta	Opciones de respuesta	No. Ocurrencias	
		Estudiantes	Personal
<i>Periodo de impresión</i>	Al iniciar el semestre	25	4
	En cada corte parcial	110	13
	Fin de semestre	60	9
	Apertura de convocatorias	0	0
	Otro: todo el semestre	13	2
<i>Lugar de impresión</i>	Papelería edificio IV	131	12
	División de carrera	2	14
	Ciber	33	9
<i>Problemas de impresión</i>	Tiempo	165	8
	Infección de virus	100	7
	Costo	147	6
<i>Mejoras al servicio</i>	Incrementar computadoras	14	2
	Reducir el costo	20	2

Tabla 13. Número de ocurrencias por pregunta con opción múltiple de respuestas

Continuando con el análisis de identificación de requerimientos, se encontró que la calidad del servicio de impresión actual es considerada “malo”, con un 62% para los estudiantes y 92% para el personal, por lo que uno de los cuestionamientos acerca de la posible solución sería el contar con una aplicación que automatice y mejore el proceso, además de controlar su costo, por lo que el 79% de los estudiantes y el 100% del personal mostró interés en la propuesta. Finalmente, se descubrió que el 76% de la matrícula estudiantil cuenta con un teléfono inteligente con sistema operativo Android, lo que da pauta a utilizarlo como plataforma de desarrollo del proyecto.

Pregunta	Opciones de respuesta	Porcentaje	
		Estudiantes	Personal
<i>Calidad del servicio</i>	Excelente	16%	8%
	Aceptable	22%	0
	Malo	62%	92%
<i>Opinión de app</i>	Interesante	79%	100%
	Regular	16%	0
	Indiferente	5%	0
<i>Sistema operativo</i>	Android	76%	60%
	ios	13%	32%
	Otro	11%	8%

Tabla 14. Porcentajes de respuesta por preguntas concretas.

CONCLUSIONES

Durante ésta etapa de recolección de datos y análisis de información se detectó que los encuestados no se encuentran satisfechos con el servicio de impresión que brinda el Instituto y que entre las alternativas de solución que se proponen, destaca el incremento de dispositivos para utilizar el servicio y que el costo disminuya gradualmente debido a que los periodos intensos de

impresión se llevan a cabo durante la evaluación de cada parcial tanto para estudiantes como para el personal; aunado a ello se identificó que la problemática recae en el tiempo de espera y el daño a los dispositivos de almacenamiento que se encuentran expuestos a archivos maliciosos (virus) debido a que los equipos que brindan el servicio no se encuentran protegidos.

Además, se concretó que el medio para solucionar las problemáticas que afectan la calidad del servicio de impresión es a través del desarrollo e implementación de una herramienta tecnológica que administre los archivos y el costo del mismo; y que dicha herramienta deberá garantizar que durante los periodos identificados se agilice el proceso de impresión.

Finalmente, la aplicación que será desarrollada para dar solución a la problemática planteada será a través de la plataforma Android con la finalidad de ofrecer a los usuarios una interfaz manejable y de fácil acceso.

BIBLIOGRAFÍA

1. Google. (2017). *Google.es*. Obtenido de www.google.es/landing/cloudprint/
2. Hernandez Sampieri, R., & Fernandez Collado C, B. L. (2006). *Metodología de la Investigación*. 4ta edición.
3. Microsoft. (2017). *Technet.Microsoft*. Obtenido de [www.technet.microsoft.com/es-es/library/ff5191999\(v=ws.10\).aspx](http://www.technet.microsoft.com/es-es/library/ff5191999(v=ws.10).aspx)
4. MobileDynamix. (20 de abril de 2017). *GooglePlay*. Obtenido de www.play.google.com/store/apps/details?id=com.dynamixsoftware.printershare
5. *PrintJinni*. (s.f.). Obtenido de <http://www.printjinni.com/>
6. Thinxstream, T. (21 de Noviembre de 2017). *PrintJinni*. Obtenido de www.printjinni.com

DESARROLLO DE MICROELECTRODOS FLEXIBLES PARA LA ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA DE LA CÓRNEA

Natiely H. Sebastián, D. D. Alonso, W. C. Arriaga

Instituto Nacional de Astrofísica óptica y Electrónica (INAOE, México),

natiely@inaoep.mx, ddalonso@inaoep.mx, wcallega@inaoep.mx.

RESUMEN

Hoy en día la tecnología biomédica representa un campo de estudio estratégico porque se proyecta como un área con potencial muy alto para resolver diversos problemas de salud. En este contexto, los dispositivos MEMS para aplicaciones médicas (BioMEMS) han dado cauce al desarrollo de microelectrodos sobre sustratos completamente flexibles y estables para la estimulación y registro de señales eléctricas y biológicas. Esta tecnología ha dado soporte a esquemas para el registro de señales neuronales y estimulación eléctrica de células, además, de una gran variedad de estudios relacionados con fisiología. En este trabajo, se presenta una alternativa concreta para el tratamiento de enfermedades visuales degenerativas, se propone el diseño y la fabricación de un sistema novedoso de microelectrodos flexibles para la estimulación eléctrica de la córnea, utilizando la tecnología de fabricación PolyMEMS-INAOE®. Para finalmente obtener un dispositivo de estimulación eléctrica selectiva espacialmente, de bajo costo, mecánicamente estable y tecnológicamente reproducible.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la tecnología biomédica es uno de los campos con mayor actividad y su desarrollo ha derivado en una gran variedad de procedimientos en síntesis de materiales y métodos combinados de fabricación, dando soporte a esquemas portátiles de análisis y terapia, revolucionando el diagnóstico médico y modalidades de tratamiento. Así mismo, la constante evolución en materiales y dispositivos de película delgada han impulsado numerosos desarrollos en el campo de la electrónica flexible y nuevos procesos de integración, los cuales ofrecen una serie de ventajas, tales como: bajo costo, alta escalabilidad, bajo peso, y la integración con dispositivos heterogéneos. En el área médica la electrónica flexible representa un campo muy atractivo, ya que los organismos vivos, órganos, tejidos, etc., son intrínsecamente flexibles y maleables, por lo tanto, en este tipo de aplicaciones, la ergonomía es una necesidad para el éxito de la implantación de la electrónica en los sistemas biológicos. Además, el uso de dispositivos flexibles permite reducir los daños al tejido al tener superficies plegables y de forma irregular, que permiten el acoplamiento físico sin alteraciones mecánicas y biológicas. Recientemente, una gran variedad de polímeros han sido estudiados como materiales de BioMEMS, ya sea como sustrato, encapsulado o películas estructurales. Siendo la Poliimida (PI) uno de los polímeros más utilizados, principalmente por sus

excelentes propiedades eléctricas (aislante) y mecánicas, además, de ser considerado un material inerte y biocompatible.

En la práctica clínica y la investigación médica, la degeneración visual es un problema de salud pública de alto impacto, se estima que en el mundo hay alrededor de 285 millones de personas con alguna discapacidad visual, de las cuales 39 millones son ciegas y 29 millones presentan baja agudeza visual [1]. De las estadísticas anteriores, se estima que al menos el 80% de los casos se podría prevenir o evitar [1]. Sin embargo, la falta de información y un tratamiento oportuno y eficiente son los principales obstáculos en la prevención. En este contexto, se propone el diseño y la fabricación de un sistema novedoso de microelectrodos flexibles para la estimulación eléctrica de la córnea, utilizando la tecnología de fabricación PolyMEMS-INAOE®. Para finalmente obtener un dispositivo de estimulación eléctrica selectiva espacialmente, de bajo costo, mecánicamente estable y tecnológicamente reproducible.

METODOLOGIA

Partiendo del diseño y la fabricación de un generador se señales eléctricas capaz de emular cualquier potencial de acción típico en la retina [2], se desarrolla un arreglo de microelectrodos para la estimulación eléctrica de la córnea humana. El diseño consiste de una matriz de 16 microelectrodos independientes, dos electrodos de referencia y 20 contactos externos para el suministro de la señal de estimulación, estructuras de prueba y marcas de alineación, ver fig. 1. El área que abarca la parte central del diseño corresponden a las dimensiones típicas de una córnea humana. Las dimensiones de cada microelectrodo es de 80 por 80 micras de lado y una distancia mínima entre electrodo de 400um.

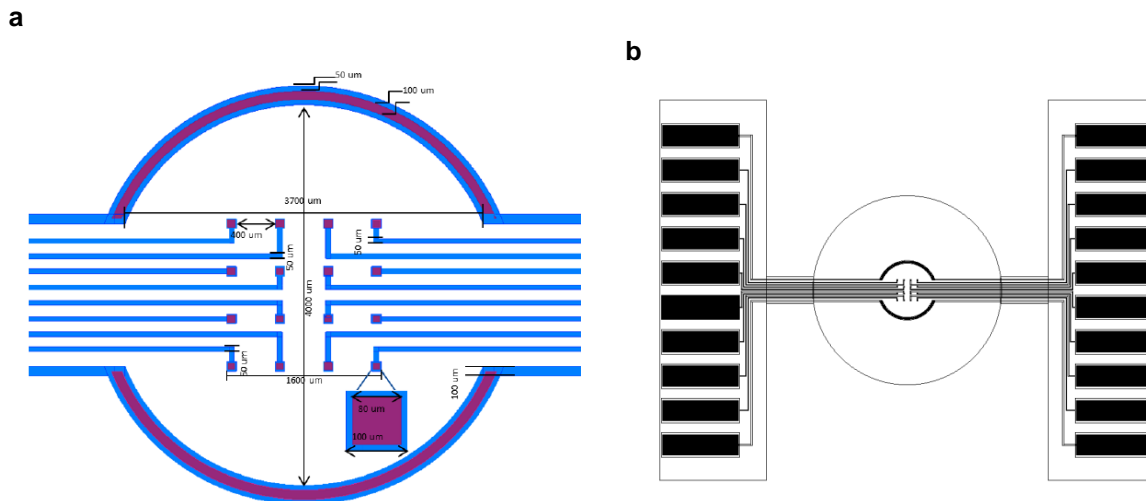


Figura 1a. Dimensiones de las estructuras principales; 2b Layout completo del chip de estimulación eléctrica.

El proceso de fabricación del chip de estimulación eléctrica de córnea se desarrolla en base a la tecnología PolyMEMS INAOE® y técnicas adicionales de fabricación del laboratorio de Microelectrónica. Se utilizan diversos materiales, entre ellos, dos niveles de poliimida con características diferentes. El primer nivel se desarrolla como material de substrato estructural

grosso y flexible, mientras que el segundo nivel delgado tiene la función de capa protectora biocompatible. Como material conductor, se utiliza una película metálica compuesta de titanio sobre aluminio. Por consiguiente, se conservara la biocompatibilidad y se reducirá la resistencia eléctrica de los electrodos, las pistas de interconexión y los contactos.

El proceso de fabricación del chip de estimulación eléctrica se desarrolla considerando las siguientes etapas: (i) Depósito de una película gruesa de poliimida como material de substrato flexible, (ii) evaporación de la bicapa metálica y grabado de los patrones metálicos, (iii) Deposito de una película delgada de poliimida como película protectora biocompatible, (iv) grabado para definir la geometría final del dispositivo y (v) liberación del substrato flexible, ver fig. 2.

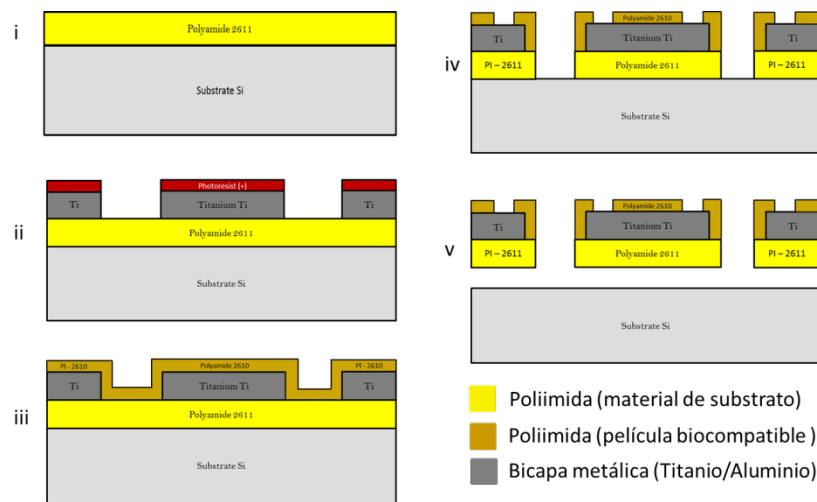


Figura 2. Etapas principales del proceso de fabricación del chip de estimulación eléctrica.

RESULTADOS

La figura 3 muestra el dispositivo completo y las estructuras internas del chip de estimulación eléctrica después del proceso completo de fabricación, en las cuales podemos observar la integración de las estructuras incluso después de la manipulación del dispositivo en condiciones extremas (fig. 2b). Lo cual nos indica que el proceso propuesto y los materiales utilizados son funcionales para este tipo de aplicaciones.

(a) (b) (c)



Figura 3. a) Chip de estimulación eléctrica, b) pistas metálicas después del proceso de liberación, c) parte del arreglo de microelectrodos.

La aplicación de los microelectrodos está orientada a estimular la córnea, por lo tanto, debe contar con un sistema de interconexión eléctrica entre los contactos del chip y algún conector que suministre la señal de estimulación. Ya que el diseño de los contactos fue pensado para acoplarse con cualquier terminal de contacto estándar, se propone pegar directamente los pads (contactos) de titanio con los pines de un conector macho de paso. La figura 4 muestra el esquema de interconexión eléctrica del chip de estimulación, el proceso de interconexión consiste únicamente de dos pasos: pegar los pines sobre los contactos del chip de estimulación con tintura de plata y encapsular la región de los pines con una resina orgánica.

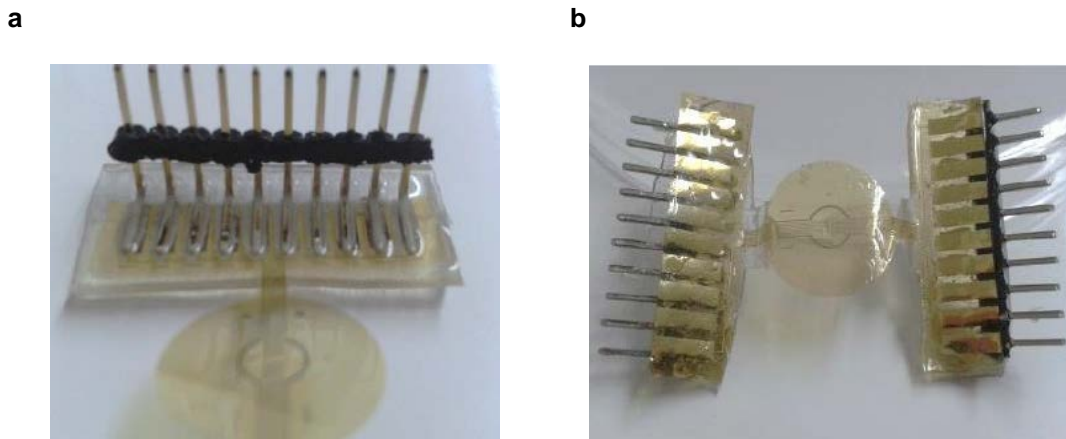


Figura 4. (a) Etapa de secado de la resina orgánica después de pegar los pines a los contactos con tintura de plata; (b) sistema de interconexión final.

Un parámetro de importancia en la caracterización eléctrica del chip de estimulación es la medición de la resistencia eléctrica, ya que, una resistencia muy alta afecta el potencial del electrodo y genera más ruido. Los resultados obtenidos para cada una de las pistas es de aproximadamente 70Ω , resultado que demuestra la efectividad de utilizar una bicapa metálica en este tipo de estructuras. Además, a fin de conocer el comportamiento *in-vivo* de la señal de estimulación aplicada al contacto y transmitida del electrodo a la córnea, se realizaron pruebas “in-vitro”

utilizando una solución salina (solución de Hartmann), que cubre completamente la matriz de electrodos de estimulación, tal y como se ilustra en la fig. 5.

En el montaje experimental, una señal eléctrica senoidal proveniente de un generador de funciones es suministrada al medio salino a través de uno de los pines, la señal es recogida por cualquiera de los otros 15 pines bajo prueba y registrada en el osciloscopio. Entonces, en este arreglo experimental, el osciloscopio registra las señales de entrada y salida, que se transmiten entre dos electrodos que son comunicados eléctricamente por la solución salina.

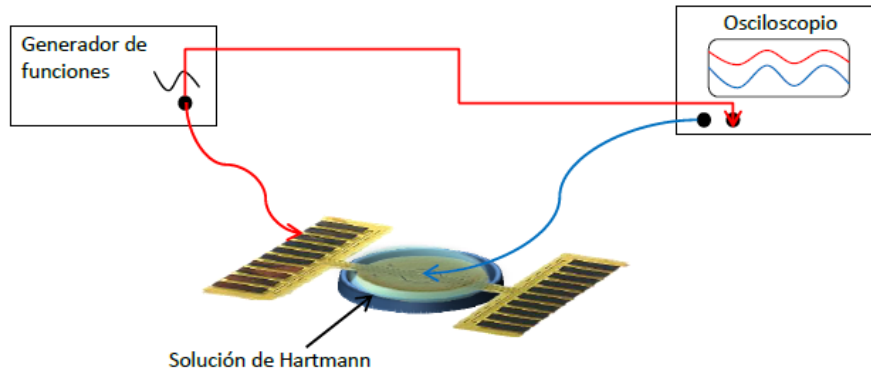
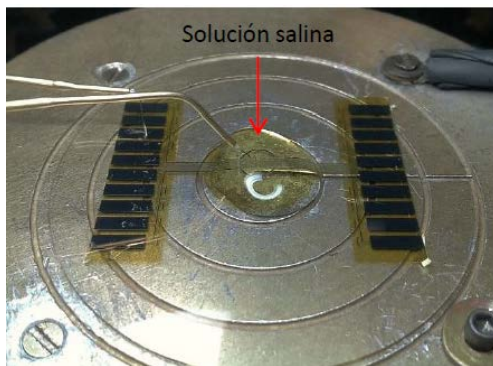


Figura 5. Montaje utilizado para caracterizar el comportamiento de los electrodos en un entorno biológico.

La fig. 6 muestra los resultados obtenidos, en los cuales podemos observar que la señal de entrada es la misma que la señal de salida. Esto significa que la señal eléctrica suministrada no es afectada por algún defecto físico en la poliimida de protección, que pudiera ocasionar trayectorias espurias entre los distintos electrodos inmersos en la solución salina.

a



b

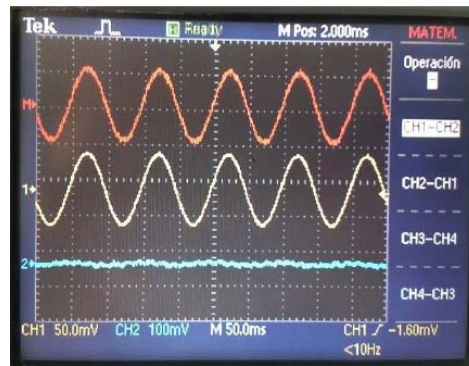


Figura 6. (a) Montaje de los electrodos para caracterizar su comportamiento en medios biológicos; (b) señal de entrada (rojo) y de salida (amarilla) aplicada un electrodo de estimulación inmerso en una solución salina.

Finalmente la biocompatibilidad del sustrato y la película protectora biocompatible se determinó a partir del análisis de espectroscopia infrarroja (FTIR), ya que, en aplicaciones experimentales *in-vivo* es de gran importancia evaluar y asegurar la ausencia de residuos tóxicos en los materiales externos (poliimida). La fig. 7 muestra los resultados de los espectros de absorción obtenidos.

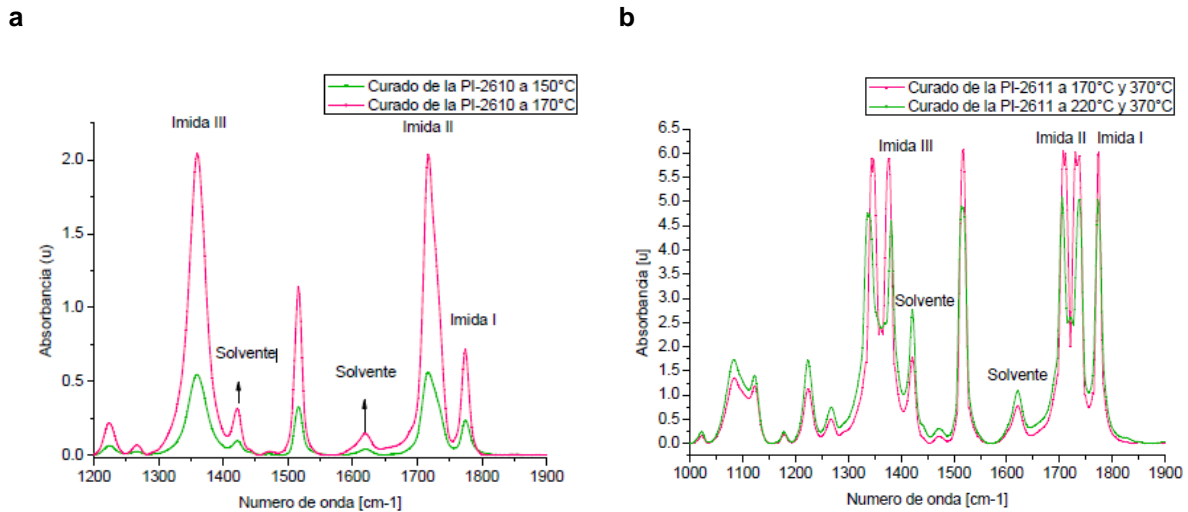


Figura 7. Espectro de absorción de la poliimida a) 2610 y b) 2611 para dos temperaturas de curado.

CONCLUSIÓN

Se desarrolló un proceso completo de fabricación y caracterización de electrodos planares, para la estimulación eléctrica de la córnea sobre sustratos flexibles, utilizando la tecnología PolyMEMS INAOE y técnicas adicionales de fabricación del laboratorio de Microelectrónica del INAOE. Las rutinas de caracterización *in vitro*, siendo exitosas en general, validan el procedimiento completo y los materiales utilizados para la fabricación y montaje del chip de estimulación. Finalmente se obtuvo un dispositivo de estimulación eléctrica selectiva espacialmente, de bajo costo, mecánicamente estable y tecnológicamente reproducible. Dado a sus características de proceso, este dispositivo puede ser utilizado en otras aplicaciones biomédicas como: plataforma de cultivo celular, registro de electroretinogramas y sistemas Patch Clamp. Mostrando así la versatilidad tecnológica del proceso propuesto en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Organización Mundial de la Salud.** "Ceguera y Discapacidad Visual" <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/>.
2. **Daniel Robles Camarillo.** "Estimulador Eléctrico Transcorneal," Ph.D. Instituto Politécnico Nacional: 2011.

ESTUDIO DE LA COMPARACIÓN DEL FLUJO LUMINOSO ENTRE FOCOS INCANDESCENTES, LED Y LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS

Christian Andres Alvarez Quiroz, Juan Jesús García Silva, Maritza Miroslava Badillo Gomez, Efrain Gutierrez Chavez, Claudia Carolina Vaca García, Cuauhtémoc Acosta Lúa, María Eugenia Sánchez Morales.

Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara, eugenia.sanchez@cuci.udg.mx

RESUMEN

En la actualidad la energía es indispensable para la humanidad, los diferentes tipos de iluminación son de vital importancia para el desarrollo de actividades que se realizan de manera cotidiana. Se habla de flujo luminoso que es la potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible [1]. Se conoce que la luz natural es ideal para realizar tareas en las áreas domésticas, de oficina, comercial o industrial; pero debido a que los espacios interiores de estas instalaciones son considerados como carentes de luz es necesaria la presencia de fuentes de luz artificial [2].

Es por esta razón que se decidió realizar la comparación del flujo luminoso de las fuentes luminosas artificiales más comunes (Focos Incandescentes, LED y Lámparas Fluorescentes Compactas). El estudio se llevó a cabo en un cuarto oscuro, se utilizó una caja de 173cmX26cmX30cm pintada de blanco por dentro y sellada de manera que no interfiriera el exterior. Se midió el flujo luminoso de cada tipo de foco con tres diferentes LUXOMETROS a 0.50m, 1.00m y 1.50m. Con todos los datos se promedió el Flujo Luminoso de cada fuente luminosa a cada distancia. Se graficaron los focos de 60W y 40W y sus respectivos focos LED y Fluorescentes compactos equivalentes de acuerdo a las especificaciones técnicas de fabricación, así se analizó la información para observar si cumplían con estas.

Se encontró que los focos LED son los que mayor flujo luminoso emiten en las 3 distancias, de los de mejor calidad que por ende son costosos; los focos fluorescentes compactos varían, en distancias cortas son buenos pero en largas se quedan por debajo y por último los focos incandescentes se mantienen constantes en cada distancia.

INTRODUCCIÓN

Una iluminación correcta permite al hombre, en condiciones óptimas un confort visual al realizar su trabajo y tareas de manera más segura y productiva. La capacidad que tienen nuestros ojos de adaptarse a condiciones deficientes de iluminación ha ocasionado problemas en la visión ya que más del 80% de la información que recibe es visual [3].

En la actualidad la energía es de suma importancia para la humanidad, ya que con ella se realiza una gran serie de actividades, la energía es la capacidad para efectuar una transformación de tipo física o química, hay diversos tipos por ejemplo [4]:

- Energía eléctrica.
- Energía luminosa.
- Energía mecánica.
- Energía térmica.
- Energía eólica.

- Energía solar.
- Energía nuclear.
- Energía cinética.

Entre estas destaca la energía luminosa ya que esta hace posible la vida y está presente en la mayoría de fenómenos que observamos. La energía luminosa es un tipo de potencia transportada por la luz, esta energía se relaciona con la materia de diferentes formas una de ellas al permitiéndonos poder observar nuestro entorno [4].

Los tipos de iluminación influyen en cuanto a sus características, siendo de tipo Natural y/o Artificial. Conociéndose que la luz natural produce un menor cansancio visual y una apreciación de los colores en su valor exacto. Aunque el hecho de ser variable requiere que sea complementada con luz artificial, en la iluminación artificial, se debe tener en cuenta: tipos de lámpara y luminarias a instalar según las áreas, rendimiento de las lámparas, costos de energía, duración y color. [3].

Existen diferentes tipos de iluminación que son con los cuales realizamos las actividades de manera cotidiana, se clasifican como:

Según su tipo de luz:

- **Natural:** Es la iluminación que proviene del Sol que varía por la rotación de la Tierra [3].
- **Artificial:** Se basa fundamentalmente en la generación controlada de la luz, aprovechando algunos fenómenos de termoradiación y luminiscencia que pueden lograrse dentro de las unidades de iluminación conocidas como lámparas. En este tipo de iluminación la dirección, color, intensidad y calidad pueden ser manipuladas, sin embargo es limitada en su alcance [3].

A continuación se presenta una tabla con las principales fuentes de luz artificial y se enuncian algunas de sus características:

Tabla 1. Tipos de fuentes de luz artificial y sus características.

TIPO	EFICIENCIA (LM/W)	RENDIMIENTO DE COLOR	ESPECIFICACIONES
Incandescente	17-23	Bueno	Es el más utilizado, pero es el menos eficiente. El costo de la lámpara es bajo. La vida útil de la lámpara es menos de un año.
Fluorescente	50-80	De aceptable a Bueno	La eficiencia y el rendimiento de color varían considerablemente con el tipo de lámpara. Con lámparas y balastos de alta eficiencia es posible reducir el consumo de energía.
De Mercurio	50-55	De muy deficiente a Aceptable	Tienen una larga vida útil (entre 9 y 12 años), pero su eficiencia decrece con el tiempo.
De Haluro Metálico	80-90	De aceptable a Moderado	El rendimiento del color es adecuado para muchas aplicaciones. Normalmente la vida útil es de 1 a 3 años.
De sodio de alta presión	85-125	Aceptable	Es muy eficiente. Su vida útil es de 3 a 6 años en promedio, con tiempos de encendidos de 12 horas por día.

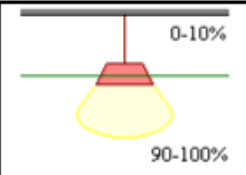
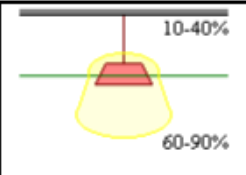
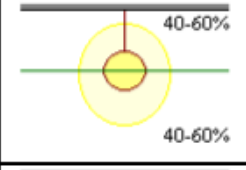
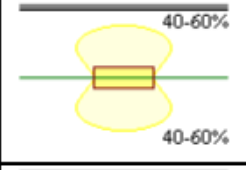

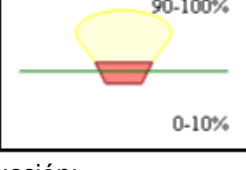
De sodio de baja presión	100-180	Deficiente	Es la más eficiente. Tiene una vida útil de 4 a 5 años con un promedio de encendido de 12 horas al día. Se emplea generalmente para el alumbrado de carreteras y grandes extensiones de tierra.
--------------------------	---------	------------	---

Fuente: Niebel. Ingeniería Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos. 11° Edición. Alfaomega. Pág.239. México

Se pueden clasificar de acuerdo a la distribución del flujo luminoso:

- **Iluminación directa:** El flujo luminoso es directo hacia abajo [4].
- **Iluminación semi directa:** El flujo luminoso es directo en gran parte hacia abajo (60-90%) y hacia arriba (10-40%).
- **Mixta (directa-indirecta):** El flujo luminoso está distribuido uniformemente hacia abajo (40-60%) y hacia arriba (40-60%).
- **General difusa:** El flujo luminoso está distribuido hacia abajo (40-60%) y hacia arriba (40-60%).
- **Semi indirecta:** El flujo luminoso es prevalente hacia la parte superior (60-90%).
- **Indirecta:** El rendimiento es bajo y la visión poco nítida por la falta del efecto de sombra. Hacia arriba (90-100%) [4].

Tabla 2. Clasificación de la iluminación general.

Directa		Semi directa	
General difusa		Directa-indirecta	
Semi indirecta		Indirecta	

Fuente: Julio G.; Iluminación, laboratorio de producción;
<http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/HYSI/PROTOCOLO%20DE%20ILUMINACION%202008-1.pdf>

También se debe de contemplar instalar iluminación complementaria o localizada donde se requiera más cantidad de luz, evitando el deslumbramiento directo o por reflexión hacia el trabajador. Según la NOM-025-STPS-2008 los niveles de iluminación para áreas de trabajo se muestra a continuación en la siguiente tabla 3 [5].

Tabla 3. Niveles de iluminación

Tarea Visual del puesto de trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En Interiores.	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailera.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750

<p>Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.</p>	<p>Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.</p>	<p>1,000</p>
<p>Alto grado de especialización en la distinción de detalles.</p>	<p>Ejecución de tareas visuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; • exactas y muy prolongadas, y • muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño. 	<p>2,000</p>

Fuente: Norma Mexicana para la correcta iluminación de los sitios de trabajo; NOM-025-STPS-2008; <http://www.iluminet.com/press/wp-content/uploads/2014/09/Almudena-Tabla.pdf>

Debido a las características descritas anteriormente el ser humano ha creado diferentes inventos para favorecer y proporcionar la iluminación en las áreas domésticas, de oficina, comercial o industrial. Uno de esos inventos han sido los focos dentro de los cuales encontramos incandescentes, LED, halógeno, fluorescentes compactos entre los más comerciales. En ésta investigación se comparará del flujo luminoso entre focos incandescentes, LED y lámparas fluorescentes compactas con el objetivo de determinar si cumplen con las especificaciones técnicas de fabricación.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Materiales y equipo:

- 1 Multímetro de gancho.
- 3 Luxómetros.
- 46 focos LED.
- 27 focos incandescentes.
- 43 focos fluorescentes compactos.
- 1 Caja de 173cmX26cmX30cm con recubrimiento interno blanco mate.
- 1 Oasis.
- 1 Computadora portátil.

El presente proyecto fue desarrollado por medio de una serie de mediciones de tres diferentes tipos de focos LED, incandescentes y fluorescentes compactos con la ayuda de tres diferentes luxómetros con los cuales se midió el flujo luminoso, una caja de cartón con las siguientes medidas 1.73mX0.26mX0.30m pintada de blanco mate por dentro y marcada a tres diferentes distancias 0.50m, 1.00m y 1.50m, la cual tiene una tapa removible que permitía que se abriera y cerrara para colocar los focos y los luxómetros, se utilizó un oasis dentro de la caja para sostener el foto detector del luxómetro y así la medición fuera más certera. También se tomaron medidas de voltaje y corriente con la ayuda de un multímetro de gancho ya que este tiene mayor rango para la lectura

de corriente alterna. Cabe mencionar que las mediciones se realizaron en un cuarto totalmente sellado y con las luces apagadas de tal manera que se logró evitar que cualquier otro tipo de iluminación entrara e interfiriera con la medición.

Como primer paso se elaboró un catálogo con los focos reclutados donde se vaciaron las especificaciones técnicas de fabricación tales como: potencia, potencia equivalente, corriente, voltaje, tipo de luz, flujo luminoso, temperatura de luz, eficiencia luminosa y factor de potencia, además de ser numerados para así poder tener un control sobre cada uno de ellos. La tabla 4 nos muestra la tabla de catalogo de focos presentados en los resultados.

Tabla 4. Tabla de catalogo de focos de acuerdo a información del vendedor

N°d e foc o	Poten cia (W)	Potencia equivale nte (W)	Corrient e (A)	Voltaje (V)	Tipo de luz	Lumen es	Temperat ura de luz (k)	Eficien cia lumino sa (Lm/W)	Factor de poten cia
INCANDESCENTES									
1	60			125- 127	CLARO	820			
3	40			125- 127	CLARO	490			
4	40			125- 127	CLARO	490			
6	60			125	CLARO	820			
7	60			125		820			
8	60			125		820			
21	60			125		820			
LED									
1	10	60	0.103	110- 130 V	Día	800	3000 K	80	>=0.7 0
20	7	40	0.04	100- 240	Blanca/Frí a	600	6500		>0.7
22	9	60	0.07/0.0 47	100- 240	Blanca/Frí a	806	6500		>0.7
23	9	60	0.07/0.0 47	100- 240	Blanca/Frí a	806	6500		>0.7

24	6.5	40	75 mA	100-240	Clara/Fría	600	6500	92	≥ 0.7
25	8.5	60	100 mA	100-240	Clara/Fría	806	6500	94	≥ 0.7
39	7	40	0.060	100-240	blanca/fría	600	6500	86	> 0.7

AHORRADOR

1	14	60	0.23	120	Blanco Suave	900	2700	64	
2	14	60	0.23	120	Blanco Suave	900	2700	64	
3	14	60	0.23	120	Blanco	800	5000	64	
4	14	60	0.23	120	Blanco	800	5000	64	
11	9	40	150 mA	110-127	Clara fría	480	6500	53	≥ 0.50
25	10	40	165 mA	120-127	Fría	540	6500	54	0.5
26	10	40	165 mA	120-127	Fría	540	6500	54	0.5

Como segundo paso se preparó el material para la toma de medidas lo cual consistió en marcar la caja a las distancias mencionadas anteriormente, se marcaron los luxómetros para tener un control sobre ellos, se colocó el oasis y se moldeó para poder colocar el foto detector del luxómetro, a su vez se elaboró una tabla con los siguientes datos: número de foco, distancia a la cual se realizó la medición, voltaje, corriente, número de luxómetro (1, 2, 3), promedio de las mediciones, rango utilizado y el error de la medición. Cabe mencionar que se elaboraron diferentes tablas para cada uno de los diferentes tipos de focos.

Como tercer paso se tomaron las medidas de los parámetros mencionados en el segundo paso, y se insertaron las fórmulas necesarias para el desarrollo del promedio y del error de las mediciones.

Como cuarto paso se analizaron las mediciones obtenidas, con las cuales se decidió elegir dos categorías una de 60W y otra de 40W, se eligieron los tres mejores focos de 60W y los dos mejores de 40W así como sus respectivos focos LED y Fluorescentes compactos equivalentes de acuerdo a las especificaciones técnicas de fabricación, se elaboraron gráficas de barras para establecer de una manera visual la comparación del flujo luminoso entre estos tipos de focos y determinar su relación con las especificaciones técnicas de fabricación.

RESULTADOS

De acuerdo a las especificaciones que nos mandan los vendedores de los focos ahorradores y lamparas LED, estas se manejan bajo la referencia de los focos incandescentes; bajo esta premisa se hicieron las comparaciones bajo las especificaciones de equivalencia dada por los productores. Las figuras 1, 2 y 3 nos muestra la comparación de focos que tienen una equivalencia de 40 W para 0.5; 1.0 y 1.5 metros respectivamente. Para la figura 1 se puede observar, que los Lumenes para el mejor foco incandesente es de 135 Lm, LED de 254 Lm y de lampara fluoresente compacta de 165 Lm así el que tiene mayor lumenes de iluminación es el foco LED y de acuerdo a las tablas 2 y 3 se podria utilizar para iluminar de forma directa para requerimientos visuales simples (lamparas de mesa), pero no así para las lamparas incandescentes y ahorradores.

Las figuras 2 y 3 nos ilustra la comparación de emisión de Lumenes de los focos ahorradores, LED e incandescentes que equivalen a 40W, solo que a distancias de 1.0 y 1.5 metros respectivamente, podemos observar que el LED en ambas son los que tienen mejor iluminación pero de acuerdo a la tabla 3 unicamente recomendado para interiores sirviendo para distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.

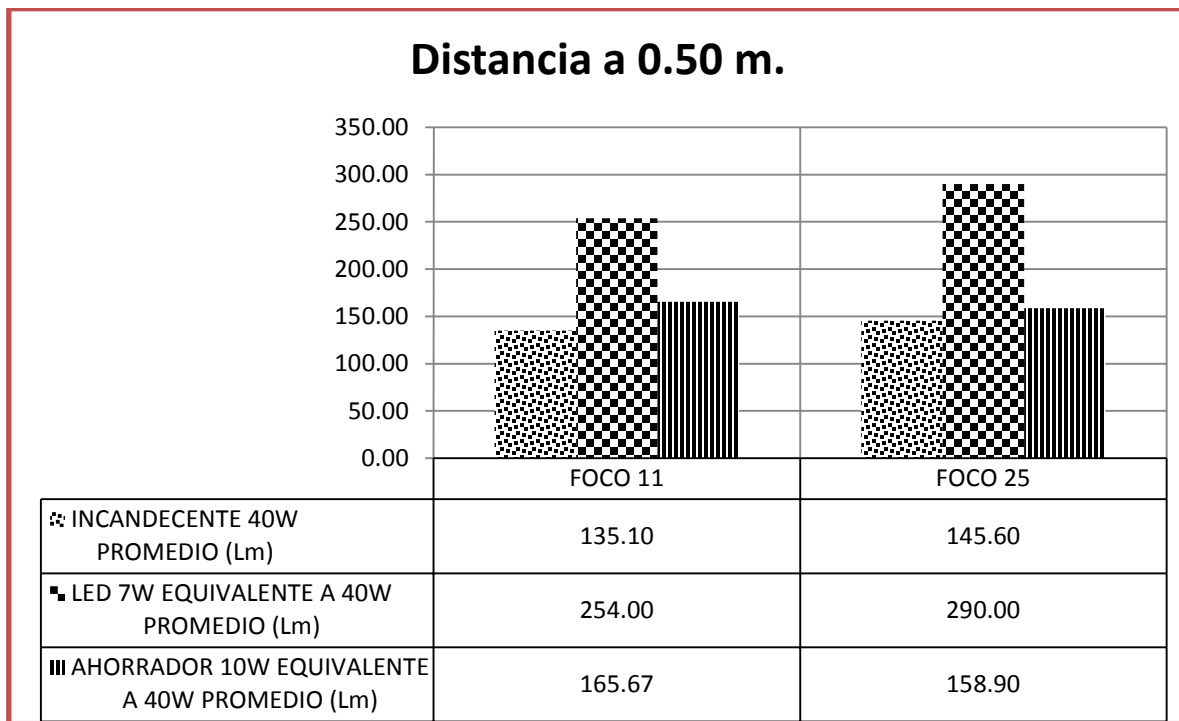


Figura 1. Comparación de emisión de luz de focos incandescentes, ahorradores y LED equivalentes a 40W de potencia de focos incandescentes.

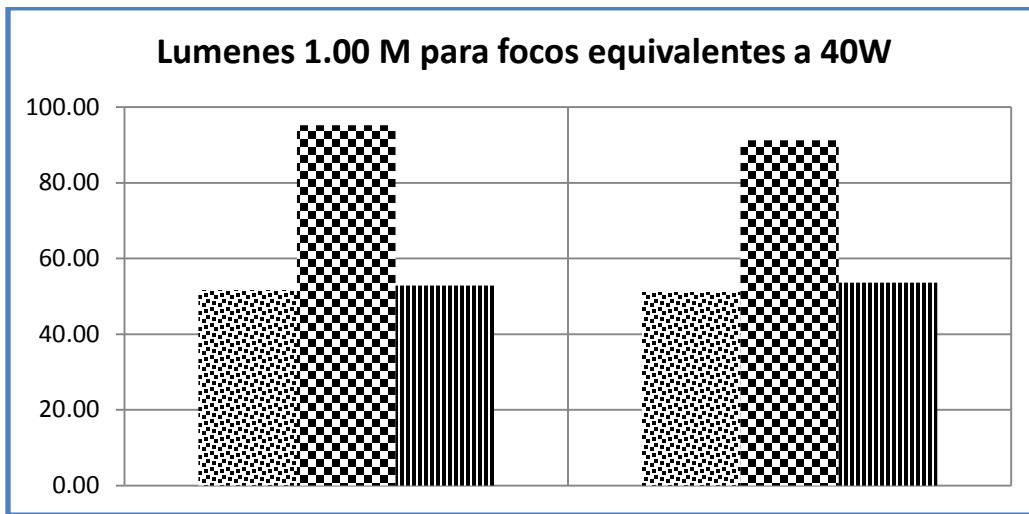


Figura 2. Comparación de emisión de luz de focos incandescentes, ahorradores y LED equivalentes a 40W de potencia de focos incandescentes a 1 metro de distancia de la emisión.

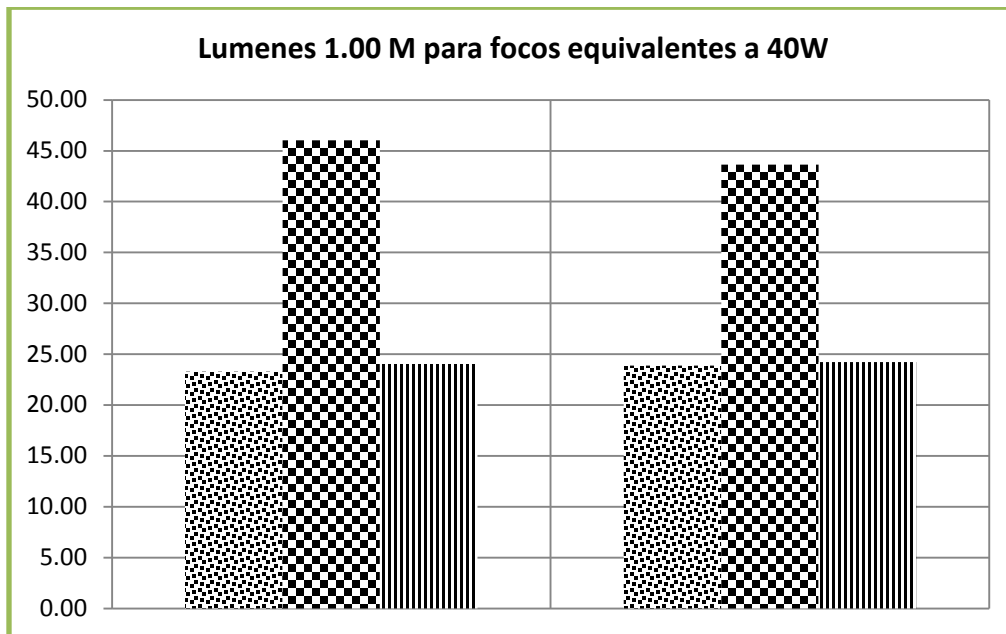


Figura 3. Comparación de emisión de luz de focos incandescentes, ahorradores y LED equivalentes a 40W de potencia de focos incandescentes a 1.5 metro de distancia de la emisión.

En las siguientes tablas 5, 6 y 7 se muestran los promedios de los mejores focos de LED, incandescentes y ahorradores a 60W a diferentes distancias ya mencionadas con anterioridad. En la tabla 5 se puede observar que el mayor flujo luminoso para el mejor foco incandescente es de 288.33 Lm, para el mejor LED es de 350.67 Lm, y para el ahorrador es de 344.33 Lm, por lo tanto el LED como el Ahorrador según la tabla 3 pueden ser utilizados para tareas de distinción

moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina a 0.50 metros de distancia.

Tabla 5. Comparación de emisión de luz de focos incandescentes, LED y ahorradores equivalentes a 60W de potencia de focos incandescentes a 0.50 metros de distancia de emisión.

Tipo de Foco	Foco 1	Foco 2	Foco 3
Incandescentes de 60W Promedio Lm	266.00	275.00	288.33
LED de 10W equivalente a 60 W promedio Lm	378.00	369.67	350.67
Ahorrador de 14W equivalente a 60W promedio Lm	287.00	316.33	344.33

En las tablas 6 y 7 se muestran las comparaciones del flujo luminoso de los focos incandescentes, LED y ahorradores pero a 1.0 y 1.5 metros de distancia, donde se puede observar que los focos LED siguen siendo los que mayor flujo luminoso emiten en ambas distancias, también que los focos ahorradores en la tabla 7 se quedan por debajo de los focos incandescentes y LED. Según la tabla 3 a la distancia de 1.0 metro sólo serían útiles en áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas y a 1.5 metros se podrían utilizar en Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia y para tareas en interiores como: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.

Tabla 6. Comparación de emisión de luz de focos incandescentes, LED y ahorradores equivalentes a 60W de potencia de focos incandescentes a 1.0 metros de distancia de emisión

Tipo de Foco	Foco 1	Foco 2	Foco 3
Incandescentes de 60W Promedio Lm	92.50	95.43	99.23
LED de 10W equivalente a 60 W promedio Lm	119.43	124.37	135.73
Ahorrador de 14W equivalente a 60W promedio Lm	84.87	108.23	111.13

Tabla 7. Comparación de emisión de luz de focos incandescentes, LED y ahorradores equivalentes a 60W de potencia de focos incandescentes a 1.5 metros de distancia de emisión.

Tipo de Foco	Foco 1	Foco 2	Foco 3
Incandescentes de 60W Promedio Lm	43.37	43.23	42.43
LED de 10W equivalente a 60 W promedio Lm	53.70	59.20	63.00

**Ahorrador de 14W
equivalente a 60W
promedio Lm**

37.00

37.67

37.17

CONCLUSIONES

Analizando la emisión de los focos incandescentes, ahorradores y lamparas LED se encontró que los que cumplen mejor las características de iluminación son las lámparas LED por encima de los focos incandescentes, quienes fueron de las primeras fuentes de iluminación artificial. Sin embargo los focos ahorradores que son los que son de uso más común no cumplen con los requerimientos de iluminación, lo cual a la larga pueden afectar en la visión de los usuarios al provocar un desgaste mayor de los ojos para realizar las actividades cotidianas.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue apoyado y realizado por el Cuerpo Académico del Consolidado UDG-CA-871 CIENCIAS APLICADAS A INGENIERÍA

BIBLIOGRAFIA

1. Lopez, B. S. (2016). *Iluminacion*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/iluminaci%C3%B3n/>
2. Rodriguez, L. (2010). *Iluminacion*. Obtenido de <http://iluminaciondeinteriores.blogspot.mx/2009/04/tipos-de-iluminacion.html>
3. Garavito, J. (2008). *Iluminacion*. Obtenido de laboratorio de condiciones de trabajo: <http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/HYSI/PROTOCOLO%20DE%20ILUMINACION%202008-1.pdf>
4. A., A. (4 de julio de 2016). *Ecología Hoy*. Obtenido de <http://ecologiahoy.net/medio-ambiente/tipos-de-energia/>
5. Aguilar, G. T. (18 de diciembre de 2014). *Norma Mexicana para la correcta iluminación de los sitios de trabajo*. Obtenido de <http://www.iluminet.com/nom-025-iluminacion-trabajo/>
6. Niebel, B. (1990). *Ingeniería Industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: Alfaomega.

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DE PRESIÓN EN LA EFICIENCIA TÉRMICA DE UN CICLO COMBINADO

Israel Hernández Medrano, Francisco Javier Ortega Herrera, Guillermo Tapia Tinoco, Paulina Concepción Rentería Cervantes y José Miguel García Guzmán.

Estudiante Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

Profesor de la Coordinación de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. frortega@live.com.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra la solución de un caso de estudio sobre ciclos combinados de gas y vapor con el objetivo de analizar el efecto de la relación de presión en la eficiencia térmica total del ciclo. Se desarrolla un modelo matemático utilizando el método de calores específicos variables, el cual es resuelto variando la relación de presión en un rango de 2 a 30. Los resultados del caso de estudio se muestran en forma gráfica, en donde, se comparan la eficiencia térmica global, la eficiencia térmica del ciclo de gas y la eficiencia térmica del ciclo de vapor, en función de la relación de presión. Finalmente a los resultados obtenidos se les aplica el método de mínimos cuadrados para obtener ecuaciones polinómicas que permitan determinar la eficiencia térmica del caso de estudio planteado, las ecuaciones obtenidas tienen un coeficiente de dispersión de 0.99, por tanto se ajustan fuertemente a los datos calculados y pueden ser utilizadas para determinar la eficiencia térmica global, la eficiencia térmica del ciclo de gas y la eficiencia térmica del ciclo de vapor. Los resultados muestran que la variación de la relación de presión en el ciclo de gas no presenta ningún efecto en la eficiencia térmica del ciclo de vapor, pero sí afecta la eficiencia térmica del ciclo combinado y del ciclo del gas, las cuales aumentan conforme se incrementa la relación de presiones.

INTRODUCCIÓN

La continua búsqueda de eficiencias térmicas más altas ha originado modificaciones innovadoras en las centrales eléctricas convencionales. El ciclo combinado en este caso es el ciclo de turbina de gas (Brayton), que se une al ciclo de turbina de vapor (Rankine), y que tiene una eficiencia térmica más alta que cualquiera de los ciclos ejecutados individualmente. Los ciclos característicos de turbina de gas operan a temperaturas considerablemente más altas que los ciclos de vapor. El uso de temperaturas más elevadas en las turbinas de gas ha sido posible gracias a los recientes desarrollos en el enfriamiento de los álabes de la turbina y en el revestimiento de éstos con materiales resistentes a las altas temperaturas, como cerámicas. Debido a la temperatura promedio más alta a la cual se suministra el calor, los ciclos de turbina de gas tienen un potencial mayor para eficiencias térmicas más elevadas (Çengel, 2009).

Los recientes desarrollos tecnológicos para las turbinas de gas han logrado que el ciclo combinado de gas y vapor resulte muy atractivo desde el punto de vista económico, esto se debe a que el ciclo combinado aumenta la eficiencia sin incrementar mucho el costo inicial. Así, muchas centrales eléctricas nuevas operan en ciclos combinados, y muchas centrales de vapor o de turbina de gas existentes se están convirtiendo en centrales de ciclo combinado. Como resultado de esta conversión, se han reportado eficiencias térmicas muy por encima de 40 por ciento (Çengel, 2009). La aplicación de los ciclos combinados radica en obtener eficiencias térmicas altas, por ejemplo una central eléctrica de ciclo combinado de 1 350 MW construida en 1988 por la compañía alemana Siemens en Ambarli, Turquía, es la primera termoeléctrica en operación comercial en el mundo que alcanza un nivel de eficiencia tan alto como 52.5 por ciento bajo las condiciones de operación de diseño. Esta central tiene seis turbinas de gas de 150 MW y tres turbinas de vapor de 173 MW. Algunas centrales modernas de ciclo combinado han alcanzado eficiencias por arriba de 60 por ciento (Çengel, 2009).

Sánchez Garduño y Chávez (2001) analizan algunos de los aspectos que han convertido a las centrales de generación de ciclo combinado (CGCC) en el modo dominante para la generación eléctrica en el mundo. Presenta el plan de expansión de la generación eléctrica nacional e información similar que los EE.UU. tienen para las CGCC, lo que dará una idea de la importancia y del impacto que tiene actualmente esta tecnología. Exponen también las características principales que es necesario especificar a fin de satisfacer los requerimientos ambientales y de operación, y las tecnologías disponibles para incrementar la eficiencia global de las CGCC. Finalmente describen la evolución de la tecnología de control para CGCC desarrollada en la Gerencia de Control e Instrumentación (GCI), así como las capacidades disponibles para apoyar al sector eléctrico en esta disciplina tecnológica.

Valdés (n.d.) estudia el estado actual y la evolución previsible de aquellas plantas de potencia en las que, como paso necesario para la obtención de energía térmica y su posterior conversión en energía mecánica o eléctrica, tiene lugar un proceso de combustión integrado en la realización de un ciclo termodinámico. Fernández y Alcaraz (2001) propone la integración de la gasificación a una planta de ciclo combinado para la generación de electricidad o a una refinería generando vapor, energía eléctrica, hidrógeno y otros insumos a un costo competitivo, de manera tal que se resuelven los problemas de manejo y almacenamiento de los residuos. Prieto (2006) analiza lo que son los ciclos combinados, indicando los diferentes tipos de sistemas que existen, también incluye las consideraciones técnicas de cada sistema combinado que se explica. Inmaculada y Robles (n.d.) estudian el funcionamiento de una central para generar energía eléctrica mediante varios ciclos, incluyendo el de ciclos combinados.

Llamas, Viramontes, Probst, Llamas, Reyna, Morones y González (n.d.) explican las tecnologías que se utilizan para generar la energía eléctrica en México, entre esas tecnologías se encuentra la de los ciclos combinados. Además, muestran el consumo y los precios para producir la energía eléctrica, incluso dan alternativas para mejorar los costos de producirla. De la Fuente (2011) propone la implementación del ciclo ISCC de Kuraymat, que aumenta la eficiencia del ciclo combinado al ser híbrido, implementando la energía que se puede obtener del sol a la planta de generación de energía eléctrica en cuestión. García, Ratia y Perea (2008) estudian el funcionamiento de una planta de ciclo combinado detalladamente, para buscar alguna implementación en algún proceso de la planta y con ello reducir costos de operación, para tener una eficiencia térmica alta sin sacrificar la economía. Hernández y Rivas (2009) explican las

estadísticas para conocer la situación actual de los ciclos combinados para la generación de energía eléctrica en México y muestra un panorama proyectado a 10 años de los avances que pueden presentar los ciclos combinados.

A continuación, se presenta el estudio realizado a un ciclo combinado utilizando el método de calores específicos variables para analizar el efecto de la relación de presión en la eficiencia térmica total del ciclo.

CASO DE ESTUDIO

Para analizar el efecto de la variación de la relación de presión sobre la eficiencia térmica se analiza una central eléctrica de turbina de gas-vapor combinado la cual produce 100 MW. El aire entra en el compresor de la turbina de gas a 100 kPa y 300 K a la entrada de la turbina la temperatura del fluido de trabajo es de 1400 K, después el aire pasa a través del intercambiador de calor de interconexión, y finalmente se descarga a 480 K, por su parte, el vapor entra en la turbina de vapor a 8 MPa y 400 °C, se expande hasta la presión del condensador de 8 kPa, finalmente el agua entra en la bomba como líquido saturado a 8 kPa. Las eficiencias isentrópicas de los distintos equipos son compresor 84%, turbina de gas 88 %, turbina de vapor 90 % y bomba 80 %. El esquema de la central eléctrica de turbina de gas-vapor del caso de estudio se presenta en la Figura 1, así como el diagrama T-s del ciclo combinado:

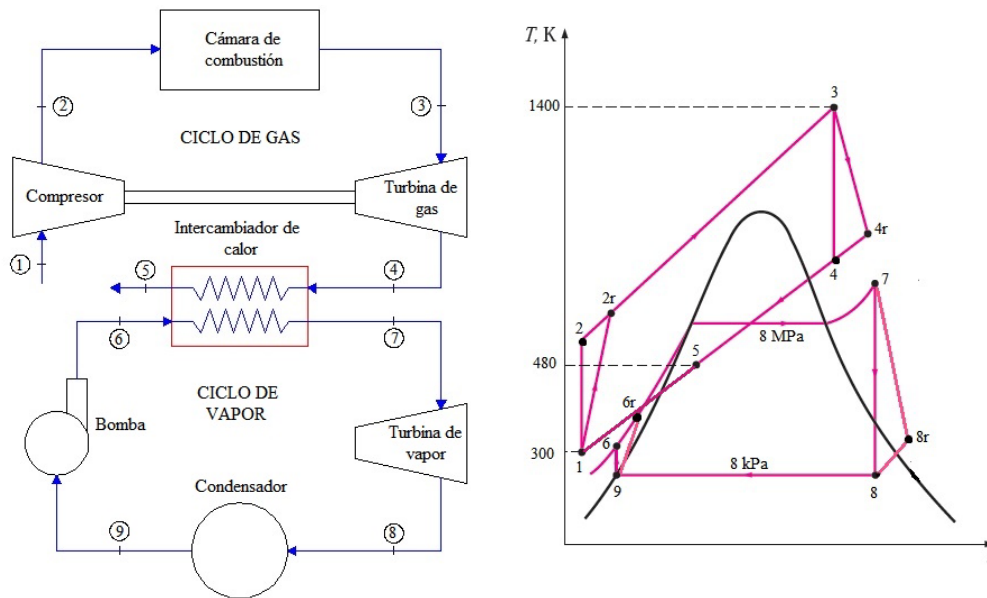


Figura 1. Esquema de la central eléctrica de turbina de gas-vapor del caso de estudio y diagrama T-s del ciclo combinado.

MODELO MATEMÁTICO

En la Tabla 1 se presenta la nomenclatura utilizada para la elaboración del modelo matemático del caso de estudio.

Tabla 1. Nomenclatura de las variables y constantes que intervienen en el modelo matemático del caso de estudio

Símbolo	Nombre	Símbolo	Nombre
$h_{1...9}$	Entalpías en el estado 1 a 9	$W_{neto,global}$	Trabajo neto
$h_{2r, 4r, 6r, 8r}$	Entalpía en el estado 2r, 4r, 6r y 8r respectivamente	$W_{neto,tg}$	Trabajo neto del ciclo Brayton
h_f	Entalpía en estado líquido	$W_{neto,tv}$	Trabajo neto en el ciclo Rankine
h_g	Entalpía en estado gaseoso	$W_{real,b}$	Trabajo real de la bomba
$P_{1...9}$	Presiones en el estado 1 a 9	$W_{real,c}$	Trabajo real del compresor
$Q_{entra,global}$	Calor global que entra al sistema	$W_{real,tg}$	Trabajo real de la turbina de gas
$Q_{sale,global}$	Calor global que sale del	$W_{real,tv}$	Trabajo real de la turbina de vapor
$Q_{entra,tv}$	Calor que entra a la turbina de vapor	x_8	Calidad de la mezcla de la sustancia en el estado 8
$Q_{sale,tg}$	Calor que sale de la turbina de gas	\dot{m}_{tg}	Flujo másico en el ciclo Brayton
r_c	Relación de presión	\dot{m}_{tv}	Flujo másico en el ciclo Rankine
$s_{1...8}$	Entropías en el estado 1 a 8	η_b	Eficiencia de la bomba
s_f	Entropía en estado líquido	η_c	Eficiencia del compresor
s_g	Entropía en estado gaseoso	$\eta_{Ciclo,Brayton}$	Eficiencia del ciclo Brayton
$T_{1, 3, 5, 7}$	Temperatura en el estado 1, 3, 5 y 7 respectivamente	$\eta_{Ciclo,Rankine}$	Eficiencia térmica del ciclo Rankine
$W_{ideal,b}$	Trabajo ideal de la bomba	η_{tg}	Eficiencia de la turbina de gas
$W_{ideal,c}$	Trabajo ideal del compresor	$\eta_{t,global}$	Eficiencia térmica global
$W_{ideal,tg}$	Trabajo ideal de la turbina de gas	η_{tv}	Eficiencia de la turbina de vapor
$W_{ideal,tv}$	Trabajo ideal de la turbina de vapor		

Los procesos isentrópicos presentes en el caso de estudio están dados en las Ecuaciones (1)-(4), por su parte, las Ecuaciones (5) a (13) representan los procesos isobáricos del sistema.

(1)	s_1	=	s_2	
(2)	s_3	=	s_4	
(3)	s_7	=	s_8	
(4)	s_6	=	s_9	
(5)	P_2	=	P_{2r}	
(6)	P_{2r}	=	P_3	
(7)	P_1	=	P_5	
(8)	P_5	=	P_4	
(9)	P_4	=	P_{4r}	
(10)	P_6	=	P_{6r}	
(11)	P_{6r}	=	P_7	
(12)	P_9	=	P_8	
(13)	P_8	=	P_{8r}	

El ciclo combinado se analiza separando el ciclo de turbina de gas del ciclo de turbina de vapor, a continuación se presentan las ecuaciones referentes al ciclo Brayton. La r_c entre los estados 1 y 2 se encuentra mediante la Ecuación (14).

$$r_c = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{2r}}{P_{1r}} \quad (14)$$

Las Ecuaciones (15) a (18) permiten determinar $w_{ideal,c}$, $w_{real,c}$, $w_{ideal,tg}$ y $w_{real,tg}$ respectivamente.

$$w_{ideal,c} = h_2 - h_1 \quad (15)$$

$$w_{real,c} = h_{2r} - h_1 \quad (16)$$

$$w_{ideal,tg} = h_3 - h_4 \quad (17)$$

$$w_{real,tg} = h_3 - h_{4r} \quad (18)$$

La Ecuación (19) muestra la η_c y la Ecuación (20) permite calcular η_{tg}

$$\eta_c = \frac{w_{ideal,c}}{w_{real,c}} \quad (19)$$

$$\eta_{tg} = \frac{w_{real,tg}}{w_{ideal,tg}} \quad (20)$$

La Ecuación (21) calcula $q_{entra,global}$, mientras que $q_{sale,tg}$ es calculado por la Ecuación (22).

$$q_{entra,global} = h_3 - h_{2r} \quad (21)$$

$$q_{sale,tg} = h_{4r} - h_5 \quad (22)$$

El $w_{neto,tg}$ se calcula mediante la Ecuación (23) y finalmente la Ecuación (24) determina $\eta_{ciclo, Brayton}$.

$$w_{neto,tg} = (h_3 - h_{4r}) - (h_{2r} - h_1) \quad (23)$$

$$\eta_{Ciclo,Brayton} = \frac{w_{neto,tg}}{q_{entra,global}} \quad (24)$$

El análisis del caso de estudio continúa con el ciclo de turbina de vapor (Rankine). El intercambiador de calor del sistema permite obtener la relación mostrada en la Ecuación (25).

$$q_{sale,tg} = q_{entra,tv} \quad (25)$$

Las Ecuaciones (26) y (27) expresan $q_{sale,tg}$ y $q_{extra,tv}$ en función de las entalpias y el flujo másico de sus respectivos fluidos de trabajo.

$$q_{\text{sale,tg}} = (h_{4r} - h_5) \dot{m}_{\text{tg}} \quad (26)$$

$$q_{\text{entra,tv}} = (h_7 - h_{6r}) \dot{m}_{\text{tv}} \quad (27)$$

Para encontrar \dot{m}_{tg} y el \dot{m}_{tv} , se igualan las Ecuaciones (26) y (27) obteniendo la Ecuación (28).

$$(h_{4r} - h_5) \dot{m}_{\text{tg}} = (h_7 - h_{6r}) \dot{m}_{\text{tv}} \quad (28)$$

Al despejar el \dot{m}_{tg} de (28) se obtiene (29).

$$\dot{m}_{\text{tg}} = \frac{(h_7 - h_{6r}) \dot{m}_{\text{tv}}}{(h_{4r} - h_5)} \quad (29)$$

La Ecuación (30) relaciona los flujos máscicos de los fluidos de trabajo con los trabajos del ciclo Rankine, ciclo Brayton y el global del sistema.

$$w_{\text{neto,global}} = w_{\text{neto,tg}} \dot{m}_{\text{tg}} + w_{\text{neto,tv}} \dot{m}_{\text{tv}} \quad (30)$$

Despejando \dot{m}_{tv} de la Ecuación (30) se obtiene la Ecuación (31).

$$\dot{m}_{\text{tv}} = \frac{w_{\text{neto,global}} - w_{\text{neto,tg}} \dot{m}_{\text{tg}}}{w_{\text{neto,tv}}} \quad (31)$$

Resolviendo simultáneamente (29) y (31) se obtienen \dot{m}_{tg} y \dot{m}_{tv} . A continuación se calcula nuevamente $q_{\text{entra,global}}$, $q_{\text{sale,tg}}$, $w_{\text{neto,tg}}$ y $\eta_{\text{ciclo,Brayton}}$, esto se encuentra en las Ecuaciones (32) a (35).

$$q_{\text{entra,global}} = (h_3 - h_{2r}) \dot{m}_{\text{tg}} \quad (32)$$

$$q_{\text{sale,tg}} = (h_{4r} - h_5) \dot{m}_{\text{tg}} \quad (33)$$

$$w_{\text{neto,tg}} = [(h_3 - h_{4r}) - (h_{2r} - h_1)] \dot{m}_{\text{tg}} \quad (34)$$

$$\eta_{\text{Ciclo,Brayton}} = \frac{W_{\text{neto,tg}}}{q_{\text{entra,global}}} \quad (35)$$

Posteriormente se calcula $w_{\text{real,b}}$ y $w_{\text{ideal,b}}$, en función de las entalpias, Ecuaciones (36) y (37).

$$w_{\text{ideal,b}} = h_6 - h_9 \quad (36)$$

$$w_{\text{real,b}} = h_{6r} - h_9 \quad (37)$$

La Ecuación (38) y (39) permiten determinar η_b y η_{tv} en el ciclo Rankine.

$$\eta_b = \frac{w_{\text{ideal,b}}}{w_{\text{real,b}}} \quad (38)$$

$$\eta_{tv} = \frac{w_{\text{real,tv}}}{w_{\text{ideal,tv}}} \quad (39)$$

Las Ecuaciones (40) y (41) permiten calcular x_8 .

$$x_8 = \frac{h_8 - h_f}{h_g - h_f} \quad (40)$$

$$x_8 = \frac{s_8 - s_f}{s_g - s_f} \quad (41)$$

Las Ecuaciones (42) y (43) expresan $w_{\text{real,tv}}$ y $w_{\text{ideal,tv}}$ en función de las entalpias.

$$w_{\text{real,tv}} = h_7 - h_{8r} \quad (42)$$

$$w_{\text{ideal,tv}} = h_7 - h_8 \quad (43)$$

Por último se determinan $q_{\text{sale,global}}$, $W_{\text{neto,tv}}$, $\eta_{\text{Ciclo,Ranckine}}$, $W_{\text{neto,global}}$ y $\eta_{t,global}$ mediante las Ecuaciones (44) a (48).

$$q_{\text{sale,global}} = (h_{8r} - h_9) \dot{m}_{tv} \quad (44)$$

$$W_{\text{neto,tv}} = [(h_7 - h_{8r}) - (h_{6r} - h_9)] \dot{m}_{\text{tv}} \tag{45}$$

$$\eta_{\text{Ciclo,Rankine}} = \frac{W_{\text{neto,tv}}}{Q_{\text{entra,global}}} \tag{46}$$

$$W_{\text{neto,global}} = W_{\text{neto,tg}} + W_{\text{neto,tv}} \tag{47}$$

$$\eta_{\text{t,global}} = \frac{W_{\text{neto,tg}} + W_{\text{neto,tv}}}{Q_{\text{entra,global}}} \tag{48}$$

RESULTADOS

El modelo matemático desarrollado en la sección anterior se resuelve utilizando el Software EES considerando los siguientes valores iniciales $P_1 = 100 \text{ kPa}$, $T_1 = 300 \text{ K}$, $\eta_c = 84\%$, $T_3 = 1400 \text{ K}$, $\eta_{\text{tg}} = 88\%$, $P_4 = 100 \text{ kPa}$, $T_5 = 480 \text{ K}$, $T_7 = 400 \text{ °C}$, $P_7 = 8 \text{ MPa}$, $P_8 = 8 \text{ kPa}$, $P_9 = 8 \text{ kPa}$, $\eta_{\text{tv}} = 90\%$, $\eta_b = 80\%$, $W_{\text{neto,global}} = 100 \text{ MW}$ mientras que r_c se varia en un rango de 2 al 30. La Figura 2 presenta los resultados obtenidos para la eficiencia térmica al variar la relación de presión.

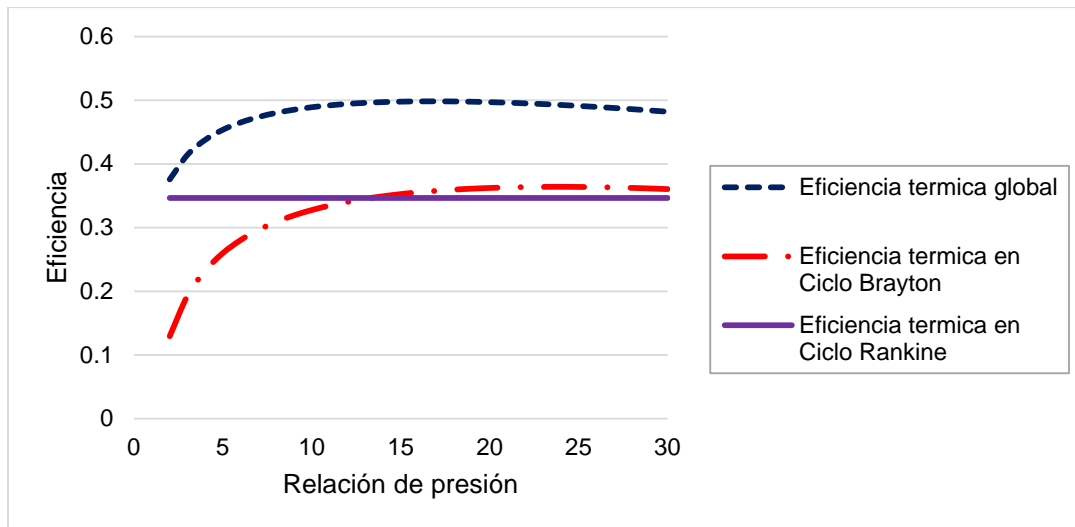


Figura 2. Relación entre la relación de presión y las eficiencias en el ciclo combinado.

La Figura 3 muestra los resultados obtenidos para el trabajo neto global, el trabajo neto de la turbina de gas y el trabajo neto de la turbina de vapor al variar la relación de presión.

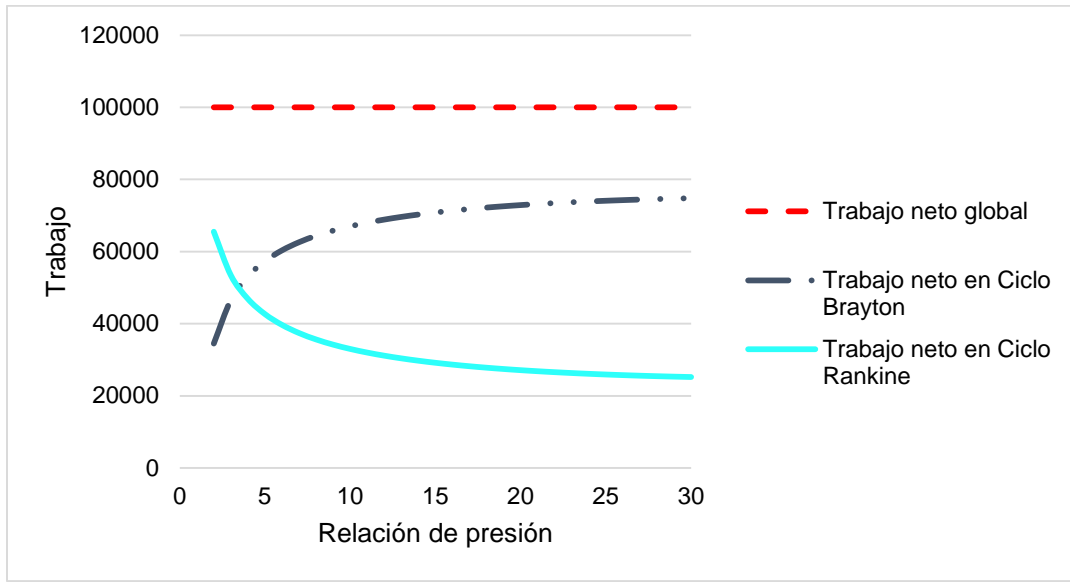


Figura 3. Relación entre la relación de presión y los trabajos producidos en el ciclo combinado.

Finalmente, a los resultados presentados en las Figuras 2 y 3 se les aplica una regresión mediante el método de mínimos cuadrados obteniendo las Ecuaciones (49) a (54). La Ecuación (49) es lineal, ya que muestra la eficiencia térmica del ciclo Rankine que es constante, mientras que las Ecuaciones (50) y (51) muestran la eficiencia térmica global y la eficiencia térmica del ciclo Brayton con un R^2 igual a 0.9991 y 0.9995 respectivamente.

$$\eta_{\text{Ciclo, Rankine}} = 0.3465 \tag{49}$$

$$\eta_{\text{t,global}} = -8 \times 10^{-9} r_c^6 + 9 \times 10^{-07} r_c^5 - 4 \times 10^{-05} r_c^4 + 0.0009 r_c^3 - 0.0107 r_c^2 + 0.0744 r_c + 0.2654 \tag{50}$$

$$\eta_{\text{Ciclo, Brayton}} = -1 \times 10^{-8} r_c^4 + 1 \times 10^{-6} r_c^5 - 6 \times 10^{-5} r_c^4 + 0.001 r_c^3 - 0.01 r_c^2 + 0.11 r_c - 0.04 \tag{51}$$

La Ecuación (52) es lineal, porque muestra al trabajo neto de entrada que es contante. Las Ecuaciones (53) y (54) son ecuaciones polinómicas, la Ecuación (53) determina el trabajo neto del ciclo Brayton con un $R^2 = 0.9986$ y la Ecuación (54) determina el trabajo neto del ciclo Rankine con un $R^2 = 0.9986$.

$$w_{\text{neto,global}} = 100000 \tag{52}$$

$$w_{\text{neto,tg}} = -0.0029 r_c^6 + 0.314 r_c^5 - 13.583 r_c^4 + 300.49 r_c^3 - 3616.8 r_c^2 + 23480 r_c + 540.41 \tag{53}$$

$$w_{\text{neto,tv}} = -0,314 r_c^5 + 13,583 r_c^4 - 300,49 r_c^3 + 3616,8 r_c^2 - 23480 r_c + 99460 \tag{54}$$

Las Ecuaciones (49) a (54) tienen valores de R^2 prácticamente igual a 1 por lo cual se ajustan fuertemente a los resultados presentados en las Figuras 2 y 3, por tanto, se pueden utilizar dichas ecuaciones para determinar las eficiencias y los trabajos del sistema analizado.

CONCLUSIONES

Al aumentar la razón de presión aumenta la eficiencia térmica global en una proporción similar hasta llegar a una relación de presión de 20, sobrepasando este valor la eficiencia térmica global empieza a decrecer. La eficiencia térmica del ciclo Brayton aumenta en una proporción similar a la razón de presión hasta llegar al valor más alto, tanto de razón de presión como de eficiencia térmica en este ciclo; mientras que la eficiencia térmica en el ciclo Rankine permanece constante debido a que la razón de compresión no afecta los cálculos de las propiedades involucradas en este ciclo. Otro parámetro que se analiza al ir cambiando la razón de compresión en la solución del modelo matemático es el de los trabajos que se producen en este ciclo. El trabajo neto producido es constante, mientras que el trabajo producido en el ciclo Brayton va aumentando conforme aumenta la razón de presión del sistema. Lo anterior es contrario al trabajo producido en el ciclo Rankine, que disminuye abruptamente al tener relaciones de presión altas. La información anterior, que es brindada por las gráficas de eficiencias térmicas y trabajos producidos, es muy importante porque existe una necesidad de buscar eficiencias térmicas cada vez más altas, principalmente en aplicaciones relacionadas a las centrales eléctricas. Se hace hincapié en la búsqueda de eficiencias térmicas altas en los ciclos combinados, debido a que una eficiencia térmica alta permite obtener la mayor cantidad de energía.

AGRADECIMIENTOS

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) e Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI).

BIBLIOGRAFÍA

1. Y. Çengel y M. Boles, "*Termodinámica*", McGraw Hill, 2009.
2. A. Llamas, F. Viramontes y M. González, "*Tecnologías y combustibles para la generación eléctrica*" Capítulo de potencia del IEEE Sección México y presentada en la reunión de verano, RVP-AI/2004, Acapulco, Gro., Del 11 al 17 de Julio de 2004, pp. 1-7.
3. I. Prieto, "*Ciclos Combinados*" Quinto Curso de E. P. S. de Ingeniería Industrial, 2006, pp. 1-22.
4. S. García, P. Ratia y J. Perea, "*Operación y mantenimiento de centrales de ciclos combinado*". Díaz de Santos, 2008, pp. 1- 45.
5. M. Fernández, "*Gasificación integrada a ciclos combinados*", Instituto de Investigaciones Eléctricas, 2011, pp. 1-6.
6. I. Fernández y A. Robles, "*Centrales de generación de energía eléctrica*", Open Course Ware, Universidad de Cantabria, sin fecha, pp. 1-116.
7. M. Valdés, "*Futuro de los ciclos termodinámicos: Estrategias para un suministro sostenible de energía eléctrica*", Depto. Ingeniería Energética y Fluidomecánica. ETS Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid, sin fecha, pp. 1-5.

8. M. Sánchez, R. Garduño y R. Chávez, "*Tendencias tecnológicas para el mejoramiento del desempeño de centrales de ciclo combinado*", Instituto de Investigaciones Eléctricas, 2001, pp. 1-7.
9. N. Hernández y I. Rivas (2009). *Tendencias de generación por ciclos combinados*. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Instituto Politécnico Nacional, Tema de Tesis, p. 1-89.
10. J. De la Fuente (2011). *Eficiencia del Ciclo Combinado Híbrido ISCC Kuraymat*. Iberdrola Ingeniería y Construcción, S.A., Proyecto ISCC Kuraymat, p. 1-4.
11. J. M. Manríquez (2001). *Termodinámica*. México, D.F.: Editorial Oxford.

CORTADORA LASER

Israel Macías González, Juan Almendáres Rodríguez, Oscar Fernando Núñez Olvera, Griselda Rodríguez Pedroza

Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos de San Luis Potosí Plantel II “ Real de Minas”,
Instituto de Investigación en Comunicación Óptica, UASLP, San Luis Potosí, México.

RESUMEN

Se diseñó un prototipo de cortadora por láser de Helio-Neon (HeN), controlado por el microcontrolador PIC18F4553-I/P a través de la interfaz con el software de LabVIEW. Este proyecto, crea figuras a través de una máquina herramienta por medio del reconocimiento de imágenes a través del software de LabVIEW y el envío de señales de la PC a un microcontrolador, siendo éste la interfaz entre el software y los respectivos motores de cada eje. Se desarrolló en el Laboratorio de Proyectos Tecnológicos del Instituto de Investigación en Comunicación Óptica.

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente proyecto es el de crear una máquina-herramienta y a la vez una interfaz amigable entre la máquina y el usuario, así éste no tendrá la necesidad de adquirir grandes conocimientos de los Códigos especiales. Para ello el software que se utilizó permite cargar imágenes y a través de funciones de programación obtener las coordenadas de la figura y así enviar las señales necesarias al microcontrolador para el movimiento de los ejes de la mesa de trabajo. Cabe mencionar que muy pocos institutos educativos desarrollan sus propias máquinas-herramienta y menos con sistema de control.

TEORÍA

El láser es una herramienta multifuncional. La geometría de la pieza puede ser simple o intrincada - el láser resuelve ambos casos con la misma facilidad. La importancia del software de control en estas tecnologías es básica, ya que se controlan desde los parámetros del haz de luz como velocidad y frecuencia, hasta los movimientos del mismo cabezal o pieza (según que desplazemos), mediante un control numérico (CNC).

En la operación de corte por láser se divide un material en forma de placa mediante un rayo láser dirigido.

El corte por láser es una herramienta de precisión, fácilmente ajustable, y que no necesita contacto mecánico con la pieza. Nos permite cortar piezas de alta precisión a una altísima velocidad de corte; además es un proceso rápido y silencioso orientado al corte de chapas finas de metal, madera, plástico, tela o cerámica, con un mínimo de pérdida de material y sin distorsiones.

PARTE EXPERIMENTAL

En la Figura 1 se muestra el Diagrama a bloques del sistema de control. El ordenador capta la imagen y envía las señales necesarias al controlador para activar cada uno de los actuadores.

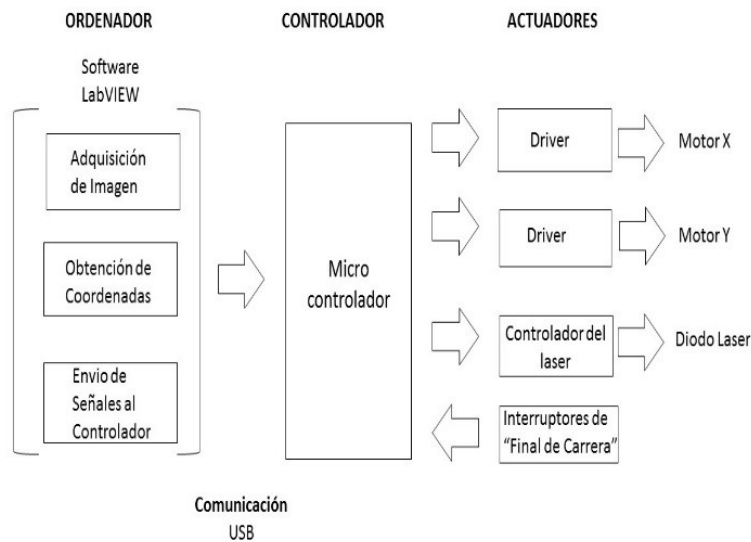


Fig. 1. Diagrama a Bloques del Control

a) Sección Mecánica

La estructura de la mesa de trabajo es de aluminio, consta de dos ejes de movimiento (X y Y) y un cabezal con el diodo laser. Utiliza como mecanismo de transmisión un husillo de potencia y un acople para transmitir el giro del motor al husillo, estos son los encargados del desplazamiento de cada uno de los ejes. Se utilizaron motores a pasos unidireccionales STP-59D3012 con una resolución de 1.8° por paso, lo cual permite el avance de los ejes en ángulos muy precisos y por pasos en las dos posibles direcciones. Se usaron sensores de contacto, conocidos como “Finales

de carrera". Se trata de un interruptor de una pieza móvil que permite detectar el final del recorrido de la plataforma de cada eje. En la Figura 2 se aprecia una fotografía del prototipo.

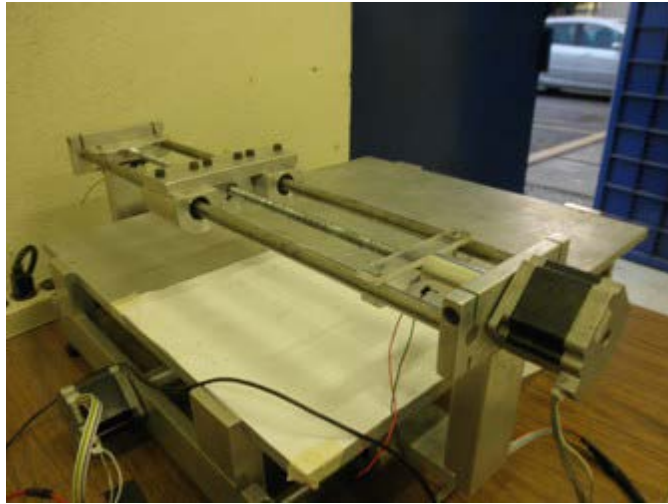


Fig 2. Estructura mecánica del prototipo.

b) Sección de Hardware

El driver de control para los motores a pasos se desarrolló en base a las hojas de datos de los C.I. L297 y L298 de la marca SGS THOMSON [2], se aisló la etapa de control de potencia para mantener al driver en buenas condiciones de trabajo. Se agregó el circuito integrado 74LS244 (Buffer Octal y línea de conducción con tres estados de salida), para mantener el voltaje deseado de las señales entrantes a los driver. Se utilizó en el proyecto una etapa de desarrollo con el PIC1 8F4553-I/P, el cual se programó en lenguaje C, además permite tener una comunicación con la PC a través de un cable USB-Serial. En la Figura 3 se muestra el microcontrolador y los drivers de los motores.

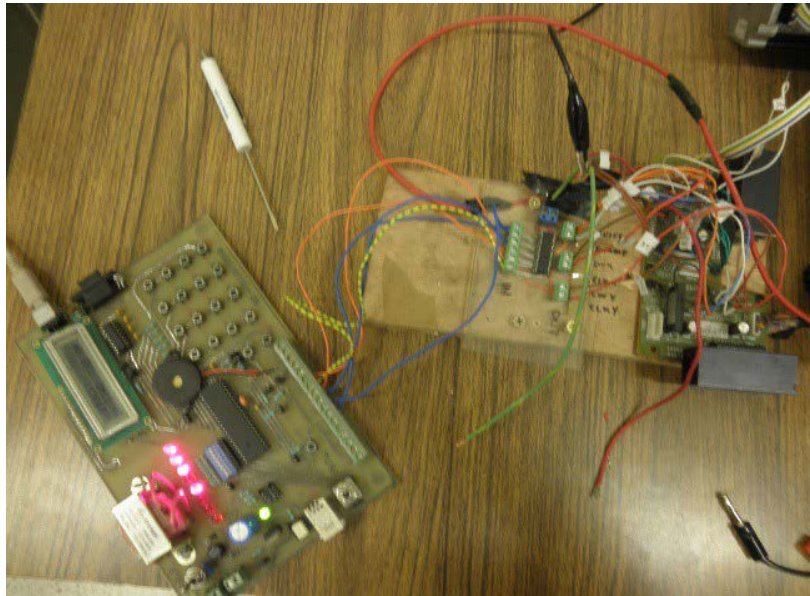


Fig 3. Sección del hardware del prototipo.

c) Sección del Software.

El software empleado para la cortadora laser es LabVIEW, por su facilidad de uso e incorporación al sistema. En la Figura 4 se muestra el panel frontal del software del proyecto.

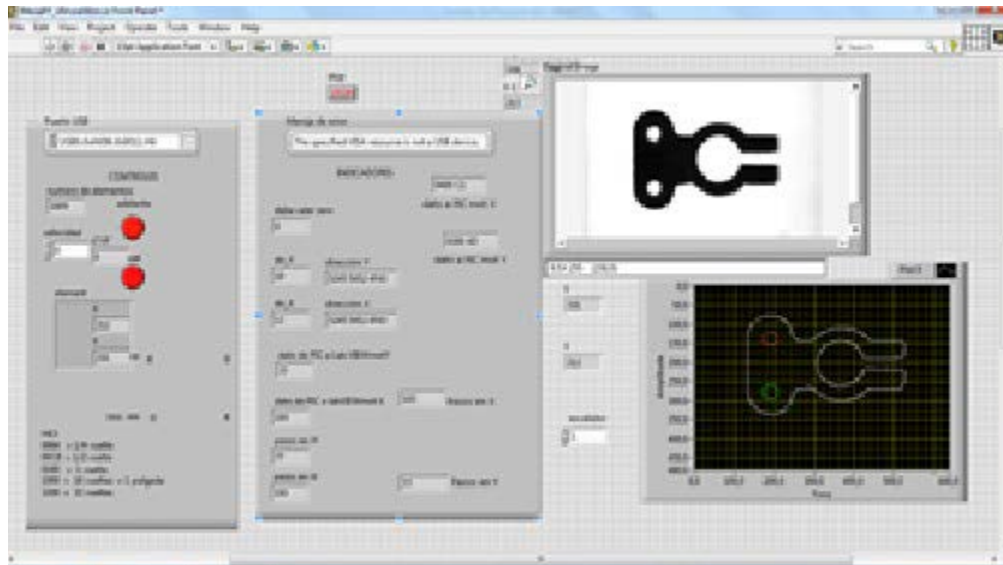


Fig 4. Panel Frontal del software del proyecto.

A través de las funciones de Visión se puede adquirir imágenes de formatos JPEG, JPEG2000, TIFF, entre otros [3]. Por medio de ciertos módulos y funciones de programación se puede obtener las coordenadas en pixeles del contorno de una imagen. De tales coordenadas se hace la conversión a unidades de longitud que puede interpretar la sección del software que controla el movimiento de cada uno de los motores. De esta forma se puede trazar con la mesa X, Y la pieza

de trabajo que se adquirió. En la Figura 5 se encuentra el Diagrama de Flujo del programa desarrollado.

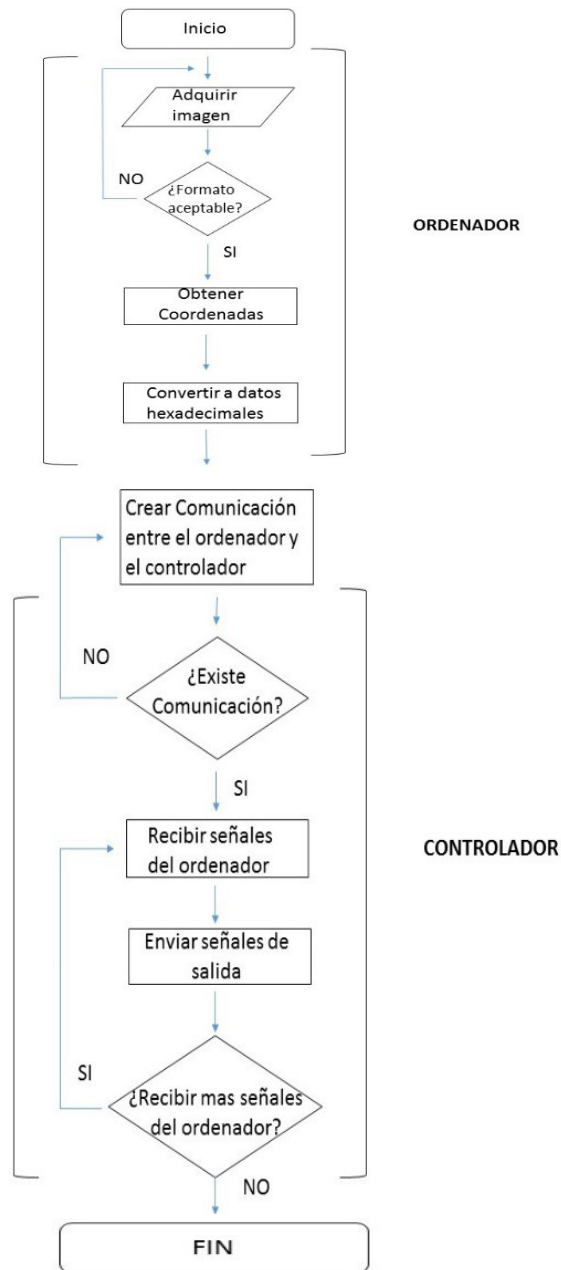


Fig.5. Diagrama de flujo del programa del prototipo.

RESULTADOS

Los parámetros de diseño y construcción permitieron realizar trabajos de manera fácil, segura, limpia y productiva. Se desarrollaron las tarjetas electrónicas de los drivers para los motores a pasos. Se creó un software en LabVIEW que permite adquirir una imagen, obtener sus coordenadas y enviarlas al microcontrolador.

CONCLUSIONES

Desarrollar este prototipo permitió dar una mayor facilidad de manejo entre el usuario y la máquina, sin la necesidad de cumplir con normas tan exigentes como lo hacen otras máquinas herramientas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Kjellberg. (12 de Marzo de 2016). Comparación con otros procedimientos de corte. <http://www.kjellberg.de/Tecnologia-decorte/Plasma/Procedimiento/Otrosprocedimientos/Corte-por-laser.html>
2. STMicroelectronics. (12 de Marzo de 2015). Hoja de datos de los CI L297 y L298. <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/f9/35/6e/3f/48/18/48/51/CD00000063.pdf/files/CD00000063.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000063.df>
3. Arévalo M. (2014) Diseño y construcción de una prototipo CNC que realiza el ruteo de pistas y el taladrado de circuitos impresos utilizando procesamiento de imágenes en LabVIEW. Tesis de Ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE BANDA PROHIBIDA ELECTROMAGNÉTICA (EBG) PARA APLICACIÓN EN ANTENAS PLANAS.

Santos Díaz Aranza María, Galaz Larios Martha Cecilia

Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, ESIME-Z, Edif Z4 3^{er} piso.

RESUMEN

Este trabajo describe cómo una metodología innovadora para mejorar las pérdidas por retorno, la ganancia y la directividad de una antena plana usando estructuras de banda prohibida electromagnética (EBG) dentro de un sustrato dieléctrico. La frecuencia de operación (f) de la antena es de 15 GHz. Esta antena es comparada con una antena de referencia la cual tiene una directividad de 4dBi y una ganancia 4dB. Demostramos que nuestro diseño alcanzó alrededor de 8dBi de directividad y 8dB en ganancia gracias a la utilización de un sustrato el cual contiene motivos para lograr la aparición de una banda electromagnética prohibida (EBG por sus siglas en inglés). Este sustrato EBG suprimió la propagación de los modos de superficie en una banda de frecuencia cercana a 15 GHz y esto permitió mejorar las figuras de mérito (directividad, ganancia y pérdidas por retorno) de la antena.

INTRODUCCIÓN

El propósito fundamental de un sistema de comunicación es transmitir información usando ondas electromagnéticas. Uno de los elementos fundamentales de un sistema de transmisión es la antena. Las antenas planas son muy populares, son compactas, baratas y confiables en comparación con otros diseños de antena. Sin embargo, uno de sus defectos es que suelen exhibir baja ganancia (4dB) [1]. Para mejorar la ganancia de una antena plana es necesario reducir las pérdidas electromagnéticas producidas por la propagación de ondas de superficie. Para suprimir las ondas de superficie se utilizan sustratos de banda prohibida electromagnética (EBG por sus siglas en inglés), éstas estructuras son periódicas y permiten manipular bandas de frecuencia donde las ondas electromagnéticas no pueden propagarse [2].

En este trabajo se utilizó una estructura EBG tipo hongo [3, 4], para mejorar la directividad, la ganancia y las pérdidas por retorno de una antena de parche convencional operando a 15 GHz.

TEORÍA

¿QUÉ SON LAS ESTRUCTURAS DE BANDA PROHIBIDA ELECTROMAGNÉTICA EBG?

Las estructuras de Banda Prohibida Electromagnética EBG son estructuras formadas de elementos periódicos que pueden ser dieléctricos o metálicos en uno, dos o tres dimensiones. Una de las características importantes de los EBG es la presencia de bandas prohibidas. Estas se deben a la interacción entre resonancias macroscópicas y microscópicas de la estructura periódica [5,6]. La periodicidad gobierna la resonancia macroscópica o la resonancia de Bragg, mientras que la resonancia microscópica es debido a las características de los elementos, y se llama la resonancia Mie [7]. Cuando las dos resonancias coinciden, la estructura posee una banda prohibida que tiene una cierta anchura. Dependiendo de las características estructurales y la polarización de la onda, uno de los mecanismos de resonancia de banda prohibida puede dominar sobre el otro. En la banda prohibida, la estructura reflejará las ondas electromagnéticas a cierta frecuencia, mientras que a otras frecuencias que actuará como un medio transparente [8].

En 2003, Samii y Mossalaei [9] acuñan el término “Estructuras de Banda Prohibida Electromagnética” y los definen como estructuras periódicas artificiales que evitan la propagación de ondas electromagnéticas en una banda específica para todos los ángulos incidentes y todos los estados de polarización.

PARTE EXPERIMENTAL: ANÁLISIS DE LA CELDA UNIDAD EBG

La Figura 1 presenta la celda unidad EBG (unidad fundamental) utilizada en este trabajo. Consiste en un sustrato dieléctrico (Rogers RO3003 con $\epsilon_r = 3$), un parche metálico, plano de tierra metálico y una vía metálica cilíndrica que conecta el parche metálico con el plano de tierra.

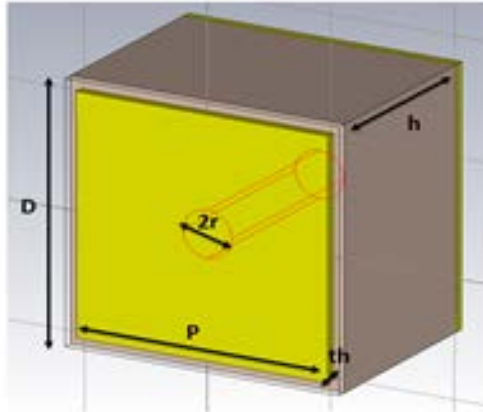


Fig. 1. Celda unidad tipo hongo de la estructura EBG propuesta por Kovacs and Urbanec [4].
 Dónde: $D = 2.2$ mm, $h=1.575$ mm, $P=2.0$ mm, y $r = 0.2$ mm.

La estructura periódica EBG está formada por los elementos representados en la figura 1 los cuales se colocan a un lado de la antena de parche a una distancia constante lo que forma un arreglo periódico de estos elementos. Para caracterizar el comportamiento se utiliza el diagrama de dispersión y como los elementos están colocados a una distancia periódica es suficiente con el análisis del diagrama de dispersión de una sola celda unidad. Para una geometría dada el diagrama de dispersión se puede calcular usando el solucionador de modos propios (en inglés Eigenmode Solver) del software comercial CST Studio. Este diagrama se utiliza para definir la ubicación de la banda electromagnética prohibida. La aparición de una banda prohibida implica que la estructura suprimirá la propagación de los modos de superficie en la frecuencia de interés. La figura 2 muestra el diagrama de dispersión de la celda unidad tipo hongo.

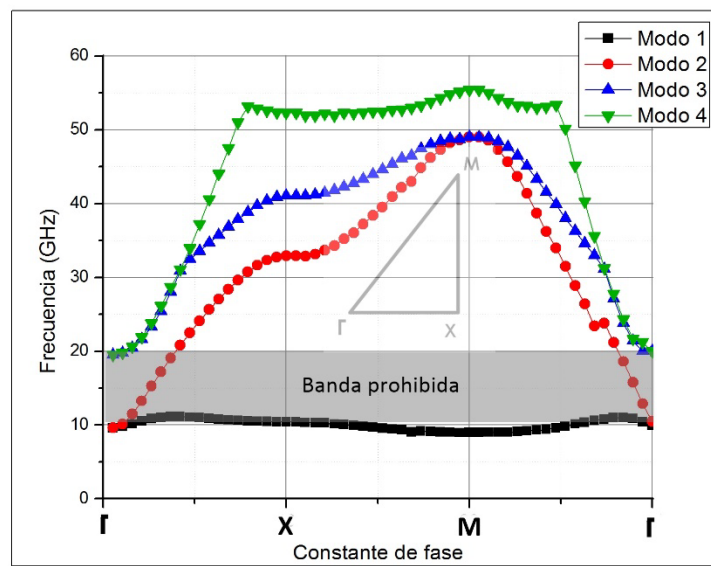


Fig. 2. Diagrama de dispersión de la celda unidad diseñada. Vemos que la banda prohibida

aparece entre 10 GHz y 20 GHz. Es decir, no existe propagación de ondas electromagnéticas en este rango de frecuencias.

Los resultados sintetizados en la figura 2 indican que si usamos un sustrato que contiene estas estructuras EBG éstas estructuras impedirán que se propaguen modos superficiales en el sustrato. Esto ayudará a mejorar las métricas de cualquier antena plana que funcione entre 10 GHz y 20 GHz (ver área gris de la figura 2).

ANTENAS PLANAS MICROSTRIP A 15 GHZ

Diseñamos dos antenas de parche de microstrip que resuenan a 15 GHz. Una diseñada sobre un sustrato estándar (figura 3a) y la otra sobre un sustrato con estructuras EBG tipo hongos (figura 3b).

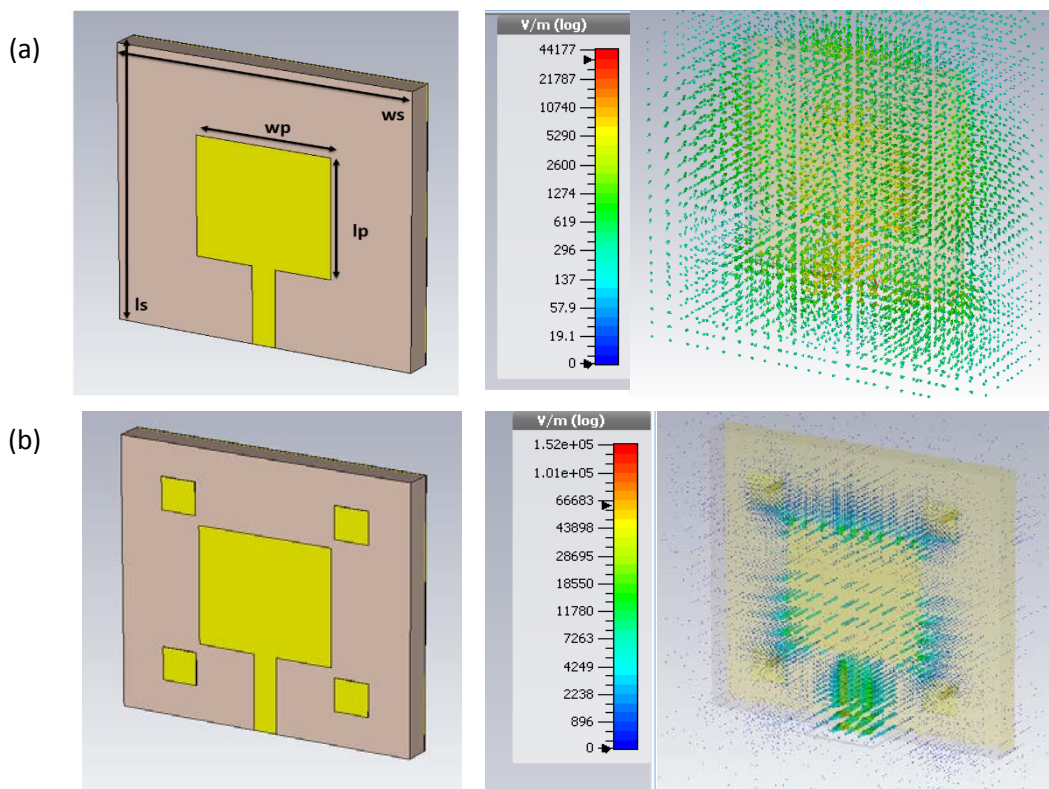


Fig. 3a. Se muestra la antena plana con sustrato convencional, Fig. 3b Antena EBG y sus respectivas distribuciones de campo eléctrico. Ambas antenas tienen las mismas dimensiones. Dónde: $w_s=17.5$ mm, $l_s=16.7$ mm, $w_p=8$ mm y $l_p=7.2$ mm.

En la figura 3a vemos como el campo eléctrico en la antena convencional es distribuido en los bordes del sustrato. Caso contrario de la antena EBG, donde las celdas EBG evitan la propagación de las ondas superficiales en el sustrato -ver figuras 3 (a) y 3 (b)-.

RESULTADOS

Las métricas de las antenas diseñadas se sintetizan en la tabla 1 y observamos que la antena con sustrato EBG tiene una mejor pérdida por retorno, ganancia y directividad en comparación con una antena estándar. Por ejemplo, las pérdidas por retorno son -15dB mayores en la antena con sustrato EBG en comparación con la antena de referencia. La antena con sustrato EBG presenta una mejor directividad (4dBi mayor con respecto a la antena de referencia) y una ganancia superior en 4dB con respecto a la referencia.

Parámetro	Antena sin sustrato EBG	Antena con sustrato EBG
Pérdidas por retorno (dB)	-30	-45
Ganancia (dB)	4	8
Directividad (dBi)	4	8

Tabla 1. Resumen de las métricas de las dos antenas diseñadas.

CONCLUSIÓN

Hemos demostrado que al usar estructuras EBG como sustrato de antenas planas es posible mejorar la ganancia, directividad y acoplamiento de la misma. Esto se logró mediante la reducción de la propagación de las ondas superficiales con ayuda de elementos de banda prohibida electromagnética. Esta metodología puede aplicarse para mejorar la ganancia y directividad de antenas planas de diferentes geometrías y frecuencias de operación.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. BALANIS, "Modern Antenna Handbook", John Wiley & Sons (2008).
2. Y. RAHMAT, F. YANG, "Electromagnetic Band Gap Structures in Antenna Engineering", Cambridge University Press (2009).
3. M. SHAHIDUL, NORBAHIAH, et.al, "Development of Electromagnetic Band Gap Structures in the Perspective of Microstrip Antenna Design", International Journal of Antennas and Propagation, (2013).
4. P. KOVÁCS, "Electromagnetic Band Gap Structures Practical Tips and Advice for Antenna Engineers", Radioengineering, Vol.21, (2012).
5. A. Alú, Engheta, "Epsilon near zero metamaterials and electromagnetic sources: tailoring the radiation phase pattern", Physical Review, vol. 75, No. 15, (2007)
6. M. S. Alam, T. Islam, "Inverse triangular shape CPW-fed antenna loaded with EBG reflector", Electronics Letters, vol. 49, no. 2, (2013)
7. Mahmoud, "A new miniaturized annular ring patch resonator partially loaded by a metamaterial ring with negative permeability and permittivity", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 3, no. 1 (2004)
8. Md. Shahidul Alam, Norbahiah Mirran, "Development of Electromagnetic Band Gap Structures in the Perspective of Microstrip Antenna Design", International Journal of Antennas and Propagation. Vol. 2013
9. Yang, Samii, "Electromagnetic Band Gap Structures in Antenna Engineering", Cambridge University Press, Cambridge, UK, (2009).

SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO DE VIVIENDAS DE ADOBE UBICADAS EN ZONAS RURALES DEL ESTADO DE GUANAJUATO BAJO CARGAS GRAVITACIONALES

*Jatziri Y. Moreno-Martínez, Arturo Galván Chávez, Israel Enrique Herrera Díaz, Juan Carlos Ramírez-Granados

Profesor de Tiempo Completo, Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra. Av. Ing. Javier Barros Sierra #201 Esq. Av. Baja California, Ejido Santa María del Refugio, C.P: 38140, Celaya, Gto. Teléfono: (461) 598-5922 ext 1627. *Autor para correspondencia: jatzirimoreno@yahoo.com.mx

Profesor de Tiempo Completo, Programa de Ingeniería en Biotecnología, Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra. Mutualismo #303 Esq. Prolongación Río Lerma, Colonia La Suiza, C.P: 38060, Celaya, Gto.

RESUMEN

La vivienda de adobe es un tipo de construcción tradicional que se localiza comúnmente en zonas rurales con bajo desarrollo económico y alto grado de marginación, principalmente porque los materiales con los que se construyen estas viviendas son básicamente: madera en el sistema de techo; tierra, paja y agua para los muros; los cuales se encuentran en el entorno que habitan, propiciando que sea económicamente factible su edificación. Para estudiar el comportamiento de la vivienda de adobe se realizaron visitas de campo en diferentes zonas del Estado de Guanajuato, determinando de esta manera una tipología de construcción de adobe para generar un caso de estudio. Una vez establecida la geometría a emplear, se realizaron modelos matemáticos, haciendo uso de simulaciones numéricas basadas en el Método de Elemento Finito. Las piezas de adobe se modelaron mediante elementos sólidos tridimensionales isoparamétricos. Mientras que la techumbre de madera se modeló mediante presiones correspondientes a las áreas tributarias para cada muro de adobe. Las propiedades mecánicas del adobe fueron obtenidas de la literatura. Asimismo, las solicitaciones aplicadas en los modelos numéricos consideran únicamente el peso propio de la estructura. Los mapas de esfuerzos muestran que la vivienda analizada alcanza los mayores esfuerzos a tensión en la parte superior de la misma. Estos esfuerzos de tensión se originan por la pendiente que se deja en esta parte de la edificación y sobre la cual se coloca la techumbre de madera. Asimismo, los máximos esfuerzos de compresión se localizan en la parte inferior de la vivienda de adobe. Cabe mencionar que ambos esfuerzos máximos no sobrepasan los valores nominales de resistencia de este material. No obstante, es de interés monitorear dichas zonas, especialmente en donde se localizan esfuerzos de tensión en la vivienda para evitar la formación de grietas que causen inseguridad a los usuarios.

INTRODUCCIÓN

Las viviendas de adobe representan el tipo de construcciones más vulnerable, en México es un material tradicional de construcción común en áreas rurales con bajo desarrollo económico. Se ha despertado un interés creciente en la mampostería de adobe que se manifiesta de dos maneras: para rescatar el patrimonio y como un material de construcción respetuoso del medio ambiente

(Jiménez & Cañas, 2006). En los últimos años se han realizado algunas investigaciones sobre las propiedades mecánicas del adobe y su caracterización (Illampas *et al.*, 2014; Laborel-Préneron *et al.*, 2016; Serrano *et al.*, 2016). Conocidas las propiedades mecánicas del material podemos proceder a la modelación numérica y conocer los esfuerzos a los que se somete la estructura, los cuales son comparados con la resistencia a compresión y a la tensión del material.

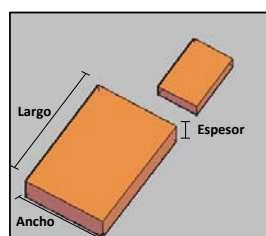
COMPONENTES ESTRUCTURALES

Las viviendas de adobe en el estado de Guanajuato estudiadas corresponden a diferentes comunidades, se caracterizan por ser de un sólo piso, con planta rectangular de 15 a 50 m² de área en promedio, muros longitudinales con una altura de 2.3 a 2.7 m y muros transversales de 3.0 a 3.9 m de altura, cuyo espesor va de 28 a 35 cm. Por lo regular, no cuentan con muros divisorios intermedios.

Suelen tener de una a dos puertas de acceso, ubicadas una en cada muro longitudinal, con dimensiones de 0.7 a 1.2 m de ancho y con una altura en promedio de 2.0 m. Por lo regular presentan una ventana de 0.3 a 1 m² de área, ubicada en algún muro longitudinal.

La cimentación comúnmente está compuesta por zapatas corridas de piedra braza junteada con el mismo tipo de mortero que se ocupa para las piezas de adobe. Normalmente tiene profundidades de entre 60 a 80 cm y sobresale del terreno natural entre 30 a 40 cm para evitar la intemperización de la parte inferior de los muros de adobe.

El sistema de techo es de una a dos aguas con inclinaciones de 13 a 25 grados. Su cubierta es de teja de barro recocido y/o lamina de asbesto, los elementos que lo componen son una viga longitudinal robusta de madera que se apoya en los muros transversales (muros cabeceros) y en dos puntales de madera, estos últimos se conectan a una viga transversal ubicada a cada tercio del claro y se apoyan sobre los muros longitudinales. Las dimensiones de las piezas en la región del Bajío son las siguientes: 45 a 55 cm de largo, 25 cm de ancho y de 7 a 10 cm de espesor (ver Figura 1).



a)



b)

Figura 1 a) Pieza de adobe; b) Construcción de adobe típica región del Bajío, Estado de Guanajuato

En base a visitas de campo realizadas en diferentes zonas del estado de Guanajuato se localizaron viviendas construidas de este material, de ellas se pudieron observar características similares típicas de una vivienda de adobe (ver Figura 2).



a)



b)

Figura 2 Vivienda de adobe ubicada en Misión de Chichimecas: a) medición de puertas y ventanas; b) entrevista a lugareños

En la figura 3 se muestra la casa de la cual se obtuvieron las dimensiones utilizadas para el análisis. Las dimensiones utilizadas fueron: Altura de 2.3 m de la parte de atrás; el techo estaba construido a “un agua” con material de teja, por lo que la altura del frente era menor con un valor de 1.8 m; el fondo de la casa de 3.05 m; el frente tenía una longitud de 5.15 m.



Figura 3. Vivienda tipo de adobe de la cual se tomaron las dimensiones para la vivienda analizada en el presente trabajo.

MODELO NUMÉRICO

Los modelos se realizaron en el paquete de elemento finito ANSYS v16.2. Para modelar el adobe, se utilizó el elemento en 3D SOLID65 (elemento isoparamétrico). El SOLID65 es capaz de agrietarse en tensión y aplastamiento en compresión. El elemento tiene ocho nodos con tres grados de libertad en cada uno. Se realizó el análisis considerando el comportamiento elástico y sólo se considera el peso propio.

Los valores correspondientes a las propiedades mecánicas del adobe (Catalán, 2013) que se tomaron en cuenta para el análisis de la vivienda como es el módulo de elasticidad, la densidad del adobe y el coeficiente de Poisson se muestran a continuación:

Módulo de elasticidad: $2,409 \text{ kg/cm}^2$

Peso volumétrico: $1.536 \text{ E-03 kg/cm}^3$

Módulo de Poisson: 0.25

La compresión axial es de 12.3 kg/cm^2 y la resistencia a tensión se estima teóricamente como un 10% del esfuerzo a la compresión. El modelo de sólido y de elementos finitos se muestran en la

Figura 4a y 4b, la malla de esta última figura no debe presentar distorsiones angulares que repercutan en el comportamiento del elemento finito.

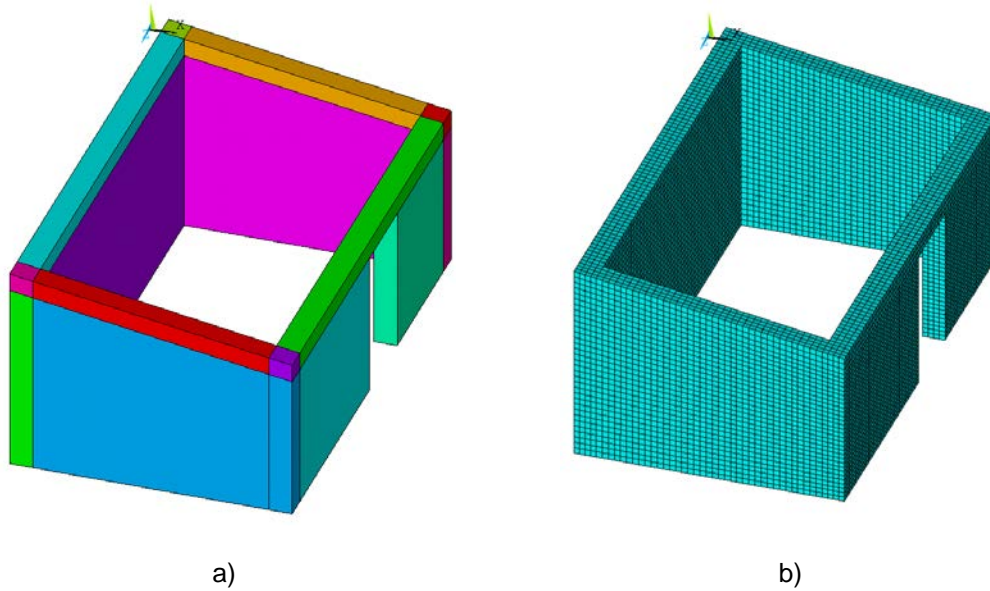


Figura 4 Modelo numérico: a) modelo de solidos; b) malla de elementos finitos

Una vez realizada la malla de elementos finitos se procede al análisis por peso propio para evaluar su configuración de esfuerzos.

RESULTADOS

Para verificar que el modelo y al análisis se realizaron de forma correcta, se hizo un procedimiento sencillo que se muestra a continuación.

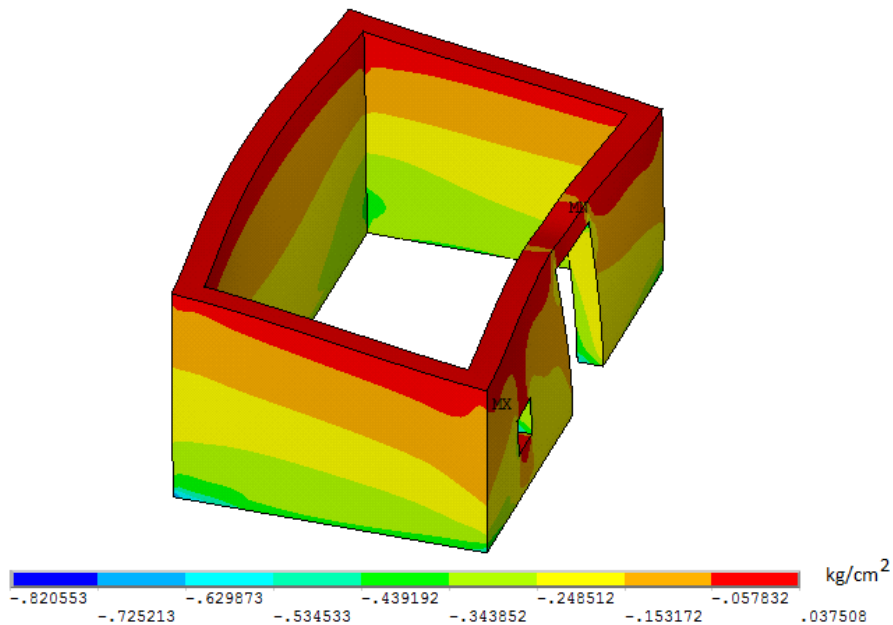


Figura 5 Mapa de esfuerzos en dirección "Y" obtenidos del modelo numérico de una vivienda típica

Se comparó el valor de las reacciones totales en dirección "Y" con el peso de la vivienda, (si las reacciones generadas son iguales al peso total de la vivienda se realizó correctamente) y se comprobó que son iguales el calculado con el modelo.

Los resultados numéricos (ver Figura 5) mostraron que el análisis ante cargas gravitacionales no rige el diseño de la vivienda tipo presentada en este trabajo. Los esfuerzos que presentan signo negativo en la Figura 5 son de compresión y los valores positivos son de tensión. Por lo tanto, la techumbre no tendría que causar daños en los muros (agrietamiento y desplome).

CONCLUSIONES

El estudio del comportamiento de la vivienda de adobe, toma mucha importancia debido a cuatro factores principales: actividad sísmica de la región, resistencia mecánica de los materiales muy baja, un gran número de viviendas de adobe existentes y un nivel de marginación alto en la población.

Los resultados presentados en este trabajo señalan que:

- Los modelos numéricos basados en el del Método del Elemento Finito indican que los esfuerzos verticales debido al peso propio de la vivienda de adobe y a la techumbre de madera no sobrepasan la resistencia a tensión ni a compresión de la mampostería de adobe.
- La simulación numérica es congruente con el estado actual de la vivienda, ya que esta no presenta agrietamientos ni aplastamiento en los muros de adobe, pues los esfuerzos verticales no son significativos.
- El tipo de vivienda de adobe analizado no presentaría daños bajo cargas gravitacionales, por lo que para esta sollicitación no se necesitaría ningún tipo de refuerzo. No obstante, bajo cargas laterales la mampostería de adobe es más vulnerable, por lo que es necesario realizar un análisis sísmico en este tipo de construcciones.

Adicionalmente, en la actualidad se puede optar por construir con mampostería de adobe si lo que se busca priorizar es que la construcción sea lo más económica posible, además de que sea sustentable. A pesar de que tiene también desventajas frente a los otros materiales (principalmente en resistencia) se puede colocar un reforzamiento adicional para mejorar su comportamiento ante diferentes solicitaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANSYS (2016), "Documentation for ANSYS". ANSYS Workbench Release v. 16.2. ANSYS Inc. USA.
2. Laborel-Préneron, J.E. Aubert, C. Magniont, C. Tribout, & A. Bertron, "Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review", *Constr. Build. Mater.*, Vol. 111, 2016, pp. 719-734.
3. M.C. Jiménez Delgado, & I. Cañas Guerrero, "Earth building in Spain", *Constr. Build. Mater.*, Vol. 20, 2006, pp. 679-690.
4. P. Catalán, "Comportamiento sísmico de la vivienda de adobe basado en pruebas en mesa vibradora de dos modelos a escala", Instituto de Ingeniería, tesis de maestría, UNAM, 2013.
5. R. Illampas, I. Ioannou, & D.C. Charmpis, "Adobe bricks under compression: Experimental investigation and derivation of stress-strain equation", *Constr. Build. Mater.*, Vol. 53, 2014, pp. 83-90.
6. S. Serrano, C. Berreneche, & L.F. Cabeza, "Use of by-products as additives in adobe bricks: Mechanical properties characterization", *Constr. Build. Mater.* Vol. 108, 2016, pp. 105-111.

INGENIERÍA DE SOFTWARE APLICADA AL DESARROLLO DE RECURSOS EDUCATIVOS DIGITALES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS

Enrique Cuan Durón, José Antonio González López, Elisa Urquizo Barraza, José Ruiz Ayala

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coah. México.

RESUMEN

En este documento se presenta el desarrollo de recursos educativos digitales en el área de matemáticas para primaria de cuarto a sexto año, aplicando la metodología del proceso unificado y artefactos UML para el análisis y Diseño, y usando la herramienta Edilim para la elaboración de estos recursos, estos son alojados en una plataforma web.

La asignatura de matemáticas ha sido la más rezagada según la prueba ENLACE, esta prueba se aplica anualmente a los alumnos de tercero a sexto grado en primaria y a los 3 grados de secundaria.

Los materiales digitales se denominan Recursos Educativos Digitales cuando su diseño tiene una intencionalidad educativa, cuando apuntan al logro de un objetivo de aprendizaje y cuando su diseño responde a unas características didácticas apropiadas para el aprendizaje. Están hechos para: informar sobre un tema, ayudar en la adquisición de un conocimiento, reforzar un aprendizaje, remediar una situación desfavorable, favorecer el desarrollo de una determinada competencia y evaluar conocimientos.

Los recursos digitales educativos desarrollados tienen: texto, imágenes, videos y actividades didácticas esto para incluir a todos los alumnos cual sea su estilo de aprendizaje: auditivo, visual y quinesésico. Las actividades interactivas tienen preguntas simples, preguntas de opción múltiple, relación de columnas, operaciones aritméticas, sopa de letras, reloj y patrones para que practiquen y dar variedad de actividades para mantener la atención. También se incluye en el diseño de recursos educativos que faciliten la integración y la inclusión de niños con capacidades diferentes.

INTRODUCCIÓN

Los resultados en matemáticas a nivel nacional de la prueba enlace, muestran la tendencia nacional de insuficiente desde su inicio en el 2006 hasta el 2013 para los grados de 3° al 6° de primaria [1].

Utilizando las tecnologías de la información se desarrolla este proyecto para ayudar a los niños a reafirmar sus conocimientos y habilidades en el área de matemáticas, así como facilitar la inclusión de niños con alguna discapacidad visual o auditiva.

Es imperativo la colaboración en la solución de problemas en el país, este proyecto les servirá como ayuda para la comprensión de la materia de matemáticas, que les servirá en su vida cotidiana y en su futuro académico.

Los beneficios serán que los niños: aprendan, reafirmen y practiquen los temas que se vieron en sus clases de acuerdo al plan de estudios, No solo los niños serán los beneficiados, sino toda la comunidad a largo plazo.

Los recursos digitales ofrecen una nueva conceptualización del proceso de aprendizaje utilizando las tecnologías de la información, estos recursos pueden ser imágenes, sonidos, videos, programas computacionales o cualquier otro medio computacional que sirva para el aprendizaje. Incentiva a los niños y jóvenes a poder continuar sus estudios. Se motiva al estudiante a seguir aprendiendo sobre el uso de estos recursos educativos y de qué manera le pueden ayudar en su educación.

TEORIA

El desarrollo de los módulos del software se basó en el plan de estudios vigente por la SEP, se presenta en dos partes; la demostración y ejercicios

En la primera parte de demostración se exhibe la ejecución practica de cómo se realiza cada tema especificado en el plan de estudios vigente. En la segunda parte de ejercicios se mostrarán problemas con cifras aleatorias y el alumno realizará las operaciones pertinentes de forma manual para posteriormente ingresar la información necesaria que será evaluada por el software dando un mensaje positivo o negativo respecto a la respuesta.

Para el desarrollo del software se utilizó el Proceso Unificado que comprende un conjunto de actividades necesarias para transformar los requisitos de un usuario en un sistema de software. Sin embargo, además el proceso unificado es un marco de trabajo genérico que puede especializarse para una gran variedad de sistemas, para diferentes áreas de aplicación, diferentes tipos de organizaciones, diferentes niveles de aptitud y diferentes tamaños de proyecto.

El Proceso Unificado está basado en componentes, lo cual quiere decir que el sistema de software en construcción está conformado por componentes software interconectado a través de interfaces bien definidas. El Proceso Unificado utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado (Unified Modeling Lenguaje UML) para preparar todos los esquemas de un sistema de software. De hecho, UML es una parte esencial del Proceso Unificado.

Los verdaderos aspectos definitorios del Proceso Unificado se resumen en tres fases claves: dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura, iterativo e incremental. Esto es lo que hace único al Proceso Unificado [2].

El Proceso Unificado va iterando en una serie de fases, conforme van creciendo los periodos se va creando el ciclo de vida de un sistema, en cada fase se va generando una versión del sistema, esta característica es la de iterativa e incremental, ya que cada vez que se va agregando una iteración más, el sistema va adquiriendo más características hasta llegar al fin y concluir el proceso de creación de software.

La primera fase es la de inicio, en esta fase es cuando el proyecto nace, aquí es donde se plantean las siguientes preguntas: ¿Cuál es la visión y el análisis del negocio para este proyecto?, ¿Es viable?, ¿Comprar o construir?, Estimación aproximada del costo ¿Cuesta 10K o 100K millones de pesos?, ¿Deberíamos abordar o no seguir? [3].

Los artefactos que se usaron en esta fase son: Visión y Análisis del Negocio, Modelo de Casos de Uso, Especificaciones Complementarias, Glosario, Lista de Riesgos y Plan de Gestión de Riesgos , Plan de Iteración, Plan de desarrollo de Software, Marco de Desarrollo, etc. Estos artefactos han sido elaborados parcialmente en esta fase y en especial en la primera iteración, conforme se dieron las demás iteraciones se fueron completando y corrigiendo.

Durante la fase de elaboración se especifican detalladamente la mayoría de los casos y se diseña la arquitectura del sistema. La relación entre la arquitectura del sistema y el propio sistema es primordial. Haciendo una analogía la arquitectura es el esqueleto del sistema, en cuanto al manejo del proyecto se planificaron las actividades y se realizó la estimación de recursos necesarios para terminar el proyecto.

En la fase de construcción es donde se crea el producto de software, la arquitectura propuesta crece hasta llegar al sistema completo, al esqueleto que se construyó en la fase pasada se le añadió músculos que es el software, al finalizar esta fase los casos de uso son implementados (codificados), sin embargo, estos pueden tener defectos. En esta fase los requisitos y la arquitectura son estables. En la fase de desarrollo se refinan las siguientes disciplinas: Modelado del Diseño, Documento de Arquitectura de Software, Modelo de Datos, Modelo de Implementación, Plan de Desarrollo de Software y Modelo de pruebas.

En la fase de transición el producto se convierte en la versión beta. En esta versión un número pequeño de usuarios prueban el producto hasta este punto pensado que es el final, este grupo informa al equipo de desarrollo los defectos y deficiencias que han detectado, el equipo de desarrollo corrige estos defectos y deficiencias e implementan mejoras.

Una parte importante durante esta fase es la capacitación de los clientes en el uso del software, este software al ser hecho para niños de primaria que van de los 7 a los 11 años de edad debe de ser muy intuitivo y no por ello se debe de realizar la ayuda y asistencia.

ARTEFACTOS UML

A continuación, se muestran los elementos UML creados en el análisis para la creación de los recursos digitales.

El Diagrama de Casos de Uso es el primer artefacto UML para determinar los requisitos, estos capturan de forma visual los requisitos del sistema.

La figura 1 se muestra el diagrama de casos de uso del maestro y alumno con respecto a la plataforma que almacena los recursos digitales.

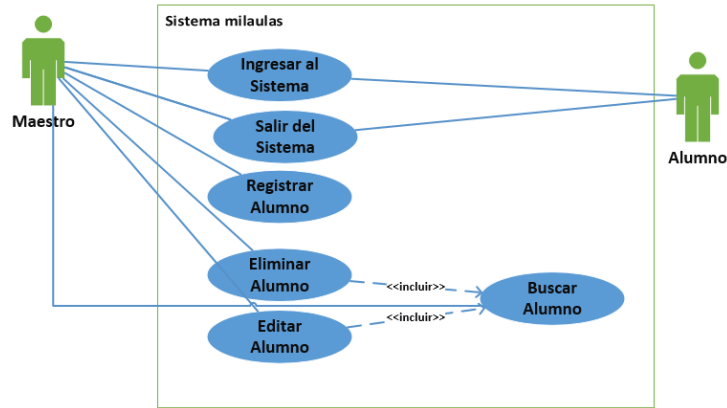


Figura 1. Diagrama de Casos de Uso del Sistema.

En la figura 2 se muestra un diagrama de secuencia del sistema, que son la muestra grafica de cómo interactúan los actores con el sistema.

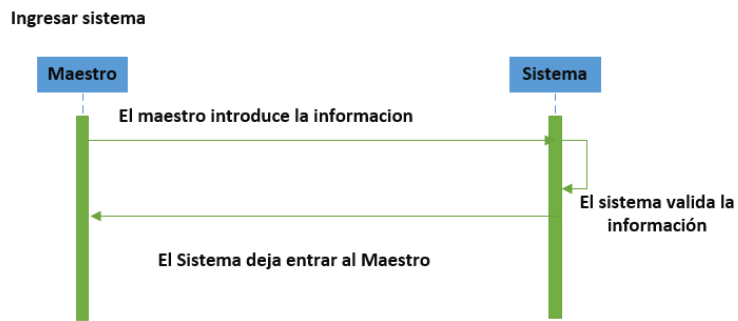


Figura 2. Diagrama de Secuencia Ingresar Sistema.

Los diagramas de actividad permiten describir como un sistema implementa su funcionalidad, modelan el comportamiento dinámico de un procedimiento, transacción o caso de uso haciendo énfasis en el proceso que se lleva a cabo (figura 3).

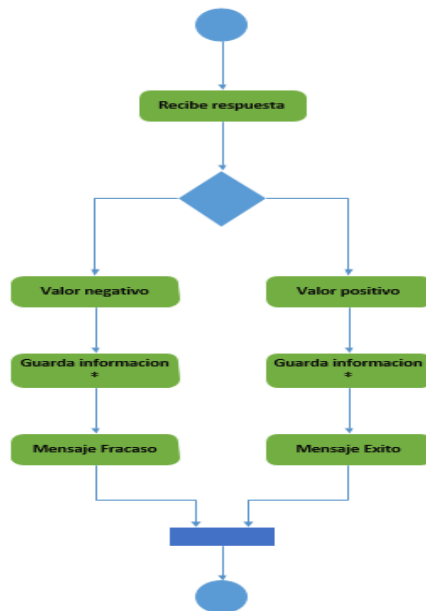


Figura 3. Diagrama de Actividades de revisar respuesta

RECURSOS DIGITALES

Para el desarrollo de los recursos educativos se utiliza EdiLIM que es un editor de libros LIM (Libros Interactivos Multimedia) para la creación de materiales educativos en entornos Microsoft Windows. Es una sencilla aplicación con la que se puede preparar cualquier libro educativo para su distribución o publicación en Internet. Se compone de archivos que se denominan libros, y de actividades que se denominan páginas. Las páginas pueden ser interactivas (sopas de letras, rompecabezas, preguntas, etc.) o descriptivas (muestran información) [4].

Los recursos se dividen en 4 partes, encabezado, barra de mensajes, área de actividades y navegación (figura 4).

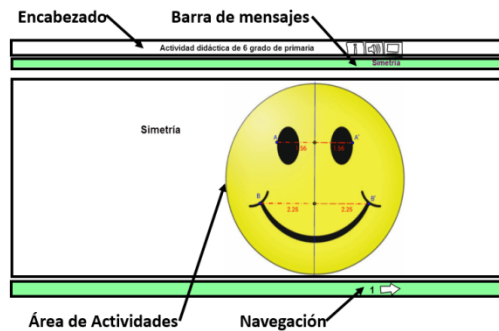



Figura 4. Estructura del recurso digital

A continuación, se presentan algunos ejemplos de los recursos educativos implementados (figuras 5 , 6. 7).

Actividad didáctica de 5 grado de primaria  **Numero de Cifras**

Une los cifras con los nombres de las cifras

Cien	100
Doscientos	200
Trescientos	500
Cuatrocientos	400
Quinientos	600
Seiscientos	300






  4 

Figura 5. Actividad de reactivos de correlación

Actividad didáctica de 4 grado de primaria  **Decimales 2**

Selecciona la opción correcta

Como se lee el siguiente numero: 9.6



- 1 9 decenas y 6 decimos
- 2 9 unidades y 6 decimos
- 3 9 unidades y 6 centesimos
- 4 9 decimos y 6 unidades






  6 

Figura 6. Actividad de pregunta de opción múltiple



Actividad didáctica de 4 grado de primaria  **Reloj**

Mueve las manecillas del reloj

A Claudia tiene una jornada de 6.45 horas, entra a la 1:25. Mueve las manecillas del reloj para mostrar la hora en la que sale



H M




  8 

Figura 7. Actividad de manecillas del Reloj

CONCLUSIONES

El proceso unificado con el apoyo del Lenguaje Unificado de Modelado resulta ser una buena herramienta para la determinación de los requerimientos de los recursos educativos.

La diversidad de medios y recursos existentes son necesarios para las diferentes formas de aprendizaje que tiene cualquier alumno, es decir la finalidad de todo es el aprendizaje, es por esto que los diferentes recursos educativos son un instrumento o camino para que los alumnos obtengan de la manera más autónoma posible los diferentes aprendizajes que se necesitan para la vida cotidiana.

Por lo tanto, es de vital importancia que los docentes se involucren en la concepción, diseño y correcta implementación de este tipo de materiales educativos para que sus alumnos tengan un correcto entendimiento y aprovechamiento de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pública, S. d. (Noviembre de 2015). ENLACE. Obtenido de ENLACE: <http://www.enlace.sep.gob.mx/ba/>
2. Jacobson, I., Booch, G., & Rumbaugh, J. (2000). Proceso Unificado de Desarrollo de Software. Madrid España: Pearson Education, S.A.
3. Craig, L. (2003). UML y Patrones Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado (Segunda Edición ed.). Madrid: Pearson Education.
4. EdiLIM. (22 de 23 de 2016). <http://www.educalim.com>. Obtenido de <http://www.educalim.com>: <http://www.educalim.com/cedilim.htm>

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE COMPUESTOS DE HIDROXIAPATITA REFORZADOS CON PARTÍCULAS DE TITANIO.

Godoy Colín Estefania, Osorio Ramos Jessica, Vázquez Huerta Gerarado, Refugio García Elizabeth, Flores Díaz Georgina y Enrique Rocha Rangel

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. egodoycolin@yahoo.com

Universidad Politécnica de Victoria – Tamaulipas

RESUMEN

En este trabajo se utilizó una nueva generación de materiales compuestos fabricados a partir de una técnica de polvos, reforzando una matriz porosa de hidroxiapatita (HAp) con diferentes contenidos de titanio (0.5, 1, 2 y 3 wt%), el cual es un metal biológicamente inerte. Y sinterizando los compactos obtenidos a 800°C por 1 h.

En función a las propiedades evaluadas de densidad, porosidad, dureza, resistencia a la compresión y comportamiento microestructural, se determinó que el material con el mejor comportamiento fue el que tenía una composición de 3%Ti. Al obtener resultados muy cercanos a los valores reportados para el hueso humano¹.

Estos resultados permiten decir que los materiales obtenidos son capaces de emular el comportamiento del hueso y factibles de emplearse en implantes óseos.

INTRODUCCIÓN

La reparación de tejidos óseos es un reto permanente en medicina, lo que impulsa al desarrollo e investigación de nuevos materiales para su utilización en implantes óseos, capaces de asegurar una compatibilidad biológica entre el material y el tejido.

Por lo que la hidroxiapatita $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, se presenta como el material más adecuado. Debido a que posee una estructura cristalina y composición similar a la porción mineral del hueso natural. Sin embargo, su problema radica en su baja resistencia mecánica, la cual depende de su distribución, porosidad y otros aspectos microestructurales². Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario considerar y asegurar la producción de materiales biocompatibles con características muy similares al hueso.

Basados en estas consideraciones, este trabajo propone utilizar una nueva generación de materiales porosos de hidroxiapatita (HAp) sintética reforzada con un metal (composites) procesados por la técnica de pulvimetalurgia, la cual involucra el trabajo con polvos^{3,4,5,6}. En este caso se plantea utilizar titanio como metal de reforzamiento por sus características y propiedades mecánicas de tracción-compresión, tenacidad, dureza, resistencia y ligereza, además de su gran resistencia a la corrosión, y por ser considerado un metal biológicamente inerte, es decir, biocompatible con el cuerpo humano que lo hace el metal más adecuado para ser utilizado como reforzamiento de biomateriales compuestos⁷. Sumado a lo anterior, el titanio es el cuarto metal estructural más abundante en la superficie terrestre y por otra parte, respecto a su

cancerogenicidad, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) establece que el titanio no es clasificable como elemento cancerígeno para los humanos⁸.

Es por ello, que se pretende evaluar nuevas condiciones y composiciones que condesciendan a que los compuestos cerámico-metal obtenidos mediante la técnica de pulvimetalurgia presenten un buen comportamiento microestructural, físico y mecánico.

TEORÍA

La hidroxiapatita $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, es el componente mineral predominante en los tejidos duros de los organismos vertebrados. Este material se ha usado para varias aplicaciones biomédicas, entre ellas está el recubrimiento de implantes por su excelente bioactividad y un mejor control en la oseointegración de implantes, la promoción de la función celular y la osteoconductividad^{2,3}. Además, varios autores señalan que la HAp puede unirse directamente a los tejidos y promover su crecimiento⁹. Por tal razón se han desarrollado diversas metodologías para su obtención.

Hasta el momento se ha encontrado evidencia de HAp sintetizada por varios métodos, entre los que se encuentran: el químico-húmedo en solución acuosa¹⁰; el sol-gel^{11,12}; el hidrotermal^{13,14}; la deposición térmica¹⁰; la precipitación continua y el método de reacción en estado sólido^{15,16}. El producto de la síntesis de hidroxiapatita entre las características que debe ofrecer, destacan: alta pureza, rendimiento, contar con propiedades como bioactividad, biocompatibilidad, osteoconductividad y unión directa al hueso, entre otras. Como se mencionó, existen diversos métodos para la obtención de hidroxiapatita, sin embargo, se han encontrado que los métodos por precipitación y sol-gel arrojan mejores resultados^{17,18}.

Las propiedades mecánicas de los biomateriales cerámicos los hacen inadecuados para ser empleados por si solos como implantes que deban soportar cargas. La aplicación de estas sustancias sobre un sustrato o al ser reforzadas con un material metálico hace que se puedan combinar las propiedades mecánicas del metal con las características bioactivas de los recubrimientos¹⁹.

En la actualidad se utiliza el Ti como biomaterial o alguna aleación, la más común es $\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$, la pulvimetalurgia flexibiliza la composición y mejora el método de fabricación, en términos económicos. El titanio puro y las aleaciones aluminio-titanio-vanadio resultaron prometedoras a la vez que satisfacían las exigencias económicas, algunos aceros inoxidable y aleaciones de cromo y de cobalto también fueron aplicados aunque los resultados clínicos de estos últimos resultaron inferiores. No obstante, los metales constituyen un grupo de gran importancia en el universo de los biomateriales y desempeñan un papel importante en la ortopedia y la odontología³.

Por otra parte, la técnica de pulvimetalurgia que se emplea ha sido utilizada tradicionalmente para materiales metálicos, cerámicos y compuestos⁵. Sin embargo, se ha encontrado poca evidencia de su aplicación en materiales compuestos HAp-Ti. Donde tan solo se ha reportado procesamiento de Ti como matriz, reforzada con 5 y 10% de HAp (metal-cerámico)⁵ e HAp reforzada con TiH_2 , por una tecnología similar a la propuesta pero en proporciones muy diferentes: 75% HAp y 25% TiH_2 (cerámico-metal), encontrando cualidades bioactivas y valores del módulo de Young similares al del hueso humano⁴.

PARTE EXPERIMENTAL

Síntesis de Hidroxiapatita

Se sintetizó hidroxiapatita por el método de precipitación. Y con el fin de obtener un polvo fino la muestra fue pulverizada en un mortero.

Tamizado del Titanio

Con la ayuda de un molino rotatorio de rodillos y elementos de molienda de Zirconia se pulverizó el metal hasta obtener un tamiz de partícula pequeña.

Fabricación de Probetas.

Se fabricaron probetas con composición de 0.5, 1, 2 y 3 %w de titanio, considerando además un blanco de estudio 100% HAp. La mezcla de Hidroxiapatita con las partículas metálicas de titanio se realizó en un molino de rodillos, utilizando un contenedor de alúmina y elementos de zirconia en una proporción de 1:15. Con los polvos obtenidos y con ayuda de un dado de acero se prepararon pastillas de aproximadamente 20 mm de diámetro y espesor de 2.5 mm para las pruebas de dureza, densidad, porosidad, microscopia óptica MO y MEB, mientras que para la prueba de compresión se fabricaron probetas de 10 mm de diámetro y de espesor, y se compactaron en una prensa hidráulica.

Sinterizado de las probetas

Las probetas obtenidas fueron sinterizadas a 800°C por 1 h, con una atmósfera inerte de Argón, utilizando una rampa de calentamiento a 500°C con permanencia de 10 min y un incremento en la temperatura hasta la temperatura de proceso y un enfriamiento dentro de un horno marca Thermolyne.

RESULTADOS

Caracterización Física

La densidad y porosidad determinadas por el método de Arquímedes juegan un papel importante en la caracterización de biomateriales como sustitutos de hueso, ya que permiten una mejor oseointegración y fijación al hueso. A continuación en las figuras 1 y 2 se muestra el comportamiento gráfico de la densidad total y la porosidad abierta del biocompuesto para las distintas concentraciones de HAp-Ti (0, 0.5, 1, 2 y 3%wt de Ti),

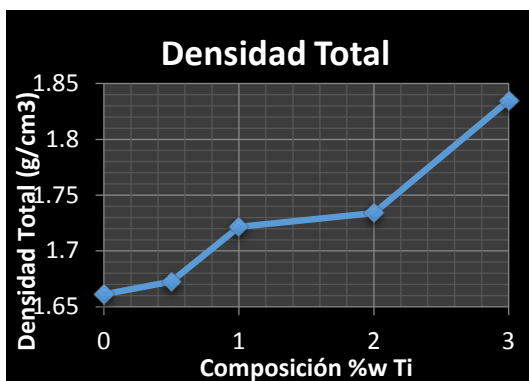


Fig. 1.- Grafica de densidad total a 800°C por método de Arquímedes.

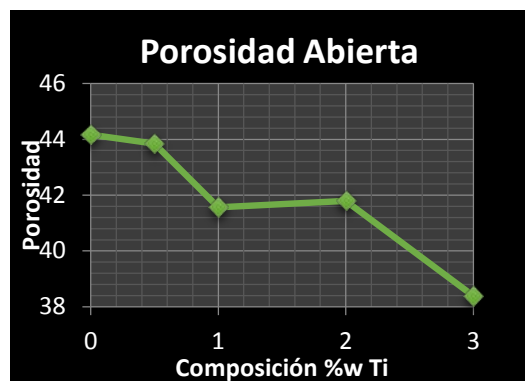


Fig. 2.- Grafica de porosidad abierta a 800°C por método de Arquímedes.

En la Figura 1 se observa que la densidad del material incrementa conforme aumenta la composición del titanio en la matriz de hidroxiapatita, y como consecuencia la porosidad del material disminuye (Figura 2). Lo anterior era de esperarse, pues se comprueba que una propiedad es antítesis de la otra. Observando que entre 1 y 2%wt de Ti la densidad y porosidad son casi constantes. Mientras que para 3%wt de Ti se observa un crecimiento notorio en la densidad con un valor de 1.82 g/cm^3 , el cual es prácticamente el mismo al reportado en la literatura para un hueso humano (1.81 g/cm^3)¹.

Caracterización mecánica

Dureza

La dureza de los diferentes compactos fue medida con un durómetro Vickers y los resultados obtenidos se presentan en la gráfica de la figura 3. En donde se puede observar que la dureza es mayor en el blanco (HAp 100%) en comparación con las probetas de 0.5%w Ti, esto puede ser debido a que la concentración de titanio es muy baja y por lo tanto en las probetas de 0.5%w de Ti aún no se ve la influencia del metal sobre la matriz de HAp. Sin embargo, a partir de la concentración de 1%wt de Ti la dureza se incrementa, es decir, conforme aumenta la concentración de titanio en la matriz de HAp, la dureza también crece, ya que el metal puede presentar mayor influencia sobre la matriz. Así mismo, se puede notar que la mayor dureza se da en las probetas con un contenido de 3%wt de Ti, al alcanzar un valor promedio de 65.2 HV.

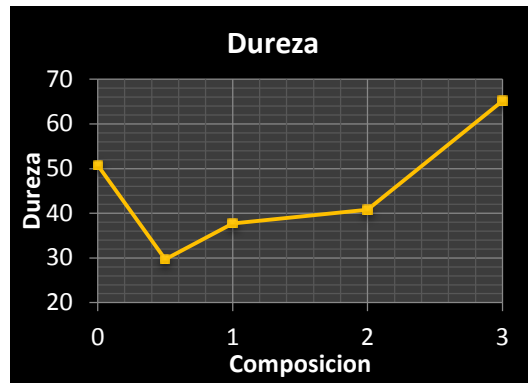


Fig. 3.- Comportamiento de la dureza con respecto a la concentración de Ti en la matriz de HAp.

Compresión

El ensayo de compresión se realizó utilizando probetas cilíndricas de diámetro igual a la altura, utilizando una máquina United, Con los datos recabados en este ensayo fue posible determinar algunas propiedades mecánicas de importancia: Módulo de Young E, Esfuerzo Máximo (MPa), Esfuerzo de fractura (MPa), Módulo de resiliencia (MJ/m³) las cuales se encuentran resumidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del ensayo de compresión, comparando el comportamiento del blanco en relación a las diferentes concentraciones sinterizadas a 800°C.

SINTERIZACIÓN 800 C						
%wt Ti	HAp-Ti	Módulo de Young E	Esfuerzo máximo (Mpa)	esfuerzo de Fractura (Mpa)	Módulo de resiliencia (MJ/m ³)	Promedio del Esfuerzo Máximo (Mpa)
0	a	5.39	8.82	3.02	7.21	7.04
	b	3.03	5.27	3.42	4.57	
0.5	a	12.98	58.69	9.70	132.74	51.52
	b	7.56	34.12	24.1	76.96	
	c	13.8	61.76	13.64	138.2	
1	a	12.07	34.96	21.99	50.63	38.05
	b	12.14	43.06	31.91	76.38	
	c	8.05	36.13	26.93	81.11	

2	a	10.93	60.66	22.58	168.37	58.57
	b	10.36	55.29	41.76	147.51	
	c	12.37	59.77	45.24	144.34	
3	a	20.22	62.28	20.19	95.91	69.76
	b	12.58	81.99	46.48	267.15	
	c	12.41	64.99	47.42	170.11	

Con los datos arrojados de la Tabla 1 se puede observar que los valores correspondientes al promedio del esfuerzo máximo se incrementan conforme aumenta la concentración de Ti en la matriz de HAp. Lo anterior se comprueba también en la Figura 4, en donde la composición de 3% wt Ti presenta el valor más alto de resistencia a la compresión, con un valor de 69.76 Mpa. El cual en comparación con el valor de resistencia máxima a la compresión para el hueso humano (fémur) reportado en la literatura (107 MPa)¹ se encuentra menos alejado de dicho valor con respecto a las otras concentraciones de Ti.



Fig. 4.- Grafica promedio esfuerzo-composición de HAp-Ti a 800°C.

Caracterización Microestructural

Microscopia Óptica (MO)

Las probetas de composición de 3%wt Ti, fueron caracterizadas por microscopia óptica MO. Estas fueron escogidas por presentar las mejores propiedades físicas y mecánicas en relación a la semejanza con la información reportada para el hueso humano. En esta caracterización se observó cierta porosidad y defectos superficiales. Por otra parte se comparó este compuesto con el blanco 100% HAp. Ver figura 5.

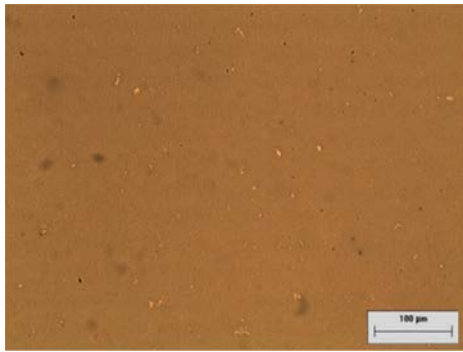


Fig. 5.- Microscopia Óptica del blanco HAp 100% a 800°C.

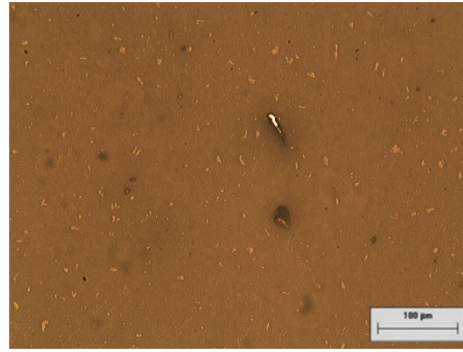


Fig. 6.- Microscopia Óptica de HAp-Ti a 3%wt Ti a 800°C.

Ambas micrografías muestran la presencia de una matriz homogénea, sin embargo, en la que tiene presencia metálica se puede apreciar una coalescencia, no obstante hay baja presencia superficial como era de esperarse, pues el contenido de refuerzo es muy bajo y debe estar distribuido en el volumen de la muestra.

Caracterización por MEB

En la micrografía de la figura 7 se puede apreciar cierta porosidad que contribuye al buen comportamiento del material, además en este caso si se puede notar la presencia de partículas metálicas distribuidas en la matriz cerámica, lo que contribuye a generar un comportamiento más homogéneo. Así mismo se puede observar que la porosidad tiende a la esfericidad, lo que provoca una mayor resistencia mecánica.

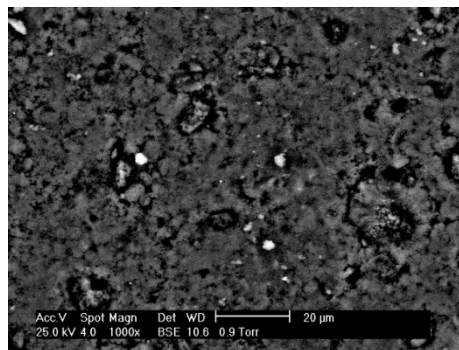


Fig. 7.- MEB de HAp-Ti a 3%wt Ti 800°C.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron materiales con buenas propiedades físicas y mecánicas, que aún con la menor presencia metálica, se aprecia un incremento en la resistencia en compresión y la densidad, con una disminución de la porosidad.

Se puede decir que el Ti en la mayor concentración de estudio mejora significativamente el comportamiento físico y mecánico del material, sobre todo al compararlo con el material sin refuerzo. Así mismo, estos materiales presentan un buen comportamiento microestructural pues las partículas se aprecian homogéneamente distribuidas y los poros de forma esferoidal, provocan una mayor resistencia en el material.

Por lo que la ruta de trabajo empleada es una buena opción para producir materiales compuestos HPa – Ti, pues es una ruta económica que permite la generación de formas complejas. Además los resultados obtenidos permiten decir que el titanio es un buen metal de refuerzo y que los materiales obtenidos son capaces de emular el comportamiento del hueso y son factibles para emplearse en implantes óseos

BIBLIOGRAFÍA

1. S. Pal, *“Design of Artificial Human Joints & Organs”*, (Springer US, New York, 2013), Chapter 2, pp. 23-40.
2. Sequeda L.G., *“Obtención de hidroxiapatita sintética por tres métodos diferentes y su caracterización para ser utilizada como sustituto óseo”*, Rev. Colombiana, vol.41, 2012, pp. 50-66.
3. Méndez González M.M., *“Desarrollo de la Porosidad en Hidroxiapatita y Recubrimientos Cerámicos para uso Ortopédico”*, Tesis Doctoral en Tecnología Avanzada, 2006, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, unidad Legaría.
4. Picornell Perez E., *“Análisis Previo de Biocompatibilidad de un Material Compuesto de HAp-Ti Fabricado por Pulvimetalurgia”*, Proyecto Terminal en Ingeniería Industrial, 2013, Universidad Carlos III de Madrid.
5. Comin R., Musso L.A.R., *“Cytotoxicity of Hydroxyapatite and Morphology in Composites Whit Ti”*, Biomaterials, vol.11, 2013, pp. 97-100.
6. Ning C., Zhou Y., *“In vitro bioactivity of a composite fabricated from HA and Ti powders by powder metallurgy method”*, Biomaterials, vol.23, 2002, pp. 2927-2932.
7. Brunette D.M., Tengvall P., Textor M., Thomsen P., *“Titanium in Medicine: Material Science, Surface Science, Engineering, Biological Responses and Medical Applications”*, Springer Berlin Heidelberg, 2001.
8. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ti.htm>, (06/02/2016).
9. He J., Wang M.C., *“Constitutive modelling of the densification and the grain growth of hydroxyapatite ceramics”*, Biomaterials, vol.26, 2005, pp. 1613-1621.
10. Stipniece L., Ancane K.S, Borodajenko N., Sokolova M., Jakovlevs D., Cimdina L.B., *“Characterization of Mg-substituted hydroxyapatite synthesized by wet chemical method”*, Science Direct, vol.40, 2014, pp.3261-3267.
11. Cheng K., Shen G., Weng W., Han G., Ferreira J.M.F., Yang J., *“Synthesis of hydroxyapatite/fluoroapatite solid solution by a sol-gel method”*, Materials Letters, vol. 51, 2001, pp. 37-41.
12. Cheng K., Shen G., Weng W., Han G., Zhang S., Haibo Q., Du P., Yuan J., *“Sol-gel preparation of bioactive apatite films”*, Science Direct, vol.167, 2003, pp. 292-296.
13. Sivakumar M., Kumar T.S.S., Shantha K.L., Rao K.P., *“Development of hydroxyapatite derived from Indian coral”*, Biomaterials, vol.17, 1996, pp. 1709-1714.

14. Liang A., Wang L., Young X., Zeng D., Cheng Y., Weng G., "Controlled additive-free hydrothermal synthesis and characterization of uniform hydroxyapatite nanobelts", *Ceramics International*, vol.42, 2016, pp. 3104-3112.
15. Tadic D., Epple M., "Mechanically stable implants of synthetic bone mineral by cold isostatic pressing", *Biomaterials*, vol.24, 2003, pp. 4565-4571.
16. Peng H., Wang J., Lva S., Wena J., Chen J.F., "Synthesis and characterization of hydroxyapatite nanoparticles prepared by a high-gravity precipitation method", *Ceramics International*, vol.41, 2015, pp. 14340-14349.
17. Martínez Ramírez E., Quiroz Garcés A., Velasco Villareal R., De la Rosa Orea G., Gonzáles Pérez M., "Síntesis y análisis de biocompatibilidad y osteoconductividad de un composito hidroxiapatita/colágeno, implantado en el sacro de un perro", *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. 32, 2011, núm. 2, 119-124.
18. Encinas Romero M.A., Aguayo Salinas S., Castillo S.J., Castellón Barraza F.F., and Castaño V.M., "Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite-Wollastonite Composite Powders by Sol-Gel Processing", *International Journal of Applied Ceramic Technology*, vol. 5, 2008, pp. 401-411.
19. Arias J., Ángeles A.M., Fernández M.E., Arias J.I., Lorente L., "Propedéutica Quirúrgica: Preoperatorio, Operatorio y Postoperatorio", Madrid, Tébar, 2004.

APLICACIÓN DEL GRADIENTE DE ELUCIÓN DE FASE REVERSA EN LA SEPARACIÓN DE UNA MEZCLA DE FENOLES DE POLARIDAD MEDIA

Ana María Núñez Gaytán, María Elena Núñez Gaytán, Ricardo Agustín López

Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, email: amnunez@umich.mx

RESUMEN

La cromatografía de líquidos de alta eficiencia es un método de separación de amplio uso que permite analizar un gran número de sustancias con exactitud, rapidez y alta resolución. La flexibilidad que proporciona esta técnica para ajustar la selectividad mediante cambios en la composición de la fase móvil (pH, naturaleza y contenido de disolventes orgánicos) es de gran importancia cuando se busca separar compuestos muy parecidos como es el caso de los isómeros de posición. En este trabajo se realizó la separación eficiente de una mezcla de 6 diclorofenoles cuya concentración de cada analito es 15 mg/L. Los componentes de este estándar de fenoles son: 2,3-diclorofenol, 2,4-diclorofenol, 2,5-diclorofenol, 2,6-diclorofenol, 3,4-diclorofenol y 3,5-diclorofenol. La separación se efectuó en una columna analítica C-18 (150 x 4.6 mm D.I.), empacada con una fase hypersil de 5 μm , mediante un gradiente de disolventes y usando un detector electroquímico. La composición de la fase móvil es: Fase A (débil): acetonitrilo-metanol-fase acuosa (pH 3.5) (15:10:75) v/v conteniendo un buffer de ácido fórmico- formiato de concentración 0.02 M y la Fase B (fuerte): acetonitrilo-metanol (75:25) v/v. El flujo de la fase móvil es 1 mL/min y la separación óptima de los analitos se realizó en 28 minutos.

INTRODUCCIÓN

Se han utilizado diversas técnicas analíticas en la determinación cuantitativa de fenoles, siendo los métodos cromatográficos los más populares. El alto poder de resolución de la cromatografía de gases, aunado a la gran sensibilidad de sus detectores (en particular ionización de flama, captura de electrones y espectrometría de masas), ha sido ampliamente explotado en la determinación de compuestos fenólicos. Sin embargo, debido a su alta polaridad, los fenoles tienden a dar picos anchos o coleados y este efecto aumenta con el desgaste de la columna. Este inconveniente se evita realizando una etapa de derivatización para transformar los fenoles en compuestos menos polares, que presentan mejores propiedades cromatográficas. La reacción de derivatización se puede llevar a cabo fácilmente mediante la acetilación del grupo OH⁻ de los fenoles con anhídrido acético en presencia de carbonato o carbonato ácido [1,2].

Considerando por una parte la naturaleza acuosa de la muestra y por otra la polaridad de algunos de los compuestos en estudio, así como las leves diferencias en cuanto a propiedades químicas de los diclorofenoles, se optó por elegir la Cromatografía de Líquidos como método de separación. En efecto, la flexibilidad que proporciona esta técnica para ajustar la selectividad mediante cambios en la composición de la fase móvil (pH, naturaleza y contenido de disolventes orgánicos) es de gran importancia cuando se busca separar compuestos muy parecidos como es el caso de los isómeros de posición.

Con frecuencia se prefiere utilizar la cromatografía de líquidos para el análisis de compuestos polares ya que no se requiere su derivatización. La determinación analítica de diversos grupos de fenoles se ha realizado satisfactoriamente usando columnas de fase reversa C-8 o C-18 y

diferentes fases móviles para la separación. La detección de los analitos se puede realizar con los detectores UV y el electroquímico.

PARTE EXPERIMENTAL

Se prepararon estándares de la mezcla de los 6 diclorofenoles de concentración de 15 mg/L y se usaron diferentes mezclas binarias y ternarias de disolventes orgánicos como metanol y acetonitrilo con diferentes sistemas amortiguadores.

Para poner a punto la separación de la mezcla de diclorofenoles se trabajó con el sistema precolumna (PLRP-S) – columna (C18) en línea ya que ambas contribuyen apreciablemente a la retención de los solutos y al ensanchamiento de los picos. En efecto, aunque la pequeña precolumna contiene una cantidad de fase estacionaria (30 mg) que podría considerarse despreciable frente a la de la columna (1.2 g), las dos fases no tienen el mismo poder de retención. Los copolímeros estireno-divinilbenceno tienen un área hidrocarbonada (por gramo de adsorbente) mucho mayor que la de las sílices con cadenas octadecilo enlazadas y, por ende, los efectos hidrofóbicos son mucho más intensos en los primeros. Adicionalmente, el esqueleto aromático del polímero ejerce interacciones π - π con solutos aromáticos como los fenoles. La suma de ambos efectos ocasiona que, aún con una pequeña cantidad de fase polimérica, el aumento de retención sea muy significativo al conectar la precolumna a la columna analítica. Por otra parte, es bien conocido que la eficiencia de las fases poliméricas es notablemente menor que la de las fases químicamente unidas, debido a la mayor resistencia a la transferencia de masa dentro de la red entrecruzada del copolímero. Adicionalmente, cuando una banda de soluto es transferida de una fase más retentiva a una menos retentiva se produce una dispersión, tanto más grande cuanto mayor es la diferencia de velocidad de migración del soluto entre ambas fases [3].

Por lo antes comentado, la inserción de la precolumna entre el inyector y la columna analítica se traduce en un aumento de retención y una disminución de eficiencia. Puesto que ambos factores determinan la resolución de los analitos, es indispensable poner a punto la separación en el sistema integral precolumna-columna analítica.

RESULTADOS

La separación reproducible y eficiente de la mezcla de los seis fenoles, se efectuó utilizando las condiciones de fase móvil que se indican a continuación.

Fase móvil: Gradiente de elución, Fase A (débil) acetonitrilo-metanol-amortiguador acuoso (pH 3.5) 15:10:75 (v/v), Fase B (fuerte) acetonitrilo-amortiguador acuoso (pH 3.5) 75:25 (v/v).

Programa de gradiente

Tiempo (min)	0	15	24
% B	20	20	80

El flujo de la fase móvil es 1 mL/min y se usó un detector ultravioleta a una λ de 280 nm para la detección de los compuestos.

Se utilizaron las siguientes columnas para realizar la separación de la mezcla de diclorofenoles:

Columna analítica (150 x 4.6 mm D.I.) empacada con fase reversa Hypersil ODS de 5 μ m.

Precolumna de EFS (20 x 2 mm D.I.) empacada con fase reversa polimérica de tipo estireno-divinilbenceno, PLRP-S 100A, 10-15 μ m.

La identificación de cada clorofenol se realizó inyectando cada soluto a las mismas condiciones.

El cromatograma de la separación de los seis diclorofenoles se muestra en la figura 1:

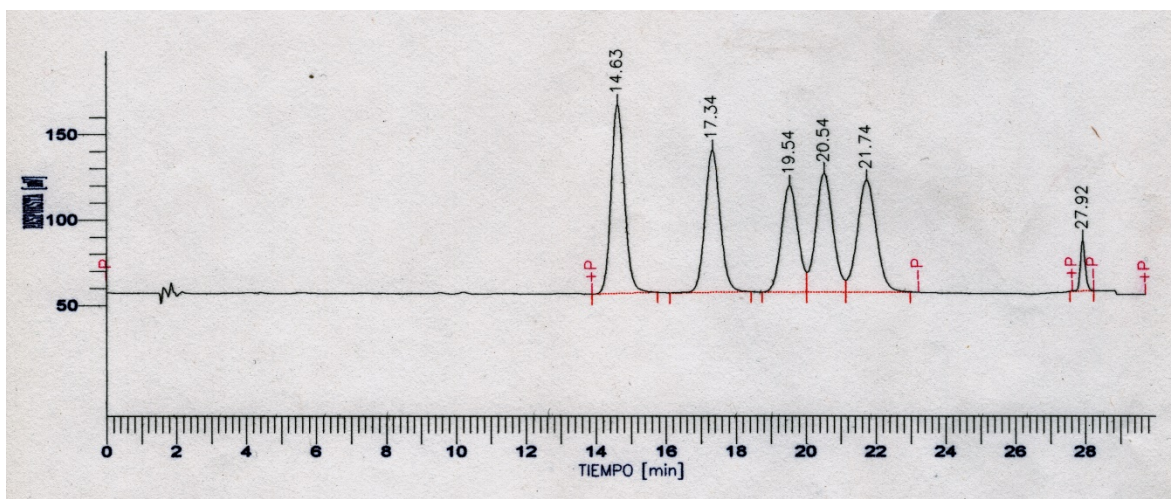


Fig. 1. Inyección de una mezcla de 15 mg/L de diclorofenoles. Precolumna polimérica (20 x 2 mm D.I.) empacada con una fase PLRP-S 100A de 10-15 μm en línea con columna analítica (150 x 4.6 mm D.I.) empacada con Hypersil de 5 μm . Elución en gradiente: Fase A (débil) acetonitrilo-metanol-amortiguador acuoso (pH 3.5) 15:10:75 (v/v), Fase B (fuerte) acetonitrilo-amortiguador acuoso (pH 3.5) 75:25 (v/v). Detector UV, $\lambda = 280$ nm, S=0.01 AUFS. Orden de elución: 1) 2,6-diclorofenol, 2) 2,3-diclorofenol, 3) 2,4-diclorofenol, 4) 2,5-diclorofenol, 5) 3,4-diclorofenol y 6) 3,5-diclorofenol.

CONCLUSIONES

La separación de la mezcla de diclorofenoles de polaridad media es cuantitativa y se realiza de manera eficiente usando un gradiente de disolventes de fase reversa. La cromatografía de líquidos de alta resolución es una técnica analítica adecuada para lograr la separación de una mezcla de isómeros de posición como los fenoles diclorados. La separación cuantitativa de la mezcla se realizó en un tiempo de 28 minutos.

BIBLIOGRAFÍA

1. K.D. Buchholz, J. Pawliszyn, Determination of phenols by solid-phase microextraction and gas chromatographic analysis, *Environ.Sci.Technol.*, 27 (1993) 2844-2848.
2. L. Montero, S. Conradi, H. Weiss, P. Popp. Determination of phenols in lake and ground water samples by stir bar sorptive extraction-thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry, *J. Chromatogr. A*, 1071 (2005) 163-169
3. D. Puig, D. Barceló. Off-line and on-line solid-phase extraction followed by liquid chromatography for the determination of priority phenols in natural waters, *Chromatographia* 40 (1995) 435-444.

SINTESIS DE FERRITAS MIXTAS DE Zn^{2+}/Cu^{2+} ($Zn_{1-x}Cu_xFe_2O_4$) POR EL MÉTODO HIDROTHERMAL Y ESTUDIO DEL EFECTO CATALÍTICO Y BACTERICIDA

Mónica. Araceli Camacho González, Aristeo Garrido Hernández, Norma Alatorre Torres, Leticia Esperanza Hernández Cruz y María Fernanda Ramírez Ayala.

División de Procesos Industriales, Área Nanotecnología, Universidad Tecnológica de Tecámac, Carretera Federal México - Pachuca Km 37.5, , Col. Sierra Hermosa, Tecámac, Estado de México, C.P. 55740, MÉXICO. ibq_mony@hotmail.com.

Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca – Tulancingo, Km 4.5 s/n, Mineral de la Reforma, Hidalgo, C.P. 42184, MÉXICO.

RESUMEN

La fotocatalisis heterogénea, es un proceso avanzado de oxidación fotoquímica que acelera la fotodegradación de contaminantes orgánicos por reacciones sucesivas de óxido-reducción. Los materiales fotocatalizadores generalmente son semiconductores que basan su actividad catalítica en la absorción de fotones de luz (visible o UV) con energía suficiente, igual o superior a su energía de banda prohibida, desencadenando con ello la formación de pares hueco-electrón (h^+e^-) responsables del fenómeno de fotocatalisis. La síntesis de polvos de ferritas mixtas de Zn^{2+} y Cu^{2+} por la técnica hidrotermal, a partir de nitratos de los precursores es presentada en este trabajo, los resultados de caracterización por espectroscopía IR demuestran el enlace covalente M-O-Fe al observarse una banda característica por debajo de los $590cm^{-1}$, los resultados por DRX evidencian la formación de la estructura cristalina espinela inversa, característica de las ferritas por la presencia de un pico con elevada intensidad correspondiente al plano (311). Los iones Zn y Cu suministran además un efecto bactericida combinado por la actividad tóxica de éstos iones sobre el proceso de replicación del material genético y por el estrés oxidativo celular generado por la elevada concentración de radicales $\bullet OH$ en el medio. La eficiencia catalítica de las ferritas de $Zn_{1-x}Cu_xFe_2O_4$ fue probada mediante la degradación fotocatalítica del azul de metileno mediante la reacción Fenton. También se determinó la sensibilidad bacteriana a las ferritas por la técnica de difusión en disco y la concentración mínima inhibitoria por la técnica de las diluciones.

Palabras clave. Fotocatalisis, Dopaje, Ferritas, Fotodegradación, Reacción Fenton.

INTRODUCCIÓN

La preparación de nuevos materiales con microestructura controlada a escala cuasi-atómica ha dado lugar a un nuevo campo de investigación multidisciplinar donde concurren la física del estado sólido, la química, la ciencia de materiales y en algunos casos, la biología. La nanotecnología es un nuevo planteamiento centrado en la comprensión y el dominio de las propiedades de la materia

a escala nanométrica donde la materia ofrece propiedades diferentes y, muchas veces, sorprendentes; se considera que la nanotecnología puede hacer una aportación esencial a la solución de problemas medioambientales de carácter mundial por el desarrollo de productos y procesos más ajustados a usos específicos, el ahorro de recursos, y la disminución de residuos [1].

En la actualidad, la contaminación a nivel mundial es un problema que a todos nos preocupa e involucra. Cada vez es mayor el número de sitios y recursos con niveles elevados de contaminación. El agua, uno de los recursos naturales esenciales que los seres vivos necesitan para sobrevivir, es de los más contaminados [2].

Se considera que la fuente más importante de contaminación del agua es la falta de gestión en el desarrollo de tratamientos adecuados de los residuos humanos, industriales y agrícolas. Según la Organización de las Naciones Unidas, cada día 2 millones de toneladas de aguas residuales y otros efluentes desembocan en las aguas del mundo (ríos, lagunas, lagos y mares) sin ningún tratamiento previo [2, 3]. Contaminantes orgánicos emergentes como colorantes, solventes, medicamentos, metales pesados, plaguicidas, y otros presentes en aguas residuales, son generados por la actividad humana e industrial, causando graves consecuencias en la salud humana y alterando las características naturales de los ecosistemas en los que entran en contacto [4].

A lo largo de los últimos años se han desarrollado diferentes tecnologías para la remediación y detoxificación de aguas contaminadas. La remoción por tratamiento químico aplicando procesos avanzados de oxidación (PAO's), favorecen la disminución de la toxicidad y/o la separación de los efluentes contaminados, y en algunos casos, hasta su gradual mineralización [5]. Estos procesos pueden usarse solos, combinados entre ellos o con métodos convencionales, pudiendo aplicarse también a contaminantes de aire y suelos [6].

La fotocatalisis heterogénea, es un proceso avanzado de oxidación fotoquímica. Se basa en la absorción de fotones de luz (visible o UV) con energía suficiente, igual o superior a la energía de banda prohibida de un material fotocatalizador (receptor de energía), que promueve la excitación de electrones de la banda de valencia a la banda de conducción, desencadenando con ello la formación de pares hueco-electrón (h^+e^-) responsables del fenómeno de fotocatalisis [7]. La formación del par hueco desencadena la producción de radicales hidroxilo reactivos ($\bullet\text{OH}$) con un potencial de oxidación de 2.80 V favoreciendo el proceso de fotodegradación de contaminantes orgánicos por reacciones sucesivas de oxido-reducción (redox) [8].

Muchos materiales semiconductores que pueden ser utilizados como un fotocatalizador son: semiconductores tales como los calcogenuros TiO_2 , ZnO , WO_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_4 (óxidos sencillos) [5] y CdS , ZnS (sulfuros) hasta mezclas de óxidos BiVO_4 , Bi_2WO_6 , BiTaO_4 , AgVO_3 .

Las ferritas son compuestos químicos con propiedades ferrimagnéticas formadas por óxidos de hierro como su principal componente. Se clasifican de acuerdo a su estructura cristalina: Hexagonal ($\text{MFe}_{12}\text{O}_{19}$), granate ($\text{M}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$) y espinela (MFe_2O_4), donde M representa uno o más metales divalentes de transición (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, and Zn). Al ser magnéticas, se pueden recuperar fácilmente después de la finalización de las reacciones utilizando un imán [10]. Para el caso de las nanopartículas de ferrita, hasta el momento, sólo el cobre, cobalto, níquel, zinc y varias ferritas mixtas de metal y de núcleo-corteza (core-shell) se están aplicando en las reacciones

catalíticas, principalmente los procesos de la síntesis y la destrucción de los compuestos orgánicos [5].

PARTE EXPERIMENTAL

Las partículas de $Zn_{1-x}Cu_xFe_2O_4$ se sintetizaron por el método hidrotermal, empleando nitratos como precursores de los iones Zn^{2+} , Cu^{2+} y Fe^{3+} , Hidróxido de Sodio [NaOH] como agente precipitante, grado analítico. Se mezclaron soluciones 0.5 M de los precursores en proporciones molares ($x=0.25, 0.5$ y 0.75); se ajustó el pH de la mezcla a un valor de 11-12 con una solución 2M de NaOH, se mantuvo en agitación constante por 30 minutos. El precipitado (gel amorfo) se lavó por triplicado con agua destilada y se procedió al proceso hidrotermal a $170^\circ C$ por 20 horas en NaOH 2M. El precipitado recuperado, se lavó por triplicado y se secó en un horno a $120^\circ C$ durante 8 horas.

La caracterización química se realizó por la técnica de Espectroscopia IR con un espectrofotómetro FT-IR marca Perkin Elmer Lamda, la medición se realizó en modo transmisión de 4000 a 500 cm^{-1} . La caracterización estructural se llevó a cabo por Difracción de rayos X y la Microscopía Electrónica de Barrido se empleó para caracterizar la morfología y el tamaño aproximado de las partículas sintetizadas.

La eficiencia catalítica se determinó por la degradación fotocatalítica del azul metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S$) en agua bajo radiación visible ($>420\text{ nm}$) con una lámpara de arco Xenón de 300 W (filtro de corte de 420 nm , $I=20\text{ A}$).

Para las pruebas del efecto bactericida se emplearon las bacterias *Escherichia coli* ATCC 25922 y *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, ambas provistas por la Universidad Tecnológica de Tecámac, como representantes de los microorganismos Gramnegativos y Grampositivos respectivamente. Se procedió a la estandarización del medio de cultivo de cada microorganismo para determinar el número real de unidades formadoras de colonias (UFC), a partir de la viabilidad gráfica. La concentración de las ferritas con las diferentes proporciones de iones dopantes, fue de 20 mg de ferritas en 20 ml de solución salina estéril, todo en condiciones asépticas. Para el crecimiento bacteriano, se colocó 0.5 ml de cultivo estandarizado de cada organismo de ensayo en cajas Petri de vidrio previamente identificadas con medio de cultivo Müller-Hinton y se distribuyó con un asa acodada sobre la superficie del medio, después de 10 minutos de reposo, se colocó un disco de papel filtro de 1 cm de diámetro, sumergido en la solución de nano ferrita, se incubaron las cajas a $35^\circ C \pm 2^\circ C$, durante $18 - 24\text{ h}$, se medirán los diferentes niveles de zona de inhibición para determinar las sensibilidad de los microorganismos a las ferritas.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos por espectroscopía IR de los polvos de las ferrita sintetizadas en sus diferentes proporciones de los iones dopantes ($x=0.25, 0.50$ y 0.75) $Zn_xCu_{1-x}Fe_2O_4$ presentan, una banda a 2986 cm^{-1} relacionada al grupo OH de la molécula de agua, a 1420 cm^{-1} y 878 cm^{-1} relacionadas a vibraciones asimétricas del grupo NO_3^{-1} , la banda a 538 cm^{-1} se atribuye a las vibraciones intrínsecas de los iones metálicos en configuración octaédrica indicando la formación de la estructura espinela.

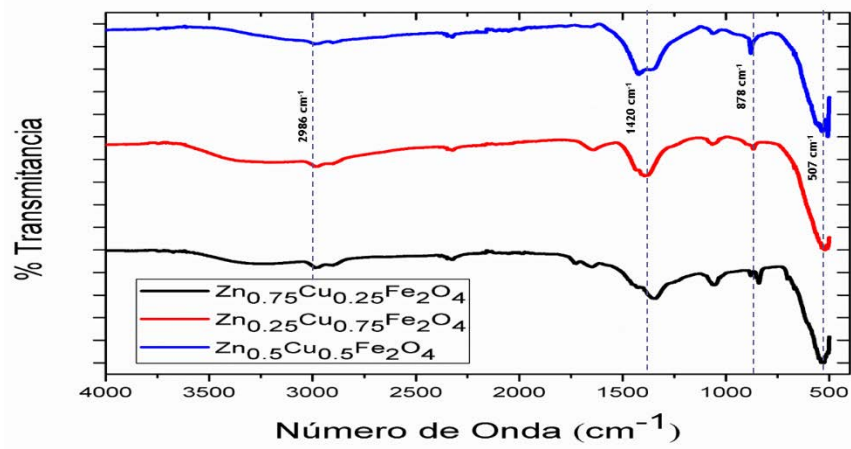


Figura 20. Espectro IR para las muestras de ferritas mixtas de Zn/Cu

Los patrones de difracción de la figura 2 indican cristalinidad definida con respecto al patrón de referencia (01-077-0012). El plano (311) es característico de la fase espinela de las ferritas, los planos indexados (220), (400), (422), (511) y (440) corresponden a una celda unitaria cúbica.

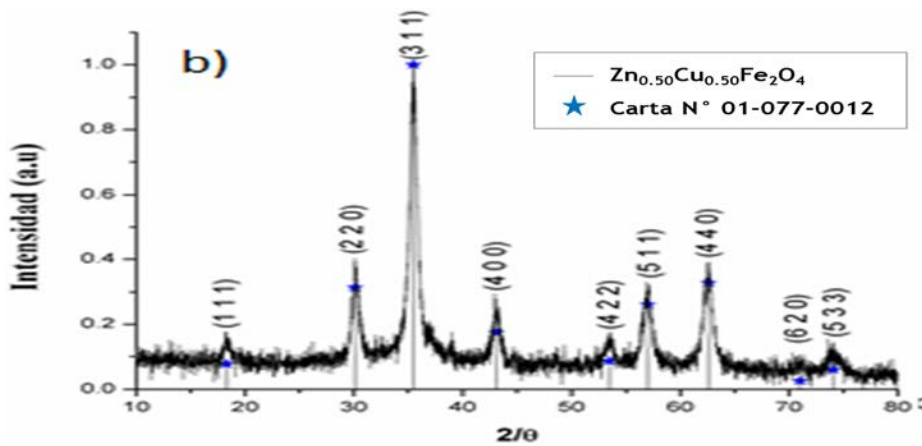


Figura 21 Difractograma de la ferrita mixta $Zn_{0.5}Cu_{0.5}Fe_2O_4$

La caracterización por MEB, figura 3, muestra partículas no uniformes con un tamaño aproximado de 200 μm , se observa una aglomeración excesiva, y en menor proporción, partículas que podrían ubicarse en la escala nanométrica.

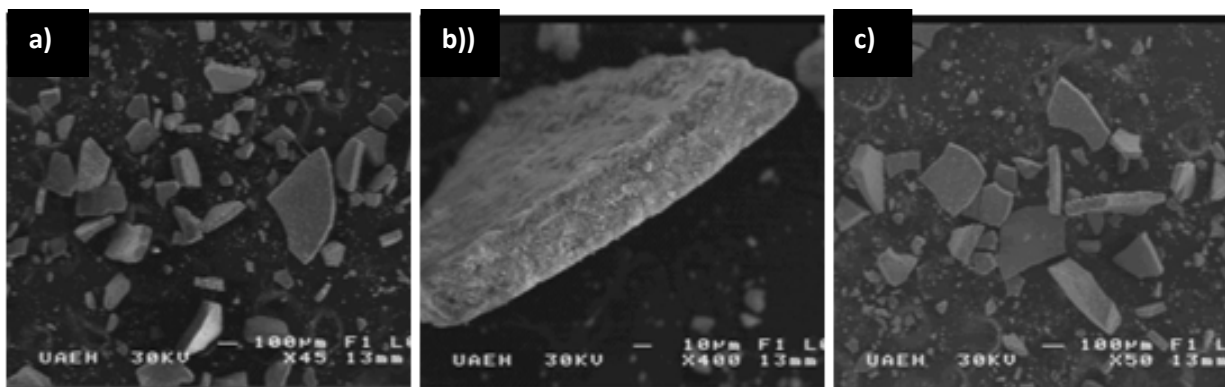


Figura 22. Micrografías de ferritas mixtas $Ni_xCu_{1-x}Fe_2O_4$; a) 45X, b) 400X y c) 50X

Para determinar la eficiencia fotocatalítica de las ferritas, una vez recolectadas las muestras y tener las lecturas de Absorbancia a 665 nm en el espectro visible, se determinó que la degradación de azul de metileno durante el tiempo de estudio solo fue del 31%, figura 4.

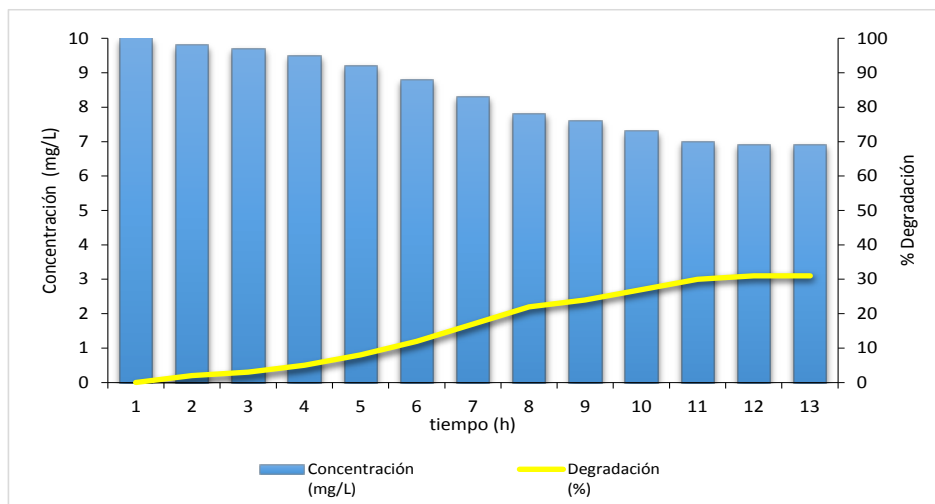


Figura 23. Efecto fotocatalítico de las ferritas mixtas $Ni_xCu_{1-x}Fe_2O_4$ en la degradación del Azul de Metileno. Concentración residual y % de Degradación

Finalmente se presentan los resultados de la sensibilidad de los microorganismos de estudio a las ferritas mixtas $Ni_xCu_{1-x}Fe_2O_4$, figura 5. Se pueden observar claramente los halos de inhibición que denotan una sensibilidad de intermedia a elevada a las ferritas por ambos microorganismos para las diferentes concentraciones de estudio. Tras un análisis estadístico se ve con mayor claridad que *S. aureus* presenta mayor susceptibilidad a las ferritas que *E.coli*. Figura 6.

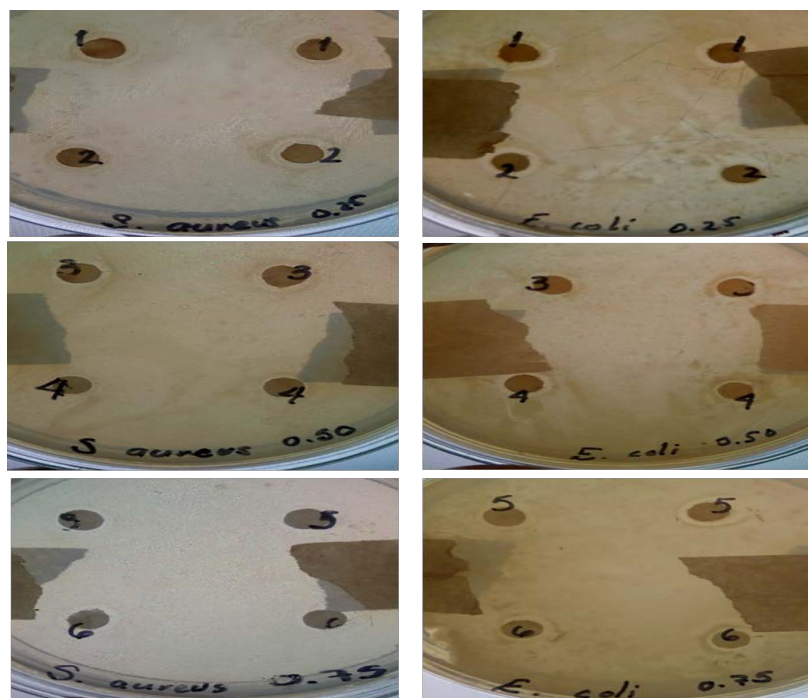


Figura 24 Inhibición del crecimiento de microorganismos de estudio por ferritas mixtas de Zn^{2+}/Cu^{2+} (Izquierda: *Staphylococcus aureus* y Derecha, *Escherichia coli*).

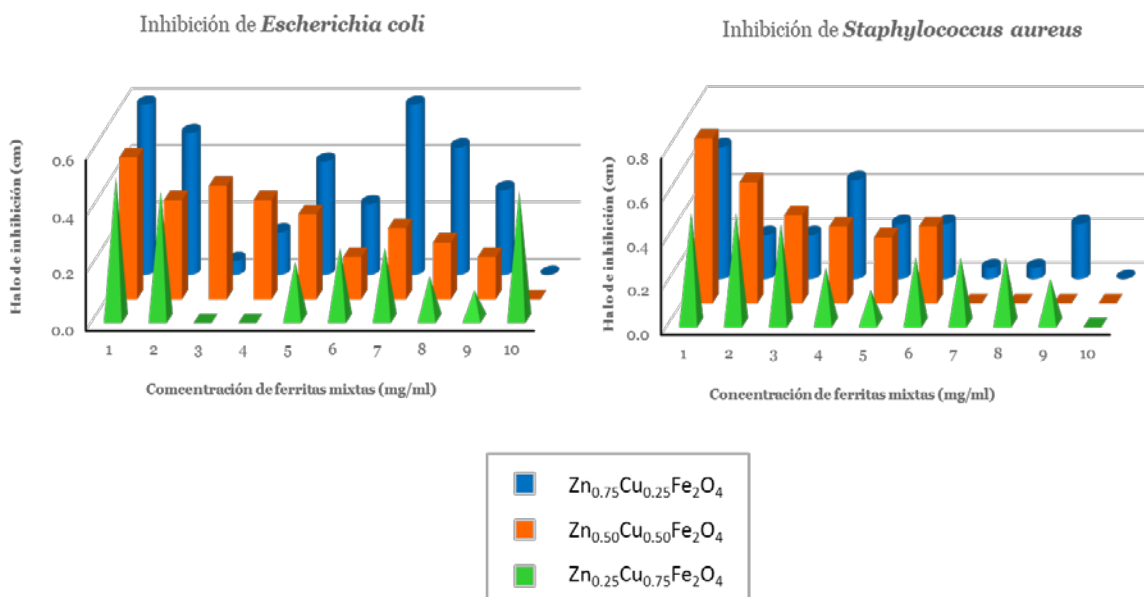


Figura 25. Análisis gráfico de la sensibilidad de *S. aureus* y *E. coli* con respecto de la concentración de ferritas.

CONCLUSIONES

Los parámetros utilizados en la síntesis de ferritas mixtas por la técnica hidrotermal, fueron adecuados para la obtención de ferritas con diferentes proporciones de los iones dopantes (Zn^{2+}/Cu^{2+}), sin impurezas y con el dopaje de los iones Zn^{+2} y Cu^{+2} en fase espinela.

La técnica FT-IR, permitió observar las bandas características para los enlaces químicos característicos de la ferrita mixta (Zn-O-Fe y Cu-O-Fe). Se verificó que la estructura cristalina de la ferrita, fue cúbica centrada en el cuerpo, por la técnica de Difracción de Rayos X; la reflexión más fuerte se presentó en el plano (311), lo que demostró la obtención de la fase espinela inversa.

El análisis MEB evidenció partículas con morfología no homogénea y un tamaño promedio de 269.2 nm, alejado de la escala nanométrica, independientemente del empleo de SDS como agente surfactante.

Los microorganismos de prueba presentan una susceptibilidad intermedia a las ferritas mixtas a una concentración de 7.5 mg/ml y sus sucesivas diluciones. Se observa un mayor efecto inhibitorio para *Staphylococcus aureus*. Bajo las condiciones de las pruebas de laboratorio para evaluar el efecto catalítico de las ferritas mixtas, se observó una reducción del 31% del azul de metileno con respecto a su concentración inicial.

Se recomienda ajustar algunos parámetros de obtención para obtener partículas de ferrita mixta a tamaño nanométrico y forma definida, considerando esto fundamental para tener una mayor área superficial útil y aumentar así el efecto catalítico y bactericida de las ferritas mixtas de Zn^{+2}/Cu^{+2} .

BIBLIOGRAFÍA

1. C. Schulenburg, «Nanotecnología: Innovaciones para el día de mañana,» 23 04 2004. https://cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_brochure_es.pdf.
2. O.N.U. (ONU), «El agua, fuente de vida 2005-2015,» <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>. [Último acceso: 14 09 2016].
3. I. C. y. I. C. Organización de las Naciones Unidas (ONU) para la Educación, «Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP),» [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-15-water-pollution>. [Último acceso: 14 09 2016].
4. M. Templeton y D. Butler, An Introduction to Wastewater Treatment, <http://www2.aku.edu.tr/~icaga/kitaplar/introduction-to-wastewater-treatment.pdf>,

Ed. Bookboon.com, 2011.

5. L. Pérez, *Degradación Fotoquímica de Contaminantes Emergentes mediante Procesos Solares. Evaluación Analítica*, Almería, Almería: Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Químicas, 2008.
6. A. Zapata, *Descontaminación de aguas biorrecalcitrantes mediante foto-fenton solar y oxidación biológica a escala industrial. Efecto de las variables del proceso fotocatalítico sobre la eficiencia del tratamiento combinado*, Almería: Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Química, 2011.
7. E. Pavas, «Fotocatálisis: Una alternativa viable para la eliminación de compuestos orgánicos,» *Universidad EAFIT*, vol. 1, nº 127, pp. 59-64, 2002.
8. C. Jaramillo-Páez y G. Taborda-Ocampo, «La Fotocatálisis: Aspectos Fundamentales para una buena remoción de Contaminantes» *Universidad de Caldas*, vol. 26, nº 1-2, pp. 71-88, 2006.
9. S. Chan, T. Wu, J. Juan y C. Teh, «Recent developments of metal oxide semiconductors as photocatalysts in advanced oxidation processes (AOPs) for treatment of dye waste-water,» *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, nº 86, pp. 1130-1158, 2011.
10. R. Ullah, H. Sun, H. Ang, M. Tadé y S. Wang, «Visible light photocatalytic degradation of organics on nanoparticles of bi-metallic oxides,» *Journal of Separation and Purification Technology*, nº 89, pp. 98-106, 2012.

MODELADO DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DE MATERIALES COMPÓSITOS POLÍMERO-NANOTUBOS DE CARBONO

Rafael Vargas Bernal, Arturo Bermúdez Reyes, Oliver Muñiz Serrato, y Gabriel Herrera Pérez

Departamento de Ingeniería en Materiales, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carretera Irapuato-Silao Km. 12.5, Irapuato, Guanajuato, México, C.P. 36821, E-mail: ravargas@itesi.edu.mx

RESUMEN

Los nanotubos de carbono son nanomateriales tecnológicamente prometedores para ser mezclados con diferentes polímeros debido a su potencialidad para obtener nanocompuestos de bajo peso con propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas, ópticas, magnéticas, etc. La escala de tamaño, razón de aspecto y propiedades de los nanotubos les proporcionan ventajas sobre otros materiales usados como rellenos en una variedad de aplicaciones dentro de las que se incluyen los materiales disipadores electrostáticamente, materiales con propiedades multifuncionales para productos deportivos, automotrices, aeroespaciales, etc. Durante la fase de diseño de estos materiales compósitos es importante predecir el porcentaje en volumen de nanotubos de carbono que deben ser añadidos al polímero para obtener determinadas propiedades físicas en el material compuesto final. La predicción puede ser realizada a través del modelado matemático del índice de refracción usando la regla de las mezclas de Voigt, la regla de las mezclas de Lichtenecker, la regla de las mezclas de Reuss, el modelo de Maxwell-Garnett, el modelo de Halpin-Tsai, y el modelo de Lewis-Nielsen. En este trabajo se modela el índice de refracción de los nanocompuestos polímero-nanotubos de carbono para aplicaciones en electrónica flexible donde principalmente se buscan materiales transparentes o con índice de refracción grande. Particularmente el índice de refracción del material compuesto es importante para aplicaciones donde se requiere interacción con la luz en el rango ultravioleta, visible e infrarrojo. Es encontrado que estas propiedades se incrementan proporcionalmente con la concentración de nanotubos presentes en el material compuesto y alcanzan un valor de saturación cuando el efecto de percolación es alcanzado. Este tipo de predicción permitirá al diseñador electrónico conocer los valores mínimo y máximo del índice de refracción del material compuesto para implementar dispositivos electrónicos con el mejor aprovechamiento de las propiedades ópticas conjuntamente con las propiedades eléctricas explotadas regularmente.

INTRODUCCIÓN

Los nanotubos de carbono gracias a su tamaño nanométrico tienen propiedades físicas y químicas fascinantes [1]. Dentro de las propiedades físicas que los hacen atractivos para aplicaciones de alta vanguardia tecnológica se encuentran las mecánicas, ópticas, eléctricas y térmicas. Los nanotubos han permitido avances en materiales, dispositivos electrónicos, almacenamiento de energía, y sensores. Recientemente, recubrimientos anti-reflejantes con propiedades de auto-limpieza basadas en polímeros y nanotubos de carbono han impulsado la investigación de las propiedades ópticas de estos materiales compuestos. Estos recubrimientos pueden producir

películas conductoras transparentes basadas en estos compósitos para mejorar la eficiencia de las celdas solares. Además, es requerido que la emisión solar máxima alcance la intersección semiconductor, es decir, que la luz pase a través del recubrimiento lo que implica que el índice de refracción se incremente.

Los nanotubos de carbono ya juegan un papel importante en el desarrollo de celdas solares particularmente para aquellas sensibilizadas por tintes y se espera que su papel en la generación de electricidad en forma renovable en el año 2020 [1]. El avance más reciente implica el uso de las heterouniones nanotubos-silicio donde la capa emisora (material tipo-*p* de una unión *p-n*) es reemplazada por una película delgada de nanotubos de carbono.

El artículo ha sido dividido como sigue: En la Sección 2, se describe la teoría asociada con las propiedades ópticas que son estudiadas en este trabajo como lo es el fenómeno de dispersión de luz y el índice de refracción. La descripción de la experimentación realizada para poder predecir el comportamiento del índice de refracción es hecha en la Sección 3. La Sección 4 presenta las gráficas del comportamiento óptico de tres materiales compuestos basados en polímeros y nanotubos de carbono, lo que permitirá determinar el mejor material que puede ser usado desde el punto de vista óptico. Finalmente, las conclusiones de este trabajo son dadas en la Sección 5.

TEORÍA

En óptica, el índice de refracción o refractivo *n* de un material es un número adimensional que describe cuánta luz se propaga a través de ese medio [2]. Éste es definido como $n = c/v$, donde *c* es la velocidad de la luz en el vacío y *v* es la velocidad de fase de la luz en el material. El índice refractivo determina cuánta luz es doblada, o refractada, cuando ingresa en un material. El índice refractivo también determina la cantidad de luz que es reflejada cuando alcanza la interfaz (frontera entre el medio donde viaja la luz y hacia donde es dirigida), así como el ángulo crítico de la reflexión interna total.

Varias relaciones empíricas y teóricas han sido desarrolladas para predecir el comportamiento dieléctrico de los compósitos [1-3]. Las primeras relaciones empíricas pueden ser expresadas como la regla de las mezclas de Voigt (Ecuación 1), regla de las mezclas de Reuss (Ecuación 2) y la regla de las mezclas logarítmica de Lichtenecker (Ecuación 3):

$$n = \phi n_d + (1 - \phi)n_m \quad (1)$$

$$\frac{1}{n} = \frac{\phi}{n_d} + \frac{1 - \phi}{n_m} \quad (2)$$

$$\log(n) = \phi \log(n_d) + (1 - \phi) \log(n_m) \quad (3)$$

donde ϕ es la fracción volumétrica de la fase dispersante, *n* es el índice de refracción del compósito, *n_d* es el índice de refracción de la fase dispersante y *n_m* es el índice de refracción de la matriz. Posteriormente, otros modelos han sido desarrollados como lo es el modelo de Maxwell-Garnett expresado como [4-6]:

$$\frac{n}{n_m} = \frac{1 + 2\phi \left(\frac{n_d - n_m}{n_d + 2n_m} \right)}{1 - \phi \left(\frac{n_d - n_m}{n_d + 2n_m} \right)} \quad (4)$$

El modelo de Lewis-Nielsen (Ecuación 5) es expresado como:

$$\frac{n}{n_m} = \frac{1 + 2\phi \left(\frac{n_d - n_m}{n_d + 2n_m} \right)}{1 - \phi\psi \left(\frac{n_d - n_m}{n_d + 2n_m} \right)} \text{ donde } \psi = 1 + \phi \left(\frac{1 - \phi_m}{\phi_m^2} \right) \quad (5)$$

y, donde ϕ_m es la fracción volumétrica máxima. El modelo de Halpin-Tsai expresa la relación entre los índices de refracción como:

$$n = n_m \left(\frac{1 + \eta\phi}{1 - \eta\phi} \right) \text{ donde } \eta = \frac{\frac{n_d}{n_m} - 1}{\frac{n_d}{n_m} + 1} \quad (6)$$

PARTE EXPERIMENTAL

Por medio de la simulación de las ecuaciones anteriores haciendo uso del programa gnuplot se procedió a obtener gráficos del comportamiento del índice de refracción contra la fracción volumétrica de nanotubos de carbono, la cual fue variada desde 0 al 100 %. La fracción volumétrica máxima para el modelo de Lewis-Nielsen fue considerada de 0.6. El índice de refracción de tres diferentes materiales compuestos fue estudiado:

1. Resina feno-formaldehído y nanotubos de carbono.
2. Poli-alcohol-vinílico y nanotubos de carbono.
3. Politetrafluoroetileno y nanotubos de carbono.

Los índices de refracción de los polímeros usados como material matriz y del reforzante (nanotubos de carbono) son desglosados en la Tabla 1.

Tabla 1. Índices de refracción de materiales usados en los materiales compuestos.

Material	Índice de Refracción
Nanotubos de Carbono	2.5
Resina fenol-formaldehído	1.7
Poli-alcohol-vinílico(PVA)	1.5
Politetrafluoroetileno (PTFE)	1.35

RESULTADOS

Todos los modelos matemáticos descritos en la sección de teoría fueron simulados para predecir el índice de refracción de los compuestos con cada uno de los polímeros mencionados en la sección de la parte experimental y nanotubos de carbono. Para el compuesto resina fenol-formaldehído y nanotubos de carbono, el comportamiento muestra el valor mínimo del índice de refracción cuando no hay nanotubos y el máximo cuando el material no contiene polímero, como se muestra en la Figura 1. Esta tendencia es mantenida para las reglas de las mezclas y los modelos matemáticos usados. Los compuestos conteniendo polímeros con índice de refracción pequeño se ven favorecidos más ampliamente por la adición de nanotubos de carbono, pero en realidad todos los polímeros al formar compuestos con los nanotubos tendrán mayor índice de refracción de acuerdo a los resultados obtenidos. Para el compuesto poli-alcohol-vinílico (PVA) y nanotubos el comportamiento es ilustrado en la Figura 2 y para el compuesto politetrafluoroetileno (PTFE) y nanotubos de carbono es ilustrado en la Figura 3.

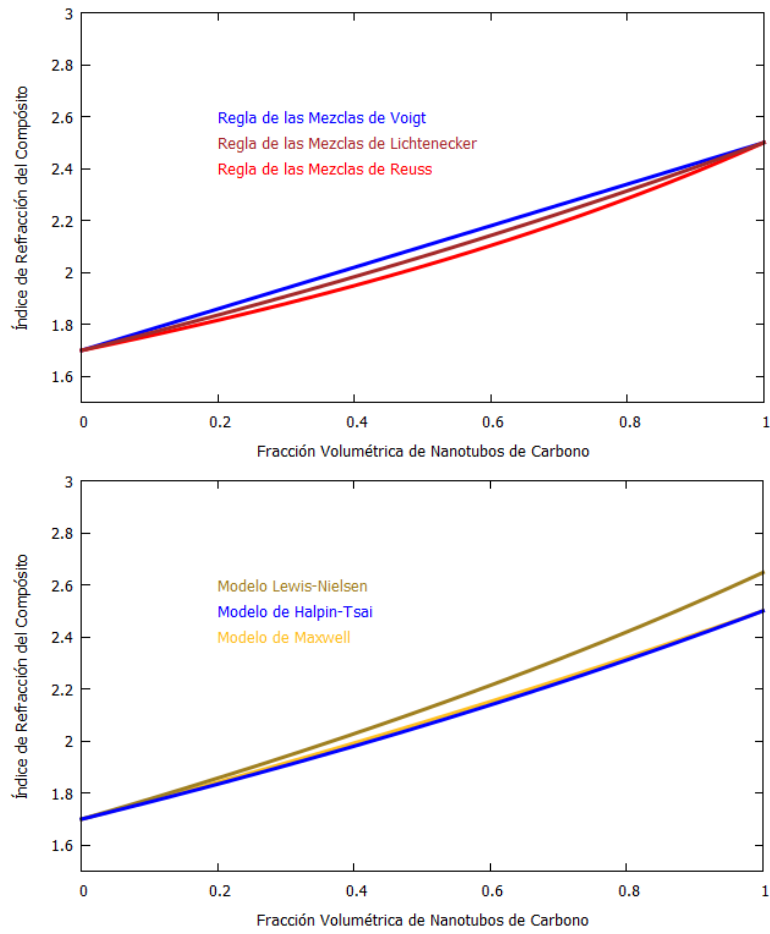
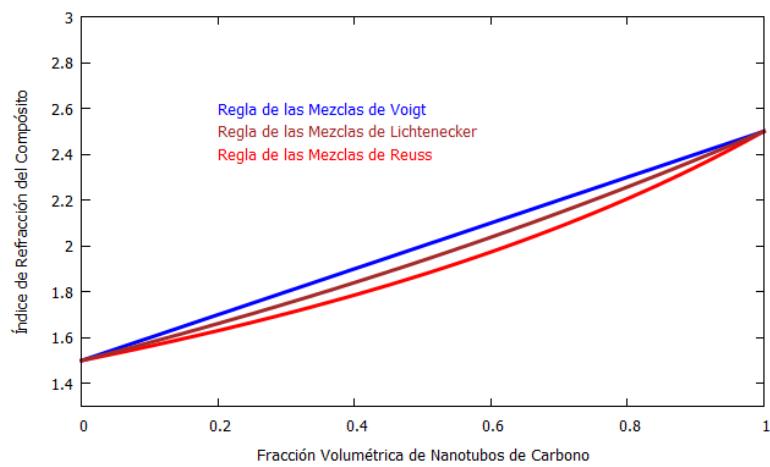


Figura 1. Índice de refracción del compósito resina fenol-formaldehído-nanotubos de carbono.



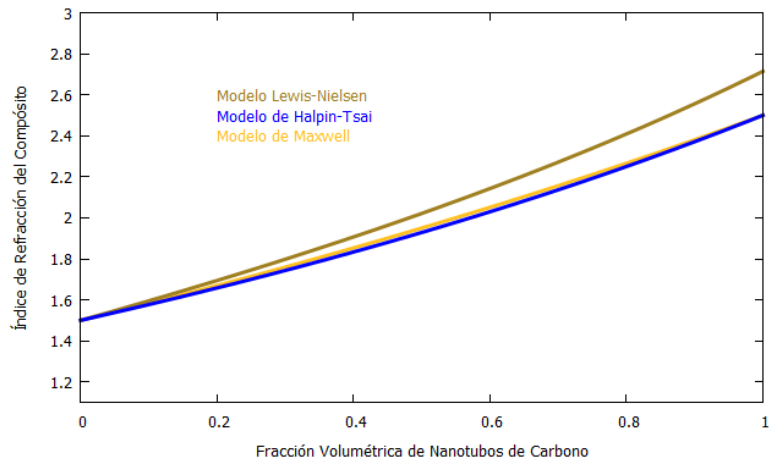


Figura 2. Índice de refracción del compuesto poli-alcohol-vinílico(PVA)-nanotubos de carbono.

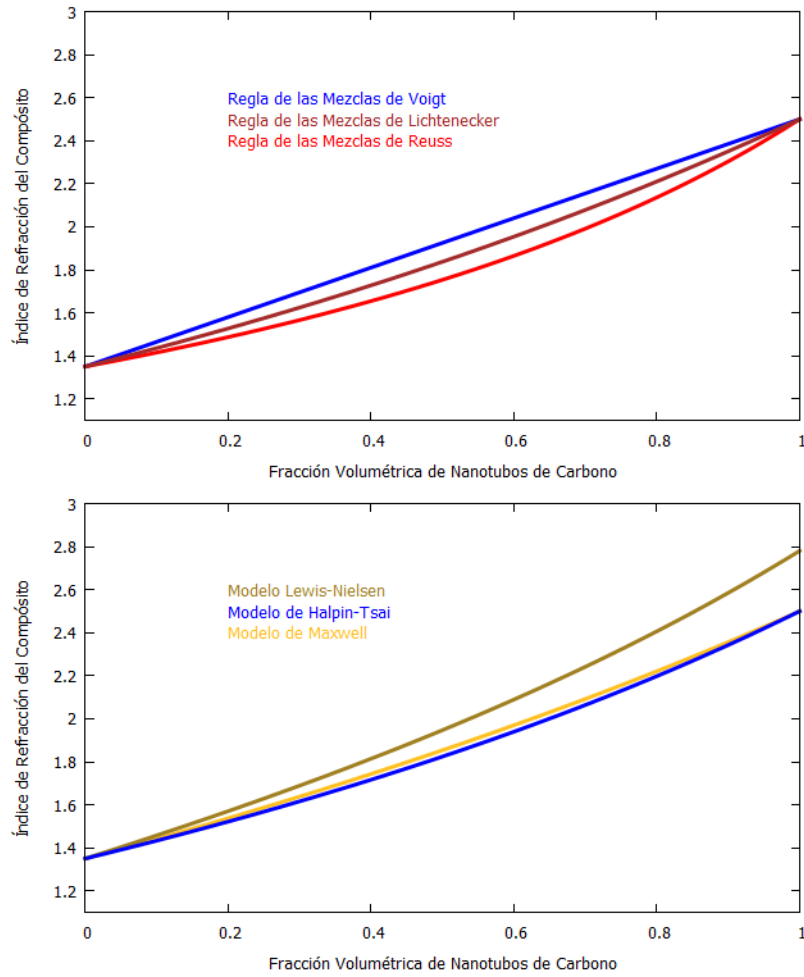


Figura 3. Índice de refracción del compuesto politetrafluoroetileno (PTFE)-nanotubos de carbono.

De acuerdo a los resultados obtenidos la resina de fenol-formaldehído tiene el índice de refracción más grande y considerando que la luz entrará desde aire o vacío, hará que la luz penetre a este material con un ángulo menor que el ángulo de incidencia lo que incrementará la transparencia del compuesto a la luz de entrada.

CONCLUSIONES

El diseño de materiales compuestos basados en polímeros y nanotubos de carbono es muy importante en la industria electrónica sobre todo para el desarrollo de materiales para la electrónica flexible donde múltiples propiedades físicas son requeridas: mecánicas, eléctricas, ópticas y térmicas. En este trabajo, particularmente el índice de refracción de los materiales compuestos basados en matrices poliméricas es mejorado gracias a la adición de nanotubos de carbono que tienen un índice de refracción superior a los materiales poliméricos. Los modelos matemáticos usados en el estudio computacional de estos materiales muestran una tendencia creciente en el índice de refracción conforme el porcentaje en volumen de nanotubos de carbono es incrementado. Este estudio permitirá al diseñador de materiales electrónicos hacer uso de materiales basados ya sea en polímeros termoplásticos o termofijos que permitan una mayor transmisión de luz en los dispositivos optoelectrónicos tales como diodos emisores de luz, láseres, y celdas solares.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo económico al proyecto No.152524 de CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) de su convocatoria de Ciencia Básica 2010 y al proyecto 284.15-PD de PRODEP (Programa para el Desarrollo Profesional Docente). Se agradece el apoyo del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) por su apoyo para realizar esta investigación y para presentar el artículo en el congreso.

BIBLIOGRAFÍA

1. H. Hanaei, M.K. Assadi and R. Saidur, "Highly efficient antireflective and self-cleaning coatings that incorporate carbon nanotubes (CNTs) into solar cells: A review", *Renew. Sustainable Energy Rev.*, Vol. 59, 2016, pp. 620-635.
2. M. Born and E. Wolf. *Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light*. 1999. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
3. R. Pal. *Electromagnetic, mechanical, and transport properties of composite materials*. 2015. Boca Raton, FL: CRC Press.
4. M.Y. Yoledintseva, R.E. DuBroff and R.W. Schwartz. "A Maxwell Garnett model for dielectric mixtures containing conducting particles at optical frequencies", *Progress in Electromagnetics Research*, Vol. 63, 2006, pp. 223-242.
5. K. Pietrak and T.S. Wiśniewski, "A review of models for effective thermal conductivity of composite materials", *J. Power Technologies*, Vol. 95, No. 1, 2015, pp. 14-24.
6. J.C. Halpin and J.L. Kardos. "The Halpin-Tsai equations: A review". *Polym. Eng. Sci.* Vol. 16, No. 5, 1976, pp. 344-352.

ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE UNA ANTENA DE PROXIMIDAD PARA SU APLICACION EN EL SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACION POR SATELITE

Berdeja Sotelo Isis Selene, Ramírez García Eloy, Garduño Nolasco Edson

Instituto Politécnico Nacional, UPALM, Edif. Z-4 3er Piso, CP 07738, Cd. de México, México.

RESUMEN

En este trabajo mostramos los avances del diseño de una antena alimentada mediante proximidad concebida, para operar en las frecuencias 1.16-1.24 GHz. Estas frecuencias de operación corresponden a las bandas L2 (1.227 GHz) y L5 (1.176 GHz) del sistema de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés). En nuestro caso, realizamos un análisis paramétrico para determinar los valores adecuados de tal manera que la antena opere en las frecuencias antes descritas. De este análisis, la antena alcanza una ganancia de 3.5/4.11dB y un coeficiente de reflexión igual a -12 /-16dB para las bandas L5/L2 respectivamente. En conclusión, se tiene un funcionamiento óptimo de la antena para las bandas L2 y L5, siendo compacta y de fácil fabricación con respecto a otras propuestas.

INTRODUCCIÓN

Los avances que a continuación presentamos corresponden al diseño de una antena de parche alimentado mediante proximidad, por una antena radiante en forma de T. Para esto, tomamos como referencia la antena del artículo "*Compact dual-band slot antenna for 2.4/5 GHz WLAN applications*"¹. En la cual, se realizó un análisis paramétrico con el propósito de modificar los radios de las ranuras, el tamaño de la antena y otros valores característicos; para lograr que la antena opere en las bandas de frecuencia L2 y L5 de GPS y pueda usarse en aplicaciones GNSS (del inglés Global Navigation Satellite System).

TEORIA

Actualmente se han vuelto indispensables las tareas de posicionamiento, navegación y temporización basadas en GNSS, las cuales son de uso común para cualquier persona. Esto debido a que se asume como confiable la información de temporización y posicionamiento que es ofrecida por estos sistemas.

Las aplicaciones GNSS son sistemas de posicionamiento satelital (SatNav) que presentan los más altos niveles de cobertura espacial. Este tipo de sistemas han sido ampliamente utilizados para:

- Localización georreferenciada de regiones.
- Navegación georreferenciada para plataformas móviles: Barcos, teléfonos móviles, aeronaves y automóviles.
- Geodesia.²

La IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) define una antena como "aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas"³. Una antena plana de microcinta -en su forma simple- consiste en una cinta conductora muy delgada unida a una figura geométrica de cobre sobre un sustrato dieléctrico con una permitividad ϵ_r y un plano de tierra en el lado opuesto⁴, como se muestra en la Figura 1.

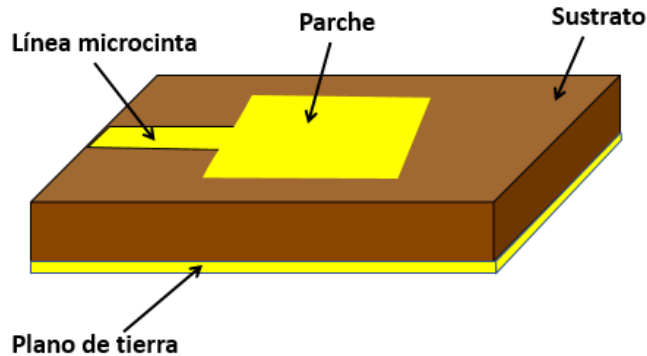


Figura 1. Antena de parche alimentada por microcinta.

El diseño de la estructura de alimentación de una antena es importante porque regula directamente el acoplamiento de la impedancia, modos de operación, radiaciones espurias, onda de superficie y geometría de la antena o arreglos. Existen diferentes formas de alimentar un radiador y se pueden clasificar en dos grupos:

- Técnicas por contacto (la transferencia de potencial al parche, se realiza por medio de una línea de microcinta o coaxial).
- Técnicas sin contacto (la transferencia de potencia se realiza mediante un acoplamiento electromagnético entre la línea de microcinta, el parche (ranura) y por proximidad)⁴.

DESARROLLO

Antena de referencia.

La geometría de la antena que usamos como referencia, se muestra en la Figura 2. En esta antena se utilizó un sustrato de FR4($\epsilon_r = 4.50$, $\tan \sigma = 0.02$) de tamaño 40 mm x 40 mm x 1 mm, donde el plano de tierra se encuentra en la parte inferior. Los elementos radiantes constan de una ranura de anillo cuadrado y de una ranura de anillo circular, operando en las bandas de frecuencia de 2.4 GHz y 5 GHz para su uso en aplicaciones WLAN. La antena está alimentada mediante proximidad por una microcinta en forma de L en la parte superior de la placa. Los parámetros correspondientes a la antena se muestran en la Tabla 1.

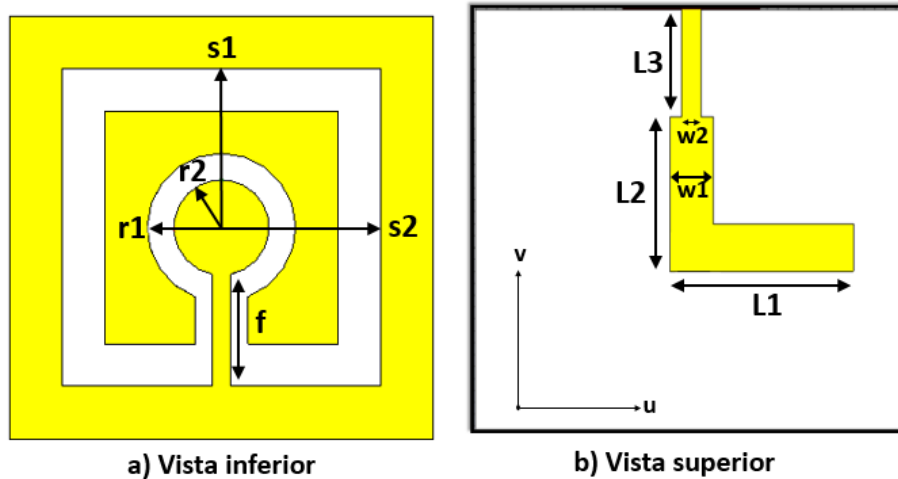


Figura 2. Diseño de la antena de parche a 2.4 GHz y 5 GHz.

PARAMETROS DE LA ANTENA	DESCRIPCION	VALORES [mm]
r1	Radio interno de la antena.	4.5
r2	Radio externo de la antena.	7
s1	Radio interno de la ranura de anillo cuadrado.	11
s2	Radio externo de la ranura de anillo cuadrado.	15
f	Ranura rectangular entre la ranura cuadrada y la ranura circular.	3.4
L1	Largo 1 de la microcinta en forma de L.	13
L2	Largo 2 la microcinta en forma de L.	13
L3	Largo 3 de la microcinta en forma de L.	9
w1	Ancho 1 de microcinta en forma de L.	4
w2	Ancho 2 de la microcinta en forma de L.	1.8

Tabla 1. Tabla de parámetros de la antena WLAN.

En la Figura 3, se observa la gráfica S11 (parámetro de reflexión, coeficiente de reflexión del puerto de entrada).

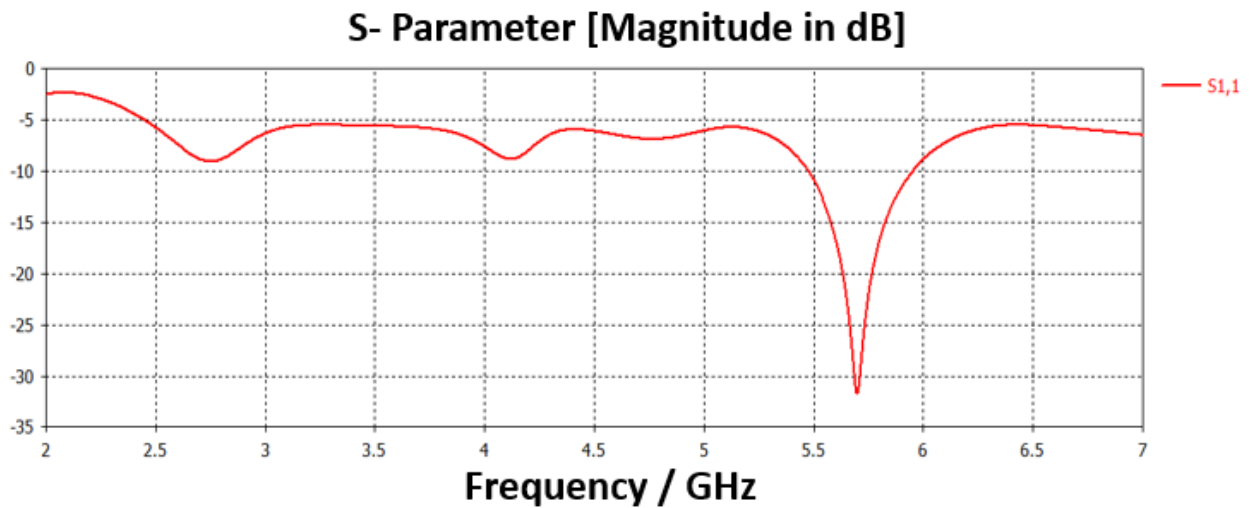


Figura 3. Parámetro S11.

Modificación de la antena.

A partir del diseño de la antena de referencia -simulada con la herramienta computacional CST Studio Suite- realizamos diversas modificaciones con el propósito de esta opere en las bandas de frecuencia L2 (1.227 GHz) y L5 (1.176 GHz). Comenzamos cambiando las dimensiones del sustrato a 20 mm x 20 mm x 1 mm, luego multiplicamos los parámetros de la antena por una variable de escala (N) como se observa en la Tabla 2. En la Figura 4, puede observarse la gráfica S11 resultante en cada una de las escalas.

S11	N	L1	L2	L3	f	r1	r2	s1	s2	w1
1	2	26	26	22	8	9	14	22	30	8
2	3	39	39	33	12	13.5	21	33	45	12
3	4	52	52	44	16	18	28	44	60	16
4	5	65	65	55	20	35	35	55	75	20

Tabla 2. Tabla de parámetros modificados.

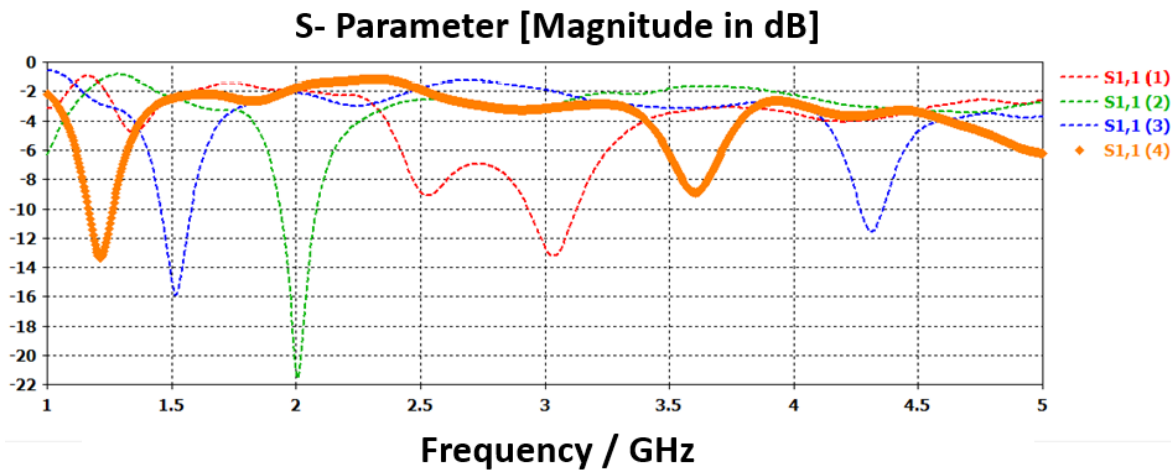


Figura 4. Parámetro S11 de escalas.

En esta Figura, se observa que la escala N=5 es la que tiene el acoplamiento más cercano a las frecuencias requeridas.

Otras de las modificaciones que realizamos, fue la forma de la microcinta de forma L a forma T (ver Tabla 3.) y se modificaron significativamente algunos de los valores de la antena radiante, como se muestra en la Figura 5.

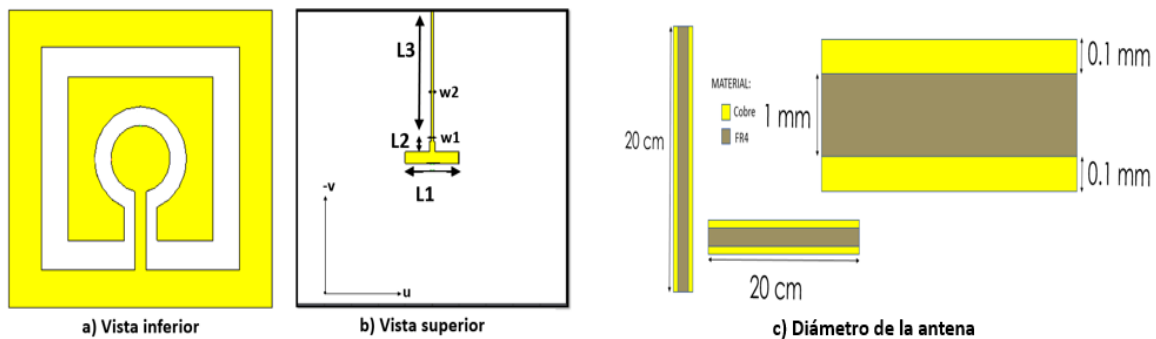


Figura 5. Diseño de la antena y de la microcinta en forma de T.

PARÁMETROS DE LA MICROCINTA	DESCRIPCIÓN	VALORES [mm]
L1	Largo 1 de la microcinta en forma de T.	65
L2	Largo 2 de la microcinta en forma de T.	65
L3	Largo 3 de la microcinta en forma de T.	55
w1	Ancho 1 de microcinta en forma de T.	20
w2	Ancho 2 de microcinta en forma de T.	1.8

Tabla 3. Tabla de parámetros de la microcinta.

Realizando el modelado de la antena, se observó una mejora en su acoplamiento en las frecuencias L2 y L5, como se muestra en su gráfica de parámetro S11 (ver Figura 6) y sus patrones de radiación en forma polar que se muestran en la Figura 7.

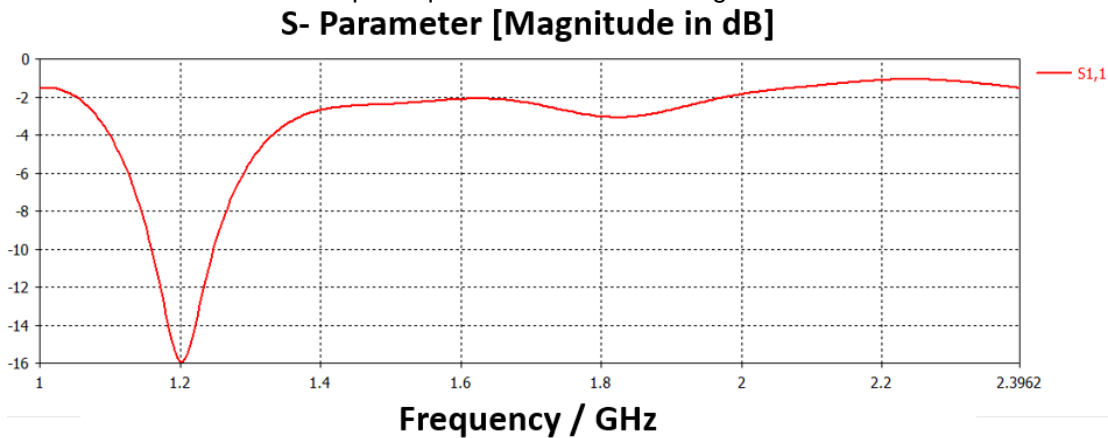


Figura 6. Gráfica del parámetro S11.

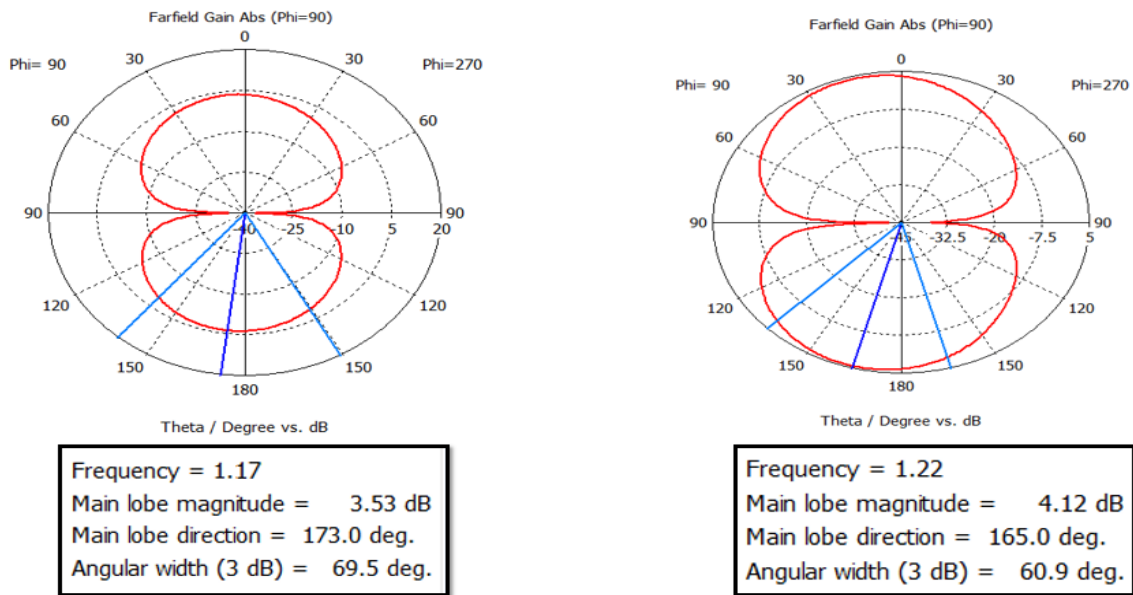


Figura 7. Patrones de radiación en polar.

CONCLUSIONES

En este trabajo presentamos parte del diseño y caracterización de una antena optimizada para operar en las bandas de frecuencia L2 y L5 de GPS para uso en aplicaciones GNSS. Del análisis realizado, se obtuvo una antena que alcanza una ganancia de 4.11dB con un coeficiente de reflexión de -12 para la banda L2, y de 3.5 dB con un coeficiente de reflexión igual a -16 dB para la banda L5.

Por último, queremos mencionar que el FR4 es uno de los sustratos más utilizados en la elaboración de antenas de parche, debido a que este material es de muy bajo costo y de fácil acceso, por lo que se espera, que la fabricación de nuestra antena sea sencilla y económica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional, a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato por el apoyo brindado.

BIBLIOGRAFÍA

1. W. REN COLLEGE OF INFORMATION AND ELECTRONIC ENGINEERING, ZHEJIANG GONGSHANG UNIVERSITY XIASHA, "COMPACT DUAL-BAND SLOT ANTENNA FOR 2.4/5 GHZ WLAN APPLICATIONS", HANGZHOU 310018, CHINA.
2. JOSÉ LUIS ASCENCIO MELÉNDEZ, "DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS DE CRUZ RÓMBICA PARA LA RECEPCIÓN DE SEÑALES GNSS-GPS-L1"[TESIS], 2012, MÉXICO, SEPI-ZACATENCO.
3. IEEE STANDARD DEFINITIONS OF TERMS FOR ANTENNAS, STD 145-1983, REVISION OF ANSI/IEEE STD 145-1973.
4. CONSTANTINE A BALANIS., "ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN"; 2º EDICIÓN; ESTADOS UNIDOS, JOHN WILEY & SON, INC.1997.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional, a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato por el apoyo brindado.

CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE UN ADEREZO DE MAYONESA DE AGUACATE ELABORADO APLICANDO UNA TECNOLOGÍA NO CONVENCIONAL

Rosa Carmina Ayala Tirado y Rosa Isela Guzmán Gerónimo

Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana. rcar_at@hotmail.com

RESUMEN

México es el principal productor de aguacate Hass a nivel mundial, sin embargo solo el 16% de la producción se destina para obtener pulpas y aceites. Una alternativa para diversificar su uso es la elaboración de un aderezo de mayonesa de aguacate. El procesamiento con ultrasonido representa una alternativa para elaborar productos de aguacate ya que debido al fenómeno de cavitación inactiva enzimas como la polifenoloxidasa y microorganismos, manteniendo en mayor grado las características sensoriales. Se formuló un aderezo de mayonesa con pulpa de aguacate y fue procesado en forma convencional y con un homogenizador ultrasónico. En los aderezos se midió el pH, índice de acidez y color utilizando un colorímetro, la carga microbiana de acuerdo a la normatividad mexicana y se evaluó el color y sabor mediante una prueba hedónica y de preferencia. El aderezo procesado con ultrasonido tuvo un valor de pH y acidez dentro de lo establecido en las normas mexicanas y mostró un menor valor del parámetro colorimétrico a^* , lo que indica una mayor retención del color verde. El procesamiento con ultrasonido redujo la carga microbiana en el aderezo de aguacate hasta en 2.7 ciclos logarítmicos para levaduras y 1.9 para mesófilos aerobios, sin crecimiento de mohos y grupos coliformes, dando negativo para *salmonella* y *E. coli* cumpliendo con la normatividad mexicana y permitió obtener un aderezo con mayor aceptabilidad en cuanto al color y sabor y una mayor preferencia en comparación con el aderezo convencional. El aderezo elaborado en forma convencional no cumplió lo establecido por la normatividad mexicana en cuanto al contenido de mesófilos aerobios y levaduras.

INTRODUCCION

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una fruta considerada la cuarta fruta tropical más importante del mundo por la FAO en 2009, tiene valiosas propiedades al ser rica en lípidos principalmente ácidos grasos insaturados, hidratos de carbono, minerales y vitaminas, principalmente **vitaminas A, C, E, B₁, B₂ y B₆**, potasio, **magnesio, fósforo y calcio** [1,3].

México es el principal productor de aguacate a nivel mundial, que es uno de los principales productos que exporta. En 2016 de acuerdo a estadísticas de los Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) la producción fue de 1,878, 599 toneladas, su producción

representa más del 40% de la cosecha mundial y Michoacán el estado donde más se produce con aproximadamente 1, 456, 748 toneladas en 2016 [13]. Una alternativa para la comercialización de estos grandes volúmenes es la industrialización mediante la elaboración de productos dirigidos al sector alimentario como son los aderezos, cuyo consumo se ha incrementado en mercados como el de Estados Unidos debido a diversos factores como son la demanda por parte de las culturas hispanas y orientales; la tendencia de los consumidores de alimentarse con productos saludables, pero además novedosos y diferenciados; el acceso a adquirir alimentos de especialidad a costos razonables y en mercados comunes y no únicamente en tiendas especializadas.

De ahí el interés de desarrollar un aderezo de mayonesa de aguacate cuya elaboración tiene varios retos tecnológicos ya que al ser un fruto rico en lípidos, su procesamiento térmico puede conducir a la oxidación de lípidos, afectando la calidad sensorial del producto en cuanto al sabor, mientras que el oscurecimiento enzimático puede afectar el color. Ante ello, tecnologías no convencionales como el ultrasonido ofrece ventajas debido a que al fenómeno de cavitación inactiva enzimas y microorganismos, minimiza la degradación de macrocomponentes como los lípidos y mantiene en mayor grado la calidad sensorial. Por lo que en el presente proyecto se evaluó el efecto del procesamiento con ultrasonido en la calidad microbiológica de un aderezo de mayonesa de aguacate.

TEORÍA

El aguacate, es originario de Mesoamérica, de la parte centro de México y algunas partes altas de Guatemala [11]. Su nombre nativo deriva del náhuatl "ahuacatl" o "aoacatl", que significa testículos [6]. Actualmente existen más de 400 variedades en el mundo. El aguacate Hass es la variedad que más se consume, es la más popular en el mercado internacional y la preferida de los consumidores por su sabor, color y textura de la pulpa [12]. Esta fruta se produce en 66 países, destacando México como líder mundial ya que aporta alrededor del 41% de la producción mundial [8].

La industrialización del aguacate tiene dos principales productos: la pulpa y el aceite de aguacate tradicionalmente utilizado para fines cosméticos y actualmente se ha incrementado su uso para fines culinarios con potencial futuro por sus valiosas propiedades, tiene una alta concentración de ácidos grasos monoinsaturados (ácido oleico 66-72%), antioxidantes, vitaminas y fitosteroles [2, 14, 17]. Incluso hay estudios donde reportan su efectividad para disminuir el colesterol total, el colesterol LDL y triglicéridos del plasma [10].

El aceite es uno de los ingredientes principales de una mayonesa que es definida de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-021-S-1979 como un producto alimenticio obtenido por la emulsión cremosa que se obtiene con aceites vegetales comestibles, yema de huevo líquido o su equivalente en cualquiera de sus formas, vinagre, adicionado o no de jugo de limón, sal, edulcorantes nutritivos, acidulantes permitidos, mostaza, paprica u otras especias o extractos y aceites esenciales de las mismas con excepción de azafrán y cúrcuma. El contenido de aceite vegetal comestible no será menor del 65% en peso y de yema de huevo líquida de 6% o su equivalente en yema de huevo deshidratada, o su equivalente de huevo entero líquido o deshidratado. Si contiene menos del 65% de aceite se considera como un aderezo de mayonesa y este no debe ser menor del 33%.

Un producto como la mayonesa puede ser elaborado por medio de una tecnología como el ultrasonido que es definido como ondas de sonido de 20 kHz o más vibraciones por segundo que

van más allá del límite permisible por el oído humano [4,16]. Los ultrasonidos pueden ser de dos tipos, los de baja intensidad también conocidos como alta frecuencia y los de alta intensidad o baja frecuencia que son los que se utilizan en alimentos. Su efecto conservador está basado en la cavitación que promueve la implosión de microburbujas que liberan energía, cuando estas burbujas ya no pueden absorber más energía implosionan y favorecen la liberación de compuestos a extraer debido al rompimiento de la pared celular, también interfiere en la lisis celular es por eso que resulta ser efectivo contra enzimas y microorganismos [7,9,15].

METODOLOGÍA

Materia prima

Se empleó aguacate variedad Hass con un 16% de extracto etéreo adquirido en un mercado local. Para la formulación del aderezo de mayonesa de aguacate se empleó huevo, limón, vinagre, mostaza, especias, azúcar y sal que fueron adquiridos en un mercado local de la ciudad de Xalapa, Veracruz. Así como aceite comercial de aguacate adquirido directamente con la empresa procesadora, goma xantana como espesante y vitamina E como antioxidante

Elaboración del aderezo de mayonesa por tecnología convencional

Para la elaboración del aderezo primero se colocó en un recipiente de vidrio el huevo junto con la sal, el azúcar, el limón, la mostaza, el vinagre y el aceite, que fueron homogenizados con un procesador de alimentos marca Braun hasta lograr una emulsión. A esta mezcla se le añadió la pulpa de aguacate y las especias, posteriormente se homogenizó durante un minuto más con el procesador de alimentos y finalmente se almacenaron en frascos de vidrio esterilizados.

Elaboración del aderezo de mayonesa por la tecnología del ultrasonido

Para formular el aderezo de mayonesa los ingredientes se homogenizaron utilizando un homogeneizador ultrasónico (Cole-Palmer Instrumental Company, VCX-750, E.E.U.U.) a una frecuencia de 20 kHz y una potencia de 750 W, variando las condiciones en 40, 60 y 80 % de amplitud durante 5 a 10 minutos de procesamiento y se almacenó en frascos de vidrio esterilizados.

Determinación de color en los aderezos

Para este análisis se utilizó un colorímetro (Color Flex V1-72SNHCX s/n Cx1115 Hunter Lab) que proporciona los valores de los parámetros colorimétricos L^* , a^* , b^* y los valores triestímulo X Y Z, a partir de los cuales se calcularon las coordenadas de cromaticidad x, y.

Pruebas químicas

Se determinó pH y acidez total como ácido de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-341-S-1979. Aderezo con mayonesa, considerando las normas: NMX-F-317. Determinación de pH en alimentos y NMX-F-102. Determinación de la acidez titulable.

Pruebas microbiológicas

Se determinaron de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-341-S-1979. Aderezo con mayonesa, considerando las siguientes normas:

- NMX-F-253-1977 Cuenta de bacterias mesofílicas aerobias
- NMX-F-254-1977. Cuenta de organismos coliformes
- MX-F-255. Cuenta de hongos y levaduras
- NMX-F-304. Método general de investigación de Salmonella en alimentos
- NMX-F-308. Cuenta de organismos coliformes fecales.

Posteriormente para calcular la reducción de microorganismos en ciclos logarítmicos se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Reducción en ciclos logarítmicos} = \text{Log (carga inicial)} - \text{Log (carga final)}$$

Pruebas sensoriales

Para poder establecer la formulación del aderezo de mayonesa se aplicaron pruebas bench top a consumidores ajenos a la misma. Para esta evaluación se elaboraron dos aderezos con aceite comercial utilizando la misma formulación, pero diferente tecnología (uno de forma convencional y otro por ultrasonido). Se empleó una prueba hedónica de 7 puntos para evaluar olor, color, textura, sabor y aceptabilidad en general. Así mismo, se empleó una prueba de preferencia [5].

RESULTADOS**Análisis de pH y color de los aderezos de mayonesa con aguacate**

Se elaboraron 4 aderezos, uno por método convencional y tres por ultrasonido variando amplitud en 40, 60 y 80%. Con tiempo de tratamiento de 10 minutos, se encontró que el pH disminuye al aumentar la amplitud de un pH de 4.2 hasta un pH de 3.9. Se observó que en el aderezo elaborado a una amplitud del 60% presentó una buena formación de la emulsión, un pH dentro de la normatividad y sin degradación aparente de color, en cambio en el aderezo elaborado a una amplitud del 40% no hubo una buena formación de la emulsión y al aderezo que se aplicó una amplitud del 80% se observó con formación de grumos aunque el pH también se encontraba dentro de la normatividad.

Se determinaron los parámetros L^* a^* b^* para los cuatro aderezos, encontrando que en cuanto a luminosidad los cuatro presentan valores más cercanos a 100 que corresponden a un color claro. En cuanto al parámetro “a” todos los aderezos presentaron valores negativos y en el caso del aderezo con ultrasonido presentó el menor valor del parámetro colorimétrico a^* , lo que indica que la muestra es la de mayor color verde y respecto al parámetro “b”, en los cuatro aderezos se presentan valores positivos que indican color más cercano a amarillo (Tabla 1). Por tanto se encontró que los aderezos presentan tendencia a verde amarillo.

Tabla 1. Parámetros $L^*a^*b^*$ para los aderezos de mayonesa con aceite comercial

Parámetros	Convencional	Ultrasonido	Ultrasonido	Ultrasonido
		40%	60%	80%
L^*	75.21±0.33	68.65±0.18	69.00±0.14	71.09±0.16
a^*	-11.65±0.26	-12.93±0.27	-13.17±0.20	-13.23±0.22
b^*	29.24±0.34	35.96±0.37	36.91±0.28	36.01±0.53

Para corroborar lo anterior, se determinaron los valores de cromaticidad X Y Z en los cuatro aderezos, para calcular las coordenadas (x, y) y de esta manera obtener en el sistema CIE la percepción del color por el ojo humano como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de cromaticidad X Y Z para los aderezos de mayonesa con aceite comercial

Parámetros	Convencional	Ultrasonido	Ultrasonido	Ultrasonido
		40% ± DS	60% ± DS	80% ± DS
X ± DE	42.67±0.68	34.27 ±1.33	33.94±0.10	36.47±0.12
Y ± DE	47.51±0.084	37.84±0.22	38.11±0.13	40.95±0.17
Z ± DE	27.74±0.061	17.43±0.02	17.28±0.02	19.53±0.03
Coordenadas (x,y)	0.362,0.403	0.383,0.423	0.380,0.427	0.376,0.422

Posteriormente los puntos correspondientes a las coordenadas (x,y) se identificaron en el sistema de cromaticidad CIE (Figura 1). Encontrando que los cuatro aderezos presentan un color verde armadillo, que esta representado por los puntos verdes en dicho diagrama.

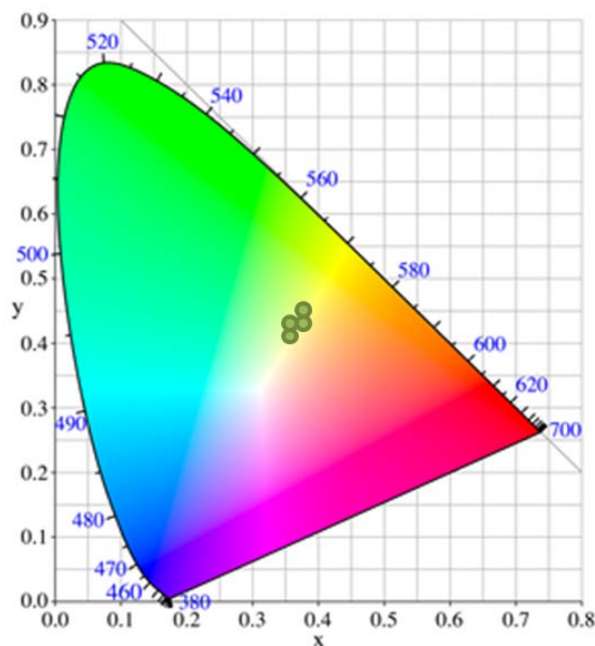


Figura 1. Diagrama de cromaticidad (CIE, 1931)

Selección de los aderezos de mayonesa

En base al color y pH se seleccionó el aderezo elaborado mediante ultrasonido con amplitud del 60% y el aderezo elaborado de forma convencional, todo esto para efectos de comparación entre ambas tecnologías, posteriormente a estos dos aderezos se les realizaron los análisis correspondientes de acuerdo a la normatividad mexicana, así como pruebas sensoriales.

Determinaciones químicas

El aderezo de mayonesa elaborado mediante ultrasonido presentó un pH de 4, mientras el aderezo que se elaboró por tecnología convencional presentó un pH de 4.2 excediéndose de acuerdo a la normatividad mexicana que permite un mínimo de 3.2 y un máximo de 4. En cuanto acidez total ambos aderezos presentaron 0.5%, que se encuentra dentro de lo establecido por la norma mexicana NMX-F-102. Estos datos se pueden visualizar en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis químicos para los aderezos de mayonesa con aceite comercial

Determinaciones	Norma Mínimo-Máximo	Aderezo convencional	Aderezo con ultrasonido
pH	3.2 – 4.0	4.27 ± 0.011	4.0 ± 0.001
Acidez total como ácido acético (%)	0.25 – 0.5	0.5 ± 0.006	0.5 ± 0.006

Determinaciones microbiológicas

Los aderezos se sometieron a pruebas microbiológicas con la finalidad de demostrar que el aderezo elaborado por ultrasonido presenta mejor calidad microbiana en comparación con uno elaborado de forma convencional. Se determinaron mesófilos aerobios encontrando que el aderezo el elaborado con ultrasonido presentó una menor carga microbiana en comparación con el aderezo convencional; en cuanto a grupos coliformes y mohos en ambos aderezos no hubo crecimientos; respecto a levaduras el aderezo convencional tuvo un mayor crecimiento que el aderezo con ultrasonido. Por último de *Salmonella* y *E. coli* ambos aderezos dieron negativo cumpliendo lo establecido por la normatividad, tal como se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4. Comparación de análisis microbiológicos para el aderezo de mayonesa convencional y con ultrasonido elaborados en el tiempo 0

Determinaciones	Norma NMX-F-341-S-1979	Método convencional	Método con ultrasonido	Reducción en ciclos logarítmicos
Mesófilos aerobios (máx)	3000 UFC/g	9,500 UFC/g	120 UFC/g	1.9
Grupos coliformes	Menos de 10 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	-
Mohos (máx)	20 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	-
Levaduras (máx)	50 UFC/g	7,000 UFC/g	15 UFC/g	2.7
<i>Salmonella</i> en 25g/	Negativa	Negativa	Negativa	-
<i>E. coli</i> en 1 g/	Negativa	Negativa	Negativa	-

Estos aderezos se almacenaron por 15 días en refrigeración a 4°C, no se les agregó ningún antimicrobiano y se hicieron nuevamente los análisis, en donde se se encontró que para el aderezo convencional hubo un incremento en mesófilos aerobios llegando a 10,800 UFC/g y en levaduras se incrementó hasta 7950 UFC/g, en el caso del aderezo elaborado con ultrasonido los mesófilos aerobios llegaron a 400 UFC/g, para el caso de levaduras estas aumentaron a 70 UFC/g sobrepasando en 20 UFC/g lo establecido por la normatividad. Cabe destacar que para ambos aderezos no hubo crecimiento de grupos coliformes y mohos y en cuanto a *Salmonella* y *E. coli*. los resultados fueron negativos (ver Tabla 5).

Tabla 5. Comparación de análisis microbiológicos para el aderezo de mayonesa convencional y con ultrasonido a los 15 días de almacenamiento.

Determinaciones	Norma NMX-F-341-S-1979	Método convencional	Método con ultrasonido	Reducción en ciclos logarítmicos
Mesófilos aerobios (máx)	3000 UFC/g	10,800 UFC/g	400 UFC/g	1.4
Grupos coliformes	Menos de 10 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	-
Hongos (máx)	20 UFC/g	0 UFC/g	0 UFC/g	-
Levaduras (máx)	50 UFC/g	7,950 UFC/g	70 UFC/g	2.05
<i>Salmonella</i> en 25g/	Negativa	Negativa	Negativa	-
<i>E. coli</i> en 1 g/	Negativa	Negativa	Negativa	-

Evaluación sensorial

Se llevó a cabo a 25 panelistas no entrenados en el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana. Para lo cual se presentaron dos aderezos sobre un totopo sin sal, cada uno marcado con una clave de tres dígitos aleatoria. La evaluación consistió en marcar el nivel de agrado para cada muestra en donde se evaluaron los parámetros de olor, color, sabor y textura.

En cuanto al parámetro de olor en el aderezo convencional el mayor porcentaje lo tuvo me gusta moderadamente con un 48%. En el aderezo con ultrasonido un 45% indico gustarle moderadamente siendo este la mayoría. Se encontró que el olor en el aderezo elaborado con ultrasonido fue aceptable para la mayoría, sin embargo en este aspecto el aderezo convencional lo superó.

Respecto al color, en el aderezo convencional el mayor porcentaje lo tuvo me gusta moderadamente con un 48%, en cambio para el aderezo elaborado con ultrasonido el 50% indicó que le gustó mucho, superando al aderezo convencional en cuanto agrado de color.

En lo que respecta a la textura en el aderezo convencional un 56% que representa a la mayoría indicó gustarle mucho, contra un 48% de me gusta mucho en el aderezo con ultrasonido, en este caso la textura en el aderezo convencional resultó ser mas agradable.

En la evaluación del sabor, en el aderezo convencional el mayor porcentaje fue para me gusta moderadamente con un 48% y para el aderezo con ultrasonido a la mayoría respresentada por un 56% le gustó mucho, superando en este aspecto al aderezo convencional.

Por último se hizo una prueba de preferencia en donde se pidió a los participantes ordenar de izquierda a derecha cual fue el aderezo que prefirieron, en la cual el 60% siendo la mayoría prefirió el aderezo elaborado con ultrasonido contra un 40% que prefirió el aderezo convencional.

CONCLUSIONES

El aderezo procesado con ultrasonido tuvo un valor de pH y acidez dentro de lo establecido en la normatividad mexicana y mostró un menor valor del parámetro colorimétrico a^* , lo que indica una mayor retención del color verde. Esta tecnología permitió reducir la carga microbiana en el aderezo de aguacate hasta en 2.7 ciclos logarítmicos para levaduras y 1.9 para mesófilos aerobios, no presentó crecimiento de mohos y grupos coliformes, dando negativo para *Salmonella* y *E. coli* cumpliendo con la normatividad mexicana, además permitió obtener un aderezo con mayor aceptabilidad en cuanto al color y sabor y tuvo mayor preferencia en comparación con el aderezo convencional el cual no cumplió lo establecido por la normatividad mexicana en cuanto al contenido de mesófilos aerobios y levaduras.

BIBLIOGRAFÍA

1. A.K Cowan and B.N Wolstenholme. "Encyclopedia of Food and Health. Avocado". South África. 2016, pp 294-300.
2. B. Berasategi, Barriuso, D. Ansorena and I. Astiasaran. 2012. Stability of avocado oil during heating: comparative study to olive oil, Food Chemistry, Vol. 132, 2012, pp. 439– 446.
3. D.A.M Restrepo, J. Londoño L., y D.M. Ortega. "Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass". Memorias V Congreso Mundial del Aguacate. 2003, pp. 741-748.
4. D.G Hoover. "Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. Ultrasounds. Journal of Food Science Supplement, Vol. 65, 8, 2000, pp. 93-95.
5. D.L Pedrero y R.M Pangborn. "Evaluación sensorial de los alimentos". Métodos. Analíticos. Editorial Alhambra Mexicana. D. F. México, 1989.
6. F. Calabrese. "El aguacate". Mundi-Prensa. Madrid, España. 1992, 249 p.
7. F. Chemat, Zill-e-Huma & M. Kamran K. "Applications of ultrasound in food technology. Processing, preservation and extraction". Ultrasonic Sonochemistry, Vol. 18, 2011, pp. 813-835.
8. FAOSTAT 2016. http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/S (Consulta: el 06-03-2017)
9. L.E Robles-Ozuna y L.A. Ochoa-Martínez. "Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos". Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, Vol 13,2, 2012, pp. 109-122.
10. R.R Pérez., S. Villanueva R. y R. Cósio R. "El Aceite de Aguacate y sus Propiedades Nutricionales" Art.10. Citado en Revista Digital Científica y Tecnológica e-Gnosis 3 Universidad de Guadalajara, México, 2005.
11. S.F Rodriguez. "El aguacate". AGT Editor, S.A. México, D.F. 1992, 167 p.
12. Secretaria de Economía, 2012. <http://www.gob.mx/se/articulos/mexico-es-el-principal-productor-y-exportador-de-aguacate-en-el-mundo> (Consulta: el 08-04-2016).
13. Servicios de información agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do (Consulta: el 06-03-2017)
14. Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios (SFA). Monografía de Cultivos. "Aguacate". México. 2011, 10 p.
15. S. Shirsath, S. Sonawane and P. Gogate. "Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations: A review of current status". Chemical Engineering and Processing, Vol. 53, 2012, pp. 10-13.

16. T.S Awad, H.A. Moharram, O.E. Shaltout, D. Asker and M.M. Youssef. "Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review". Food Research International, Vol. 48, 2, 2012, pp. 410-427.
17. USDA (United States Department of Agriculture). 2016. Agricultural Research Service. National Nutrient Database for Standard Reference Release. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods> (Consulta: el 07-02-2016).

MEDICIÓN DE INFORMACIÓN DE TEXTURA EN UNA IMAGEN DIGITAL DERMATOLÓGICA

J. T. Guillen Bonilla, G. A. Vega Gómez , G. Obregon, A. Guillen Bonilla

Departamento de Electrónica, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara. Blvd. Marcelino Barragán 1421, Ciudad Universitaria, 44430, Guadalajara, Jalisco, México. E-mail: jtgbonilla@gmail.com; vggustavo@yahoo.com; obregonpulido@yahoo.com.mx

Departamento de Matemáticas, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara. Blvd. Marcelino Barragán 1421, Ciudad Universitaria, 44430, Guadalajara, Jalisco, México. E-mail: vggustavo@yahoo.com

Departamento de Ciencias Computacionales, Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara, Ameca Km 45.5, C.P. 46600, Ameca, Jalisco, México. Ameca, Jalisco, México. e-mail: fanix_3@hotmail.com

RESUMEN

Aplicando la técnica de extracción de textura llamada Cúmulos de Textura Local (CTL) se mide la información de textura $H\{p_{I \times J}(g_k)\}$ de una imagen digital dermatológica. Aquí, $p_{I \times J}(g_k)$ es el histograma CTL en función de la unidad de textura g_k y el suscrito $I \times J$ indica el tamaño de una ventana de observación. La información $H\{p_{I \times J}(g_k)\}$ se mide en términos de entropía. La imagen dermatológica corresponde a un carcinoma de células basales. En el cálculo del histograma CTL se aplican ventanas de observación dentro del intervalo de $I \times J = 3 \times 3$ a $I \times J = 7 \times 7$ píxeles, obteniéndose entropías dentro del rango de $H\{p_{3 \times 3}(g_k)\} = 2.408$ a $H\{p_{7 \times 7}(g_k)\} = 4.864 \left[\frac{\text{Bits}}{\text{Unidad de textura}} \right]$. Nuestros experimentos confirman la caracterización de la imagen dermatológica con la transformada CTL y la medición de la información de textura con el histograma CTL. También corroboran el incremento de entropía con el aumento del tamaño de ventana de observación. Estos resultados muestran a la transformada de cúmulos de textura local como un método prometedor para el análisis y clasificación de imágenes médicas

INTRODUCCIÓN

La extracción de características de textura y su clasificación tienen potencial aplicación en el diagnóstico médico dermatológico y en el desarrollo de nueva instrumentación [1-3]. Para desarrollar instrumentos con alta eficiencia, la técnica de extracción de textura debe extraer suficiente información desde la imagen dermatológica bajo estudio y el clasificador debe ser eficiente en la discriminación entre clases. Ambas características aseguran el desarrollo de un instrumento con alta exactitud. Algunas técnicas de extracción de textura y clasificadores se pueden encontrar en las referencias [4-7].

Cuando una imagen dermatológica a color se transformada en una imagen dermatológica binaria, la imagen binaria conserva suficiente información para su clasificación a través de la característica de textura [8,9]. La información en la imagen dermatológica binaria se puede medir en base a la teoría de información, ya que la imagen binaria es una fuente de códigos binarios detectables con una ventana de observación cuyo tamaño es $I \times J$. La magnitud de entropía depende de la incertidumbre de la imagen dermatológica y a mayor aleatoriedad es más grande la información asociada a la imagen médica [10,11].

En este trabajo, la transformada de cúmulos de textura local (CTL) y la teoría de información se combinan para hacer la medición de entropía en la imagen dermatológica cuya enfermedad es el carcinoma de células basales. La entropía se interpreta como la información de textura medida en la imagen médica. Con experimentos numéricos se verifica la versatilidad de implementación de la transformada de cúmulos de textura local pues diferentes tamaños de ventana de observación son consideradas para calcular al histograma CTL. El histograma CTL se emplea para calcular la entropía de la imagen médica y los resultados estuvieron dentro del intervalo de 2.408 a 4.864 [Bit/unidad de textura] cuando la ventana $I \times J$ estuvo dentro del rango de 3×3 hasta 7×7 . Estos resultados experimentales demuestran que la técnica de extracción de textura de cúmulos de textura local puede lograr alta eficiencia de clasificación y es posible su aplicación en sistemas de diagnóstico médico.

Informacion de textura

Cuando una imagen dermatológica digital a color se transformada a imagen dermatológica binaria, la imagen binaria se puede considerar una fuente de códigos binarios aleatorios y entonces la teoría de información se puede aplicar en la medición de su entropía [1]. La entropía define la magnitud de información medida en la imagen dermatológica bajo estudio. A mayor magnitud de entropía será más grande la incertidumbre y más información estará asociada a la imagen.

La transformada de cúmulos de textura local representa una imagen binaria a través de una función de densidades de probabilidad $p_{I \times J}(g_k)$. La función $p_{I \times J}(g_k)$ muestra la frecuencia de ocurrencias de patrones binarios localizados en la imagen binaria a través de una ventana de observación con tamaño $I \times J$ píxeles. Para calcular el histograma ecualizado se realiza el siguiente procedimiento: a) La imagen dermatológica binaria se considera una matriz binaria donde los píxeles blancos son unos y los píxeles negros son ceros. b) El tamaño de una ventana de observación $I \times J$ se selecciona. c) La ventana $I \times J$ se desplaza pixel por pixel sobre toda la imagen. A cada posición le corresponde un patrón binario (estado) el cual está conformado por una serie de números binarios. d) El valor de unidad de textura se calcula a través de las expresiones

$$n_i = \sum_{j=0}^{J-1} b_j 2^j \tag{1}$$

y

$$g_k = \sum_{i=0}^{J-1} n_j \tag{2}$$

donde n_i es el i -ésimo número decimal calculado desde un patrón binario, b_j es el j -ésimo número binario determinado desde un patrón, 2 es la base y g_k es la unidad de textura. e) La unidad de textura se usa como índice en el histograma $h(g_k)$. f) El histograma $h(g_k)$ se divide entre el total de unidades de textura, obteniéndose una función de densidades de probabilidad $p_{I \times J}(g_k)$

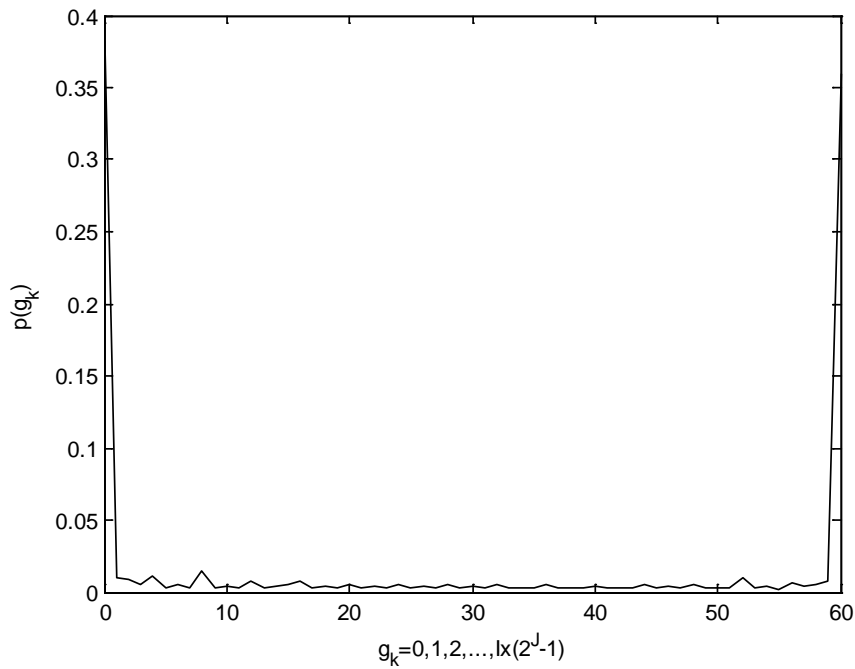
$$p_{I \times J}(g_k) = \frac{h(g_k)}{(M - I + 1)(N - J + 1)} \tag{3}$$

siendo $M \times N$ en tamaño de imagen dermatológica binaria. La función $p_{I \times J}(g_k)$ se llama histograma de cúmulos de textura local (CTL).

La Fig. 1a muestra la imagen dermatológica cuyo nombre de enfermedad es carcinoma de células basales y la Fig. 1b presenta su histograma $p_{I \times J}(g_k)$ usando una ventana de observación con tamaño de $I \times J = 4 \times 4$.



(a)



(b)

Figura 1. a) Imagen digital binaria de carcinoma de células basales y b) histograma CTL de imagen dermatológica de Fig 1a: Tamaño de ventana IXJ=4x4

Aplicando la teoría de información y la función de probabilidad $p_{IXJ}(g_k)$ se puede medir la entropía de la imagen a través de la siguiente expresión

$$H[p_{IXJ}(g_k)] = - \sum_{k=0}^{K-1} p_{IXJ}(g_k) \log_2 p_{IXJ}(g_k) \quad (4)$$

donde $H[p_{I \times J}(g_k)]$ es la entropía y se definirá como la información de textura en términos de [Bit/Unidad de textura], log es el logaritmo, 2 es la base del logaritmo y K es la longitud del histograma CTL. Como es observable, la información de textura puede medirse aplicando diferentes tamaños de ventana de observación.

TRABAJO EXPERIMENTAL Y MEDICIONES

En el trabajo experimental medimos la información de textura de la enfermedad de carcinoma de células basales, la información es medida en términos de entropía. Para calcular al histograma CTL se emplean tamaños de ventana dentro del intervalo de $I \times J=3 \times 3$ hasta $I \times J=7 \times 7$ píxeles. La computadora empleada en los experimentos fue una Laptop Compaq, procesador Intel (R) Core (TM)2 Duo cuyas características son memoria RAM de 2 GB y velocidad de 2 GHz. La imagen de la enfermedad del carcinoma de células basales tiene tamaño de 662×372 píxeles. Las mediciones obtenidas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Magnitud de información de textura medida desde carcinoma de células basales

Tamaño de imagen $M \times X$ [píxeles]	Tamaño de ventana de observación $I \times J$ [Píxeles]	Función de probabilidad $p_{I \times J}(g_k)$	Dimensiones K	Información de textura $H[p_{I \times J}(g_k)]$
662x372	3x3	$P_{3 \times 3}(g_k)$	22	2.408
662x372	4x4	$P_{4 \times 4}(g_k)$	61	3.040
662x372	5x5	$P_{5 \times 5}(g_k)$	156	3.668
662x372	6x6	$P_{6 \times 6}(g_k)$	379	4.264
662x372	7x7	$P_{7 \times 7}(g_k)$	890	4.864

Analizando la Tabla 1, la información de textura medida en el carcinoma de células basales depende de la aleatoriedad del tamaño de ventana de observación y de la incertidumbre en la imagen dermatológica. A mayor tamaño de ventana es mayor la información medida y por lo tanto más eficiencia tendrá la transformada de cúmulos de textura local en el reconocimiento de imágenes médicas. Además, los tamaños de ventana seleccionados permiten muy bajo espacio dimensional en el histograma $p_{I \times J}(g_k)$, su intervalo está dentro del rango de $R^{K=22}$ a $R^{K=890}$ dimensiones.

CONCLUSIONES

En este trabajo se mide la información de la enfermedad de carcinoma de células basales aplicando la transformada de cúmulos de textura local. La información se mide en términos de entropía. Su magnitud crece con el tamaño de la ventana de observación y con la incertidumbre en la imagen dermatológica. Estos resultados muestran que la eficiencia de clasificación puede crecer debido al aumento de tamaño de ventana utilizado para calcular al histograma CTL ya que la información crece también en magnitud.

BIBLIOGRAFÍA

1. L. Dong, S. Liu and H. Zhang "A method of anomaly detection and fault diagnosis with online adaptive learning under small training samples", *Pattern Recognition*, Vol. 64, 2017, pp. 374-385.
2. E. Claridge, S. Cotton, P. Hall and M. Moncrieff "From colour to tissue histology: Physics-based interpretation of images of pigmented skin lesions," *Medical Image Analysis*, Col. 7, Issue 4, 2003, pp. 489-502.
3. C. Lu and M. Mandal "Automated analysis and diagnosis of skin melanoma on whole slide histopathological images", *Pattern Recognition*, Vol. 48, Issue 8, 2015, pp. 2738-2750.
4. E. V. Kurmyshev and M- Cervantes "A quasi-statistical approach to digital image representation", *Revista Mexicana de Física*, Vol. 42, No. 1, pp. 104-116.
5. T. Ojala, Pietikainen and D. Harwood "A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions" *Pattern Recognition*, Vol. 29, No. 1, 1996, pp. 51-59.
6. D. C. He and L. Wang "Texture unit, texture spectrum and texture analysis", *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 24, Issue 4, 1990, pp. 247-255.
7. A. Fernández, M. X. Álvarez and F. Bianconi "Texture description through histograms of equivalent patterns". *Jornal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol. 45, 2013, pp. 76-102.
8. R. E. Sánchez Yañez, E. V. Kurmyshev and F. J. Cuevas "A framework for texture using the coordinated cluster representation", *Pattern Recognition Letters*, Vol 24, Issue 1, pp. 21-31.
9. T. Pei, L. zhang, B. Wang F. Li and Z. Zhang "Division pyramid classifier for face recognition under complex variations using single samples per person", Vol 64, 2017, pp. 305-313.
10. C- E. Shannon "A mathematical theory of communication", *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, 1948, pp. 379-423.
11. J. L. Kelly "A new interpretation of information rate", *Bell System Technical Journal*, Vol. 35, 1956, 917-926.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FUENTE TÉRMICA PARA APLICACIONES EN ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO

S. J. Martínez-Macias, E. Gallegos-Arellano, J. M. Sierra-Hernandez, R. Rojas-Laguna, J. M. Estudillo Ayala¹, D. Jáuregui Vazquez, A. Jurado-Parámo, H. Ramirez-Gasca.

Universidad de Guanajuato División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Departamento de Electrónica, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km. 3.5 + 1.8. Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Gto., 36885, México.

Universidad Tecnológica de Salamanca, Av. Universidad Tecnológica #200 Colonia Ciudad Bajío, C.P. 36766, Salamanca, Gto.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el estudio sobre la viabilidad de diseñar e implementar una fuente térmica de bajo costo que nos permita utilizarla en aplicaciones de espectroscopia de infrarrojo. El diseño de la fuente está basado en un alambre de Nicrom como elemento principal (aleación de Níquel y Cromo). Para lograr elevar la temperatura del Nicrom hasta ponerse incandescente es necesario que circule una corriente mayor a los 2 amperes, de tal manera que su irradianza aumente, para esto se diseña una fuente de corriente de hasta 10 amperes. Finalmente se presentan los resultados simulados de la radiancia espectral de los diferentes diseños de fuentes térmicas así como los resultados experimentales, los cuales nos muestran que es viable la fuente térmica de Nicrom para ser utilizada en aplicaciones de espectroscopia de infrarrojo.

INTRODUCCIÓN

La espectroscopia de infrarrojos ha sido ampliamente estudiada a lo largo del tiempo [1-3], tiene diferentes aplicaciones como son: Caracterización de materiales, análisis de tejidos, detección de gases contaminantes, entre otras. En los recientes años se han utilizado fuentes para la detección de gases contaminantes tales como diodos láser [4-5], fuentes térmicas [6-7] y láseres de fibra óptica [8-10]. La mayoría de los gases tienen sus absorciones más intensas en la región media del infrarrojo (MIR), por ejemplo el CO, CO₂, C₂H₂, CH₄, etc. Sin embargo algunos gases tienen bandas secundarias de absorción con menos intensidad en el cercano infrarrojo (NIR) como el CO, CO₂ y C₂H₂. Para el diseño de sensores de gas es importante el tipo de fuente de luz, dependiendo el gas a detectar, pues si no se utiliza la fuente adecuada es posible que no se detecte el gas. Las fuentes térmicas emiten en un amplio rango espectral donde algunos gases tienen sus bandas de absorción más intensas, además de ser sencillas y de bajo costo a comparación de los diodo láser y los láseres de fibra óptica, lo que las hace atractivas. Algunas fuentes térmicas que existen son como la lámpara de Wolframio (emite en UV, Visible y NIR), la lámpara de Nernst (emite en todo el infrarrojo), compuesta con filamento de Tungsteno (emite en ciertos rangos del MIR) o con alambre de Nicrom (emite en todo el infrarrojo). En este trabajo se propone diseñar e implementar una fuente térmica con Nicrom que sea de bajo costo y que pueda ser utilizada en aplicaciones de detección de gases contaminantes con la ventaja de emitir en todo el rango espectral del infrarrojo y con una considerable irradiación de potencia.

TEORÍA

Las fuentes térmicas son relativamente simples, constan de un filamento de alambre en espiral, irradian una cantidad considerable de potencia. La radiancia espectral de las fuentes térmicas en términos de la potencia está dada como la radiación de un cuerpo negro dada por la ecuación 1 [11].

$$L = \frac{2hc^2v^2}{\exp\left(\frac{hcv}{kT}\right)-1} dv \tag{1}$$

donde h es la constante de Plank ($h = 6.626076 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$), c es la velocidad de la luz en el vacío ($c = 2.997921 \times 10^{10} \text{ cm/s}$), k es la constante de Boltzmann ($k = 1.3806586 \times 10^{-23} \text{ m}^2\text{Kgs}^{-2}\text{K}^{-1}$), v es la frecuencia en número de onda y T es la temperatura de la fuente en valor absoluto. La figura 1 muestra la radiancia espectral del cuerpo negro (L) en términos de la potencia $W/(m^2 - sr \text{ cm}^{-1})$ cuando se varía la temperatura. En ella se observa que la potencia aumenta conforme aumenta la temperatura.

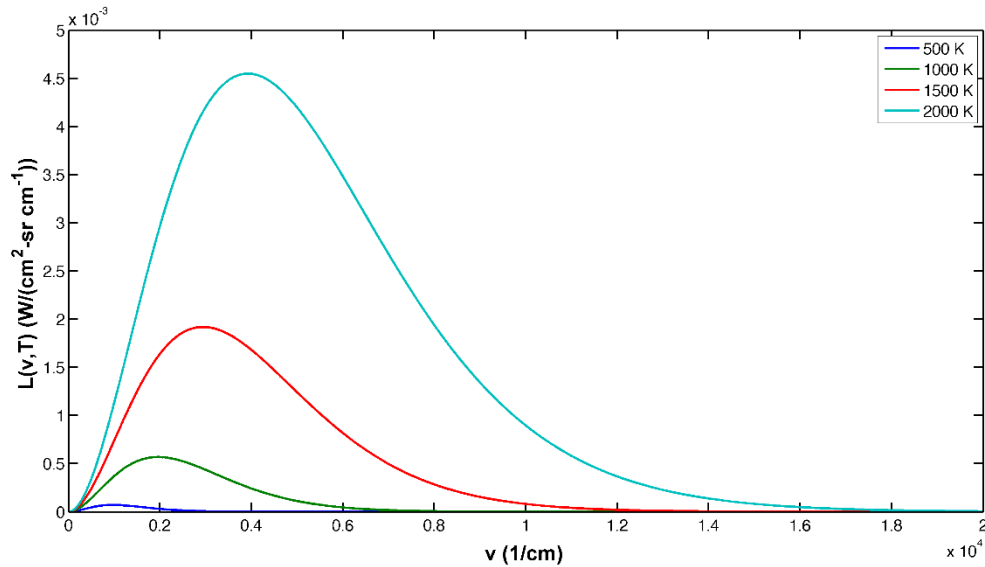


Figura 1. Radiancia espectral de un cuerpo negro a diferentes temperaturas.

El alambre de Nicrom (figura 2) es un tipo de elemento térmico resistivo, que puede irradiar en la región del infrarrojo desde los 750 nm hasta 20 μm , cuando se le aplica una diferencia de potencial en sus extremos. Es utilizado en muchas aplicaciones como elemento calefactor doméstico en tostadoras, secadoras de pelo, calentadores, etc., así como en procesos industriales para usarse como cuchilla para cortar ciertas espumas y plásticos.



Figura 2. Alambre de Nicrom

PARTE EXPERIMENTAL

Para el diseño de la fuente térmica se uso un alambre de Nicrom de diámetro 0.81 mm y con resistencia eléctrica de $4 \Omega / 1 \text{ m}$. Se construyeron fuentes de longitud de 1, 2 y 3 cm, las cuales deben ser alimentadas para que puedan elevar su temperatura de manera que su irradianza aumente. De este modo se diseño una fuente de alimentación de 10 A para caracterizarlas. La figura 3 muestra el diseño empleado, utilizando el LM317 y 2N222A para la amplificación de voltaje y corriente, respectivamente. Así mismo se utiliza un microcontrolador 16F877A para desplegar el voltaje suministrado a la fuente y la corriente.

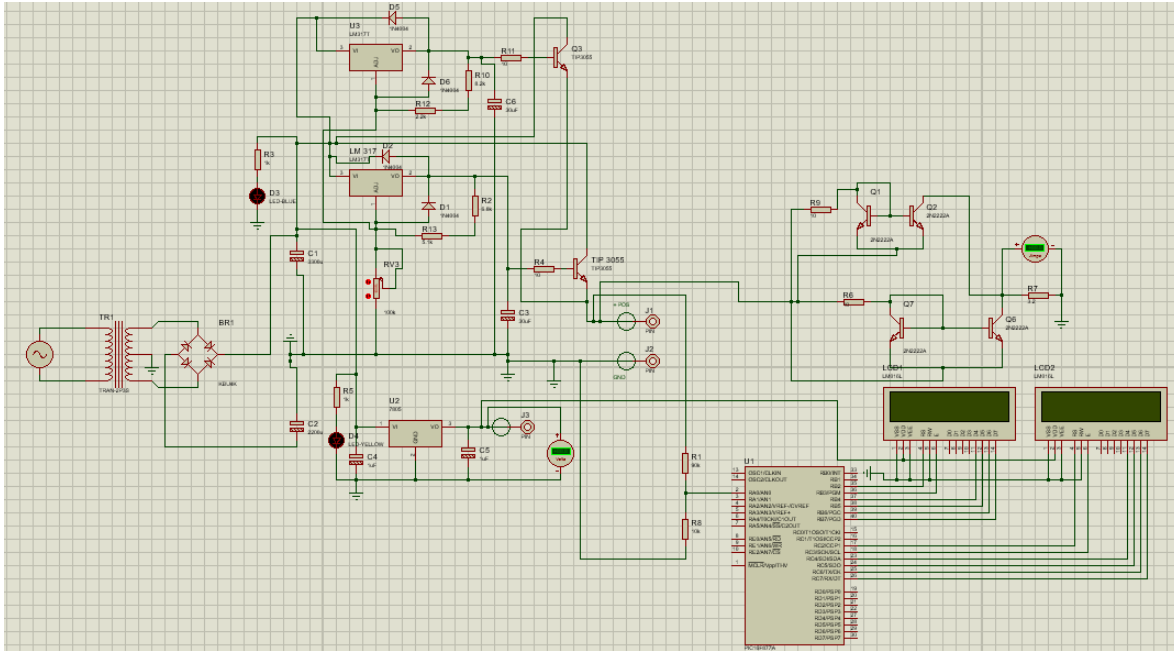


Figura 3. Fuente de alimentación de hasta 10 A

La figura 4 muestra la caracterización de cada una de las fuentes térmicas, variando el voltaje y viendo cual es el comportamiento de la corriente. En las tres fuentes la corriente asciende en cuanto el voltaje aumenta.

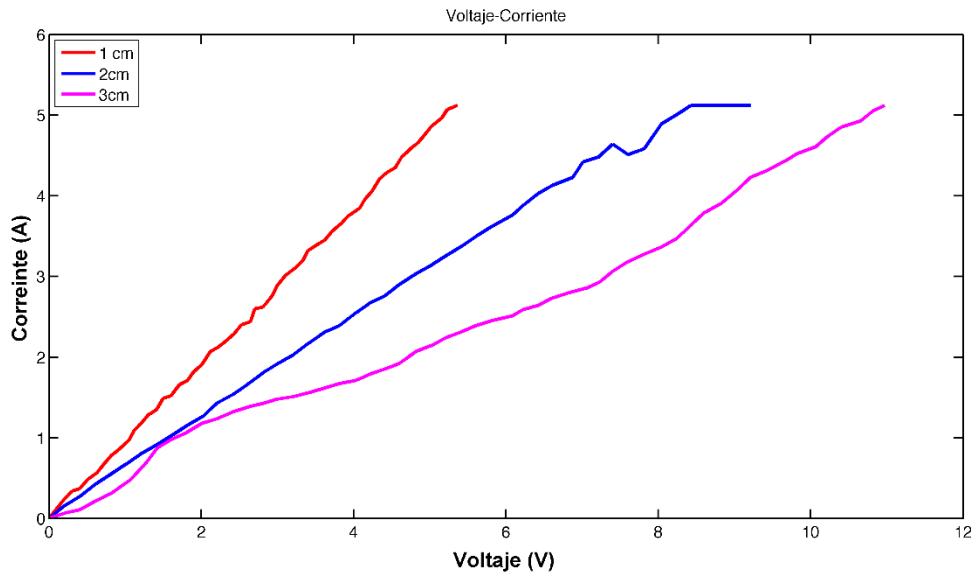


Figura 4. Voltaje-Corriente de las fuentes térmicas

La figura 5 muestra el comportamiento de la temperatura conforme va aumentando la corriente.

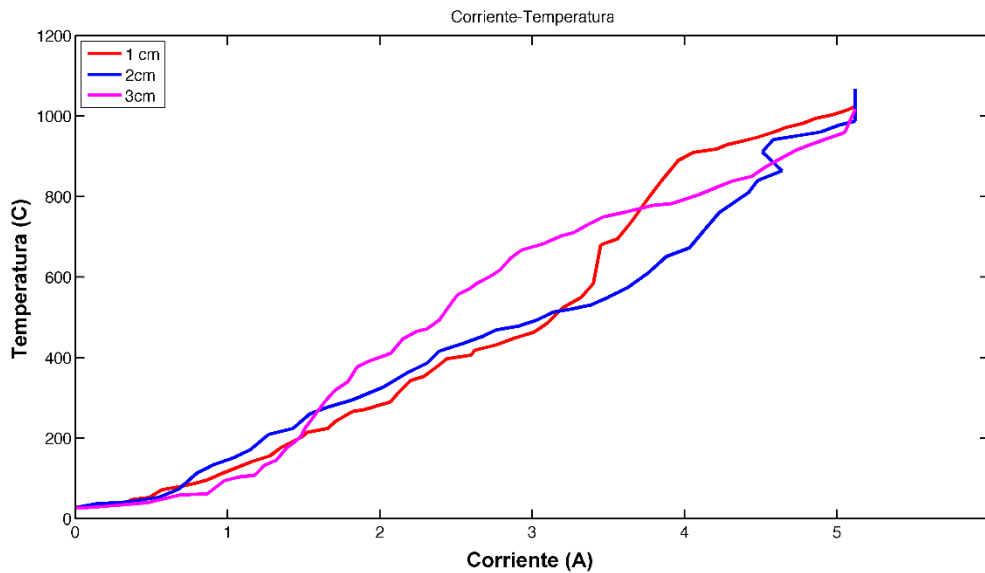


Figura 5. Corriente-Temperatura de las fuentes térmicas

La figura 6 muestra la potencia de cada una de las fuentes térmicas conforme varía el voltaje, en ella podemos observar que entre mayor longitud tenga la fuente requiere de un mayor voltaje para aumentar su potencia.

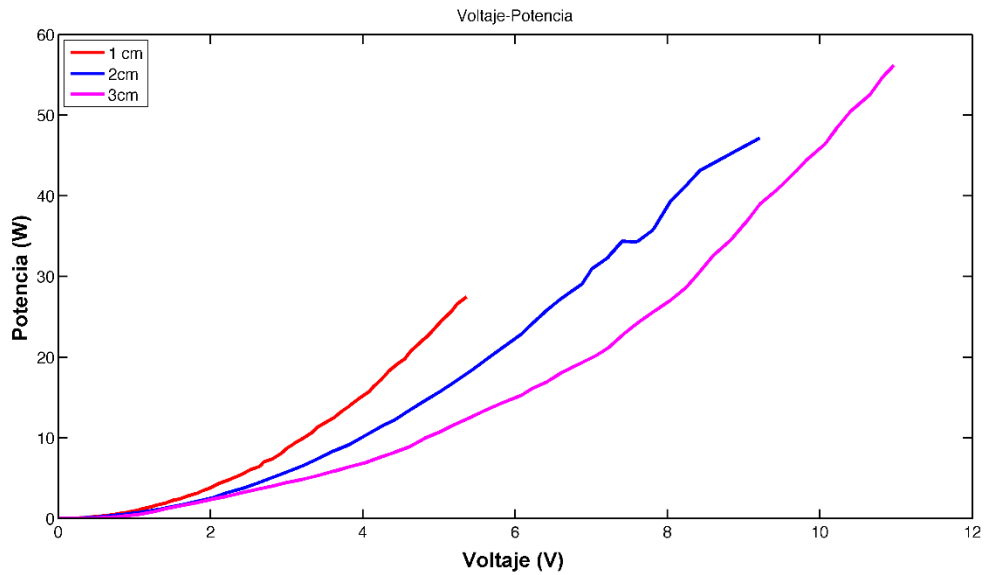


Figura 6. Voltaje-Potencia de las fuentes térmicas

La figura 7 muestra el comportamiento de la temperatura conforme aumenta el voltaje, mientras la fuente tenga mayor longitud necesitará de un mayor voltaje para aumentar su temperatura y por consiguiente su irradianza.

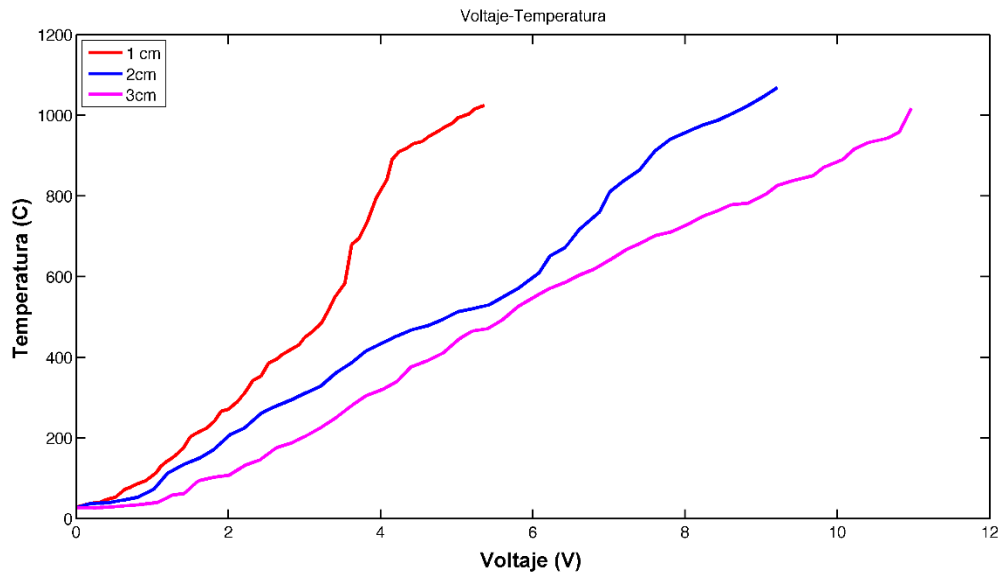


Figura 7. Temperatura-Voltaje de las fuentes térmicas

Para medir la energía de cada una de las fuentes térmicas se utilizó un fotodiodo BPW 34, que trabaja en un rango espectral de 400 nm a 1100nm, colocado a una distancia de 10 cm. La figura 8 muestra el comportamiento del fotodiodo al variar la temperatura.

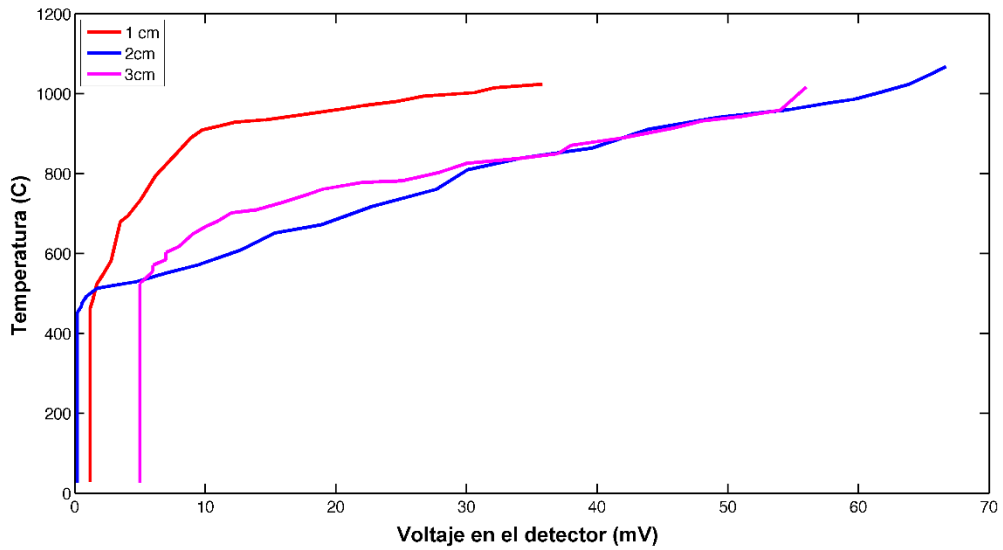


Figura 8. Voltaje en el detector-Temperatura de las fuentes térmicas.

La figura 9 muestra la simulación de la radiación de las fuentes térmicas diseñadas de acuerdo a la ecuación 1 del cuerpo negro. En ella se ve el comportamiento con su temperatura máxima.

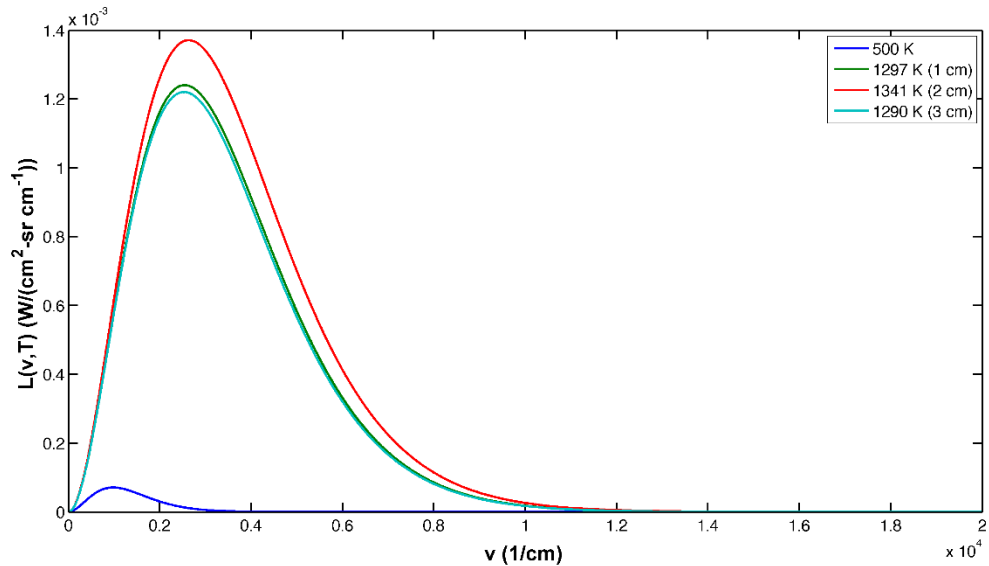


Figura 9. Simulación de la irradianza de las fuentes térmicas

RESULTADOS

Se diseñaron e implementaron 3 fuentes térmicas con alambre de Nicrom, para analizar la viabilidad de utilizarse en la detección de gases contaminantes.

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos al realizar la caracterización de cada una de las fuentes térmicas.

Tabla 1. Caracterización de las fuentes Térmicas.

	Longitud 1 cm	Longitud 2 cm	Longitud 3 cm
Voltaje máximo (V)	5.362	8.42	10.97
Corriente máxima (A)	5.12	5.12	5.12
Potencia (W)	27.45	43.14	56.16
Resistencia (Ω)	0.04	0.08	0.12
Temperatura (C)	1024	1068	1017
Voltaje del Detector (mV)	35.8	66.7	56

De acuerdo a los resultados obtenidos entre menor sea la longitud de la fuente, el voltaje requerido para elevar la temperatura es menor, así como la energía detectada en el fotodiodo es mayor para un mismo voltaje en las 3 fuentes.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó la viabilidad de diseñar e implementar una fuente térmica de bajo costo, utilizando alambre de Nicromo como elemento principal. Con los resultados obtenidos se pudo comprobar esta viabilidad de ser utilizada en la detección de gases contaminantes. Finalmente se puede concluir que en el diseño de una fuente térmica con Nicrom la longitud de irradiación es importante y entre menor sea, el voltaje y la corriente necesaria para irradiar en el MIR es bajo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el PRODEP-SEP bajo el proyecto con nombre "Apoyo a la incorporación de nuevos PTC" y No. UGTO-PTC-568.

BIBLIOGRAFÍA

1. G. Herzberg, The spectra and Structures of simple Free Radicals, An Introduction to Molecular Spectroscopy, Cornell University Press, 1971.
2. P. V. Menacherry, M. Fernández-García, and G. L. Haller, An X-Ray Absorption Spectroscopy Determination of the Morphology of Palladium Particles in K L-Zeolite, *Journal of Catalysis*, 166(1), p. 75-88, 1997.
3. D. Pavia, G. Lampman, G. Kriz, and J. Vyvyan, *Introduction to Spectroscopy*. 2008: Cengage Learning.
4. M. Allen, Diode laser absorption sensor for gas-dynamic and combustion flows, *Meas. Sci. Technol.*, 9, p. 545-562, 1998.
5. I. Linnerad, P. Kasperen, and T. Jaeger, Gas monitoring in the process industry using diode laser spectroscopy, *App. Phys. B*, 67, p. 297-305, 1998.
6. E. Vargas-Rodriguez and H. N. Rutt, Design of CO, CO₂ and CH₄ gas sensors based on correlation spectroscopy using a Fabry-Perot interferometer, *Sens. and Actuators B*, 137, p. 410-414, 2009.
7. A. Thompson, H. Northern, B. Williams, M. Hamilton, and P. Ewart, Simultaneous detection of CO₂ and CO in engine exhaust using multimode absorption spectroscopy, *Sens. and Actuators B*, 198, p. 309-315, 2014.
8. J. M. Sierra-Hernandez, R. Rojas-Laguna, E. Vargas-Rodriguez, J. M. Estudillo-Ayala, R. I. Mata-Chavez. D. Jauregui Vazquez, J. C. Hernandez-Garcia, J. A. Andrade-Lucio and J. C. Gutierrez-Gutierrez, A tunable multi-wavelength laser based on a Mach-Zehnder interferometer with photonic crystal fiber, *Laser Phys.* 23, 5pp., 2013.
9. E. Gallegos-Arellano, E. Vargas-Rodriguez, A. D. Guzman-Chavez, M. Cano-Contreras, J. L. Cruz and R. K. Raja-Ibrahim, Finely tunable laser based on a bulk silicon wafer for gas sensing applications, *Laser Phys. Lett.* 13, 6pp., 2016.

10. Arturo Cartillo-Guzman, Juan M. Sierra-Hernandez, Romeo Selvas-Aguilar, Daniel Toral-Acosta, Everardo Vargas-Rodriguez, Eloisa Gallegos-Arellano, Miguel Torres-Cisneros, Maria S. Avila-Garcia and Roberto Rojas-Laguna, Ytterbium Fiber Laser Based on a Three Beam Optical Path Mach-Zehnder Interferometer, *IEEE Photonics Technology Letters*. 28 (23), p. 2768-2771, 2016.
11. E. Vargas Rodríguez, *Optical Gas Sensors Base on Correlation Spectroscopy using a Fabry Perot Interferometer*, 2007, University of Southampton: Gran Bretaña.

PREPARACIÓN DE ELASTÓMEROS LÍQUIDO-CRISTALINOS PORTADORES DE GRUPOS AZOBENCENO

Eduardo Joel López Torres, Andrea Stephany Valencia Aguilar, Marco Antonio De Jesús Tellez, Rosa Julia Rodríguez González, Dámaso Navarro Rodríguez, Leticia Larios López

Universidad Tecnológica de Altamira
Instituto Politécnico Nacional
Centro de Investigación en Química Aplicada

RESUMEN

En este trabajo se reporta la preparación de nuevos elastómeros líquido-cristalinos (LCE, por sus siglas en inglés liquid-crystalline elastomers) portadores de grupos azobenceno a partir de los monómeros LC bis(4-undeceniloxi)azobenceno (mAz-dv) y 1,4-bis-[4-3(acriloiloxipropilo) bencenoiloxi]-2metilbenceno (mBz-da) y de compuestos con funcionalidad tiol (SH). En la preparación de los LCE se observó baja miscibilidad de los monómeros, sin embargo aquellos que contenían menos de 4%mol del monómero mAz-dv mostraron buena uniformidad y calidad óptica. Los elastómeros fueron sometidos a un esfuerzo de tensión uniaxial seguido de una reacción de foto-entrecruzamiento iniciada por luz ultravioleta de 365nm. El análisis de la termo-deformación de los LCE indicó una contracción en la longitud superior al 50%; porcentaje que podría incrementar con mejores estrategias de orientación molecular. Los elastómeros líquido-cristalinos obtenidos en este trabajo resultan interesantes debido a que los grupos azobenceno presentan el fenómeno de isomerización *trans-cis-trans* inducida por luz, por lo que además de ser materiales termo-accionables pudieran también ser foto-deformables, lo cual es de interés para su aplicación en dispositivos de accionamiento opto-mecánico.

INTRODUCCIÓN

Los LCE son polímeros con bajo contenido de entrecruzamientos que poseen unidades rígidas incorporadas a sus cadenas poliméricas. Estas unidades llamadas mesógenos otorgan al elastómero las propiedades de cristal líquido, por lo cual presentan un cierto orden molecular fluido que al combinarse con la estabilidad mecánica de los polímeros producen sistemas con memoria de forma. Asimismo, el orden o alineamiento de las unidades mesogénicas puede verse afectado frente a estímulos eléctricos, magnéticos, térmicos o lumínicos, lo que abre la posibilidad de emplearlos como actuadores para músculos artificiales, manufactura industrial, salud o sistemas micro-electromecánicos (MEMS), entre otros¹. Para que dicha actuación exista es necesario que el elastómero presente uniformidad en la orientación de sus unidades mesogénicas, lo cual normalmente es logrado con métodos mecánicos^{2,3}. En este sentido, Yakacki y col.² reportaron una metodología práctica y escalable que permite un mayor control tanto en el proceso de elaboración del LCE como en la orientación de los dominios líquido-cristalinos presentes.

Los LCE que contienen grupos de tipo azobenceno son el interés del presente trabajo, debido a que estos grupos responden a la luz de cierta longitud de onda, obteniéndose elastómeros LC foto-termo accionables. La incorporación de grupos azobenceno a matrices poliméricas, en especial a cristales líquidos poliméricos (LCP), ha sido estudiada por sus posibles aplicaciones para la óptica y optoelectrónica⁴⁻⁶. Además de la foto-isomerización reversible *trans-cis-trans* del azobenceno, el comportamiento de cristal líquido de algunos azopolímeros permite que sean utilizados para el

grabado de rejillas de relieve superficial (SRG, por sus siglas en inglés Surface Relief Gratings)^{7,8} altamente estables. Es así que en este trabajo se presenta el efecto de incorporar el monómero LC fotosensible bis(4-undeceniloxi)azobenceno en la preparación y el alineamiento mecánico de nuevos elastómeros líquido-cristalinos así como en sus propiedades de termo-deformación.

PARTE EXPERIMENTAL

La preparación de los elastómeros se llevó a cabo siguiendo la metodología en dos etapas (Fig. 1) reportada por Yakacki y col.² utilizando los precursores 1,9-dinonanetriol, PETMP, HHMP, dipropilamina, y los monómeros 1,4-bis-[4-3(acriloiloxipropiloxi) bencenoiloxi]-2metilbenceno (mBz-da) y el bis(4-undeceniloxi)azobenceno (mAz-dv), mostrados en la Figura 2. De acuerdo con este procedimiento, en un frasco de vidrio se agregaron el tolueno y los monómeros mAz-dv y mBz-da. La mezcla fue calentada a 80°C por 5 min y luego se dejó enfriar a temperatura ambiente (Ta) antes de agregar los demás componentes de la formulación. La mezcla fue agitada por 2 min en un vortex y las burbujas de aire formadas se eliminaron en una estufa de vacío a Ta. Enseguida, la mezcla fue vertida en un molde de teflón y la reacción se dejó proceder a Ta por 6 h y a 60°C por 15 h en atmósfera de vacío, obteniéndose un elastómero con polidominios líquido-cristalinos. En una segunda etapa, los polidominios LC fueron orientados mediante la aplicación de un esfuerzo uniaxial para deformar la muestra a una velocidad de 1.4cm/min, seguida de la foto-polimerización de los grupos acrilato libres irradiando las muestras con luz UV de 365nm por 10min. De esta manera, se prepararon seis elastómeros con diferente contenido de monómero mAz-dv (Tabla 1).

Para evaluar la capacidad de elongación del LCE durante la segunda etapa de la polimerización, en las muestras fueron marcados dos puntos y la distancia entre ambos fue medida antes y después del proceso de estirado. Además, las muestras fueron analizadas por microscopía óptica de luz polarizada (POM) para evaluar la uniformidad y homogeneidad en los elastómeros. La termo-deformación de las muestras fue evaluada incrementando la temperatura desde 30°C hasta 120°C en una placa de calentamiento y posterior enfriamiento a 30°C, midiendo las dimensiones de la misma al inicio del proceso y después de la máxima contracción.

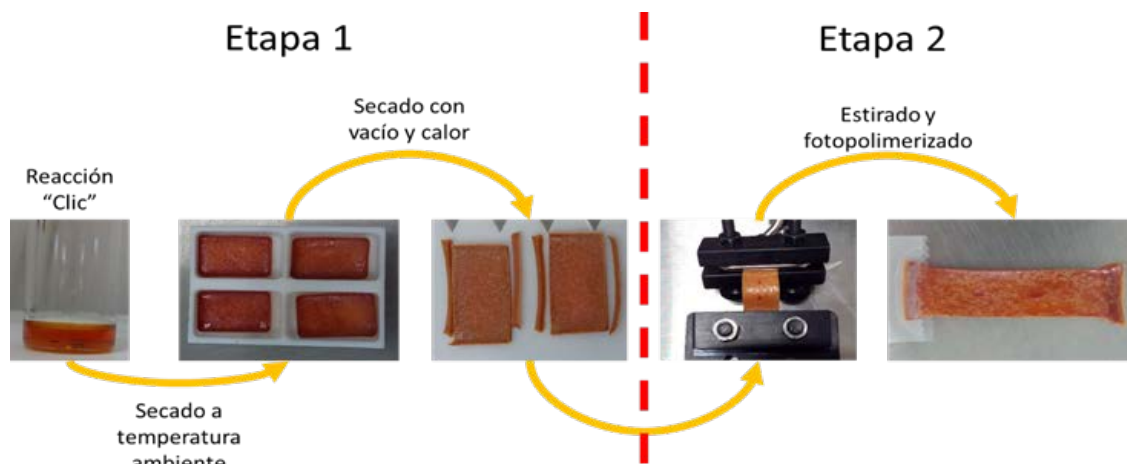


Figura 1. Diagrama del proceso de polimerización

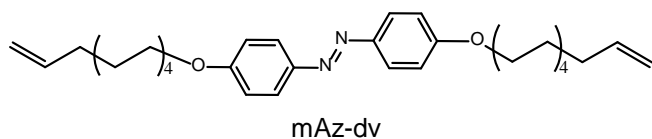
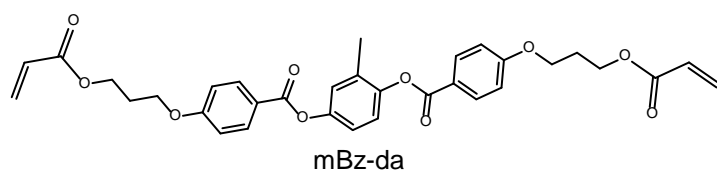


Tabla 1. Relación molar de los monómeros LC.

Clave del LCE	mAz-dv	mBz-da
---------------	--------	--------



LCE-0	0	1.15
LCE-1	0.01	1.14
LCE-3	0.03	1.12
LCE-5	0.05	1.10
LCE-10	0.10	1.05
LCE-15	0.15	1.00

Figura 2. Estructura química de los monómeros LC.

RESULTADOS

En la preparación de los LCE primero se disolvió el azo-monómero en tolueno antes de añadirlo al mBz-da, con el fin de facilitar la incorporación del mismo en el sistema. En esta primera etapa se observó una mezcla homogénea de los monómeros solamente a bajos contenidos (1 y 3%) del mAz-dv, mientras que en las formulaciones con mayor contenido hubo cierto grado de incompatibilidad entre ambos monómeros, lo que podría deberse a que el azo-monómero tiene funcionalidades vinilo mientras que el mBz-da tiene funcionalidades acrilato (ver Fig. 2). Como se mostrará más adelante, esta segregación de fases afectó la calidad óptica y la homogeneidad de los elastómeros LC.

En cuanto al proceso de estirado de las muestras, en donde se induce una orientación de los mesógenos en monodominios, se pudo notar un efecto marcado del contenido de monómero mAz-dv sobre la capacidad de elongación de los elastómeros, como se observa en la Figura 3. La tendencia observada es que la presencia del azo-monómero disminuye la capacidad de elongación del elastómero, y el menor estiramiento se observa para una concentración de mAz-dv de 15%. Esto concuerda con la apariencia de mayor rigidez del LCE-15 respecto de los otros elastómeros.

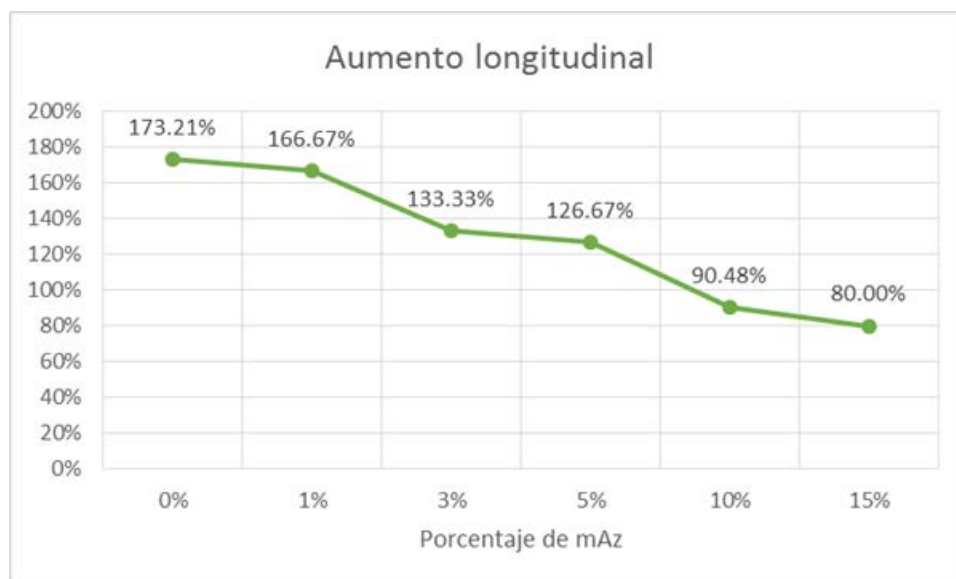


Figura 3. Efecto de la cantidad de azo-monómero en la capacidad de elongación de los LCE observado durante el proceso de orientación en monodominios.

Después de la foto-polimerización, los elastómeros con una concentración menor a 3% del mAz-dv presentaron homogeneidad y buena calidad óptica (Fig. 4A), mientras que a mayores concentraciones se notó cierta segregación (rechazo) del azo-monómero, el cual cristalizó sobre la superficie de la muestra, como se observa en la imagen del elastómero LCE-15% (Fig. 4B). Por

microscopía óptica se determinó que los cristales observados mostraban una forma granular (Fig. 4C) antes de someter las muestras a un esfuerzo uniaxial, y una vez estiradas, estos cristales se fracturaron siguiendo el vector de orientación (Fig. 4D).

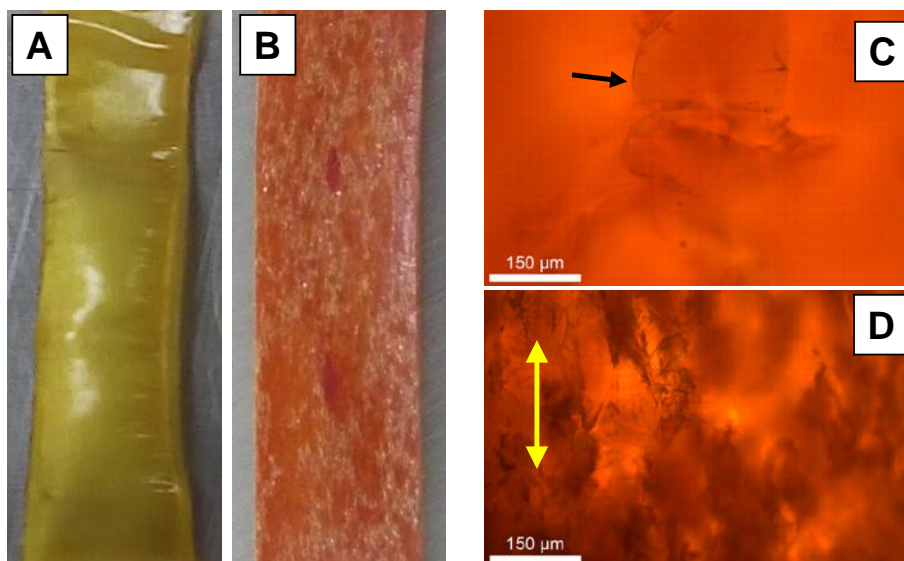


Figura 4. Fotografías de los elastómeros A) LCE-1 y B) LCE-15 después de estirar, e imágenes POM del elastómero LCE-15 C) antes y D) después de estirar. La flecha negra señala el agregado cristalino y la flecha amarilla indica la dirección de orientación uniaxial.

También se analizó la termo-deformación de los LCE conteniendo 1, 3, 5, y 15% del azo-monómero y se comparó con del comportamiento del elastómero sin azocompuesto (LCE-0). Para el cálculo del porcentaje de contracción alcanzado se empleó la relación de la longitud inicial (L_0) entre la longitud alcanzada (L) en el calentamiento. De esta manera se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 2, en donde se observa que todos los elastómeros experimentaron una contracción en su longitud al incrementar la temperatura; sin embargo, el mayor termo-accionamiento se obtuvo en el elastómero con el 1% de mAz-dv. Los porcentajes de termo-contracción obtenidos en estos elastómeros son similares a los reportados por Thomsen y col.⁹ (~40%) a temperaturas cercanas a la transición N-I. Además, estos resultados concuerdan con el estudio de Li y col.¹⁰ quienes observaron que concentraciones bajas de azocompuesto favorecen la capacidad de termo-accionamiento del elastómero pero concentraciones mayores comprometen la respuesta. Cabe mencionar que una vez suspendido el calentamiento, solamente las muestras LCE-0 y LCE-1 regresaron a su forma original, mientras que aquellas con un contenido mayor de 5% de azo-monómero no recuperaron sus dimensiones originales.

Tabla 2. Longitud de las muestras antes y después de someterlas a un proceso de calentamiento.

Porcentaje de mAz	Inicial	Final	L_0/L	Termo-contracción
%	(cm)	(cm)		%
0	4.2	2.0	2.1	52.4
1	1.8	0.7	2.6	61.1

3	3.2	1.5	2.1	53.1
5	2.6	1.3	2.0	50.0
15	2.0	1.1	1.8	45.0

CONCLUSIONES

La metodología de dos etapas utilizada en este trabajo fue exitosa para la preparación de nuevos elastómeros líquido-cristalinos portadores de grupos azobenceno orientados en monodominios. Aunque la concentración de azobenceno incorporado fue bajo, los LCE con porcentajes superiores a 5% presentaron segregación de fases (cristales en la superficie), lo cual se asoció a la baja compatibilidad de los dos monómeros LC utilizados. Todos los LCE sintetizados experimentaron una termo-contracción eficiente, observándose el mayor termo-accionamiento y recuperación de forma en el elastómero con el menor contenido del monómero mAz-dv.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT (proyecto 258195). A Julieta Sánchez, Antelmo R. Yasser Ruíz y Jesús Alfonso Mercado por el apoyo técnico brindado en la caracterización de los materiales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Jiang H., Lia Ch., Huang X., "Actuators based on liquid crystalline elastomer materials", *Nanoscale*, 2013, 5, 5225-5240.
2. C. M. Yakacki, M. Saed, D. P. Nair, T. Gong, S. M. Reed, C. N. Bowman, "Tailorable and programable liquid-crystalline elastomers using a two-stage thiol-acrylate reaction", *RSC Adv.*, 2015, vol 5, pp 18997-19001.
3. Gray, G. W. (Ed.). (2005) *Alignment Technology and Applications of Liquid Crystal Devices*. Oxfordshire, Reino Unido: Taylor & Francis Group.
4. K. G. Gutiérrez-Cuevas, L. Larios-López, R. J. Rodríguez-González, B. Donnio, D. Navarro-Rodríguez, "On the liquid-crystalline properties of methacrylic polymers containing 4'-(4-alkyloxyphenyl)azobenzene mesogens", *Liquid Crystals*, 2013, vol 40:4, pp 534-545.
5. O. K. Song, C. H. Wang, M. A. Pauley, "Dynamic Processes of Optical Induced Birrefringence of Azo Compounds in Amorphous Polymers below T_g", *Macromolecules*, 1997, vol 30, pp 6913-6919.
6. T. García, L. Larios-López, R. J. Rodríguez-González, J. R. Torres-Lubián, D. Navarro-Rodríguez, "Azo monomers exhibiting low layer shrinkage at the SmA-SmC transition and trans-cis light-induced isomerization.", *ChemPhysChem* 2012, vol 13, pp 3937 – 3944.
7. T. García, L. Larios-López, R. J. Rodríguez-González, G. Martínez-Ponce, C. Solano, D. Navarro-Rodríguez, "Liquid-crystalline polymers bearing phenylene(azobenzene) moieties substituted with an electron-donor or electron-acceptor lateral group. Synthesis, mesomorphic behavior and photo-induced isomerization", *Polymer*, 2012, vol 53, pp 2049-2061.
8. O. L. Torres-Rocha, R. J. Rodríguez-González, L. Larios-López, G. Martínez-Ponce, C. Solano, D. Navarro-Rodríguez, "Structural and photoresponsive behavior of a series of (phenylene)azobenzene-containing liquid-crystalline methacrylic copolymers", *Polym Int*, 2014, vol 63, pp 652–659.

9. D. L. Thomsen, P. Keller, J. Naciri, R. Pink, H. Jeon, D. Shenoy, B. R. Ratna, "Liquid Crystal Elastomers with Mechanical Properties of a Muscle", *Macromolecules*, 2001, vol 34, pp. 5868-5875
10. M. H. Li, P. Kelle, B. Li, X. Wang, M. Brunet, "Light-Driven Side-On Nematic Elastomers Actuators", *Adv. Mater.*, 2003, vol 15, pp. 569-572.

FPAAs COMO PLATAFORMA DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

De La Rosa-García L. F, Ontañón-García L. J

Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP. Salinas de Hidalgo, S.L.P.
luisfdlr97@outlook.com; luis.ontanon@uaslp.mx

RESUMEN

Se presentan las tarjetas FPAA's como una alternativa para realizar mediciones y acciones basados en modelos matemáticos. Dadas las características de este tipo de tarjetas dan una gran ventaja al momento de obtener datos con mayor precisión y de esta manera enfocarlas a desarrollo de aplicaciones con sistemas bio-inspirados representados por circuitos electrónicos como lo son los sistemas neuronales [1], células beta [2] entre otras. Los modelos matemáticos son una de las bases primordiales que se consideraran para llevar a cabo estas tareas.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las personas han tomado una gran determinación por obtener valores exactos de lo que los rodea (tiempo, temperatura, humedad etc.). Y a su vez se necesita de dispositivos que realicen diferentes tareas de la manera más precisa, esto con el fin de realizar estudios más amplios o bien para tener parámetros de control más exactos. El mundo se ha llenado de dispositivos digitales, sin embargo, debemos tener en cuenta que vivimos en un mundo analógico. Los dispositivos digitales manejan valores discretos por lo que en el momento de hacer mediciones de algún valor análogo pierden gran cantidad de información. La precisión de estos se encuentra limitada debido a la gran cantidad de datos que se descartan. Es aquí donde los dispositivos analógicos se convierten en una de las alternativas pensadas para resolver esta problemática, ya que los valores de medición realizados con un dispositivo analógico no descartan la información por lo que la recolección de datos es más amplia y permite manejar valores mucho más precisos.

TEORÍA

Las tarjetas FPAA's (Field Programmable Analog Arrays) son el equivalente analógico de las FPGA's (Field Programmable Get Arrays). Las FPAA's son dispositivos que en su interior manejan un arreglo de amplificadores operacionales los cuales pueden reorganizarse mediante una interfaz de programación, esto le permite realizar diferentes tareas como dispositivo reprogramable. Así mismo el hecho de contar con amplificadores operacionales le permite realizar operaciones e incluso replicar funciones. Esta peculiaridad es muy útil ya que puede realizar sus acciones en base a una función matemática [2] (Tabla 1), muy diferente a los métodos más secuenciales que se utilizan con los dispositivos digitales.

Tabla 1. Ventajas de las FPAA

PRINCIPALES VENTAJAS DE LAS FPAA	
✓	No descartan datos por que su información es Analógica.
✓	Su programación grafica basada en modelos matemáticos, es más intuitiva y no requiere de grandes conocimientos de programación.
✓	Permiten representar ecuaciones y funciones matemáticas.
✓	Puede leer datos analógicos y digitales.
✓	Su software permite realizar simulaciones de gran precisión.
✓	Es una plataforma donde todas sus características son

reconfigurables.

El FPAА AN221K04-DVLP2 de Anadigm es una placa que permite realizar una gran cantidad de configuraciones con amplificadores operacionales. Además, cuenta con el software de fácil uso

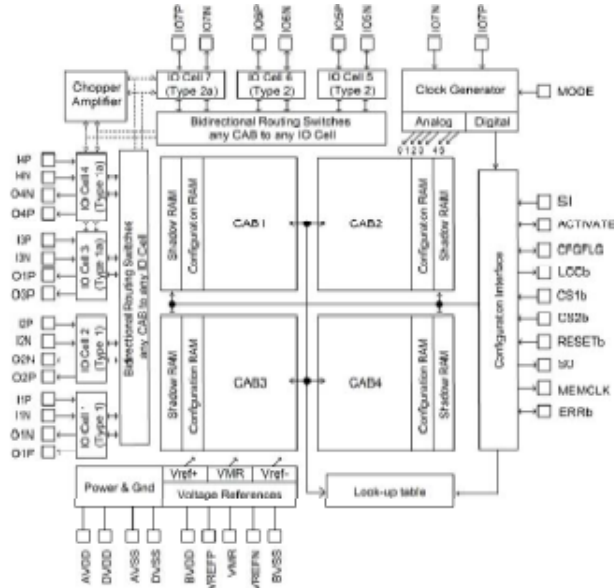


Figura 1. Diagrama de bloques del chip AN221E04

llamado AnadigmDesigner2 el cual se maneja por una estructura de programación gráfica, con la cual se configura la tarea que se desea realizar con la placa y después se carga esta configuración en la tarjeta, de esta manera tienes un sistema embebido con la capacidad de analizar y replicar funciones matemáticas. Emplea un chip AN221E04 (Figura 1) el cual cuenta con cuatro bloques denominados CAB's (CONFIGURABLE ANALOG BLOCK) de los cuales cada uno incluye; 2 Amplificadores operacionales de 50Mhz, 1 comparador diferencial, 1SAR(Successive Approximation Register) basado en ADC(Analog to Digital Conversion) y 8 capacitores programables.

Cada uno de los CAB's cuenta con dos entradas (una positiva y una negativa) y dos salidas (una positiva y una negativa), e incluye una sección en común para manejar voltajes de referencia y el generador de reloj. El chip maneja una precisión de $\pm 0.1\%$.

El entorno de desarrollo gráfico permite realizar la programación mediante la conexión de componentes llamados CAM's (CONFIGURABLE ANALOG MODULES) los cuales son pequeños bloques con funciones preestablecidas que permiten múltiples configuraciones, sin embargo esta está limitada por la cantidad de componentes en el CAB, es decir cada CAM utiliza cierto número de componentes para funcionar si las operaciones superan este número se genera un mensaje de error y no deja proseguir hasta que se reacondicionen la cantidad de CAM's. Cabe mencionar que el sistema de simulación permite analizar hasta cuatro señales simultáneas, los cuales podemos variar su escala y configurar el tiempo que durara la medición. Otra ventaja es la de poder exportar los datos de la simulación y poder realizar la graficación mediante otro software como Matlab, Simulink, Excel etc.

PARTE EXPERIMENTAL

Sabemos que los fenómenos que ocurren a nuestro alrededor pueden ser representados por una función o una ecuación, esto brinda un amplio campo de trabajo para los investigadores. Uno de los problemas para la comprensión de los sistemas físicos básicos es justamente el del sistema

masa-resorte amortiguado (Figura 2) debido a la abstracción involucrada para su comprensión. El objetivo más usual para este tipo de análisis es la descripción del movimiento de la masa afectada tanto por el resorte como por el amortiguador, el resorte afecta de manera oscilatoria a la traslación de la masa, mientras que el amortiguador genera un descenso gradual en la naturaleza oscilatoria. Es pertinente aclarar que el elemento amortiguador puede también ser considerado como la fricción involucrada en el mismo resorte o la generada por la viscosidad del medio.

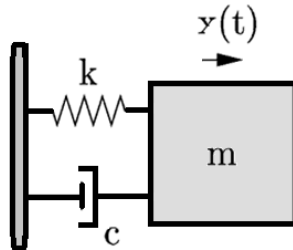


Figura 2. Ejemplo gráfico de sistema masa-resorte amortiguado

Realizar la deducción algebraica de la ecuación matemática que describe dicho movimiento no está enmarcada dentro de los objetivos de este documento, sin embargo, dicho estudio ha sido ampliamente estudiado en variedad de documentos especializados y su resultado se muestra en la ecuación:

$$m \ddot{y} + b \dot{y} + k y = f(t) \tag{2.1}$$

En donde y determina la posición de la masa, \dot{y} su velocidad y a su vez \ddot{y} la aceleración. El parametro $m \in R$ corresponde al peso de la masa, $b \in R$ corresponde al parametro de viscosidad, k determina la constante del resorte y $f(t)$ representa un forzamiento o perturbación externa. La cual tras un proceso algebraico podemos determinar que es igual al siguiente sistema de ecuaciones (2.2):

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= X_2 + c \\ \dot{X}_2 &= -X_1 - 0.1X_2 \end{aligned} \tag{2.2}$$

En donde X_1, X_2 son las variables de estado del sistema masa resorte dado por (2.1), representando la posición y la velocidad de la masa, respectivamente. El parámetro $c \in R$ representa una constante relacionada con la posición inicial de la masa.

Para obtener la solución del sistema (2.2) se utiliza el software de AnadigimDesign2 en la estructuración del sistema que permitiera simular el comportamiento de la ecuación antes mencionada, tomando en cuenta que debido a la retroalimentación que se tiene, es necesario una condición inicial para lograr que la función genere una señal.

Otro dato a considerar es que, según el análisis matemático previo, la solución del sistema después de ser perturbada resulta en una oscilación subamortiguada la cual conforme avanza el tiempo va disminuyendo su amplitud hasta estabilizarse. Lo que nos indica que la condición inicial que le damos, es equivalente a aplicar una fuerza sobre la masa y posicionarla en algún punto en particular y con el tiempo, el amortiguador genera una desaceleración en el móvil, provocando así, que esta llegue nuevamente a un punto de reposo. Esto se puede apreciar en la gráfica de la Figura 3 mediante la respuesta de los estados X_1 y X_2 del sistema de ecuaciones (2.2). En la Figura 4, se muestra la estructura a bloques del sistema de ecuaciones diferencial (2.2) mediante el uso de los CAM's que se emplearon para realizar el modelado de esta función.

Podemos apreciar en la Figura 4 que al lado derecho, en el que se muestra como Resource Panel, se muestran la cantidad de elementos que se están utilizando de cada uno de los CAB's así mismo en este caso las operaciones se realizan y analizan dentro de la simulación del circuito por lo que no es necesario cargarlo en la placa, ya que podemos realizar el análisis del mismo mediante la simulación en AnadigimDesign2.

RESULTADOS

Tras realizar la simulación del circuito de la Ecuación 2.2 podemos apreciar en la Figura 5 que la señal se está generando se comporta de acuerdo a lo esperado según lo que muestra la Figura 3. El valor inicial de posición de la masa, desencadena una fuerza repetitiva, pero conforme pasa el tiempo, esta va perdiendo fuerza

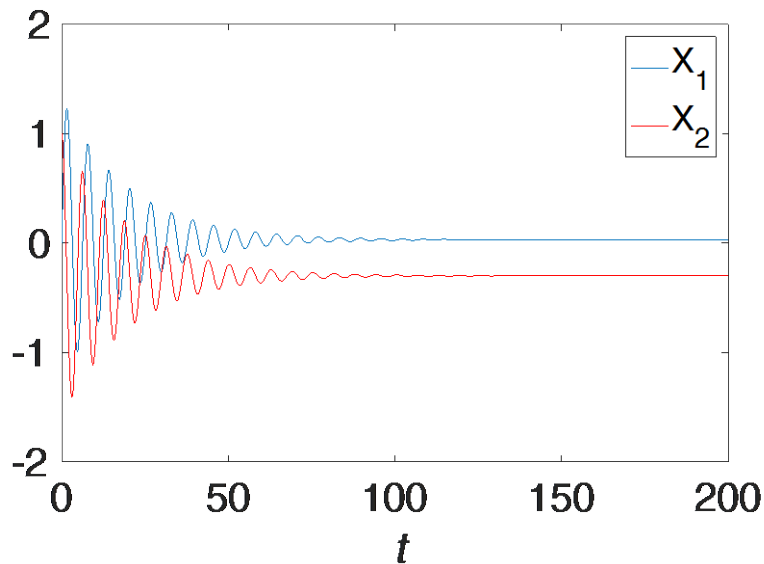


Figura 3. Respuesta de la simulación numérica del sistema de ecuaciones (2.2).

hasta estabilizarse en el reposo. De esta manera podemos apreciar que es totalmente posible el replicar ecuaciones que nos permitan representar un comportamiento o acción con FPAA's. Cabe mencionar que es muy importante las configuraciones que se aplican sobre la tarjeta, debido a que una mala configuración en la frecuencia o bien en alguno de los CAM puede generar que la ecuación no se comporte como se espera. En esta plataforma de desarrollo es importante considerar que hay que tener cuidado con la señal que se analiza, ya que esta debe de configurarse a las escalas que se pretende trabajar. En ocasiones al trabajar con valores grandes para las especificaciones de la placa se genera una saturación en los amplificadores operacionales internos que provoca que los valores se corten totalmente en algún punto, por lo que es necesario rescalo o bien replantear las operaciones que emplearemos para evitar esta problemática. En la Figura 6 se muestran las configuraciones empleadas en cada uno de los CAM para la simulación.

CONCLUSIONES

Las FPAA no son una tecnología nueva, sin embargo, las implementaciones que se han realizado son relativamente pocas por lo que dan posibilidad a un amplio campo de estudio y desarrollo.

El medio por el que se programa es muy intuitivo y no requiere de conocimientos amplios en programación, pero si se requieren conocimientos sobre amplificadores operacionales y señales analógicas.

La representación de modelos matemáticos es fácil de emplear ya que basan su entorno de programación en procesos algebraicos y de funciones.

Aunque el número de operaciones está limitado es posible el sincronizar más de una FPAA lo que nos permite emplear la cantidad de operaciones que necesitamos. El análisis de señales es muy bueno siempre y cuando no sobrepase las especificaciones de la tarjeta.

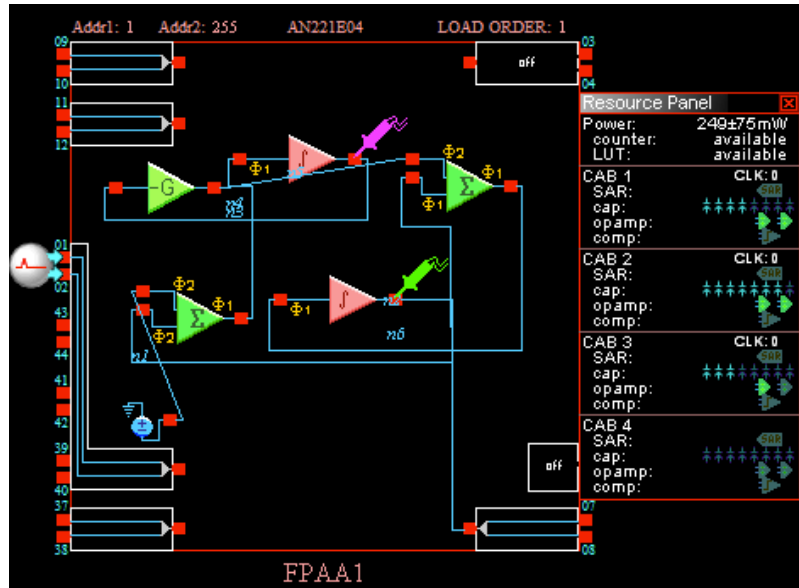


Figura 4. Generador de sistemas de ecuaciones empleada en el software AnadigmDesing2

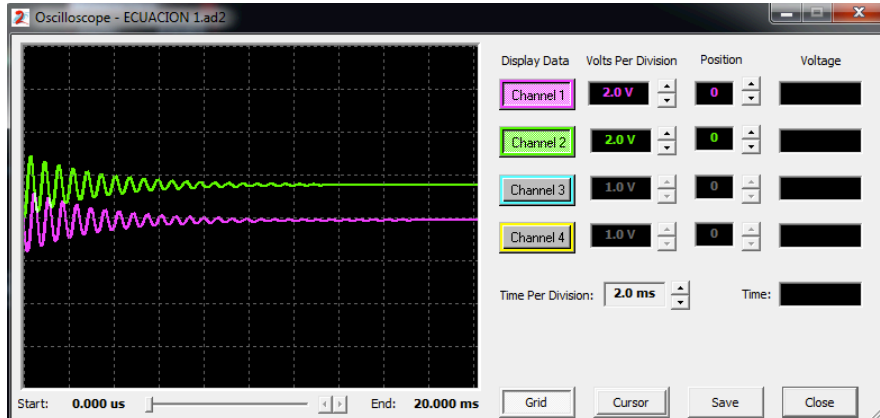


Figura 5. Análisis de las señales producidas por la simulación del circuito

AGRADECIMIENTOS

LJ Ontañón-García agradece a la UASLP por el apoyo otorgado del proyecto No. C16-FAI-09-46.46.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ontañón-García L.J, Soubervielle-Montalvo C. & Campos-Cantón E. (Octubre 2015). Analog circuit implementation for a neuron with applications to

- communications. Congreso Nacional de Control Automático AMCA, Cuernavaca, Morelos.
2. Ontañón-García L.J, Campos-Cantón E., Sánchez-Sahaugun J., Campos-Cantón I., (Octubre 2014). Electronic implement of a pancreatic β cell. XVI Congreso Latinoamericano de Control Automático AMCA, Cancún, Quintana Roo.
 3. Anadigm: <http://www.anadigm.com/fpaa.as> (Consultado en Abril 2017)







Name	Options	Parameters	Clocks
INTEGRADOR 1 (Integrator v3.0.8)  Anadigm (Approved)	Polarity <i>Non-inverting</i> Input Sampling Phase <i>Phase 1</i> Compare Control To <i>No Reset</i>	Integration Const. [1/us] <i>0.0100</i>	ClockA <i>250 kHz (Chip Clock 0)</i>
INTEGRADOR 2 (Integrator v3.0.8)  Anadigm (Approved)	Polarity <i>Non-inverting</i> Input Sampling Phase <i>Phase 1</i> Compare Control To <i>No Reset</i>	Integration Const. [1/us] <i>0.0100</i>	ClockA <i>250 kHz (Chip Clock 0)</i>
GainInv2 (GainInv v1.1.4)  Anadigm (Approved)		Gain <i>1.00</i>	ClockA <i>250 kHz (Chip Clock 0)</i>
SumDiff1 (SumDiff v1.2.5)  Anadigm (Approved)	Output Phase <i>Phase 1</i> Input 1 <i>Non-inverting</i> Input 2 <i>Non-inverting</i> Input 3 <i>Off</i> Input 4 <i>Off</i>	Gain 1 (UpperInput) <i>0.500</i> Gain 2 (LowerInput) <i>1.00</i>	ClockA <i>250 kHz (Chip Clock 0)</i>
SumDiff2 (SumDiff v1.2.5)  Anadigm (Approved)	Output Phase <i>Phase 1</i> Input 1 <i>Non-inverting</i> Input 2 <i>Inverting</i> Input 3 <i>Off</i> Input 4 <i>Off</i>	Gain 1 (UpperInput) <i>1.00</i> Gain 2 (LowerInput) <i>0.100</i>	ClockA <i>250 kHz (Chip Clock 0)</i>
Voltage1 (Voltage v1.0.6)  Anadigm (Approved)	Polarity <i>Negative (-3V)</i>		

Figura 6. Configuración empleada en los CAM para la simulación

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UN PROTOTIPO DE SEPARACIÓN POR MEMBRANA POROSA HIDRÓFOBA PARA LA DESORCIÓN DE VAPOR DE AGUA DE UNA SOLUCIÓN ACUOSA DE LiBr

Brenda Rivas Herrera¹, Jonathan Ibarra Bahena², Ulises Dehesa Carrasco³, Rosenberg J. Romero⁴, Wilfrido Rivera²

¹ Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, (62209) Cuernavaca, Morelos, México.

² Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Privada Xochicalco S/N, Colonia Centro, 62580, Temixco, Morelos, México.

³ Catedrático CONACyT comisionado al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México.

⁴ Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, (62209) Cuernavaca, Morelos, México.

RESUMEN

Los desorbedores convencionales en sistemas de absorción son voluminosos y pesados, por lo tanto, están limitados para aplicaciones a pequeña escala, además, comúnmente la temperatura de la fuente de calor del desorbtor es más alta que las fuentes de calor de bajo grado (como energías renovables y calor de desecho) y, en los sistemas de absorción basados en la mezcla de agua/LiBr, estos desorbedores deben funcionar en condiciones de presión de vacío. En este trabajo, un desorbedor/condensador de membrana porosa hidrófoba fue evaluado con mezcla agua/bromuro de litio para aplicaciones en sistemas de absorción. Se evaluaron 9 condiciones experimentales: 3 de temperatura y 3 de flujo másico a una concentración constante de 45.68 ± 0.34 % w/w de LiBr en solución acuosa. Los resultados muestran que la producción de fluido refrigerante aumenta a medida que la fuerza impulsora del proceso, definida como la diferencia de temperatura entre el lado caliente (canal de flujo de la solución acuosa de LiBr) y el lado frío del dispositivo (canal de flujo de agua de enfriamiento), aumenta. El proceso de desorción se llevó a cabo a presión atmosférica, lo que demuestra la factibilidad de éste prototipo para aplicaciones en bombas de calor por absorción.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de refrigeración o revalorización térmica por absorción el desorbedor (llamado también generador) es uno de los componentes más importante en la cuantificación del desempeño de estas máquinas. Los desorbedores convencionales requieren de una cantidad de calor constante para alcanzar el punto de ebullición de la mezcla de trabajo y, para los sistemas que funcionan con soluciones acuosas de LiBr, requieren operar a condiciones de presión por debajo de la atmosférica, lo que hace necesario equipos o servicios auxiliares para el correcto funcionamiento de estos desorbedores [1]. En los sistemas de separación por membrana, la fuerza impulsora del proceso es la diferencia de presión parcial asociada a una diferencia de temperatura entre el lado caliente relativo (canal de circulación de la mezcla de trabajo) y el lado frío relativo (canal de circulación del agua de enfriamiento); por lo que el proceso de separación de fluido refrigerante de la mezcla de trabajo puede llevarse a cabo a temperaturas inferiores que su punto de ebullición a condiciones de presión atmosféricas [2]. La Figura 1 muestra un diagrama esquemático del proceso de destilación por membrana con espaciamento de aire (AGMD). El proceso de desorción independiente de la presión a temperaturas inferiores de la temperatura de ebullición plantea una disminución energética para el funcionamiento de un desorbedor. El estudio con separadores de membrana con espaciamento de aire no han sido reportados a la fecha.

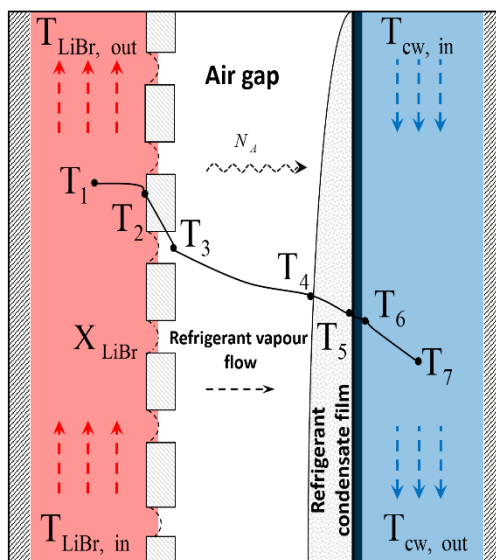


Figura 1. Diagrama esquemático del proceso de AGMD

PARTE EXPERIMENTAL

El desorbedor/condensador de membrana porosa hidrófoba estaba integrado por dos paredes laterales, una membrana porosa hidrófoba, una placa de enfriamiento y varias juntas para sellar y asegurar el espaciado correcto en los canales de flujo y el espacio de aire. Las paredes estaban hechas de placa de Nylon, con un grosor de 25.4 mm, para reducir las pérdidas de calor al ambiente. Las juntas estaban hechas de polipropileno y silicón, que tenían un grosor de 1 y 3 mm. Se usaron membranas porosas hidrófobas de PTFE (politetrafluoroetileno) fabricadas por Millipore Company, con un tamaño de poro de 0.45 μm . El canal de alimentación estaba contenido entre una de las placas laterales y la membrana hidrófoba, dejando un espacio de 80 mm de ancho, 3 mm de profundidad y 180 mm de longitud por medio de las juntas. El canal de refrigeración estaba contenido entre la otra pared lateral y la placa de aluminio, con las mismas dimensiones que la primera. Se creó un espacio nominal de aire de 3 mm de anchura, con la misma profundidad y longitud que estos canales, por medio de las dos juntas. La Figura 2 muestra el desorbedor/condensador experimental. Se colocó una malla metálica entre la membrana y el espacio de aire con el fin de reducir la deformación por la presión de flujo y la temperatura de alimentación de la corriente de agua/LiBr. La Figura 3 muestra un diagrama esquemático del circuito experimental. Se utilizó un intercambiador de calor de placas (PHE) hecho de acero inoxidable 316 L para calentar la corriente de agua/LiBr. La fuente de calor estaba compuesta por un depósito, con un fluido de calefacción y una resistencia eléctrica, con control de temperatura. Se utilizó una bomba centrífuga comercial, que funcionaba a 373 W, para bombear el fluido de calefacción.

Se usó una torre de enfriamiento (con otra bomba centrífuga a 373 W) para retirar el calor de vaporización del vapor de agua que se condensaba sobre la placa enfriamiento. Los caudales volumétricos se midieron con dos flujómetros analógicos, con una precisión de $\pm 3\%$. Se colocó una septa de hule en el circuito de agua/LiBr para tomar muestras de concentración. Las concentraciones de agua/LiBr se midieron usando un refractómetro ABBEMAT 200 (de Anton Paar) con una precisión de ± 0.0001 . Se utilizó una bomba de engranajes que funcionaba a 32 W para bombear la solución de agua/LiBr dentro del circuito. La cantidad de agua producida por el desorbedor/condensador se midió con una balanza electrónica con una precisión de ± 1 mg. Se colocaron termopares de tipo T en los puertos de entrada y salida del desorbedor/condensador y del PHE. Se utilizó una unidad de adquisición de datos Agilent (6½ dígitos) y el software Agilent HP Vee Pro para generar una interfaz de medición de temperatura.

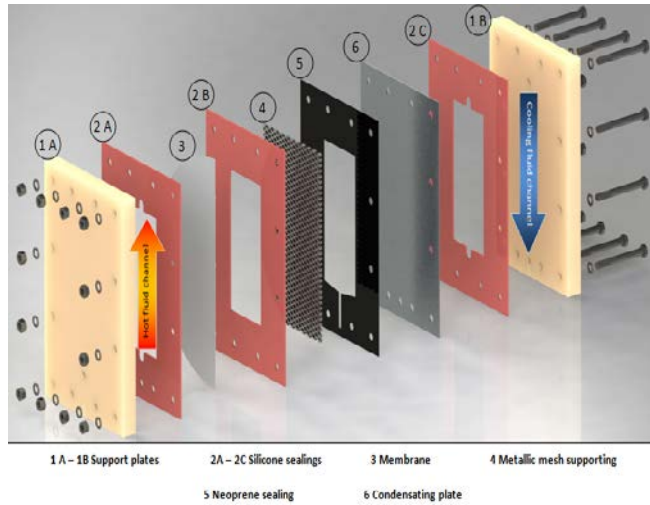


Figura 2. Diagrama esquemático del desorbedor/condensador experimental.

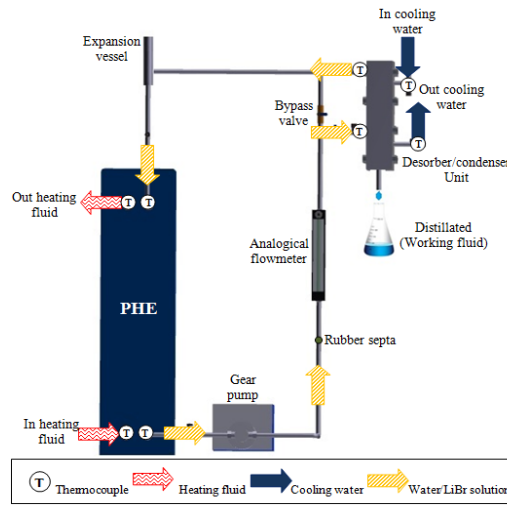


Figura 3. Diagrama esquemático del circuito experimental.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran las condiciones de operación de las prueba experimentales, la concentración se mantuvo constante a 45.68 ± 0.34 % w/w de LiBr en solución acuosa. El área efectiva de transferencia de calor y masa del desorbedor/condensador experimental es de $1.44E-2$ m².

Tabla 1.- Caudales máxicos y temperaturas promedio de las pruebas experimentales

m (kg/s)	T _{LiBr, prom} (°C)	T _{Cooling, prom} (°C)
1.54E-02	73.92	16.21
	83.32	17.94
	93.10	18.80
1.93E-02	73.99	16.98
	83.51	18.19

	93.38	19.29
2.32E-02	74.02	17.28
	83.86	19.03
	93.59	20.32

La fuerza impulsora del proceso de desorción (ΔT) se define como la diferencia de temperaturas promedio de los canales de alta temperatura (canal de LiBr) y de baja temperatura (canal de agua de enfriamiento):

$$\Delta T = T_{LiBr\ prom} - T_{Cooling\ prom}$$

La Figura 4 muestra la producción de fluido refrigerante como función de ΔT . Se observa que la producción de refrigerante aumenta con cada incremento del caudal másico y con el aumento de ΔT . La producción de refrigerante fue de hasta 16% mayor con el caudal más alto con respecto al caudal másico más bajo cuando ΔT fue aproximadamente 74°C, mientras que la producción de refrigerante se incrementó 5% con el caudal másico más alto respecto al caudal másico más bajo cuando ΔT fue aproximadamente 57°C.

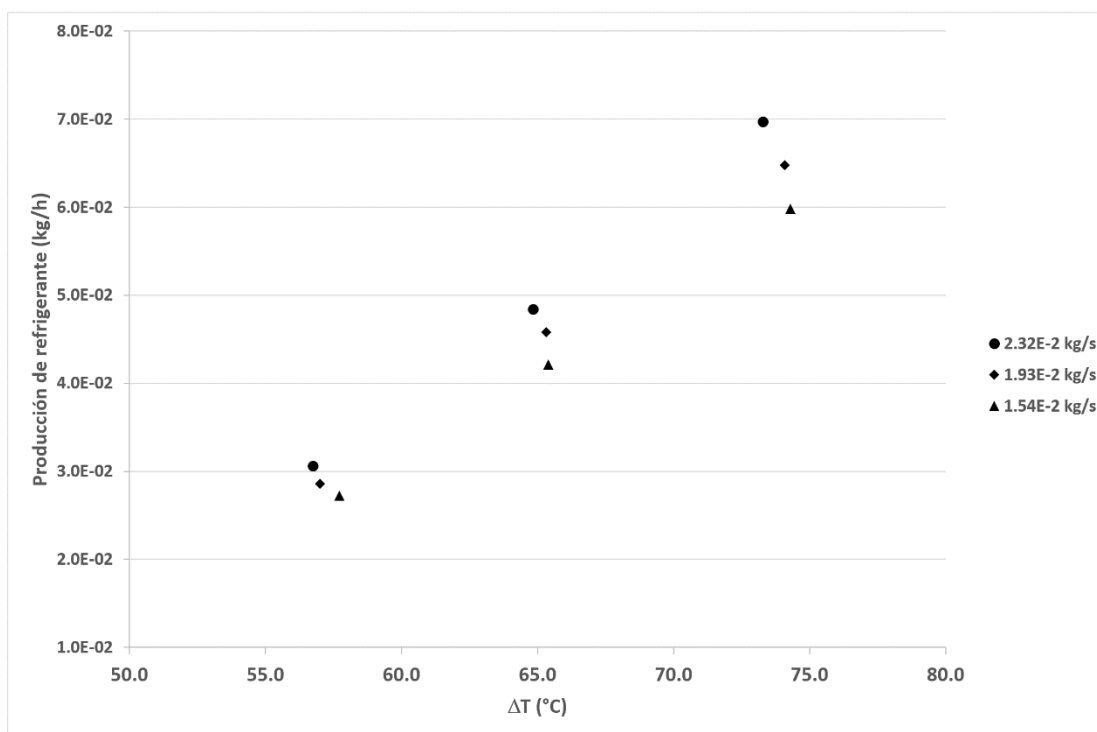


Figura 4. Producción de refrigerante como función de ΔT .

CONCLUSIONES

En este trabajo, un desorbedor/condensador basado en el proceso de destilación por membrana con espaciado de aire (AGMD) fue evaluado con mezcla agua/LiBr para aplicaciones en sistemas de absorción. Se evaluaron 9 condiciones experimentales: 3 de temperatura y 3 de flujo másico a una concentración constante de 45.68 ± 0.34 % w/w de LiBr en solución acuosa. Los resultados muestran que la producción de fluido refrigerante se incrementa a medida que la fuerza impulsora del proceso aumenta. El proceso de desorción se llevó a cabo a presión atmosférica, lo que demuestra la factibilidad de éste prototipo para aplicaciones en bombas de calor por absorción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto CeMIE-Sol P09 “*Desarrollo de sistemas de enfriamiento operados con energía solar*”.

BIBLIOGRAFÍA

1. J. Ibarra-Bahena, U. Dehesa-Carrasco, M. Montiel-González, R.J. Romero, M.A. Basurto-Pensado, O. HernándezCristóbal, Experimental evaluation of a membrane contactor unit used as a desorber/condenser with water/Carrol mixture for absorption heat transformer cycles,

U. Dehesa-Carrasco, C.A. Pérez-Rábago, C.A. Arancibia-Bulnes, Experimental evaluation and modeling of internal temperatures in an air gap membrane distillation unit, Desalination.

SÍNTESIS DEL MATERIAL COMPUESTO POLIANILINA SAL EMERALDINA/PVA/QUITOSANO

Calixto-Olalde Ma. Elena, García Flores Carlos Antonio, Martínez Gallegos Israel, Arenas Arrocena Ma Concepción

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Departamento de Ingeniería en Materiales

Escuela Nacional de Estudios Superiores, UNAM, Unidad León.

RESUMEN

La poli anilina (PANI) es de gran interés, en el área electrónica y energía pero su baja solubilidad en medio acuoso y su incapacidad para formar películas por sí misma sin un soporte o sustrato limita sus aplicaciones. El objetivo de este trabajo fue preparar materiales compuestos a partir de polímeros con propiedades filmogénicas, mecánicas y biodegradables; polialcohol vinílico y quitosano. Se considera que el quitosano en bajos porcentajes favorece la dispersión de la polianilina en la matriz quitosano-poli alcohol vinílico. Las películas fueron obtenidas mediante la polimerización oxidativa *in situ* de anilina con persulfato de amonio en medio ácido (HCl) y en presencia de polialcohol vinílico (0.5g) y quitosano en porcentajes de 0.025, 0.15, 0.25, 0.5, 0.75 wt%. Después de 1 h de reacción, la solución se sonicó con una sonda para mejorar la dispersión de la PANi en la matriz. La solución fue vaciada en cajas Petri de poliestireno y secadas a 28°C durante 24 horas. Las películas fueron lavadas con solución de HCL. La composición de la película se evaluó por FTIR, se encontró la presencia de los tres componentes que fueron mezclados de forma homogénea conforme a los resultados por TGA. El módulo de elasticidad se incrementó de 145 a 230 MPa conforme al aumento de quitosano. Las películas fueron conductoras, 0.0125 S/cm, hasta valores de 0.025% de quitosano y mejoró la dispersión de la PANi conforme a lo evaluado por SEM. Los valores de conductividad y propiedades mecánicas, hacen al material potencialmente aplicable como antiestático en electrónica.

INTRODUCCIÓN

La poli anilina (PANI), es uno de los polímeros conductores más exhaustivamente estudiados, ha recibido gran atención debido a su alta conductividad eléctrica, fácil reproducibilidad, estabilidad ambiental y térmica, almacenamiento de energía, propiedades electroquímicas, así como su bajo costo [1]. Sin embargo, presenta una mayor rigidez e insolubilidad que los polímeros clásicos, lo cual limita su amplia gama de aplicaciones y en busca de superarlo se utiliza la preparación de materiales compuestos. Los materiales compuestos permiten combinar propiedades que no presentan por sí mismos [2]. El material compuesto de polianilina y quitosano (Q), presenta buenas propiedades tanto conductoras como de biocompatibilidad. Así mismo, se ha encontrado que el PVA actúa como un estabilizador y además favorece la formación de películas al poseer propiedades filmogénicas, al igual que el quitosano, también se ha encontrado que el PVA puede actuar como un surfactante. Por lo cual el presente trabajo tiene como objetivo realizar la preparación de películas de PANI incorporando PVA y quitosano en bajas concentraciones, para mejorar la dispersión y mezcla de los componentes presentes en el material compuesto [3].

TEORÍA

Materiales compuestos

Un material compuesto es un sistema de materiales formado por dos o más fases físicas distintas, cuya combinación produce propiedades conjuntas que son diferentes de las de sus constituyentes. Las propiedades están en función del tipo de materiales que se combinen.

Polímeros conductores

Constituyen una clase de materiales con propiedades novedosas, que conducen a nuevas direcciones en la electrónica y la ciencia de los polímeros. Generalmente los polímeros son materiales conocidos como aislantes, utilizados con mayor frecuencia en la industria eléctrica y electrónica. Los polímeros conductores son materiales que tienen a lo largo de su estructura enlaces simples (carbono-carbono) y dobles (C=C) alternados con hibridación sp^2 , formando así mediante el traslape de los orbitales sp^2 un enlace sigma (σ), mientras que los orbitales p no enlazados se solapan y dan lugar a enlaces (π). Se establece, que una relación entre la estructura-conductividad del material, observándose que las moléculas que presentan estructuras con enlaces dobles y sencillos alternándose a lo largo de la cadena, es decir, sistemas con electrones π conjugados, poseen propiedades electrónicas tales como baja energía de transición, bajos potenciales de ionización y alta afinidad electrónica. Los electrones π ocupan orbitales que se traslapan a lo largo de la cadena del polímero, formando bandas continuas que proporcionan una vía para el transporte de carga eléctrica [4]. Algunos de los polímeros más utilizados son; poliacetileno, polipirrol, politiofeno, poliparafenileno y polianilina con conductividades eléctricas de 1.7×10^5 , 7.5×10^3 , 1×10^3 , 1×10^3 , 1×10^2 S/cm respectivamente

La teoría de bandas indica en que rango se ubican los diferentes materiales según su banda prohibida, los polímeros conductores están en el ramo de los semiconductores. Existen polímeros conductores intrínsecos y extrínsecos. Los polímeros intrínsecos son aquellos cuya conducción eléctrica no están controladas por los dopantes, es decir, las moléculas de estos polímeros son capaces de conducir la electricidad sin la presencia de impurezas [5]. El principal problema de estos materiales es su baja solubilidad en medios acuosos, en otras palabras, su procesabilidad es complicada para darle una aplicación potencial en las diferentes industrias como la electrónica. Los extrínsecos son aquellos que mediante el dopaje incrementan su conductividad.

PARTE EXPERIMENTAL

Reactivos

Anilina (99%), persulfato de amonio (APS, 99%), alcohol polivinílico (PVA, M_w de 89 000-99 000 g mol⁻¹), ácido clorhídrico (HCl, 37%), ácido acético (CH₃COOH), quitosano (78% grado de desacetilación y peso molecular medio), todos obtenidos de Sigma-Aldrich

Preparación de películas

Se sintetizaron películas de polianilina (PANi) mediante polimerización química oxidativa de monómero anilina. Como primer paso, se agregaron 0.5 g de PVA previamente disuelto en agua destilada a 70°C, en una solución de ácido clorhídrico (HCl, 0.75M). Después de 30 minutos en agitación magnética se adicionó quitosano previamente disuelto en ácido acético (CH₃COOH, en porcentajes en peso de; 0.025%, 0.15%, 0.25%, 0.5%, 0.75%. Posteriormente se agregaron 0.18 ml de monómero anilina controlando la temperatura de 0 a 5 °C. El (APS) persulfato de amonio ((NH₄)₂S₂O₈), se utilizó como agente oxidante disuelto en 3 ml de agua destilada, se goteó lentamente en la solución (10 gotas/min), lo anterior para tener un control en la reacción de polimerización. Se dejó reaccionando 1 hora en agitación magnética, para después, someter la

solución a una sonda de ultrasonido durante 1 hora, ya que se pretende mejorar la dispersión de la polianilina en la matriz de PVA con el uso de este equipo de ultrasonido. Para obtener una polimerización completa de la anilina se deja la solución durante 24 horas en agitación magnética. Al final del proceso se vaciaron 7 ml de la solución obtenida en cajas Petri y se realizó un secado de las películas a 28 °C en una incubadora durante 24 horas.

Caracterización

Espectroscopía infrarroja (FT-IR).

Las pruebas se llevaron a cabo mediante el accesorio Attenuated Total Reflectancia (ATR) del equipo Perkin Elmer modelo SpectrumRX I, ya que las películas son opacas, es decir, no transmiten la luz. Las muestras fueron cortadas en cuadrados de de 1x1 cm.

Análisis termogravimétrico (TGA).

El análisis se lleva a cabo en un SDT Q600 de TA Instruments, en la prueba se utilizó el crisol de alúmina, en un intervalo de temperatura 25- 900 °C, velocidad de calentamiento de 10 °C/min.

Microscopía electrónica de barrido (MEB).

La morfología de las películas fue analizada en un microscopio de barrido de electrones, Marca Hitachi modelo SU1510 voltaje de 25 kV.

Pruebas mecánicas.

Para realizar las pruebas mecánicas se usó el equipo SHIMADZU (AGS-X 10 kN) que se encuentra en el laboratorio de análisis de materiales en Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, las dimensiones en las películas del compuesto (PANi/PVA/QT) fueron 2 x14 cm

Conductividad

Para evaluar la conductividad eléctrica se utilizó el equipo Loresta-GP MCP-T610, cortando las películas en 3x3 cm (n=3).

RESULTADOS

Se lograron obtener películas adecuadas utilizando 0.1 g de poli alcohol vinílico, aumentando su flexibilidad con respecto al quitosano puro. Se optimizaron las condiciones de secado 28°C durante 24 horas dentro de una incubadora. En la Figura 1, se muestran las películas obtenidas, se encontró que las cajas de poliestireno fueron más adecuadas, considerando que los grupos amino del quitosano interactúan con el vidrio

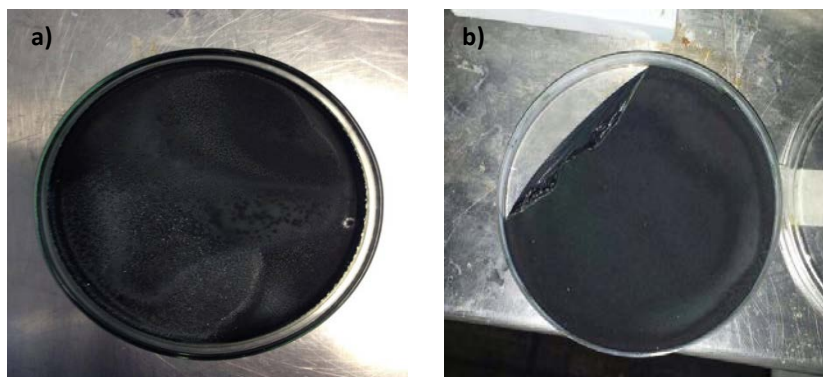


Figura 1. Películas de vaciadas en cajas de vidrio (a) y de poliestireno (b)

La caracterización por espectroscopía infrarroja mostró las bandas características de los materiales presentes en el material compuesto, utilizando un rango de número de onda de $700\text{-}2000\text{ cm}^{-1}$ y de $700\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$. En la Figura 2 y 3, se muestran de manera detallada las bandas de interés para identificar las vibraciones de los enlaces, por ejemplo: a 1590 cm^{-1} se encuentra la banda característica de la vibración del enlace doble C=C del anillo quinoide y a 1490 cm^{-1} la banda del mismo enlace, pero del anillo bencenoide.

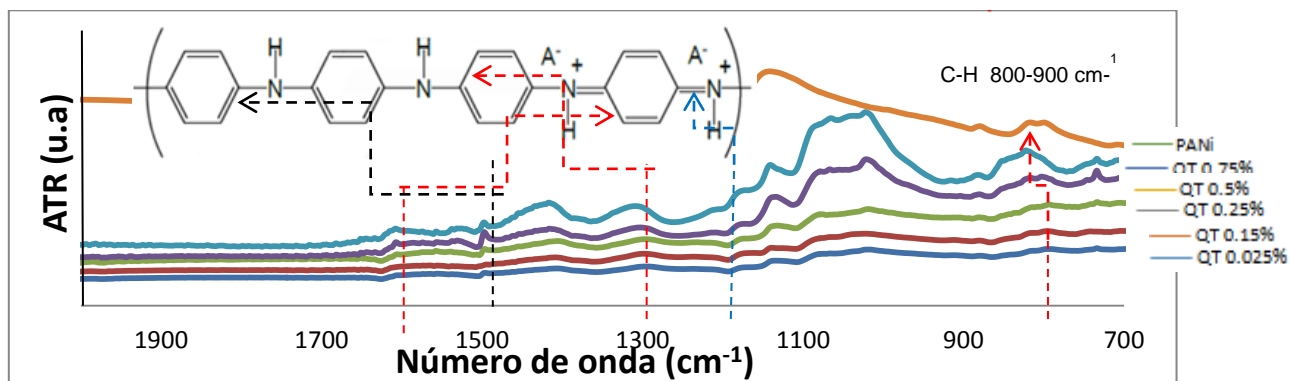


Figura 2. Espectros de FTIR de la polianilina, del material compuesto y sus diferentes concentraciones de quitosano QT, respectivamente.

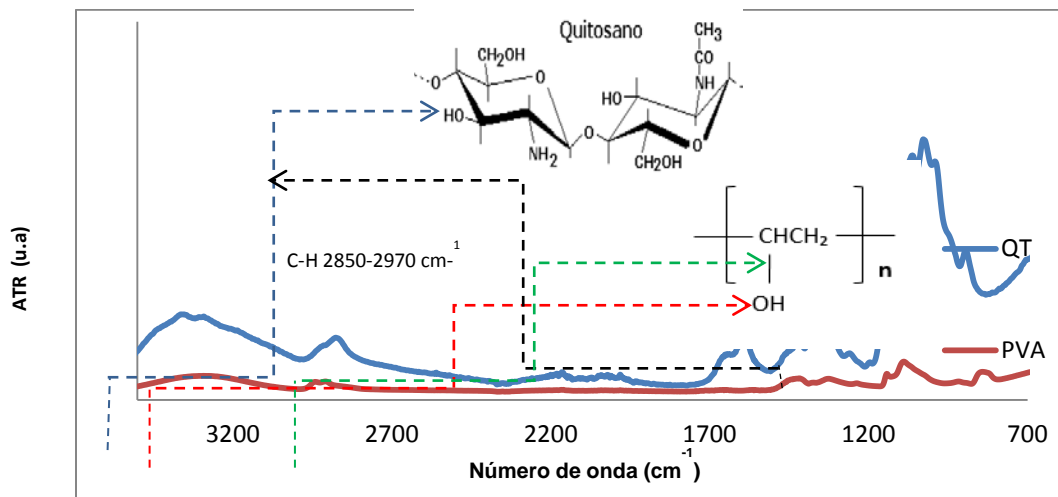


Figura 2. Espectros de FTIR del quitosano y alcohol polivinílico.

Análisis termogravimétrico (TGA)

Mediante este análisis se determina la estabilidad térmica de los materiales, la cual esta en función de su composición. La mezcla de PVA y Pani presenta una disminución en la temperatura de inicio de perdida de peso. Espectros no mostrados en este trabajo. Para las diferentes composiciones de quitosano mostraron un comportamiento muy similar.

Análisis de conductividad eléctrica.

Las pruebas de conductividad por el método de 4 puntas reveló que al ir incrementando la concentración de quitosano dentro del compósito, la conductividad fue disminuyendo, lo que nos dice que el quitosano tiene un efecto negativo en la conductividad eléctrica del material, es decir, la conductividad decrece de manera lineal en función que se incrementa el quitosano. El quitosano es un material aislante, por lo tanto, incrementa la resistividad del material. Cabe mencionar que a concentraciones mayores a 0.5% de QT la conductividad cae drásticamente cuatro órdenes de magnitud en comparación con la conductividad de PANi/PVA por sí sola, como se muestra en la Figura 3. Así mismo, se tomó como referencia la conductividad de la película de Polianilina/PVA, para poder hacer una comparación con la conductividad de las películas con las diferentes concentraciones de quitosano.

Efecto del contenido de quitosano sobre la resistencia a la tensión de las películas

El ensayo de tensión demostró que a mayores concentraciones de quitosano (Tabla 1) la resistencia a la tensión y el módulo elástico aumenta, lo que resulta favorable para el compósito, esto se le atribuye principalmente a que el quitosano presenta mayor rigidez que el alcohol polivinílico, esto favorece en gran medida al compósito, ya que, se puede tener controlada su resistencia y módulo elástico dependiendo de la cantidad de quitosanos que se le agregue, además de favorecer su dispersión.

Tabla 1. Datos recabados de los ensayos de tensión

Muestra	Módulo elástico (MPa)	Resistencia a la tensión (N)
0	145.01	6.89
0.15	161.22	8.44
0.25	183.34	9.33
0.5	230.61	12.45

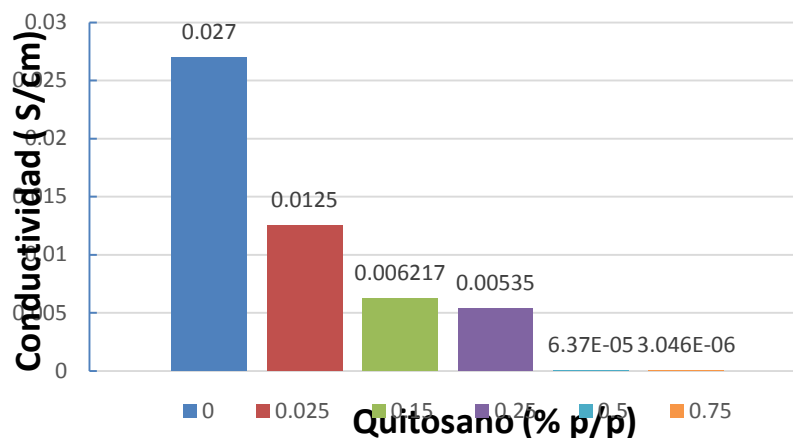
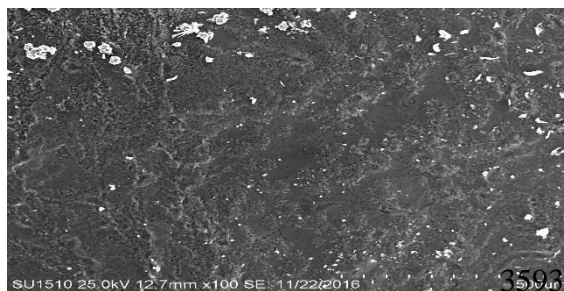


Figura 3 Conductividad eléctrica en función de la concentración de quitosano.

Análisis de imágenes de Microscopia de Barrido Electrónico (MEB).

Los resultados de microscopía permitieron determinar que el quitosano favorece la dispersión de los componentes. Con respecto a la película de PANI/PVA, Figura 4-a, se observan varias fases de diferente tonalidad y también se ven aglomerados de hasta 200µm, conforme se incrementó el contenido de quitosano dicho precipitado comienza a disminuir de tamaño y por lo tanto, la morfología de la película se torna más homogénea. Se puede señalar que el efecto del quitosano sobre la dispersión de la polianilina es positivo, sin embargo este efecto no se refleja en los resultados de conductividad eléctrica.



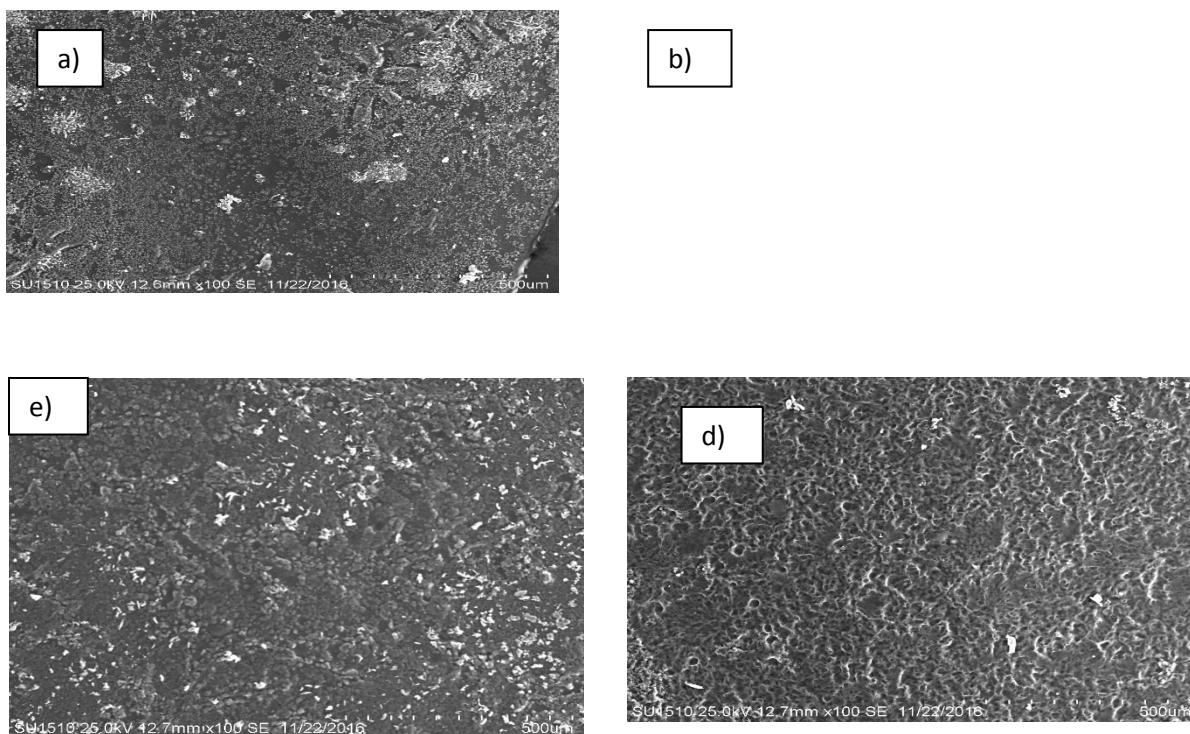


Figura 4. Micrografías a) PANi/PVA, b) Q T0.025%, c) QT 0.15%, d) QT 0.25%,

CONCLUSIONES

Las películas del material compuesto PANi/PVA/QT, mostraron un comportamiento conductor, sin embargo, la conductividad eléctrica del material decrece a medida que aumenta la concentración de quitosano.

A concentraciones menores del 0.25% de quitosano en el material compuesto PANi/PVA/QT presenta una conductividad y propiedades mecánicas adecuadas para aplicaciones biomédicas (biosensores).

El quitosano tuvo un efecto positivo sobre las propiedades mecánicas del material compuesto, ya que a mayores concentraciones de quitosano, las películas exhiben una resistencia a la tensión mayor, se le atribuye principalmente a que la rigidez del quitosano es mayor a del PVA.

Las imágenes MEB revelaron que a una concentración de 0.25% de quitosano se favorece la dispersión de los materiales en la matriz de PVA, pero con porcentajes mayores 0.5% se comienza a formar un precipitado en la superficie del material de mayor tamaño.

BIBLIOGRAFÍA

1. R. Young. "Polymer composites", in *Introduction to Polymers* (Manchester, United kingdom: CRC Press, 2013), pp: 591 a 610
2. M. Kaneko and H. Nakamura, "Photoresponse of a liquid junction polyaniline film," *Journal of the Chemical Society, Chemical Comications*, 1985, no,6, pp. 346-347.

3. A. Hernández Zamudio, E. Saavedra Arroyo, M.E Calixto-Olalde. "Modificación de las propiedades físicas del Quitosano mediante la interpenetración con polialcohol vinílico y reforzamiento con Montmorillonita-Na⁺". *Memorias del congreso internacional de metalurgia y materiales*. Saltillo Coahuila, 2015, México. Pp: 456-461
4. J. Osorio, (2009), "Compósitos de polianilina/alcohol polivinílico codopados con ácido clorhídrico y ácido canforsulfónico", *Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Politécnico Nacional*.
5. K. Bakhshi, G. Bhalla, "Electrically conducting polymers: Materials of the twentyfirst century", *Department of Chemistry, University of Delhi, Delh, 2004*.

ERGONOMIA Y PRODUCTIVIDAD EN EL DESEMPEÑO DOCENTE EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Raquel Muñoz Hernández

Universidad Politécnica del Valle de México

RESUMEN

El estudio se realizó en una institución de educación superior del Estado de México, en ella se analizan factores relacionados con la Productividad del desempeño docente y la Ergonomía Organizacional, para identificar si existe incidencia entre ellos para un incremento o decremento de la Productividad. El Método Estadístico aplicado fue el Análisis de regresión entre la productividad del desempeño docente (Variable suma de productos ya que en forma conceptual se expresa como la producción de recursos por unidad de tiempo), de las Variables de la Ergonomía Organizacional y para darle sustento explicativo a las variables, se utiliza una matriz de correlaciones entre las variables y los Método Ergonómicos Rula y OWAS. Otro aspecto importante para realizar esta investigación fue la carencia de personal capacitado en ergonomía y en especial su vinculación con la educación.

Para su análisis se identificaron 25 variables agrupadas en tres dimensiones: Ergonomía del factor humano, ergonomía física y ergonomía ambiental, las cuales conforman la ergonomía organizacional, de tal manera que en los resultados se encontró que el alcance de la misma impacta en el desempeño académico en la educación superior y esto se puede verificar los estudios de ANOVA, encontrando gran significancia estadística entre las variables, dando lugar a un modelo de correlación multifactorial entre la ergonomía organizacional y la productividad en el desempeño académico con un coeficiente de determinación del 0.87; es decir la Ergonomía Organizacional incide en el 87% en la productividad del desempeño docente.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los avances tecnológicos se desarrollan vertiginosamente que es muy difícil abstenerse del uso de nuevo equipos e innovaciones, sin embargo hay factores que no cambian y es justamente la naturaleza del ser humano en su vulnerabilidad física y emocional en el desempeño de cualquier tipo de actividad que desarrolle.

La educación es fundamental en el desarrollo de un país y existen elementos multifactoriales que determinan la eficiencia y productividad en los entornos de aprendizaje, donde el ambiente de trabajo y las condiciones de seguridad cobran especial relevancia. Las instituciones educativas son el entorno en que muchas personas trabajan y por tanto resultan espacios propicios para el análisis de los aspectos ergonómicos.

Los docentes no son la excepción, sin embargo es poco estudiado su espacio de trabajo en dónde se requiere el uso de tecnologías y en ocasiones puede ser que no se haya contemplado en su

diseño criterios ergonómicos, y existe el riesgo a corto, mediano o largo plazo de sufrir malestares físicos o psicosociales, disminuyendo la eficacia y productividad laboral.

El término ergonomía proviene de las palabras griegas *ergon* (trabajo) y *nomos* (ley, norma o doctrina); la primera referencia a la ergonomía aparece en el libro "*Compendio de Ergonomía*" del polaco Wojciech Jastrzebowski (1857). (Mondelo, 1999).

La International Ergonomics Association (IEA), define la ergonomía como "la disciplina científica que se ocupa de la comprensión de la interacción entre los seres humanos y los demás elementos de un sistema", entre los objetivos de la ergonomía está contemplado el logro de la satisfacción en el trabajo, considerando las responsabilidades, actitudes, creencias y valores para el desarrollo personal así como las "diferencias individuales y culturales". (IEA, 2016).

Con base en lo anterior, surgió el interés por realizar el presente trabajo en una institución de Educación Superior, con la finalidad de conocer la situación laboral que prevalece en los trabajadores y se enfoca principalmente productividad del desempeño docente y los factores Ergonómicos, por considerar que esta disciplina está poco explotada en México y más aún en el sector educativo, donde aparentemente, los profesores no están expuestos a riesgos en su ámbito laboral.

La productividad en el ámbito educativo, es el desarrollo de destrezas metodológicas y agrupación de esfuerzos alrededor de sistemas de objetivos, planes, tecnologías, estructura de procesos y controles entre otros, enmarcados en significativos análisis de las demandas sociales. La eficiencia en el desempeño docente, es definida con relación al financiamiento destinado a la educación, la responsabilidad en el uso de éste, los modelos de gestión institucional y de uso de los recursos.

La productividad adquiere características específicas dependiendo del tipo de trabajo que se trate, en el ámbito de la educación: más horas de clase, mayor número de publicación de artículos, de libros o capítulos de libro, conferencias, participación en la gestión universitaria, entre otras actividades. (Martínez, Méndez y Zuñiga, 2011).

En la presente investigación se aborda el tema de la productividad en la educación superior desde la perspectiva de la ergonomía organizacional en el marco del análisis del trabajo en docentes universitarios, y el procedimiento para el diagnóstico y pronóstico de sus efectos, así como su valor metodológico en la Institución de educación Superior, considerando el contexto físico y el contexto Organizacional, para identificar su incidencia en la productividad y eficiencia del desempeño docente. (Carrasquero y Seijo, 2009).

Los riesgos disergonómicos provocan gran parte de las lesiones en la espalda, desgaste anormal de las articulaciones y los músculos, síndromes del túnel carpiano, tendinitis, trastornos gastrointestinales y cardiovasculares, entre otros; Fatiga física no recuperable e incrementa los efectos dañinos de otros contaminantes, ya que por fatiga se inhala mayor cantidad de aire. (Barba & Fernandez, 2014)

TEORÍA

La ergonomía organizacional es un enfoque de sistemas para el diseño de trabajo, y para su aplicación en las interfaces que regulan las relaciones entre los humanos y los trabajos, las máquinas, y los sistemas de comunicación. Es gracias a esta perspectiva de sistemas, que la

ergonomía organizacional puede abordar los factores humanos a lo largo de la organización y la interacción entre los subsistemas socio técnicos que la componen.

Los factores humanos o la ergonomía son contemplados por Niebel y Freivalds, (2004) en el diseño del trabajo, como una nueva disciplina que aborda el diseño de tareas, estaciones de trabajo y entorno laboral para ajustarla mejor al empleado. De acuerdo con la definición de ergonomía organizacional es una herramienta, método, o estrategia utilizada de la ingeniería de factores humanos. La base es adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta al diseño de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos, los métodos de trabajo y de producción.

La organización requiere de una eficiente administración de los recursos, disponible para lograr los resultados deseados en cada una de las etapas del proceso. Desde un enfoque sistémico, elevar la productividad requiere del esfuerzo y la combinación de los recursos materiales, humanos y financieros de una empresa. (Mercado, R., 1997).

El concepto de productividad es señalado por Cequea y Nuñez (2011) con una naturaleza multidimensional en la que influyen ciertas características del individuo, y que dicha influencia implica procesos psicosociales complejos de cuantificar que constituyen los factores humanos.

Mercado (1998), afirma que *“el tema de la productividad se ha convertido hoy día en algo común en las naciones que se esfuerzan por alcanzar un desarrollo tal que mejore el nivel de vida de su población, reduzca sus niveles de inflación, sane sus finanzas internas y externas, logre niveles de competencia internacional para enfrentar la globalización comercial e impulse su nivel tecnológico”*,

La productividad se relaciona directamente con las condiciones laborales, donde la ergonomía organizacional juega un rol de importancia, al buscar diseñar puestos de trabajo que eviten la fatiga y promuevan el mejor aprovechamiento de los recursos; considerando para ello el diseño de los equipos, del lugar de trabajo y la organización de las actividades; reduciendo así los costos de ausentismo por enfermedades ocasionadas a causa de las restricciones del trabajo.

Para la Institución, las consecuencias de tales alteraciones generan incapacidades, ausentismo, disminución en la calidad de los trabajos, pérdida de eficacia y eficiencia en la formación de futuros profesionales, repercusiones económicas y sociales; dando como resultado la disminución de la Productividad. (Méndez y Figueredo, 2011).

Según Prokopenko, J. (1995), es conveniente identificar los factores que afectan la productividad en tres grupos: Puesto de trabajo, Recursos y Medio ambiente.

Según Pando y otros (2007), la docencia es depositaria social de una función determinante, como lo es contribuir para asegurar que los jóvenes reciban una educación de calidad; además de realizar investigación, participar eventos científicos y publicar artículos de investigación, actualizarse permanentemente, entre otras actividades. Lo que por la multiplicidad de funciones genera una carga física y psíquica, desencadenante de estrés y de posibles alteraciones en su salud.

La selección del método de evaluación depende de factores que predominen y representen un mayor riesgo para quien realiza el trabajo, así como de la profundidad del análisis requerido en tiempo y de condiciones de análisis disponible. En forma general, la evaluación de condiciones de trabajo representa grandes ventajas por ser sencillos y rápidos que permiten evaluar la actividad en el sitio de trabajo sin tener que llevarla a cabo en un laboratorio con condiciones simuladas y controladas, que pueden ser diferentes a la situación real.

Para el presente estudio se aplicó el método RULA, que es el acrónimo de (Valoración Rápida de los Miembros Superiores). El método RULA fue desarrollado, con el objetivo de evaluar la exposición de los trabajadores a factores de riesgo que originan una elevada carga postural y que pueden ocasionar trastornos en los miembros superiores del cuerpo. Para la evaluación del riesgo se consideran la postura adoptada, la duración y frecuencia de ésta y las fuerzas ejercidas cuando se mantiene.

PARTE EXPERIMENTAL

En esta sección se muestra la forma en que se realizó la recolección de datos de las variables de estudio, para analizar la variable Ergonomía Organizacional desde la Ergonomía del Factor Humano, Ergonomía Física y Ergonomía Ambiental con relación a la variable dependiente Productividad, a través del método de análisis de estadística descriptiva e inferencial de las variables cuantitativas, utilizando el diagrama de dispersión, análisis de correlación, análisis de la varianza e inferencia estadística basada en la muestra en estudio. Adicionalmente se analizó de forma conjunta la información de las variables cualitativas y cuantitativas, que determinan el análisis. Se estudiaron las posibles relaciones entre las variables en estudio. Para profundizar en el análisis, es necesario determinar la forma concreta en que se relaciona y medir el grado de asociación, a través de su dimensionamiento.

La operacionalización se realiza en dos etapas, la Identificación de los componentes del concepto abstracto y los indicadores de la dimensión de las variables una vez que se han definido teóricamente los conceptos, los más complejos se desglosarán en dimensiones (áreas o aspectos específicos) que definen operativamente en variables.

Debido a que en la investigación se evalúan, condiciones ambientales y puestos de trabajo, la muestra se enfocó únicamente a los PTCs, por contar con las características requeridas; sin embargo, de ellos solo se consideró al 70%, debido a que la investigación se vio limitada por los tiempos de trabajo del personal.

Para el análisis ergonómico se aplicó el método RULA en posiciones específicamente en investigación e impartición de clases. Para la Ergonomía ambiental se realizaron mediciones y se referenciaron a las Normas Oficiales (NOM): para el ruido se aplicó la norma NOM-011-STPS-1993, para la temperatura aplico la norma NOM-015-STPS-2001 y la norma para la evaluación de luz NOM-025-STPS-2008, se utilizaron sensores temperatura, de luz, y de ruido, los cuales se muestran en la Figura 1.

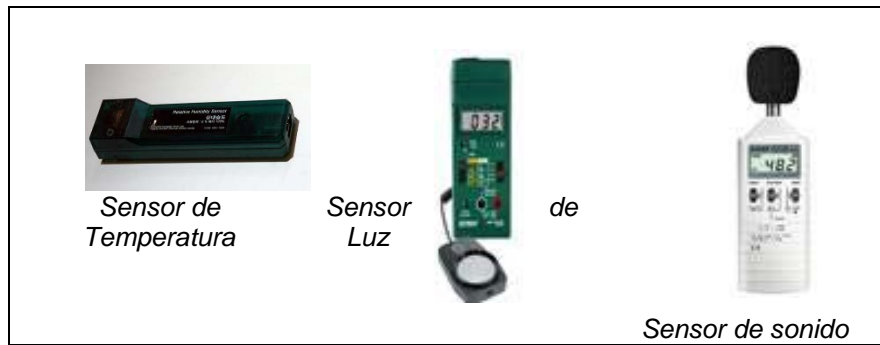


Figura 1. Sensores de condiciones ambientales

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis estadístico, se aplicó el programa IBM SPSS Statistics Base 20, utilizando el modelo de regresión lineal múltiple, con los métodos pasos sucesivos, hacia atrás, adelante, y se examinaron las variables Ergonomía y Productividad, se muestran las variables excluidas del modelo.

RESULTADOS

El propósito del análisis es determinar si existe alguna relación (lineal) entre la Ergonomía del factor humano y la productividad del desempeño docente en la muestra de estudio.

Para lo cual, se plantea la siguiente **hipótesis**:

H₀: Las variables de la ergonomía son independientes de la productividad del desempeño docente.

H₁: Las variables de la ergonomía no son independientes de la productividad del desempeño docente.

La regla de decisión para SPSS, es rechazar **H₀** si el nivel de significación es menor que 0.05 (Castañeda, Cabrera, Navarro y Wietse, 2010).

Se llevó a cabo el análisis de Varianza y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 15 Indicadores del modelo 1, del coeficiente (*r* y *r*²).

Fuente: Elaboración propia.

Resumen del modelo^a

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error tip. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	.449 ^a	.202	.174	8,123	.202	7,321	1	29	.011
2	.574 ^b	.329	.282	7,576	.128	5,339	1	28	.028

a. Variables predictoras: (Constante), Edad

b. Variables predictoras: (Constante), Edad, sexo

c. Variable dependiente: Productividad

En el análisis de varianza el nivel de significación es de 0.507, que es mayor a 0.05, por lo tanto, no se rechaza **H₀** con un nivel de confianza del 95% para el rango de valores observados, es decir,

las variables de estudio son independientes. A continuación se muestra la Tabla 2 de estadístico de muestras relacionadas.

Tabla 16 Estadístico de muestras relacionadas.

Fuente: Elaboración propia.

		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	Ergonomía Humana	9,77	31	1,146	,206
	Productividad	57,90	31	8,938	1,605
Par 2	Ergonomía Ambiental	6,81	31	1,905	,342
	Productividad	57,90	31	8,938	1,605
Par 3	Ergonomía Física	13,10	31	2,797	,502
	Productividad	57,90	31	8,938	1,605
Par 4	Ergonomía	29,16	31	2,841	,510
	Productividad	57,90	31	8,938	1,605

Posteriormente se llevó a cabo en análisis multivariable de Regresión Lineal y los resultados se muestran en la Tabla 17.

Tabla 3 Correlaciones de muestras relacionadas.

Fuente: Elaboración propia.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
Constante	-6,738	14,165		-,476	,638
Ergonomía Ambiental	,886	,745	,166	1,190	,544
Ergonomía Física	3,735	,702	,690	5,321	,512
Ergonomía Humana	1,203	1,192	,141	1,009	,522

a. Variable dependiente: productividad

$$\hat{Y} = 0.886 X_1 + 3,735 X_2 + 1,203 X_3 - 6,738 \dots (1)$$

La ecuación de regresión de mejor ajuste para un conjunto de datos es necesario considerar que el símbolo utilizado para representar la variable independiente es X.

Siendo \hat{Y} = valor estimado de la variable dependiente.

Siendo la ecuación de regresión: $\hat{Y} = a + b X_i$

Dado que X_i = Variable independiente.

Donde X_i corresponde a:

X_1 = Ergonomía Ambiental

X_2 = Ergonomía Física

X_3 = Ergonomía del Factor Humano

\hat{Y} = Productividad del desempeño académico

CONCLUSIONES

Para esta investigación, se realizó el planteamiento de si existía relación entre la Ergonomía Organizacional, y la productividad del desempeño académico en la Educación Superior; es decir si tenía incidencia en la productividad. Para su análisis se identificaron 25 variables agrupadas en tres dimensiones: Ergonomía del factor humano, ergonomía física y ergonomía ambiental, las cuales conforman la ergonomía organizacional, de tal manera que se encontró que el alcance de la misma impacta en el desempeño académico en la educación superior y esto se puede verificar con la relación del análisis realizado, de las variables (X_n) que obtuvieron mayor grado de significancia estadística son: Las tres variables anteriores son las que condicionan la ergonomía organizacional e inciden en el desempeño académico en la educación superior.

El modelo indica que por cada unidad de incremento en la variable ergonomía ambiental (X_1), la productividad en el desempeño docente se incrementa en 8.886; por cada factor de la Ergonomía física en el puesto de trabajo que no se corrija (X_2), la productividad en el desempeño docente se reduciría en 3,735 unidades; por cada elemento de los factores psicosociales de la ergonomía del factor humano que no se cumplan (X_3), se reduciría la productividad en el desempeño docente en 1,203 puntos.

Cabe destacar la falta de conocimiento sobre ergonomía que prevalece en México y el lugar que ocupa a nivel mundial y el aspecto de la legalidad y Normatividad tan necesarias para la implementación de programas preventivos y para un diseño ergonómico no tan solo en el aspecto físico, sino también en el organizativo y en factores psicosociales para la generación de ambientes más sanos y por consecuencia más productivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. G. Evans, "Perspectiva on the development of high-toughness ceramics", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 73, 2, 1990, pp. 187-206.
2. Carrasquero, E., & Seijo, C. (2009). La ergonomía organizacional y la responsabilidad social inclusiva y proactiva: Un compromiso dentro de los objetivos de la organización. *Clío América*, (1) 183 - 192.
3. Castañeda, M., Cabrera, A., Navarro, Y. & Wierse, D. (2010). *Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS*. Porto Alegre: Edipucrs.
4. Cequea, M., & Núñez M. (2011). Factores humanos y su influencia en la productividad. *Revista Venezolana de Gerencia*, 16(53) 116-137.
5. IEA. (8 de Octubre de 2016). Asociación Internacional de Ergonomía. Recuperado de Asociación Internacional de Ergonomía: <http://www.iea.cc/whats/index.html>
6. Martínez, S., Méndez, I., & Murata, C. (2011). Becas, estímulos y sus consecuencias sobre el trabajo y la salud de docentes universitarios. *Reencuentro*, 56-67.
7. Méndez, E., Figueredo, C., Chirinos, E., Goyo, A. & Rivero, R. (2011). Cultura preventiva del riesgo laboral del docente Universitario. *Multiciencias*, 11(1) 44-49.
8. Mercado, R. & Flores, D. (1997). *Productividad: base de la competitividad*. México. Limusa.
9. Mondelo, G. P. (1999). *Ergonomía 1 Fundamentos*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
10. Niebel, B. & Freivalds, A. (2004). *Ingeniería Industrial. Métodos, Estándares y Diseño del trabajo*. Colombia. Editorial Alfaomega.
11. Pando, M., Aranda, C., Preciado, L., Franco, S., & Salazar, J. (2006) Validez y confiabilidad del inventario de violencia y acoso psicológico en el trabajo. *Revista Enseñanza e Investigación en Psicología*, 11(2) 319-332.
12. Prokopenko, J. (1989). *La Gestión de la Productividad*. Manual Práctico. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
13. T. Kreis, "Speckle Metrology," in *Holographic Interferometry* (Akademie Verlag Inc., New York, NY, 1996), Chapter 4, pp. 125-149.

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC DE SIX SIGMA EN EL GABINETE CAPFCE 2X32 C-22 PARA LA MEJORA CONTINUA

Alicia Lizbeth Sánchez Hernández, Héctor Domínguez Martínez , Miguel Ángel Rodríguez Lozada, José Adrián Trevera Juárez

Instituto Tecnológico de Apizaco

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en una empresa dedicada a la fabricación del gabinete CAPFCE 2x32W C-22 el cual, por demanda requiere reducir su tiempo de fabricación, se decide implementar la metodología DMAIC de Six sigma comenzando por analizar las áreas mediante el mapa de proceso, donde el área de mayor problema es “integrado” pero dentro de esta se derivan más actividades y con el diagrama de flujo se decide que la acción a estudiar sea desdoblado de cabecera, comenzando con el estudio estadístico se realiza la toma de tiempo en los operadores que están encargados de la actividad, se utiliza el programa Minitap para definir el análisis de la capacidad del proceso, se determina el nivel sigma y se propone una solución que es el uso de un poka yoke realizando pruebas de error, que nos ayude a desdoblar la lámina de una manera más rápida, con menor esfuerzo y mayor precisión para controlar el proceso se estará monitoreando continuamente por medio de graficas de control.

INTRODUCCIÓN

Este es el caso de estudio de una empresa en el estado de Tlaxcala que se dedica a diseñar, fabricar y distribuir productos para iluminación fluorescente y de Led.

Quién decidió implementar un sistema de mejora continua en sus procesos mediante la metodología de Six Sigma, ya que es un proceso disciplinado que nos ayuda a enfocar, y llegar cerca de la perfección, que nos permite medir que tanto se desvía de nuestro proceso y ofrece el uso de herramientas estadísticas para poder estimar sistemáticamente como eliminarlos y llevarlos lo más cerca posible a cero defectos.

La aplicación se realizó en el área de integrado, actividad “desdoblado de cabecera”, la cual generaba el cuello de botella, y por lo tanto presentaba el mayor desperdicio. El desarrollo fue de acuerdo a las cinco fases de DMAIC.

TEORÍA

Es trascendental conocer los conceptos teóricos pilares del estudio que servirán para formular y desarrollar la presente investigación. Se consideran para tal efecto las temáticas de Metodología DMAIC de Six Sigma y Desperdicios.

Definición de metodología DMAIC de Six Sigma

DMAIC, es una metodología la cual comprende una estrategia de 5 pasos estructurados de aplicaciones generales, son los siguientes:

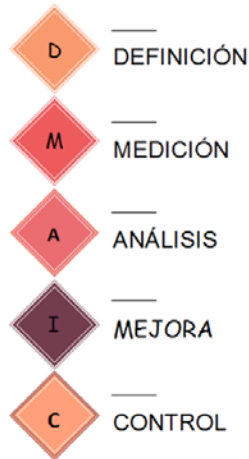


Figura 1. Pasos de la metodología DMIC Six Sigma

Fase uno definir: El propósito de la Fase de Definición es refinar la comprensión que tiene el Equipo del Proyecto del problema que se va a tratar, se utilizara para saber quiénes son los clientes y definir sus necesidades y expectativas.

Fase de medición: El propósito de la Fase de Medición es establecer técnicas para la recolección de información acerca del desempeño actual que destaque las oportunidades del proyecto y proporcione una estructura para monitorear las mejoras subsecuentes.

Fase de análisis: Como resultado de la Fase de Medición, nos enfocaremos a un grupo distinto de problemas y oportunidades del proyecto. El propósito de la Fase de Análisis es enfocarse mayormente a las oportunidades de mejora al observar más de cerca la información.

Fase de mejora: Como resultado de la Fase de Análisis, se deberá de tener una clara comprensión de los factores que afectan al proyecto. El propósito de la Fase de Mejora es: Generar ideas acerca de maneras de mejorar el proceso. Diseñar, hacer pruebas e implementar mejoras. Respaldar las mejoras.

Fase de control: El propósito de la Fase de Control es estandarizar las mejoras del proceso y monitorear el desempeño en marcha.

Desperdicio

Taiichi Ohno definió siete tipos de desperdicio, estos ocurren en cualquier clase de empresa o negocio y se presentan desde la recepción de la orden hasta la entrega del producto. Adicionalmente, se considera un octavo tipo de desperdicio especial que da origen a lo que en Lean se llama 7+1 Tipos de Desperdicios. A continuación se explica cada uno de ellos (Liker y Meier, 2006):

1. **Sobreproducción:** Procesar artículos más temprano o en mayor cantidad que la requerida por el cliente. Se considera como el principal y la causa de la mayoría de los otros desperdicios.
2. **Transporte:** Mover trabajo en proceso de un lado a otro, incluso cuando se recorren distancias cortas; también incluye el movimiento de materiales, partes o producto terminado hacia y desde el almacenamiento.
3. **Tiempo de espera:** Operarios esperando por información o materiales para la producción, esperas por averías de máquinas o clientes esperando en el teléfono.
4. **Sobre-procesamiento o procesos inapropiados:** Realizar procedimientos innecesarios para procesar artículos, utilizar las herramientas o equipos inapropiados o proveer niveles de calidad más altos que los requeridos por el cliente.
5. **Exceso de inventario:** Excesivo almacenamiento de materia prima, producto en proceso y producto terminado. El principal problema con el exceso inventario radica en que oculta problemas que se presentan en la empresa.
6. **Defectos:** Repetición o corrección de procesos, también incluye re-trabajo en productos no conformes o devueltos por el cliente.

7. **Movimientos innecesarios:** Cualquier movimiento que el operario realice aparte de generar valor agregado al producto o servicio. Incluye a personas en la empresa subiendo y bajando por documentos, buscando, escogiendo, agachándose, etc. Incluso caminar innecesariamente es un desperdicio.

8. **Talento Humano:** Este es el octavo desperdicio y se refiere a no utilizar la creatividad e inteligencia de la fuerza de trabajo para eliminar desperdicios. Cuando los empleados no se han capacitado en los 7 desperdicios se pierde su aporte en ideas, oportunidades de mejoramiento, etc.

PARTE EXPERIMENTAL

La aplicación de la metodología DMAIC de Six Sigma inicia como ya se mencionó antes con la fase uno, que es definir el problema por lo que se elaboró un vsm, del área que la gerencia determino es la más importante y la que genera más desperdicio dentro del proceso de fabricación del gabinete CAPCE 2X32W C-22.

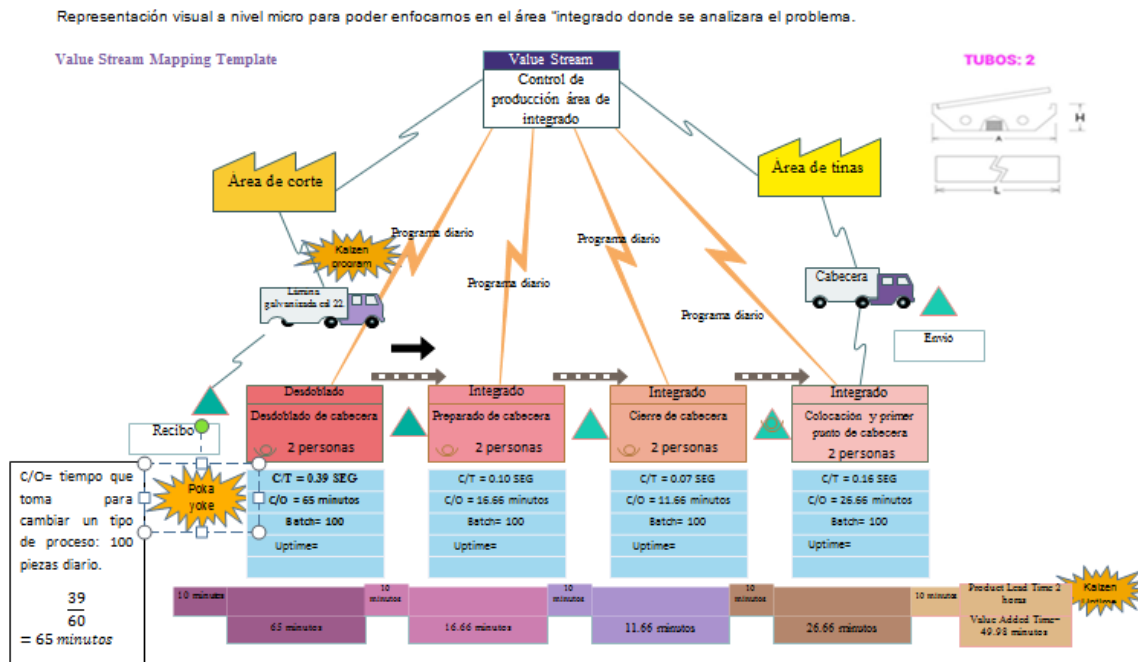


Figura 3. VSM actual de la empresa, area de integrado.



Figura 4. Área de integrado

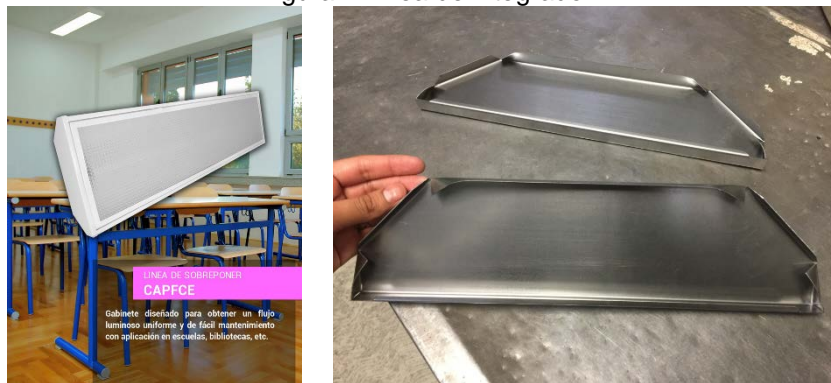


Figura 5. Luminaria y pieza “cabecera del gabinete CAPFCE 2X32W C-22

Ya establecido el problema se procedió a la fase dos que es medir e identificar las posibles causas de variación, por medio de un diagrama de Pareto, qué para elaborarlo se realizó un cuestionario de 5 preguntas, sacando los reactivos con escala de Likert el resultado fue el siguiente.

causas	Número de observaciones
Calidad en las pieza	15
Tiempo de desdoblado	50
Abastecimiento de material	13
limpieza	7
Falta de control de material	20

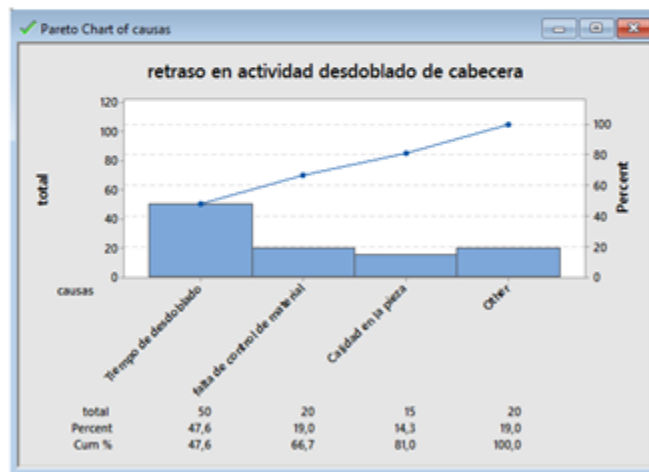


Figura 6. Diagrama de Pareto

Posteriormente con estos datos, se realiza la fase tres que es analizar el nivel en que se encontraba la empresa, y se determinó que el Pp (capacidad general es de 0.98) y un (Ppk de 0.34) por lo que quiere decir que tenemos datos fuera del proceso, que no cumple con las especificaciones, pero podemos llegar de 0.98 a 0.89. Para mejorar el proceso dentro de las especificaciones.

En la fase implementar se aplicó la un sistema a prueba de error mediante un “poka yoke”, una prensa dobladora para la “cabecera”.

Posteriormente y para finalizar se realizó un plan de entrenamiento a nivel general dentro de la empresa, pues se hace mucho la rotación del personal y se pretende que todos conozcan el uso de la nueva herramienta.

RESULTADOS

El tiempo en que normalmente se tardaba una persona en desdoblar una cabecera es de 0.39 segundos, pues se hacía de forma manual y con pinzas, actualmente se realiza en 0.08 segundos con la prensa dobladora, por lo que se concluye que el tiempo se redujo un 20.51 %, logrando satisfacción en el proceso.

CONCLUSIONES

El aplicar la metodología Six Sigma, resulto ser un beneficio en los costos de producción y como anteriormente se mencionó, logró hacerse la reducción de tiempo en esta actividad por lo que los ingenieros pueden aplicar la mejora en algún otro proceso, con mayor conocimiento y un panorama de las variables a controlar.

BIBLIOGRAFÍA

1. Novelo Rosado Sergio Alfonso, (2008), La calidad y La mejora continua. México.
2. Solano Caicedo Néstor, (2011) aplicación de un programa Seis Sigma para la mejora de calidad en una empresa de confecciones. Caribe
3. Micho Tolamatl Jacobo, (2011) Aplicación de Seis Sigma en una Microempresa del Ramo Automotriz. Tlaxcala
4. Arango Martínez Daniela María, (2012), Plan de implementación de Six Sigma en el proceso de admisiones de una institución de educación superior. España
5. Saucedo Barbosa Edgar Alejandro, (2013) propuesta de metodología seis sigma en empresas PyMEs: un enfoque participativo con la academia. Panamá.
6. Chávez Varto Antonio Manuel, (2010), modelo de mejora continua en la productividad de empresas de cartón corrugado del área metropolitana de la ciudad de México.

WEBVOWL: VISUALIZACION DE INDIVIDUOS DENTRO DE UNA ONTOLOGIA

Miriam Marina Escobar Vega, Luis Alfonso Campos Aguilera e Iván Esteban Villalón
Turrubiates

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).

RESUMEN

Las ontologías son cada vez más importantes para tareas como la integración de la información, el nivel de interoperabilidad del conocimiento y el tiempo de desarrollo de la base de conocimientos. Esto requiere métodos y herramientas que permitan trabajar con ontologías y datos relacionados. Existen muchos enfoques para visualizar ontologías de manera gráfica, sin embargo, hay pocas visualizaciones que muestran información ontológica completa, es decir, todas las clases y propiedades junto con sus atributos, la mayoría de los enfoques se centran solo en ciertos aspectos. El WebVOWL (Web-Based Visualization of Ontologies) es una aplicación web para la visualización orientada al usuario de ontologías que implementa la notación visual para ontologías VOWL (Web Ontology Language) basado en estándares web abiertos. Las visualizaciones se generan automáticamente a partir de archivos JSON (JavaScript Object Notation) en los que las ontologías necesitan ser convertidas proporcionando representaciones gráficas¹. Esta investigación usa la metodología WebVOWL como una aplicación web para la visualización de ontologías basada en esquemas gráficos que describen cómo definir una ontología. Como resultado, se complementa lo que ofrece WebVOWL al agregar dentro de la definición de los individuos (instancia de clase) una clara distinción entre los individuos y los elementos que componen la ontología, concluyendo que se obtiene la visualización de individuos dentro de una ontología.

INTRODUCCIÓN

En muchos casos, los datos necesitan ser analizados e interpretados para convertirse en información útil y provechosa, esta situación ha llevado a una creciente necesidad de herramientas técnicas y computacionales para ayudar en estas tareas. De acuerdo con esto, si se representan los datos y las relaciones entre objetos como un único conjunto de datos, podría generar patrones de conocimiento que describen el conjunto de datos que contiene estos elementos juntos. La estructura de los gráficos de control permite representar relaciones binarias entre pares de objetos, es decir, un gráfico es una colección de vértices y aristas, estas relaciones presentarán al espectador con una masa de aristas enlazando en el recurso, dando como resultado un conjunto masivo de información en una visualización básica de red de datos. Una de las tecnologías de la web considerada como una extensión de la misma² es la web semántica, cuya idea básica es tener los datos definidos y relacionados con el fin de hacer su uso más eficaz, automatizado, integrado y reutilizado a través de diferentes aplicaciones (por ejemplo, WEBVOWL). En este último caso, el conocimiento de cómo utilizar este formato e interpretar la información suministrada se limita a expertos en tecnología y usuarios, y en ciertos casos, sólo a aquellos que tienen conocimiento de tecnologías de web semántica (SW). WEBVOWL es una herramienta que facilita la interpretación y el entendimiento a los usuarios con poco o nulo conocimiento de tecnologías semánticas.

TEORIA

La Web Semántica es una extensión de la web actual en la que la información está en un significado bien definido, permitiendo que las computadoras trabajen en un procedimiento más fácil. Hasta ahora, la web está llena de información y documentos legibles por humanos y no procesada automáticamente por una máquina³. "Una ontología es un documento o archivo que define formalmente la relación entre los términos"³. Las ontologías son la esencia de la Web Semántica y se han vuelto cada vez más importantes en los últimos años. Muchas herramientas han sido desarrolladas tratando de simplificar su construcción, modelado y visualización.

El lenguaje web de ontologías (OWL) está diseñado para aquellas aplicaciones que necesitan procesar información. Puede usarse para expresar relaciones entre términos de un determinado dominio. La base formal de OWL se llama lógica descriptiva (DL). DL significa "formalismos de representación del conocimiento con propiedades computacionales bien entendidas"⁴. Una ontología DL está constituida por dos componentes denominados cajas terminológicas (TBox), que describe el conocimiento general del dominio, y un cuadro asercional (ABox), que proporciona datos sobre individuos (instancias de una clase). Un ejemplo de la información de TBox se da al afirmar que un concepto representa una especialización de otro concepto. Para el ABox, un ejemplo es que un individuo es una instancia de un cierto concepto^{4 5}. WebVOWL es una aplicación web para la visualización orientada al usuario de ontologías. Implementa la notación visual para ontologías OWL y se basa totalmente en estándares web abiertos. Las visualizaciones se generan automáticamente a partir de archivos JSON, en los que las ontologías necesitan ser convertidas proporcionando representaciones gráficas para elementos de los elementos OWL¹. Su objetivo es ser fácilmente comprensible para usuarios no familiarizados con ontologías⁶.

PARTE EXPERIMENTAL

La idea principal de este trabajo es hacer posible que WebVOWL muestre a los individuos y sus relaciones con las clases a las que pertenecen. El código fuente de WebVOWL obtenido de su sitio oficial de descarga⁷ se organiza principalmente en dos directorios llamados app y webvowl. El directorio de la aplicación es para la funcionalidad de la interfaz de usuario. Contiene código para menús, barra lateral y controles para manipular la forma en que se muestra la ontología, es decir, controles de gravedad (manipule la distancia entre clases y propiedades). El directorio webvowl contiene la lógica para analizar (ontologías), escalar (tamaños de elementos), relacionar (clases) y dibujar (elementos). Dentro del directorio webvowl se debe crear un tipo de nodo para mostrar a los individuos usando algunas características para reconocerlos fácilmente (forma, color, tamaño). Luego, utilizando la funcionalidad existente, se debe dibujar dentro de la representación gráfica. Finalmente, es necesario asociarlas con las clases a las que pertenecen, de nuevo, utilizando la funcionalidad existente para ese fin. La solución se muestra en la sección de resultados. Hay un ejemplo que muestra una ontología formada por dos clases denominadas CFDI y Contribuyente. Cada clase tiene sólo un individuo, que se muestra con un pequeño número bajo el nombre. Hay otro ejemplo que muestra la misma ontología, pero los individuos también son mostrados. La ontología es muy pequeña, pero da una información más precisa y completa sobre lo que realmente se expresa en ella.

RESULTADOS

Son muchas las herramientas de ontologías existentes que implementan algunas características comunes, todas estas herramientas proporcionan una idea de las relaciones de un conjunto limitado de clases y/o individuos, pero no visualizan la información completa de la ontología. El objetivo es complementar con WEBVOWL, la definición de los individuos para distinguir claramente entre los individuos y los elementos que componen la ontología. Actualmente en WEBVOWL los individuos se muestran en la figura 1.

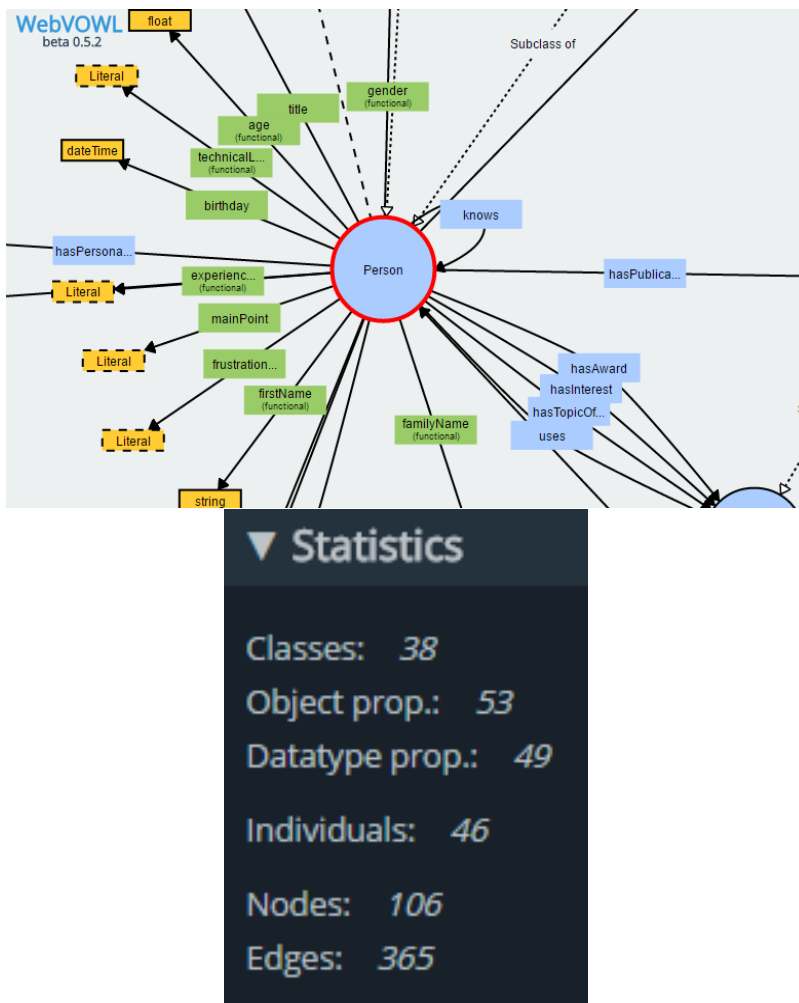


Figura 1. Representación de los *individuals* dentro de WebVOWL.

Como se menciona en la sección anterior, la solución consiste en crear una función que permite desplegar todos los individuos que pertenecen a la clase y su relación. La Figura 2 muestra la clase CFDI y la instancia que es el ID de la factura.

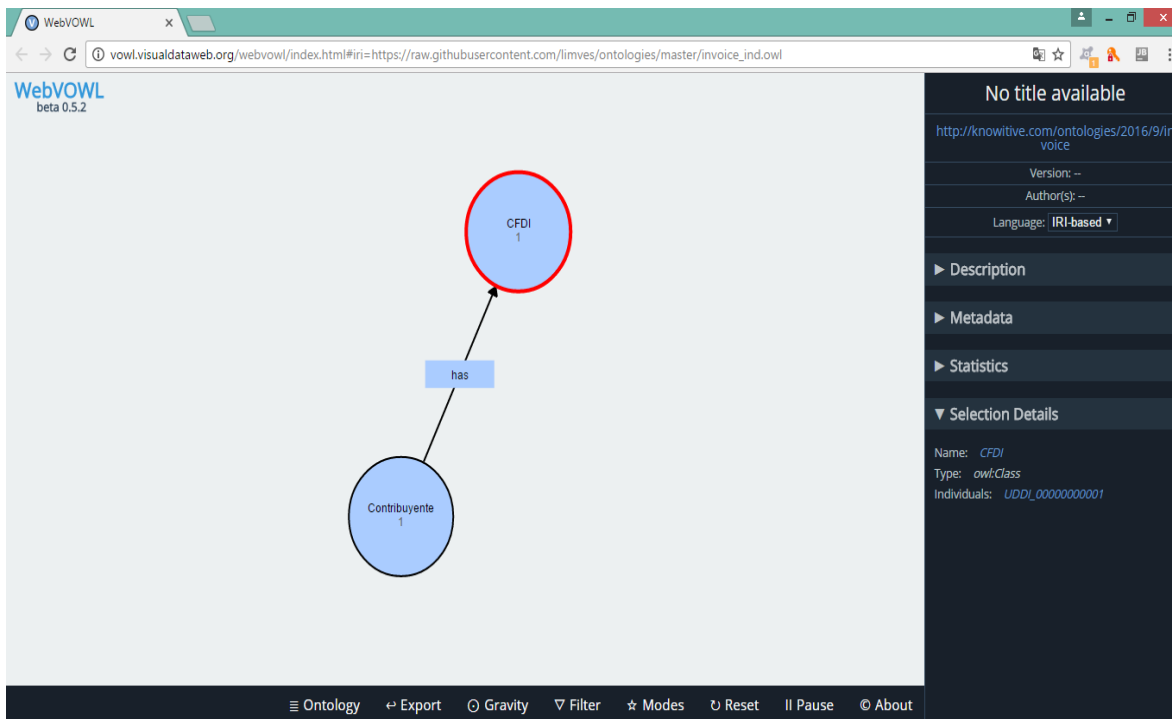


Figura 2. Visualización de una relación básica de los *individuals* dentro de WebVOWL.

CONCLUSIONES

En este trabajo, la instancia de individuos de una clase se representó más claramente a través de la implementación de una función que extrae información de la ontología. También se revisaron algunos conceptos básicos para la investigación relacionada con tecnologías semánticas, incluyendo una breve revisión general de los elementos esenciales. Los resultados obtenidos en herramientas como WebVOWL son representaciones muy útiles cuando la información es sólo con pocas clases y combinar la información de TBox y ABox es una buena idea para la integridad del conocimiento, sin embargo, será difícil entender una ontología con muchas clases, propiedades e individuos. El uso de una herramienta web tiene muchas ventajas, es decir, WebVOWL es independiente de cualquier analizador de OWL porque define un esquema JSON al que se deben convertir las ontologías. Además, podría ser utilizado a través del navegador web sin ninguna instalación adicional.

BIBLIOGRAFÍA

1. V. Link, S. Lohmann, E. Marbach, S. Negru y V. Wiens (2017). WebVOWL: Web-based Visualization of Ontologies [en línea]. Disponible en: <http://vowl.visualdataweb.org/webvowl.html>.
2. Negru, S., Lohmann, S., Haag, F.: VOWL: Visual notation for OWL ontologies [en línea]. Disponible en: <http://purl.org/vowl/> 2014.
3. T. B. Lee, J. Hendler, O. Lassila, and others, "The semantic web," *Sci. Am.*, vol. 284, no. 5, pp. 34–43, 2001.
4. B. C. Grau and E. Jimenez-Ruiz, "Ontology evolution under semantic constraints," *Conf.* pp. 137–147, 2012.

5. G. De Giacomo and M. Lenzerini, "TBox and ABox Reasoning in Expressive Description Logics," Proc. Fifth Int. Conf. Princ. Knowl. Represent. Reason., 1996.
6. S. Lohmann, S. Negru, F. Haag, and T. Ertl, "Visualizing Ontologies with VOWL," Semantic-Web-Journal.Net, vol. 0, no. 0, p. 21, 2015.
7. <https://github.com/VisualDataWeb/WebVOWL>

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO DE SUJECIÓN PARA LA MEMBRANA POLIMERICA NAFION 115.

Ramón Hernández Sánchez, Gonzalo M. Domínguez Almaraz, Víctor López Garza, Alberto Gutiérrez Martínez, Salvador Benítez Villasana, Erasmo Correa Gómez, Julio C. Verduzco Juárez.

Programa Educativo de Ingeniería en Metal Mecánica, Universidad Tecnológica de la Costa Grande de Guerrero (UTC GG), Carretera Nacional Acapulco – Zihuatanejo Kilómetro 201, Ejido el Cocotero, Petatlán, Guerrero, 40830, México.

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Santiago Tapia No. 403, Col. Centro, Morelia, Michoacán, 58000, México.

Participación en el área de diseño.

RESUMEN

Actualmente es imperativo la búsqueda de fuentes alternas que disminuyan el uso de combustibles fósiles utilizados como principal fuente de energía en el mundo. Entre estas fuentes alternas que también se les conoce con el nombre de energías renovables, se encuentra la solar, eólica, marítima, hidráulica y las celdas de combustible, por mencionar las más importantes. Concerniente a las celdas de combustible actualmente su caracterización físico-química es intensamente estudiada y se ha dejado de lado la caracterización de comportamientos de sus propiedades mecánicas. Este trabajo se realiza llevando a cabo el diseño y construcción de un mecanismo de sujeción para medir comportamientos mecánicos un elemento constitutivo interno de las celdas de combustible [1].

INTRODUCCIÓN

Las celdas de combustible utilizan en su interior una membrana polimérica (membrana de intercambio protónico Nafion 115), encargada del intercambio protónico necesario para llevar a cabo la generación de energía eléctrica; actualmente estas celdas de combustible se han utilizado como propulsión alternativa en el sector automotriz, y no se tiene la medición del comportamiento cuando este elemento es sometido a cargas mecánicas oscilantes durante su uso; por ende, es importante conocer el comportamiento en fatiga de este elemento interno de las celdas de combustible [2]. Actualmente las propiedades físicas y química han sido intensivamente estudiada en los últimos años, sin embargo, sus propiedades mecánicas en particular la resistencia en fatiga no se conoce su comportamiento mecánico.

TEORÍA

El estudio en producción de energía en forma electroquímica mediante celdas de combustible fue realizado por el organismo estadounidense Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA), a principios de la década de 1960 esto con la finalidad de proporcionarles electricidad a los vuelos espaciales tripulados. Actualmente el uso de las celdas de combustibles

se ha incrementado considerablemente en muchas aplicaciones industriales; no obstante, los resultados experimentales de sus propiedades mecánicas son relativamente limitadas. Los fabricantes de celdas de combustible se interesan por el desarrollo de las membranas protónicas que simbolizan un elemento constitutivo y que, por desconocimiento de ensayos mecánicos de estos, se pueden realizar mejoras significativas al desarrollo de las celdas de combustible. Al día de hoy se han desarrollado diferentes polímeros que funcionan como membranas protónicas mejorando solo su capacidad de ionización [1]. En este trabajo se estudia el comportamiento mecánico de la membrana de intercambio protónico Nafion 115 en la modalidad de flexión tres puntos. Para llevar a cabo los experimentos en esta modalidad, se diseñó y se construyó un equipo para aplicar tensión inicial a una sección rectangular de la membrana Nafion 115 en la dirección de la superficie plana. Mediante el empleo del paquete de computación ANSYS Workbench®, se realizó la simulación en el módulo de geometría y se diseñó: una base en aleación de aluminio 6061, cuadrada de 31.5 milímetros (mm) por lado, una longitud de 175 mm un riel de 10 mm por 10 mm con dos mordazas, una de ellas fija en el extremo y la otra móvil a lo largo de un eje constituido por un tornillo de cuerda fina, destinado a la aplicación de la carga de tensión inicial como se muestra en la **Figura 1**. Conociendo comportamientos mecánicos de este elemento, se pretende aportar información científica tecnológica para los fabricantes de celdas de combustible.

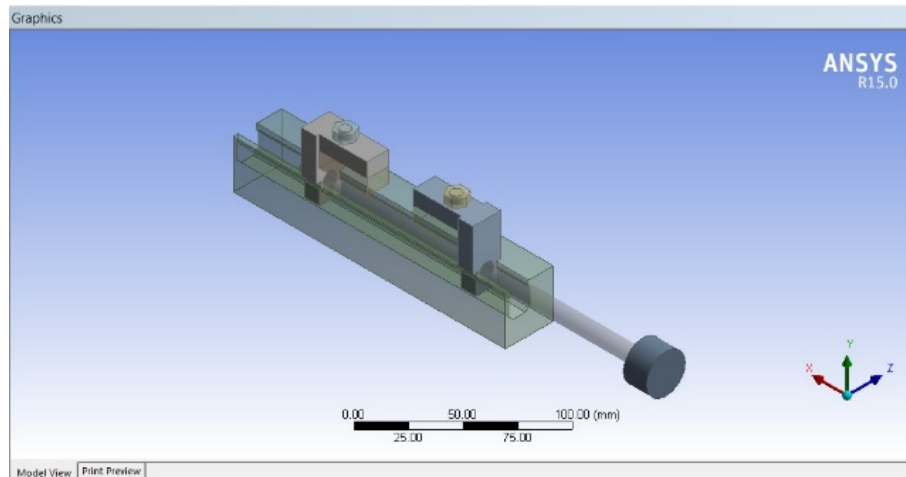


Figura 1. Mecanismo de sujeción para la membrana polimérica Nafion 115

RESULTADOS

Con el propósito de medir la tensión inicial de la membrana, al final del mecanismo de sujeción se le ha implementado una celda de carga digital como se observa en la **Figura 2**, la cual tiene un rango de medición desde un gramo hasta 50 kilogramos. Esto con la finalidad de medir la tensión inicial a la que será sometida la membrana polimérica Nafion 115 reproduciendo las condiciones reales a las que es sometida en el interior de la celda de combustible. Con ayuda de un sensor inductivo de proximidad se llevaron a cabo cuatro mediciones en tres niveles de tensión inicial, se sistematizó el desplazamiento inicial en un intervalo de 400 μm contra el esfuerzo en la membrana, como se observa en las tablas 1, 2 y 3.



Figura 2. Mecanismo de tensión con celda de carga digital.

Tabla 1. Nivel de tensión 30 gramos.

MICRAS DE DESPLAZAMIENTO	TENSION INICIAL				VARIANZA	DESVIACIÓN
	30 gr	30 gr	30 gr	30 gr	30 gr	30 gr
200 a 600	22	28	26	28	6.00	2.45
600 a 1000	17	20	18	18	1.19	1.09
1000 a 1400	8	10	5	7	3.25	1.80
1400 a 1800	0	0	0	0	0.00	0.00

Tabla 2. Nivel de tensión 60 gramos.

MICRAS DE DESPLAZAMIENTO	TENSION INICIAL				VARIANZA	DESVIACIÓN
	60 gr	60 gr	60 gr	60 gr	60 gr	60 gr
200 a 600	45	55	55	55	18.75	4.33
600 a 1000	35	40	30	45	31.25	5.59
1000 a 1400	15	20	25	30	31.25	5.59
1400 a 1800	0	1	0	2	0.69	0.83

Tabla 3. Nivel de tensión 90 gramos.

MICRAS DE DESPLAZAMIENTO	TENSION INICIAL				VARIANZA	DESVIACIÓN
	90 gr	90 gr	90 gr	90 gr	90 gr	90 gr
200 a 600	85	80	85	85	4.69	2.17
600 a 1000	70	70	75	80	17.19	4.15
1000 a 1400	50	50	65	55	37.50	6.12
1400 a 1800	30	20	40	35	54.69	7.40

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los parámetros iniciales que se definieron se lograron obtener resultados de tensión inicial acorde a los niveles de tensión que trabaja la membrana Nafion 115 en el interior de la celda de combustible.

- Al realizar experimentos de tensión plana a una sección rectangular de la membrana Nafion 115 en la dirección de la superficie plana, se observó que se incrementó la temperatura en un 55% de su temperatura de transformación vítrea.
- Al realizar experimentos de tensión plana a una sección rectangular de la membrana Nafion 115 en la dirección de la superficie plana, se observó que el módulo de la tensión con 40% de humedad relativa en el medio ambiente no se modifica quedando con el valor constante con el que trabaja en la celda de combustible 246 Mpa.
- En un futuro próximo el mecanismo de sujeción se utilizará también para realizar la medición en fatiga ultrasónica de la membrana polimérica Nafion 115, bajo condición de fatiga en tres puntos.
- Para transmitir la carga a la membrana polimérica Nafion 115, es necesario un punzón, el cual será el encargado de transmitir la frecuencia en forma perpendicular a la superficie de la membrana y se trabaja en la simulación de este.
- Los ensayos en fatiga ultrasónica, se llevan a cabo en la máquina de fatiga ultrasónica patentada con el número 323948 IMPI (2014), México.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cano, U., Rejón, L., & Ojeda, M.. (2000, agosto 20). infraestructura de uso de hidrogeno y materiales para celdas de combustible: clave para su pronto uso. iie, 1,2,3,4. 2015, junio 28, De iie Base de datos.
2. Asensio, J., Peña, J., Perez-Coll, D., Ruiz, J., Marrero, D., Nuñez, P., Ballesteros, B., Canales, J., Borrós, S., & Gémez, P.. (2011, septiembre 2). Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. GEMAT, 554, 1,2,8,12. 2015, junio 22, De Centro de Investigación de Nanociencia y Nanotecnología Base de datos.
3. Domínguez Almaraz G.M., Correa Gómez E. Ultrasonic Fatigue Endurance Investigation on Plastic Material Nylon 6. Materials Sciences and Applications, 2011,2,1293-1297. DOI:10.4236/msa.2011.29174 Published Online September 2011 (<http://www.SciRP.org/journal/msa>). ISSN Print: 2153-117X. ISSN Online: 2153-1188.
4. Domínguez Almaraz G.M., Correa Gómez E., Quintana Zepeda V.H., Gómez Sánchez A. Ultrasonic Fatigue Tests on Plastic Material: "Nylomaq". Fifth International Conference on Very High Cycle Fatigue (VHCF). Berlín, Alemania ISBN 978-3-9814516-0-3.
5. Domínguez Almaraz G.M., Correa Gómez E., Verduzco Juárez J.C., González Bernal R., Avila Ambriz J.L. Fatigue Analisis Undergoing Rotating Bending Tests of Aluminum Alloy AISI 6061-t6, Subjected to Welding Process GMAW (Gas Metal Arc Welding). XXI International Materials Research Congress. Cancún, Qroo. México. Agosto 12 - 17, 2012.

INTERFERÓMETRO MACH-ZEHNDER BASADO EN TAPERS DOBLES EN FIBRA ÓPTICA CONVENCIONAL PARA APLICACIONES DE SENSADO

E. A. Hernandez-Robles, J. M. Estudillo-Ayala, J. M. Sierra-Hernandez, D. Jauregui-Vazquez, R. Rojas-Laguna, J. C. Hernández García

Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Gto., C.P. 36885, México.
Autor e-mail: ea.hernandezrobles@ugto.mx, eah03@hotmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo se reporta un interferómetro Mach-Zehnder fabricado mediante estrechamiento de la fibra óptica, el interferómetro se fabricó en fibra convencional mediante el proceso de calentamiento y estirado, se fabricaron dos tapers concatenados con diámetros de cintura alrededor de 10 y 40 μm y longitud de 5mm. Se realizaron diversos experimentos con temperatura, obteniendo buena visibilidad de aproximadamente de 15 dBm.

INTRODUCCIÓN

El avance en el diseño de sensores de fibra óptica ha llevado al desarrollo de diversas técnicas para aumentar la sensibilidad en las fibras ópticas, una técnica que se emplea para el desarrollo de estos dispositivos y la cual se utilizara en este trabajo es el estrechamiento de fibras ópticas, también conocido como tapers [1].

En sus inicios fueron aplicados en acopladores de fibra óptica con grandes resultados [1]. Desde entonces, y además de acopladores, se han aplicado a expansores de haz, para interferómetros (Mach- Zehnder en fibra óptica), e inevitablemente, a los sensores de fibra óptica.

La primera aplicación de los tapers en sensado, aprovecho su característica más obvia, la interacción del campo evanescente del modo guiado con el medio externo, lo que resulta en un refractómetro óptico [2]. A partir de este momento los tapers empezaron a ser utilizados para diversas aplicaciones de detección. Los tapers también se combinan con otras estructuras, tales como fibra de Bragg y rejillas de periodo largo para nuevas configuraciones de detección.

Los parámetros a considerar en un taper son las magnitudes que lo definen, el diámetro de su cintura (región más estrecha), la longitud del estrechamiento y el perfil de la región de transición. Si el estrechamiento se ha realizado adecuadamente se puede conseguir un nivel de pérdidas muy bajo, con lo que la mayoría del campo guiado por la fibra consigue atravesar el taper.

La figura 1 muestra la estructura de un taper donde se distinguen: la (zona I) o de contracción, la (zona II) o central, también conocida como cintura del taper y la (Zona III) o de expansión.

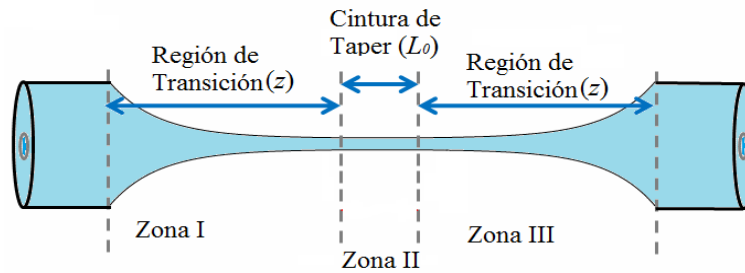


Figura 1. Estructura de un Taper de fibra óptica.

En la (Zona I) la fibra óptica se va estrechando hasta que alcanza unas proporciones que se mantienen durante cierta longitud (Zona II), para posteriormente volver a ensancharse y alcanzar las dimensiones originales (Zona III) [4].

Si el estrechamiento se ha realizado adecuadamente se puede conseguir un nivel de pérdidas muy bajo, con lo que la mayoría del campo guiado por la fibra consigue atravesar el taper. Es en esa zona estrechada donde ese campo va a estar en contacto con el medio exterior, por lo que no podemos seguir pensando que el núcleo está separado del revestimiento (el núcleo se habrá reducido a un diámetro prácticamente despreciable en la zona estrechada) y el campo es guiado por el revestimiento [5].

Si sobre el taper, depositamos estructuras multicapas, es posible provocar acoplamiento de modos entre la fibra y esas estructuras. En general, el paso de la luz por la zona estrechada se saldará con unas pérdidas que van a depender fuertemente de las características del medio que rodea al taper. De ese modo, midiendo la potencia óptica transmitida por la fibra dispondremos de un sensor cuyo comportamiento nos revela la variación de una magnitud física asociada a un medio exterior, es posible realizar medidas espectrales y emplear muy diversos efectos físicos en la región estrechada para acoplar la radiación, por lo que este tipo de dispositivos muestra una versatilidad poco común, lo que redundará en una potencialidad de uso muy elevada.

Resumiendo lo antes mencionado, se pueden conseguir fibras ópticas estrechadas de diferentes configuraciones, variando las magnitudes que definen el taper, las cuales como ya mencionamos son el diámetro de la cintura, la longitud del estrechamiento y el perfil de la región de transición [6]. Con esto se pueden conseguir niveles de pérdidas muy bajos, con lo que la mayoría del campo guiado consigue atravesar el taper, y es en esta zona estrechada donde ese campo guiado va a estar en contacto con el medio exterior, ya que se puede decir que el núcleo ya no es una región separada del revestimiento y el campo es guiado a través de este.

Los tapers de fibra óptica mejoran la interacción de la luz propagada en la fibra y el medio circundante. El estrechamiento de una fibra óptica permite que el campo evanescente del modo de propagación del núcleo penetre dentro del entorno circundante, aumentando la proporción de la potencia en el campo evanescente con el diámetro decreciente de la región estrechada. Este efecto se acompaña de un aumento local en la atenuación de la fibra óptica, el cual es sensible al índice de refracción del medio circundante.

TEORÍA

El estrechamiento en la fibra óptica se forma estirando la fibra mientras se está calentando. La sección de calentamiento a lo largo de la fibra puede ser constante o variar a lo largo del proceso de estrechamiento. Actualmente este estrechamiento se puede realizar en el rango de micrones o sub-micrones, con los equipos que existen actualmente. Sin embargo, la forma final del estrechamiento depende de la aplicación y diferentes perfiles de calentamiento pueden variar también el resultado [6].

La Máquina de tapers permite obtener fibras estrechadas con una sección uniforme central y dos transiciones simétricas. En el caso de emplear fibras sólidas, el control es muy preciso y la máquina está programada para poder obtener transiciones con formas geométricas muy variadas. La fibra estrechada final tendrá una geometría determinada por los parámetros α y L_0 , además del radio inicial de la fibra r_0 . El parámetro L_0 es la anchura del barrido inicial del mini-soplete y el parámetro α determina la variación lineal del mismo: $L = L_0 + \alpha x$, siendo x el estiramiento de la fibra. La expresión matemática del radio de la fibra estrechada a lo largo de una transición será:

$$r_{\omega}(z) = r_0 \left[1 + \frac{2\alpha z}{(1-\alpha)L_0} \right]^{\frac{-1}{2\alpha}}, \quad 0 < z < t \tag{1}$$

donde r_{ω} es el radio de la fibra, z es a distancia medida a lo largo de la transición desde su inicio ($r = r_0$ en $z=0$) hasta su final $z = t$, y L_0 es el valor inicial de la longitud barrida por el mini soplete. El parámetro α ($-1 < \alpha < 1$) determina la forma geométrica, por ejemplo, $\alpha = 0$ corresponde con una transición suave exponencial, mientras que $\alpha = 1$ sería un escalón abrupto [6]. Si el parámetro α es positivo ($0 < \alpha < 1$) la curvatura vista desde fuera es cóncava, mientras que si α es negativo ($-1 < \alpha < 0$) será convexa. El radio del cuello uniforme r_c será $r_c = r(t)$.

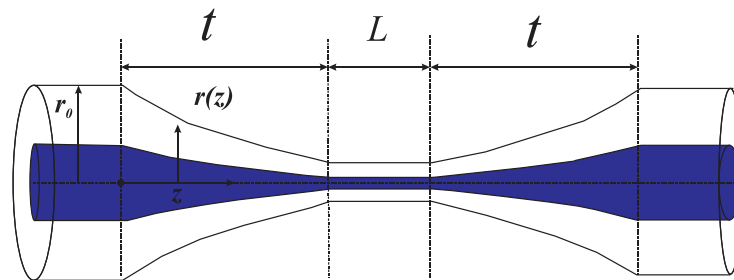


Fig. 2. Esquema de la geometría de una fibra estrechada

PARTE EXPERIMENTAL

El proceso general de fabricación de nuestros tapers, por calentamiento y estirado consiste en un tramo se aproximadamente 50 cm de fibra óptica. Este proceso se realiza utilizando una maquina estrechadora de fibra óptica con la que se cuenta en el laboratorio de fibras ópticas de la **División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca**. Para este proceso se le quitara una parte del revestimiento de aproximadamente 8 cm en la mitad de nuestro tramo, después se procede a

realizar una limpieza a la fibra para quitar polvo y grasas y así evitar que durante el proceso de calentamiento al sílice de nuestra fibra se le adhieran partículas indeseables, el siguiente paso es colocar la fibra en nuestra maquina estrechadora colocando el extremo donde se quitó el recubrimiento en la separación de los carros de fijación, sujetando por la parte con recubrimiento, se inicializa el software de la maquina estrechadora, en este software se darán las características del taper deseado, se enciende el mini soplete y se inicia el proceso de estiramiento. Para la fabricación e nuestro interferómetro Mach- Zehnder se realizan dos tapers en serie, se variaron los diámetros de cintura y longitudes del taper, los mejores resultados se dieron a un diámetro de cintura de $25\mu\text{m}$ y longitudes de 5 mm de largo.

El arreglo experimental para nuestro sensor se muestra en la figura 3. Donde se utilizó un diodo laser Thornlabs LM14S2 a 980nm como fuente de bombeo, un de multiplexor de fibra óptica como protección para evitar reflexiones a nuestro diodo, 5m de fibra dopada con Erblio como amplificador, el interferómetro Mach-Zehnder fabricado en base a dos tapers concatenados en fibra óptica convencional y un analizador de espectros óptico.

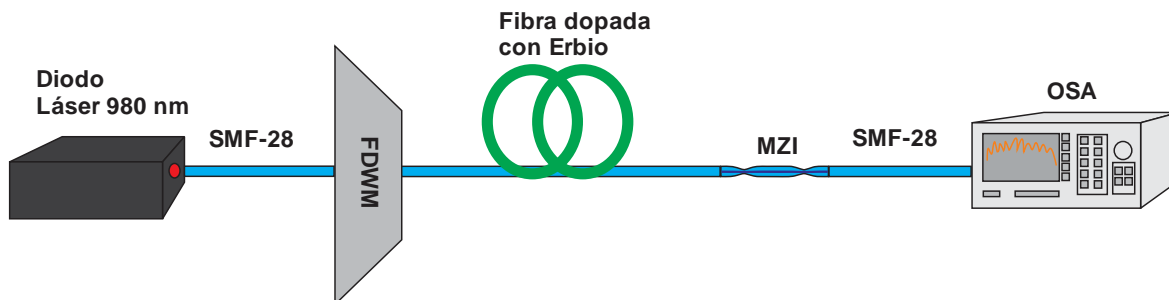


Fig. 3. Arreglo Experimental implementado

Una vez que se encuentra armado nuestro arreglo se agregó un controlador de temperatura desarrollado en la universidad que consta de un peltier, el cual aumenta la temperatura de forma controlada hasta $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. se varió la temperatura con aumentos de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, y se obtuvo el espectro de transmisión.

RESULTADOS

Primeramente, con el arreglo experimental mostrado y el interferómetro fabricado se obtuvo la gráfica característica de nuestro interferómetro en la cual se observa nuestro patrón de interferencia y como se aprecia podemos elegir diferentes longitudes de onda, ya que los picos de atenuación tienen prácticamente la misma profundidad y anchura. Podemos mejorar el experimento, mejorando el control de la temperatura, aumentando el rango de temperatura, ya que en la industria las temperaturas utilizadas son mayores, pero teóricamente una de las características de las fibras ópticas es que pueden soportar temperaturas más altas, Para otros tipos de aplicaciones de detección.

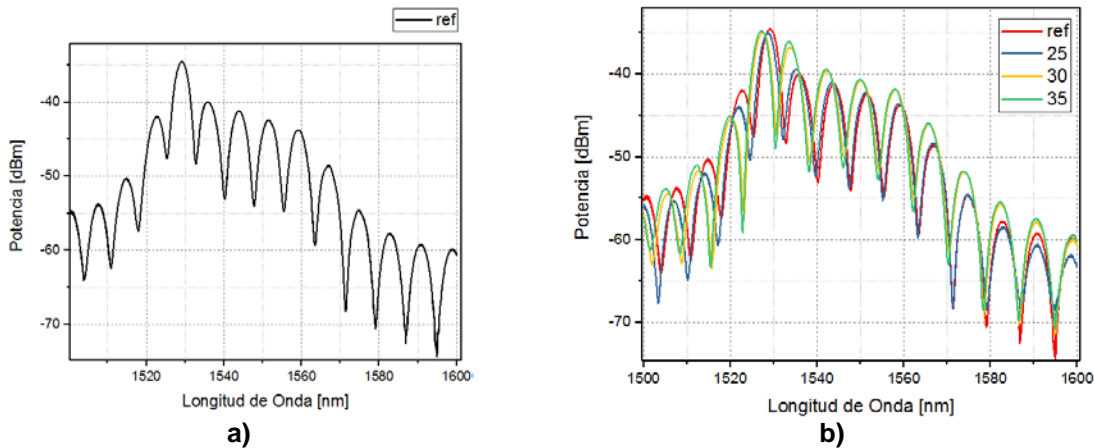


Fig. 4. a) Grafica característica y b) graficas con diferentes temperaturas

CONCLUSIONES

Se obtuvieron varios datos interesantes con la fabricación de este tipo de interferómetros de los cuales hay pocos trabajos realizados y estos a su vez nos proporcionan la pauta para buscar otro tipo de aplicaciones para las cuales pueden ser utilizados.

Al obtener las gráficas características de nuestro interferómetro y observando las variaciones al ser sometido a los cambios físicos se aprecia que tienen una alta sensibilidad $0.701 \text{ nm}/\mu\text{m}$, por lo que se concluye que son una buena opción para aplicaciones de sensado e incluso pueden sustituir a sensores convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Benye Li, Lan Jiang , Sumei Wang , Lanying Zhou , Hai Xiao and Hai-Lung Tsai , "Ultra-Abrupt Tapered Fiber Mach-Zehnder Interferometer Sensors" Sensors (2011)
2. Byeong Ha Lee 1, Young Ho Kim , Kwan Seob Park , Joo Beom Eom , Myoung Jin Kim, Byung Sup Rho and Hae Young Choi "Interferometric Fiber Optic Sensors" Sensors (2012).
3. G. Brambilla, F. Xu, P. Horak, Y. Jung, F. Koizumi, N. Sessions, E. Koukharenko, X. Feng, G. Murugan, J. Wilkinson. "Optical fiber nanowires and microwires: fabrication and applications."
4. J.C. Graf, S.A. Teston, P.V. de Barba, J. Dallmannl, J.A.S. Limal, Hypolito, J. Kalinowski and AS. Paterno, "Fiber taper rig using a simplified heat source and the flame-brush technique," Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC), pp. 621-624, (2009).
5. R.J. Black, S. Lacroix, F. Gonthier, and J.D. Love, "Tapered singlemode fibres and devices part 2: Experimental and theoretical quantification, " IEE Proceedings Journal, vol. 138, pp. 355-364, (1991).
6. T. Birks, Y. Li. "The shape of fiber tapers." *Lightwave Technology Journal*. Vol. 10. pp. 432-438.(1992).
7. J.M. Ward, D.G. O'Shea, B.J. Shortt, M.J. Morrissey, K.Deasy and S.G. Nic Chormaic, "A heat-and-pull rig for fiber taper fabrication, " Review of Scientific Instruments, vol. 77, pp. 083105- 83105-5, (2006).

8. S. Xue, M.A van Eijkelenborg, G.W. Barton, and P. Hambley, "Theoretical, Numerical, and Experimental Analysis of Optical Fiber Tapering, " J. Lightwave Technol., vol. 25, pp. 1169-1176, (2007).

MEDICIÓN, MONITOREO Y VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE SENSORES EN CULTIVOS HIDROPÓNICOS

González Del Río Juan Daniel, Espíndola Paizano Blanca Jazmín, Lozano Alfaro Linda, Ramírez Torres Marco Tulio, Lara Juárez Omar Emmanuel

Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP, Salinas, S.L.P.

Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas, UTZAC, Pinos, Zacatecas.

RESUMEN

En este proyecto de investigación se realizó la medición, monitoreo y visualización de información de distintos sensores y activación de actuadores en un cultivo hidropónico, el cual se define como el arte-ciencia de cultivar plantas sin suelo. Esta técnica de producción es ideal para zonas semidesérticas con escasas lluvias, debido a que no requiere suelo fértil y el agua es reutilizada. En el desarrollo de esta investigación, mediante sensores se midió temperatura, humedad, luminosidad, pH y se controló el encendido/apagado de una bomba de agua, haciendo uso de la placa Arduino UNO y el módulo ESP8266-01 con el que se conectó a una red WiFi para transferir la información a ThingSpeak, que es un servidor web. Este servidor permite la visualización de los datos en tiempo real por medio de una aplicación web y móvil, para su fácil acceso, haciendo uso de avances tecnológicos como el internet de las cosas. Uno de los objetivos es proponer la implementación de esta tecnología a productores de cultivos hidropónicos o afines en la región, para prevenir y/o notificar fallas de manera remota y disminuir costos de producción.

INTRODUCCIÓN

El internet de las cosas (por sus siglas en inglés IoT, Internet of Things) es una de las creaciones más importantes y poderosas de la actualidad. Representa la próxima evolución de internet la cual será un enorme avance en su capacidad para reunir, analizar y distribuir datos que podremos convertir en información y conocimiento. Existen hoy en día proyectos de IoT que prometen mejorar la distribución de los recursos del mundo enfocados en resolver problemas ambientales, ahorro de iluminación, desarrollo de invernaderos inteligentes y además de enfrentar los desafíos que nos presenta una sociedad cada vez más conectada, para ir mejorando la calidad de vida de las personas en corto, mediano y largo plazo. A lo largo del proyecto de investigación se estudiará el IoT, así como las diferentes herramientas tanto de software como de hardware y su relación entre ellos, para poder llevar a cabo de la manera más simple y clara posible, la lectura, monitoreo de sensores y actuadores implementados en cultivos hidropónicos, realizando un perfil detallado de las condiciones del cultivo, gracias a IoT, toda la información recogida a través de internet se podrá revisar en aplicaciones móviles y web en tiempo real para lograr anticiparse a posibles problemas y evitar pérdidas en la producción.

PARTE EXPERIMENTAL

Los materiales utilizados en este proyecto de investigación son:

- Fuente de alimentación MB102: Es una fuente de alimentación para pequeños proyectos de electrónica, robótica y automatización. Cuenta con dos modos de entrada de alimentación, a través de USB o cargador el cual puede ser alimentado entre 6 a 12 voltios. Cuenta con dos salidas fijas, una de 3.3 voltios y otra de 5 voltios, puede suministrar una corriente máxima de 700 mA.

- Módulo ESP8266-01: Es una placa que tiene integrado el protocolo de comunicación TCP/IP y que puede dar fácil acceso a una red WIFI a cualquier sistema microcontrolado. Se alimenta con 3.3 voltios. Cada módulo trae en su firmware un conjunto de comandos AT por medio de los cuales puede ser operado y configurado a través de una comunicación bidireccional simple, lo cual lo hace ideal para ser operado desde sistemas microcontroladores de características comunes. Por otro lado, el tamaño y costo de este módulo facilita su implementación para el desarrollo de esta investigación. Más información acerca del uso de este dispositivo se encuentra en el siguiente artículo [1].
- Arduino UNO: Es una placa de circuito impreso, bajo costo y software libre que incorpora un microcontrolador ATmega328 y pines de entrada/salida para su utilización, dispone de 14 pines digitales y 6 analógicos.

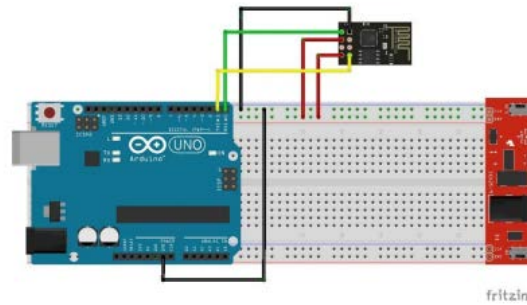


Figura 1. Diagrama de conexión del módulo ESP8266 y Arduino UNO.

La conexión del ESP8266-01 con arduino UNO se llevó a cabo uniendo los pines RX y TX de ambos y alimentando el dispositivo a 3.3v con la fuente de alimentación MB102 como se muestra en la Figura 1. Mediante la placa Arduino se calculan señales físicas por medio de sensores como la temperatura, humedad, luminosidad, pH y el encendido/apagado de la bomba de agua, mismos que están incorporados en el cultivo hidropónico. Dichas señales son convertidas en datos de distintos tipos, los cuales son transmitidos vía inalámbrica a través del módulo ESP8266-01, el cual permite conectarse a una red WIFI con el uso de comandos AT y realizar la conexión con un servidor web, para enviar dicha información que se estará actualizando constantemente para ser visualizada en tiempo real.

Para ello se utiliza la plataforma ThingSpeak Open Source, para conectar productos y servicios al Internet de las Cosas (IoT), siendo un servidor gratuito y fácil de usar. Este servidor se maneja como un sustituto de la futura base de datos local. Básicamente, permite enviar datos a sus servidores y ellos se encargan de guardarlos y de facilitar las herramientas de visualización y gestión. La información se guarda en memorias, a las que ThingSpeak denomina canales. En cada canal se pueden añadir hasta 8 variables que se requieran monitorizar, y la manera en que se puedan guardar nuevos datos es haciendo una petición HTTP con un método llamado GET, que permite obtener la información desde el servidor. Las variables que se incluyen en la petición HTTP es el código del canal. La información capturada en el servidor es visualizada mediante gráficos. De esta manera quedará registrado automáticamente en ThingSpeak. En la tesis de González Daza, E. Red de sensores - Internet de las cosas [2], se explica el uso de esta herramienta para la obtención de datos de sensores.

RESULTADOS

A continuación en la Figura 2 a) se muestra la aplicación desarrollada para la visualización de los datos en tiempo real desde cualquier dispositivo electrónico, y b) se presentan los resultados de la lectura de datos como la temperatura y la humedad, mismas que son obtenidas en tiempo real utilizando la plataforma ThingSpeak que permite su visualización en línea.



Figura 2 - a) Aplicación híbrida desarrollada para el monitoreo de los sensores.

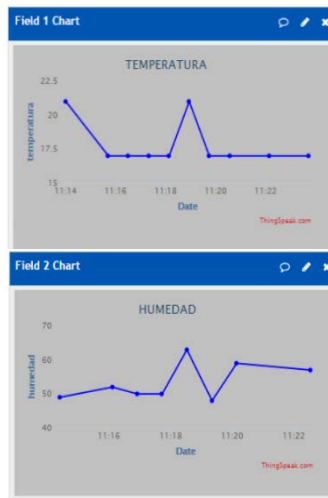


Figura 2 - b) Resultados obtenidos y graficados en tiempo real en la plataforma ThingSpeak.

CONCLUSIONES

Este sistema de monitoreo y medición proporcionará la adquisición de datos provenientes de sensores y estado de actuadores en cultivos hidropónicos para su visualización en línea y almacenamiento en una base de datos, logrando anticipar y/o notificar problemas con las plantas, el riego y evitar pérdidas en la producción. Se espera que al continuar trabajando con el proyecto, dicha información se pueda almacenar en una base de datos en la nube y poder acceder a ella desde una aplicación en cualquier dispositivo electrónico.

BIBLIOGRAFÍA

1. García López, P. (Abril 2016). Sensado de temperatura y humedad mediante sistemas embebidos en internet de las cosas. Dr. Alfonso Lastras Martínez, Premio de instrumentación y electrónica. IICO- UASLP, San Luis Potosí.
2. González Daza, E. (2016). Red de sensores - Internet de las cosas. 1st ed. España, pp.30-31.

DEGRADACION FOTOCATALITICA DE PIGMENTOS TEXTILES EN SISTEMAS ACUOSOS EMPLEANDO DE NANOTUBOS DE TITANIA

Esther Torres Santillán, Selene Capula Colindres, Ezequiel Villagarcía Chávez,

Celene Juárez Ignacio

Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México C.P. 07738 México

Centro de Investigación en Computación. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México. C.P. 07738 México

Universidad Autónoma Metropolitana. Atzacapozalco. Ciudad de México.C.P. 02200, México
esthersantillan@gmail.com

RESUMEN

Una alternativa para la descontaminación de aguas de pigmentos y colorantes textiles, es el uso de la oxidación avanzada: la fotocatalisis, es un proceso en el cual se utiliza energía solar para eliminar contaminantes. En zonas rurales donde se puede aprovechar este recurso (energía solar), resulta ideal el uso de esta tecnología. En este trabajo se diseñó un sistema fotocatalítico con nanotubos de titania (TiO_2 -NTs) en un proceso tipo Batch, los cuales con ayuda de la luz solar permiten un elevado porcentaje de degradación de pigmentos textiles en aguas contaminadas artificialmente. Los TiO_2 -NTs se prepararon por el método de depósito por baño químico (CBD) y se caracterizaron por microscopia de transmisión (MET) y difracción de rayos X (DRX) para verificar la estructura y morfología. Los resultados de la degradación de los colorantes textiles fueron evaluados por las técnicas de Infrarrojo y UV-Vis.

INTRODUCCIÓN

Los pigmentos y colorantes textiles son uno de los mayores grupos contaminantes liberados en las aguas residuales de la industria textil y de otros procesos industriales. Debido a la toxicidad potencial de los pigmentos y colorantes aunado a su visibilidad en las aguas superficiales, la eliminación y la degradación de los colorantes orgánicos han sido objeto de considerable interés y un reto para los diferentes tratamientos de limpieza en las aguas residuales [1,2]. Entre la amplia gama de métodos desarrollados se pueden destacar los procesos adsorción y foto-catalíticos heterogéneos. Entre los diversos semiconductores estudiados para la foto-degradación el TiO_2 en fase anatasa es considerado como el material más prometedor, debido a su eficiencia en la eliminación de contaminantes orgánicos y residuos en medios acuosos [3,4]. Las ventajas de TiO_2 incluyen además de su no toxicidad, la elevada capacidad de oxidación, alta estabilidad química [5], y bajo costo [6], sin embargo, una decoloración del compuesto en la solución acuosa no significa que el pigmento o colorante haya sufrido una completa eliminación [7], por lo que no solo es deseable que exista una decoloración del compuesto, sino una completa eliminación de los elementos formados de la degradación. En las últimas décadas los avances en la ciencia de materiales el dióxido de titanio ha sido investigado más allá de las aplicaciones cotidianas. Adicionalmente, TiO_2 puede ser sintetizado o fabricado de diversas formas tales como nanopartículas, nanocables, nanotiras, mesoporos, nanoporos y nanotubos [8-11]. La utilidad de ellos depende de la habilidad de investigación, pues se ha demostrado en varios artículos que el dióxido de titanio nanoestructurado tiene una gran actividad fotocatalítica [12]. por lo que en este trabajo propone estudiar el comportamiento que tienen los nanotubos de titanio en la

fotodegradación y adsorción, debido a su alta superficial para la eliminación de los pigmentos y colorantes usados en el área textil, en este caso del pigmento rojo 48, y el anaranjado ácido 7 y con el apoyo de las técnicas de infrarrojo con transformada de Fourier y UV-Vis, observar los grupos funcionales presentes durante la fotodegradación y la adsorción durante dicho proceso.

PARTE EXPERIMENTAL

Síntesis de TiO₂-NTs

Los nanotubos de titania (TiO₂-NTs) se prepararon por el método hidrotermal con una solución alcalina solución como previamente se encuentra en la referencia [13]. Se utilizaron nanopartículas comerciales de Degussa P25 en fase de anatasa como materia prima para la preparación de nanotubos. A continuación, la solución se transfirió a una autoclave de acero inoxidable y se calentó a 150 °C durante 18 hr. Después de enfriar a temperatura ambiente, la suspensión lechosa contenida en la autoclave se filtró y el precipitado se lavó con agua destilada agua y luego se sumergió en una solución de HCl 1 M (pH 2.5-3.0), agitándose durante 3 hr a temperatura ambiente. El precipitado finalmente se filtró, se lavó nuevamente con agua destilada y se secó en la estufa durante 24 hr aproximadamente a 80 °C.

La estructura y la morfología de los TiO₂-NTs fueron investigadas por difracción de rayos X (DRX, Siemens D5000 usando radiación Cu-K α), y por microscopía electrónica de transmisión (TEM, JEOL 2000FXII) respectivamente.

Degradación fotocatalítica de pigmentos textiles

La actividad fotocatalítica de los TiO₂-NTs obtenidos, fue evaluada en la degradación de dos pigmentos textiles como el rojo 48 y el naranja ácido 7. La estructura química de los pigmentos se muestra a continuación.

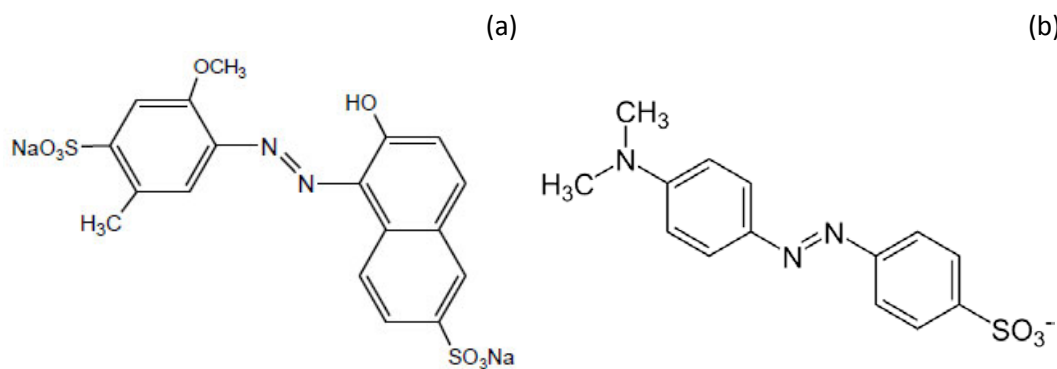


Figura 1. Estructura química de los pigmentos a) Rojo 48 y b) naranja ácido 7

Para llevar a cabo la degradación de los pigmentos se empleó un proceso tipo Batch para lo cual se utilizaron dos buretas de vidrio a las que se les colocó 2 gr de nanotubos de titanio en cada una, se realizó una solución de cada pigmento de concentración conocida (1 mgL⁻¹) para posteriormente colocar 25 ml de solución en cada bureta las cuales se irradiaron con una lámpara de UV. 254 nm (8W). Por medio de la llave de la bureta se extrae 2.5 ml de la solución a determinados tiempos: de 5, 10, 30, 60, 120 y 240 minutos. A la solución de colorante extraída de la bureta se le mide la concentración con el equipo de UV-vis y los cambios de estructura antes y después de la reacción

con los nanotubos de titania usando un espectrofotómetro de infrarrojo con transformada de Fourier Perkin-Elmer 200 Spectrum Two.

RESULTADOS

Análisis estructural y morfológico de los TiO_2 -NTs

Los resultados de difracción de rayos X, mostraron que los TiO_2 -NTs preparados muestran reflexiones características en $2\theta = 9.6^\circ$, 24.5° , 28.4° y 48.5° que han sido asociados previamente a las estructuras nanotubulares [14]. Además, los TiO_2 -NTs preparados muestran una alta área superficial de aproximadamente $425 \text{ m}^2/\text{kg}$ del resultado obtenido el análisis de área BET.

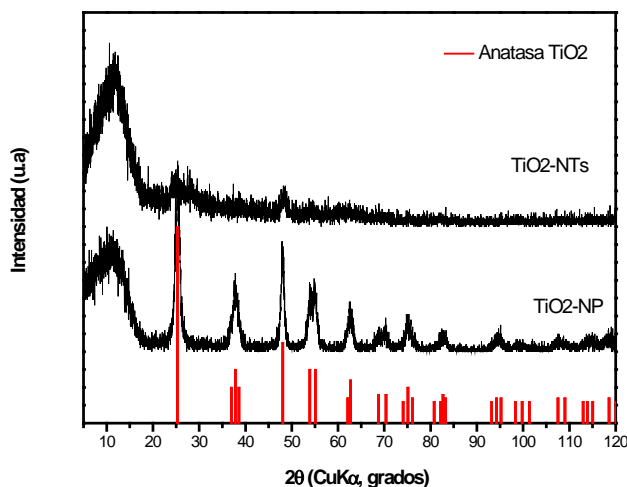


Figura 2. Patrones XRD de los TiO_2 -NTs sintetizados y nanopartículas de TiO_2 comercial Degussa

Las imágenes de MET de los TiO_2 -NTs preparados se muestran en la figura 2. Esta imagen revela una morfología nanotubular uniforme con diferentes diámetros que van desde los 5 hasta los 15 nm y longitudes de micrómetros.

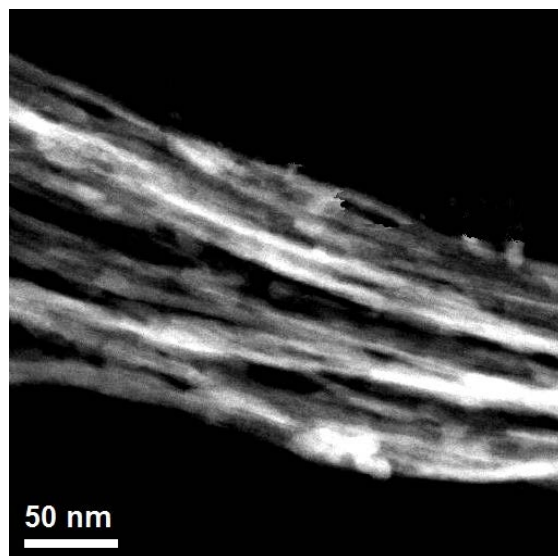


Figura 3. Imagen MET de los TiO₂-NTs sintetizados

Análisis de la degradación foto-catalítica de los pigmentos textiles

En la figura 4, se puede apreciar las curvas de IRTF del pigmento rojo 48 en una solución acuosa al estar en contacto con los TiO₂-NTs a diferentes tiempos con una irradiación de luz UV de 240 nm, en la cual se observa la desaparición de grupos funcionales en la zona de 500 a 1500 cm⁻¹ desde los primeros 30 minutos, obteniéndose una solución decolorada completamente.

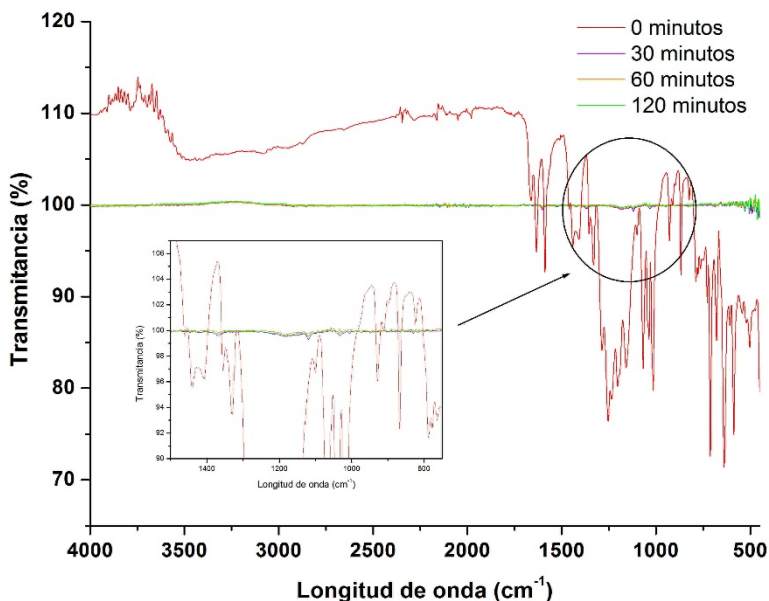


Figura 4. Infrarrojo del pigmento rojo 48 en una solución 1gL⁻¹ a diferentes tiempos en contacto con los nanotubos de titania y luz UV 254 nm.

En la figura 5, se puede apreciar las curvas de IRTF del pigmento naranja ácido 7, en una solución acuosa al estar en contacto con los TiO₂-NTs a diferentes tiempos con una irradiación de luz UV de 240 nm, en la cual se observa la disminución de señales en la zona de 500 a 1500 cm⁻¹ desde los primeros 30 minutos, sin embargo no se obtiene una solución decolorada al 100 %, pero sí una disminución de intensidad en la coloración en función del tiempo.

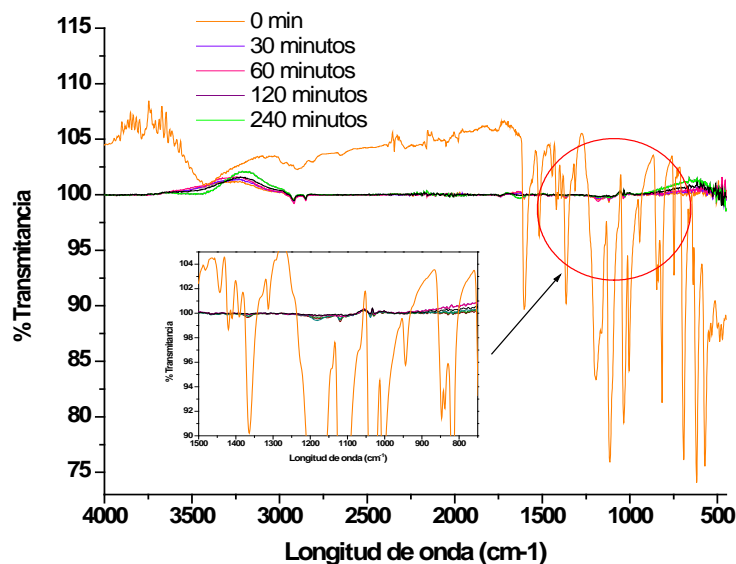


Figura 5. Infrarrojo del pigmento naranja ácido 7 en una solución 1gL-1 a diferentes tiempos en contacto con los nanotubos de titanio y luz UV 254 nm.

Como podemos también observar se tienen una disminución de picos en la zona de 500 a 1500 cm^{-1} sin embargo, éstos no desaparecen completamente, específicamente en la región de 500 a 750 cm^{-1} de longitud de onda, se presentan picos que pertenecen a los grupos cromóforos que dan la coloración al compuesto, por lo que aún aparecen señales a los diferentes tiempos siendo menos intensa la señal a los 240 min, por lo finalmente podemos decir, que no se llevó a cabo una degradación completa de este pigmento.

En la figura 6 se presentan los resultados de la evolución de la concentración del pigmento rojo y pigmento anaranjado ácido en una relación C/C_0 (concentración a un tiempo determinado / concentración inicial) mediante la técnica UV-Vis después de estar en contacto con los nanotubos de titanio a diferentes tiempos y al ser sometida a luz UV de 240 nm (8 W), en la cual se observa la disminución de la concentración cercana a cero del pigmento rojo 48 desde los primeros 30 minutos obteniéndose una solución decolorada completamente en ese tiempo, mientras que para el anaranjado ácido 7 podemos observar que es hasta los 125 minutos, cuando disminuye su concentración cercana a cero con respecto a la concentración inicial de la solución.

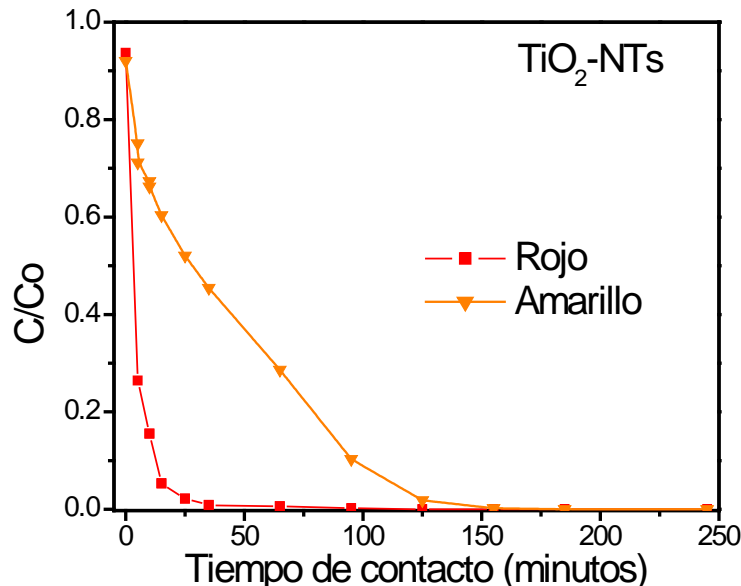


Figura 6. Evolución de la concentración de los pigmentos rojo y anaranjado en las soluciones en función del tiempo

CONCLUSIONES

Los nanotubos de titania fueron sintetizados y caracterizados, demostrando su estructura tubular y alta área superficial obtenida ($425 \text{ m}^2/\text{kg}$), también fueron evaluados en la degradación de los pigmentos rojo 48 y anaranjado ácido 7 empleando luz UV de 240 cm^{-1} (8 W) obteniendo una alta capacidad catalítica de degradación (100%) a un tiempo de 30 y 120 minutos respectivamente. Por lo que se puede decir que los nanotubos de titania son una buena alternativa para ser utilizados como materia prima en la degradación para pigmentos textiles, ya que presentan un alto grado de actividad y estabilidad química, por lo que podrían ser utilizados como medio de limpieza de aguas industriales en procesos tipo Batch para compuestos orgánicos como son los pigmentos textiles, con una alta degradación y adsorción aunado a la no toxicidad reportada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pinheiro, H., Thomas, O., Touraud, E., Aromatic amines from azo dyes reduction: status review with emphasis on direct UV spectrophotometric detection in textile industry of wastewaters. *Dyes and Pigments*, Vol 61, 2004 121-139
2. Cisneros, R.L., Espinoza, A. G., and Litter, M.I., "Photodegradation of an azo dye of the textile industry", *Chemosphere*, Vol 48, 2002, pp. 393-399
3. Vanessa C. Martínez Rojas, Lenka Matejova, Alcides López Milla, Gerardo J. F. Cruz, José L. Solís Veliza, Mónica M. Gómez León. "Obtención de partículas de TiO_2 por sol-gel, asistido con ultrasonido para aplicaciones fotocatalíticas". *Rev Soc Quím Perú*. Vol. 81 2015, p 3
4. Ahmed K. Aboul-Gheit, Doaa S. El-Desouki, Radwa A. El-Salamony. "Different outlet for preparing nano- TiO_2 catalysts for the photodegradation of Black B dye in water". *Egyptian Journal of Petroleum* Vol 23, 2014, pp.339–348

5. Gaya, U., Abdullah, A., (2008) Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminants over titanium dioxide: A review of fundamentals, progress and problems. *Journal of Photochemical and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. Vol 9, 1-12.
6. Anca Duta, Maria Visa. "Simultaneous removal of two industrial dyes by adsorption and photocatalysis on a fly-ash-TiO₂ composite". *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* Vol. 306, 2015, pp. 21-30
7. D., Dasgupta, S., Visible light induced photocatalytic degradation of organic pollutants. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews.*, Vol 6, 2005, pp. 186-205.
8. Juan Rodríguez, Roberto J. Candal, José Solís, Walter Estrada, y Miguel A. Blesa, El fotocatalizador: síntesis, propiedades y limitaciones. *Solar Safe Water*. pp 136-152
9. M. Estrada, C. Reza, J. Salmones, J.A. Wang, M.E. Manríquez, J.M. Mora, M.L. Hernández, A. Zúñiga¹ and J.L. Contreras. "Synthesis of Nanoporous TiO₂ Thin Films for Photocatalytic Degradation of Methylene Blue". *Journal of New Materials for Electrochemical Systems* Vol. 17, 2014, pp. 23-28
10. Bansal, P., Singh, D., Sud, D., (2010) Photocatalytic degradation of azo dye in aqueous TiO₂ suspension: Reaction pathway and identification of intermediates products by LC/MS. *Separation and Purification Technology.*, Vol. 72, pp.357-365
11. Baran, W., Adamek, E., Makowski, A., (2008) The influenced of selected parameters on the photocatalytic degradation of azo-dyes in the presence of TiO₂ aqueous suspension. *Chemical Engineering Journal.*, 145, 242-248.
12. , Damodar, R.A., Jagannathan, K., Swaminathan, T., Decolourization of reactive dyes by thin film immobilized surface photoreactor using solar irradiation. *Solar Energy.*, Vol 81, 2007 pp.1-7.
13. Alberto Sandoval, Cristina Hernández-Ventura, Tatiana E. Klimova. Titanate nanotubes for removal of methylene blue dye by combined adsorption and photocatalysis. *Fuel* xxx (2016) xxx-xxx Chatterjee
14. Cecilia Encarnación Gómez. Tesis. ""Síntesis, caracterización y evaluación catalítica de nanoestructuras metal noble-titania". ESQIE -IPN, Enero 2011. Ciudad de México

TUTORIAL DE SIMULACIÓN EN DELMIA QUEST

Alicia García Torres, Miguel Ángel Alvarado Díaz, Daniel Armando Aguirre Ibarra, Ana Mileva Martínez Vázquez, Jackeline Alejandra Negrete Prieto

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo facilitar el aprendizaje del usuario al adquirir la competencia para construir modelos de simulación de procesos de manufactura en software Quest® Versión R21 de la plataforma de Delmia, para ello fue diseñado un tutorial que desarrolla un modelo para la creación de partes, construcción de recursos y procesos de transformación a través de máquinas y almacenes de espera, junto con la actividad de supervisor y operadores en el área de trabajo. Estos principios básicos, permitirán al principiante aprender a simular procesos sobre una integración visual de 3 D sin tener ningún conocimiento previo, familiarizándose de esta forma con el software a fin de poder desarrollar sistemas complejos en base a las necesidades del usuario; de igual forma se incluyen los pasos para obtener información para efectuar el análisis estadístico pertinente en la toma de decisiones que optimicen los procesos de manufactura. Para comprobar la efectividad del tutorial, 30 estudiantes de ingeniería en Logística que no conocen el software, realizaron la práctica y los resultados fueron exitosos dado que se desarrolló un modelo completo en un promedio de 70 minutos con una desviación estándar de 8.6 minutos. El tutorial permitirá al interesado simular procesos de manufactura, aprender las funciones básicas para la creación del modelo en sencillos y prácticos pasos sin necesidad de una costosa capacitación debido a la vanguardia del software y a su alta aplicabilidad en la optimización de procesos por su análisis preciso, flexible y la combinación del ambiente de simulación de eventos discretos con un visualizador poderoso y de robustas capacidades. Mediante el uso de Quest ayudará a obtener un mejor análisis y así mejorar los modelos, reducir riesgos y costos para así maximizar la eficiencia de forma digital, mostrando la efectividad del presente estudio

INTRODUCCIÓN

La optimización de los procesos como estrategia para abatir los costos es una tarea importante en las organizaciones, una forma de entender el sistema así como su dinámica y los efectos es a través de la simulación y de esta manera no exponer los recursos ante la incertidumbre de escenarios. Shannon (2003), define Simulación como el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema y evaluar varias estrategias con las cuáles se puede operar el sistema [1]. Algunas áreas en las que se aplica la simulación como herramienta de ayuda a la toma de decisiones estratégicas u operativas son la fabricación, en redes de distribución, transporte, sanidad y negocios [2]. Debido a las necesidades específicas de las organizaciones, actualmente cada vez más compañías utilizan el modelado orientado a los procesos para la simulación de flujos de proceso, Urquía, M. Alfonso (1993) comenta que consiste en tomar el punto de vista de las entidades y describir su circulación a través del sistema [3]. El

modelo de simulación de manufactura, determina el tiempo de operación requerido para procesar eficazmente la producción en picos bajos, normales y máximos [4], el usuario puede tener visualmente en 3D la integración del modelo y obtener información relevante de las entradas aleatorias para efectuar un análisis estadístico y que la toma de decisiones para ingeniería se facilite. En el mercado existen ProModel, Arena, Flexim, entre otros. En el presente tutorial, se plasman los fundamentos básicos para simular los sistemas de procesos de producción de eventos discretos utilizando QUEST (Queuing Event Simulation Tool) ya que permite construir de manera sencilla modelos de simulación para la validación y visualización del impacto del flujo de proceso, diseñados para los requerimientos de producción. Sugiere Azlina (2017) que ante el uso de este software la simulación ayuda a conocer el nivel actual de los problemas para decidir los mejoramientos acordes a las prioridades del sistema, para incrementar la rentabilidad y competitividad en el precio, una reducción de los desperdicios y una maximización de la eficiencia[5], y comparado con los paquetes de simulación tradicionales, para identificar los escenarios se suele requerir un gran tiempo del usuario y un alto nivel de experiencia en técnicas avanzadas de análisis. Zbigniew M. (2008) señala que al incorporar variables de producción reales en Quest dentro de un diseño de planta, como el tiempo entre procesos, el proceso, velocidades de movimiento y operación de los trabajadores, estas variables ayudan a los usuarios a analizar los efectos sobre el material, equipo de manipulación y mano de obra [6]. El caso presentado en este tutorial para que el usuario adquiera las competencias básicas, tiene el objetivo de reducir los altos costos capacitación y entrenamiento para el aprendizaje del software, de acuerdo a Pérez, R. (2011) [7].

Mecánica de construcción del modelo.

El modelo que a continuación se describe es de un proceso de manufactura, el cual incluye la salida de materia prima (Source), 5 operaciones por parte de maquinaria (Machine), almacenes de espera (Buffers) y la llegada al almacén de producto terminado (Sink).

- **Inicialización del software Delmia Quest.**

Identificar en el escritorio el icono de QUESTD5R21, e ingresar al programa haciendo doble clic.

- **Descripción general de la pantalla principal.**

En la parte superior de la pantalla se puede observar el menú principal, el cual enlaza a las funciones de Quest; donde se utilizarán solo los comandos: File, Model, Run y Tools. Al centro de la pantalla, se encuentra el área de trabajo para la creación y desarrollo del modelo. En la parte inferior de la pantalla aparecen una serie de botones llamados controles del mundo, que permiten manipular la visualización del escenario desde diferentes perspectivas. En el lado derecho de la pantalla, se muestra un menú de botones de acción los cuales pueden modificar de acuerdo al elemento del menú principal que tú elijas.

Paso 1. Configuración del área de trabajo.

El objetivo es limpiar y resetear el área de trabajo, se realiza de forma preventiva para asegurar que se trabajará sin ninguna modificación previa.

Seleccionar File | Clear World aparecerá una ventana de dialogo pidiendo la confirmación de la orden. Seleccionar Si para confirmar. Posteriormente aparecerá una ventana de mensaje para confirmar que el sistema ha sido limpiado. Seleccionar File | Reset World. Dar clic en Si para confirmar la orden hecha.

- **Configuración de unidades.**

Seleccionar Run | Simulate | Time Units. En el cual se realizan los cambios necesarios para configurar el tiempo; dando Ok.

Seleccionar Tools | Measure | Units. Configurar como se muestra a continuación y dar Ok.

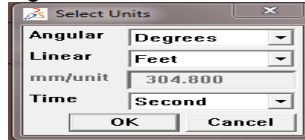


Figura 1 Selección de unidades

- **Configuración de vista.**

La configuración dependerá de las necesidades del usuario y la vista se quiera utilizar, en este caso se trabajará con la vista superior.

Seleccionar View | Standard View | Ok | Top | Ok | Cancel

Seleccionar Fly. Poner el cursor en el centro de la pantalla, dejar presionado el botón derecho del Mouse, hasta el momento en que se pueda observar mejor el área de trabajo.

Cuando se presente un recuadro amarillo seleccionar Esc. Para desactivar la función.

Paso 2. Creación de las partes de trabajo:

Seleccionar Model | Build | Part Class | Create Modify | Ok. Se presenta un cuadro de diálogo donde se configurará la pieza, se utilizarán los parámetros predeterminados.

Del mismo cuadro seleccionar Display | Attributes | Color. Elegir el color (White) y seleccionar Ok a cada una de las ventanas que se ejecutaron para este procedimiento.

Paso 3. Creación del Almacén de materia prima. (Source)

Seleccionar Model | Build | Element Class | Source. En el cuadro de diálogo escribir "Entrada" en el apartado Class Name. Del mismo cuadro seleccionar Display | Color. Elegir el color (Purple)

Seleccionar IAT | Exponential | Ok. En este mismo cuadro se establece el tiempo entre llegadas (IAT), completar la ventana Exponential con 40, y cerrar la ventana Source dando clic en Ok.

El almacén ha sido creado, la ventana de mensaje solicitará que se coloque el elemento creado; seleccionar algún lugar en el área de trabajo y dar clic derecho / izquierdo en el plano, automáticamente se observará el elemento.

Paso 4. Construcción de las máquinas.

Se va a construir 5 máquinas para el proceso Máquina 1 (Cizallado), Máquina 2 (Punzonado), Máquina 3 (Trazado), Máquina 4 (Doblado) y Máquina 5 (Pintura).

Seleccionar Model | Build | Element Class | Machine. Del cuadro de diálogo escribir "Cizallado" en Class Name. Continuar en la ventana de *Machine hasta realizar lo siguiente:*

- Para cambiar la geometría de la maquinaria: Display | 3DFile | Select From Library | Ok | C:/Deneb/Questlib/PARTS | Ok | Gifts | Workcel | V_Bridge_mill
- Para cambiar el color: Display | Color. Elegir el color (Yellow) y clic sobre el botón Ok

Ver las siguientes ventanas que corresponden a este proceso.

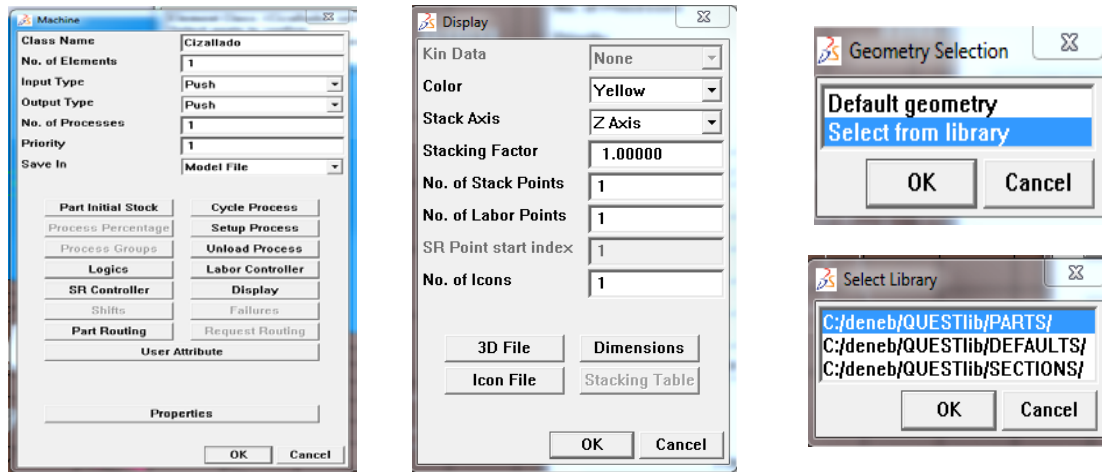


Figura 2 Ventanas de la función machine

- **Definir un tiempo ciclo para el proceso:**

Seleccionar Machine | Cycle Process | New process | Cycle Process Definition en la que se define el proceso que llevará a cabo la máquina | dejar los parámetros predeterminados y seleccionar Cycle Time | Lognormal | Ok| Completar el cuadro titulado Lognormal, con una media de 12 sec. y desviación estándar 2.15 sec. para este ciclo. Seleccionar Ok a cada una de las ventanas abiertas. La máquina ha sido creada, la ventana de mensaje solicitará que se coloque el elemento creado en un lugar en el área de trabajo (cuadrícula) y dar clic en el plano. Coloque y acomode. Ver figura 4 Acomodo de los elementos.

Para la construcción del resto de las máquinas se realizará el mismo procedimiento, considerando los pasos siguientes:

Seleccionar Model | Build | Element Class | Machine. De la nueva ventana se elige New. Esto para cada ingreso de un nuevo elemento.

De igual forma para establecer el ciclo para el proceso en el resto de las máquinas. Cuando se seleccione Cycle Process elegir New Process. Los datos del resto de las maquinas son:

Máquina 2: Class Name: (Punzonado) – Display - Color (Green) – Cycle Process - Cycle Time (Exponential: Mean 42 sec, Starting Stream 1).

Máquina 3: Class Name: (Trazado) - Display - Color (Cyan) - Cycle Process - Cycle Time (Exponential: Mean 34 sec, Starting Stream 1).

Máquina 4: Class Name: (Doblado) - Display - Color (Cherry) - Cycle Process - Cycle Time (Lognormal: Mean 44 sec, Std. Dev. 2.2 sec, Starting Stream 1).

Máquina 5: Class Name: (Pintura) – Display - Color (Light Blue) - Cycle Process - Cycle Time (Exponential: Mean 35 sec, Starting Stream 1).

Acomode los elementos con el orden siguiente, Ver figura 3.

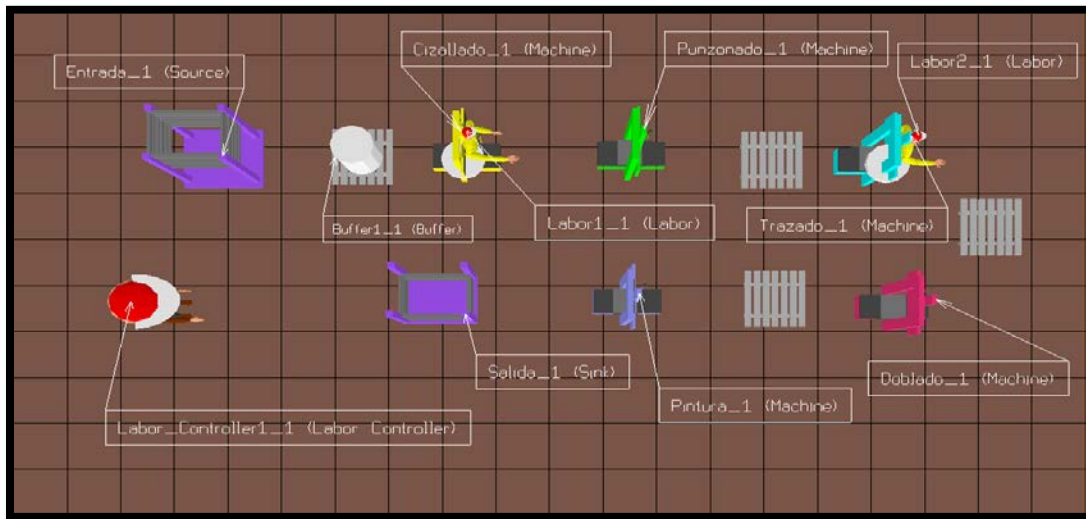


Figura 3. Acomodo de los elementos

Para mover un elemento seleccionar Model |Build |Element |Sel. Seleccionar el elemento que se quiere modificar dando clic sobre él, y después el botón Trn en este mismo apartado. El movimiento será en los 3 ejes X, Y, Z.

MOUSE:

Izquierdo – eje X

Scroll - eje Y

Derecho- eje Z

Paso 5 Construcción de los almacenes de espera. (Buffer)

En esta práctica se requieren 4 buffers. Crearlos como a continuación se enumera.

Seleccionar Model | Build | Element Class | Buffer | en Class Name poner “Tarima1”| No. Of Elements: 4 | Mantener el resto de los parámetros predeterminados | de la misma ventana en la parte inferior, seleccionar Display | Color | Grey. Finalmente dar click sobre el botón OK, automáticamente la ventana de mensaje solicita que sea posicionado en algún lugar del área, dar click. Crear el resto y ubicarlos en el plano.

Paso 6. Construcción del almacén de producto terminado. (Sink)

Por último se debe construir en este modelo un pozo o sumidero, tiene la función de recolectar las partes procesadas al final del proceso productivo.

Seleccionar Model | Build | Element Class | Sink. Aparecerá el cuadro de diálogo. Escribir “Salida” en Class Name. Del mismo cuadro seleccionar Display | Color | Purple | Mantener los datos predeterminados y de click sobre el botón Ok.

El almacén de producto terminado ha sido creado. Coloque y acomode tomando en cuenta la ubicación correspondiente de la figura 3.

Paso 7. Conexión de elementos.

La conexión de los elementos es importante para poder ejecutar el modelo, aquí se determina el flujo que tomarán las partes durante la simulación. Las conexiones se deben realizar elemento por elemento.

Seleccionar Model | Build | Connections | Element. Y aparecerá la ventana de mensaje solicitando que indique el primer punto de conexión que será el almacén de materia prima (Source), esto será dando click izquierdo sobre el elemento, después se pedirá que se indique donde finalizará y será el almacén de espera (Buffer).

Se debe repetir el paso anterior cambiando el punto de inicio y fin de la conexión según el elemento correspondiente.

Nota: El siguiente inicio de conexión será en la posición que se finalizó.

Una vez terminadas todas las conexiones, a fin de visualizar y verificar todos los elementos estén conectados correctamente se realiza lo siguiente:

Seleccionar Model | Build | Connections | Show | All Connections | Ok.

Comprobar si el modelo muestra las conexiones como se muestra en la siguiente figura.

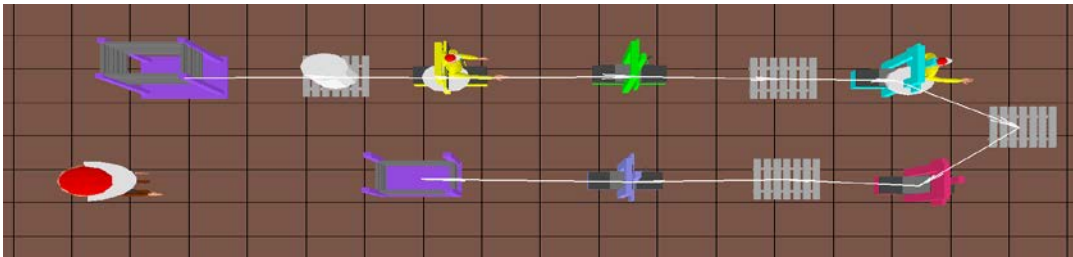


Figura 4. Conexiones del modelo

Paso 8. Creación del supervisor (Controller labor)

Seleccionar Model | MHS | Controller | Labor. En el cuadro de diálogo Labor_ Controller nombrar "Supervisor" en Class Name y dar clic en el botón Ok. Colocar el área de trabajo.

Paso 9. Creación del trabajador (Labor)

Para este caso se requieren 2 operadores que cubrirán los siguientes procesos:

Operador 1: Cizallado y punzonado y el Operador 2: Trazado y doblado

Seleccionar Model | MHS | MHS Element | Labor. De este mismo recuadro en el parámetro Move Time Mode seleccionar Location | Class Based | Seleccionar el botón Move Time y elegir la opción Constant con un parámetro de 10 para definir el tiempo de desplazamiento del operario.

La ventana de mensaje solicitará se coloque el elemento creado (Labor 1); seleccionar la máquina 1 (Cizallado).

Para la creación del segundo operador realizar los pasos anteriores, con los mismos parámetros, en este caso será Labor 2 y este será ubicado en la máquina 3 (Trazado).

Paso 10. Definición las operaciones en las que interviene cada trabajador

Se han creado 5 máquinas por lo cual se tienen 5 procesos diferentes, en este paso se asignará a cada operador (Labor) el proceso que le corresponde realizar.

Como se había mencionado anteriormente los procesos serán asignados de la siguiente forma:

Operador 1: Cizallado y punzonado. Seleccionar Model | Process | Cycle. Seleccionar Process_1| Ok. Aparece el cuadro de diálogo Cycle Process Definition. Seleccione Parts, complete de la siguiente forma y de click en Ok.

	Quantity	Input	Stack Point	Dedicated Labor
Any Part	0	0	0	None
Part1	1	0	0	None

Figura 5. Definición de partes para los procesos del operador 1

Seleccionar el botón Labor, complete de la siguiente forma y de click en Ok.

	Requirements	Location Index	Release Count
Any Labor	0	0	0
Labor1	1	0	1
Labor2	0	0	0

Figura 6. Ventana de requerimientos para el operador 1

Estos pasos se realizarán de igual forma pero seleccionando ahora Process_2.

Ahora se procede a asignar los procesos al Operador 2: Trazado y doblado

Para la asignación de proceso para el trabajador 2 se realizará lo siguiente: Seleccionar Process_3| Ok. Aparece el cuadro de diálogo Cycle Process Definition. Seleccione Parts, complete de la siguiente forma y de click en Ok.

	Quantity	Input	Stack Point	Dedicated Labor
Any Part	0	0	0	None
Part1	1	0	0	None

Figura 7. Definición de partes para los procesos del operador 2

Seleccionar el botón Labor, complete de la siguiente forma y de click en Ok.

	Requirements	Location Index	Release Count
Any Labor	0	0	0
Labor1	0	0	0
Labor2	1	0	1

Figura 8. Ventana de requerimientos para el operador 2

Estos pasos se realizarán de igual forma pero seleccionando ahora Process_4.

Nota: En este modelo no se asignará labor para el Process_5.

Paso 11. Ejecutar la corrida de simulación

Seleccionar Run | Simulate | Simulation | Run | Ok. Acepte los valores que se muestran en la ventana.

Paso 12. Guardar el modelo

Seleccionar File | Save Model As. (Dar nombre al modelo y guardar)

Paso 13. Generar estadísticas

Seleccionar Run | Single Run Output | Run Stats | Model

2. RESULTADOS

Para comprobar la efectividad del tutorial, 30 estudiantes de ingeniería en Logística que no conocen el software realizaron la práctica y los resultados fueron exitosos, ya que se desarrolló un modelo completo en un promedio de 70 minutos con una desviación estándar de 8.6 minutos.

CONCLUSIONES

El presente tutorial, es una herramienta que facilitará a los usuarios el aprendizaje básico para la generación de modelos de eventos discretos en un software de vanguardia que de manera sencilla obtiene los resultados del desempeño de los procesos diseñados en un sistema, facilitando la evaluación y comprensión del efecto de los elementos inmersos en la dinámica y de esta manera evaluar y efectuar las simulaciones pertinentes y obtener una solución óptima. Mediante el uso de Quest ayudará a, reducir riesgos y costos. Servirá como base para adquirir el manejo básico del software.

BIBLIOGRAFÍA

1. Robert E. Shannon, citado en Coss Bú, Raúl, "Simulación: un enfoque práctico", Limusa, México, 2003.
2. Piera, Miquel A., Guasch, T., Casanovas, J., Ramos, J. "Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación", Editorial Díaz De Santos, 2006, pag. 73.
3. Urquía, M. Alfonso, "Modelado y simulación de eventos discretos" Universidad Nacional de Educación a distancia Madrid, 2013. ISBN 978-84-362-6781-5
4. <http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/72941-modelos-simulacion-manufactura>
5. Azlina, Noor M., Kasolang, S., Azri, M., Asiah, N "The study on optimization of Streamlined process flow base don Delmia Quest simulation in an automotive production system", Proceded Compuen Science 105 (2017) 191-196.

6. Zbigniew M., Nuñez, M, Mu Li, Power, S. "Simulation of a Machining Sequence Using Delmia/Quest Software",10.3722/cadaps.2008.401-411
7. Pérez Ricardo, Hernández A, Young, D, "Tutorial de Simulación Básica utilizando Quest®
Reporte de Proyecto",
Conciencia Tecnológica No. 41, Enero-Junio 2011

SEGUIMIENTO SOLAR PARA UN CONCENTRADOR CILINDRO-PARABOLICO

Juan A. García-Ramos, M. Montiel-González, R.J. Romero, Y.R. Galindo-Luna

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad No. 1001, Chamilpa, Cuernavaca 62100, Morelos, México – garj940613@gmail.com, moises.montiel@uaem.mx

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas – Instituto de Investigaciones en Ciencias Básicas y Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad No. 1001, Chamilpa, Cuernavaca 62100, Morelos, México - rosenberg@uaem.mx

Posgrado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad No. 1001, Chamilpa, Cuernavaca 62100, Morelos, México – yuridiana.galindo@uaem.mx

RESUMEN

Durante la última década la comunidad científica ha realizado esfuerzos por utilizar sistemas de energía renovable. Los sistemas capaces de aprovechar este recurso se ven limitados por falta de seguimiento solar, el cual permite una mejora de la operación en las horas de captación.

En el presente trabajo se describe el diseño y fabricación de un prototipo de seguidor solar, para ser acoplado a concentradores cilindro-parabólicos (CCP) usado en una planta de aire acondicionado por absorción, el cual servirá para re-direccionar los concentradores, este mismo podrá ser usado para otras aplicaciones solares térmicas.

El sistema electromecánico propuesto consta de tres partes: sistema electrónico de adquisición de datos, sistema electrónico de evaluación de condiciones de operación y sistema mecánico. Éste último trabaja con mecanismos de poleas, operados por la fuerza de un fluido al caer en un recipiente, y se realiza una corrección para enfocar el CCP con bombas de 6W, activadas con una tarjeta multiplexora producto de este trabajo, acoplada a arduino.

Las ventajas del diseño propuesto son: precisión, versatilidad, un consumo de potencia eléctrica de 6W, ligero, sólo se requiere un multímetro para su referenciación y es de libre mantenimiento para el usuario.

INTRODUCCIÓN

Durante la última década la comunidad científica ha realizado esfuerzos por utilizar sistemas de energía renovable. La energía solar se considera como una fuente de energía limpia, debido a que no emite CO₂ durante su operación y gratuita, a pesar de esto para aprovechar este recurso, es necesario un sistema que permita la localización del sol para la captación [1].

El principal problema de un concentrador cilindro parabólico (CCP), es el seguimiento solar que permita aumentar el aprovechamiento en la captación de la energía solar, por lo que el sistema electromecánico de seguimiento es una propuesta viable para la solución a este problema. El sistema propuesto consta de tres partes: sistema electrónico de adquisición de datos, sistema electrónico de evaluación de condiciones de operación y sistema mecánico.

La tercera parte trabaja con mecanismos de poleas, operados por la fuerza de un fluido al caer en un recipiente, la corrección del enfoque del CCP es realizada con 2 bombas de 6W, activadas por medio de un circuito integrado (arduino), al ser evaluados los parámetros obtenidos en la primera parte por medio de una tarjeta multiplexora previamente desarrollada en el proyecto.

En la Figura 1 se muestra el diagrama general de bloques del sistema de seguimiento.

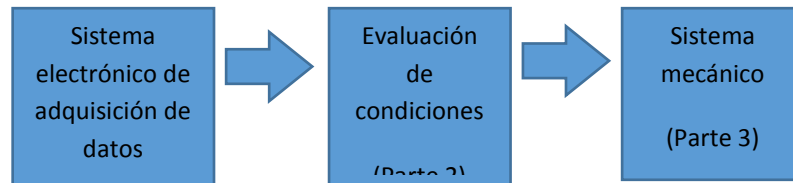


Figura1. Diagrama general del sistema de seguimiento.

TEORÍA

Los concentradores cilindro-parabólicos (CCP) se consideran los más apropiados para aplicaciones de calor de proceso de mediana temperatura, son concentradores de foco lineal y consisten en una superficie de forma parabólica que refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo receptor colocado en la línea focal de la parábola. Esta radiación concentrada sobre el tubo receptor hace que el fluido que circula por su interior se caliente, transformando la radiación solar en energía térmica, bajo la forma de calor sensible o latente del fluido [2]. Con el objetivo de alcanzar una adecuada captación de energía solar por medio de un CCP, es necesario que el movimiento que realice sea de alta precisión, ya que una acumulación de errores ópticos en la superficie y en el mecanismo, generan pérdidas significativas disminuyendo la eficiencia y la energía captada. De acuerdo con la literatura consultada, no se debe superar un error porcentual del 9% cuando los rayos sean perpendiculares al concentrador [3].

A continuación, se muestra la metodología desarrollada para el seguimiento solar del CCP, el cual está conformado por 3 partes para obtener la mayor precisión posible en el movimiento y una mayor eficiencia en la energía solar concentrada. Las tres partes del sistema de seguimiento solar son:

1.- sistema de adquisición

- Se obtienen parámetros a través de LDR'S (light dependent resistor).
- Se elimina la oscilación del parámetro través de un puente de Winston.
- Se amplifica el parámetro, con un amplificador operacional.
- Se desfragmenta el parámetro en 8bits.

2.- sistema de evaluación

- Se evalúa el parámetro desfragmentado
- Se ejecuta un algoritmo

- Se activa la bomba para corregir el movimiento cenital del colector según la indicación del algoritmo.

3.- Sistema mecánico

- Se requiere un arreglo de poleas, con la finalidad de disminuir la fuerza necesaria para realizar el movimiento.
- Se utiliza un fluido de trabajo, almacenado en un recipiente, para producir la fuerza necesaria para el movimiento cenital de cada CCP.

PARTE EXPERIMENTAL

Diseño experimental

Durante la elaboración de este proyecto se presentaron varios diseños mecánicos de seguimiento, tales como:

- Mecanismo dentado para cada eje de los CCP para utilizar la transmisión de potencia utilizando motores de corriente alterna.
- Mecanismo de un actuador de doble efecto utilizando aire comprimido.
- Mecanismo de poleas utilizando peso muerto.

Al evaluar las condiciones de operación que se requiere en el proyecto se optó por un mecanismo de poleas, el cual consiste en un arreglo de 2 poleas, utilizando un fluido de trabajo para lograr un mayor control en el movimiento cenital, seguido del poco mantenimiento que requiere el sistema, además que no emite dióxido de carbono ni otro tipo de contaminación.

Sistema 1

- Los parámetros eléctricos obtenidos se desfragmentaron en 8 bits, esto se realizó con una frecuencia de 500khz, para que el dato desfragmentado tenga el mismo valor antes y después del proceso.
- Se utilizó el álgebra de Boole para obtener la tabla de la verdad de 8 bits, en la cual se obtuvieron 256 iteraciones, estas nos indican los valores que se deben obtener al momento de desfragmentar los parámetros.
- En la Figura 2 se observa la placa fenólica donde se discretizan los parámetros.

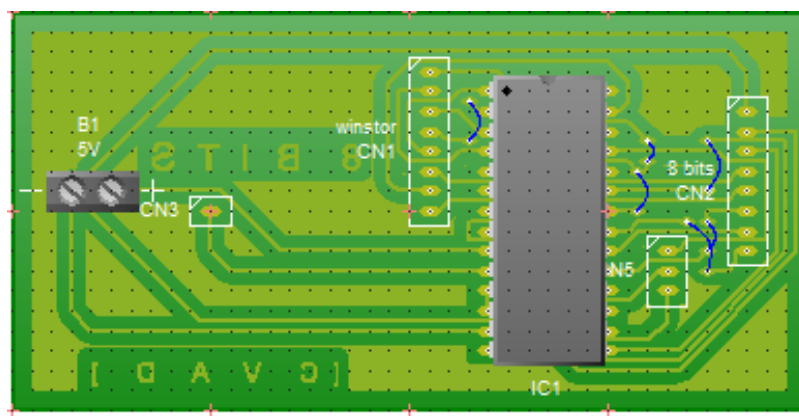


Figura 2.- placa fenólica donde se discretizan los parámetros, García Ramos (2017).

Sistema mecánico

En este sistema se optó por utilizar un arreglo de 4 poleas, para disminuir la fuerza a utilizar para realizar el movimiento cenital de 2 CCP, así como se muestra en la figura 3.



Figura 3.- Arreglo de dos poleas, García Ramos (2017).

Se realizaron estructuras para el seguimiento con altura de 2.6m para garantizar el libre tránsito del personal para el mantenimiento de la planta solar, así como se muestra en la figura 4.



Figura 4.- Estructura para el seguimiento solar con altura de 2.6m, García Ramos (2017).

La Figura 5 muestra un diagrama esquemático de la planta de colectores de cilindro parabólicos, a la cual se le implementará el seguimiento solar.

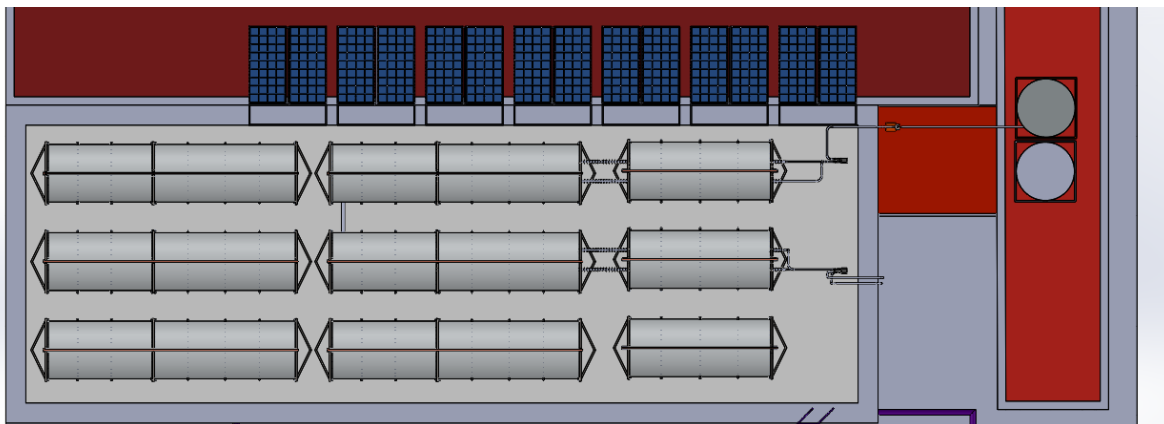


Figura 5.- Diagrama esquemático (Vista superior), de la planta de colectores de cilindro parabólicos, a la cual se le implementara el seguimiento solar.

RESULTADOS

Este sistema de seguimiento solar es una propuesta viable para un CCP y otros dispositivos de captación de energía térmica solar, ya que es un componente que no genera dióxido de carbono ni otro contaminante hacia el medio ambiente en operación, la cantidad de energía eléctrica ocupada es sumamente baja ya que solo son 12 Watts de potencia que se utiliza en una bomba, (la energía solo se ocupa en caso que haya un error óptico) y el tiempo de operación de la bomba es menor a 60 segundos.

Sistema de adquisición

- Al desfragmentar mediciones con frecuencias de 500 kHz, los datos son precisos.
- Se utilizó el álgebra Booleana obtener un parámetro de 8 bits de salida.
- Se realizaron 256 interacciones con diferencias de 0.019 V.
- Este sistema es capaz de medir variables simultáneamente.

Sistema de evaluación

- Este sistema es capaz de activar bombas de 6 W.
- Este sistema evalúa cuando activar o desactivar las bombas según la necesidad.

Sistema mecánico

- Se diseñó un arreglo de poleas en Solidworks.
- Este sistema opera con un arreglo de 2 poleas por CCP.
- El movimiento cenital es generado por un fluido.
- Se rediseñaron estructuras para garantizar el libre tránsito del personal.

Las ventajas de este diseño propuesto son: precisión, versatilidad en movimiento, consumo de potencia eléctrica de 6W, ligero, requiere un multímetro para el referenciación y es de libre mantenimiento para el usuario.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó un sistema de seguimiento solar que no emite contaminante alguno al medio ambiente durante la operación y un bajo consumo energético de 12 Watts en menos de 60 segundos.

- Se fabricaron 4 placas, las cuales tienen funcionamientos independientes, capaces de adaptarse a diferentes funciones.
- El acoplamiento de las placas tiene la capacidad de medir con 7 cifras significativas.
- La referenciación de la tarjeta multiplexora se realiza mediante un multímetro y un ajuste en la resistencia variable.
- La tarjeta multiplexora puede medir otras variables simultáneamente.
- El sistema de seguimiento de la planta tiene un costo de \$25000 MXN.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al financiamiento parcial del CEMIE-SOL-P09 y CONACYT-B-167434

BIBLIOGRAFÍA

1. B. Amrouche; N. Belhaouas; S. Achachera; M. Tahar Boukadoum; "[A software tool for testing maximum power point tracking algorithms using real working conditions](#)", *Int J Hydrogen Energ*, 2016, Vol 41, pp 12525-12534.
2. Thomas A. "Solar steam generating systems using parabolic trough concentrators" *Energy Convers.* 1996, Vol 37, 2, pp. 215-245.
3. M. Mussard, O. J. Nadal, "Influence of solar tracking inaccuracy and sun rays modeling on the efficiency of a small-scale parabolic trough", *Energy Procedia*, vol. 57, 2014, pp 1508 – 1515.

PROPIEDADES LUMINISCENTES DE PELÍCULAS DE $\text{GdVO}_4: \text{Sm}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$ VÍA SOL GEL - DIP COATING

Gustavo Alejandro Silva Ramírez, Aristeo Garrido Hernández, Brenely González Penguelly, Citlali Alejandra Marín Flores, Dulce Yolotzin Medina Velazquez y Ángel de Jesús Morales Ramírez

Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, Instituto Politécnico Nacional
Universidad Tecnológica de Tecámac
Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco

RESUMEN

El proceso sol gel permite obtener películas funcionales con propiedades ópticas con, entre otras ventajas, tamaños de cristalita nanométricos que combinado con una morfología superficial de baja rugosidad hace posible definir un tamaño de punto de pixel más pequeño y conseguir resoluciones mayores. En este trabajo se reporta el estudio de las propiedades estructurales y luminiscentes de películas de vanadato de gadolinio activadas con samario y bismuto ($\text{GdVO}_4: \text{Sm}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$) en sustratos de cuarzo obtenidas por el proceso sol-gel y la técnica de inmersión (Dip Coating). Las propiedades estructurales se analizaron mediante Difracción de Rayos X revelando que las películas obtenidas a temperaturas mayores a 700°C tienen una fase tetragonal de GdVO_4 y con orientación preferencial al plano (200). El espectro de emisión fotoluminiscente a una longitud de onda de excitación de 283 nm exhibe cuatro bandas de emisión, una banda amplia en 435 nm se atribuye a la transición $^1\text{S}_0 \rightarrow ^3\text{P}_1$ del ion Bi^{3+} , además de las bandas características del ion Sm^{3+} a 566, 604 y 649 nm, las cuales corresponden a las transiciones electrónicas entre los niveles $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_J$ ($J = 5/2, 7/2$ y $9/2$) respectivamente; evidencia que sugiere un proceso de transferencia de energía del ion VO_4^{3+} al ion Bi^{3+} y este a su vez funciona como sensibilizador del ion Sm^{3+} . Se observó que la máxima intensidad de emisión fotoluminiscente se obtuvo para las películas preparadas a partir de la solución precursora con 3% mol Sm^{3+} , 3% mol Bi^{3+} y a una temperatura de tratamiento térmico de 1100°C .

INTRODUCCIÓN

Los nanomateriales con tamaño inferior a 100 nm presentan propiedades asociadas con la mecánica cuántica; ocasionando fenómenos que tienen aplicaciones en áreas específicas, tales como la nanoelectrónica, la nanomecánica, nanoiónica y la nanofotónica, por mencionar algunas; estas áreas han evolucionado durante estas últimas décadas para proporcionar un fundamento científico básico a la nanotecnología, de ahí surge el potencial tecnológico que éstas nuevas áreas ofrecen. Dentro de la nanofotónica actualmente los materiales inorgánicos nanocristalinos dopados con tierras raras han atraído la atención por sus propiedades únicas, estos materiales luminiscentes inorgánicos, también llamados "fósforos" obtienen sus propiedades electrónicas de los lantánidos trivalentes (Ln^{3+}) en los sólidos, esto es, su capacidad para emitir fotones en el visible y en la región del infrarrojo cercano (NIR)^{1,2}, los fósforos son comúnmente utilizados en forma de polvos, y son empleados en varias clases de dispositivos opto electrónicos, convertidores de espectro solares para celdas fotovoltaicas, Diodos de emisión de luz, dispositivos de imagen de Rayos X^{3,4}.

En los últimos años se han hecho esfuerzos por desarrollar películas delgadas (thin layers) Fotoluminiscentes dopados con iones de lantánidos trivalentes Ln^{3+} ($\text{Ln}^{3+} = \text{Sm}^{3+}, \text{Eu}^{3+}, \text{Gd}^{3+}, \text{Tb}^{3+}, \text{Dy}^{3+}, \text{Ho}^{3+}, \text{Tm}^{3+}, \text{Yb}^{3+}$ y Lu^{3+}), debido a que en esa forma es posible minimizar la dispersión de energía radiante, maximizando así el rendimiento luminiscente⁵.

TEORÍA

La presente investigación se enfocará a la síntesis de películas de GdVO_4 codopadas con Sm-Bi bajo el método de síntesis Sol-gel, la composición de las películas a desarrollar constan de una matriz cristalina del ion ortovanadato (VO_4^{3-}) y el ion trivalente gadolinio (Gd^{3+}), este tipo de material óxido luminescente tiene ventaja respecto a los fósforos de sulfuro usados actualmente, debido a que poseen una mayor estabilidad en el vacío y no tienen emisión de gases corrosivos bajo bombardeo electrónico, así como por su alta eficiencia en la conversión de energía, la pureza en los colores espectrales y la alta estabilidad térmica^{6,7}.

El vanadato de gadolinio (GdVO_4) como una matriz de alojamiento de iones Ln^{3+} son de gran importancia debido a que sus secciones de emisión y absorción son más amplias⁸, también exhibe una fuerte absorción de la radiación UV y como matriz dopada con iones de Ln^{3+} produce un transferencia de energía de esos iones, tal es el caso del $\text{GdVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ que produce una eficiente e intensa emisión roja, inducida por la transferencia de energía a partir de los grupos VO_4^{3-} a los iones de Eu^{3+} , por lo tanto queda evidenciado que la incorporación de un dopante, como el Eu^{3+} , tiende a modificar el espectro luminescente⁴.

Como polvo se ha sintetizado por la reacción de estado sólido⁹, hidrotermal⁸, co-precipitación¹⁰ y por Sol-Gel en sistemas modopados^{8,12} con Eu^{3+} , Nd^{3+} , Eu^{3+} , Dy^{3+} y en sistemas codopados^{9,11} con $\text{Er}^{3+}:\text{Yb}^{3+}$ y $\text{Sm}^{3+}:\text{Er}^{3+}$, cabe resaltar que no existen registros del uso de codopantes $\text{Sm}^{3+}:\text{Bi}^{3+}$ en películas delgadas a base de Sol-gel por lo que es una innovación y una propuesta original.

PARTE EXPERIMENTAL

Síntesis de la solución de revestimiento de $\text{GdVO}_4:\text{Sm}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$

Se preparó un sol disolviendo la cantidad estequiométrica de Gd_2O_3 en HNO_3 bajo agitación a una temperatura de 60°C hasta formar una solución transparente; dicha solución se mezcló con una solución agua-etanol ($v/v=1:7$) y se añadió ácido cítrico en una relación molar 1:2 respecto a los iones metálicos. Se realizó un ajuste de pH 1 utilizando NH_4OH y se añadió la cantidad estequiométrica de NH_4VO_3 y de las sales de $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3$ y $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$. Además, se utilizaron los agentes reológicos etilenglicol y Pluronic F-127 para modificar la viscosidad e incrementar el espesor. El sol se mantuvo en agitación por una hora y se filtró con un Milipore de $45\ \mu\text{m}$.

Las soluciones fueron dopadas al 0, 1, 3 y 5 % mol de Sm^{3+} manteniendo constante a 3% mol de Bi^{3+} .

Elaboración de las películas mediante dip-coating

Los recubrimientos de $\text{GdVO}_4:\text{Sm}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$ se depositaron sobre sustratos de cuarzo, previamente lavados con agua destilada y metanol en un baño ultrasónico, mediante dip-coating a una velocidad controlada de $1\ \text{mms}^{-1}$. Con el objetivo de aumentar el espesor, el proceso de deposición se repite 3 veces.

Tratamiento térmico de las películas

Las películas fueron tratadas a 700, 800, 900, 1000 y 1100°C por 1 hora para promover la cristalización de la matriz y analizar su evolución.

RESULTADOS

Propiedades estructurales del GdVO_4 por FT-IR y DRX

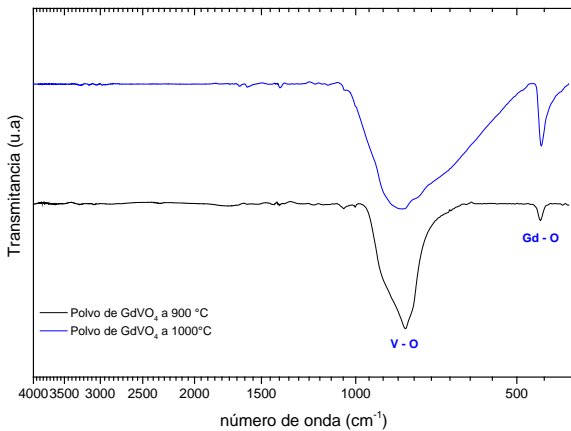


Figura 26. Espectrogramas FT-IR de polvos de $GdVO_4$

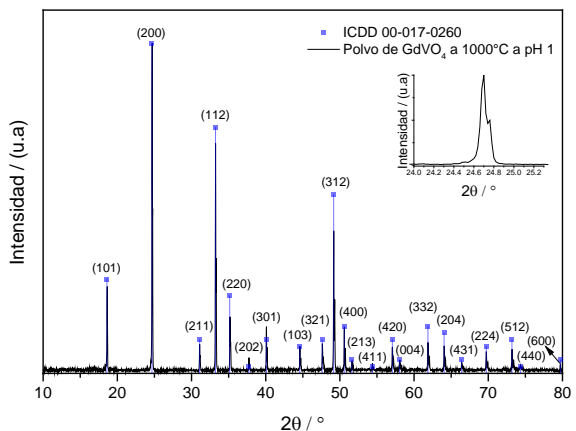


Figura 27. Difractograma de rayos X de polvos de $GdVO_4$

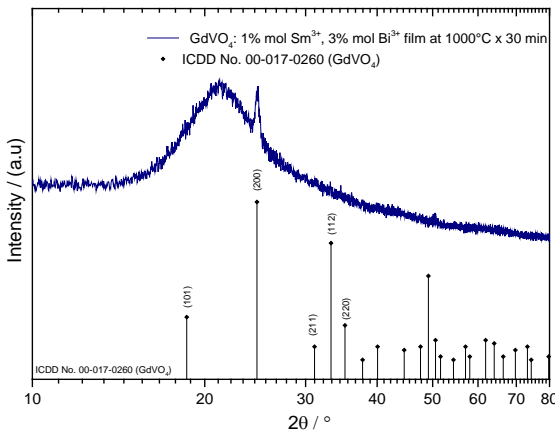


Figura 28. Difractograma de rayos X de películas de $GdVO_4$

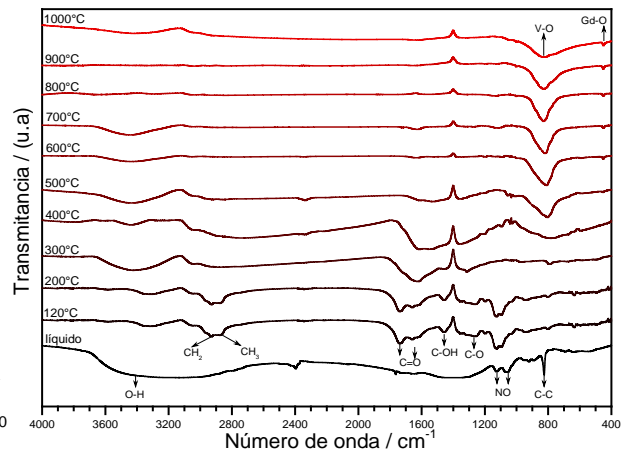


Figura 29. Espectrogramas FT-IR de polvos de $GdVO_4:3\%Sm^{3+}, 3\%Bi^{3+}$

Los resultados de espectroscopia FT-IR en la figura 1 indican la presencia de los enlaces V-O y Gd-O.^{1,2,4} en la muestra de polvos de $GdVO_4$ que corresponden a las bandas de absorción alrededor de 850 y 800 cm^{-1} debido al “stretching” entre V-O de los sitios tetraédricos en la fase $GdVO_4$, además de una segunda banda alrededor de 450 cm^{-1} que es debida al “stretching” entre Gd-O de los sitios octaédricos.⁶

En la figura 2 se muestran la carta de difracción ICDD No. 00-017-0260 indexada con la muestra de $GdVO_4$ en polvos con un tratamiento térmico de 1000°C , se aprecia que los picos corresponden a los de la carta, sugiriendo así que la fase tetragonal de $GdVO_4$ fue obtenida, además, no se observan picos de difracción correspondientes a alguna impureza o fase alotrópica, sugiriendo que un polvo puro y cristalino fue obtenido.

Los resultados mostrados en la figura 3 muestra un difractograma de rayos X para una película de $GdVO_4$, y es de notar que las películas tienen orientaciones preferidas de cristalización (orientación preferencial) para la fase $GdVO_4$ al plano (200). La orientación preferencial ocurre debido a la energía superficial más baja del plano basal (200) en $GdVO_4$ y la minimización de la tensión interna que conduce a un crecimiento preferencial a lo largo de la dirección [200].

Propiedades estructurales del $GdVO_4: Sm^{3+}, Bi^{3+}$ por FT-IR y DRX

La formación del $\text{GdVO}_4:3\%\text{Sm}^{3+}, 3\%\text{Bi}^{3+}$ en polvos fue analizado por espectroscopia FT-IRy se describe en la figura 4. En liquido el sol presenta amplias bandas de absorción que revela la presencia de agua y alcohol (3400 cm^{-1} ν), esta banda es asociada a la vibración tipo “stretching” del O—H, a esta temperatura los compuestos orgánicos siguen presentes en la muestra prueba de ello son las bandas de $1200\text{ -}800\text{ cm}^{-1}$ características del enlace NO ($\sim 1100\text{ cm}^{-1}$) proveniente de la formamida y el C—C ($\sim 800\text{ cm}^{-1}$) del Etilenglicol. A los $120\text{ }^\circ\text{C}$ los enlaces CH_2 y CH_3 ($\sim 3000\text{ -}2800\text{ cm}^{-1}$ ν) indican la presencia de grupos metil y metilo en la muestra aún con rastros de solventes, además se aprecia la formación de grupos carboxilo C=O, C—OH, y C—O ($\sim 1500\text{ -}1200\text{ cm}^{-1}$), grupos que al ir aumentando la temperatura son evaporados en forma de CO_2 . Desde el líquido se aprecia la banda característica del enlace V—O ($\sim 800\text{ cm}^{-1}$) sien embargo es muy pequeña debido al solapamiento de bandas y a que se encentra en menor proporción que los compuestos orgánicos presentes en la muestra. A $500\text{ }^\circ\text{C}$ comienza a disminuir la cantidad de grupos carboxilo dando lugar a la presencia de los enlaces V—O y Gd—O (~ 800 y 450 cm^{-1}) característicos del GdVO_4 .

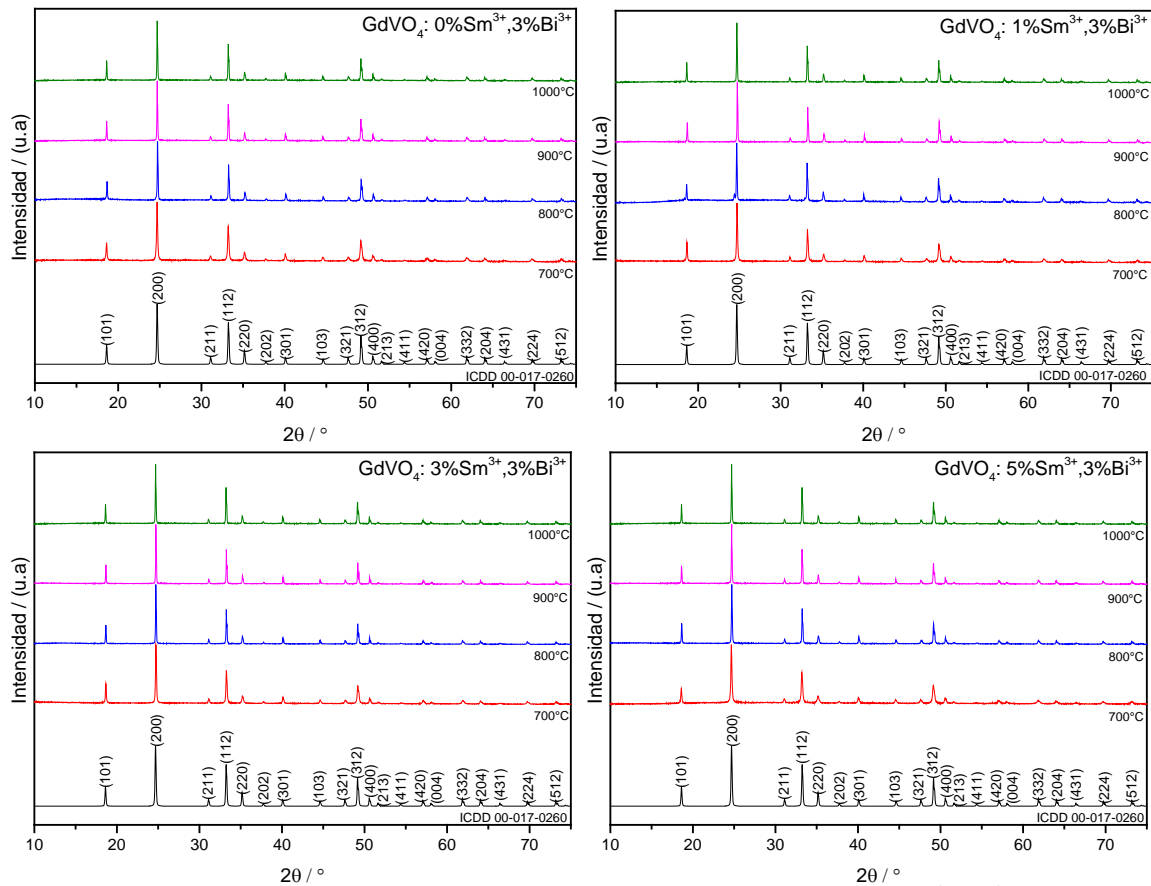


Figura 30. . Difractogramas de rayos X de polvos de $\text{GdVO}_4:\text{Sm}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$

En la figura 5 se muestran los difractogramas de rayos X para polvos de $\text{GdVO}_4:\text{Sm}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$ a diferentes concentraciones del ion Sm^{3+} al igual que con la fase GdVO_4 sin dopar se aprecia que los picos corresponden a los de la carta, sugiriendo así que la fase tetragonal de GdVO_4 dopada fue obtenida, además, no se observan picos de difracción correspondientes a alguna impureza o fase alotrópica, sugiriendo que un polvo puro y cristalino fue obtenido y que los iones dopantes Sm^{3+} y Bi^{3+} fueron incorporados exitosamente dentro de la estructura de GdVO_4 .

Propiedades fotoluminiscentes PL y PLE

Se muestran los espectros de fotoluminiscencia de excitación (PLE) y fotoluminiscencia de emisión (PL) de las películas de GdVO₄: Sm-Bi para las muestras:

Gd_{0.96}VO₄: Sm_{0.00} – Bi_{0.03}, Sm_{0.01} – Bi_{0.03}, Gd_{0.94}VO₄: Sm_{0.03} – Bi_{0.03} y Gd_{0.92}VO₄: Sm_{0.05} – Bi_{0.03} que para cuestiones prácticas llamaremos 1%Sm, 3%Sm y 5%Sm respectivamente.

Los resultados de los análisis de fotoluminiscencia de excitación en función de la concentración de Sm³⁺ se muestran en la figura 6.

Los resultados presentados sugieren que a mayor temperatura de tratamiento térmico mayor será la respuesta de la película frente a longitudes de onda que van de los 260 a los 320 nm, teniendo un punto máximo promedio de 285 nm. Esto quiere decir que la temperatura juega un rol importante en la cristalización de la matriz y por ende se le puede atribuir a la capacidad de absorción de energía. La figura 7 muestra el espectro PL de las muestras 1% Sm a 900, 1000 y 1100 °C.

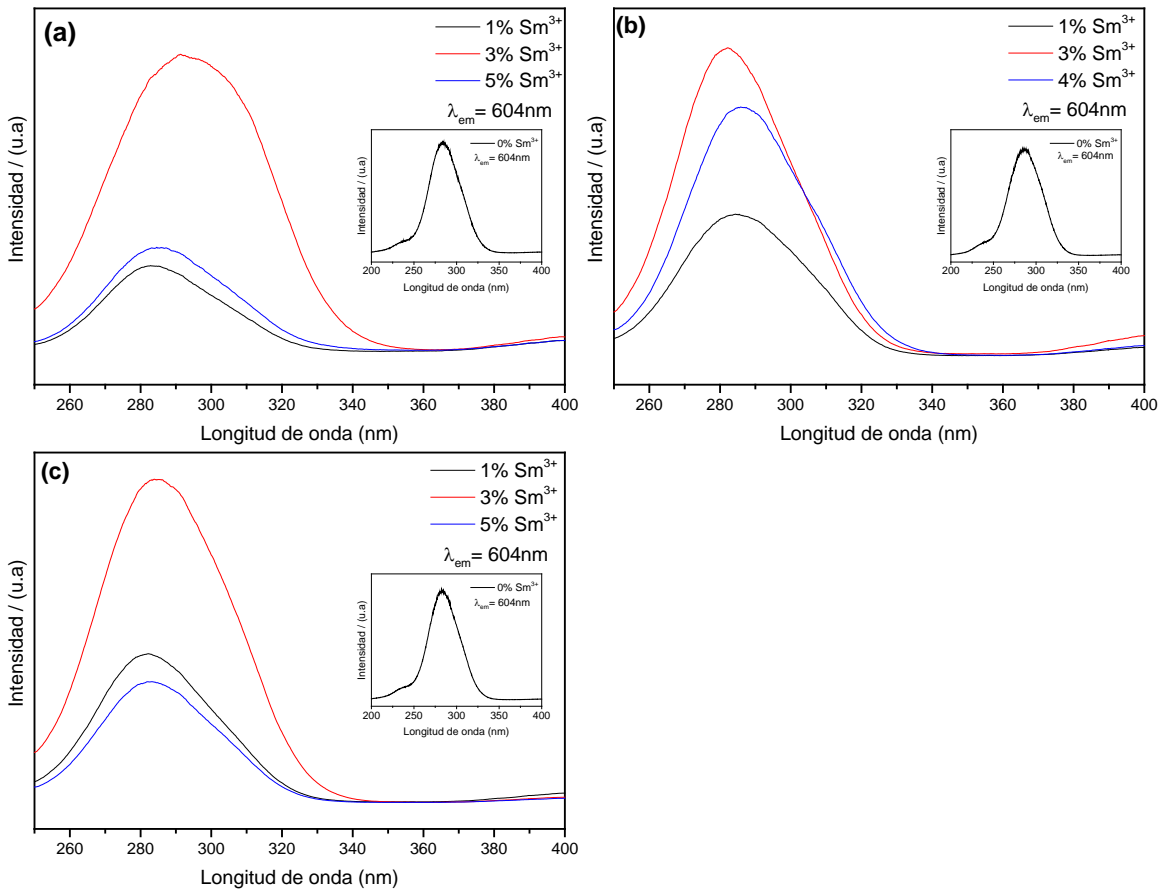


Figura 31. Análisis de PLE para películas a diferentes tratamientos térmicos (a) 900 °C, (b) 1000 °C, (c) 1100 °C

Los resultados de PL en la figura 7 indican la presencia de una banda ancha de emisión de 400 a 550 nm que corresponde al color azul, es causado por el ion Bi³⁺ ya que al ser excitado emite en la región del azul, tal y como lo menciona Zhu¹³ además de que existe una gran similitud a lo reportado por Huang¹⁴ en polvos de YVO₄: 3%Bi³⁺, 10%Sm³⁺ vía reacción de estado sólido, la intensidad de la banda decrece de acuerdo al porcentaje mol de Sm³⁺, es decir 1%Sm > 5%Sm > 3%Sm.

También se aprecian las bandas características del ion Sm a 565, 604 y 646 nm, les corresponden las transiciones de ⁴G_{5/2} → ⁶H_{5/2, 7/2 y 9/2 respectivamente. El máximo de emisión se sitúa a 601 nm y}

es correspondiente a la transición (${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$) del ion Sm^{3+} por lo que el espectro de emisión está compuesto de colores rojo-naranja en su mayoría.

En base a la figura 8 se puede concluir el análisis PL de las películas de Sm^{3+} , Bi^{3+} , mostrando que la temperatura ideal de tratamiento térmico para las películas es de $1100^\circ C$ debido a que a mayor cristalinidad la matriz es capaz de emitir en mayor intensidad.

Además, se muestra la dependencia de la intensidad de la emisión PL de la concentración del ion Sm^{3+} . Se encontró que la concentración óptima para el Sm^{3+} es de 3%.

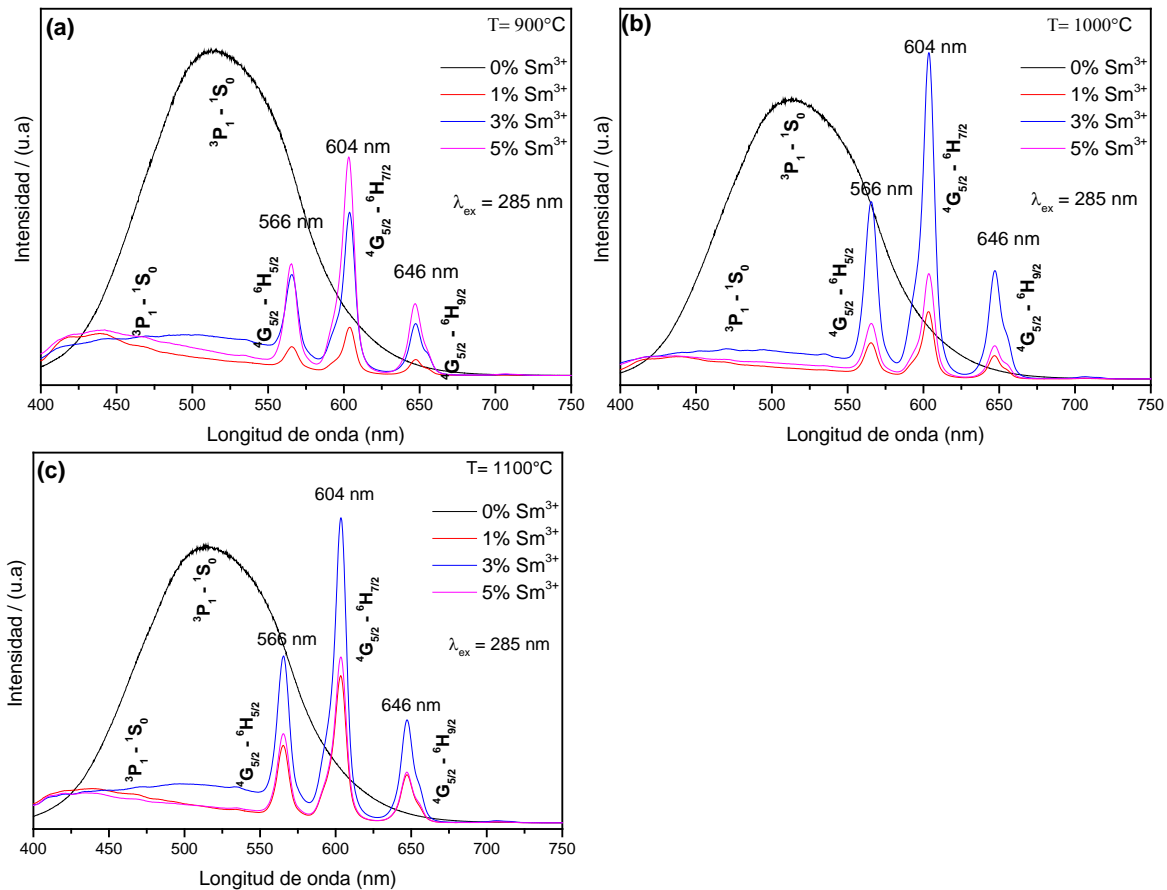


Figura 32. Análisis de PL para películas con diferentes tratamientos térmicos (a) $900^\circ C$, (b) $1000^\circ C$, (c) $1100^\circ C$

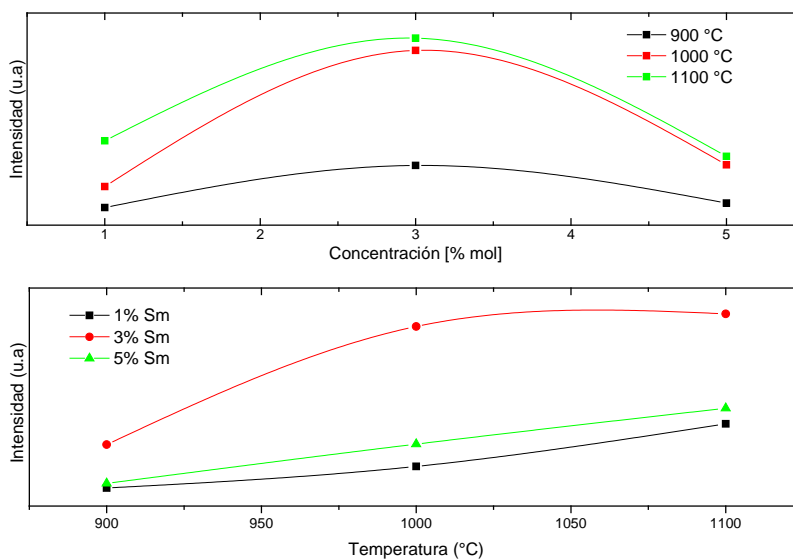


Figura 33. Cambio de emisión respecto a la concentración del ion Bi y la temperatura de tratamiento térmico

CONCLUSIONES

Es posible sintetizar GdVO₄ en forma de polvos y películas además de GdVO₄: Sm³⁺, Bi³⁺, en películas mediante el método Sol gel acoplado la técnica de inmersión Dip-Coating. Los estudios de Difracción de Rayos X y FT-IR han demostrado que el proceso sol-gel permite obtener la fase cristalina tetragonal para el sistema GdVO₄, sin observarse la presencia de fases amorfas o impurezas en polvos, además se encontró que las películas obtenidas a temperaturas mayores a 700°C tienen una fase tetragonal de GdVO₄ y tienen orientación preferencial al plano (200). Se observó que la máxima intensidad de emisión fotoluminiscente se obtuvo para las películas preparadas a partir de la solución precursora con 3% mol Sm³⁺, 3% mol Bi³⁺ y a una temperatura de tratamiento térmico de 1100°C.

BIBLIOGRAFÍA

1. Luo, An, Guoping Du, Hongmei Lai, y Wangzhou shi. "Photoluminescence of europium-doped and europium/ strontium-codoped sol-gel-prepared yttrium vanadate nanoparticles."Materials Science in Semiconductors Processing, 2014: 20-26.
2. Kolesnikov, I. E., Tolstikova, D. V., Kurochkin, A. V., Platonova, N. V., Pulkin, S. A., Manshina, A. A., & Mikhailov, M. D. (2015). Concentration effect on structural and luminescent properties of YVO₄: Nd³⁺ nanophosphors. Materials Research Bulletin, 799-803.
3. Tanaka, Sota, y Shinobu Fujihara. "Luminescent Antireflective Coatings with Disordered Surface Nanostructures Fabricated by Liquid Processes."LANGMUIR (American Chemical Society), nº 27 (February 2011): 2929-2935.
4. Yu, M., J Lin, y S B Wang. "Effects of x and R³⁺ on the luminescent properties of Eu³⁺ in nanocrystalline YVxP1-xO4:Eu³⁺ and RVO4:Eu³⁺ thin-film phosphors."Applied Physics A- Materials Science & Processing, 2005: 353-360.
5. Wang, Yunfeng, Wen Xu, Yongsheng Zhu, Sai Xu, Haining Cui, y Hongwei Song. "Phonon-modulated upconversion luminescence."Journal Of Materials Chemistry C, 2014.
6. Singh, N Shanta; Ningthoujam, R S; Yaiphaba, N; Dorendrajit Singh; Vatsa, R K; . "Lifetime and quantum yield studies of Dy³⁺ doped GdVO₄ nanoparticles: Concentration and annealing effect."JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 2009.

7. Yan, Yinglin, Mirabbos Hojamberdiev, Yunhua Xu, Juan Wang, y Luan Zhenxing. "Hydrothermally-induced morphological transformation of GdVO₄:Eu³⁺." *Materials Chemistry and Physics* 139 (2013): 298-304.
8. Szczeszak, Agata, y otros. "Structural, Spectroscopic, and Magnetic Properties of Eu³⁺-Doped GdVO₄ Nanocrystals Synthesized by a Hydrothermal Method." *Inorganic Chemistry*, 2014: 12243-12252.
9. Gavrilović, T V, D J Jovanović, V Lojpur, y A Nikolić. "Influence of Er³⁺/Yb³⁺ Concentration Ratio on the Downconversion and Up-conversion Luminescence and Lifetime in GdVO₄:Er³⁺/Yb³⁺ Microcrystals ." *Science of Sintering*, 2015: 221-228.
10. Lu, Jinjin, Jia Zhou, y Yue Tian. "High-efficient, bicolor-emitting GdVO₄:Dy³⁺ phosphor under near-UV." *Physica B*, 2015: 50-54.
11. Yu, M, J Lin, Y H Zhou, M L Pang, X M Han, y S B Wang. "Luminescence properties of RP1-xVxO₄:A (R= Y, Gd, La; A=Sm³⁺, Er³⁺ x= 0, 0.5, 1) thin films prepared by Pechini sol-gel process." *Thin solid films*, 2003: 245-253.
12. Dai, Zhen Xiang, Yu Qin Dong, y Gan Hong Zheng. "YVO₄: Eu³⁺ photoluminescence films with Bi doping." *Rare metals*, 2014: 723-726.
13. Zhu, Hekai, Zhiguo Xia, Haikun Liu, Ruiyu Mi, y Zhuang Hui. "Luminescence properties and energy transfer of Bi³⁺/Eu³⁺ -codoped Ca₁₀(PO₄)₂F₂ phosphors" *Materials research Bulletin*, 2013: 3513-3517.
14. Huang, X Y, J X Wang, D C Yu, S Ye, Q Y Zhang, y X W Sun. "Spectral conversion for solar cell efficiency enhancement using YVO₄:Bi ,Ln³⁺ (Ln= Dy, Ho, Eu, Sm and Yb) phosphors" *Journal of Applied Physics*, 2011.

DISEÑO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES USANDO TÉCNICAS EVOLUTIVAS

Olga Quiroz-Ramírez, Manuel Ornelas-Rodríguez, Andrés Espinal Jiménez, Alfonso Rojas-Domínguez¹, Martín Carpio Valadez, Héctor Puga Soberanes, Daniela Adriana Sánchez Vizcarra, Luis Ernesto Mancilla.

Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de León
Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Económico Administrativas
Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tijuana
judithq21@gmail.com, manuel.ornelas@itleon.edu.mx, aespinal@ugto.mx

RESUMEN

Las redes neuronales artificiales (RNAs) han sido utilizadas en diferentes áreas de la ciencia y la tecnología, son una herramienta que modelan soluciones a problemas complejos de reconocimiento de patrones, predicción, aproximación de funciones, entre otros. Previo a su operación, las RNAs requieren definir su arquitectura y optimizar sus pesos, los cuales son los inconvenientes más recurrentes al momento de resolver un problema de manera eficaz. En el presente artículo, se propone una metodología evolutiva en dos fases, diseño y entrenamiento de RNAs. La primera fase, el diseño, propone topologías feed-forward de tres capas (entrada, oculta y salida) completamente conectadas; las neuronas en las capas de entrada y salida son definidas por el problema a resolver, mientras que las neuronas en la capa oculta son definidas por la metodología. La metodología incluye el uso de una gramática libre de contexto con representación Backus Naur Form (BNF), la cual es comparada con otra gramática BNF del estado de arte, con la finalidad de probar el buen desempeño de nuestra propuesta. En la segunda fase, una Metaheurística es implementada para la obtención de los valores de los pesos sinápticos que generan un aprendizaje aceptable. Esta propuesta modela soluciones a problemas complejos de clasificación de patrones. Finalmente, los resultados obtenidos son analizados estadísticamente.

Palabras clave: Redes Neuronales Artificiales, Gramáticas evolutivas, UMDA

INTRODUCCIÓN

Las Redes Neuronales Artificiales (RNAs) cuentan con una serie de características que las hacen adecuadas para la solución de problemas complejos de clasificación de patrones [1][2][3][4]. Su uso plantea dificultades en el proceso de diseño de su arquitectura y entrenamiento [5]. El diseño de la arquitectura de la red comprende el número de capas ocultas, la cantidad de neuronas en cada capa, la función de activación a utilizar y las interconexiones entre las neuronas. El proceso de entrenamiento se ocupa de calcular los valores de las conexiones (pesos sinápticos) entre neuronas. El algoritmo de retropropagación es un método utilizado comúnmente para la calibración de estos valores, sin embargo tiene algunas deficiencias como el estancamiento de soluciones en mínimos locales. Por lo que se han explorado otras alternativas para resolver estos problemas, siendo los Algoritmos Evolutivos (AEs), métodos estocásticos capaces de realizar amplias exploraciones en espacios de búsqueda, una alternativa factible de solución. En este trabajo se

propone el uso de un AE conocido como Gramática Evolutiva (GE), la cual incluye una gramática Backus Naur Form (BNF) para la obtención del número de neuronas de la capa oculta de una RNA, la cual es comparada con otra gramática BNF del estado de arte, con el objetivo de mostrar el desempeño de nuestra metodología. Se considera una red tipo *feedforward* con una sola capa intermedia y totalmente conectada. Por otro lado, en lo que respecta al entrenamiento, se utiliza el Algoritmo de Distribución Marginal Univariada (JMDA, por sus siglas en inglés) para la calibración de los valores de los pesos entre las neuronas.

El resto de este documento está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan los fundamentos teóricos utilizados en esta investigación. La sección 3 muestra el diseño experimental. Los experimentos y resultados obtenidos se despliegan en la sección 4. Por último, las conclusiones y trabajo futuro se muestran en la sección 5.

MARCO TEÓRICO

Redes neuronales artificiales feedforward

Las RNAs alimentadas hacia delante también conocidas como RNAs tipo feedforward son aquellas en las que la información se mueve desde la entrada hacia la salida[6] y cuya organización está dada en capas. Cada capa agrupa un conjunto de neuronas que reciben conexiones de neuronas de la capa anterior y emiten salidas hacia las neuronas de la capa siguiente. Entre las neuronas de una misma capa no hay sinapsis o conexiones. En este tipo de redes existe al menos una capa de entrada, formada por las neuronas que reciben las señales de entrada a la red (datos del problema) y una capa de salida, formada por una o más neuronas que emiten la respuesta de la red al exterior[7]. Entre la capa de entrada y la de salida pueden existir una o más capas ocultas[7]. En redes así construidas es evidente que desde la capa de entrada hasta la capa de salida, solo se atraviesa cada capa oculta una sola vez. El hecho de que no haya conexión entre las neuronas de una misma capa hace que no haya tiempos de espera en los que las neuronas estén interactuando unas sobre otras hasta que toda la capa adquiera un estado estable. Se trata por tanto de redes rápidas en sus cálculos[8].

Gramáticas evolutivas

Las GEs son una propuesta realizada por Ryan and O'Neill en 1998 [9] y son un algoritmo evolutivo que surge a partir de la programación genética. En las GEs se utiliza el término genotipo y fenotipo, el primero se refiere a una cadena lineal de longitud variable que es decodificada en un árbol de derivación en el lenguaje definido por una gramática. El término fenotipo se refiere a la estructura que se ejecuta directamente para producir el comportamiento de un individuo [10]. Las GEs emplean un proceso de mapeo sobre los genotipos que permite seleccionar las reglas de producción en una gramática de la forma Backus-Naur (BNF) [9]. Una gramática BNF es generalmente definida por los elementos N,T,P,S donde N representa los símbolos no terminales, T los símbolos terminales, P el conjunto de producciones y S el símbolo inicial representado por un símbolo no terminal [9]. El resultado es la construcción de un programa sintácticamente correcto a partir de una cadena que luego puede ser evaluada por una función fitness.

Proceso de mapeo

Durante el proceso de mapeo el genotipo es usado para mapear el símbolo no terminal inicial. Se encarga de leer cada codón o elemento de la cadena de longitud variable representado por un valor entero que indica cual regla de producción se seleccionará para sustituir el no terminal actual

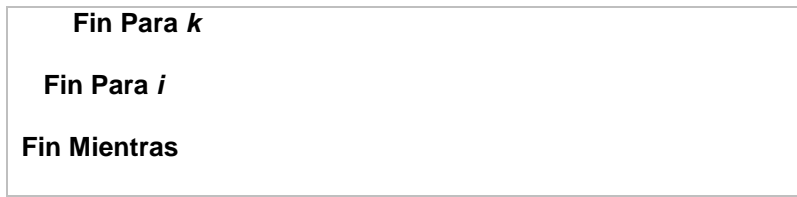
[11]. El proceso de mapeo usado es Depth-First el cual es el más comúnmente usado en las gramáticas evolutivas [12]. La derivación de cada no terminal se realiza aplicando la siguiente regla:

$$\text{Regla} = \text{codón MOD número de reglas o producciones para el actual no terminal}$$

Algoritmo de Distribución Marginal Univariada

Para evolucionar la población de genotipos que utiliza la GE, así como definir los valores de los pesos entre neuronas, se hace uso del Algoritmo de Distribución Marginal Univariada (UMDA), el cual es un algoritmo usado para problemas binarios. UMDA es el algoritmo metaheurístico más básico que pertenece al campo de algoritmos de estimación de distribución [13]. El procedimiento se muestra en Algoritmo 1 [13] :

Algoritmo 1. Distribución Marginal Univariada
<p>Inicializar una población de soluciones candidatas</p> $\{X_i\}, i \in [1, N]$ <p>Nota: cada X_i incluye n bits $X_i(1), \dots, X_i(n)$</p> <p>Mientras el criterio de paro no se cumpla</p> <p>Seleccionar M individuos de $\{X_i\}$ de acuerdo a su aptitud, cuando $M < N$</p> <p>Índice de los individuos seleccionados como M $\{X_i\}, i \in [1, M]$</p> $Pr(x(k) = 1) \leftarrow \frac{\sum_{i=1}^M \delta(X_i(k)-1)}{M}, \text{ para } k \in [1, n]$ <p>Para $i=1$ a N (tamaño de la población)</p> <p style="padding-left: 20px;">Para $k=1$ a n (número de bits en cada solución candidata)</p> <p style="padding-left: 40px;">$r \leftarrow U [0, 1]$</p> <p style="padding-left: 40px;">Si $r < Pr(x(k) = 1)$</p> <p style="padding-left: 60px;">$X_i(k) \leftarrow 1$</p> <p style="padding-left: 40px;">SiNo</p> <p style="padding-left: 60px;">$X_i(k) \leftarrow 0$</p> <p style="padding-left: 40px;">FinSi</p>



METODOLOGÍA

La metodología propuesta está enfocada al diseño de RNAs tipo feedforward mediante el uso de una GE para la obtención de parámetros de su arquitectura y UMDA para la determinación de los pesos sinápticos entre neuronas, y también como motor de búsqueda de la GE. Esta metodología requiere elementos básicos que forman parte del funcionamiento de una GE (gramatica BNF, función fitness, motor de búsqueda y proceso de mapeo) (ver Figura 1). También se requieren dos conjuntos de datos (entrenamiento y prueba) que nos ayudan a probar el rendimiento de nuestra propuesta.

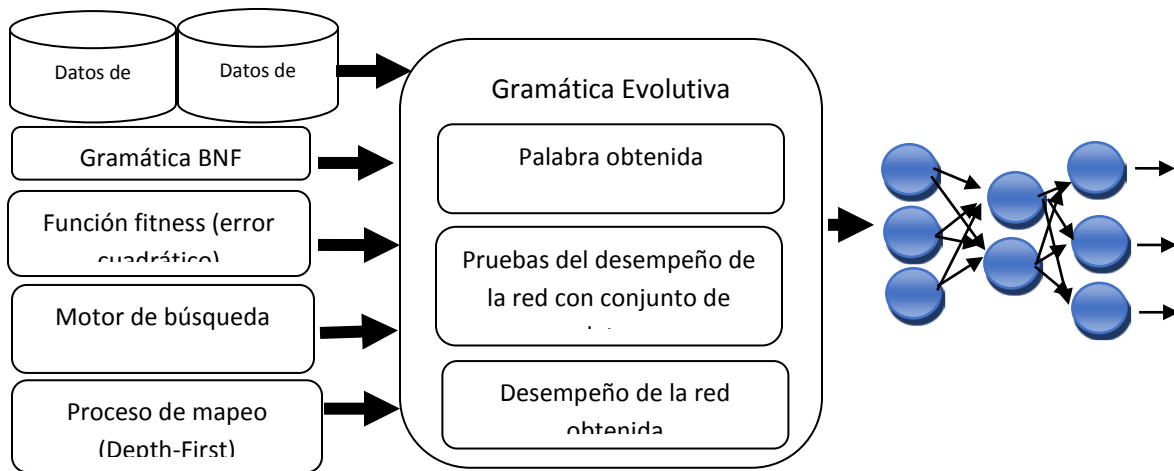


Fig. 1. Metodología propuesta

La gramática BNF propuesta en este trabajo (Quiroz) está definida por un símbolo inicial **<hiddenLayer>**, los símbolos no terminales **<hiddenLayer>** y **<neurons>** y el símbolo terminal **neuron**. El conjunto de reglas de producción se muestra en la Figura 2. Las palabras obtenidas con esta gramática representan el número de neuronas en la capa oculta de la RNA diseñada.

La gramática BNF tomada del estado de arte (de Mingo) [14], con la cual se hace la comparación del desempeño de nuestra propuesta, se observa en Figura 3. Las características de esta gramática están dadas por el símbolo inicial **<layers>**, un conjunto de no terminales **<layers>**, **<layer>** y **<digit>**, un conjunto de terminales **1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9**. El conjunto de reglas de producción se muestran en Figura 3. Esta gramática considera diseños de RNAs con varias capas ocultas y calcula el número de neuronas de cada capa.

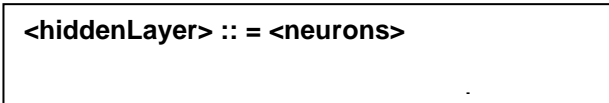


Fig. 2 Gramática BNF propuesta en este trabajo (Quiroz)

```

<layers> ::= <layer> | <layer>, <layers>

<layer> ::= <digit>
    
```

Fig. 3 Gramática BNF del estado de arte (de Mingo) [14]

El procedimiento que se realizó para el diseño de la arquitectura y entrenamiento de la RNA fue el siguiente: El motor de búsqueda (UMDA) evoluciona genotipos en codificación gray para permitir cambios significativos, lo cual permite mejorar la convergencia. Posteriormente estos genotipos se traducen a valores enteros, esta última representación es la que se utiliza en el proceso de mapeo (Depth-First), el cual nos proporciona la expresión (fenotipo) que indica el número de neuronas en la capa oculta que tendrá la RNA. Por otro lado, UMDA se encarga de encontrar los valores de los pesos de la RNA, los cuales son generados en un espacio de valores continuo. El rendimiento de un individuo o solución, es evaluado por la función fitness (error cuadrático) dada por la ecuación (1)

$$e = \sum_{p=1}^M \sum_{k=1}^m (t_k^{(p)} - Y_k^{(p)})^2 \tag{1}$$

donde M representa el total de patrones del conjunto de entrenamiento, m el total de neuronas en la capa de salida, $Y_k^{(p)}$ representa la salida obtenida y $t_k^{(p)}$ es la salida deseada .

Este procedimiento se repite hasta que se cumple el criterio de paro basado en el número de llamadas a función. El resultado de este proceso consiste en la obtención de una RNA diseñada para solucionar un problema de reconocimiento de patrones específico.

Un ejemplo de expresión y arquitectura generada por esta propuesta es mostrado en la Figura 4:

Palabra generada (fenotipo): neuron, neuron, neuron, neuron, neuron



Fig. 4. Expresión y topología diseñada para iris-plant

En este ejemplo, la RNA diseñada se aplica a la clasificación de una base de datos del estado de arte llamada Iris-Plant, en la que identificamos las neuronas de la capa de entrada con los números 1-4 (correspondientes a la dimensión de la base de datos). Las neuronas de la capa oculta indicadas por la palabra generada por la GE son 5 y están representadas con los valores de 5-9. Debido a que esta base de datos tiene tres clases, la capa de salida está representada por 3 neuronas con valores de 10-12. Así también identificamos el bias con "0". La red está completamente conectada hacia adelante y los valores de los pesos sinápticos son mostrados en la tabla de la misma figura, los cuales fueron calculados por UMDA.

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

La metodología propuesta se probó con 6 diferentes bases de datos reconocidas en el estado de arte y tomados del UCI Machine Learning Repository: Iris-Plant, Wine, Ionosphere, Glass, Balance Scale y Breast-Cancer, cuyas características se muestran en la Tabla 1. El proceso metodológico obtiene los parámetros de diseño de la red neuronal e independientemente UMDA obtiene los pesos, es decir, se encarga de estimar los valores de las conexiones y también funciona como motor de búsqueda en la GE.

Tabla 1. Características de las bases de datos utilizadas

	<i>Atributos</i>	<i>Clases</i>	<i>Instancias</i>
Iris-Plant	4	3	150
Wine	13	3	178
Ionosphere	34	2	351
Glass	10	6	214
Balance	4	3	625
Breast-Cancer	10	2	683

Los parámetros de UMDA como motor de búsqueda son: dimensión de genotipo en código gray = 512, dimensión de genotipo en valores enteros = 64, llamadas a función= 200, tamaño de población N = 50 individuos, truncamiento M=30 individuos y elitismo=10 individuos. Para la obtención de los pesos, UMDA emplea los siguientes parámetros: un espacio de búsqueda de [-100 a 100], llamadas a función = 2000, tamaño de población N = 100 individuos, truncamiento M = 50 individuos y elitismo = 10 individuos. Para evaluar el desempeño de la metodología, cada base de datos es dividida en dos folders, uno con el 50 % de datos para entrenamiento y otro con 50 % de datos para prueba. Los conjuntos de entrenamiento y prueba fueron normalizados obteniendo del conjunto de entrenamiento la media y el rango por cada dimensión.

Con el fin de proporcionar evidencia estadística a nuestras conclusiones se realizaron 31 experimentos con cada base de datos para cada una de las gramáticas (Quiroz y de Mingo). Los resultados estadísticos a partir del error cuadrático son mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del error cuadrático obtenidos con las gramáticas BNF Quiroz y de Mingo

Base de Datos	Gramática	Min	Max	Media	Mediana	Desviación Estándar
Iris-plant	de Mingo	0	1.85702868	0.06123199	2.77E-39	0.333342864
	Quiroz	5.0028E-66	1.67914787	0.11478854	3.56E-15	0.351636445
Breast-Cancer	de Mingo	0	6	1.97797012	1.880765	1.85629523
	Quiroz	3.9312E-25	6.58483556	2.62761617	2.132036	2.140519693
Glass	de Mingo	4.23570595	15.1332174	10.4353206	11	2.742143659
	Quiroz	6.00003775	18	14.5425088	15.34958	2.813904691
Wine	de Mingo	0	7.1514E-73	3.3784E-74	0	1.39807E-73
	Quiroz	4.3739E-80	6.2856E-43	2.0277E-44	1.82E-60	1.12893E-43
Ionosphere	de Mingo	0	1.81286359	0.19472472	0.000162	0.428790303
	Quiroz	4.2094E-21	3.00131777	0.6948492	0.064966	0.977389213
Balance Scale	de Mingo	5.98909005	27.0040841	16.668277	16.00029	5.12542011
	Quiroz	18.7861315	37.9449417	27.865984	28.28023	4.848542257

El promedio (Prom) y el porcentaje máximo de clasificación (Max) para el conjunto de entrenamiento y prueba de las topologías obtenidas con esta propuesta metodológica se muestran en la Tabla 3, donde los valores resaltados representan los mejores resultados obtenidos para cada conjunto de datos.

Tabla 3. Desempeño de clasificación de las RNAs diseñadas con las gramáticas Quiroz y de Mingo

	ENTRENAMIENTO				PRUEBA			
	de Mingo		Quiroz		de Mingo		Quiroz	
	Prom. (%)	Max (%)	Prom. (%)	Max (%)	Prom. (%)	Max (%)	Prom. (%)	Max (%)
Iris-Plant	0.9995	1	0.9991	1	0.9449	0.9449	0.9466	0.9466
Breast-Cancer	0.9963	1	0.9957	1	0.954	0.954	0.9543	0.9543
Glass	0.91	0.9633	0.8733	0.9449	0.8334	0.8334	0.8196	0.8196

Wine	1	1	1	1	0.9384	0.9384	0.9406	0.9406
Ionosphere	0.9994	1	0.9967	1	0.8899	0.8899	0.893	0.893
Balance Scale	0.9648	0.9904	0.9323	0.968	0.9126	0.9126	0.8897	0.8897

Significación estadística de los resultados

La prueba de rango con signo de Wilcoxon se utilizó para dar significancia estadística debido a que compara el rango medio de dos muestras relacionadas y determina si existen diferencias entre ellas[15]. Se utiliza como alternativa a la [prueba t Student](#) cuando no se puede suponer la normalidad de dichas muestras[15]. La finalidad de esta prueba es comprobar si los desempeños obtenidos por la gramática Quiroz son iguales o diferentes a los obtenidos por la gramática de de Mingo para el conjunto de datos de prueba (Tabla 3). Se definió un valor de significancia (α) = 0.05.

Las hipótesis nula y alternativa en esta comparación son definidas como sigue:

Ho: No existen diferencias entre los promedios de desempeño obtenidos por ambas gramáticas para el conjunto de datos de prueba

Ha: Existen diferencias entre los promedios de desempeño obtenidos por ambas gramáticas para el conjunto de datos de prueba

Al aplicar la prueba de Wilcoxon a los promedios de desempeño del conjunto de prueba se obtiene la información de la Tabla 4, la cual contiene las diferencias absolutas a las que les son asignadas un valor de rango.

Tabla 4. Resultados de la prueba de rango con signo de Wilcoxon para promedios de desempeño del conjunto de prueba

<i>BASE DE DATOS</i>	<i>QUIROZ</i>	<i>DE MINGO</i>	<i>Diferencias Absolutas</i>	<i>Rango</i>	<i>Signo</i>
WINE	.9466	.9449	.0017	2	+1
IRIS	.9543	.9540	.0003	1	+1
IONOSPHERE	.8196	.8334	.0138	5	-1
CANCER	.9406	.9384	.0022	3	+1
GLASS	.8930	.8899	.0031	4	+1
BALANCE	.8897	.9126	0.0229	6	-1

La suma de rangos positivos es:

$$W+ = 1 + 2 + 3 + 4 = 10$$

Y la suma de rangos negativos es:

$$W^- = 5 + 6 = 11$$

Por lo tanto, la estadística de la prueba es:

$$T = \min \{W^+, W^-\} = \min \{10, 11\} = 10$$

El valor crítico para el nivel de significancia $\alpha = 0.05$ con tipo de cola bilateral es $T^* = 0$ y la hipótesis nula se rechaza si $T \leq 0$.

Dado que en este caso ($T = 10 > 0$), no hay suficiente evidencia para afirmar que los promedios de desempeño de ambas gramáticas son diferentes, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La metodología evolutiva presentada en este trabajo permite diseñar RNAs totalmente conectadas a través de dos fases: la primera fase relacionada con el diseño de la arquitectura hace uso de una GE. La segunda fase permite la calibración de los valores de los pesos sinápticos mediante un Algoritmo Evolutivo (UMDA).

En esta metodología, como parte de la GE, se propone una gramática libre de contexto tipo BNF (Quiroz), cuyo desempeño es comparado con el de otra gramática propuesta en el estado del arte (de Mingo). Se utilizaron 6 bases de datos de reconocimiento de patrones para probar el funcionamiento de las RNAs obtenidas. A partir de los resultados obtenidos, se realizó un análisis estadístico mediante la prueba de signo de Wilcoxon, la cual mostró que no existen diferencias entre los promedios de desempeño obtenidos por las RNAs diseñadas por ambas gramáticas para el conjunto de datos de prueba. Sin embargo, nuestra gramática propuesta tiene la ventaja de que las arquitecturas diseñadas son más compactas, lo cual representa ahorro de tiempo y recursos computacionales. Otra cualidad importante de esta metodología es la capacidad de generalización, lo que implica obtener diseños adecuados de RNAs independientemente del problema.

Como trabajo futuro, esta metodología se probará haciendo uso de una gramática que comprenda otros aspectos de diseño de RNAs, tales como pesos, interconexiones entre neuronas, función de activación etc., así como también el uso de otros algoritmos evolutivos como motores de búsqueda.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México el apoyo brindado para la realización de esta investigación. También se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) México por el soporte proporcionado bajo los programas de Becas de Apoyo a Estudios de Posgrado (O. Quiroz) y CÁTEDRAS-2598 (A. Rojas).

BIBLIOGRAFÍA

1. D. J. Montana and L. Davis, "Training Feedforward Neural Networks Using Genetic Algorithms," *Proc. 11th Int. Jt. Conf. Artif. Intell. - Vol. 1*, vol. 89, pp. 762–767, 1989.
2. G. P. Zhang, "Neural Networks for Classification : A Survey," *IEEE Trans. Syst. man Cybern. Part C Appl. Rev.*, vol. 30, no. 4, pp. 451–462, 2000.
3. E. Cantu-Paz and C. Kamath, "An empirical comparison of combinations of

- evolutionary algorithms and neural networks for classification problems," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B Cybern. a Publ. IEEE Syst. Man Cybern. Soc.*, vol. 35, pp. 915–927, 2005.
4. M. Castellani, "Neurocomputing Evolutionary generation of neural network classifiers — An empirical comparison," *Neurocomputing*, vol. 99, pp. 214–229, 2013.
 5. K. Soltanian, F. A. Tab, F. A. Zar, and I. Tsoulos, "Artificial Neural Networks Generation Using Grammatical Evolution," *In Electrical Engineering (ICEE)*, no. 21st Iranian Conference on, pp. 1–5, 2013.
 6. M. Negnevitsky, *Artificial Intelligence A Guide to Intelligent Systems*, Second ed. Addison Wesley, 2010.
 7. S. Kulluk, L. Ozbakir, and A. Baykasoglu, "Training neural networks with harmony search algorithms for classification problems," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 25, no. 1, pp. 11–19, 2012.
 8. B. A. Garro, "Diseño automático de redes neuronales artificiales mediante algoritmos bioinspirados," Centro de Investigación en Computación, IPN México, Tesis de Doctorado, 2012.
 9. C. Ryan, J. J. Collins, and M. Neill, *Grammatical Evolution: Evolving Programs for an Arbitrary Language*. Springer Berlin Heidelberg, 1998.
 10. R. I. Mckay, N. Xuan, P. Alexander, W. Yin, and M. O. Neill, "Grammar-based Genetic Programming: a survey," *Genet Progr. Evolvable Mach*, vol. 11, pp. 365–396, 2010.
 11. M. O'Neill and C. Ryan, "Grammatical evolution," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 5, no. 4, pp. 349–358, 2001.
 12. D. Fagan, "Analysing the Genotype-Phenotype Map in Grammatical Evolution," for the degree of Ph.D. at the School of Computer Science and Informatics College of Science, 2013.
 13. D. Simon, *Evolutionary Algorithms Biologically-Inspired and Population-Based Approaches to Computer Intelligence*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013.
 14. L. Fernando, D. M. López, N. G. Blas, and A. Arteta, "The optimal combination : Grammatical swarm , particle swarm optimization and neural networks," *J. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 1–2, pp. 46–55, 2012.
 15. J. Derrac, S. García, D. Molina, and F. Herrera, "A practical tutorial on the use of nonparametric statistical tests as a methodology for comparing evolutionary and swarm intelligence algorithms," *Swarm Evol. Comput.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–18, 2011.

RECOLECCIÓN INTEGRAL COMO ESQUEMA ECOLÓGICO PARA EL MAPEO DE RUTAS GENERADAS POR EL AYUNTAMIENTO

Irma Angélica García González, Maria Angélica Cerdán, Lisseth Rivera Aguirre, Maria Luisa Siliceo Rodríguez y Jesús Aparicio Bocarando

Instituto Tecnológico Superior de Xalapa
Instituto Tecnológico Superior de Xalapa . igarcia53@hotmail.com

RESUMEN

México produce 30 millones de toneladas anuales de basura, el 25% se genera en las calles, ocupamos el 10º lugar en el mundo como generador de residuos. Del toda la basura solo el 77% de los residuos se recolecta de manera "oportuna", significa que 23% restante queda en las calles o termina en ríos, lagunas y el mar. La logística de acopio genera que los camiones realicen recorridos sobre puntos donde los depósitos no se encuentran llenos o tienen exceso de residuos. La gestión de recorridos trazadas por rutas, generadas en función de los días de la semana como barrido, no es la mas favorable, ya que anteriormente las amas de casa permanecían en los hogares, estos servicios cambian la dinámica, generando rutas sin tener forma de evaluar el comportamiento y evaluar recurso . La solución propuesta es realizar un monitoreo de los depósitos instalando un sistema que permita generar y obtener información en la central donde se maneja el despachador y gestionar las rutas con la información obtenida de cada uno de los depósitos, que permitiría optimizar gasto energético en combustible por la certeza de los sitios de recolección el número de personal empleado, generando una trazabilidad en la generación de residuos y un estadístico del comportamiento, ya que la implementación de los sensores en el deposito y la transmisión de la información mediante la red de datos generada es almacenada en el sistema del usuario diseñado sobre la plataforma de LabVIEW, lo que permite generar un histórico del comportamiento. El prototipo probado fue instalado en un contenedor de 200 Kg, que mediante una celda solar generaba la alimentación para los circuitos electrónicos de monitoreo y transmisión de información. Este prototipo permitió observar el sistema por parte del usuario final y el manejo de los residuos.

INTRODUCCIÓN

Se tienen registros de que aproximadamente el 20% de los residuos no llegan a su destino, por causa de la falta de recolección adecuada, lo que ocasiona que se queden residuos en las calles dispersados por los animales, las lluvias y/o vientos que ocasionan que estos lleguen a los drenajes, ocasionando tapar los desagües y posteriormente llegan a los afluentes de agua contaminando estos. Una forma de apoyar a los ayuntamientos quienes tienen la obligación por ley de esta tarea es incorporar dispositivos de detección de variables para medir de manera correcta el nivel en el contenedor de basura, esto se desarrolla mediante un servidor donde se encontrara el programa que lleve a cabo la recolección de las variables que se midan y con los datos recibidos se determinará si el contenedor está lleno o no. Permitted tener la información para generar las rutas con base a los contenedores que estén llenos, mejorando la logística en la recolección de desechos y reduciendo el costos por perdida de dinero y tiempo. Además de fomentar la cultura de separación, ya que se podrían colocar contenedores especiales para aquellos residuos que son catalogados como peligrosos y que en muchos casos no se tienen claro

la alta contaminación que esto provoca cuando llegan a los tiraderos a cielo abierto que son actualmente mas del 70% de todos los lugares donde se disponen estos desechos.

Por lo que se pretende desarrollar de manera eficiente la recolección de basura por medio de un mapeo de los contenedores que se encuentren llenos, generando la ruta de los camiones disminuyendo los costes del servicio.

Al desarrollar un esquema de registro a través de la base de datos, generando de manera eficiente la recolección y segmentación de los residuos, ya que es posible extender el esquema a los residuos peligrosos, de tal manera que sea factible una reducción en la cantidad de estos que llegan a los rellenos sanitarios y/o tiraderos a cielo abierto, esto permitirá generar una mejor separación y reutilización de los residuos.

METODOLOGÍA

La base de este proceso de control es un microcontrolador, compuesto de los periféricos integrados que permiten enviar los datos de los sensores a través una antena que se conecta a la red, además de manejar la potencia a través de puentes "H", dando como resultado en envío de la señal cuando se llenan los niveles en los depósitos, la señal es emitida mediante la antena al sistema de enlace y se recibe en la oficina donde se manejan los datos sobre el diseño desarrollado en LabVIEW. La información se almacena para desarrollar estadísticas de comportamiento y sobre todo para determinar la logística de recolección y disposición final. El sistema es factible de ampliar en función de la cobertura de la red, también es factible la modificación para la identificación de residuos peligrosos, mediante el cambio de sensores especiales para la detección de metales pesados, gases y aceites, entre otros.

RESULTADOS

El diseño del sistema de recolección mediante el monitoreo del llenado de los depósitos de basura, se inicia con el desarrollo de una estación de separación en un sitio público –parque- en recipientes de 200 Kg. Con asignación de residuos de manera diferenciada en cada bote. Los depósitos asignados de manera inicial son para recibir, material orgánico; residuos de comida y hojas, material inorgánico; platos desechables, vasos, materiales plásticos; recipientes de agua, yogur y papel; cartón y papel. Los sensores colocados son de posición infrarrojos que al momento de cortar el haz formado indica la capacidad que se ha rebasado enviando la señal vía web al sistema central. Esta señal se recibe mediante la antena y permite recolectar los datos además de mostrar la información al usuario –despachador- para que desarrolle la mejor ruta para la recolección.

Para el manejo de energía del sistema se implementa un sistema de celda solar que hace autosuficiente el proceso. Como este proceso se genera en el transcurso de la mañana, la generación de la celda diariamente es utilizada por el sistema de monitoreo que comprende los sensores y la celda de carga que permite controlar que se tenga un peso adecuado para que un hombre lo pueda vaciar o en su caso para los sistemas hidráulicos que se manejan a través de los camiones, esto permite que tampoco se generen sobre cargas que no permitan el manejo y traslado de los residuos.

La mayoría de los esquemas que se usan para la recolección de residuos es la generación de rutas por un sistema de mapeo, del cual no se tiene una retroalimentación en cuanto a si es

eficiente o no, simplemente las rutas recorren la ciudad, sin importar los sitios donde se requiere o se tiene mayor demanda. Si se conocen los hábitos de los usuarios y el comportamiento referente a este tipo de problemática, es posible desarrollar esquemas más sofisticados, donde los usuarios estén siendo preparados para una cultura de separación y reciclaje efectiva.

CONCLUSIONES

El esquema utilizado es capaz de crecer en función del hardware, ya que se ve afectado por las condiciones climatológicas, sin embargo como es un equipo reconfigurable, se utiliza la instrumentación electrónica y equipo de cómputo.

Para ampliar la operación se tendrá un esquema visual para la graficación y recolección de datos recabados por el sistema, teniendo así la documentación e información requerida para asegurar y sostener el resultado obtenido de las mediciones, aplicar este conocimiento en el futuro para mejorar el procedimiento en el manejo de este tipo de esquema, en los diferentes ayuntamientos de nuestro Estado.

BIBLIOGRAFIA

1. M. Douglas "Process Instruments & Control" Mc Graw Hill, 2005.
2. M. Garcia B. "Amplificadores Operacionales (2ª Edición) México IPN-ESIME, 1984
3. Brey, Barry B., Microprocesadores intel, Ed. Prentice may, 5a. Edición.
4. Martín Cuenca, Microcontroladores PIC, la solución de un chip, Ed. PARANINFO

FORMACIÓN DE CLOROFENOLES EN AGUA CLORADA A PARTIR DE TRAZAS DE FENOL EN MEDIO MODERADAMENTE ALCALINO

Ana María Núñez Gaytán, María Elena Núñez Gaytán

Departamento de Ciencias Básicas. Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. Email: amnunez@umich.mx

RESUMEN

En este trabajo se identificaron los clorofenoles formados por cloración de trazas de fenol (50 µg/L) de fenol en medio ligeramente básico. Las concentraciones de cloro usadas son 5 y 1 mg/L. El seguimiento de la evolución y transformación del fenol, así como la formación y persistencia de los productos formados se realizó mediante un sistema en línea previamente desarrollado y validado de extracción en fase sólida con la cromatografía de líquidos de alta eficiencia (EFS-CLAE) usando dos detectores UV y electroquímico durante un periodo de 5 horas. La cantidad y el tipo de derivados clorados formados depende de la concentración del cloro, concentración de fenol, relación en peso (cloro:fenol), del tiempo de contacto y del pH. El análisis de los perfiles de concentración de los clorofenoles formados en medio moderadamente básico con las dos dosis de cloro aplicadas, permitió establecer la existencia de la vía de cloración del fenol, cuyo punto inicial es la formación de los derivados monoclorados 2-clorofenol y 4-clorofenol. Estos analitos pueden continuar clorándose hasta formar 2,4,6-triclorofenol, el cual posteriormente se oxida y perclora produciéndose la ruptura del anillo aromático y formación de productos alifáticos de cadena corta.

INTRODUCCIÓN

Los clorofenoles son contaminantes orgánicos presentes en el medio acuático como resultado de la degradación de pesticidas y otros productos, o de la cloración de fenoles y sus precursores durante la potabilización del agua. Debido a su persistencia y sus reconocidos efectos tóxicos o carcinogénicos, los clorofenoles representan un alto riesgo para la salud humana [1-3]. El propósito de este trabajo fue identificar los fenoles clorados formados por cloración del fenol en un medio moderadamente alcalino, dándoles un seguimiento cuantitativo durante las primeras horas de reacción, con el fin de contribuir al conocimiento de las vías mecanísticas implicadas en su transformación y degradación en aguas cloradas. Es importante considerar que las dosis de cloro típicamente empleadas para el tratamiento del agua son ≤ 5 mg/L, y que el cloro residual en agua potable está generalmente regulado; en México las normas establecen una concentración máxima de 0.5-1 mg/L. La determinación de derivados clorados del fenol a niveles traza (del orden de µg/L) no es un problema trivial, a pesar de que el agua clorada es una matriz relativamente sencilla. El método ideal para la separación de estos analitos es la cromatografía de líquidos, sin embargo, los detectores convencionales (básicamente UV y electroquímico) no tienen la sensibilidad suficiente para poder cuantificarlos a esos niveles de concentración en la muestra inyectada. Por ello, se requiere un paso previo de preconcentración. El acoplamiento en línea de la extracción en fase sólida y la cromatografía de líquidos en fase reversa es actualmente una de las herramientas más poderosas para la determinación de compuestos traza en matrices acuosas.

PARTE EXPERIMENTAL

Los experimentos se realizaron con soluciones acuosas de fenol, a niveles de concentración del orden de trazas (50 µg/L) en un medio amortiguado con borato a pH 9. Estas soluciones fueron tratadas con dosis de cloro similares a las que pueden encontrarse en las plantas de tratamiento o en las redes de suministro de agua potable (1-5 mg/L). La formación, evolución y degradación de

los clorofenoles se siguió durante un periodo de 5 h. Las muestras de agua se analizaron mediante un método previamente desarrollado y validado, basado en el acoplamiento en línea de la extracción en fase sólida y la cromatografía de líquidos de alta resolución con detección UV y coulombimétrica.

RESULTADOS

La identificación de los clorofenoles específicos formados a partir de la cloración de trazas de fenol (50 $\mu\text{g/L}$) en medio ligeramente básico (pH 9) y con diferentes dosis de cloro (1 y 5 mg/L), así como el seguimiento de su evolución en el tiempo, son indispensables para poder determinar las vías de reacción que conducen hasta su degradación a productos no fenólicos. La cloración del anillo sólo se efectúa en las posiciones "orto"- "para" con respecto al grupo -OH, generando 5 posibles clorofenoles: 2-clorofenol, 4-clorofenol, 2,4-diclorofenol, 2,6-diclorofenol y 2,4,6-triclorofenol. La concentración relativa se refiere al cociente de la concentración molar del clorofenol dividida entre la concentración molar inicial de fenol y se expresa como un porcentaje. En las figuras 1, 2 y 3, se muestran el cromatograma y los perfiles de concentración de los clorofenoles formados a las condiciones especificadas.

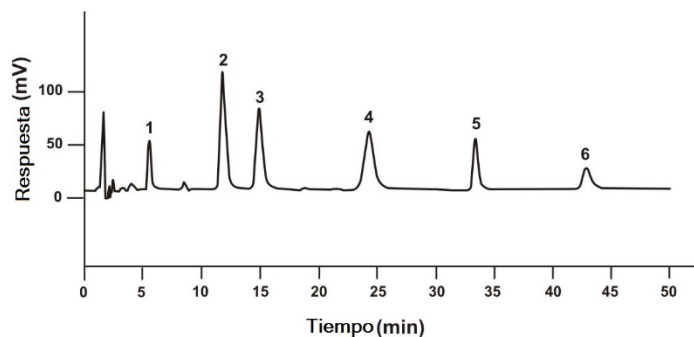


Fig. 1. Cromatograma obtenido del análisis de una disolución clorada de fenol en medio amortiguado con un buffer de boratos (pH 9), después de 30 min de reacción.

Condiciones: $[\text{fenol}]_0 = 0.532 \mu\text{M}$, (50 $\mu\text{g/L}$), $[\text{cloro}]_0 = 14.1 \mu\text{M}$, (5 mg/L). Solutos: (1) fenol, (2) 2-CF, (3) 4-CF, (4) 2,6-DCF, (5) 2,4-DCF, (6) 2,4,6-TCF.

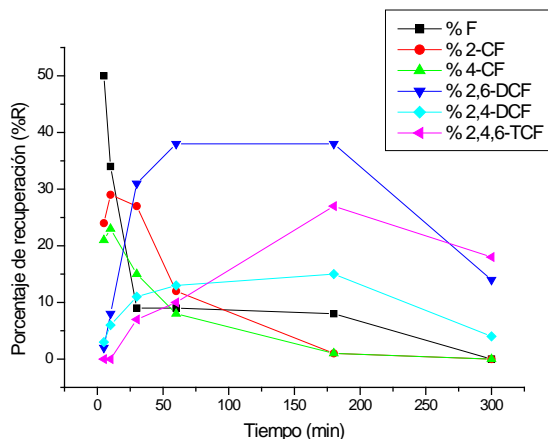


Fig. 2. Perfiles de concentración de los clorofenoles formados por cloración del fenol con una dosis de cloro de 1 mg/L a pH 9.0. $[Fenol]_0 = 0.532 \mu M$ (50 $\mu g/L$), $[cloro]_0 = 1 mg/L$

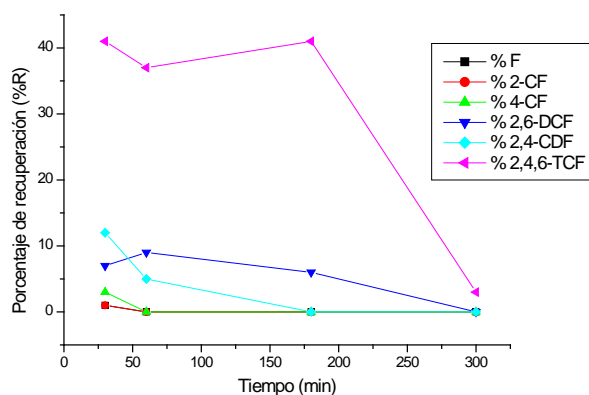


Fig. 3. Perfiles de concentración de los clorofenoles formados por cloración del fenol con una dosis de cloro de 5 mg/L a pH 9.0. $[Fenol]_0 = 0.532 \mu M$ (50 $\mu g/L$), $[cloro]_0 = 5 mg/L$

CONCLUSIONES

De acuerdo a la figura 2, se observa que para el medio amortiguado con borato y con un dopaje de cloro de 1 mg/L, se efectúa la reacción de cloración sucesiva del anillo aromático. Las especies predominantes en este medio son los derivados clorados en posición “orto”, inicialmente el 2-clorofenol y después el 2,6-diclorofenol. Se observa que la concentración del 2,6-diclorofenol es mayor que la del isómero 2,4-diclorofenol a lo largo del tiempo.

Por otra parte, la reacción de cloración de trazas de fenol con un dopaje de 5 mg/L de cloro en este medio condujo a la rápida formación y predominancia del 2,4,6-triclorofenol. Desde los

primeros minutos de reacción se consumió el fenol totalmente y los monoclorofenoles residuales fueron despreciables y solamente quedaron pequeñas concentraciones de diclorofenoles en la disolución persistiendo durante las 5 h. Se observa que la concentración del 2,4,6-triclorofenol se mantiene casi constante por un par de horas antes de decaer. Sin embargo, el máximo alcanzado por esta especie sólo representa un rendimiento de 30 a 40 % con respecto al fenol inicial, lo que sugiere que una buena parte del fenol se transforma siguiendo una vía reaccional que no conduce a la formación del derivado triclorado. Aunque pudiera ser factible que el 2,4,6-triclorofenol comenzara a degradarse desde antes de alcanzar su valor máximo.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Deborde, U. von Gunten. Reactions of chlorine with inorganic and organic compounds during wáter treatment – Kinetics and mechanisms: A critical review, *Water Res.*, 42 (2008) 13-51
2. J.L. Acero, P. Piriou, U. von Gunten, Kinetics and mechanisms of formation of bromophenols during drinking wáter chlorination: Assessment of taste and odor development, *Water Res.*, 39 (2005) 2979-2993.
3. S. D. Richardson. Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water, *Trends Anal. Chem.*, 22, No. 10 (2003) 666-684.

MODELADO DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS DE RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS PARA CHASIS DE NANOSATÉLITES

Rafael Vargas Bernal, Ismael Téllez Zavala, Margarita Tecpoyotl Torres, Bárbara Bermúdez Reyes

Departamento de Ingeniería en Materiales, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carretera Irapuato-Silao Km. 12.5, Irapuato, Guanajuato, México, C.P. 36821, E-mail: ravargas@itesi.edu.mx

Instituto de Investigación en Ciencias Básicas y Aplicadas, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México, E-mail: tecpoyotl@uaem.mx

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, Av. Universidad s/n, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, E-mail: barbara.bermudezry@uanl.edu.mx

RESUMEN

La necesidad de alargar la vida de los satélites y vehículos espaciales es de enorme interés debido al costo de estos sistemas. Este objetivo puede ser alcanzado a través del uso de materiales, los cuales puedan ser capaces de resistir la degradación presentada debido a las condiciones hostiles que se presentan tanto en la órbita de tierra baja (LEO) y la órbita geosíncrona (GEO). Dentro de las condiciones hostiles se encuentran el oxígeno atómico en estado basal, radiación ultravioleta, y la velocidad extrema que los sistemas alcanzan en órbita. Las condiciones anteriormente mencionadas llevan a reducción en la conductividad térmica, disminución de las propiedades ópticas, así como un fragilizado y una disminución de resistencia mecánica. En este trabajo se hace un estudio de las propiedades ópticas de materiales cerámicos que son usados como recubrimientos en satélites con el fin de determinar cuál de ellos es el más adecuado para reducir la degradación de los materiales. Los materiales cerámicos analizados fueron zirconia estabilizada con itria ($ZrO_2-Y_2O_3$), sílice (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3). El modelado es realizado a través de simulación por computadora y gráficas de desempeño óptico han sido obtenidas. Estos pueden ser depositados usando diferentes técnicas sobre el aluminio que es el material más usado para el chasis de un nanosatélite. Fue encontrado en este estudio que los materiales usados como recubrimientos que mejor protegen de las condiciones hostiles a un sistema espacial en orden descendente son zirconia estabilizada con itria, alúmina y sílice. La ventaja de usar estos materiales radica en que no sólo las propiedades ópticas son mejoradas sino también la protección contra el oxígeno, propiedades mecánicas y térmicas. El diseño de materiales para recubrimientos es sin lugar a dudas una de las principales áreas de investigación para el desarrollo de aplicaciones tecnológicas de alto valor agregado.

INTRODUCCIÓN

Diferentes grupos de investigación alrededor del mundo están trabajando en el desarrollo de recubrimientos espaciales protectores para los satélites que se encontrarán en órbitas geosíncronas y de tierra baja [1]. El ambiente especial no es conveniente para muchos materiales

estructurales debido a la presencia de oxígeno atómico, partículas de alta energía, y luz ultravioleta profunda. Los materiales cerámicos se están investigando como opciones para proteger a los materiales usados desde varios ámbitos: óptico, térmico, eléctrico, mecánico y magnético. Los materiales cerámicos regularmente se depositan sobre el material a cubrir a nivel nanométrico por medio del método sol-gel, el cual no será aquí descrito sino más bien estudiar las propiedades ópticas que el recubrimiento puede ofrecerle a la estructura de un satélite.

La necesidad de reducir el peso de los satélites es de gran interés debido a la reducción en costo de su lanzamiento hacia el espacio. Este objetivo puede ser alcanzado a través del uso de materiales de alta resistencia y de peso ligero. La radiación ultravioleta a la que están expuestos los satélites puede romper los enlaces químicos del material usado en la estructura y de los circuitos electrónicos que forman parte del sistema de control e instrumentación del satélite. Estos daños pueden incrementar la conductividad térmica, cambios en las propiedades ópticas y mecánicas, fragilización, y una disminución en la resistencia mecánica.

Los recubrimientos deben presentar coeficientes de fricción bajo en condiciones ambientales variantes como en las aplicaciones aeroespaciales [2]. Los satélites también están expuestos a humedad durante el lanzamiento, así como a fluctuaciones de temperaturas extremas. Debido a que no todas las propiedades pueden ser satisfechas por un único material se continúa planteando la necesidad de usar recubrimientos compuestos.

El artículo ha sido dividido como sigue: En la Sección 2, se describe la teoría asociada con las propiedades ópticas que son estudiadas en este trabajo como lo es el fenómeno de dispersión de luz y el índice de refracción. La descripción de la experimentación realizada para poder predecir el comportamiento del índice de refracción en todo el espectro óptico es hecha en la Sección 3. La Sección 4 presenta las gráficas del comportamiento óptico de cada uno de los recubrimientos y su comparación lo que permitirá determinar el mejor recubrimiento que puede ser usado desde el punto de vista óptico. Finalmente, las conclusiones de este trabajo son dadas en la Sección 5.

TEORÍA

En óptica, la dispersión es el fenómeno en el cual la velocidad de fase de una onda depende de su frecuencia [3]. Los materiales teniendo esta propiedad común pueden ser llamados materiales dispersivos. Más frecuentemente, la dispersión implica el cambio en el índice de refracción con la frecuencia óptica o longitud de onda. La dispersión de luz por parte de un material puede ser un efecto deseable o indeseable en las aplicaciones ópticas. La dependencia de la longitud de onda del índice refractivo de un material es normalmente cuantificada por su número Abbe o sus coeficientes en una fórmula empírica tal como las ecuaciones de Cauchy o Sellmeier, ésta se conoce comúnmente como fórmula de dispersión. La dispersión óptica es mayor cuando el índice de refracción del material es mayor. De las relaciones Kramers-Kronig, la dependencia de la longitud de onda de la parte real del índice refractivo está relacionada con la absorción del material.

En óptica, el índice de refracción o refractivo n de un material es un número adimensional que describe cuánta luz se propaga a través de ese medio. Éste es definido como $n = c/v$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío y v es la velocidad de fase de la luz en el material. El índice refractivo determina cuánta luz es doblada, o refractada, cuando ingresa en un material. El índice refractivo también determina la cantidad de luz que es reflejada cuando alcanza la interfaz (frontera entre el medio donde viaja la luz y hacia donde es dirigida), así como el ángulo crítico de la reflexión interna total. El índice refractivo puede ser visto como el factor por el cual la velocidad y la longitud de onda de la radiación son reducidas con respecto a sus valores en el vacío. El índice refractivo varía con la longitud de onda de la luz. La propagación de la luz en materiales absorbentes puede ser descrita usando un índice refractivo evaluado en los complejos. La parte imaginaria entonces maneja la atenuación, mientras que la parte real toma en cuenta la refracción.

El índice refractivo tiende a disminuir con el incremento en la longitud de onda o se incrementa con la frecuencia. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda de la luz. Se le denomina espectro electromagnético al conjunto de longitudes de onda que la luz puede tener. Los tres grandes sub-grupos de tipos de luz son: la ultravioleta (200-400 nm), la visible (400-800 nm) y la infrarroja (400 nm-1mm). En el espacio el satélite estará expuesto a todo el espectro electromagnético y por eso es importante estudiar el comportamiento físico de los materiales utilizados en los recubrimientos del nanosatélite. El estudio de los materiales a nivel computacional en definitiva permite una predicción coherente de los resultados que se espera obtener del material antes de ser obtenido en el laboratorio y aplicado en campo.

La sílice o dióxido de silicio es un compuesto químico que es un óxido de silicio con la fórmula química (SiO_2). En muchas partes del mundo, la sílice es el principal constituyente de la arena [4]. En años recientes, los investigadores están usando las cubiertas de sílice para aplicaciones en espectroscopia, magnetismo, catálisis y biología. El óxido de aluminio es un compuesto químico de aluminio y oxígeno con la fórmula química (Al_2O_3) comúnmente llamado alúmina. Éste es usado para producir el aluminio, como un abrasivo debido a su dureza, y como un refractario debido a su punto de ebullición alto [4]. También se ha incorporado como recubrimiento para aplicaciones espaciales. El dióxido de zirconio (ZrO_2), algunas veces conocido como zirconia, es un óxido cristalino blanco de zirconio. El principal uso de la zirconia es en la producción de cerámicas, incluyendo su uso como un recubrimiento protector sobre partículas de pigmentos de dióxido de titanio, como un material refractario, en aislamiento, abrasivos y esmaltes. La zirconia estabilizada con itria es usada en sensores de oxígeno y membranas de celdas de combustible ya que tiene la habilidad de permitir que los iones de oxígeno se muevan libremente a través de la estructura del cristal a temperaturas altas. Esta conductividad iónica alta lo hace útil en los electrocerámicos [4].

PARTE EXPERIMENTAL

Las fórmulas de dispersión de luz de los diferentes materiales usados como recubrimientos son: Ecuación 1, para el recubrimiento de sílice (SiO_2) [5], Ecuación 2, para el recubrimiento de alúmina (Al_2O_3) [6], y Ecuación 3, para el recubrimiento de zirconia estabilizada con itria (12%) ($\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$) [7]. En estas ecuaciones n es el índice de refracción y λ es la longitud de onda de la luz aplicada.

$$n^2 - 1 = \frac{0.6961663\lambda^2}{\lambda^2 - 0.0684043^2} + \frac{0.4079426\lambda^2}{\lambda^2 - 0.1162414^2} + \frac{0.8974794\lambda^2}{\lambda^2 - 9.896161^2} \quad (1)$$

$$n^2 - 1 = \frac{1.4313493\lambda^2}{\lambda^2 - 0.0726631^2} + \frac{0.65054713\lambda^2}{\lambda^2 - 0.1193242^2} + \frac{5.3414021\lambda^2}{\lambda^2 - 18.028251^2} \quad (2)$$

$$n^2 - 1 = \frac{1.347091\lambda^2}{\lambda^2 - 0.062543^2} + \frac{2.117788\lambda^2}{\lambda^2 - 0.0166739^2} + \frac{9.452943\lambda^2}{\lambda^2 - 24.320570^2} \quad (3)$$

Por medio de la simulación de las ecuaciones anteriores haciendo uso del programa gnuplot se procedió a obtener gráficos del comportamiento del índice de refracción contra la longitud de onda en todo el espectro electromagnético para los siguientes materiales:

1. Sílice (SiO_2).
2. Alúmina (Al_2O_3).
3. Zirconia estabilizada con ytria (12%) ($\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$).

RESULTADOS

El comportamiento del índice de refracción contra la longitud de onda de un recubrimiento de SiO_2 en el espectro electromagnético de la luz es ilustrado en la Figura 1. En la figura se identifican los tres tipos de luz, la sílice presenta un incremento de su índice de refracción a longitudes en el rango ultravioleta lejano, se mantiene casi constante a frecuencias intermedias y presenta una disminución a frecuencias del infrarrojo lejano. Para propósitos espaciales esto puede dar buenos resultados, pero es necesario considerar las otras propiedades físicas requeridas por el recubrimiento tales como coeficiente de fricción, conductividad térmica, conductividad eléctrica, resistencia a la humedad, etc. El valor del índice de refracción en frecuencias intermedias es de aproximadamente 1.5. El valor máximo del índice de refracción fue de 2.8 mientras que el valor mínimo fue de 0.75.

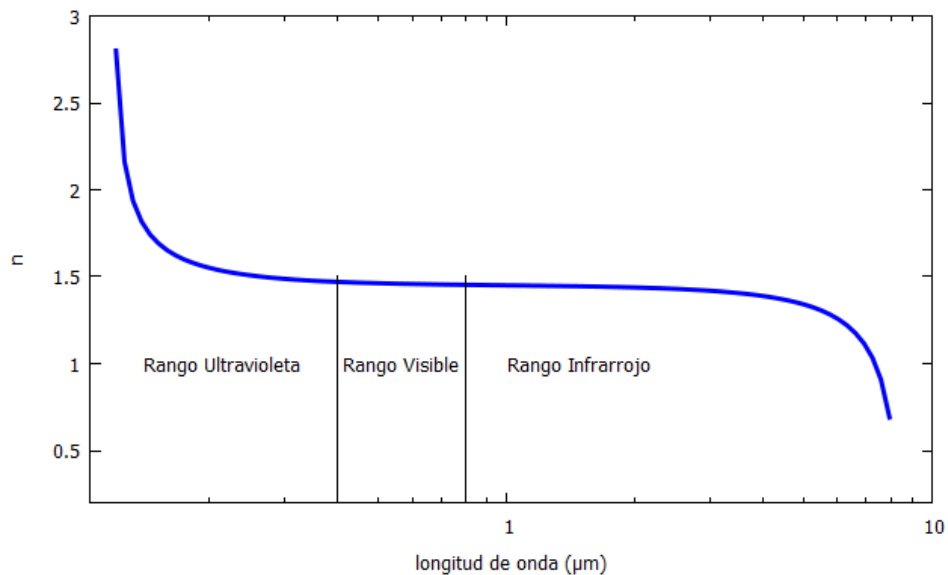


Figura 1. Índice de refracción contra longitud de onda del recubrimiento de sílice (SiO_2).

Un comportamiento similar fue observado para los recubrimientos de alúmina (Al_2O_3) y el de zirconia estabilizada con itria (12%) ($\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$) (vea las Figuras 2 y 3). El valor del índice de refracción en frecuencias intermedias en el recubrimiento de alúmina fue de 1.8, mientras que para el recubrimiento de zirconia estabilizada con itria fue de 2.2. Los valores máximo y mínimo para la alúmina fueron 3.8 y 0.5, respectivamente. Mientras que los valores máximo y mínimo para la zirconia estabilizada con itria fueron 3.2 y 0.6, respectivamente.

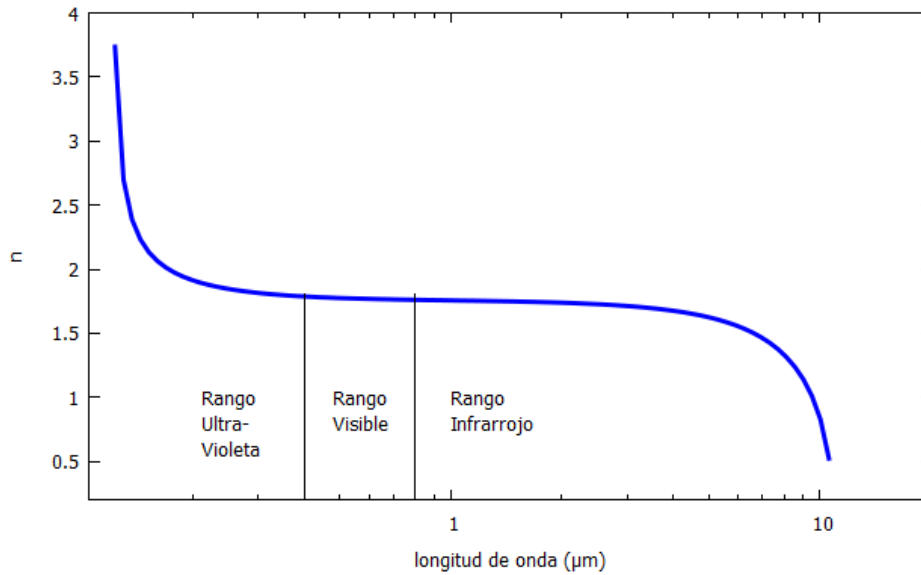


Figura 2. Índice de refracción contra longitud de onda del recubrimiento de alúmina (Al_2O_3).

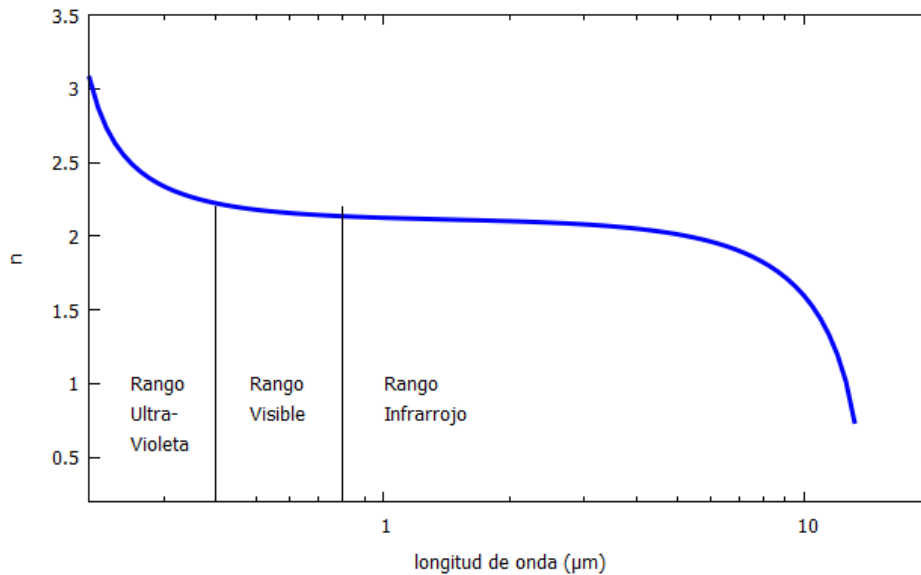


Figura 3. Índice de refracción contra longitud de onda del recubrimiento de zirconia estabilizada con itria $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ (12%).

Los comportamientos de los incrementos o decrementos en el índice de refracción no son simétricos para ninguno de los materiales. Con el fin de poder establecer una comparación se montaron todos los datos obtenidos en una única gráfica como se ilustra en la Figura 4. El recubrimiento que presenta un índice de refracción es su lugar a dudas el recubrimiento de zirconia estabilizada con itria, y el pero es la sílice. Desde el punto de vista de propiedades la luz aplicada sobre el recubrimiento la absorción será mayor en el recubrimiento de zirconia estabilizada con itria.

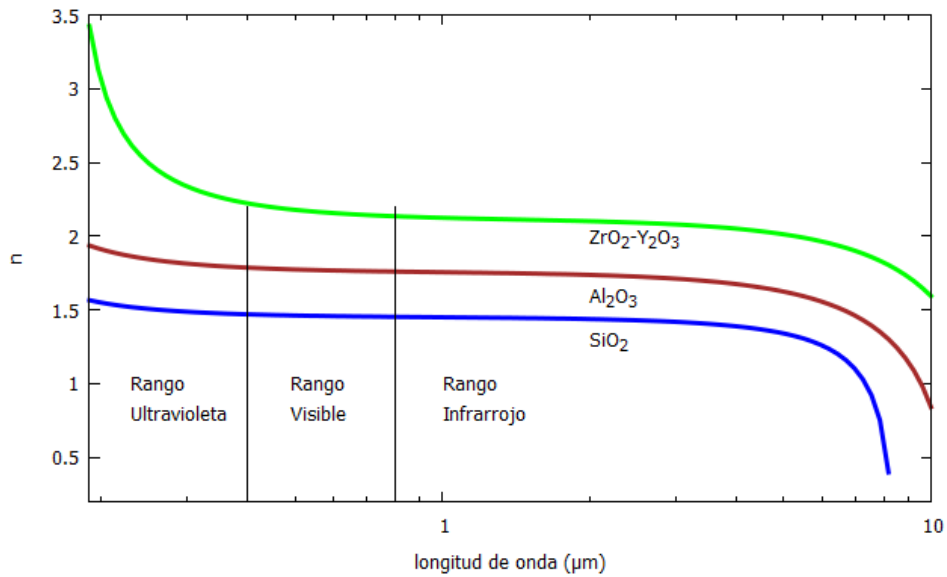


Figura 4. Comparación de los recubrimientos de SiO₂, Al₂O₃, y ZrO₂-Y₂O₃ (12%).

CONCLUSIONES

El diseño de recubrimientos usando software reduce el tiempo de desarrollo y costos invertidos. La aplicación de recubrimientos cerámicos asegura un óptimo desempeño de los satélites para las diferentes condiciones hostiles encontradas en el espacio, siendo preferidos los recubrimientos de zirconia estabilizada con itria, sobre los de alúmina y los de sílice debido a que los últimos presentan un mayor índice de refracción lo cual implica mayor transparencia a la luz aplicada. La gran ventaja de usar estos recubrimientos es que no sólo las propiedades ópticas son adecuadas para el chasis de los nano-satélites sino que propiedades tales como eléctricas, magnéticas y térmicas también tienen un impacto en el desempeño del satélite dadas las condiciones hostiles en las cuales estará trabajando en el espacio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) por su apoyo para realizar esta investigación y para presentar el artículo en el congreso. Este estudio está asociado con el trabajo de investigación realizada dentro de las actividades del primer y cuarto autores dentro de la Red Nacional de Aeronáutica apoyada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

BIBLIOGRAFÍA

1. D.P. Dworak and M.D. Soucek, "Protective space coatings: A creamer approach for nanoscale materials", Prog. Org. Coat., Vol. 47, No. 3-4, 2003, pp. 448-457.
2. C.C. Baker, R.R. Chromik, K.J. Wahl, J.J. Hu and A.A. Voevodin, "Preparation of chameleon coatings for space and ambient environments", Thin Solid Films, Vol. 515, No. 17, 2007, pp. 6737-6743.
3. M. Born and E. Wolf. *Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light*. 1999. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

4. R.B. Heimann, *Classic and Advanced Ceramics: From Fundamentals to Applications*. 2010. Weinheim, Germany: Wiley-VCH.
5. I.H. Malitson, "Interspecimen comparison of the refractive index of fused silica", *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 55, No. 10, 1965, pp. 1205-1208.
6. R.H. Malitson, H. Müllejans and D.J. Jones. "Optical properties of aluminum oxide: Determined from vacuum ultraviolet and electron energy-loss spectroscopies", *J. Am. Cer. Soc.*, Vol. 81, No. 10, 1988, pp. 2549-2557.
7. D.L. Wood and K. Nassau, "Refractive index of cubic zirconia stabilized with yttria", *Appl. Opt.*, Vol. 21, No. 16, 1982, pp. 2978-2981.

OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN DE INTERFERÓMETROS MACH ZEHNDER SIMÉTRICOS Y ASIMÉTRICOS TIPO CORE-OFFSET, POR MEDIO DE SU CARACTERIZACIÓN EN TEMPERATURA

E. Pacheco-Chacón, J. M. Sierra-Hernandez, E. Gallegos-Arellano, J. M. Estudillo-Ayala, D. Jauregui-Vazquez, J. C. Hernandez-Garcia, and R. Rojas-Laguna

Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago 3.5+1.8 Km, Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Gto., C.P. 36885, México.

Departamento de Mecatrónica, Universidad Tecnológica de Salamanca, Av. Universidad #200, Col. Ciudad Bajío, Salamanca Gto., C.P. 36766, México.

RESUMEN

En este trabajo se realizó una caracterización del comportamiento de interferómetros Mach-Zehnder (MZI, Mach-Zehnder interferometer) simétricos y asimétricos, tipo core-offset ante cambios de temperatura. Dichos dispositivos fueron fabricados al concatenar tres secciones de fibra monomodo convencional (SMF, Single Mode Fiber) con un ligero desplazamiento del segmento central. Los interferómetros simétricos tienen el mismo desplazamiento en sus dos empalmes y los asimétricos tienen un desplazamiento distinto en cada unión. La caracterización se realizó por medio de un par de celdas peltier termoeléctricas TEC1-12706 como actuador, sensor infra-rojo GY-906 como elemento de adquisición de datos y placa Arduino® como sistema central de procesamiento. Esto con el fin de conseguir la mejor configuración en términos de visibilidad y sensibilidad ante cambios de temperatura del patrón de interferencia. Los resultados demuestran que con los parámetros de fabricación correctos, se puede obtener una visibilidad de 11 dB y una sensibilidad 86 pm/°C con buena linealidad.

INTRODUCCIÓN

En años recientes, diversos tipos de interferómetros de fibra óptica han sido propuestos para aplicaciones de sensado de distintos parámetros como presión, temperatura, curvatura, índice de refracción y torsión [1]–[5]. Generalmente, un sensor ideal, tendrá atributos como tamaño reducido, poco peso, alta sensibilidad y buena robustez. Recientemente, la necesidad de estas características se ha vuelto de vital importancia, especialmente en áreas como la industria aeroespacial, defensa militar y medicina [1]. Los interferómetros de fibra óptica más utilizados para aplicaciones de sensado con los Fabry-Perot (FPI) [5], Michaelson (MI) [6] y Mach Zehnder (MZI) [7]–[13].

Éste último es particularmente atractivo gracias a su simple configuración, alta resolución y la alta visibilidad que permite obtener. Se puede implementar de muchas formas distintas, como por ejemplo por medio de tapers de fibra óptica [9], Rejillas en cascada [12], y a través del uso de

fibras especiales como fibra de cristal fotónico [7], [14], fibra de núcleo adelgazado [10] y finalmente, por medio de estructuras tipo core-offset [14]–[16].

Esta última, es una de las técnicas más utilizadas para implementar MZI. Gracias a que su proceso de fabricación es sencillo y se puede lograr un interferómetro utilizando únicamente fibra monomodo convencional (SMF) [16]–[19]. Sin embargo, en esta técnica también se han distintos tipos de fibra, como por ejemplo fibra multimodo [20], o fibra de cristal fotónico anti dispersión desplazada [14].

En este trabajo se tiene como objetivo evaluar experimentalmente el comportamiento modal de dispositivos core-offset, con distintos desplazamientos, ante cambios de temperatura. Esto con el fin de obtener los mejores parámetros de fabricación para este tipo de dispositivos. En el proceso de fabricación, se concatenaron tres secciones de fibra monomodo convencional (SMF), con un ligero desplazamiento del segmento central. Se evaluó el acoplamiento modal de interferómetros tanto simétricos como asimétricos. Los interferómetros simétricos tienen el mismo desplazamiento en sus dos empalmes y los asimétricos tienen un corrimiento distinto en cada unión. La caracterización se realizó por medio de un par de celdas peltier termoeléctricas TEC1-12706 como actuador, sensor infrarrojo GY-906 como elemento de adquisición de datos y placa Arduino como sistema central de procesamiento.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La figura 1 muestra un diagrama modal del dispositivo, en el primer empalme, una parte de la energía que está viajando como modo fundamental en el núcleo, es transmitida por el revestimiento de la siguiente sección de fibra monomodo, mientras otra parte de la misma se sigue transmitiendo por el núcleo como modo fundamental, y, como el empalme no es ideal, en este punto una parte de dicha energía se pierde fuera de la fibra en forma de pérdidas de inserción. En el siguiente empalme, parte la energía que está viajando por el revestimiento, se vuelve a acoplar al núcleo de la tercera sección de fibra, interfiriendo en este punto con el modo fundamental y ocasionando así un patrón de interferencia.

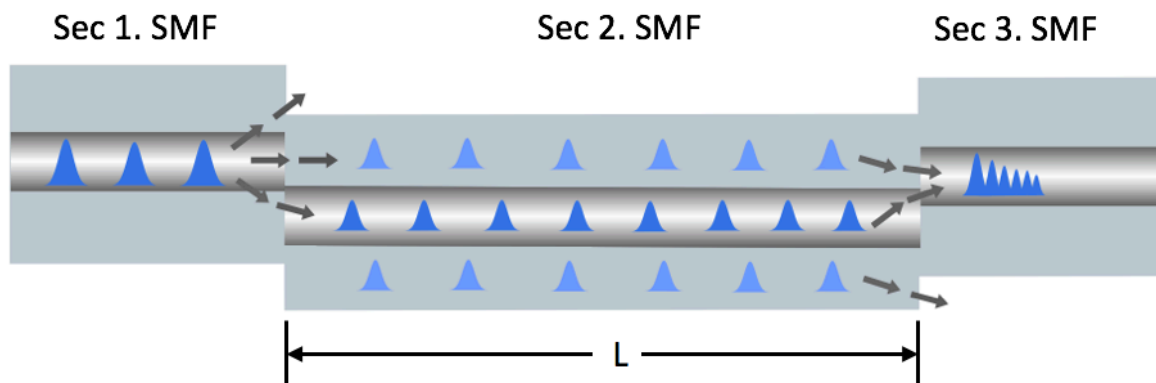


Figura 1. Diagrama esquemático de modos en el interferómetro MZI tipo core-offset.

Aquí es importante mencionar que el fenómeno de interferencia se da gracias a la variación que existe entre el índice de refracción del núcleo y el revestimiento de la fibra. De este modo, se puede lograr una diferencia de camino óptico a través de la misma distancia física y además es posible considerar este dispositivo como un interferómetro intermodal [13].

La diferencia de fase para estos interferómetros se puede expresar en la ecuación 1. Donde Δn_e es la diferencia entre el índice de refracción efectivo del revestimiento y del núcleo de la sección de

SMF desplazada central. λ representa la longitud de onda de operación y L es la longitud del dispositivo. Como se considera este dispositivo como un interferómetro intermodal, la separación de franjas está dada por la ecuación 2 [11].

$$\Delta\phi = \frac{2\pi\Delta n_e L}{\lambda} \tag{1}$$

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{\Delta n_e L}$$

ARREGLO EXPERIMENTAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la caracterización de los dispositivos, se realizó un montaje experimental similar al mostrado en la figura 2. La fuente de bombeo del sistema fue un diodo laser semiconductor Qphotonics, modelo QFBGLD-908-150J. La fuente de amplio espectro se logró al conectar el diodo de bombeo a una sección de 3.5 m de fibra dopada con erbio marca Thorlabs modelo M5-980-125. Esta última actúa como medio activo de una fuente relativamente plana entre 1500 a 1600 nm. La salida de dicha fuente se conecta a la entrada del interferómetro, el extremo faltante va conectado a un analizador de espectros óptico marca Yokogawa, modelo AQ6370C, con el cual se realizaron las mediciones de todos los experimentos realizados y además fue configurado con una resolución de 1 nm.

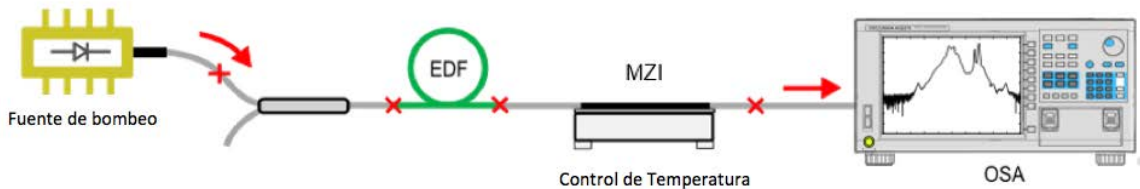


Figura 2. Diagrama esquemático del montaje experimental.

Para la elaboración de los dispositivos se tomó como fija la distancia del interferómetro en 5 cm, ya que de este modo se observaban mejor forma en el patrón de interferencia y menos pérdidas en la señal de salida. El estudio experimental consistió en dos partes, primero se varió el desplazamiento de forma simétrica en los dispositivos para conseguir la distancia con la cual se lograba un mayor acoplamiento modal, que corresponde la distancia D en la figura 3. Los desplazamientos trabajados fueron 5, 10, 20, 30 y 40 μm .

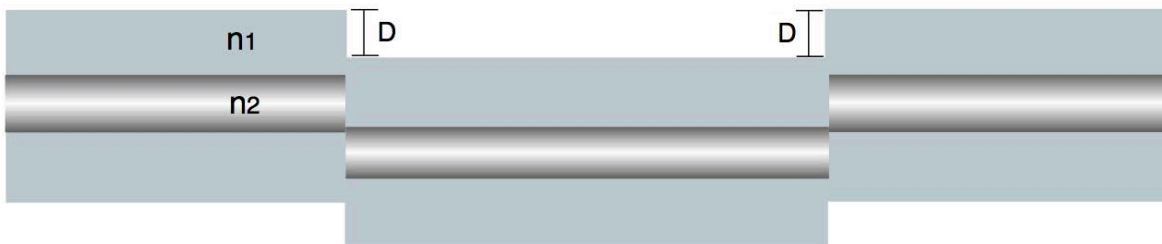


Figura 3. Diagrama esquemático del interferómetro core-offset simétrico.

Una vez detectada la distancia ideal de acoplamiento modal al revestimiento, se procedió a evaluar diferentes desplazamientos en el segundo empalme con el objetivo de conseguir la mejor calidad en el patrón de interferencia posible, (distancia d en la figura 4). Este corrimiento se evaluó en 10,

20, 30 y 40 μm . Luego de obtenidas distintas respuestas, se sometieron los mejores dispositivos a cambios de temperatura y se realizaron las diferentes curvas de caracterización.

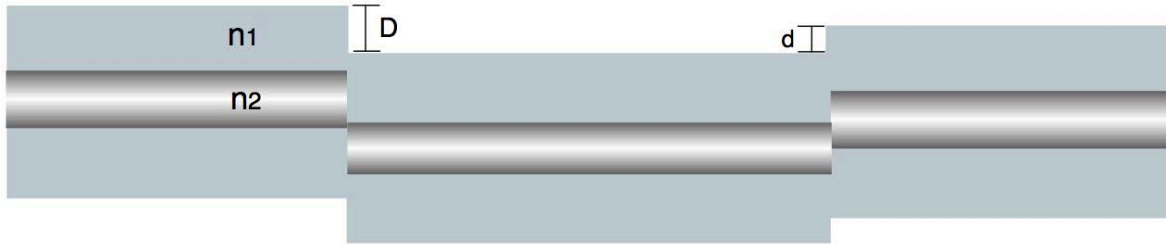


Figura 4. Diagrama esquemático del interferómetro core-offset asimétrico.

RESULTADOS

En la figura 5 se presenta la fuente de amplio espectro utilizada; esta tiene una potencia máxima de -40.91 dBm. Los espectros de interferómetros con diferente desplazamiento simétrico, se pueden observar en la figura 6. Para cortas distancias de desplazamiento, como 10 μm , se observa una buena potencia de transmisión, y, con respecto a la fuente de amplio espectro sólo presentan 6.47 dB en pérdidas de inserción. Estas se toman comparando la potencia del pico máximo de la fuente amplio espectro con el pico máximo del espectro del interferómetro.

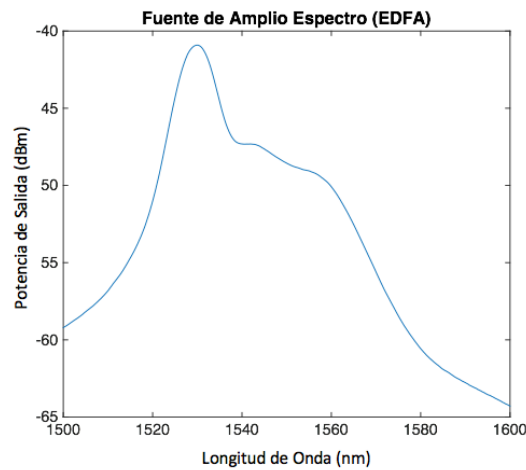


Figura 5. Espectro óptico de la fuente de Amplio Espectro (EDFA).

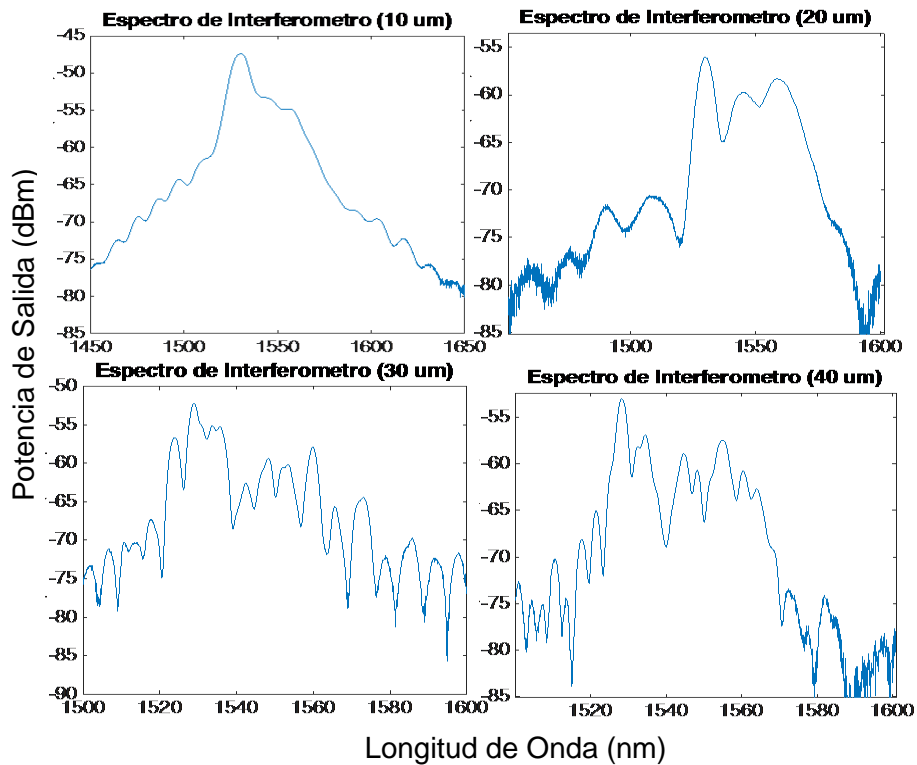


Figura 6. Espectro óptico de interferómetros simétricos.

Sin embargo, la visibilidad no es la más óptima, estando por debajo de 1 dB. En el espectro del dispositivo fabricado con 20 μm de desplazamiento, comienza a aparecer patrón de interferencia de más pronunciadas, pero con una pérdida de inserción de 15.23 dB. Al trabajar con un desplazamiento de 30 μm se observa que aparecen más franjas y, a su vez, a visibilidad incrementa hasta alcanzar los 9 dB en promedio; éste dispositivo tiene una pérdida de inserción de 11.5 dB.

Finalmente, cuando el desplazamiento alcanza los 40 μm se observa que permanecen esas las franjas pero su visibilidad disminuye hasta los 6 dB y aumentan la pérdidas de inserción a 12.29 dB. De este análisis, se puede concluir que la distancia de desplazamiento a la cual, se acoplan mejor los modos al revestimiento es 30 μm . Desde este desplazamiento fijo en la entrada se comienza a variar la distancia del segundo empalme, con el fin de conseguir el mejor re acoplamiento de modos al núcleo. Para evaluar como el cambio de este desplazamiento afecta la característica de sensado de los dispositivos, cada uno de ellos se caracterizó en temperatura. Los parámetros seleccionados fueron 30 μm en la entrada y 10 μm a la salida para el primer dispositivo (30-10). Luego de trabajó con 30-20, 30-30 y 30-40 respectivamente.

En la figura 7, se observa el espectro óptico del interferómetro 30-10, a diferentes temperaturas. Se puede ver que existe un buen acoplamiento de franjas con una visibilidad inicial promedio de 10 dB; esta última, va aumentando con la temperatura hasta alcanzar un valor medio de 12 dB. La sensibilidad de sensado de este interferómetro es de 60 $\text{pm}/^\circ\text{C}$ en corrimiento de fase.

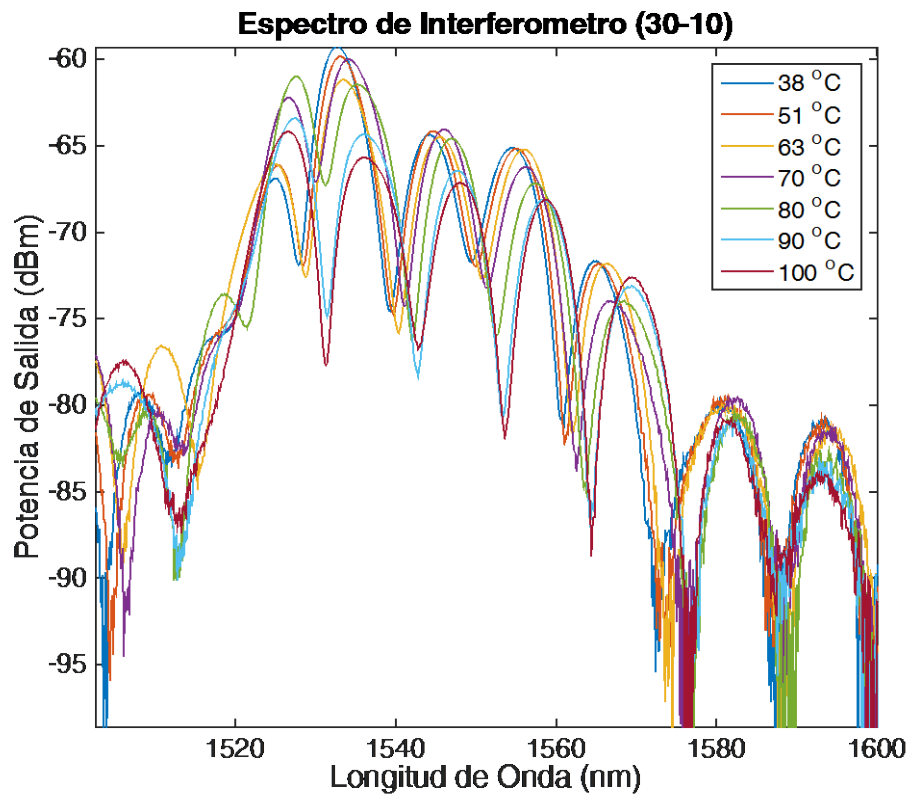


Figura 7. Espectro óptico de interferómetro asimétrico 30-10.

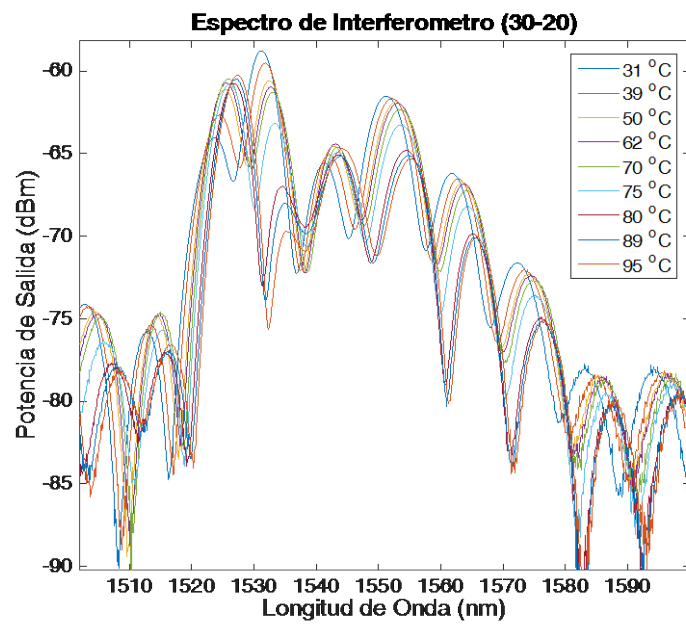


Figura 8. Espectro óptico de interferómetro asimétrico 30-20.

El espectro del interferómetro asimétrico 30-20 se presenta en la figura 8. Aquí la visibilidad promedio es 11 dB y con en su máxima temperatura aumenta a 13 dB. La sensibilidad de sensado para este caso es de 86 pm/°C en corrimiento de fase.

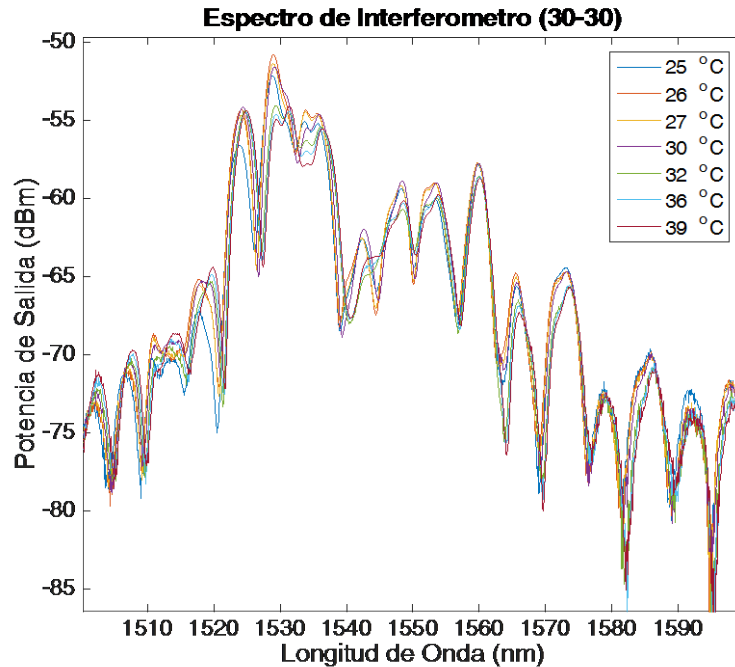


Figura 9. Espectro óptico de interferómetro asimétrico 30-30.

Para el interferómetro simétrico de 30-30, se utilizó el mismo dispositivo mencionado en la figura 6; la figura 9 muestra su espectro ante cambios de temperatura. Aquí la sensibilidad de sensado obtenida fue de alrededor de 90 pm/°C en corrimiento de fase, sin embargo, no es lineal para el rango de temperatura estudiado. En el caso del dispositivo con desplazamiento 30-40, su respuesta espectral se puede observar en la figura 10. Aquí no se observa un corrimiento de fase claro, pero sí una modificación en potencia, aunque ésta a su vez, no es lineal. Además, su visibilidad es muy variante en todo el espectro, por lo que no se puede representar por un valor medio.

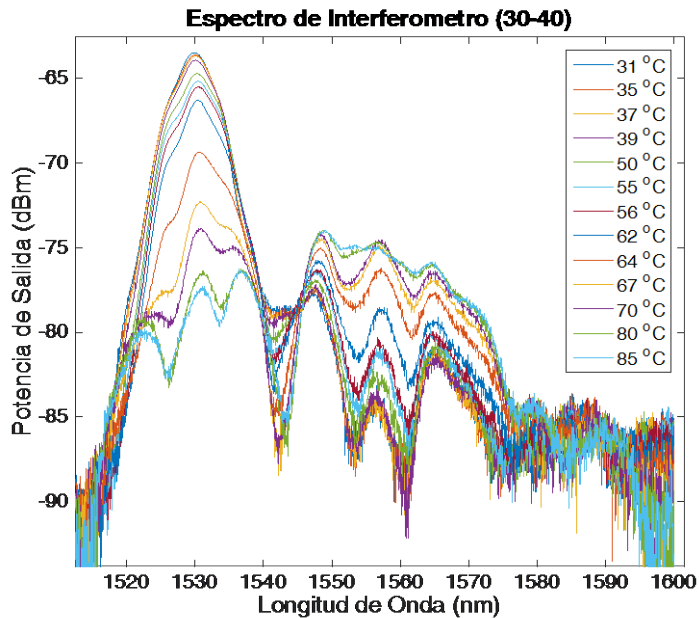


Figura 10. Espectro óptico de interferómetro asimétrico 30-40.

5. CONCLUSIONES

Del estudio realizado se puede concluir que los parámetros óptimos para la fabricación de interferómetros Mach-Zehnder tipo Core-Offset con fibra monomodo es, con un desplazamiento en la entrada del dispositivo de 30 μm y otro de 20 μm en la salida del mismo, ya que con estos valores se obtuvo el mejor contraste de franja (11 dB), sensibilidad (86 $\text{pm}/^\circ\text{C}$) y linealidad. Estos parámetros de fabricación aseguran el acoplamiento óptimo de modos al revestimiento del segmento central de SMF y el re acoplamiento de estos modos al núcleo de la siguiente sección de fibra.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el PRODEP-SEP bajo el proyecto con nombre “Apoyo a la incorporacion de nuevos PTC” y No. UGTO-PTC-568. E. Pacheco-Chacon fue financiada con la beca de estudiante de maestria del CONACyT con No. 718631/592276.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. Udd and W. B. Spillman, *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*. John Wiley & Sons, 2011.
2. S. Pevec and D. Donlagic, “Miniature fiber-optic sensor for simultaneous measurement of pressure and refractive index,” *Opt. Lett.*, vol. 39, no. 21, pp. 6221–6224, 2014.
3. P. Roriz, O. Frazão, A. B. Lobo-Ribeiro, J. L. Santos, and J. A. Simões, “Review of fiber-optic pressure sensors for biomedical and biomechanical applications,” *J. Biomed. Opt.*, vol. 18, no. 5, p. 50903, 2013.
4. Y. Zhang, L. Yuan, X. Lan, A. Kaur, J. Huang, and H. Xiao, “High-temperature fiber-optic Fabry-Perot interferometric pressure sensor fabricated by femtosecond laser,” *Opt. Lett.*, vol. 38, no. 22, pp. 4609–12, 2013.
5. H. M. Kim, T. H. Kim, B. Kim, and Y. Chung, “Temperature-insensitive torsion sensor with enhanced sensitivity by use of a highly birefringent photonic crystal fiber,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 22, no. 20, pp. 1539–1541, 2010.
6. G. Salceda-Delgado, A. Van Newkirk, J. E. Antonio-Lopez, A. Martinez-Rios, A. Schülzgen, and R. Amezcua Correa, “Compact fiber-optic curvature sensor based on super-mode interference in a seven-core fiber,” *Opt. Lett.*, vol. 40, no. 7, pp. 1468–1471, 2015.
7. Z. Ou, Y. Yu, P. Yan, J. Wang, Q. Huang, X. Chen, C. Du, and H. Wei, “Ambient refractive index-independent bending vector sensor based on seven-core photonic crystal fiber using lateral offset splicing,” *Opt. Express*, vol. 21, no. 20, pp. 23812–21, 2013.
8. L. Li, L. Xia, Z. Xie, and D. Liu, “All-fiber Mach-Zehnder interferometers for sensing applications,” *Opt. Express*, vol. 20, no. 10, p. 11109, 2012.
9. P. Lu, L. Men, K. Sooley, and Q. Chen, “Tapered fiber Mach-Zehnder interferometer for simultaneous measurement of refractive index and temperature,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 94, no. 13, 2009.
10. J. Shi, S. Xiao, L. Yi, and M. Bi, “A sensitivity-enhanced refractive index sensor using a single-mode thin-core fiber incorporating an abrupt taper,” *Sensors*, vol. 12, no. 4, pp. 4697–4705, 2012.
11. J. M. Sierra-Hernandez, R. Rojas-Laguna, E. Vargas-Rodriguez, J. M. Estudillo-Ayala, D. Jauregui-Vazquez, a D. Guzmán-Chávez, and P. Zaca-Moran, “A tunable multi-wavelength erbium doped fiber laser based on a Mach-Zehnder interferometer and photonic crystal fiber,” *Laser Phys.*, vol. 23, no. 12, p. 125103, 2013.

12. N. L. P. Andrews, R. Ross, D. Munzke, C. van Hoorn, A. Brzezinski, J. A. Barnes, O. Reich, and H. Looock, "In-fiber Mach-Zehnder interferometer for gas refractive index measurements based on a hollow-core photonic crystal fiber," *Opt. Express*, vol. 24, no. 13, p. 14086, 2016.
13. J. M. Sierra-hernandez, A. Castillo-guzman, R. Selvas-aguilar, E. Vargas-rodriguez, E. Gallegos-arellano, J. M. Estudillo-ayala, D. Jauregui-vazquez, R. Rojas-laguna, G. N. Leon, and C. Palo, "Torsion sensing setup based on a three beam path Mach-Zehnder interferometer," *Microw. Opt. Technology Lett.*, vol. 57, no. 8, pp. 1857–1861, 2015.
14. E. Huerta-mascotte, J. M. Sierra-hernandez, R. I. Mata-chavez, D. Jauregui-vazquez, A. Castillo-guzman, J. M. Estudillo-ayala, A. D. Guzman-chavez, and R. Rojas-laguna, "A Core-Offset Mach Zehnder interferometer based on a non-zero dispersion-shifted fiber and its torsion sensing application," *Sensors*, 2016.
15. X. Hao, Z. Tong, W. Zhang, and Y. Cao, "A fiber laser temperature sensor based on SMF core-offset structure," *Opt. Commun.*, vol. 335, pp. 78–81, 2015.
16. L. Mao, P. Lu, Z. Lao, D. Liu, and J. Zhang, "Highly sensitive curvature sensor based on single-mode fiber using core-offset splicing," *Opt. Laser Technol.*, vol. 57, pp. 39–43, 2014.
17. Z. Tian, S. S. H. Yam, and H. P. Looock, "Single-mode fiber refractive index sensor based on core-offset attenuators," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 20, no. 16, pp. 1387–1389, 2008.
18. W. C. Wong, C. C. Chan, Y. F. Zhang, and K. C. Leong, "Miniature single-mode fiber refractive index interferometer sensor based on high order cladding mode and core-offset," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 24, no. 5, pp. 359–361, 2012.
19. J. Fan, J. Zhang, P. Lu, M. Tian, J. Xu, and D. Liu, "A single-mode fiber sensor based on core-offset inter-modal interferometer," *Opt. Commun.*, vol. 320, pp. 33–37, 2014.
20. B. Dong, D. Zhou, L. Wei, W. Liu, and J. W. Y. Lit, "Temperature and phase independent lateral force sensor based on a core-offset multi-mode fiber interferometer," *Opt. Soc. Am.*, vol. 16, no. 23, pp. 1–7, 2008.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MICROORGANISMOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (PTARD), POR LODOS ACTIVADOS EN MÉRIDA, YUCATÁN

Jhoselyn Novelo-Segura, Carmen Ponce-Caballero, Leticia Arena-Ortiz*

Laboratorio de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. jhose_87@hotmail.com; cponce@correo.uady.mx.

Responsable del Laboratorio de Estudios Ecogenómicos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). leticia.arena@ciencias.unam.mx.

RESUMEN

En Yucatán, el crecimiento urbano representa un foco importante de contaminación del acuífero, debido principalmente a las aguas residuales domésticas que en él se descargan. Dependiendo de su composición y concentración pueden contener contaminantes orgánicos, tales como diversos microorganismos, incluyendo patógenos que representan un riesgo a la salud¹. El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la eficiencia en la remoción de microorganismos patógenos en una PTARD de la ciudad de Mérida, Yucatán. Con este fin, se caracterizó fisicoquímicamente y microbiológicamente el agua en tres puntos de la PTARD, a la entrada, en el reactor de lodos activados y en la salida de la planta. Algunos parámetros determinados fueron: DQO, DBO5, COT, nitrógeno, fosforo, detergentes y grasas, coliformes totales y fecales, *Salmonella sp.* y huevos de helminto. Con los resultados obtenidos de las pruebas microbiológicas se pudo establecer la presencia de microorganismos patógenos la muestra de entrada. Se obtuvo que la eficiencia de remoción es baja y que no cumple con las concentraciones máximas establecidas en las normas oficiales mexicanas, con lo que podemos concluir que estos sistemas de tratamiento necesitarían modificar el diseño o incluir tratamientos terciarios para una correcta remoción de patógenos.

INTRODUCCIÓN

Yucatán presenta alto riesgo de contaminación del manto acuífero, principal fuente de abastecimiento de agua para todas las actividades humanas desarrolladas en la zona. Debido a que presenta una estructura geológica fracturada, permeabilidad del subsuelo y una gran superficialidad del manto freático, lo que permite la infiltración de las aguas residuales.

Múltiples estudios se han realizado en Yucatán para evaluar la contaminación que presenta el manto acuífero. Entre los contaminantes más encontrados habitualmente, están los coliformes fecales, cuya presencia indica una contaminación del agua subterránea por materia fecal y por ende, una probable presencia de microorganismos patógenos de origen fecal como los virus, bacterias, protozoos y huevos de helmintos. Esta contaminación está relacionada con el vertido de aguas residuales de origen doméstico e industrial como las aguas residuales porcícolas.

En el caso de la ciudad de Mérida donde, la mayor parte del agua residual domiciliar está siendo dispuesta directamente al subsuelo, a través de tanques sépticos, sumideros, letrinas y en algunos fraccionamientos existen redes de alcantarillado sanitario conectadas a pozos profundos. De las 267,663 viviendas registradas, solamente 28,187 viviendas disponen de sistema de tratamiento colectivo, donde las aguas residuales son colectadas a través de alcantarillado sanitario y destinadas para su depuración a una planta de tratamiento.

Por lo que el control de la calidad microbiológica del agua de consumo y de desecho, requiere de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos involucrados en la transmisión por vía hídrica que pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde gastroenteritis simple hasta casos fatales de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. Debido a que se han reportado en aguas residuales de Yucatán microorganismos patógenos como: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Helicobacter pylori*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella sp.*, entre muchos otros.

TEORÍA

Se consideran aguas residuales domésticas, a los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales que contienen excretas de humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y Coliformes fecales al igual que aguas provenientes de tinas, duchas, lavamanos y lavadoras que son tratados en una planta de tratamiento (Seónez, 1995).

En consecuencia la generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora (Gomella, 1977).

Por tal motivo, la finalidad de cualquier tratamiento es eliminar los componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente, ajustar la calidad del agua vertida a las especificaciones legales, proteger la salud y promover el bienestar de una sociedad en general (Nalco, 1979).

Por otro lado, está la evaluación de la calidad microbiológica del agua ya que mediante esta se podrá determinar si es apta o no para consumo humano, esto va ligado a la presencia de microorganismos patógenos que puedan estar en ella y ser causantes de diversas clases de riesgos como enfermedades, infecciones, contaminación, entre otros.

La presencia y extensión de contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. Las heces contienen una variedad de microorganismos y formas de resistencia de los mismos, involucrando microorganismos patógenos, los cuales son un riesgo para la salud pública al estar en contacto con el ser humano.

Por tal motivo, es importante evaluar el riesgo microbiológico ambiental, ya que, por generarse a partir del tratamiento de aguas residuales domiciliarias e industriales, este material contiene patógenos, que pueden tener un efecto adverso significativo en los componentes de medio ambiente (suelo, agua, animales, cultivos, entre otros), (Vargas, 2000 y Kelly, 2007).

PARTE EXPERIMENTAL

Se seleccionó como sitio de muestreo a la planta de tratamiento de lodos activados de la JAPAY unidad FOVISSTE que se localiza en la calle 3C x 48, del desarrollo habitacional denominado “FOVISSTE PENSIONES”, al nor-poniente de la ciudad de Mérida, Yucatán (Figura 1). Debido a que es una planta cuyo principal tratamiento es por lodos activados.

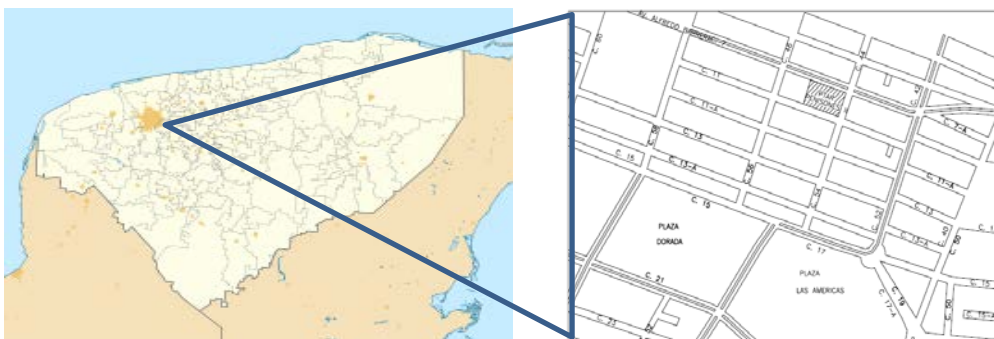


Figura 1. Ubicación del sitio de estudio (Planta de tratamiento de lodos activados de la JAPAY), Tomado del Informe Preventivo, 2006.

Se establecieron 3 puntos en el sitio de muestreo para la toma de muestras, los cuales son el agua de entrada al sistema, agua del tratamiento de lodos activados y agua de salida del tratamiento sin desinfección, procurando que dichas muestras sean homogéneas y representativas, para cada tipo de muestra se colecto un aproximado de 13 litros, los cuales se almacenaron y transportaron de acuerdo a el STANDARD METHODS, para poder realizar posteriormente los diferentes análisis (DBO₅, DQO, nitrógeno total, fosforo, microbiológicos, etc.).

Caracterización fisicoquímica

Las muestras colectadas fueron sometidas a análisis “ex situ”, para realizar la caracterización fisicoquímica en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la UADY (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos a caracterizar con el método de determinación y norma correspondiente.

Parámetro	Método de determinación	Norma
pH	Potenciómetro	NMX-AA-008-SCFI-2011
Temperatura	Termómetro	NMX-AA-007-SCFI-2013
Nitrógeno total	Método Kjeldahl	NMX-AA-026-SCFI-2001
Fosforo total	Método ácido vanadomolibdofosfórico	NMX-AA-029-SCFI-2001
Detergentes	SAAM	NMX-AA-039-SCFI-2001
Grasas y aceites	Tierra de diatomeas y hexano	NMX-AA-005-SCFI-2013
DQO	Método de tubo sellado a pequeña	NMX-AA-030/2-SCFI-2011

	escala	
DBO5	Método electrométrico	NOM-AA-28-1981 y NMX-AA-028-SCFI-2001
COT		NOM-014-CONAGUA-2003.

Caracterización microbiológica

El determinar el tipo de microorganismos patógenos presentes en el agua y su concentración mediante métodos tradicionales proporciona herramientas para indicar una posible contaminación por microorganismos potencialmente patógenos.

La Tabla 2 muestra los análisis microbiológicos tradicionales que se realizaran a las muestras de agua residual doméstica.

Tabla 2. Análisis microbiológicos tradicionales con el método de determinación y norma correspondiente.

Análisis	Método de prueba	Norma
Coliformes totales	Fermentación de tubos múltiples	NMX-AA-042-SCFI-2005
Coliformes fecales		
Coliformes totales	Almohadilla (RIDA)	No normado
Salmonella		
CT/EC		
Enterococos	Filtro de membrana	APHA 2005
Huevos de helminto	Centrifuga/Precipitación	NMX-AA-113-2012

RESULTADOS

Análisis fisicoquímicos

Se tomaron in situ, parámetros fisicoquímicos con ayuda de un equipo multiparametrico portátil (Tabla 3), con el objetivo de que los datos obtenidos tengan la menor variación o se modifiquen al tomarse en el laboratorio.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos *in situ*

Parámetro	Entrada	Reactor	Salida
pH	6.7	6.8	6.8
Conductividad	1.4	1.3	1.3
Oxígeno disuelto	6.3	4.6	4.6
Temperatura	28.8	27.8	27.5

Los análisis fisicoquímicos que se realizaron en el laboratorio, ayudaron a establecer el porcentaje de remoción de los contaminantes (Figura 2) y posteriormente se compararon con el cumplimiento

de las normas establecidas para los límites máximos establecido en los analitos de interés (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados *ex situ*

Análisis fisicoquímicos			
Análisis	% de remoción	Norma y limite	Cantidad final
Fósforo	21%	NOM-001-SEMARNAT-1996. 10 mg/l	8.32 mg/l
Nitrógeno	46%	NOM-001-SEMARNAT-1996. 25 mg/l	46.90 mg/l
DQO	99%	NOM-AA-28-1981 y NMX-AA-028-SCFI-2001	6.33 mg/l
DBO5	91%	NOM-001-SEMARNAT-1996. 60 mg/l	18.96 mg/l
COT	88.72%	NOM-014-CONAGUA-2003. ≤ 1 mg/l	8.4 mg/l
Grasas y aceites	90.04%	NOM-001-SEMARNAT-1996. 25 mg/l	7 mg/l
Detergentes	95%	NMX-AA-039-SCFI-2001	0.49 mg/l

Los parámetros fisicoquímicos analizados que cumplen con los límites máximos establecidos son el fosforo, el DBO5, grasa y aceites, sin embargo otros parámetros como el nitrógeno y COT se encuentran por encima de dichos límites.

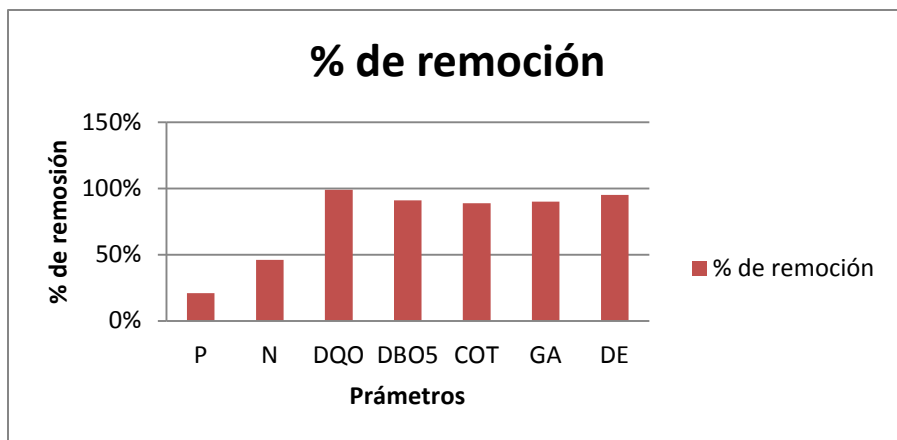


Figura 2. Grafica que señala el porcentaje de remocion de parametros fisicoquímicos

Parámetros microbiológicos

En lo que respecta a los parámetros microbiológicos que se realizaron, establecieron la presencia o ausencia de microorganismos indicadores de contaminación y se relacionaron con los límites establecidos en la norma (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados de análisis microbiológicos y su comparación con la norma

Análisis microbiológicos					
Método	Análisis	Norma o/y límite máximo	Entrada	Reactor	Salida
Número más probable (NMP) Tubos	Coliformes totales	NMX-AA-042-SCFI-2015	220 NMP/100 ml	17 NMP/100 ml	17 NMP/100 ml
	Coliformes fecales (<i>E. coli</i>)	NOM-003-ECOL-1997 y NMX-AA-042-SCFI-2015 240-1000 NML/100 ml	350 NMP/100 ml	17 NMP/100 ml	9 NMP/100 ml
Método de filtro de membrana	Coliformes totales		Incontable	Incontable	Incontable
	Coliformes fecales (<i>E. coli</i>)		Incontable	Incontable	Incontable
	Enterococos Agar bilis escualina		Positivo	Positivo	Positivo
	Enterococos caldo BHI		Negativo	Negativo	Negativo
	Enterococos caldo BHI 65% NaCl		Positivo	Positivo	Negativo
Almohadilla	Enterobacterias		36 UFC/ml	45 UFC/ml	122 UFC/ml
	<i>Salmonella</i>		220 UFC/ml	7 UFC/ml	7 UFC/ml
Por observación microscópica	Huevos de helmintos	NOM-003-ECOL-1997 ≤5 h/l	5 h/l	2 h/l	51 h/l

Se estableció que se cumple con la remoción y los límites establecidos por la norma en relación a los coliformes fecales y totales en el sistema. De igual forma se determinó la presencia de enterococos que crecen a temperaturas alrededor de los 35 °C. También se pudo observar la presencia y remoción de *salmonella*, pero un caso contrario se dio con las enterobacterias y los huevos de helminto donde a la salida del sistema se reportó una mayor presencia.

CONCLUSIONES

Es de suma importancia establecer parámetros de eficiencia de remoción de los contaminantes químicos y microbiológicos, ya que con estos podemos implementar estrategias que ayuden a mejorar o buscar nuevos tratamientos. En nuestro caso se obtuvo una eficiencia significativa en la

remoción de nutrientes como fósforo y nitrógeno y contaminantes como detergentes y grasas, sin embargo algunas de las concentraciones finales rebasan los niveles máximos permisibles por las normas oficiales como es el caso del nitrógeno.

En el caso de los microorganismos indicadores de contaminación por materia fecal y posiblemente patógenos, se confirmó la presencia de coliformes fecales, posiblemente *Escherichia coli*, *salmonella*, enterobacterias y huevos de helmintos. Y en lo que respecta a su remoción los coliformes fecales presentaron una disminución significativa ya que fue de 350 a 9 NMP/100 ml), al igual que la salmonella con una reducción que fue de 220 a 7 UNF/ml y con los enterococos donde a la salida del sistema ya no se detectaron y caso contrario, se presentó con las enterobacterias (36-122 UFC/ml) y los huevos de helminto (de 5 a 51 h/l). Por lo que se recomienda implementar un tratamiento terciario de desinfección al sistema ya que no cuenta con ello.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Seóñez, I. Angulo, " Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento", Mundi prensa libros S.A, 1995.
2. G. Gomella, "Tratamiento de aguas para abastecimientos públicos", Etasa, 1977.
3. Nalco, "Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones", Mc Graw – Hill, 1979.
4. NOM-001-SEMARNAT-1996, "Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales", Diario oficial de la federación. México, D.F
5. C. Vargas, "Coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli* por el método de filtración de membrana (FM)", Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2000.
6. J. Kelly J. "Assessment of soil microbial communities in surface applied mixtures of Illinois River sediments and biosolids, *Applied Soil Ecology*", vol. 35, no. 2-3, 2007, pp. 176-183.

DISEÑO DE UN CARGADOR SOLAR HELIOTRÓPICO CON 2 GDL PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

Norma Alejandra Caballero Bucio, Néstor Daniel Monroy Ortega, Yael Hernández Domínguez
Alejandro Martínez Flores, Jonathan Israel Hernández Hdez

Instituto Tecnológico de Atitalaquia

RESUMEN

Hoy en día el consumo de energía eléctrica es una necesidad indispensable para la vida cotidiana del ser humano; ya que es una de las formas de energía más usada en el mundo actual. Las comunicaciones, el transporte, el abastecimiento de alimentos, y la mayor parte de los servicios de los hogares, oficinas, fábricas y muchas otras aplicaciones dependen de un suministro confiable de energía eléctrica. En la actualidad el 81.5% del consumo en México de energía eléctrica proviene de combustibles fósiles, hidroeléctricos el 14.6% y el resto por las energías renovables [1]. Por las razones antes mencionadas las energías renovables son una alternativa para abatir la contaminación con respecto a las emisiones, así como disminuir el calentamiento global, reducir el porcentaje de emisiones contaminantes a la atmósfera y así evitar la propagación de enfermedades detonantes de cáncer en la salud humana. Por lo cual, este trabajo se enfoca específicamente al estudio de la energía solar. De igual manera se desarrollará un prototipo móvil de bajo costo basado en celdas solares con función heliotrópica que cuenta con 2 grados de libertad para realizar el seguimiento del sol y así mismo logre cargar dispositivos móviles. Esto debido a que casi 86 millones de mexicanos cuentan con un celular y/o tabletas [2]. Además la captación de la radiación solar beneficia a aquellas personas que no cuentan con un abastecimiento de energía eléctrica por lo que este prototipo sin duda es una fuente confiable de aprovechar la radiación solar.

INTRODUCCION

La energía solar es la fuerza de la energía que sustenta la vida en la Tierra para todas las plantas, animales y personas. Proporciona una solución completa para todas las sociedades para satisfacer sus necesidades de fuentes limpias y abundantes de energía en el futuro. La fuente de la energía solar son las interacciones nucleares en el núcleo del Sol, donde la energía proviene de la conversión de hidrógeno en helio. La luz del sol es de fácil acceso, a salvo de las tensiones geopolíticas, y no representa una amenaza a nuestro medio ambiente y nuestros sistemas climáticos globales de las emisiones contaminantes.

La energía solar se transmite principalmente a la Tierra por las ondas electromagnéticas, que también pueden estar representadas por partículas (fotones). La Tierra es esencialmente un gran colector de energía solar que recibe grandes cantidades de energía solar que se manifiestan en diversas formas, tales como la luz solar directa que se utiliza para la fotosíntesis de las plantas, las masas de aire caliente causando el viento y la evaporación de los océanos resultante en forma de lluvia, que forma ríos y proporciona la energía hidroeléctrica

TEORIA

La potencia promedio de irradiación solar correspondiente al mes de enero en la ciudad de Pachuca es de $P_p = 4.6 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \text{ día})$ [3] la cual se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** El prototipo cuenta con diez pétalos, cada uno conformado por una celda monocristalina con una eficiencia de $\eta = 20\%$, así que cada celda tiene una área $A_c = 29.5 \text{ cm}^2$ y en su conjunto forma un panel solar con una área efectiva de $A_{pa} = 295 \text{ cm}^2 = 0.0295 \text{ m}^2$. Por tanto para determinar la potencia efectiva y máxima que puede captar en el panel se calcula de la siguiente forma:

$$P_{pa} = \eta P_p A_e \tag{1}$$

Sustituyendo los parámetros conocidos en la Ec. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se obtiene que $P_{pa} = 27.14 \text{ W/ día}$ y $P_c = 2.71 \text{ W/ día}$ que son las potencias captadas por el panel solar y la de cada pétalo respectivamente, esto corresponde a cada día en el primer mes del año. Cada celda que se utiliza proporciona una tensión de $V_c = 5.0 \text{ V}$ a una corriente continua (CD), con la cual se determina que corriente máxima se tiene en cada celda con la siguiente formula

$$I = \frac{P}{V} \tag{2}$$

Sustituyendo la potencia efectiva y el voltaje de cada celda en la Ec. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se obtiene la corriente máxima que se puede esperar en cada pétalo, la cual es de 0.542 A / día . Para el panel solar se realiza un arreglo en paralelo con las 10 celdas, con esta colocación se obtiene un voltaje constante y se suman las corrientes de cada petado, resultando un panel solar que nos proporciona un $V = 5 \text{ V}$ a una $I = 5.42 \text{ A / día}$ en el mes de enero.

$$P_u = \eta_{re} \eta_{ba} \eta_{el} \eta_{ci} P_e - P_{el} \tag{3}$$

Reemplazando las eficiencias correspondientes de cada elemento de acuerdo al datasheet, la estimada del circuito, el consumo del circuito eléctrico y de los servomotores se obtiene una potencia útil de $P_u = 20.8 \text{ W/día}$, con lo cual se tiene una corriente disponible de 4160 mA a 5 V para dispositivos móviles.

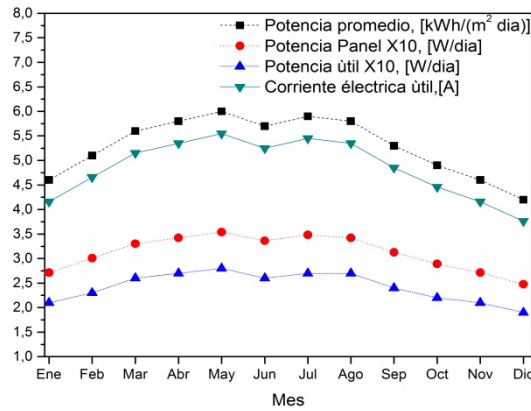


Figura 34: La línea verde muestra la irradiación solar en la ciudad de Pachuca, la roja proporciona la potencia captada por el panel, la azul corresponde y la tercera curva es la corriente eléctrica a 5 V; estas cuatro líneas son un promedio mensual a lo largo del año.

PARTE EXPERIMENTAL

El esquema básico de un sistema fotovoltaico a realizar se muestra en la figura 2. Primeramente se realizó el corte de las 10 celdas solares en forma de una hoja de girasol, el cual estarán en la parte superior del prototipo, la parte del regulador y la batería estarán ocultas en la parte interior de una base.

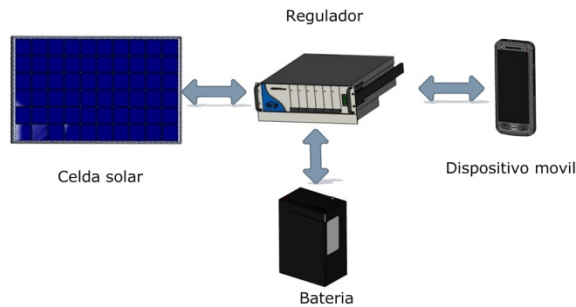


Figura 2. Sistema Fotovoltaico,

La parte mecánica constará de 3 partes, una base de giro que será rotacional al eje Y del prototipo y que le dará 1 GDL, en la parte superior estarán el arreglo de las celdas y un servomotor que proporcionara el segundo grado de libertad y por último en la parte inferior estará una base fija donde en su parte interior se encontrara todo el circuito de control del seguidor solar.

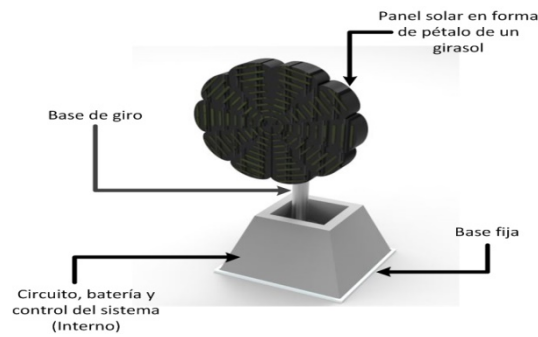


Figura 3. Parte mecánica del seguidor solar.

Fue necesario validar algunos componentes mecánicos para así descartar posibles fallas posteriores a la fabricación del dispositivo. Primeramente se analizó la base de giro considerando la unión del arreglo de celdas en su parte superior.

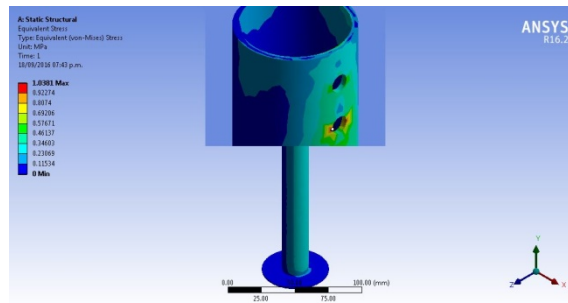


Figura 4. Parte mecánica del seguidor solar.

Posteriormente se analizó la base que une al servomotor con el eje principal del seguidor solar, en ambos casos se puede apreciar en dichas figuras los resultados de los esfuerzos generados en simulación son demasiado pequeños por lo que no se consideran críticos para el diseño del prototipo.

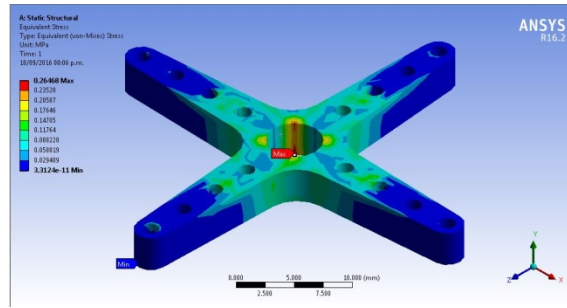


Figura 5. Unión servo con base giratorio.

En la parte de electrónica, se decidió realizar en varias etapas con la finalidad de subdividir el problema en módulos más simples. Dicho esquema se muestra en la figura 6.

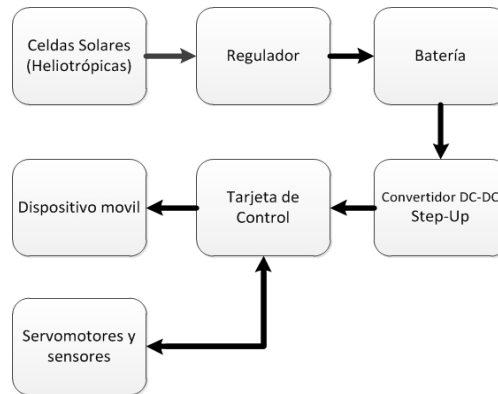


Figura 6. Parte de control del prototipo

RESULTADOS

Promediando el consumo de las marcas más populares de dispositivos móviles según el INEGI [6], resulta una demanda energética de 2 A por celular. Se puede apreciar en la que con la corriente útil que se capta en cada día en el mes de enero puede cargar 3 dispositivos al 70%, además se puede apreciar que conforme se acerca al solsticio de verano, mes de junio, la radiación disponible va incrementando y como la captación de energía del panel, la potencia útil y la corriente están directamente ligadas a la energía solar disponible, por lo contrario conforme nos acercamos al solsticio de invierno, mes de diciembre, la radiación va decreciendo y afecta linealmente a los

demás parámetros dependiente mostrados en la gráfica. El sistema puede cargar tres Smartphone, en el mes de mayo se tiene la mayor carga del 92.5%, la más baja del 63% en el mes de diciembre y un promedio anual del 80%, todos estos datos considerando que se utilice diario.

El cargador solar llegaría a captar 8.845 kW al año que nos sirven para tres dispositivos; 86 millones de Mexicanos [6] cuentan con algún tipo de celular por lo que solo necesitan 28.66 millones de sistemas fotovoltaicos con lo cual se podrá tener un ahorro energético de 253.55 GW anualmente, por el mismo periodo se tendrá un ahorro económico 201.07 millones de pesos a una tarifa doméstica correspondiente al año 2016 [4], con estos mismos datos se dejará de quemar alrededor de 164.79 mil barriles de petróleo [5].

CONCLUSIONES

Se presento el diseño mecatrónico de un cargador solar con movimientos heliotrópicos que permite tener dos grados de libertad para su movimiento, figura 7. El cuál consta de un sistema fotovoltaico para la carga y protección del dispositivo móvil y el control de posición. El trabajo se enfoco al control de orientación del panel solar para que lo más regular quede perpendicular a la radiación solar, lo cuál nos permitirá optimizar y mejorar la captación de energía solar para la carga de dispositivos móviles.



Figura 7. Diseño final del seguidor heliotrópico

BIBLIOGRAFÍA

1. Almen, J. O., Peened surfaces improve endurance of machine parts, *Metal Progress*, pp 209-215, 1943.
2. Withers, P. J. y Bhadeshia, D. H., Residual stress Part 2 - Nature and origins, *Materials Science and Technology*, Vol. 17, pp 366-375, 2001.

3. R. Almanza S., E. Cajigal R., J. Barrientos A. 1997, Reportes de insolación de México. Southwest Technology Development Institute, NMSU, 1999.
4. <http://www.cfe.gob.mx>
5. <https://www.epa.gov>
6. <http://www.inegi.org.mx>
7. *Handbook of Measurement of Residual Stresses*, Society for Experimental Mechanics, Inc., 1996.
8. Holý, S., Václavík, J. y Weinberg, O., Residual stress determination as a base for evaluation of a suitable machining treatment, 22nd *Danubia-Adria Symposium on Experimental Methods in Solid Mechanics*, Italy, pp 1-2, 2005.

SISTEMA DE INVERNADERO DE HIDROPONIA BASADO EN ARDUINO

Daniela Pérez Gutiérrez, Orlando de Jesús Miranda Armenia, Alma Adriana Camacho Pérez

Universidad de la Salle Bajío, A. C.

Av. Universidad No. 602 Col. Lomas del Campestre C.P. 37150 León, Gto. México

e-mail: danielaperezgtz.13@gmail.com, orlando.bas.13@gmail.com, acamacho@delasalle.edu.mx

RESUMEN

En base al constante crecimiento poblacional en el mundo y por consecuencia la crisis alimenticia en diferentes países se desarrolló esta propuesta de proyecto como alternativa tecnológica para disminuir el problema de escasez de alimentos. Por lo que se diseñó un sistema de control de un invernadero de hidroponía mediante el cual se monitorea y manipula las variables de: humedad, temperatura, riego para lograr las condiciones adecuadas para el cultivo. Para ello se determinó los cultivos que se emplearon, en base a sus características se seleccionaron el tipo de nutrientes que ayudaron al crecimiento del mismo. Se elaboró el diseño en SolidWorks® del prototipo del invernadero, donde se localizaron los puntos de instalación de los actuadores, los sensores y demás componentes, así como el cableado total del sistema. Después se empleó la tecnología Arduino, para diseñar el sistema de control, incluidos los componentes necesarios para que se resuelvan los requerimientos definidos en el objetivo general. Finalmente se integró en una maqueta la instalación del sistema de control diseñado y se realizó la prueba de funcionamiento final. Por lo que esta opción pudiera seleccionarse por las personas y/o determinadas empresas para hacer eficiente el cultivo de plantas que se puedan desarrollar. Cabe señalar que los cambios demográficos en las zonas tradicionalmente dedicadas al cultivo han orillado a los productores a replantearse la necesidad de obtener cultivos de calidad en superficies cada vez más limitadas. Además, el cambio climático y la escasez de agua han obligado a perfeccionar sistemas de producción intensiva, entre ellos la hidroponía.

Palabras clave: hidroponía, automatización, arduino

INTRODUCCIÓN

El estudio de la hidroponía tiene una larga trayectoria, desde hace 382 a.C. La primera información escrita data de 1600, cuando el belga Jan van Helmont documentó su experiencia acerca de que las plantas obtienen sustancias nutritivas a partir del agua, en 1699 el inglés John Woodward cultivó plantas en agua conteniendo diversos sustratos y encontró que el crecimiento de las plantas era el resultado de ciertas sustancias en el agua obtenidas del suelo continuaron las investigaciones y es en 1804 cuando, De Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua suelo y aire.

TEORÍA

La hidroponía o agricultura hidropónica es un método utilizado para cultivar plantas usando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola. La palabra hidroponía proviene del griego hidro = 'agua', y [ponos] = 'labor', 'trabajo'.¹ Las raíces reciben una solución nutritiva y equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos esenciales para el desarrollo de las plantas, que pueden crecer en una solución mineral únicamente, o bien en un medio inerte, como arena lavada, grava o perlita, entre muchas otras.

Por lo que el **cultivo bajo invernadero** siempre ha permitido obtener producciones de calidad y mayores rendimientos, en cualquier momento del año, a la vez que permiten alargar el ciclo de cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios.

Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda **invertir tecnológicamente** en su explotación mejorando la estructura del invernadero que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final.

En la actualidad son numerosos los sistemas de automatización que existen en el mercado para controlar los **parámetros climáticos** de los invernaderos: la automatización de la apertura de las ventilaciones, radiómetros que indican el grado de luminosidad en el interior del invernadero, instalación de equipos de calefacción, etc. Los parámetros más relevantes en el control que intervienen en un invernadero son las relaciones con el **clima, riegos, CO₂, humedad**, etc.

Estos sistemas se basan en el empleo de una computadora central al que se conectan un conjunto de sensores, que recogen las variaciones de los distintos parámetros respecto a unos valores programados inicialmente. Estos sistemas a su vez pueden estar conectados a los sistemas de fertirriego y de regulación climática. Los sensores o automatismos se distribuyen en diferentes sectores, pudiendo funcionar cada uno de forma autónoma. En el controlador central se recoge la información captada por los sensores, se coordinan las actuaciones, y se envían las órdenes a los distintos sectores. El funcionamiento de estos parámetros de control dentro del invernadero de **sensores**. Los sensores dentro del invernadero permiten que estas variables sean cuantificadas de forma visible ofreciendo orientación cualitativa respecto a las condiciones ambientales del cultivo. Por otro lado, si se refieren, a la parte de control existen diseños automatizados basados en respuestas de sensores que permiten el acondicionamiento, control y manejo de estas variables, según datos previamente especificados.

PARTE EXPERIMENTAL

A continuación en esta sección se describen los pasos que se llevaron a cabo para el desarrollo de este proyecto, los cuales son:

1. Investigar sobre las plantas o vegetales que se pueden cultivar con esta tecnología, así como también sus condiciones óptimas y seleccionar la solución nutritiva y los tipos de nutrientes que requiere la cosecha para su máximo desempeño.

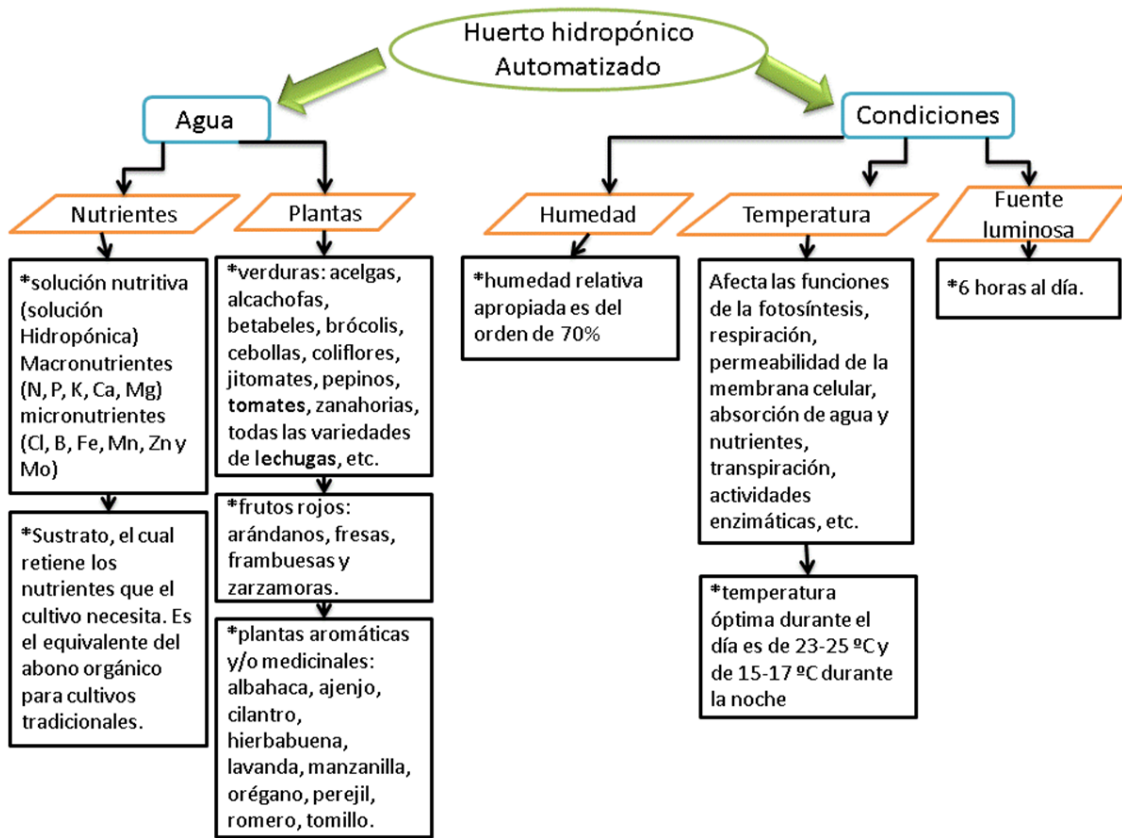


Figura a) Diagrama de árbol que muestra las plantas que pueden cultivarse con las condiciones de humedad, temperatura y luminosidad

2. Diseñar el prototipo del invernadero mediante SolidWorks®. En las figuras b se muestra la vista isométrica y en la figura c la vista frontal del diseño respectivamente.

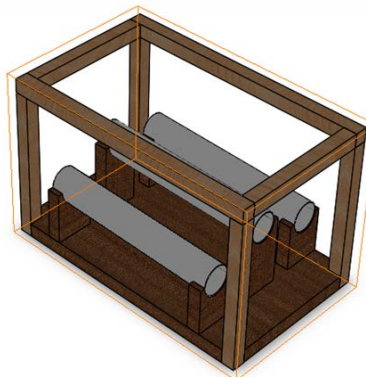


Figura b) Vista isométrica del diseño

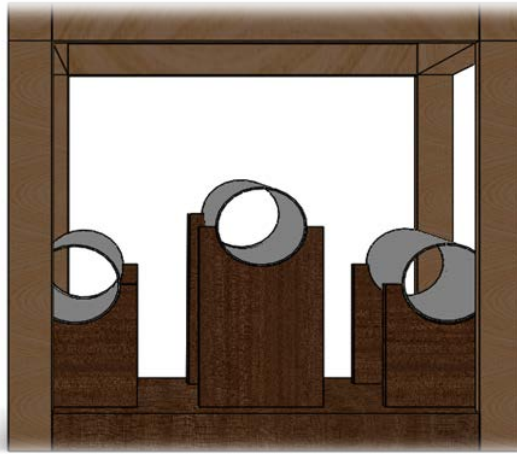


Figura c) Vista frontal del diseño

3. Diseñar el sistema de control que se implementará con la plataforma de arduino. En la figura d se muestra los sensores humedad y temperatura y en la figura e se muestra la plantilla de experimentos y la pantalla que se utilizó

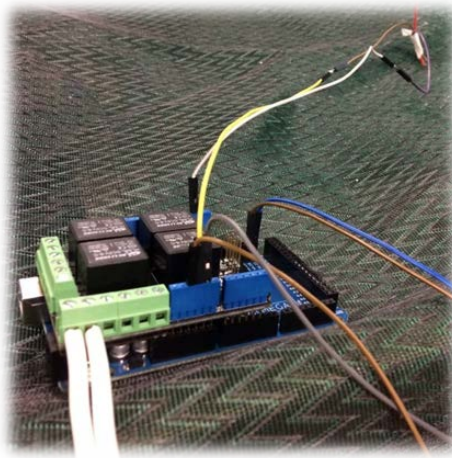


Figura d) Muestra la tarjeta Arduino con sensor de humedad y temperatura

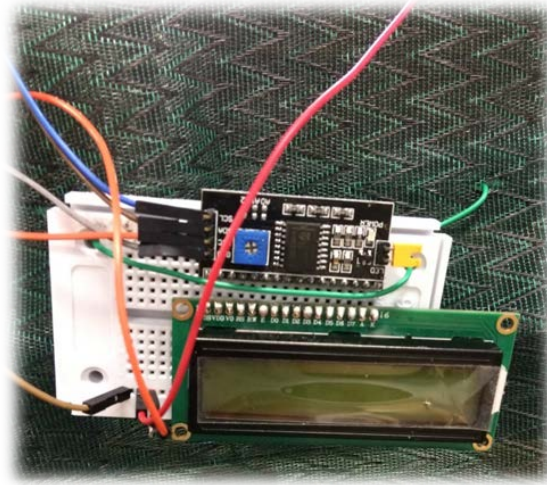


Figura e) Muestra la conexión en la plantilla de experimentos y pantalla

4. Huerto terminado

Para la construcción del huerto se emplearon materiales como madera y PVC; El uso de malla sombra, para tener más controlada la temperatura y humedad, dentro de huerto. La colocación de los tubos de PVC, con una ligera inclinación, para el mejor desplazamiento del agua. Se utilizó madera para la estructura, se colocó una bomba para el agua conjuntándose con la automatización con la tarjeta arduino.

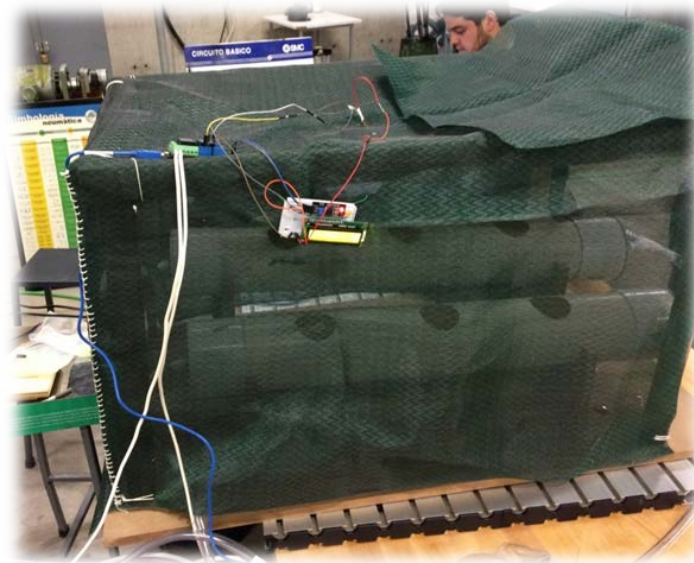


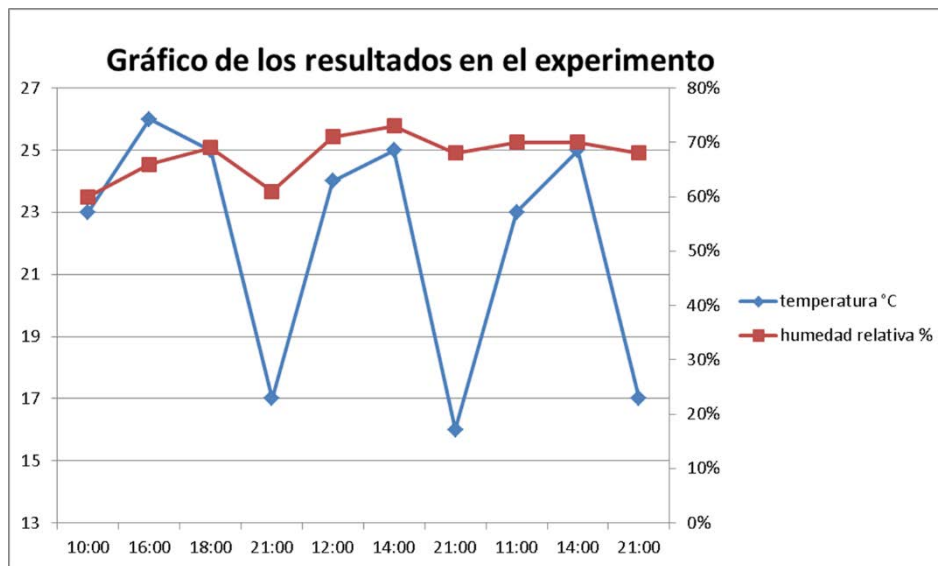
Figura f) Muestra la vista lateral del huerto



Figura g) Muestra la vista lateral del huerto

4. RESULTADOS

A continuación se presenta una gráfica con los resultados obtenidos del monitoreo de temperatura y humedad relativa



Como se puede observar se realizó un monitoreo durante tres días a partir de las 10:00 a.m hasta 21:00 hrs, después se retomó a partir de las 12 hasta 21:00 hrs, y finalmente de las 11 a las 21 hrs.

En estos intervalos se registró temperaturas como mínimo de 16 hasta un máximo de 26 °C. Haciendo referencia en la humedad relativa se obtuvo del 60 al 75 %.

CONCLUSIONES

Por lo que se puede concluir que se ha desarrollado una alternativa tecnológica la cual consistió en desarrollar un sistema de control de un invernadero de hidroponía mediante el cual se monitorea y manipula las variables de: humedad, temperatura, riego para lograr las condiciones adecuadas para el cultivo. Por lo que esta opción pudiera seleccionarse por las personas y/o determinadas empresas para hacer eficiente el cultivo de plantas que se puedan desarrollar.

Cabe señalar que deseamos agradecer de manera especial a la Universidad De La Salle Bajío, y a los maestros; el Ingeniero José Luis Torres Gutiérrez y a la Doctora Alma Adriana Camacho Pérez, por los conocimientos adquiridos en sus materias.

BIBLIOGRAFÍA

1. Real Academia Española y Asociación de Academias de la Lengua Española (2014). «hidroponía». Diccionario de la lengua española (23.^a edición). Madrid: Espasa. ISBN 978-84-670-4189-4
2. Gringer C., 2001 Diseño inteligente México: McGraw-Hill
3. *Grupo Latino Editores. 2010, Manual de Cultivos Hidropónicos, Colombia: Grupo Latino Editores
4. <http://www.novedades-agricolas.com/es/invernaderos-automatizados-inteligentes>
5. *Flórez Serrano J., 2009, Agricultura Ecológica, México: Mundi Prensa
6. *Lesur L., 2006, Manual de riego, México: Trillas.
7. *Grupo Latino Editores, 2010, Sistemas de Riego, Colombia: Grupo Latino de Editores.
8. *Sánchez Brito C., 2005, Avances de Investigación en agricultura sostenible III, México: Inifap.
9. *Benklebia N. 2011 Sustainable Agriculture and new Biotechnologies, United States of America: Benklebia N.
10. *Peter E.V., 2007, Soils Their Properties and management, United States of America: Oxford

PROPUESTA DE SISTEMA EXPERTO COMO APOYO EN EL PROCESO DE ATENCIÓN ENFERMERO DE ESQUIZOFRENIA

Fabiola Orquidea Sánchez Hernández, José Luis Sánchez Ramírez, Cristina Juárez Landínipo

Centro Universitario UAEM Valle de Chalco

RESUMEN

En este trabajo se realiza la propuesta de un Sistema Experto (SE) con la finalidad de brindar apoyo a los alumnos de la Licenciatura en Enfermería en la unidad de aprendizaje Proceso Enfermero que se imparte en el Centro Universitario Valle de Chalco, este proceso emite un diagnóstico, una intervención y el resultado de la patología, este proceso se llevará a cabo para la enfermedad mental esquizofrenia que se caracteriza por pérdida de conciencia de la realidad y la presencia de alucinaciones, esta es la segunda enfermedad mental que se padece en México, y su índice de impacto es crónico (larga duración) y de tratamiento costoso debido a que los pacientes tienen recaídas que requieren de hospitalización de 3 a 4 veces por año. Para llevar a cabo dicho proceso se hace uso de los libros NANDA por sus siglas en español (Asociación Norteamericana de Diagnósticos de Enfermería), NIC (Clasificación de Intervenciones Enfermeras) y NOC (Clasificación de Resultados de Enfermería). En el desarrollo del sistema se hará uso de la metodología RAD (Desarrollo Rápido de Aplicaciones), está cuenta con 5 fases que son las siguientes Modelado de gestión, Modelo de Datos, Modelado de Proceso, Generación de aplicaciones, pruebas y entrega. En la Implementación del SE utilizara SWI-Prolog que es un software de código abierto del lenguaje de programación Prolog el cual es utilizado para la creación del SE. El objetivo final es que el sistema desarrollado realice el diagnostico enfermero, para posteriormente poder aplicarlo a diversas enfermedades y así complementar y reforzar el aprendizaje del alumno.

INTRODUCCIÓN

Desde su aparición, a mediados de 1960, los sistemas expertos se han definido como aquellos sistemas que simulan los procesos de aprendizaje, memorización, razonamiento, comunicación, y acción de un experto humano en una determinada rama de la ciencia para resolver un problema de un tópico definido. Su comportamiento se basa generalmente en reglas, es decir se basa en conocimientos previamente definidos, y mediante estos los sistemas expertos son capaces de tomar decisiones. El modelo del sistema experto que se presenta en este trabajo pretende ayudar a los alumnos de enfermería y al profesor en la unidad de aprendizaje Proceso Enfermero.

La esquizofrenia es una enfermedad mental que, en México, un millón 100 mil personas padecen esquizofrenia trastorno que ocupa el quinto lugar en la lista de padecimientos de mayor discapacidad según datos de la OMS (Organización Mundial de la Salud).

El Proceso de atención de Enfermería (PAE) es el conjunto de acciones intencionadas que la enfermera realiza en un orden específico, con el fin de asegurar que una persona o grupo de personas necesitadas de cuidados de salud reciban el mejor cuidado posible de los profesionales de Enfermería. Se desarrollan actividades utilizando la metodología enfermera a través del plan

individualizado, empleando para ello el uso de los tomos NANDA (North American Nursing Diagnosis Association), NIC (Nursing Interventions Classification) y NOC (Nursing Outcomes Classification). La provisión de cuidados integrales al paciente y/o familia se realizará a través del proceso de enfermería por la enfermera referente, así como el seguimiento y valoración del paciente con contactos periódicos según sus necesidades asistenciales en el equipo de salud mental u hospital (Ledesma, 2005).

TEORÍA

En este trabajo se describirá la técnica para la realización de un sistema experto, mencionando el contenido de la base de conocimientos, que parte del sistema contendrá la máquina de inferencia y la memoria de trabajo. Además, cabe mencionar que se hará uso de los libros NANDA, NIC y NOC muy utilizados para realizar el Proceso de atención de enfermería el cual también será evaluado por un profesor.

Para la emisión de un diagnóstico enfermero es necesario el uso del proceso de atención de enfermería (PAE) que es la aplicación del método científico en la práctica asistencial que permite prestar los cuidados que demandan los pacientes, de una forma estructurada (Kamitsuru, 2015).

La taxonomía NANDA, es la guía utilizada para los diagnósticos de enfermería, cada uno de los diagnósticos presentados son apoyados por definiciones, aprobados por expertos en diagnósticos enfermeros, investigadores y educadores, mientras que el libro NIC se encarga de las intervenciones que realiza el profesional de enfermería, tiene como interés tomar la mejor decisión que permita llevar al enfermero al resultado esperado y el libro NOC, es utilizado para conceptualizar, denominar, validar y clasificar los resultados que se obtuvieron de la intervención de enfermería (Moorhead, 2009).

En esta investigación se realizará el PAE con la finalidad de obtenerlo para la enfermedad mental de esquizofrenia esta se caracteriza por una del pensamiento, la percepciones, las emociones, el lenguaje, la conciencia de sí mismo y la conducta. Una de las enfermedades más graves y prevalentes de enfermedad psiquiátrica, participa en la carga global que afecta hasta el 28% de años vividos con discapacidad y dentro de los trastornos mentales constituye una de las tres principales causas de mortalidad por suicidio entre las personas de 15 a 35 años según datos de la OMS. Por lo anterior, en este trabajo se describe el proceso de prototipo de un Sistema Experto (SE) dirigido al Proceso de atención de Enfermería (PAE) en esquizofrenia, con la finalidad de proporcionar una herramienta para estudiantes de Licenciatura en enfermería.

El sistema experto consta de una serie de pasos los cuales permiten el correcto funcionamiento de dicho sistema, como se muestra en la Figura 1. Podemos apreciar la arquitectura (etapas) del sistema experto.

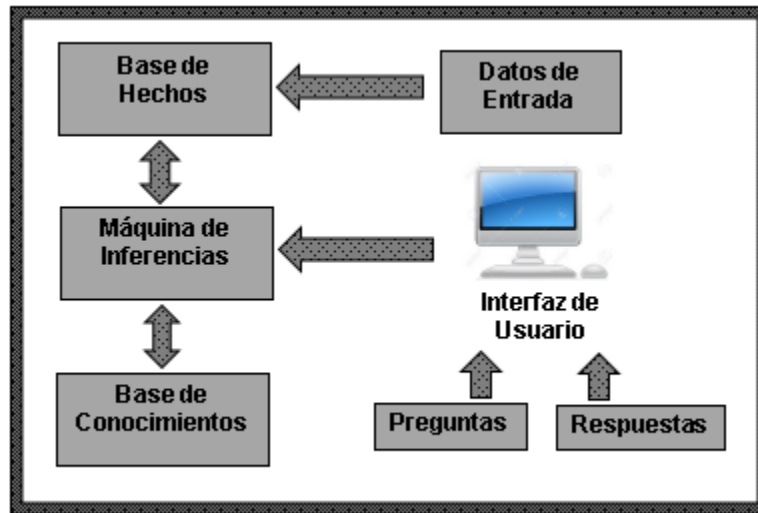


Figura 1: Arquitectura del sistema experto (Diez, 2001).

La base de conocimientos está formada por toda la cantidad de información disponible sobre el campo en que se desarrolla la aplicación. Esta información debe contener tanto los hechos contrastados como las creencias y los heurísticos adquiridos por los especialistas a través de la experiencia. El orden en que los elementos básicos de información se incluyen en la base de conocimientos no es normalmente determinativo, es decir, pueden introducirse en la base tal como se extraen del especialista (Hossian, 2015).

La base de hechos está formada por los datos sobre la situación concreta que va a ser considerada. Además, puede utilizarse como memoria auxiliar o de trabajo para almacenar los modos de razonamiento y la forma en que han sido utilizados.

El motor de inferencias en un programa que se encarga de gestionar las informaciones existentes en la base de conocimientos y los datos de la base de hechos, confrontándolos para construir una serie de razonamientos que conduzcan a los resultados, pueden utilizar dos modos de razonamientos diferentes: el encadenamiento hacia adelante y el encadenamiento hacia atrás, en el primero una regla puede aplicarse cuando las condiciones indicadas en la parte izquierda se cumplen en la situación que se está considerando, indicada en la base de hechos o memoria de trabajo. En el encadenamiento hacia atrás se parte de un conjunto de hipótesis que son contrastadas con las partes derechas de las reglas de la base de conocimientos. Al aplicar una regla se sustituye el objetivo inicial por un conjunto de subconjuntos indicados por las premisas de la regla aplicada y se continúa el proceso.

La interfaz de usuario permite que el usuario pueda describir el problema al sistema experto, interpretando sus preguntas, los comandos y la información ofrecida. A la inversa formula la información generada por el sistema incluyendo respuestas a las preguntas, explicaciones y justificaciones.

Los módulos utilizados para la comunicación hombre-máquina. Normalmente el usuario final de un SE es personal no especializado, es decir, no relacionado con su desarrollo e implantación; por esta razón ha de procurarse que posea un elevado grado de accesibilidad y facilidad de manejo.

El diseño y la especificación requieren una temprana determinación de la interfaz del software y de la funcionalidad de los componentes. Durante el desarrollo, resulta apropiado empezar con implementaciones tipo test para encontrar el camino hacia una solución definitiva y para hacerlas coincidir con las necesidades del usuario. Un método efectivo es la implementación de un prototipo de Sistema experto que permita llevar a cabo las funciones más importantes de este, aunque con

esfuerzo de desarrollo considerablemente inferior al de una implementación convencional. Este proceder se define bajo el nombre de la metodología RAD. Para Sistemas Expertos es la metodología de diseño que desarrolla rápidamente nuevos diseños, los evalúa y prescinde del prototipo cuando el próximo diseño es desarrollado mediante un nuevo prototipo (Badaro, 2013).

Esta metodología tiene diversas ventajas entre las cuales destaca el hecho que cualquier modificación o mantenimiento que se le quiera realizar a un determinado componente no afecta al otro y viceversa. Este enfoque tiene la ventaja de que el sistema va a considerar únicamente las reglas que interesan al problema en cuestión, el usuario comenzara declarando una expresión y el objetivo del sistema será establecer la verdad de esa expresión.

Esta metodología consta de las siguientes etapas (Carrillo, 2016):

Modelado de gestión: en la cual se busca identificación de tareas requeridas para definir recursos del proyecto, mediante el proceso de atención enfermero se obtendrán los requisitos ya que se deben de seguir una serie de pasos para este proceso.

Modelo de Datos: Se busca que esta etapa se realizar el modelado del usuario creando el diseño conceptual definiendo el estilo, diseño visual y el diseño de contenidos con ayuda del usuario.

Modelado de Proceso: en esta etapa se realizara el método de inspección, donde las tareas requeridas se elaboraron y se revisaran si cumple con dichas tareas para posteriormente pasar a la siguiente etapa.

Generación de aplicaciones: en esta fase de codificación o implementación aquí se realiza el código fuente haciendo uso del prototipo, se realizará dependiendo del tipo de lenguaje de programación y su versión se crea las bibliotecas y componentes. En este caso se hará uso del lenguaje de programación SWI-Prolog enlazando con Java.

Pruebas y entrega: En esta etapa se realizan cambios al prototipo es una de las etapas con más duración y con cambios en el ciclo de elaboración de un proyecto siendo una de las fases finales

3. RESULTADOS

Se realizó el modelo del Sistema Experto el cual fue enseñado a un grupo de alumnos de enfermería. Explicándoles que fue diseñado con la finalidad de aplicarlo en la unidad de aprendizaje Proceso de Atención Enfermero. El proceso se realizará para la enfermedad mental Esquizofrenia, como se muestra en las siguientes pantallas el modelo del sistema.

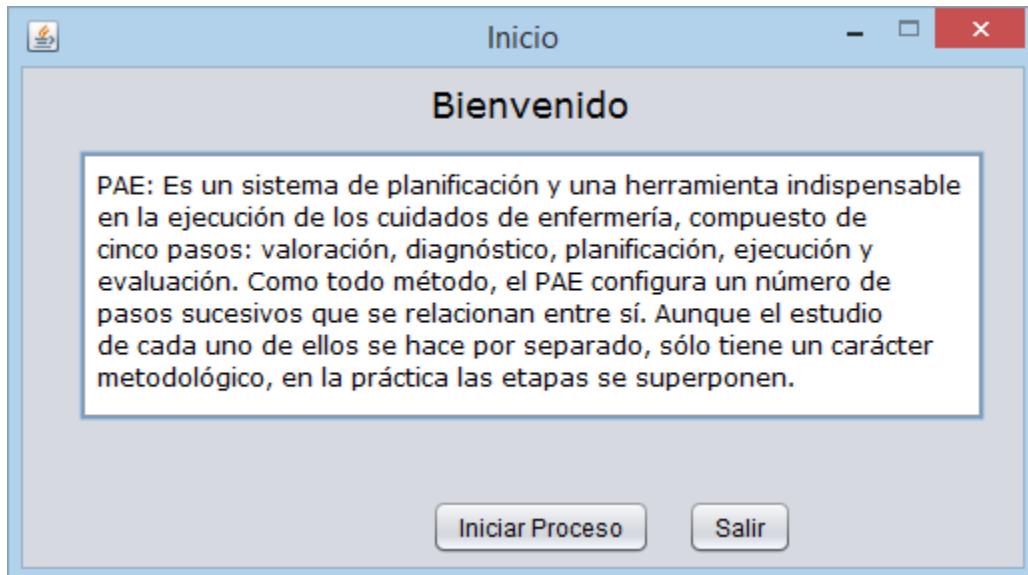


Figura 2: Inicio del Sistema. Fuente; (propia, 2017).

Una vez que se presionó el botón de inicio, nos enviara a la siguiente pantalla la cual tiene los patrones de valoración emitidos por NANDA, en este apartado se llenaran los patrones uno a uno dando clic en cada botón como se muestra en la siguiente Figura 3.

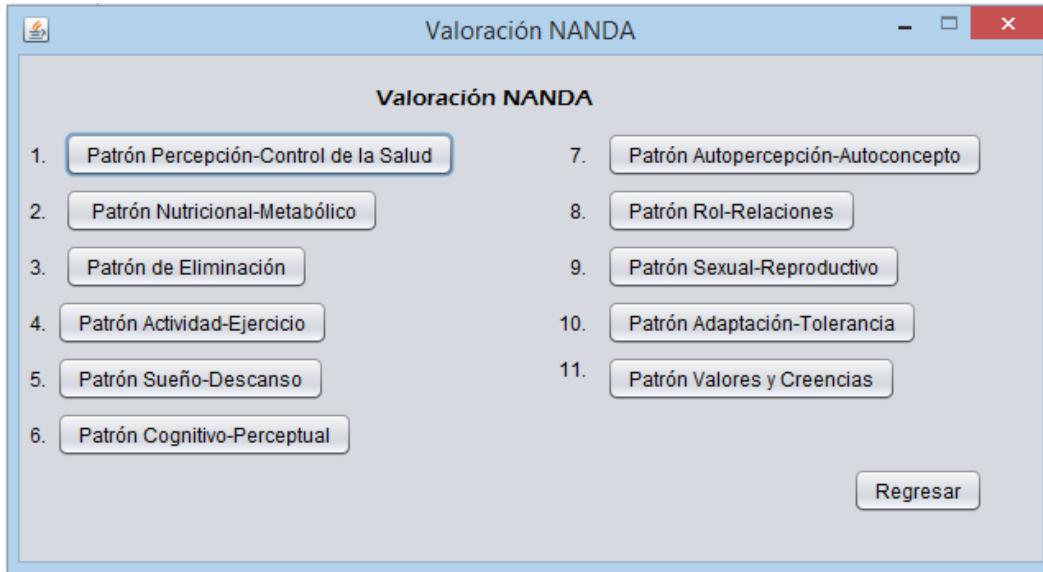


Figura 3: Patrones de Valoración. Fuente; (propia, 2017).

Cada patrón cuenta con una serie de preguntas correspondientes, las cuales se irán llenado conforme a cada patrón, una vez terminado se guardará y regresará al menú para la siguiente serie de preguntas como se muestra la siguiente Figura 4.

Figura 4: Patrón Percepción-Control de la Salud. Fuente; (propia, 2017).

Este modelo fue enseñado a un grupo de 20 Alumnos de la Licenciatura en Enfermería el cual se les explico el funcionamiento del sistema a lo que contestaron si fue de su agrado con la siguiente escala excelente, bueno, regular y malo, como se muestra en la siguiente Figura 5.



Figura 5: Grafica de Resultados. Fuente; (propia, 2017).

CONCLUSIONES

Este sistema busca ser de apoyo a los alumnos en enfermería en la unidad de aprendizaje Proceso enfermero así mismo hacer dicha materia más práctica ayudando a complementar sus conocimientos. Una vez realizado el sistema se busca poder ampliarlo para diversas enfermedades aplicando este proceso, y reforzar esta rama de la enfermería.

BIBLIOGRAFÍA

1. Badaro, S. (2013). Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. *Ciencia y Tecnología*, Vol. 13(2), 349-364.
2. Carrillo, J. (12 de Octubre de 2016). Metodología para el Desarrollo de Sistemas Expertos. Madrid, España.
3. Diez, R. P. (2001). *Introducción a la Inteligencia Artificial: Sistemas Expertos, Redes Neuronales Artificiales y Computación Evolutiva*. España: Universidad de Oviedo.
4. Hossian, A. (2015). *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, Vol. 1(1), 1-15.
5. Kamitsuru, S. (2015). *Diagnósticos enfermeros. Definiciones y clasificación (NANDA) 2015-2017*. España: Elsevier.
6. Ledesma, M. d. (2005). *Fundamentos De Enfermería / Nursing Fundamentals*. España: Limusa.
7. Moorhead, S. (2009). *Clásificación de Resultados de Enfermería (NOC)*. España: Elsevier.

MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS ORGÁNICAS PARA LA ELABORACIÓN DE UNA PATINETA TIPO MINI

Natali F. Cárdenas Hernandez, Alejandra A. Díaz Olea, María J. Diosdado de la Fuente, María Gpe. Gamiño Vega¹, Miroslava Cano Lara, Humberto Rodríguez Bravo¹ y Higinio Juárez Ríos

Ing. Mecatrónica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

Depto. de Formación Profesional y Específica, Instituto Politécnico Nacional.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día los materiales compuestos tienen un gran impacto en nuestra vida cotidiana, con el tiempo han ido reemplazando los materiales convencionales es decir los materiales que se han ido estableciendo para producir piezas que se encuentra en el área del conocimiento de ciencia e ingeniería de los materiales, aeronáutica, automotriz, construcción, etc. Los materiales compuestos ofrecen propiedades mecánicas que casi resultan imposibles de conseguir con metales, cerámicos y polímeros.

Los materiales compuestos han permitido importantes desarrollos en diferentes áreas del conocimiento de ciencias e ingeniería, logrando ventajas en características como resistencia a la tracción, flexión y esfuerzo haciendo el material único, contando con un comportamiento diferente, y haciéndolo mejor en comparación a otros materiales. En la fabricación de materiales compuestos usualmente se utilizan fibras sintéticas por sus propiedades mecánicas, a diferencia de las fibras orgánicas que tienen un bajo coste y una baja densidad lo que les confiere una elevada resistencia específica, son biodegradables y no presentan efectos abrasivos, como sucede con algunas fibras sintéticas, además los materiales compuestos con fibras orgánicas son menos sensibles a las vibraciones, los costos de ensamblaje son menores, se reduce el peso, pero presentan el inconveniente de incorporar cierta cantidad de agua [1]. Pueden trabajarse o estructurarse de diferentes maneras entre ellas como un apilamiento de capas una sobre otro proceso denominado "laminado". En el proceso de laminado se lleva a cabo la unión de la matriz con el refuerzo, generando como resultado una serie de láminas unidireccionales adheridas entre sí.

Los materiales compuestos reforzados con fibras orgánicas, son elementos biodegradables pueden ser de diferente naturaleza y de diferente composición como coco, esparto, yute, paja de cereal etc., a su vez pueden encontrarse de manera individual, así como en forma de manta trenzada o entrecosidas [3].

Las aplicaciones de las fibras de origen orgánico juegan un rol cada vez más importante en la realización de materiales compuestos como por ejemplo la construcción de lanchas y canoas por su resistencia e impermeabilidad en el agua. La aplicación más destacada ha sido la fabricación de tablas de surf de resina de poliéster y de resina epoxi aumentando la vida útil del equipo ofreciendo una mayor resistencia a los golpes y aportando al producto un aspecto más atractivo [2].

TEORIA

Los materiales compuestos están constituidos por el producto de la combinación de materiales simples con diferentes características, cuyas propiedades son mejores que las de los constituyentes de manera individual. Los materiales combinados pueden ser distinguidos física o visualmente, en donde cada uno de ellos desempeña un papel de suma importancia, que puede ser refuerzo y matriz [3]. El refuerzo es el constituyente que puede controlar dimensionalmente (consta de geometría fija), y puede estar formado por partículas, fibras u hojuelas. En la figura 1 se muestra los componentes de un material compuesto los cuáles se componen de dos fases: la matriz y el refuerzo [1].

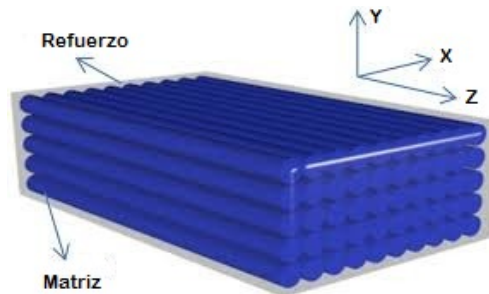


Fig.1 Representación de un material compuesto.

La matriz es la fase continua del material compuesto, contiene en su interior al esfuerzo así mismo protegerlo de reacciones del medio ambiente, transmitir los efectos de las cargas de fibra en fibra o de partícula en partícula, y protegerlo del fenómeno conocido como abrasión mecánica.

Clasificación de los materiales compuestos

En los materiales compuestos encontramos las fibras orgánicas que son elementos biodegradables que pueden ser de diferente naturaleza y de diferente composición (ver fig. 2) La fibra de yute es una fibra que corresponde a la clasificación de fibras vegetales que son aquellas que se extraen del reino vegetal y tienen en común una misma estructura química. De acuerdo a la parte de la planta de donde se extraen se clasifican en tallos, es extraída de la corteza del yute blanco (*corchoruscapsularis*) por lo que es una de las fibras vegetales más fuertes con propiedades antiestáticas y de baja conductividad térmica EL yute es una fibra versátil y orgánica compuesta principalmente de celulosa, fibras vegetales y lignina [1].

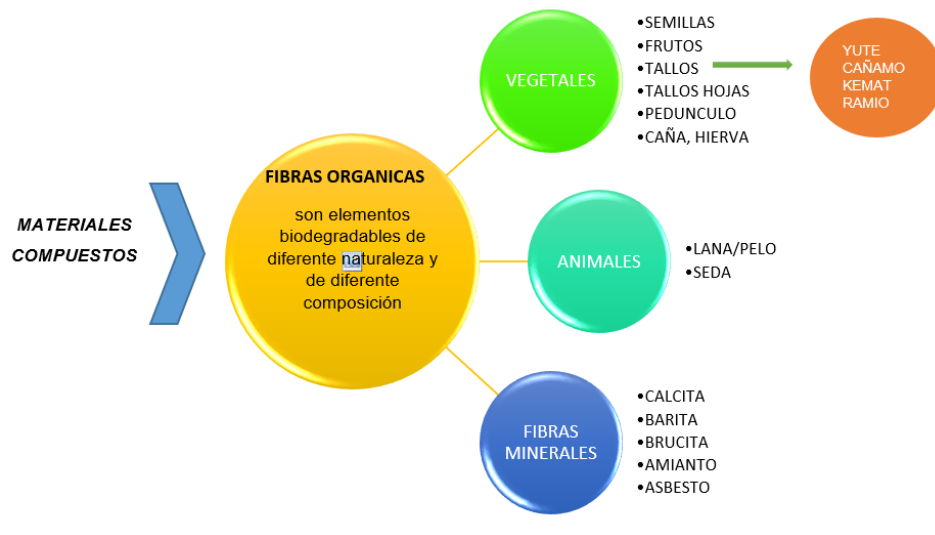


Fig. 2. Diagrama de la clasificación de las fibras orgánicas

Dentro de los tipos de materiales compuestos se encuentran los materiales compuestos estructurales que son aquellos formados por la combinación de materiales compuestos y materiales homogéneos, clasificándose a su vez en materiales laminados y materiales compuestos sandwich. Los materiales laminados están constituidos por diversas láminas apiladas paralelamente, se construyen según determinados patrones de secuencia de laminas, propiedades mecánicas, espesores y orientaciones de las fibras. El apilamiento de las laminas, también llamado esquema de laminación se muestra en la siguiente Fig. 3 [3].

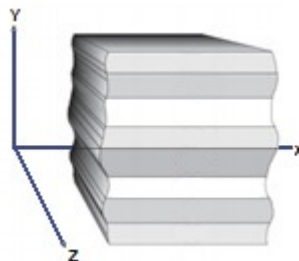


Fig.3 Secuencia de apilamiento de un laminado

La orientación de la fibra de un laminado esta comprendido entre -90° y 90° . Cuando sólo existen fibras orientadas a 0° y 90° , o a 30° en este caso el laminado es llamado cruzado o cross-ply. Se trabajo con un laminado antisimétrico como se muestra en la figura 4., es una simetría muy útil cuando se desea un laminado que trabaje a torsión y su característica principal es que presenta una secuencia alternada una a una es decir una a 0° y una a 30° [3].

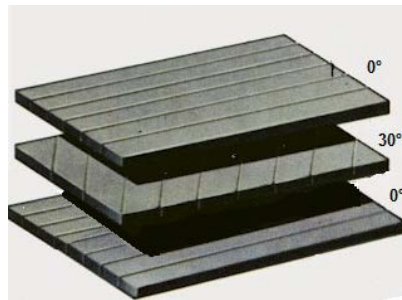


Fig. 4. Laminado antisimetrico 0°Y 30°.

El esfuerzo en un material está dado por la fuerza máxima que se le puede aplicar antes de llegar a su punto de ruptura o en otras palabras que pueda llegar a romperse. Éstas deben soportar los impactos sin llegar a fracturarse. El módulo de elasticidad debe ser lo suficientemente fuerte de manera que no se pueda generar una deformación en los materiales.

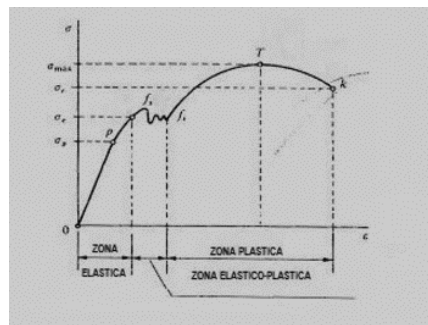


Fig.5 Ejemplo de gráfica esfuerzo-deformación.

En particular, una patineta también llamada monopatín es una especie de tabla sobre ruedas adosadas en la parte inferior. Posee una forma cóncava en los extremos, es decir que tiene un levantamiento en cada uno de ellos, existen distintos tipos de patinetas, de las cuales destacan de madera de maple, acrílico, fibra de vidrio y plástico ver la figura 6.

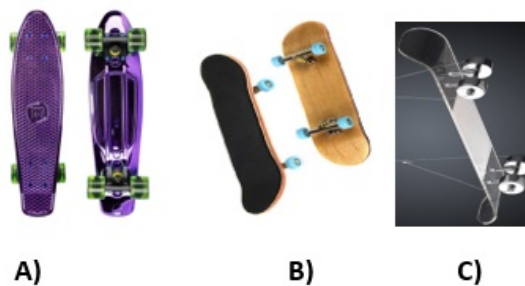


Fig.6. Tipos de patinetas: A) Plástico, B) Madera de Maple, C) Acrílico

PARTE EXPERIMENTAL

Para estudiar y analizar el comportamiento de las propiedades del material compuesto se utilizó fibra de yute natural y resina de poliéster en muestras pequeñas (probetas) para facilitar su análisis con distinto número de capas. Para la elaboración de las probetas de distinto espesor y rotación se realizó un estudio previo de distintos materiales, con ayuda de la norma ASTM D3039M-07. En la Fig. 7 se muestran las probetas realizadas de yute y resina de poliéster con dimensiones de 10 cm de largo y 2.5 cm de ancho.

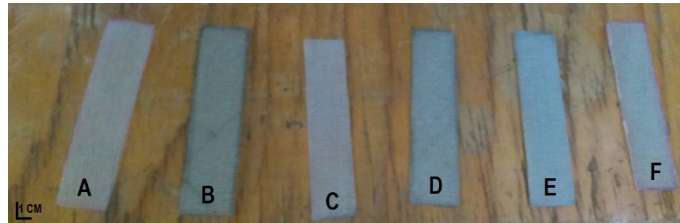


Fig.7 Probetas realizadas de distintas capas de material compuesto de yute natural y resina de poliéster: A)1 capa, B) 15 capas,C) 3 capas,D) 10 capas,E) 5 capas, F) 1 capa.

Después del estudio y análisis elaborado por medio de pruebas ejecutadas en una maquina universal shimadzu, se eligió la probeta de yute con la resina de poliéster resultando ser la mejor en comparación a los demás materiales utilizados con una fuerza máxima de: 6092.69 [N] y un módulo elástico de: 1005.192 [N/mm²] superando así los resultados de las probetas realizadas de otro material. Se eligió la probeta de 10 capas la cual es la más aproximada al espesor base de una patineta convencional fabricada de madera de maple asimismo con un laminado intercalado correspondiente al acomodo horizontal de la manta de yute y una con rotación de 30°.

En éste caso la resina aporta al yute propiedades vitales mejorando su rendimiento obligando a las fibras del mismo a trabajar de manera conjunta y transfiriéndole esfuerzos de tracción. Así como también aísla las fibras que se encuentran entre ellas, obligándolas a trabajar de manera separada y evitando las fisuras en el soporte. De esta manera la resina trabaja como revestimiento de protección de las fibras generando una protección frente ataques mecánicos y químicos.

RESULTADOS

Las probetas se sometieron a diversas pruebas mecánicas (ver fig. 8) con la maquina universal Shimadzu®, para verificar y analizar sus propiedades mecánicas de flexión, tracción, esfuerzo impacto y elasticidad, en comparación de una probeta tomada de una patineta mini convencional de madera de maple, obteniendo los siguientes resultados como se muestra en la tabla 1., siendo E_f el modulo elástico [N/mm²], σ_f la fuerza máxima [N] y su punto de ruptura [N].

TABLA 1. ESTUDIO DE PROBETAS

MATERIA L	FIBRA	CAPA S	E_f (N/mm²)	σ_f (N)	RUPTURA(N)		
RESINA DE POLIESTE R	YUTE	1	96418.8	299.74	-----		
		3	6004	1556.02	1556.02		
		5	5008	2231.26	2231.26		
		10	1005.192	6092.69	5756.38		
		YUTE + VIDRIO	3	49.21	2586.22	2586.22	
			5	105.26	2853.39	-----	
			1	11200.4 4	341.46	-----	
		MADER A DE MAPLE		5	56002.2	1707.3	1707.3
				7	112004. 4	3414.6	3414.6

Con el análisis de los resultados preliminares anteriores, se llegó a la conclusión de utilizar la probeta de 10 capas hecha de resina de poliéster y fibra orgánica de yute, con una rotación de

30°. Debido a sus resultados óptimos y satisfactorios en comparación con la probeta de madera de maple. Ambas probetas se pueden observar en la fig.8.

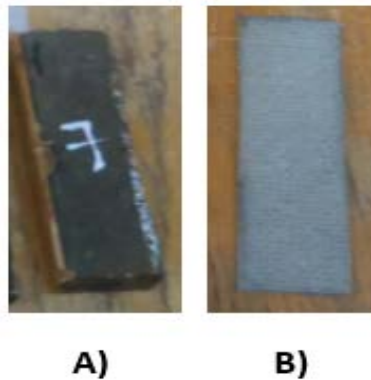


Fig.8 A) Probeta de Madera de Maple Original, B) Probeta de Yute+ Resina 10 capas

En base a la realización de varias probetas se llegó a la conclusión de utilizar 12 capas para obtener el espesor de nuestro modelo base. En el área sólida internamente se acoplaron las 12 capas alternadamente; quedando así una de manera horizontal y una con una rotación de 30°.

Simulación

Con ayuda de un software CAD se diseñó el prototipo de la patineta mini, se creó dicha pieza con las dimensiones que se muestran en la fig.9, las cuales son exactas a la de nuestro modelo base, a fin de realizar la comparación correspondiente de ambas. Con la finalidad de hacer el análisis estático a este prototipo, se trasladó la superficie de la pieza al software CAD y utilizando su herramienta "Shell 281", permitiéndonos así la combinación de más de 1 capa para lograr el espesor requerido, rotación de cada capa mencionada anteriormente, así como también la combinación de más de un material. Este diseño en CAD nos permitirá en trabajo a futuro realizar los estudios de las propiedades mecánicas de la patineta tipo mini la cual emplea materiales compuestos con fibras orgánicas. Este material compuesto reduce los costos debido a que la fibra de yute es considerada una de las fibras orgánicas de más bajo costo y resistentes, así como el reducir el impacto ambiental generando menos daños al planeta ver tabla 2.

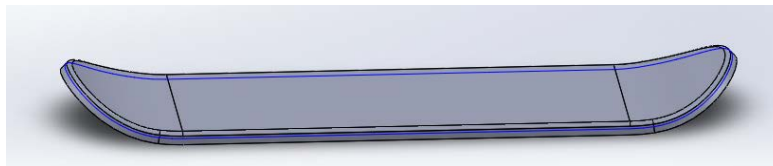


Fig. 9. Simulación en Software CAD de la patineta mini con dimensiones: longitud=43cm, ancho= 12.5 cm, espesor=1.2 cm.

TABLA 2. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL

MADERA DE MAPLE	MATERIAL COMPUESTO
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Generación de residuos sólidos ✚ Emisión de ruido ✚ emisiones atmosféricas. ✚ Consumo de energía ✚ Material participado ✚ Emisiones de gases 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Recurso renovable, biodegradable e inocua por lo tanto su impacto ambiental es bajo. ✚ Presenta una buena absorción de las vibraciones.
<p>generación de residuos de peligro</p>	

CONCLUSIONES

Por medio del estudio se determinó la factibilidad de los materiales compuestos como una alternativa económica e innovadora, para su implementación en diferentes aspectos y ámbitos. Asimismo, su uso incrementa las propiedades individuales de cada uno de los materiales que lo conforman. Este material en específico aporta beneficios al medio ambiente, así como su aplicación resulta de bajo costo, sus propiedades mecánicas mejoran respecto a las de los materiales utilizados comúnmente para la fabricación de este tipo de tablas. Se llevaron a cabo pruebas de esfuerzo al material compuesto utilizado en las probetas y al material con el que está elaborado una patineta (madera de maple). Al usar el software CAD se empleo cada característica de la tabla de la patineta, tales como: altura, espesor, longitud, curvaturas, etc. Por lo tanto, se determinó la fabricación de una placa de 12 capas de espesor teniendo un laminado alternado de 0 y 30°, constituida por el material compuesto, resina de poliéster y fibra de yute orgánica, es adecuado para la elaboración del modelo de patineta tipo mini, siendo el más factible y económico.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Azuela Benjamín y Santillán Rubén.** *Tesis profesional. Caracterización Mecánica y simulación numérica en ansys de compuestos reforzados con fibras naturales y sintéticas.* mayo 2015.
2. *Enrico, Artículo "tablas de surf de resina de poliéster y de resina epoxi",2016.*
3. **Antonio Miravete.** *Materiales compuestos tomo I.2007*

CERMETS Al_2O_3 -Ti, UNA OPCIÓN COMO SUSTITUTO DE HUESO

Elizabeth Refugio-García, Oscar F. Olea-Mejía, José G. Miranda-Hernández

Jessica J. Osorio Ramos and Enrique Rocha Rangel

*Universidad Autónoma Del Estado De México (UAEM-Valle De México),
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco,
Universidad Politécnica De Victoria-Tamaulipas.*

RESUMEN

Los huesos humanos son compuestos de algunas materias orgánicas, minerales y agua; éstos huesos no son totalmente sólidos sino que tienen pequeños espacios en sus componentes, formando pequeños canales por donde circulan los vasos sanguíneos encargados del intercambio de nutrientes, estos huesos puede ser de tipo compacto (llamado también cortical) o hueso esponjoso o trabecular. Dependiendo del tipo y origen del hueso, éste presenta diferentes valores de Tenacidad a la fractura, tal es el caso de $3.8-5.7MPam^{1/2}$ en el caso de huesos-bovinos, $5.4MPam^{1/2}$ en huesos-caninos y $4.05-4.32MPam^{1/2}$ en huesos-humanos; a su vez recientes investigaciones se han enfocado en la búsqueda de materiales que puedan tener propiedades semejantes a los huesos humanos, siendo opción viable los cermets con adiciones de Titanio. En la presente investigación se propone al cermet Al_2O_3 -Ti como material alternativo a ser empleado como sustituto de hueso dado que tanto la alúmina como el titanio pueden ser clasificados como biomateriales naturales, el procedimiento para fabricar dicho cermet se realiza mediante la técnica de metalurgia de polvos, empleando Titanio (Aldrich, Pureza: 99.99%, 5-10 μm) y Alúmina (Aldrich, Pureza: 99.99%, 5-10 μm). Los resultados indican que los cermets presentan densidades muy superiores a la densidad del hueso compacto de $1.8g/cm^3$, la microestructura fue observada por MEB, donde se observa una distribución homogénea de las partículas de titanio en la matriz de alúmina, además de una buena densificación de los cermets; los valores de dureza y tenacidad a la fractura de los cermets fueron de 774-2100HV y $3.7-8.9MPam^{1/2}$ respectivamente, los cuales son superiores a los valores de tenacidad del hueso humano.

INTRODUCCIÓN

Algunas investigaciones reportan que por diferentes medios o procesos es posible obtener materiales que presentan propiedades mecánicas elevadas, que pueden ser equiparables con las propiedades mecánicas de los huesos, en su mayoría los investigadores están de acuerdo con Jiahau Yan et al. 2006, en aseverar que la tenacidad a la fractura (K_{IC}) es un buen índice para evaluar el rendimiento mecánico del hueso, por lo cual se han enfocado en caracterizar esta propiedad en distintos tipos de huesos de diferentes animales, e inclusive humanos; en resumen, Jiahau Yan et al. 2006, se enfocó a determinar las propiedades de tenacidad a la fractura de la costilla de un manatí y de un fémur de bovino, como material biológico, la costilla del manatí es

interesante para el estudio pues es un hueso altamente mineralizado. Los valores de tenacidad a la fractura que reportó de la barbilla de manatí y del fémur bovino fueron de $4.5 \pm 0.5 \text{MPam}^{1/2}$ y $5.8 \pm 0.5 \text{MPam}^{1/2}$, respectivamente. D. D. Moyle et al. 1978. Realizó una investigación donde reportó los valores de tenacidad a la fractura de un hueso femoral canino, reportaron para este hueso la tenacidad fue de $5.36 \text{MPam}^{1/2}$. Por otro lado, R.B. Cook menciona que la capacidad mecánica de los huesos, depende del tipo de hueso del que se trate, y que la integridad del hueso esponjoso es crucial en la osteoporosis, una condición que se establece para llegar a ser más prevalente con el aumento de la vida y el tamaño de la población. R. B Cook estudio entonces este efecto de la porosidad en el hueso sobre la tenacidad a la fractura y sus resultados indican que existe un vínculo fuerte y significativo entre la densidad del tejido óseo esponjoso y que los valores de la intensidad crítica del estrés se rigen por la densidad del tejido a una función de potencia entre 1 y 2, es decir que la porosidad en estos tejidos afecta significativamente a los valores de tenacidad a la fractura del hueso, disminuyéndolos hasta $1.58\text{-}1.66 \text{MPam}^{1/2}$ para los huesos equinos y de $2.81 \text{MPam}^{1/2}$ para los tejidos bovinos, valores que disminuyen hasta menos del 50% comparados con los resultados de tenacidad obtenidos por T. L Norman et al. 1995, para huesos compactos de humanos y de bovinos, los cuales presentaron una tenacidad de $4.05\text{-}4.32 \text{MPam}^{1/2}$ y $2.81\text{-}3.31 \text{MPam}^{1/2}$ respectivamente. Adicionalmente Jiahau Yan et al. 2008, Indica que no solo la temperatura o la porosidad en el hueso son factores importantes que afecten la tenacidad del hueso, sino que además la cantidad de agua o de materia orgánica que contenga dicho hueso es factor importante que afecta significativamente la tenacidad de los huesos, por tal motivo en 2008 realizó una investigación donde estudió el efecto del contenido orgánico sobre la propiedad de tenacidad. Sus resultados indican que en huesos libres de materia orgánica la tenacidad K_{Ic} de los especímenes bovinos disminuyó de $5.5 \text{MPam}^{1/2}$ para el hueso hidratado, a $3.8 \text{MPam}^{1/2}$ para los especímenes deshidratados, y a $0.36 \text{MPam}^{1/2}$ para los especímenes de ceniza. Estas disminuciones en la tenacidad pueden atribuirse a la capacidad del agua en la estabilización de la estructura del colágeno y ya la capacidad de los orgánicos para hacer el hueso más dúctil.

Conociendo entonces los valores de tenacidad a la fractura de los huesos, es posible enfocarse en las investigaciones que han fabricado cermet base alúmina con diferentes adiciones de metales, restringiendo a los metales solo a aquellos que pueden ser considerados como biomateriales, tal es caso de la adición de Cromo, Niobio o Plata, en ese sentido Guichard et al 1998, fabricó cermet del sistema $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}$, mediante compactación uniaxial en caliente a temperaturas de 1400 y 1600°C ; reportó valores de tenacidad a la fractura de 4 a $7.2 \text{MPam}^{1/2}$ y valores de resistencia a la fractura de 380 a 440MPa cuando los contenidos de cromo varían entre 6 a 36% en volumen; empleando el mismo procedimiento Ji and Yeomans 2002, fabricaron un cermet que contiene 5% en volumen de nanopartículas de Cromo en la matriz de Alúmina, con lo cual lograron obtener un aumento significativo de resistencia a la fractura de $736 \pm 29 \text{MPa}$ y tenacidad a la fractura de $4 \pm 0.2 \text{MPam}^{1/2}$. Por otra parte De-Portu et. al. 2007, fabrico compuestos $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Nb}$ mediante compactación en caliente bajo vacío en un dado de grafito, las condiciones de presión y temperatura fueron a 30MPa y 1550°C durante 5 minutos, con estas condiciones de trabajo logró reportar que para contenidos de 15 y 25% de Niobio se logra obtener valores de 5.21 a $5.26 \text{MPam}^{1/2}$. De igual forma, otros investigadores como Mishra y Mukherjee 2001, fabricaron el mismo sistema $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Nb}$ empleando mayor presión durante la compactación en caliente (2GPa) aunque temperaturas más bajas de 900°C con tiempos más prolongados (60 minutos), con éstas condiciones de trabajo reportaron valores de tenacidad a la fractura superiores a $8 \text{MPam}^{1/2}$ y durezas de entre 20 y 23GPa para contenidos de 10% de Niobio. Finalmente, otras investigaciones han encontrado que la plata como material de refuerzo la alúmina, es poco soluble, generándose en estos compuestos una interfase líquida en $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ag}$. A pesar de la buena ductilidad de la plata comparada con otros materiales metálicos, la plata reduce el efecto de mejora en las propiedades del material compuesto, tal es el caso de los resultados de Chou y Tuan, 1995, quienes fabricaron el compuesto de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ag}$ mediante la técnica de metalurgia de polvos, la compactación fue uniaxial en frío y posterior sinterización a 1600°C , y reportaron que para concentraciones de 10% de volumen de plata, la tenacidad a la fractura fue de $8.5 \text{MPam}^{1/2}$, de igual forma Dutta et al 2006, empleando el mismo procedimiento reporto valores de tenacidad a la fractura de entre 7.3 a $8.8 \text{MPam}^{1/2}$ para concentraciones de 3.76 y 5.8% en volumen de plata. Reafirmando estos

resultados, Pérez de la Fuente *et.al.* 2016, estudiaron este tipo de compuestos fabricados también empleando la técnica de metalurgia de polvos, mediante compactación a 300MPa obtuvieron muestras que fueron sinterizadas a 1400, 1500 y 1600°C, sus resultados indican que la mejor tenacidad a la fractura obtenida fue para los compuestos que contienen de 2 a 3% de plata, concentración a la cual es posible obtener cuerpos densos de microestructura homogénea, dichos valores de tenacidad a la fractura fueron de 8-10MPam^{1/2} cuando las condiciones de sinterización fueron de 1500°C durante 2 horas.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Mediante la técnica de Metalurgia de polvos, se fabricaron los cermets empleando como materia prima polvos de Titanio (Aldrich, Pureza: 99.99%, 5-10 µm) y Alúmina (Aldrich, Pureza: 99.99%, 5-10µm), con la idea de determinar el efecto del Ti en la tenacidad a la fractura del cermet fabricado, el titanio se adicionó en proporciones de 0.0, 0.5, 1, 2 y 3 % peso en la matriz de alúmina. Cada mezcla de diferente composición se sometió a un proceso de molienda de alta energía, en un molino tipo planetario, empleando como agente de control alcohol isopropílico, los medios de molienda fueron esféricos de 13 mm y 10 mm de ZrO₂, guardando una relación de molienda de 20:1, la molienda fue durante 3h y se llevó a cabo a 300 rpm. Con los polvos resultantes de la molienda, se conformaron por compactación uniaxial a 350MPa, pastillas cilíndricas de 2 cm de diámetro por 0.3 cm de espesor, las cuales fueron sometidas a tratamiento de sinterización de 1600°C durante 1, 2 y 3 horas en una atmosfera protectora de nitrógeno, y posterior a la sinterización, los cermets se caracterizaron mecánicamente para obtener su dureza y tenacidad a la fractura mediante el método de Identación, por microscopía electrónica de Barrido se observó la morfología microestructural.

RESULTADOS

Tenacidad a la fractura y dureza

La figura 1 presenta los resultados correspondientes a la tenacidad a la fractura, esta tenacidad fue determinada por medio de la técnica de fractura por indentación, *Método IF*, aplicando una carga de 4.9N. La grafica correspondiente a la tenacidad a la fractura, muestra el comportamiento de los cermets de la tenacidad en función al contenido de titanio y a los tiempos de tratamiento de sinterización a 1600°C, es decir, existe una relación proporcional entre la tenacidad a la fractura y el contenido de titanio en el cermet, logrando obtener los cermets con mayor tenacidad cuando los contenidos de titanio son de hasta 3% de titanio en los cermets que han sido sinterizados a 1600°C durante 3 horas. Ahora este comportamiento de la tenacidad a la fractura lo podemos asociar a la dureza que se muestra en la gráfica correspondiente a la dureza, en la figura 1, donde se logra apreciar que los valores más altos de dureza se presentan en los cermets cuyo contenido es de 0.5% de titanio y la tenacidad para este cermet de esta composición es menor que para los cermets que presentaron menor dureza; con esto es posible concluir que en estos cermets Al₂O₃-Ti no siempre un resultado de mayor dureza confiere una mayor tenacidad a la fractura, y que la

adición de titanio confiere ductilidad al cermet provocando una disminución en la dureza y por ende un aumento en la tenacidad a la fractura. Adicionalmente, los valores de dureza y tenacidad a la fractura de los cermet Al_2O_3-Ti fueron de 774-2100HV y $3.7-8.9MPam^{1/2}$ respectivamente esto independientemente del contenido de titanio y del tiempo de sinterización, los cuales son superiores a los valores de tenacidad del hueso humano de $350HV$ y $4.3MPam^{1/2}$.

La figura 2, muestra los resultados de la porosidad interconectada debido al tratamiento de sinterización, este porcentaje de porosidad fue determinado empleando el procedimiento de Arquimedes acorde a la norma ASTM B962; los resultados obtenidos indican que el porcentaje de porosidad interconectada disminuye desde un 17.7% hasta un 5.5% cuando los contenidos de titanio en el cermet son del 3%; de forma similar ocurre con el tiempo de tratamiento de sinterización, es decir que la porosidad interconectada en los cermet disminuye cuando el tiempo de tratamiento de sinterización es más prolongado, ésta disminución en la porosidad se puede relacionar con un aumento en el porcentaje de contracción asociado a la gráfica de densidad, se observa que los cermet que fueron sinterizados a $1600^{\circ}C$ durante tiempos de permanencia prolongados y que tienen mayor contenido de titanio en la matriz cerámica son aquellos que presentan un menor contenido de porosidad y una mayor densificación, Las cuales, según los resultados indican que los cermet presentan densidades muy superiores a la densidad del hueso compacto de $1.8g/cm^3$, independientemente de la cantidad de titanio en el cermet y del tiempo de tratamiento de sinterización.

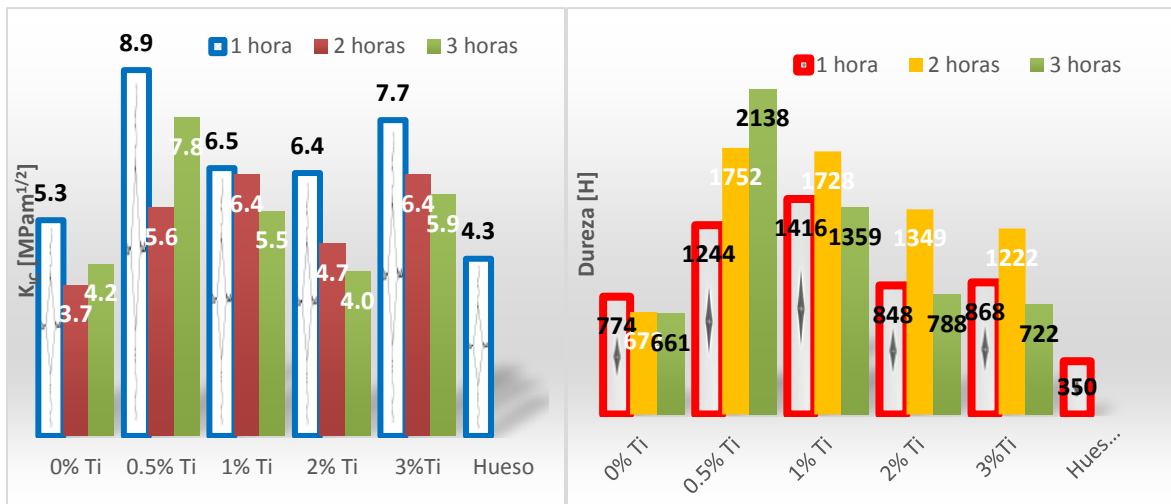


Figura 1. Tenacidad a la fractura y Dureza de los cermet

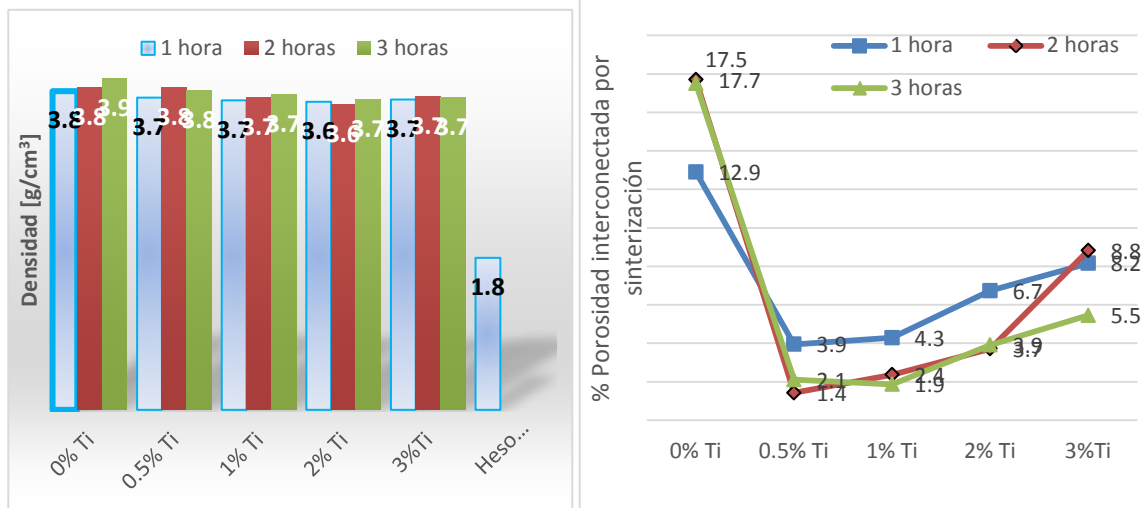
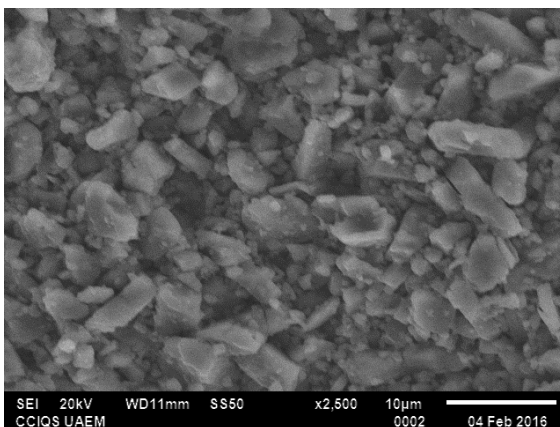
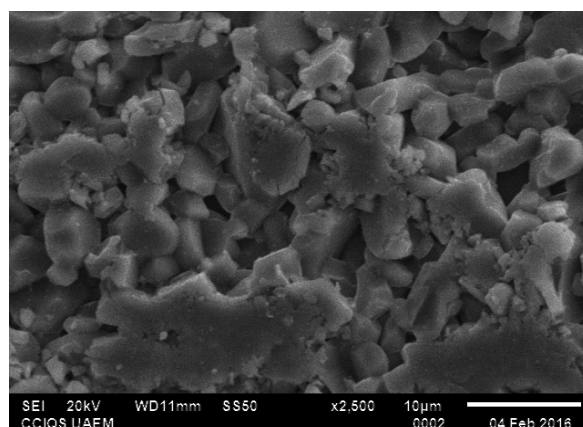


Figura 2. Densidad y porcentaje de porosidad de los cermetos

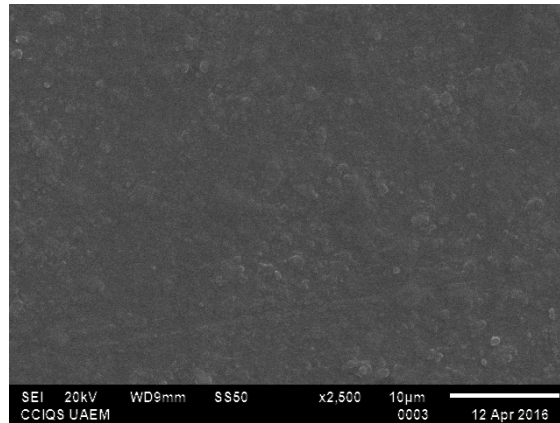
La microestructura fue observada por MEB, donde se observa una distribución homogénea de las partículas de titanio en la matriz de alúmina, además de una buena densificación de los cermetos; la microestructura correspondiente a alumina sin adiciones de titanio exhibe una morfología dispersa, es decir no se logra apreciar un crecimiento de las zonas características a la sinterización con granos de forma irregular, que presentan tamaños en promedio que oscilan entre 1 micra y poco menos de 10 micras, aunque en algunas se observan granos muy grandes debido a un crecimiento de grano anormal, tal como se aprecia en la morfología de las muestras con 3% de titanio, donde se observa que las partículas que conforman el cermeto se han unido formando una microestructura densa similar a la del hueso compacto que se muestra en dicha figura.



Al₂O₃



Al₂O₃ - 3%Ti



Hueso compacto

Figura 3. Microestructura de los cermets y del hueso compacto

CONCLUSIONES

Muchas investigaciones han estado enfocadas en el desarrollo de nuevos materiales, con específicas aplicaciones, en este caso, nos hemos enfocado al desarrollo de cermets $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ti}$ con posibles aplicaciones como tejido óseo en el cuerpo humano, por lo cual nos enfocamos en el estudio de las principales propiedades mecánicas y microestructurales del hueso humano y de los cermets para compararlos y considerar en base a los resultados como candidatos idóneos a los cermets $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ti}$ como biomateriales, por lo cual:

- Emplear materiales como la Al_2O_3 y el Titanio como materia prima para fabricar un cermet, que son considerados como biomateriales naturales, permite considerar que el cermet resultante sea considerado un biomateriales natural.
- Mediante metalurgia de polvos es posible fabricar cermets que presenten densidades muy superiores a la densidad del hueso compacto de 1.8g/cm^3 . De igual forma ocurre con las propiedades de dureza y tenacidad a la fractura de los cermets fueron de 774-2100HV y $3.7\text{-}8.9\text{MPam}^{1/2}$ respectivamente, los cuales son superiores a los valores de tenacidad del hueso humano.
- Finalmente la microestructura resultante de los cermets con adiciones de 3% de titanio y sinterizada durante 3 horas es similar en algunas zonas a la microestructura del hueso compacto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a CONACYT, por el apoyo para realización de la presente investigación, mediante el beneficio de Beca para estudios de posgrado.

BIBLIOGRAFÍA

1. PEREZ DE LA FUENTE AZUCENA, ENRIQUE ROCHA RANGE, JOSE AMPARO GARCIA and CONSTANTÍN ALBERTO HERNANDEZ-BOCANEGRA, Toughening Of Alumina Ceramics with

- Silver Nanoparticles. *Journal of Research in Nanotechnology*. Vol. 2016 (2016), Article ID 957063, DOI: 10.5171/2016.957063
2. R. S. MISHRA and A. K. MUKHERJEE, "Processing of High Hardness-High Toughness Alumina Matrix Nanocomposites," *Mater. Sci. Eng.*, A301 97–101 (2001).
 3. Y. JI and J. A. YEOMANS, "Processing and Mechanical Properties of Al₂O₃-5 vol.% Cr Nanocomposites," *J. Eur. Ceram. Soc.*, 22 1927–1936 (2002).
 4. Julihau Yan, Kari B. Clifton, John J. Mecholsky Jr., Laurie A. Grower. Effect of the temperature on the fracture toughness of compact bone. *Journal of Biomechanics*. Vol. 40, Issue 7, pages 1641-1645. 2006. ISSN: 0021 9290.
 5. T.L. Norman, D. Vashisth, D. N. Burr, Fracture Toughness of human bone under tension. *Journal of Biomechanics*. Vol. 28, Issue 3, pages 309-311, 313-320, 1995. ISSN: 0021 9290
 6. D. D. Moyle, J. W. Welborn III, F. W. Cooke. Work to fracture of canine femoral bone. *Journal of Biomechanics*. Vol. 11, Issue 10-12, pages 435-440, 1978. ISSN: 0021 9290
 7. J. L. GUICHARD, O. TILLEMENT, and A. MOCELLIN, "Alumina-Chromium Cermets by Hot-Pressing of Nanocomposite Powders," *J. Eur. Ceram. Soc.*, 18 1143–1152 (1998).
 8. GOFFREDO DE PORTU, STEFANO GUICCIARDI, CESARE MELANDRI, and FREDERIC MONTEVERDE, "Wear Behaviour of Al₂O₃-Mo and Al₂O₃-Nb Composites," *Wear*, 262 1346–1352 (2007).

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN HILOS TEXTILES

Jaime Vidal Hernández Hernández, Patricia Sánchez Cruz, Arturo F. Méndez Sánchez

Escuela Superior de Física y Matemáticas, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

RESUMEN

La caracterización de materiales compósitos como los textiles, requiere de dispositivos que considere sus particularidades físicas, ya que en máquinas de pruebas mecánicas típicas, se tiene la desventaja de fallas de sujeción por las características propias de estos compósitos entre otras. En este trabajo se presenta un prototipo construido que permite medir el alargamiento de hilos, con la finalidad de contar con un dispositivo que considere las características de conformación de los hilos textiles. Para la elaboración del dispositivo se utilizó el microcontrolador de Microchip PIC16F1827, el cual fue programado en lenguaje C y un sensor ultrasónico que permite medir los alargamientos de los hilos mediante un tren de pulsos que se envía a 40 KHz y que se refleja en una superficie lisa. Las longitudes de trabajo del diseño están comprendidas entre 1.7 cm y 450 cm de largo. La evaluación del dispositivo se realiza mediante la caracterización de hilos de nylon y algodón.

INTRODUCCIÓN

Las características físicas de los hilos de algodón dependen de las propiedades físicas de las fibras que lo conforman y el proceso de conformación del hilo. Usualmente las pruebas mecánicas sobre hilos derivados de fibras textiles, se hace compleja debido a las características propias de estos, por lo que los experimentos de tensión controlada o tracción muestran problemas por las cargas iniciales que se aplican a las probetas [1]. Existen diversos instrumentos para medir una distancia, el más usual en el caso de trabajar con hilos es la balanza de Jollie. Sin embargo, aunque permite determinar con bastante precisión los alargamientos; su rango es limitado, es decir, hay que ajustar constantemente la balanza para poder medir elongaciones comprendidas mayores a 1 cm.

Por otro lado existe un sistema de cargas para el estudio de hilos al que inicialmente se le coloca un porta pesas de 1kg de masa, lo cual hace que el sistema deforme al hilo antes de iniciar las pruebas. Además, las elongaciones no son constantes ya que el alargamiento en ocasiones supera el rango en el que se puede medir lo cual conduce a errores de medición. Por todo esto, en este trabajo se presenta una alternativa mediante el diseño de un prototipo que permite determinar propiedades mecánicas de hilos en tensión en principalmente los textiles o de gran deformación como los hilos de origen polimérico, para ello se mide la deformación longitudinal que experimentan bajo la acción de una carga, con la principal característica de que es a un bajo costo, de fácil montaje y calibración. El sistema propuesto hace uso de la propagación de una onda en un medio material, a saber, el aire, conociendo la velocidad de grupo de dicha onda se puede determinar la distancia que recorrió midiendo el tiempo de propagación.

TEORÍA

La deformación unitaria axial de un hilo [2], se puede calcular mediante la Ec. (1)

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l-l_0}{l_0} \quad (1)$$

Donde γ es la deformación, l_0 es la longitud inicial del hilo y l es la longitud final. Luego, para conocer la deformación basta determinar la longitud final y la inicial.

La velocidad de una onda propagándose en un medio material está dada por la Ec. (2)

$$v = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_s} \quad (2)$$

Es decir, la derivada parcial de la presión con respecto a la densidad a entropía constante. En los gases se puede reescribir como:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (3)$$

Donde γ es el coeficiente adiabático del gas en el que se encuentra inmersa la onda. Para el caso del aire $\gamma = 7/5$. Por otra parte, la velocidad de grupo o propagación se representa mediante la Ec. (4).

$$v = \frac{d}{t} \quad (4)$$

Donde d es la distancia recorrida y t es el tiempo. De la Ec. (3) y Ec. (4) obtenemos:

$$d = t \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (5)$$

Si la onda es reflejada por una barrera material plana y lisa en un ángulo de 0° con respecto a la normal de la superficie, entonces regresará al mismo punto de donde fue emitida y la distancia recorrida será:

$$d = \frac{t \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}}{2} \quad (6)$$

Para el caso de la Ciudad de México donde la presión atmosférica tiene un valor aproximado de 1015 hPa, la densidad del aire es de 1.2152876Kg/m³ (considerando una temperatura de 17°C, humedad relativa de 44% y una fracción molar de dióxido de carbono de 400 u/mol) aproximadamente. Con lo cual la Ec. (6) se puede expresar como:

$$d = 170.9729t \text{ m/s} \quad (7)$$

Donde t se expresa en segundos y la distancia d en metros.

Para evitar reflexiones provocadas por otra fuente que no sea la barrera se hace uso de ondas ultrasónicas a 40KHz debido a la pequeña longitud de onda que poseen, esta longitud de onda se calcula mediante la Ec. (8).

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{341.9459 \text{ m/s}}{40000 \text{ Hz}} = 8.5486 \text{ mm} \quad (8)$$

PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental se centra en la elaboración del dispositivo, para lo cual se utilizó el microcontrolador de Microchip PIC16F1827 [3], el cual fue programado en lenguaje C y un sensor ultrasónico [4] HC-SR04 que permite medir las longitudes, los datos son visualizados a través de una pantalla LCD de 16x2 líneas.

Primero, se envía a través del microcontrolador una señal con una duración mayor a 10 μ s al sensor HC-SR04 para cargar el capacitor interno. Segundo, el sensor emite 8 pulsos cuadrados continuos a una frecuencia de de 40KHz los cuales se propagan en el aire y son reflejados por una barrera material hacia el sensor nuevamente. Después, procedemos a medir el tiempo que transcurre entre la emisión de los 8 pulsos hasta el momento en que la señal reflejada llega al sensor. Después, hacemos la conversión entre el tiempo de viaje de la señal y el alargamiento de los hilos usando para esto la Ec. (7) para finalmente presentar los datos en la pantalla LCD. En la

Fig. 1 podemos apreciar un esquema del HC-SR04 y en la Fig. 2 una representación de las señales tanto emitidas como recibidas por el sensor.

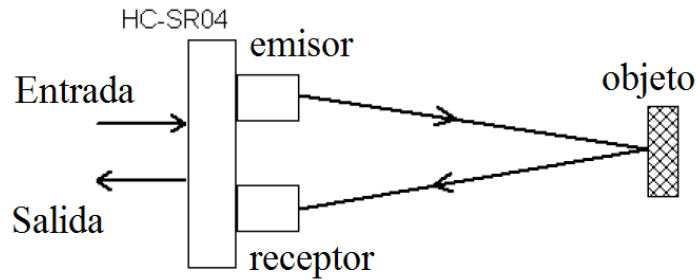


Figura 1.- Esquema del funcionamiento del sensor HC-SR04.

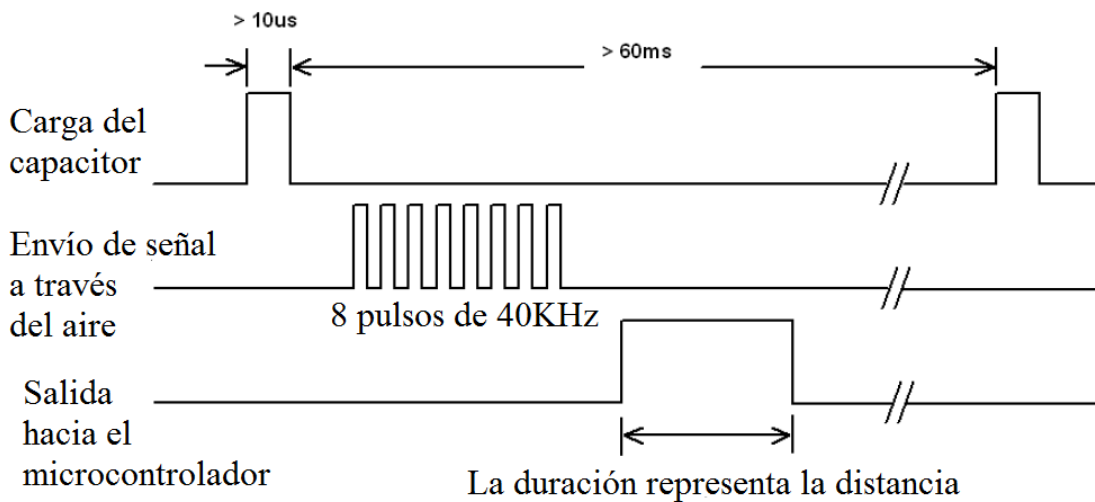


Figura 2.- Diagrama donde se representan las señales involucradas en la medición a través del sensor.

Cabe mencionar que el sensor envía al microcontrolador señales cuya duración es un múltiplo de 10us por lo que la resolución por Hardware es de 0.1709cm. Sin embargo, el microcontrolador lleva a cabo 50 mediciones antes de arrojar un resultado por lo que la resolución mediante Software se mejora hasta 0.034 cm. El tiempo entre una medición y otra es de 60ms.

Una vez elaborado el sistema, los intervalos de trabajo del diseño están comprendidos para hilos cuya longitud oscile entre 1.7 cm y 450 cm de largo. Así mismo, se procedió a reconocer una distancia conocida para verificar la correcta calibración del dispositivo.

Para la evaluación del buen funcionamiento del dispositivo se dispuso un sistema universal para determinar la longitud de hilos de algodón y de nylon (ver Fig. 3), el cual consta de unos soportes transversales un par de ejes verticales, el sensor acoplado, una pantalla LCD, un microcontrolador, una fuente de voltaje y una pared reflectora. En la Fig. 4 se aprecia el dispositivo durante una medición.

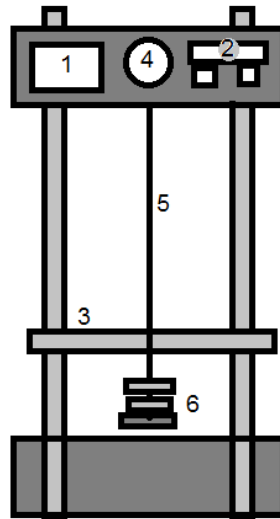


Figura 3.- Sistema montado y funcionando. 1) microcontrolador, 2) sensor de posición, 3) pared reflectora, 4) elemento de sujeción del hilo, 5) hilo bajo estudio, 6) portapesas.

A este sistema, se le adaptó un portapesas liviano de 11.6gr de masa, al cual se le fueron agregando masas para ir determinando los correspondientes alargamientos que sufre un hilo de nylon comercial. Para la realización de la curva esfuerzo-deformación unitaria axial, el esfuerzo correspondiente fue determinado mediante la ecuación (9)

$$\tau = \frac{F}{A_0} \tag{9}$$

Donde F es la fuerza y A_0 es el área transversal del hilo.



Figura 4.- Dispositivo durante un experimento.

RESULTADOS

En la Gráfica I se muestran tres corridas diferentes de los resultados parciales obtenidos para un hilo de nylon comercial, en esta se muestra la fuerza aplicada y la determinación de la deformación unitaria calculada con las expresiones anteriormente descritas. En esta puede verse la reproducibilidad de las mediciones, lo cual muestra la efectividad de la implementación. En las Tabla I, Tabla II y Tabla III se muestran los datos medidos con el sistema propuesto.

Deformación unitaria	Esfuerzo axial
0.006965559	49.05
0.011319034	98.1
0.014635967	196.2
0.014014042	294.3
0.020025983	392.4
0.026037924	490.5
0.033915639	588.6
0.051053126	686.7

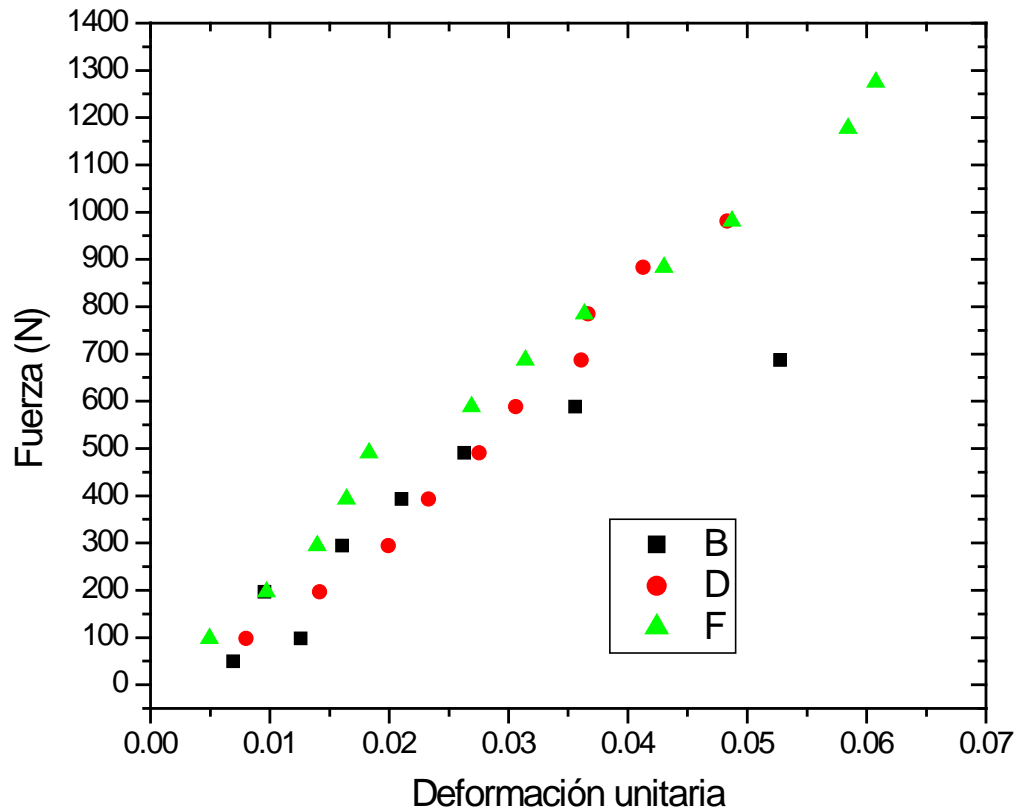
Tabla I.- Datos de la primera corrida.

Deformación unitaria	Esfuerzo axial
0.007900281	98.1
0.014009831	196.2
0.018223315	294.3
0.021980337	392.4
0.028370787	490.5
0.030196629	588.6
0.03570927	686.7
0.037816011	784.8
0.045400281	882.9
0.048103933	981

Tabla II.- Datos de la segunda corrida.

Deformación unitaria	Esfuerzo axial
0.005649093	98.1
0.007503997	196.2
0.013868865	294.3
0.018742535	392.4
0.023761688	490.5
0.027544238	588.6
0.033036209	686.7
0.042310731	784.8
0.044517218	882.9
0.04983946	981
0.054931354	1177.2
0.0595868	1275.3

Tabla III.- Datos de la tercer corrida.



Gráfica I.- Diseño de la implementación para la determinación de las propiedades mecánicas.

CONCLUSIONES

Se diseñó y desarrollo un prototipo construido que permite medir el alargamiento de hilos, con la finalidad de contar con un dispositivo que considere las características de conformación de los hilos textiles. Además, se construyó un soporte universal para tales pruebas.

Para la elaboración del dispositivo se utilizó el microcontrolador de Microchip PIC16F1827

Se realizó la evaluación del dispositivo mediante la caracterización de hilos de Nylon.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. Hernández Hernández, P. Sánchez Cruz., A. F. Méndez Sánchez, J. A. Cortes Martínez, I. Rivera Martínez, "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE HILOS DE ALGODÓN,".Memorias de la XXI Reunión nacional académica de Física y Matemáticas, México D. F., agosto 2016.
2. D. R. Askeland, P. P. Phulé, "Ciencia e ingeniería de los materiales," Thomson, 2004.
3. Microchip technology inc, "data sheet," referencia electrónica <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41391D.pdf>, fecha de consulta: 30/08/2016.
4. Elec freaks, "data sheet: Ultrasonic Ranging Module HC - SR04," referencia electronica, <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>, fecha de consulta: 30/08/2016,

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN PARA EL CONTROL DE SENSORES A TRAVÉS DE UN INSTRUMENTO VIRTUAL

Jacqueline Lissette Hernández Núñez, Israel Sánchez Domínguez

Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán

Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas- Sede Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

El presente trabajo muestra el diseño e implementación de un sistema que es capaz de monitorear parámetros como pH, temperatura y oxígeno disuelto en el agua, a partir del uso de sensores, acondicionados en una plataforma de Arduino UNO, en la cual se lleva a cabo la adquisición de los datos, procesamiento y acondicionamiento de los mismos enviando la información a través del puerto Ethernet para su visualización en un ambiente gráfico (mediante una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW).

Todos estos parámetros contarán con rangos a partir de las necesidades de medición que el usuario determine, mostrando todos los datos en forma gráfica las cuales pueden llevar un historial; disponiendo de una alarma, la cual alertará cuando alguna medición presente situaciones críticas a partir de los rangos establecidos por el usuario.

El presente trabajo se encuentra en desarrollo, al término del cual se dispondrá de una placa electrónica capaz de ser instalada en un dispositivo más ad-hoc para llevar a cabo las mediciones.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, analizar el agua ya sea para potabilización, tratamiento o cualquier otro uso de la misma, es necesario medir los parámetros fisicoquímicos que ayuden a mantener la calidad y características requeridas para el uso establecido; lo que permitirá la toma de decisiones basados en datos confiables, de manera ágil, y en un tiempo de respuesta adecuado.

Uno de los principales problemas que se tiene para estos análisis es el costo de los equipos, la disponibilidad de los mismos y que no todos cumplen con los requerimientos del usuario final. Lo cual hace pensar en si estos sistemas (equipos) verdaderamente tienen un costo-beneficio desde el punto de vista técnico y económico. Además hay que considerar que muchos de estos equipos comerciales no son automáticos, si no que requieren la supervisión constante del usuario para tener una correcta medición de los datos y una respuesta adecuada, el sistema propuesto permitirá trabajar de manera autónoma manteniendo informado al usuario, ante posibles variaciones de los rangos establecidos por el mismo, pudiendo lograr una respuesta rápida ante cualquier medición crítica.

TEORÍA

A partir del requerimiento de contar con una plataforma confiable de fácil implementación, funcional nos llevó a investigar las nuevas tecnologías (por ejemplo, Arduino UNO), además de poder contar con una interfaz gráfica (LabVIEW) que nos proporciona la facilidad de despliegue de más de una

medición, con ventanas independientes, de manera interactiva y donde el usuario que usuario no tiene que estar condicionado a estar presente.

Una de las preguntas que se debe hacer un diseñador es, ¿Qué voy a medir?, ¿Para qué voy a medir? Y ¿Con qué voy a medir?; en la actualidad el uso de sensores de uso específico ha permitido que estos sean cada vez más accesibles y que puedan interactuar con diferentes plataformas (respetando las características de cada uno de ellos), lo que da como resultado que el diseñador pueda ser capaz de implementar dispositivos de uso múltiple ad-hoc al usuario final.

En la figura 1 se presenta el diagrama a bloques del sistema propuesto para nuestro sistema de medición.

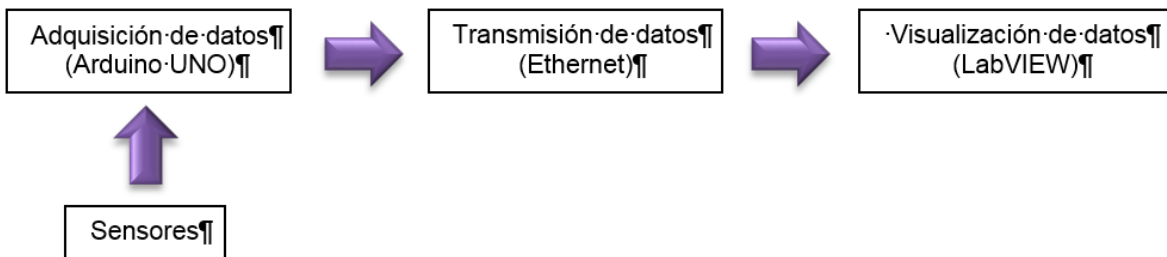


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema

El presente trabajo llevo a determinar el uso de los siguientes sensores, los cuales cumplían los requerimientos de uso requeridos:

❖ **Sensor de temperatura ds18b20**

El DS18B20 es un sensor digital de temperatura que utiliza el protocolo One-Wire para comunicarse, este protocolo necesita solo un pin de datos para comunicarse [1]. El sensor utilizado es una versión impermeabilizada del sensor de temperatura DS18B20 el cual tiene una punta de acero inoxidable ideal para medir la temperatura de líquidos en depósitos, piscinas, estanques, etcétera la tabla 1, muestra las características del sensor.

Tabla 1. Características de sensor DS18B20

Comunicación	One-Wire
Resolución	9 y 12 bits
Rango de operación	-50 a 125 grados centígrados
Alimentación	De 3.3 V a 5.5V
Precisión	±0.5°C (de -10°C a +85°C)

❖ pH meter sen0161

El sensor seleccionado es un elemento pasivo que detecta una pequeña corriente eléctrica generada por la actividad de los iones de Hidrógeno.

Este medidor de pH analógico, está diseñado especialmente para los controladores de Arduino tiene incorporado una conexión simple así sus características, es conveniente y práctico. Cuenta con un LED que funciona como indicador de encendido y un conector BNC para unirse a la interfaz del sensor PH2.0 [2].

Consta de tres elementos: Sensor de pH, Placa de conversión a Arduino, Cable de conexión entre la placa Arduino y el conversor, sus características se presentan en la tabla2.

Tabla 2. Características del sensor de pH

Alimentación	5V
Rango de medición	0-14 pH
Tipo de conector	BNC
Precisión	± 0.1pH (25 °C)
Temperatura de medición	0°C -60°C

❖ Sensor de oxígeno disuelto de Atlas Scientific

El sensor de oxígeno disuelto es un dispositivo pasivo que genera un pequeño voltaje de 0 mV a 47mV dependiendo de la saturación de oxígeno de la membrana de detección de HDPE (High Density Polyethylene por sus siglas en ingles). Esta tensión puede ser fácilmente leída por un multímetro o un convertidor analógico-digital [3], sus características se presentan en la tabla3.

Tabla 3. Características del sensor de oxígeno

Rango	0– 35+ mg/L
Temperatura máxima	50 °C
Tipo de conector	BNC
Presión máxima	690 kPa (100PSI)
Peso	52 gramos

La interfaz tiene como propósito desplegar todas las mediciones realizadas por los sensores y mostrarlas en forma alfanumérica con la posibilidad de desplegar la gráfica correspondiente de cada una de las mediciones (historial de mediciones).

PARTE EXPERIMENTAL

La figura 2 muestra el esquema de conexión de los sensores y su intercomunicación con los puertos de la placa Arduino.

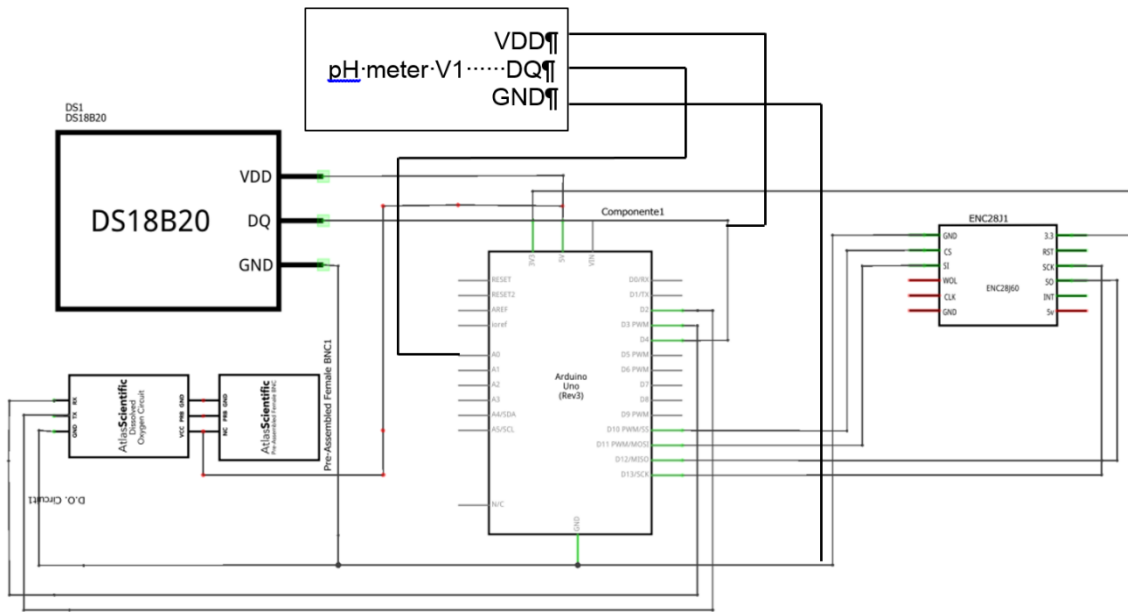


Figura 2. Circuito de conexión del sistema

El sistema funciona de la siguiente manera: El Arduino captura los datos requeridos para ser procesados y posteriormente, los datos son enviados al programa LabVIEW donde los valores son procesados para la visualización de los resultados.

El sensor de temperatura es un DS18B20 que utiliza protocolo OneWire por lo que se debió agregar la librería <OneWire>en conjunto con <DallasTemperature> que es la específica para este sensor, la figura 3 muestra el código para la lectura y envío de datos.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
sensors.requestTemperatures();
Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0));
client.println(sensors.getTempCByIndex(0));
```

Figura 3. Código para la lectura y envío de temperatura

Para el sensor de pH declaramos el pin analógico para recibir el dato del sensor, el offset se declara para calibración del sensor. De manera similar el código empleado para este sensor se muestra en la figura 4.

```
#define SensorPin A0
#define Offset 0.13
```

Figura 4. Declaración de pin sensor de pH

Para el desarrollo del programa en LabVIEW, primeramente, se realizó el enlace entre el programa y el Arduino para poder recibir los datos, la manera que se comunican es a través del puerto Ethernet. En la figura 5 se presenta el segmento del código en Labview para entablar la comunicación entre Arduino y Labview.

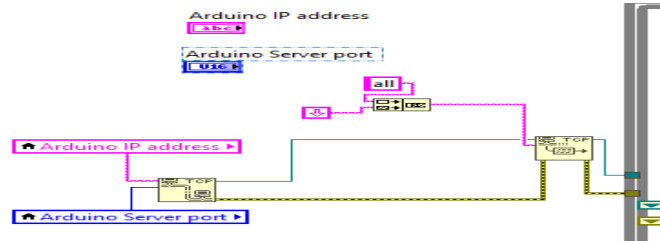


Figura 5. Diagrama de bloques en Labview para a comunicación Ethernet con Arduino

RESULTADOS

Para la visualización de los datos de los sensores en el PC; se creó una interfaz, que permite de una forma gráfica visualizar el comportamiento de los sensores, además de mostrarlos en gráficas dedicados como se muestra en la figura 6 en ella se presenta una vista de la interfaz diseñada.

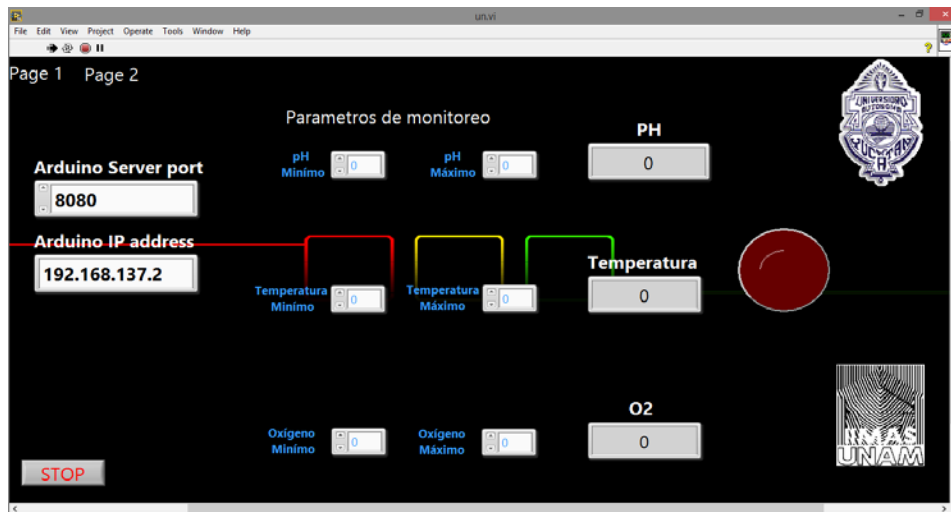


Figura 6. Interfaz Gráfica

En la figura 7 se presentan los resultados obtenidos al realizar unas mediciones con los sensores ya implementados en el Arduino y por el programa desarrollado en Labview, es importante hacer notar que también es presentado, que cuando los parámetros establecidos por el usuario son críticos se emite una alarma en este caso se enciende el led Rojo, de la interfaz; para este caso de prueba el parámetro a considerar fue el de la temperatura.

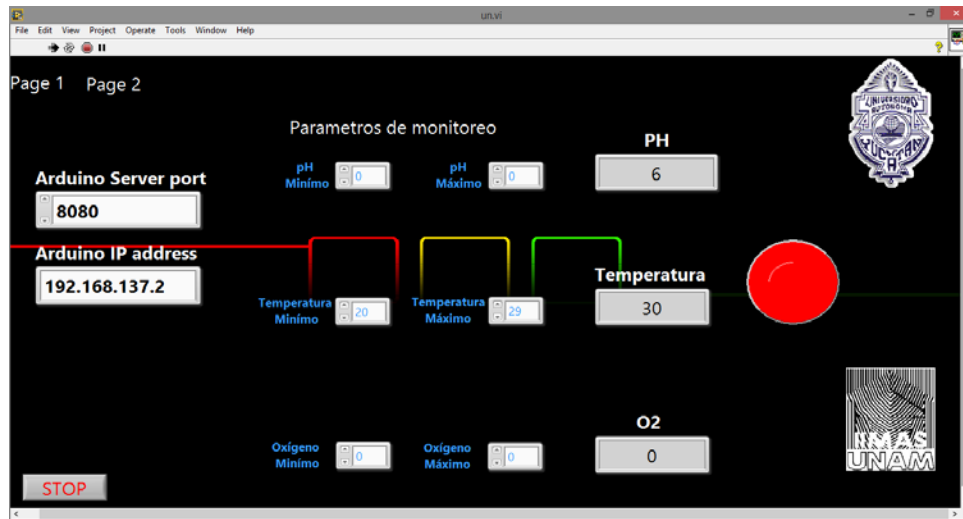


Figura 7. Resultados Obtenidos de los sensores, observándose que la luz rojo de alerta se prende cuando hay variación de alguno de los parámetros establecidos.

CONCLUSIONES

Aún se sigue desarrollando el sistema, los sensores ya pueden obtener mediciones, aún falta caracterizar mejor el sensor de oxigenación, sin embargo se trabaja en ello. Los datos enviados vía Ethernet a la computadora para que ahí sean visualizados en una interfaz gráfica de Labview, se pueden ya visualizar, por lo tanto la parte de comunicación ha quedado resuelta, logrando un buen manejo de los mismos.

Los sistemas de alarma también demostraron funcionar según las especificaciones, así que podemos contar con un sistema completo en poco tiempo para cumplir con características ad-hoc, en el proceso de monitoreo, adquisición y despliegue de mediciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Maxim Integrated. (s.f.). Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
2. DFROBOT. (11 de Marzo de 2017). *Robot Wiki*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter\(SKU:_SEN0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161))
3. Scientific, A. (8 de Septiembre de 2016). Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de http://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/DO_probe.pdf

PREDICCIÓN DEL ESTADO DE UN FETO MEDIANTE MÉTODOS DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES

Moisés Hernández-Rangel, Ignacio Segovia-Domínguez, Sandra Munguía-Gutiérrez y Luis Armando García-de-la-Rosa

Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato.

RESUMEN

El presente trabajo utiliza técnicas de Reconocimiento de Patrones para predecir rápidamente el estado de un feto sin la intervención inmediata de un especialista. Para ello se analizó una base de datos obtenida a partir de mediciones cardiotocográficas tales como la frecuencia cardíaca fetal, los movimientos fetales así como las contracciones uterinas, entre otras. Se utilizaron dos modelos de aprendizaje iterativo para identificar diversos patrones y extraer propiedades del conjunto de datos. De manera similar a otros trabajos de computación aplicada a la medicina, se emplean los métodos k-vecinos más cercanos y árboles de decisión. En ambos modelos se obtuvo un nivel de predicción verosímil, cuya verificación es realizada mediante la técnica de validación cruzada y la prueba estadística bootstrap. La comparación entre los modelos, empleando diversos parámetros, muestra que es posible desarrollar un sistema experto capaz de predecir el estado de un feto con, al menos, el 90% de confiabilidad. Así, el uso de algoritmos de aprendizaje, en datos obtenidos mediante técnicas no invasivas, permite la construcción de herramientas que pueden asistir a la decisión del obstetra.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 20 años se han dado una gran cantidad de avances tecnológicos que le han permitido al perinatólogo así como al obstetra, tener acceso al feto como paciente con el fin de diagnosticar enfermedades y precisar su bienestar. Así pues, la cardiotocografía fetal tiene como objetivo determinar el bienestar del feto para así reducir el riesgo de muerte fetal o de serias lesiones neurológicas en embarazos de alto riesgo. La cardiotocografía consiste primordialmente, pero no exclusivamente en el registro simultáneo de la frecuencia cardíaca fetal, los movimientos fetales así como las contracciones uterinas.

Actualmente, tanto el análisis cardiotocográfico como los resultados del mismo, son llevados a cabo por personal capacitado, tales como aquellos especializados en perinatología u obstetricia, así como técnicos capacitados. En el caso del análisis, existen métricas para la recolección de datos que garantizan su consistencia, sin embargo, la interpretación de los resultados no está exenta de problemas relacionados con la masificación de los datos obtenidos en el análisis, es por ello que la decisión médica está relacionada principalmente al entrenamiento y la experiencia del médico sobre el tema.

De tal manera, el presente trabajo tiene como objetivo predecir el estado de un feto mediante la utilización de técnicas de reconocimiento de patrones que ofrezcan un nivel de certeza de al menos un 90%, técnicas tales como "k-vecinos más cercanos", así como "árboles de decisión", dichos modelos se entrenaron utilizando una base de datos obtenida del "UCI Machine Learning Repository", adicionalmente se validaron los modelos anteriores utilizando como parámetro de referencia la media aritmética obtenida mediante la prueba de validación cruzada, y realizando una prueba de hipótesis entre las funciones de densidad obtenidas mediante el método de remuestreo "Bootstrap", obteniendo así resultados que permitieron analizar la similitud entre ambos modelos, de la misma forma que fue posible recabar información suficiente para proponer los mejores parámetros para el modelo k-vecinos más cercanos puesto que el modelo desarrollado utilizando la técnica de árbol de decisión no permite establecer parámetros de configuración.

TEORÍA

Cardiotocografía

La cardiotocografía es una prueba utilizada de forma primaria para la vigilancia fetal, es capaz de detectar la mayoría de las condiciones que den lugar a un feto en alto riesgo, primordialmente aquellos afectados por la insuficiencia de placenta en el útero. La prueba se basa en la presencia de aceleraciones de la frecuencia cardiaca fetal asociada a los movimientos del feto, el cual es indicador de bienestar fetal, siendo una prueba no invasiva y fácil de realizar, es además muy bien aceptada por las pacientes.

Base de datos

La base de datos utilizada para entrenar y validar los algoritmos de reconocimiento de patrones fue tomada del repositorio UCI, consta de 2126 registros cardiotocográficos o "CTG's", cada uno de los cuales consta de 23 atributos o características, incluyendo también la clase a la que pertenece cada registro, existiendo solamente tres posibles estados en los que se puede encontrar el feto, siendo estos: estado normal, en riesgo y riesgo patológico, (N, S y P respectivamente).

K-vecinos más cercanos

Uno de los algoritmos elegidos para clasificar la base de datos fue el algoritmo k-vecinos más cercanos, el cual básicamente consiste en clasificar un registro, o vector, en la clase a la que pertenezcan los k -ésimos vecinos más cercanos al vector a clasificar tal como se muestra en la figura 1, el paradigma esta fundamentado por tanto en una idea simple e intuitiva, lo que unido a su fácil implementación lo convierte en un paradigma clasificatorio bastante extendido.

9

D.L. Wilson⁹ recomienda utilizar un valor comprendido entre 3 y 7 para el parámetro k , esto con el fin de aumentar el porcentaje de registros clasificados adecuadamente sin embargo lo ideal es aproximar un valor a k mediante un análisis estadístico que tenga como función objetivo reducir el error en el modelo para diversos valores de k .

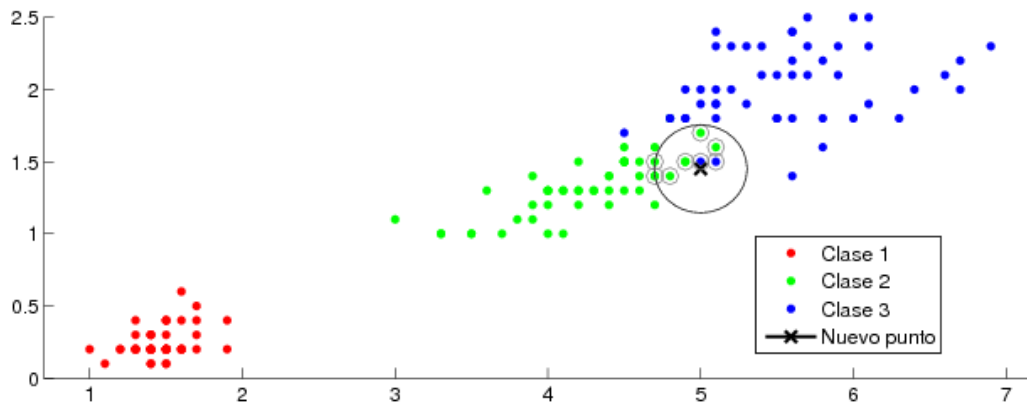


Figura 1, Modelo K vecinos más cercanos para $k = 8$, el punto a clasificar se asignó a la clase 2 debido a que 5 de los 8 vecinos más cercanos se encuentran en dicha clase.

Árboles de decisión

Otro método utilizado para clasificar la base de datos fue el árbol de decisión el cual tiene como objetivo crear un modelo capaz de predecir el valor de una variable en función de una serie de parámetros o características de la variable a clasificar. El modelo consiste en una serie de construcciones lógicas que permiten conocer las diversas formas en que una variable puede ser clasificada, actualmente son un método bastante utilizado en diversas áreas de la ciencia, como la inteligencia artificial, la economía e incluso la medicina, tiene como principal desventaja que la estructura generada se vuelve compleja rápidamente, como se puede constatar en la figura 2, sin

embargo la capacidad de cómputo actual permite generar el tipo de estructura que requiere el árbol de decisión con relativa facilidad.

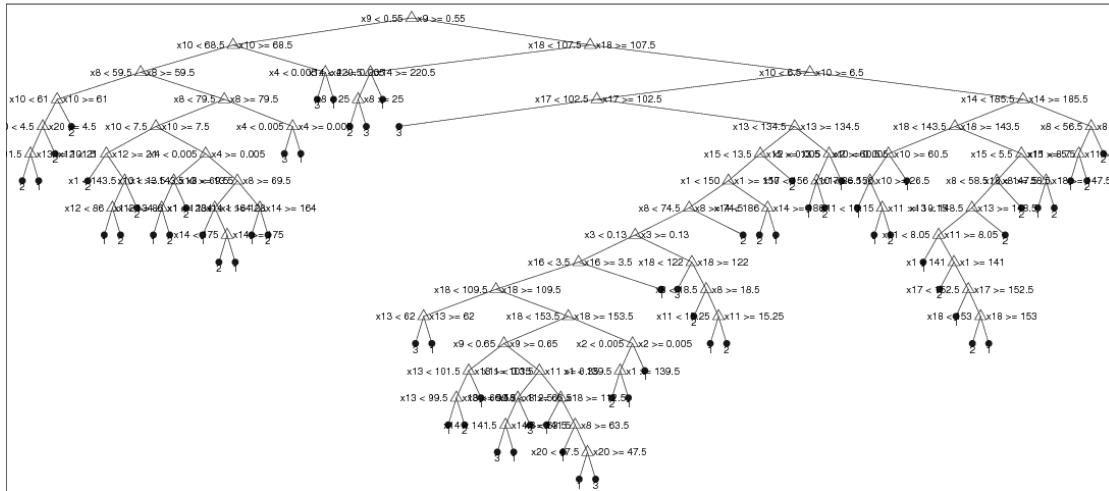


Figura 2, Árbol de decisión capaz de clasificar una base de datos con 3 clases.

Validación cruzada

La validación cruzada es un método que permite validar la eficacia de un modelo de predicción, consiste en dividir la base de datos en dos subconjuntos, una porción denominada conjunto de entrenamiento, y la otra llamada conjunto de prueba, el primer conjunto, como lo dice su nombre, es utilizado para entrenar el modelo, mientras que el segundo conjunto se utiliza para ponerlo a prueba. La variante mas utilizada del método consiste en repetir lo anterior “k” veces de ahí su nombre “validación cruzada de k iteraciones”, en cada iteración se modifican los conjuntos de entrenamiento y prueba de manera secuencial, adicionalmente se realiza un conteo de errores y al final se obtiene una media de error dada por la fórmula 1. Una variante adicional consiste en generar los subconjuntos de manera aleatoria que tiene la ventaja de no depender de la cantidad de iteraciones para generar los subconjuntos, sin embargo algunas muestras de la base de datos pueden no llegar a ser evaluadas o ser evaluadas múltiples veces.

(1)

Bootstrap

Bootstrap es un método estadístico de remuestreo utilizado para aproximar la distribución en el muestreo de un estadístico. Es utilizado con frecuencia para aproximar el sesgo o la varianza de un análisis estadístico, así como para construir intervalos de confianza o realizar contrastes de hipótesis sobre parámetros de interés. El método consiste en extraer una segunda muestra a partir de la muestra original. La segunda muestra debe extraerse utilizando un muestreo con reposición, de tal forma que algunos elementos no serán seleccionados y otros lo serán más de una vez en cada muestreo. De la nueva muestra se obtiene el estadístico con el que se trabajará, que para el presente fue seleccionada la media aritmética, y éste se utiliza como estimador de la población. Como el estimador puede llegar a ser poco preciso, lo anterior se repite un gran número de veces, obteniendo así un número alto de estimaciones.

Con todos los estimadores obtenidos se construye una distribución, denominada distribución de bootstrap, y que representa una aproximación de la verdadera distribución del estadístico en la población, tal como se observa en la figura 3. Con la distribución de bootstrap es posible calcular el valor central (o estimador puntual) y sus intervalos de confianza de forma similar a como se haría para calcular el intervalo de confianza de una media a partir de la distribución de muestreo.

El bootstrap junto a otras técnicas de remuestreo fueron desarrolladas hace relativamente pocos años para calcular estadísticos basándose en técnicas computacionales que requieren bastantes iteraciones con el fin de evitar los cálculos complejos de la teoría estadística tradicional se han vuelto bastante populares hoy en día gracias, entre otras cosas, al poder de cómputo actual.

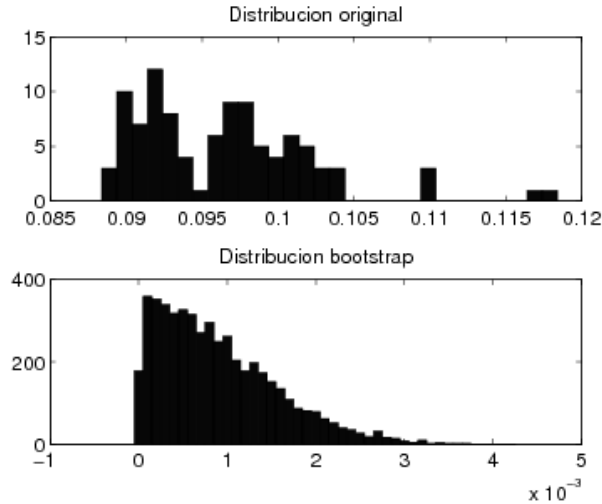


Figura 3, Contraste de la distribución original de la población y la distribución obtenida mediante la técnica bootstrap.

PARTE EXPERIMENTAL

Los registros de la base de datos, al momento de obtenerla, se encontraban en formato “.xls” propio de MS Excel, por lo que los registros se exportaron al formato “.csv” formato bastante fácil de utilizar con diversos lenguajes de programación, principalmente con Matlab que fue el lenguaje utilizado en el trabajo. Adicionalmente, al momento de cargar los registros en Matlab, estos fueron separados en dos subconjuntos, uno que contenía las características del vector a clasificar mientras que el otro conjunto contenía la clase a la que pertenece cada vector.

El modelo de predicción construido utilizando el método k-vecinos más cercanos se realizó en Matlab utilizando la biblioteca “ClassificationKN” mientras que el modelo basado en árboles de decisión se construyó utilizando la biblioteca “ClassificationTree”, ambas bibliotecas forman parte del componente estándar de Matlab denominado “Statistics and Machine Learning Toolbox”, como

10

lo especifican en su pagina web . Otra biblioteca incluida en el componente mencionado anteriormente que se utilizó en el trabajo fue “Crossval” que permitió evaluar los modelos de predicción, la biblioteca permite realizar una prueba de validación cruzada aleatoria de K iteraciones.

Se construyó el modelo de predicción mediante el método k-vecinos más cercanos utilizando los siguientes valores en el parámetro k: 1,2,3,4,5, siendo el valor “3”, que ofrece el menor porcentaje de error como se muestra en la figura 4, el cual adicionalmente se encuentra en el rango que recomienda D.L. Wilson. En el caso del modelo construido mediante el método de árboles de decisión, se utilizó la configuración que Matlab provee por defecto debido a que éste no permite especificar una configuración diferente. Por otro lado, se construyó un vector para cada modelo mediante los resultados que provee la técnica de validación cruzada utilizando diferentes iteraciones con el fin de obtener resultados diversos que se asemejaran a la realidad, como se aprecia en la figura 5. En total se generaron 6 vectores, debido a que se realizaron 5 modelos diferentes con la técnica k-vecinos más cercanos y uno adicional mediante árboles de decisión.

Dichos vectores fueron utilizados para llevar a cabo la prueba bootstrap que también se realizó sobre Matlab, sin embargo no se utilizó la biblioteca que este provee debido a que solo esta disponible en versiones superiores a la que se utilizó en el presente trabajo.

La técnica bootstrap fue utilizada con el fin de realizar un contraste de hipótesis tomando como parámetro de interés la media de error entre los modelos realizados, definiendo la hipótesis nula como el caso en que no hay diferencia entre la eficacia de cada par de modelos, mientras que la hipótesis alternativa afirma que si existe una diferencia entre los modelos, utilizando cinco mil iteraciones como parámetro de remuestreo, esto con el fin de obtener datos suficientes para reconstruir la función de densidad que es generada por cada modelo.

En total se realizaron 15 pruebas de hipótesis, comparando todas las posibles combinaciones de dadas por la formula 2.

Debido a que la distribución obtenida mediante bootstrap fue de una cola, como se puede observar en la figura 6, se realizaron las pruebas de hipótesis calculando el valor de p mediante la formula 3, aceptando la hipótesis nula si $p > \alpha$, para el presente se utilizó un valor de α igual a 0.05, que es lo mismo que 5%, mientras que en caso de $p < \alpha$ se aceptó la hipótesis alternativa.

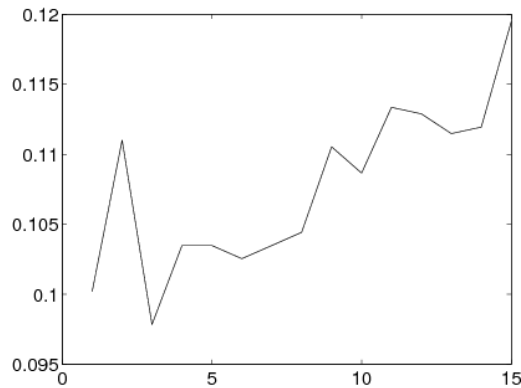


Figura 4, nivel de error para diversos valores de k en el modelo k-vecinos más cercanos

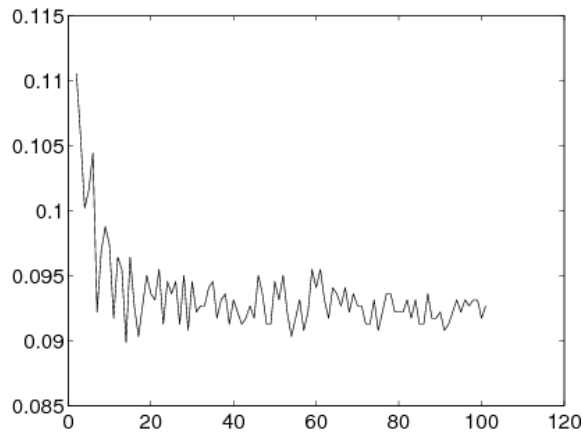


Figura 5, Resultados de la Prueba de validación cruzada aleatoria utilizando de 2 a 100 iteraciones

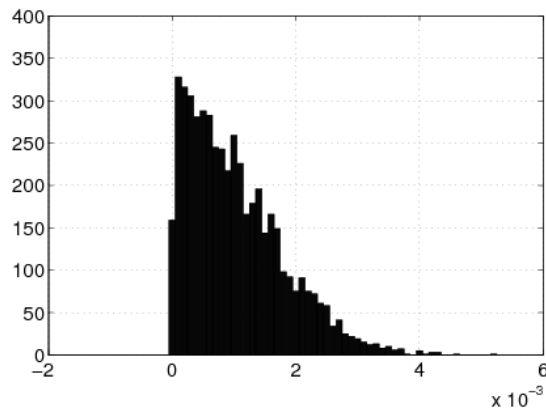


Figura 6 Distribución del error medio obtenida para los modelos *k*-vecinos más cercanos con *k* = 1 y árboles de decisión.

(3)

RESULTADOS

Como se puede apreciar en la tabla 1, mediante la prueba de hipótesis entre los modelos utilizados fue posible conocer que parejas de modelos ofrecen resultados similares y cuales no, siendo la pareja formada con el modelo *k*-vecinos más cercanos con *k* = 1 y *k* = 4, así como la pareja compuesta por el mismo modelo para *k* = 4 y *k* = 5 las únicas en las que se aceptó la hipótesis nula, mientras que para el resto de parejas se aceptó la hipótesis alternativa. Lo cual se observa también gráfica de caja representada en la figura 7, donde además se visualiza la diferencia de la tasa de error entre cada modelo. La gráfica de caja esta construida tomando como referencia el valor máximo, mínimo, así como la media de la tasa de error de cada modelo, lo cual proporciona una visión rápida de la distribución. En ella también se puede observar como afecta el valor del parámetro *k* en el modelo *k*-vecinos más cercanos, constatando nuevamente que valor proporciona una tasa de error mas baja.

Primer modelo a comparar	Segundo modelo a comparar	Resultado	P Valor
Knn K = 1	Knn, K = 2	Rechazado	1.9996e-04
Knn K = 1	Knn, K = 3	Rechazado	1.9996e-04
Knn K = 1	Knn, K = 4	Aceptado	0.0703
Knn K = 1	Knn, K = 5	Rechazado	1.9996e-04
Knn K = 2	Knn K = 3	Rechazado	1.9996e-04
Knn K = 2	Knn K = 4	Rechazado	1.9996e-04
Knn K = 2	Knn K = 5	Rechazado	0.0012
Knn K = 3	Knn K = 4	Rechazado	1.9996e-04
Knn K = 3	Knn K = 5	Rechazado	1.9996e-04
Knn K = 4	Knn K = 5	Aceptado	0.1207
Knn K = 1	DT	Rechazado	1.9996e-04

Knn K = 2	DT	Rechazado	1.9996e-04
Knn K = 3	DT	Rechazado	1.9996e-04
Knn K = 4	DT	Rechazado	1.9996e-04
Knn K = 5	DT	Rechazado	1.9996e-04

Tabla 1. Resultados de la prueba de hipótesis, Knn representa el modelo K-Vecinos más cercanos mientras que DT se refiere al modelo de árboles de decisión.

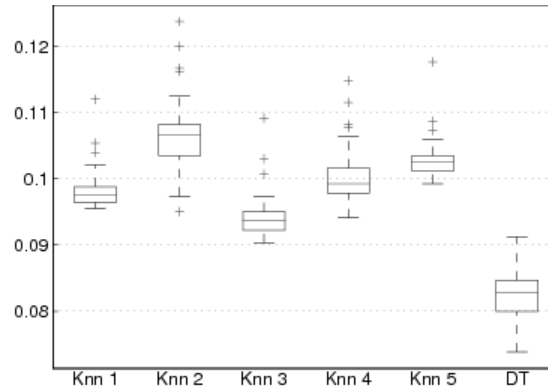


Figura 7. Gráfica de caja tomando como referencia la tasa de error de los modelos de predicción utilizados.

Los resultados obtenidos en la figura 7 proporcionan además una representación visual de los datos observados en la tabla 1, en donde se observa que el modelo k-vecinos más cercanos con un valor de $k = 1$ tiene una media en el rango de 0.095 a 0.1, el mismo rango que el modelo con $k=4$, que a su vez tiene similitud con el modelo para $k = 5$, cuya media se encuentra entre 0.1 y 0.105. Por otro lado, también es posible visualizar que el modelo de árboles de decisión tiene la media en el rango mas bajo de todos los modelos comparados, de 0.08 a 0.085, adicionalmente, dicho modelo posee una tasa de error máxima ligeramente mayor a la tasa de error mas baja de los modelos basados en k-vecinos más cercanos.

CONCLUSIONES

Con la información obtenida se puede concluir que es posible realizar un modelo capaz de predecir el estado de un feto, con al menos un 90% de confiabilidad, lo cual permite a personal con poca experiencia en la interpretación de resultados de pruebas cardiotocograficas tomar medidas que garanticen el bienestar del feto.

La evidencia permite además señalar al modelo de árboles de decisión como un modelo más efectivo de el modelo k-vecinos más cercanos, esto bajo las configuraciones realizadas en el presente. Sin embargo, este último podría ser capaz de igualar o inclusive aumentar la efectividad de predicción en comparación al modelo de árboles de decisión mediante una configuración óptima, otra forma de aumentar la eficacia de predicción sería utilizar otros métodos de clasificación, tales como las redes neuronales o las máquinas de vectores de soporte, aunque esto último se abordará en un trabajo posterior.

BIBLIOGRAFÍA

1. Raschka, Sebastian (2015). Python Machine Learning, Packt Open Source. ISBN 978-1-78355-513-0.

2. Shahad Nidhal et al (2011), A Novel Cardiocotography Fetal Heart Rate Baseline Estimation Algorithm. International Journal of Computer Applications.
3. E. Fix and J.L. Hodges (1951): An Important Contribution to Nonparametric Discriminant Analysis and Density Estimation: Commentary on Fix and Hodges.
4. Lior Rokach and Oded Maimon (2008). Data mining with decision trees: theory and applications. World Scientific. ISBN 978-981-277-171-1
5. Forman, G. and Scholz, M. (2010). Apples to Apples in Cross-validation Studies: Pitfalls in Classifier Performance Measurement. ACM SIGKDD Explorations.
6. UC Irvine Machine Learning Repository. (1987-) <http://archive.ics.uci.edu/ml/>
7. Brad E.(2000). The bootstrap and modern statistics. JASA
8. Marques de Sá. J.P., Bernardes, J., Ayres de Campos, D., Biomedical Engineering Institute, Portugal. <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Cardiotocography>
9. D.L. Wilson (1972). Asymptotic properties of nearest neighbour rules using edited data. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol 2, 408-421
10. Mathworks. <https://www.mathworks.com>

COMPARACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN DE PRUEBAS MECÁNICAS EN ASFALTOS MODIFICADOS CON SBS Y EVA.

Wendy Alejandra Casanova Zavala, María de Luz Pérez-Rea, Genoveva Hernández Padrón

Universidad Autónoma de Querétaro
Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

En el presente trabajo, se encontrará una comparativa de la caracterización mecánica entre las mezclas asfálticas modificadas con el co-polímero Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) y las modificadas con el co-polímero Etil-Vinil-Acetato (EVA). Para ello se elaboraron mezclas, en concentraciones de peso del 2-3.5 y de 10-12% para el SBS; y en concentraciones de 3-6 y de 10-25% para el EVA. El asfalto utilizado fue AC-20, se realizaron las mezclas con un agitador mecánico durante 2 horas de mezclado. Después, fueron analizadas mediante la Prueba de Esfuerzo-Deformación (ASTM D-638) y la de Penetración (ASTM D-5). Se obtuvieron los módulos de elasticidad (MPa) y la penetración (dmm) de cada mezcla; se llegó a la conclusión de que la penetración es menor en todas las mezclas respecto al asfalto AC-20, pero las mezclas con EVA son las que nos dan menores valores de penetración en comparación con el SBS, como la penetración es inversa a la dureza, a baja penetración nos indica mayor rigidez del asfalto, es decir, se incrementa la dureza en los asfaltos y brinda mayor resistencia a deformaciones permanentes en los pavimentos. Las mezclas del SBS y EVA aumentaron el módulo de elasticidad con respecto al AC-20, sin embargo el SBS brinda mayor elasticidad al asfalto comparado con el EVA. Así el SBS es utilizado en pavimentos flexibles por su elasticidad para altas y bajas temperaturas y el EVA para pavimentos flexibles sometidos a altas temperaturas.

Agradecimientos: CONACyT Beca maestría No. CVU: 706233, a Gerardo Fonseca por su apoyo en la realización de las pruebas-UNAM.

INTRODUCCIÓN

El asfalto es el material más empleado en la construcción de carreteras a nivel mundial, ya que el 85% de la producción mundial de este producto es utilizado para pavimentación (Cremades, 2010). Estas infraestructuras se construyen para satisfacer una demanda creciente, que involucra tanto mayores volúmenes de tráfico como mayores cargas de los vehículos, lo cual repercute en la duración y tiempo de servicio de las carreteras, así como en los presupuestos asignados para conservación de los caminos, la seguridad vial y condiciones de servicio de la infraestructura (Troncoso, 2011). Ejemplo de ello se menciona en el Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México, que para el año 2012 se tenían 300 vehículos por cada 1000 habitantes, en comparación con los 160 vehículos que se tenían en el año 2000 (ONU, 2015). Esto es, en 12 años prácticamente, se duplicó el índice de motorización de esta población.

Desde hace 30 años se han empezado a utilizar los Asfaltos Modificados con Polímeros (AMP) para la construcción de los pavimentos flexibles (Figuroa et al., 2009). Su uso ha sido un éxito, debido a que son más resistentes a la fatiga y a los cambios de temperatura, además de presentar un aumento de la recuperación elástica y la viscosidad (Yildirim, 2007). Sin embargo, existe una gran variedad de polímeros modificadores, y cada uno de ellos mejora una o algunas propiedades de los asfaltos crudos, por lo cual se necesitan realizar una caracterización del tipo de polímero a

utilizar dependiendo de las condiciones que se presentaran en el pavimento. Este trabajo presenta una comparación de los polímeros SBS y EVA, para conocer que propiedad mejora cada uno de ellos.

TEORÍA

Loria (2007) y Figueroa et al. (2009), analizaron polímeros sobre el asfalto con el fin de establecer una normativa y obtener un asfalto modificado estable con mejores características mecánicas que el asfalto convencional a menor costo. Las normas de la Secretaria de Comunicaciones y Transporte (SCT, 2006), definen a los asfaltos modificados como el producto de la incorporación al asfalto de un polímero, para modificar sus propiedades reológicas y físicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

El asfalto es un material cementante, muy adhesivo e impermeable, que puede encontrarse en yacimientos naturales, o producirse en refinерías (Ruiz, 2013). Las moléculas de asfalto se dividen en asfaltenos y maltenos, estos últimos, además se subdividen en Saturados (S), Aromáticos (A) y Resinas (R), y junto a los asfaltenos (A) se obtienen los cuatro fracciones SARA (Polacco et al., 2015).

Los polímeros son materiales constituidos por meros o unidades unidas mediante enlace químico.

La SCT ha propuesto los siguientes tipos de polímeros, en su Normativa para la Infraestructura del Transporte en la norma: N-CMT-4-05-002-06 (SCT, 2006):

- Tipo I: Fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB). El cual mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas.
- Tipo II: Elaborado con base en Polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, estos polímeros mejoran el comportamiento de las mezclas asfálticas a bajas temperaturas.
- Tipo III: este tipo de polímero mejora la resistencia al ahuellamiento, disminuye la susceptibilidad a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo plastómero, Etil-vinil-Acetato (EVA).
- Hule molido de neumáticos: el cual mejora la flexibilidad y la resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, disminuyendo el agrietamiento por fatiga o cambios de temperatura.

Debido a que el asfalto es un material complejo, es necesario especificar a este material mediante sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y reológicas. Para este proyecto se realizaron pruebas físicas y mecánicas. Utilizando en primera instancia la prueba de penetración para determinar la dureza del asfalto, dicho ensayo se usa como medida de consistencia. Así como también, la prueba de tracción de los plásticos para obtener el modulo de elasticidad de las muestras de asfalto modificado.

En la prueba de penetración a 46 dmm (25 °C, ASTM D-5) se evalúa la distancia de penetración de una aguja en una muestra de asfalto a temperatura de 25 °C, 100 g de carga y 5 segundos de prueba. Una muestra con baja penetración, tendrá una temperatura de ablandamiento alta, lo que se traduce en un incremento en la rigidez del material (Vargas et al., 2013). Este ensayo busca conocer la consistencia de un material, para determinar así la capacidad de fluencia del asfalto, en la medida que el rozamiento entre las capas del fluido se incrementa y el material se aproxima en sus propiedades de consistencia a un semisólido, lo cual sucede cuando se encuentra a temperatura ambiente, (ASTM D5, 2013).

Por otra parte, las propiedades mecánicas de un material, describen la respuesta que éste tiene a la aplicación de una fuerza o carga, las fuerzas a ejercer pueden ser de compresión, tracción (tensión) y cizalla. Para este proyecto, se realizó la prueba de tracción de la norma ASTM D638-10 "Método de Prueba Estándar para Determinar las Propiedades de Tracción de los plásticos", la cual mide la deformación por tracción de un ligante asfáltico a baja temperatura, así como el comportamiento de los ligantes como si estos estuvieran expuestos a los procesos de mezclado en caliente. Esto con el fin de obtener una razón de proporcionalidad entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria, la cual está dada por el módulo de Young (E), entonces la rigidez de un

material queda caracterizada por dicho modulo. El módulo de Young nos indica la resistencia de un material a una extensión longitudinal reversible y es un parámetro útil para predecir hasta qué punto se estirará una pieza bajo un carga determinada (Askeland y Phulé, 2004).

PARTE EXPERIMENTAL

En la figura 1 se puede apreciar la metodología utilizada para este proyecto; primero se prepararon muestras de (Asfalto-polímero) de 150 gramos cada una, en concentraciones de peso del 2, 2.5, 3, 3.5, 10, 11 y 12% para el SBS; y de 3, 4, 5, 6, 10, 11, 13, 23 y 25% para el EVA. Con el fin de establecer los patrones de comportamiento del polímero en el asfalto convencional.

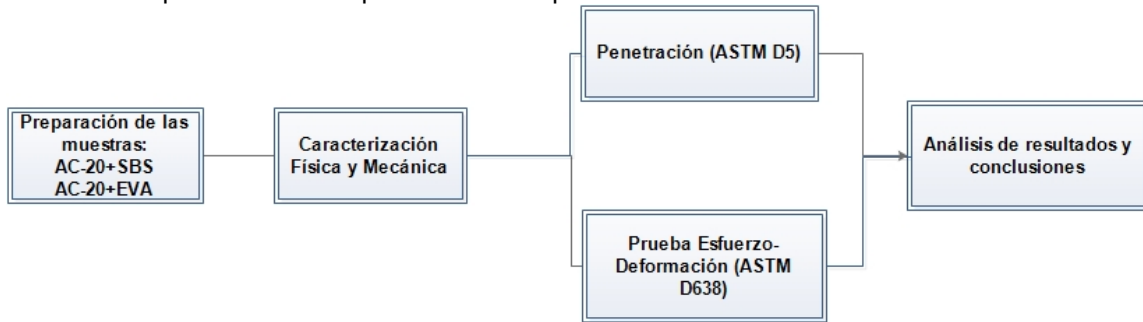


Figura 35. Metodología (Fuente: Elaboración propia)

Caracterización Física y Mecánica

En esta etapa se realizó una prueba física de penetración y la prueba mecánica de tensión, con el fin de comparar los resultados obtenidos de cada una de las mezclas de asfalto modificado con polímero.

Penetración (ASTM D5)

Este método cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos sólidos y semi-sólidos, es decir, determina la consistencia del asfalto expresada como la distancia en decimas de un milímetro que una aguja estándar penetra verticalmente una muestra del material bajo conocidas condiciones de carga, tiempo y temperatura establecidas. Se coloca una muestra de cada muestra de asfalto modificado en moldes como los que aparecen en la figura 2, una vez que las muestras tengan consistencia sólida, se desmolda cada una de ellas para luego ser colocada en la máquina (figura 3) para someterla a una carga con una aguja estandarizada de 100 gramos durante 5 segundos a 25 ° C (ASTM D5). Para la realización de prueba, se utilizó una máquina marca Zwick Roell modelo Z005 con una capacidad de carga máxima de 5000 N, se realizaron 3 penetraciones para cada uno de los tipos de asfalto modificado, cuidando las condiciones especificadas anteriormente.



Figura 36. Moldes de silicón.

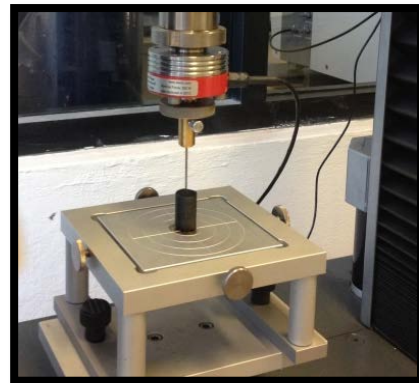


Figura 37. Aplicación de la carga.

Prueba esfuerzo-deformación (ASTM D638-10)

Se realizó la prueba de Tracción de los Plásticos a cada uno de los asfaltos modificados con SBS y EVA; la medición del esfuerzo-deformación se realizó de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM D638-10 “Método de Prueba Estándar para Determinar las Propiedades de Tracción de los Plásticos”, las muestras son en forma de “hueso de perro” (figura 4) y se elaboran vertiendo el asfalto caliente en un molde de silicón, desmoldándolas cuando se encuentren a temperatura ambiente. Una vez desmoldados los especímenes, de 5 a 6 por cada muestra de asfalto, se procede a realizar la prueba colocando la muestra en la máquina, (figura 5) marca Zwick Roell modelo Z005 con una capacidad de carga máxima de 5000 N, y tensionándola a la velocidad constante de 50 mm/min con una carga inicial de 0.05 N. Para esta prueba, la falla se determina por la tensión en el momento de máximo valor de la carga y no necesariamente por la carga cuando el espécimen falla.

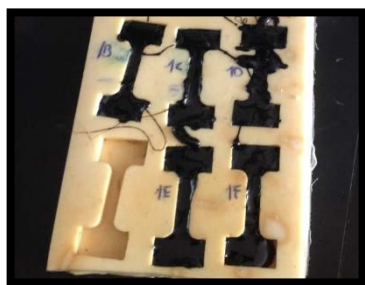


Figura 38. Moldes de “hueso de perro”. plásticos.



Figura 39. Equipo de tracción de los plásticos.

RESULTADOS

Preparación de las muestras

En la tabla 1, aparecen las proporciones en peso para cada muestra de 150 gramos que se elaboraron del polímero y el asfalto AC-20, así como la clave y nomenclatura utilizada para cada una de ellas.

Tabla 18. Muestras de asfalto-polímero elaboradas

No. Muestra	Clave	Polímero (gr)	Asfalto AC-20 (gr)
1	AMS-2%	3	147
2	AMS-2.5%	3.75	146.25
3	AMS-3%	4.5	145.5
4	AMS-3.5%	5.25	144.75
5	AMS-10%	15	135
6	AMS-11%	16.5	133.5
7	AMS-12%	18	132
8	AME-3%	4.5	145.5
9	AME-4%	6	144
10	AME-5%	7.5	142.5
11	AME-6%	9	141

12	AME-10%	15	135
13	AME-12%	18	132
14	AME-13%	19.5	130.5
15	AME-23%	34.5	115.5
16	AME-25%	37.5	112.5

Penetración

En la figura 6 se presentan los resultados de penetración para las diferentes muestras de asfalto con SBS y del asfalto con EVA. En la gráfica, se puede observar que los asfaltos modificados presentan menor penetración que el asfalto original AC-20, lo que significa que tienen mayor rigidez que el asfalto crudo. Si bien, la penetración es menor en todas las mezclas respecto al AC-20, en las mezclas con EVA nos dan menores valores de penetración en comparación con el SBS, entonces la penetración es inversa a la dureza, por lo que a baja penetración nos indica mayor dureza del asfalto, esto comprueba que el EVA incrementa la dureza en los asfaltos, es decir, brinda mayor resistencia a las deformaciones permanentes de los pavimentos.

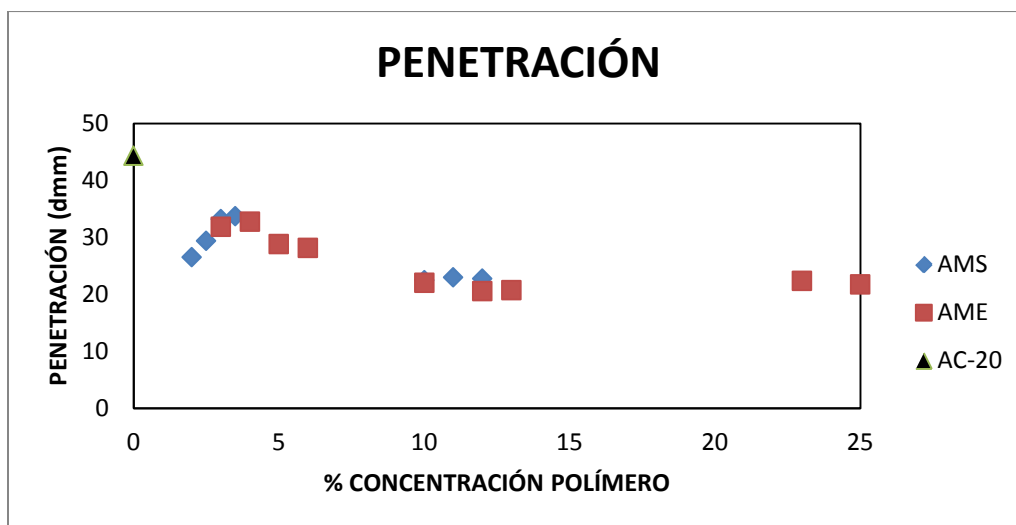


Figura 40. Comparación de la penetración obtenida de los asfaltos modificados.

Prueba Esfuerzo-Deformación

Con los datos obtenidos de la máquina de prueba, se construyó una gráfica Esfuerzo-Deformación de cada una de las muestras ensayadas, con el fin de encontrar el módulo de elasticidad de cada mezcla. Así, en la Tabla 2 se presentan los módulos de elasticidad promedio y sus desviaciones estándar (s); se muestra en la parte de abajo la gráfica para los polímeros SBS y EVA.

Tabla 19. Módulos de elasticidad de las muestras de Asfalto Modificado con Polímero.

MODULO DE ELASTICIDAD (Mpa)									
Muestra	0	1	2	3	4	5	6	7	
% Polímero SBS	0	2	2.5	3	3.5	10	11	12	
Módulo Elástico Promedio	1.01	1.55	1.63	2.06	1.92	3.28	3.38	3.63	
Desviación estándar (s)	0.46	0.75	0.42	0.7	0.48	1.66	1.68	1.29	
Muestra	8	9	10	11	12	13	14	15	16
% Polímero EVA	3	4	5	6	10	12	13	23	25
Módulo Elástico Promedio	0.91	1.91	2.43	2.81	2.71	6.83	5.43	2.93	3.34
Desviación estándar (s)	0.65	0.87	1.66	0.79	6.35	0.94	0.94	1.07	0.73

En la tabla observamos los módulos de elasticidad y desviaciones estándar de las 7 muestras del Asfalto con SBS y de las 9 del Asfalto con EVA enumeradas del 1 al 16, comparandolas con la muestra del asfalto original, todas las muestras de asfalto modificado presentan mayor valor del Módulo elástico pero las muestras con SBS son las que presentan los valores mayores.

Como se observa, en la figura 7 se presenta la comparación de los resultados de modulo elástico de cada muestra de asfalto modificado con polímero. En la gráfica aparentemente se muestra un comportamiento aproximadamente lineal, es decir, a mayor concentración de polímero se obtiene mayor módulo de elasticidad al asfalto, a concentraciones menores del 12%.

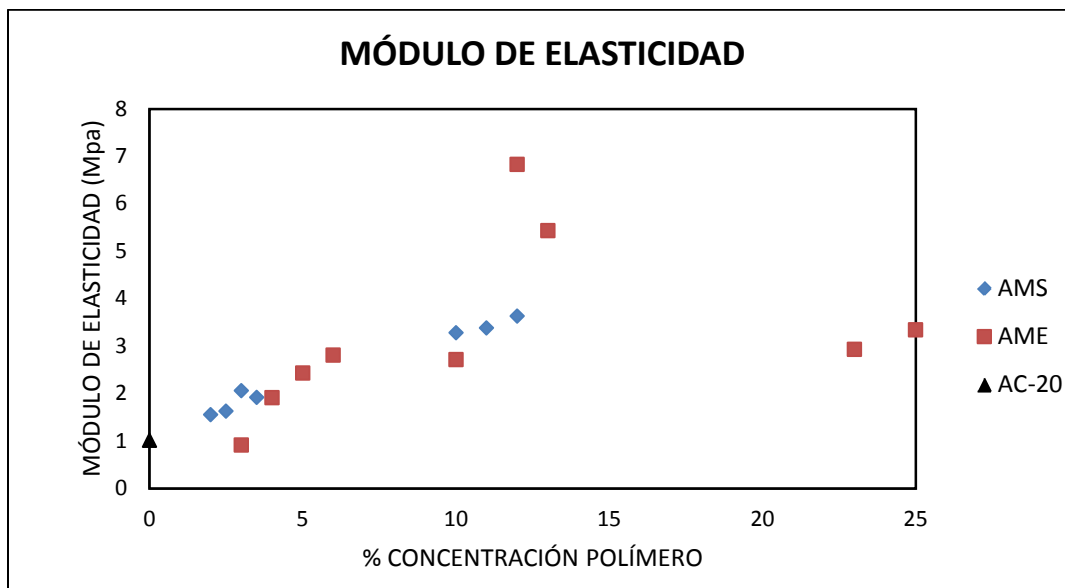


Figura 41. Comparación de los módulos de elasticidad obtenidos de los asfaltos modificados

Con respecto a los módulos de elasticidad del EVA a altas concentraciones, el comportamiento cambia reduciendo sus módulos a medida que se aumenta la cantidad de polímero. Podemos deducir que a partir del 12% el comportamiento es diferente, sin embargo harían falta estudiar las mezclas con concentraciones entre 15 y 20% las cuales no se presentan en este proyecto.

Las muestras del SBS y EVA aumentaron su módulo de elasticidad con respecto al asfalto virgen. Si comparamos la concentración del 3 y 10% tanto del SBS como el EVA podemos corroborar que el SBS resulta con el mayor módulo entonces el SBS es el polímero que brinda mayor módulo de elasticidad al asfalto comparado con el EVA.

CONCLUSIONES

La finalidad de modificar los asfaltos con polímero, es mejorar sus propiedades de acuerdo al uso que se les dará. En este trabajo, se compararon dos polímeros modificadores y se llegó a la conclusión de que ambos aportan mejoras al asfalto convencional, es decir, presenta mejoras en la elasticidad, así como en la susceptibilidad a la temperatura, además de proporcionar mayor rigidez. Sin embargo, cada uno aporta una característica en particular, de esta manera se puede decidir cuál utilizar dependiendo de las condiciones en las que se encuentre el futuro pavimento. De tal manera, que el polímero SBS mejora significativamente la elasticidad entre las concentraciones de 2 a 3.5% como recomendación, y el polímero EVA resulta más resistente al presentar mayor dureza, y se recomienda utilizarlo en concentraciones menores al 6%.

BIBLIOGRAFÍA

1. Askeland D. y Phulé P., "Ciencia e ingeniería de los materiales". Cuarta Edición. México, Ed. Thomson, 2004.
2. ASTM D5/D5M, "Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials", American Association of State Highway and Transportation Officials, 2013.
3. ASTM D638-10 "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics", American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010.

4. Cremades I, "Los asfaltos, pasado, presente y futuro". *Asfáltica Revista Técnica* 23, 2010.
5. Troncoso J., "Evaluación del espectro de carga y coeficientes de daño en el corredor de la avenida Boyacá, Bogotá D.C". (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, 2011.
6. ONU, "El Reporte Nacional de Movilidad Urbana en México 2014-2015", Organización de las Naciones Unidas, 2015: <http://www.onuhabitat.org/mexico>. Consultado: 10/10/2016.
7. Figueroa A.; Fonseca E.; y Reyes F., "Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado". *Ingeniería y Universidad*, vol. 13, núm. 1, 2009, pp. 45-70.
8. Yildirim Y. "Polymer modified asphalt binders". *Construction and Building Materials* 21, 2007, pp. 66-72.
9. SCT. "Normativa para la infraestructura del transporte". N-CMT-4-05-002/06. Características de los materiales para pavimentos. Secretaria de comunicaciones y transportes, 2006. [En línea] <http://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#CMT>. [Consultado el 27 de Noviembre del 2015].
10. Loria L., "Evaluación de asfaltos modificados en laboratorio de distintos polímeros". *Infraestructura vial* No. 17, 2007.
11. Ruiz R. "AC-20 Introducción al asfalto". SEM Group- Tecnología e Innovación, 2013. Disponible en: <http://www.portalcomercialsmm.com/articulos tecnicos AC20EKBE introduccion al asfalto.php1>. [Consultado el 28 de Noviembre del 2015]
12. Polacco G., Filippi S., Merusi F., Stastna G. "A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: Asphalt/polymer interactions and principles of compatibility". *Advances in Colloid and Interface Science*, 224, 2015, pp.72-112.
13. Vargas M. "Comportamiento reológico y estabilidad térmica de asfalto modificado con polímeros tribloque (sbs, sbs-g-ma, sebs). Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Química, Área de Materiales. Instituto de Investigaciones en Materiales, U.N.A.M. 2013.

DESARROLLO TECNOLÓGICO DE UN PROTOTIPO DE AIRE ACONDICIONADO RESIDENCIAL CON ENERGÍA GEOTÉRMICA.

Cynthia Janine Hernández Campos, María del Rosario Álvarez González, Abraham Olivares Arriaga, David Aarón Rodríguez Alejandro.

Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca. División Ciencias de la Vida.

I-Energy Natural Technology.

RESUMEN

El presente trabajo presenta un desarrollado tecnológico de un prototipo físico para alcanzar un nivel de TRL 7 (Technology Readiness Level) de un sistema de aire acondicionado accionado con una bomba de calor geotérmica. El caso de estudio consta de dos intercambiadores de calor: un intercambiador agua-suelo (pozo geotérmico) y un intercambiador agua-aire (manejadora de aire o UMA). El sistema aprovecha la temperatura prácticamente constante del suelo durante todo el año, alrededor de los 20°C. Así, cuando la temperatura ambiental se encuentra muy por encima de los 20°C (en verano) el sistema actúa como un refrigerador y en el caso contrario (debajo de los 20°C) actúa como un calefactor (por ejemplo, en invierno). A diferencia de los sistemas con bombas de calor, el sistema llamado GeoAire no consume la energía de un compresor ni emplea líquido refrigerante para el ciclo, pues el fluido de trabajo es agua. Al ser un sistema de agua, su mantenimiento es económico y el costo de sus componentes para refaccionamiento es mucho menor comparándolo con un sistema con bomba de calor. De igual forma, se evita el empleo de una válvula reversible o de cuatro vías, lo que conduce a un sistema mucho más económico.

INTRODUCCIÓN

En el año 2012, la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) [1] calculó que los edificios contribuyen en un 32% al consumo energético mundial y generan casi un 10% del total de las emisiones directas de dióxido de carbono relacionadas con la energía. Por lo tanto, los sectores residenciales y terciarios han llamado la atención en el reciente marco de políticas climáticas y energéticas de la Unión Europea para el 2030, con el cual se busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40% al incrementar la participación de las energías renovables dentro del esquema energético actual e incrementar la eficiencia energética en un 27% [2].

Parte las soluciones posibles incluye el reemplazo de combustibles fósiles, por la explotación de recursos energéticos renovables para cubrir las necesidades como acondicionamiento de aire y producción de energía eléctrica. En el área de acondicionamiento de aire, se ha investigado el uso de energía térmica de bajo grado, cuyas fuentes manejan temperaturas por debajo de los 100 °C [3-7], para hacerlas económicamente factibles. Dichas fuentes incluyen la energía solar,

geotérmica o el aprovechamiento de pérdidas de calor. Bundschuh et al. [8] sugieren que la energía geotérmica de bajo grado es más conveniente que la energía solar por ser una fuente de calor continua en contraste con la intermitencia causada por la energía solar.

Un reto importante hoy en día es alcanzar la comodidad térmica en interiores usando menos energía. Se han tomado algunas medidas pasivas para sustituir o complementar el sistema de acondicionamiento de interiores tradicional (Heating-Ventilating Air Conditioner HVAC) [9]. En tiempos recientes, el aire acondicionado es ampliamente usado no sólo con propósitos industriales, sino también para brindar comodidad a los ocupantes de un inmueble, para lo cual se han explorado varias técnicas alternativas [10,11]. Una de dichas técnicas es la del intercambiador de calor de túnel tierra-aire (EATHE Earth-Air Tunnel Heat Exchanger), en el cual, una serie de tuberías son enterradas hasta cierta profundidad, con el objetivo de extraer la energía térmica del suelo, transfiriéndola al aire para el acondicionamiento de interiores [12-20]

TEORÍA

Un sistema EATHE usa al suelo como fuente o disipador subterráneo de calor, usando aire como medio de intercambio del calor captado [21], consiste en un canal de tuberías enterradas a través de las cuales el aire del exterior es circulado por un ventilador o un soplador.

El aire del exterior es aspirado hacia los tubos subterráneos y posteriormente es suministrado al edificio para el acondicionamiento del aire en el mismo, en lugar de ser introducido al edificio directamente. Cuando el aire pasa a través de los tubos subterráneos, se transfiere calor desde el suelo hacia los tubos y hacia el aire en el interior de los mismos. Debido a la lenta respuesta térmica del suelo, la temperatura de éste a cierta profundidad será menor que la temperatura de la superficie en los días cálidos, como en verano, asimismo, la temperatura del suelo será mayor que la de la superficie en los meses fríos, como en invierno [22,23].

La mayoría de los estudios describen que los sistemas EATHE acoplados a edificios son una técnica efectiva para el acondicionamiento de interiores [24,25] ya que cumplen con las necesidades energéticas de calentamiento y enfriamiento de un inmueble. El desempeño del suelo como fuente o disipador de calor se encuentra basado en la variación estacional de la temperatura de entrada del aire y la temperatura de la tierra, así como de la distribución de la humedad en el interior del suelo [26].

Los elementos principales a considerar para el diseño de un sistema de climatización geotérmica son:

- Intercambiador de calor subterráneo.
- Bomba de calor geotérmica – transfiere el calor del intercambiador subterráneo al sistema de distribución del edificio.
- Sistema de distribución – distribuye el calor o el frío a las diferentes estancias a climatizar.

En el proyecto presente, se diseñó y elaboró un prototipo de sistema de acondicionamiento por medio de una fuente geotérmica de bajo grado, para un recinto ubicado en la ciudad de Salamanca, Guanajuato. Dicho prototipo cuenta con un TRL 7 (demostración de sistema piloto integrado).

Los sistemas mecánicos que componen GeoAire son la Unidad Manejadora de Aire (UMA), el conjunto de ductos para la distribución del aire y el circuito hidráulico empleado para la distribución de agua de refrigeración que circula por los pozos geotérmicos. Para el desarrollo del prototipo se realizaron de estudios de medición de temperaturas del subsuelo, análisis de conductividad térmica de suelo, diseño de pruebas bajo normativa, rendimiento térmico de aire acondicionado y el modelado de la UMA para un sistema geotérmico.

2.1 Condiciones climatológicas del estudio

Se consultó la base de datos de la red de estaciones meteorológicas y climáticas de la Fundación Guanajuato Produce A.C., para plantear las condiciones climatológicas promedio mensuales de la ciudad de Salamanca para el periodo correspondiente de Diciembre de 2014 a Noviembre de 2015 [27]. Con los valores promedio de temperatura ambiente, radiación solar y velocidad del viento, se evaluó el régimen térmico del intercambiador de calor sometido a las condiciones meteorológicas registradas y documentadas para la ciudad de Salamanca.

2.2 Condiciones de Confort

El sistema de acondicionamiento Geo Aire busca otorgar confort térmico en el interior de un recinto, lo cual depende en gran medida de la temperatura exterior o ambiental. Por regla general, la temperatura ideal de un recinto acondicionado debe estar entre 3 y 6 °C por debajo de la temperatura exterior [34]. Con base en los datos anteriores, para una temperatura ambiental de 32,8 °C (temperatura ambiental al momento de realizar la prueba con el sistema), la temperatura de confort oscila entre los 26.8 y 29.8°C.

2.3 Condiciones del terreno

La temperatura del terreno se asume variable en los primeros 10 m de profundidad alcanzando un valor constante de aproximadamente 20 °C. El cálculo de esta temperatura se llevó a cabo siguiendo el procedimiento de diseño establecido por la International Ground Source Heat Pump Association (GSHPA, 1988), el cual indica que la temperatura promedio del suelo puede considerarse como la temperatura media anual del ambiente más 2 °F (1.11 °C).

2.4 Especificaciones del pozo geotérmico

El valor de conductividad térmica del suelo es una parte crítica en el desarrollo de la metodología de diseño del sistema de acondicionamiento de aire geotérmico Geo-Aire, ya que representa la capacidad del suelo para retirar o aportar energía al fluido refrigerante. Con base en el sistema propuesto por Kavanaugh y Rafferty [28] se determinaron las especificaciones para el pozo geotérmico de la prueba de conductividad. Para el suelo estudiado, se obtuvo una conductividad térmica de 4.776 W/m-k y una difusividad de 0.19 m²/día. El fluido de trabajo para los conductos es agua, por su alta capacidad térmica (4190 J/Kg °C) y por no representar un riesgo ecológico, a diferencia de otros fluidos de trabajo como aceites o refrigerantes.

1. Parte Experimental- Diseño del intercambiador geotérmico

Para el material de la tubería se seleccionó el HDPE (Polietileno de alta densidad, por sus siglas en inglés) debido a que la materia prima tiene un 2% de humo dispersado en la masa y antioxidantes, lo que le da una gran resistencia a la radiación UV [29].

En el interior de la perforación de 100 m de profundidad y 203.2 mm (8") de diámetro, se instaló una manguera de polietileno de alta densidad HDPE en forma de "U", con un diámetro exterior de 33.40 mm, un espesor de pared de 3.4 mm y una separación entre centros de extensiones de 100 mm. Posteriormente la cavidad fue rellena con una mezcla de cemento-arena. Dentro del tubo circula agua a una razón de 34 litros/min (9 gpm), que corresponde al flujo máximo que la manejadora de aire es capaz de soportar.

3.1 Configuración del Intercambiador

El ducto del intercambiador de calor está constituido por manguera de HDPE en forma de U, con un diámetro exterior de 33.4 mm, un espesor de pared de 3.4 mm y una separación entre centros de las extensiones de 100 mm. Se proporciona un valor para la conductividad térmica de 0.4 W/m-K a una temperatura de 20 °C para dicho material [29].

Dentro del tubo circula agua a una razón de aproximadamente 3.8 litros/min (1 gpm), correspondiente al flujo máximo que la manejadora de aire es capaz de soportar, según datos del Consorcio Contru-Coss S.A. de C.V. La manguera se encuentra embebida en un dominio de concreto cuya conductividad térmica se estima en aproximadamente 2.0 W/m-K.

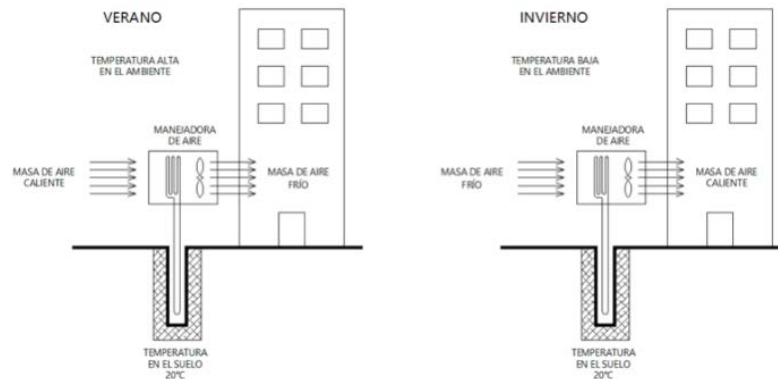


Ilustración 1 Funcionamiento del sistema Geo Aire.

3.2 Volumen de Control

El espacio empleado para las pruebas del sistema Geo Aire es la "Oficina Móvil" mostrada en la ilustración 3. Sus dimensiones son de 8 x 2.45 m con una altura efectiva de 2.10 m lo cual representa un volumen de acondicionamiento de 41.16 m³ (Aprox. 1448 pies cúbicos). Las paredes y techo de la oficina se componen de multypanel, aislante térmico diseñado para aplicaciones comerciales e industriales. La conductividad térmica de este material es de 0.129 W/m-K a un espesor de 50.88 mm o 2 in.

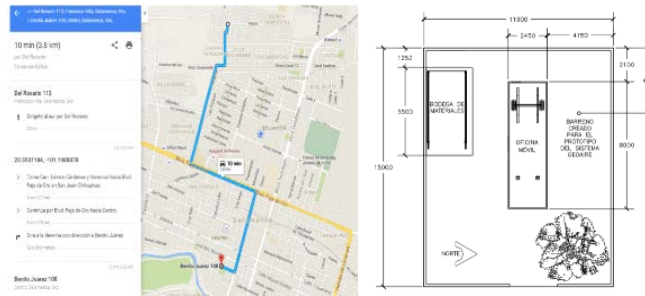


Ilustración 2 y 3 Ubicación del predio intervenido con respecto a la cabecera municipal de Salamanca, Guanajuato (izquierda). Espacio para pruebas denominado “Oficina móvil” (derecha)

3.3 Unidad Manejadora de Aire

Se empleó un sistema de manejo de aire marca Daikin, modelo UMA-1200 el cual incluye cámara de mezclado con economizador, intercambiador de calor tipo coil, así como una unidad impulsora de aire. Dicho sistema de manejo es apto para aplicaciones desde 600 hasta 1500 cfm (pies cúbicos por minuto).

3.4 Sistema de distribución de aire.

En el exterior del recinto a acondicionar se emplearon ductos de lámina galvanizada aislados e impermeabilizados para evitar la transferencia de calor con el aire del exterior. Al interior del recinto se empleó un ducto textil por ser un sistema de difusión de alta eficiencia, económico y de presentación estética. El material usado para el ducto textil es de la marca DTI, hecho a base de poliéster DTI Benelux, con retardante al fuego y tratamiento antibacterial.



Ilustración 4 – 6. Proceso de impermeabilización de ductos. Ductos desnudos (izquierda), ducto cubierto con lana mineral (centro) y ducto con malla de refuerzo e impermeabilizante (derecha).

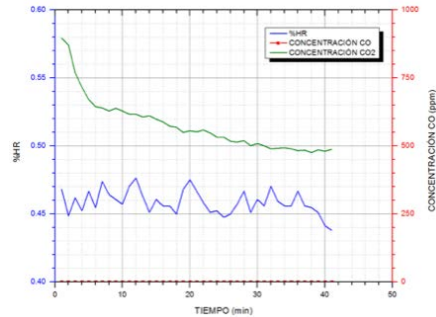


Ilustración 7. Vista panorámica del ducto textil instalado en el sistema GeoAire

3.5 Medición de parámetros a evaluar.

Para la medición de aire se empleó el medidor de calidad de aire AirMeter Test Tool 975 de la marca Fluke el cual permite medir temperatura, bulbo húmedo, humedad relativa, ppm de CO, CO₂, velocidad del aire en m/s, porcentaje de aire renovado, flujo volumétrico y presión barométrica. Se tomaron mediciones de la temperatura con el instrumento Air Meter Test Tool 975 de Fluke dentro y fuera del recinto antes de iniciar la prueba. En la ilustración 10, se muestran las condiciones de temperatura, bulbo húmedo y punto de rocío, porcentaje de humedad relativa, concentración de CO y CO₂ presente. Se tomaron fotografías termográficas del interior del recinto, en las que se observa que la temperatura dentro de la oficina es superior a la del exterior. La temperatura registrada al exterior del recinto (ambiente) fue de 32.8 °C mientras que al interior la temperatura fue de 33.3 °C.

Ilustración 8. Condiciones concentración de gases recinto acondicionado sistema GeoAire.



de humedad relativa y CO y CO₂ dentro del antes del encendido del

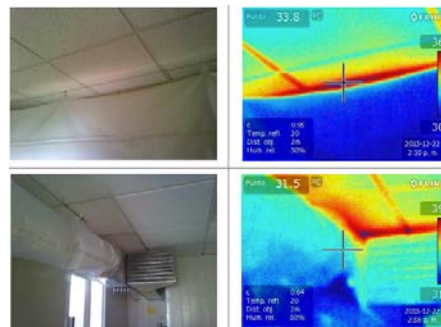


Ilustración 9. Termografías del recinto antes de encender el sistema GeoAire.
4. Resultados con Sistema Geo Aire

Tras mantener el sistema Geo Aire en funcionamiento durante 30 minutos, se realizó de nuevo la medición de los parámetros temperatura, bulbo húmedo, humedad relativa, concentración de CO y CO₂. Los resultados mostraron las siguientes variaciones de temperatura dentro del recinto acondicionado con respecto a la temperatura ambiental:

- ✓ Se redujo la temperatura del recinto en 3.30 °C, desde 33.3°C hasta 29.48°C;
- ✓ La temperatura de bulbo húmedo se redujo de un promedio de 20 °C a uno de 14 °C y el punto de rocío decreció desde un promedio de 10 °C a uno de 2.5 °C.
- ✓ La renovación de aire con una combinación de flujo 50-50 redujo la concentración de CO₂ dentro del recinto desde 900 ppm a 450 ppm.
- ✓ La humedad relativa disminuyó drásticamente desde un promedio de 46% hasta un promedio de 23%.
- ✓ La temperatura del agua de refrigeración en la UMA también fue registrada, con un incremento de 20.6 a 22.3 °C en la línea de entrada y 21.9 a 23.1 °C en la línea de salida.

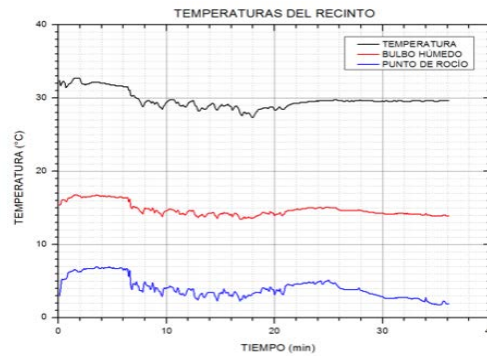


Ilustración 10. Evolución de las condiciones del recinto al entrar en funcionamiento el sistema GeoAire.



Ilustración 11. Termografía del recinto acondicionado después de 30 minutos de accionar el sistema GeoAire

CONCLUSIONES

Con los resultados de las pruebas realizadas antes, durante y después del funcionamiento del sistema Geo Aire en el recinto de prueba "Oficina móvil" se demostró que el sistema Geo Aire ha llevado la temperatura del interior del recinto de prueba desde una temperatura inicial de 33.3 °C hasta 28.4 °C. La temperatura final al interior de la oficina móvil se encuentra dentro del rango de confort para la temperatura al exterior del inmueble, con lo cual se pone de manifiesto la efectividad del proyecto en su objetivo de acondicionar el aire en interiores por medio del uso de energía geotérmica, llevando las condiciones térmicas iniciales a unas de confort para los usuarios. Al demostrarse la eficiencia del proyecto a un nivel técnico ejecutable, confiable y replicable como es el caso presente, el desarrollo de tecnología se considera de un nivel TRL 7.

BIBLIOGRAFÍA

1. Energy Technology Perspectives 2012, IEA, Paris, 2012
2. European Union. Policy framework for climate and energy from 2020 to 2030"; 2014.
3. Angrisani G, Roselli C, Sasso M. Distributed microtrigeneration systems. Prog Energy Combust Sci 2012;38(4):502–21.
4. Chan CW, Ling-Chin J, Roskilly AP. A Review of chemical heat pumps, thermodynamic cycles and thermal energy storage technologies for low grade heat utilisation. Appl Therm Eng 2013. 1257

5. Chen Huijuan, Goswami D Yogi, Stefanakos Elias K. A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of low-grade heat. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14(9):3059–67.
6. Ammar Yasmine, Joyce Sharon, Norman Rosemary, Wang Yaodong, Roskilly Anthony P. Low grade thermal energy sources and uses from the process industry in the UK. *Appl Energy* 2012;89(1):3–20.
7. Kapil Ankur, Bulatov Igor, Smith Robin, Kim Jin-Kuk. Process integration of low grade heat in process industry with district heating networks. *Energy* 2012;44 (1):11–9.
8. Bundschuh J, Ghaffour N, Mahmoudi H, Goosen M, Mushtaq S, Hoinkis J. Low- cost low-enthalpy geothermal heat for freshwater production: Innovative applications using thermal desalination processes. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;43:196–206.
9. D. Yang, J. Zhang, Theoretical assessment of the combined effects of building thermal mass and earth–air-tube ventilation on the indoor thermal environment, *Energy Build.* 81 (2014) 182–199.
10. V. Bansal, R. Misra, G.D. Agarwal, J. Mathur, Performance analysis of earth–pipe air heat exchanger for winter heating, *Energy Build.* 41 (2009) 1151–1164.
11. V. Bansal, R. Misra, G.D. Agarwal, J. Mathur, Performance analysis of earth–pipe air heat exchanger for summer cooling, *Energy Build.* 42 (2010) 645–658.
12. O. Ozgener, L. Ozgener, Determining the optimal design of a closed loop earth to air heat exchanger for greenhouse heating by using exergo-economics, *Energy Build.* 43 (2011) 960–975.
13. G. Florides, S. Kalogirou, Ground heat exchangers –a review of systems, models and application, *Renew. Energy* 32 (2007) 2461–2478.
14. J. Vaz, M.A. Sattler, E.D.D. Santos, L.A. Isoldi, Experimental and numerical analysis of an earth–air heat exchanger, *Energy Build.* 43 (2011) 2476–2482.
15. H. Li, Y. Yu, F. Niu, S. Michel, B. Chen, Performance of a coupled cooling system with earth-to-air heat exchanger and solar chimney, *Renew. Energy* 62 (2014) 468–677.
16. V. Bansal, R. Misra, G.D. Agarwal, J. Mathur, Performance analysis of integrated earth–air-tunnel-evaporative cooling system in hot and dry climate, *Energy Build.* 47 (2012) 525–532.
17. V. Bansal, R. Misra, G.D. Agarwal, J. Mathur, ‘Derating Factor’ new concept for evaluating thermal performance of earth air tunnel heat exchanger: a transient CFD analysis, *Appl. Energy* 102 (2013) 418–426.
18. R. Misra, V. Bansal, G.D. Agarwal, J. Mathur, T. Aseri, Transient analysis based determination of derating factor for Earth Air Tunnel Heat Exchanger in winter, *Energy Build.* 58 (2013) 76–85.
19. R. Misra, V. Bansal, G.D. Agarwal, J. Mathur, T. Aseri, Transient analysis based determination of derating factor for Earth Air Tunnel Heat Exchanger in summer, *Energy Build.* 58 (2013) 103–110.

20. F. Ascione, L. Bellia, F. Minichiello, Earth-to-air heat exchangers for Italian climates, *Renew. Energy* 36 (2011) 2177–2188.
21. D.G.L. Samuel, S.M.S. Nagendra, M.P. Maiya, Passive alternatives to mechanical air conditioning of building: a review, *Build. Environ.* 66 (2013) 54–64.
22. K. Labs, Earth coupling, in: J. Cook (Ed.), *Passive Cooling*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1989.
23. H.S. Carslaw, J.C. Jaeger, *Conduction of Heat in Solids*, 2nd ed., Clarendon Press, Oxford, 1959.
24. S.S. Bharadwaj, N.K. Bansal, Temperature distribution inside ground for various surface conditions, *Build. Environ.* 16 (1983) 183–192.
25. N.K. Bansal, M.S. Sodha, S.S. Bhardwaj, Performance of earth–air tunnel system, *Energy Res.* 7 (19 M. Santamouris, A. Argiriou, M. Vallindras, Design and operation of a low energy consumption passive solar agricultural greenhouse, *Sol. Energy* 52 (1994) 43–59.
26. R. Kumar, S.C. Kaushik, S.N. Garg, Heating and cooling potential of an earth-to-air heat exchanger using artificial neural network, *Renew. Energy* 31 (2006) 1139–1155.
27. Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua. *Climatología Estadística*. Salamanca, Guanajuato, México. Comisión Nacional del Agua, 2014.
34. Dimplex. (2008). *Manual de Dimensionamiento. Calentar y Refrigerar con Bombas de Calor*. Glen Dimplex Deutschland GmbH.
28. Kavanaugh, S & Rafferty, K. (1997). *Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings*. Atlanta, Estados Unidos: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
29. Comercial Industrial Delta SA, CIDELSA. Tubería Lisa de HDPE. *CIDELSA, una nueva visión del mundo*. [Online]2014.[Cited:Agosto,2015.].<http://www.cidelsa.com/tuberias/Especificaciones%20Tecnicas%20ISO.pdf>.

OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SÍNTESIS DE PUNTOS CUÁNTICOS DE CARBONO PARA SU APLICACIÓN COMO BIOMARCADORES

Nikte Y. Martínez-Palma, Carlos A. Zamora-Valencia, Aristeo Garrido-Hernández, Mónica A. Camacho-González

Universidad Tecnológica de Tecámac. Carretera federal México-Pachuca, Km. 37.5, predio Sierra Hermosa, C.P. 55740, Tecámac, Estado de México.

RESUMEN

Uno de los problemas de salud que enfrenta la humanidad en la actualidad es el cáncer, se ha establecido una relación entre el desarrollo de esta enfermedad y el estilo de vida actual. La opción más viable para disminuir esta tendencia, es la detección oportuna, la nanotecnología de la mano con la biotecnología a través del empleo de nanopartículas fotoluminiscentes, como los son los puntos cuánticos de carbono (PCC), ofrece una alternativa de detección eficaz. Los PCC son nanomateriales semiconductores que han llamado la atención de diversos investigadores por sus propiedades luminiscentes, ópticas y fisicoquímicas, que los convierten en adecuados candidatos para su aplicación como biomarcadores. Además de los diversos métodos (electroquímicos, ablación laser, hidrotermal, etc.) Y los distintos compuestos orgánicos (zumos frutales, ácidos, polímeros) que se han probado para su obtención, se han reportado una amplia variedad de condiciones para su síntesis. Por lo que en el presente trabajo, con el fin de establecer las condiciones óptimas (temperatura, tiempo y concentración) para la obtención de PCC de nopal con propiedades fotoluminiscentes y de estabilidad adecuadas para su aplicación como biomarcadores, se obtuvo un diseño experimental optimizado con el software Design Experiment. De acuerdo a los resultados, obtenidos en las pruebas de estabilidad y en las caracterizaciones por UV-VIS, espectroscopia FTIR y espectrofluorometría; las condiciones óptimas de síntesis vía hidrotermal de PCC a partir de nopal fueron: 12 h a 200°C y 25 g/ml (peso seco) de fuente de carbono. Dichas condiciones podrían asegurar la obtención de PCC con propiedades fotoluminiscentes y de estabilidad adecuadas para su aplicación como biomarcadores de células cancerosas.

INTRODUCCIÓN

El cáncer es una enfermedad que se caracteriza por el crecimiento anormal y descontrolado de las células, es una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en todo el mundo. Se prevé que el número de nuevos casos aumente un 70% en los próximos 20 años. El aumento en la incidencia a nivel mundial es atribuido entre otras razones, al aumento de la esperanza de vida, el ritmo y estilo de vida actual, así como a factores medioambientales [1].

La mayoría de los casos de cáncer son detectados en etapas tardías de la enfermedad, cuando su tratamiento y cura son complicados. Debido a la problemática mundial que representa dicha enfermedad, surge una imperante necesidad de desarrollar investigaciones encaminadas a la búsqueda de alternativas para su tratamiento, prevención y detección temprana [2].

La mortalidad por cáncer se puede reducir si los casos se detectan y tratan a tiempo, sin embargo, las técnicas que actualmente se emplean para su diagnóstico (rayos X, resonancia magnética nuclear, colposcopia, biopsia de los tejidos, entre otros) por lo regular no son suficientemente sensibles y/o específicas para una detección oportuna [3], por lo que ha llevado a la implementación de nuevas técnicas de detección con el uso de nuevas tecnologías como la nanotecnología.

La nanotecnología es una de las más importantes tecnologías en el siglo XXI, en la actualidad es ampliamente aplicada en diferentes campos, como la biotecnología [4]. La interacción de la nanotecnología con la biotecnología ha producido grandes avances en diversas ramas de investigación tales como: la biología molecular, la bioingeniería y la medicina, esto se ve reflejado en el desarrollo de técnicas para la detección y tratamiento de algunas enfermedades como el cáncer.

Algunas de las técnicas que han tenido mayor auge en los últimos años, con respecto a la detección del cancer se fundamentan en el uso de nanomateriales fluorescentes, los cuales por su tamaño pueden señalar o marcar un órgano específico, una célula o inclusive, un compartimento subcelular [5].

En los últimos años, los puntos cuánticos de carbon (PCC) han atraído la atención de muchos grupos de investigación debido a sus propiedades microelectrónicas y ópticas que los hacen buenos candidatos como biomarcadores de células cancerosas [6]. Los PCC son cristales semiconductores tridimensionales de 1-10nm, que producen emisiones luminiscentes diferentes dependiendo de su tamaño debido a la longitud de onda que estos emiten por los efectos de confinamiento cuántico.

Los PCC son altamente fluorescentes, al ser excitados con una fuente de luz ultravioleta [7], además de que está comprobado que poseen la capacidad de anclarse a biomoléculas, mediante un proceso de funcionalización para que puedan ser empleados como una alternativa de biomarcadores [8]. Actualmente los PCC utilizados son los de CdSe, sin embargo en años recientes también se han logrado sintetizar puntos cuánticos a base de carbono, los cuales en comparación con los primeros, no presentan toxicidad, emiten mayor luminiscencia, poseen una mayor capacidad de anclaje a biomoléculas y su costo de obtención es considerablemente menor [9].

Los PCC son sintetizados por diferentes métodos a partir de distintos compuestos orgánicos, en el presente trabajo se obtuvieron PCC mediante el método hidrotermal, ya que es una vía de síntesis de química suave, de bajo costo, eficaz y una de las más empleadas en la obtención de este nanomaterial [10]. Haciendo una revisión bibliográfica se encontró una gran cantidad de condiciones empleadas en el tratamiento hidrotermal, por lo tanto, en este trabajo se planteó como primer objetivo elaborar un diseño experimental con ayuda del software Design Experiment, en el cual se incluyeron las diferentes condiciones de síntesis reportadas, con el fin de encontrar las condiciones (Temperatura, tiempo y concentración) óptimas de obtención de PCC con propiedades y características que permitan su aplicación como biomarcadores de células cancerosas.

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

Nopal seco, agua destilada, autoclave, horno, centrifuga, espectrofotómetro UV-VIS, espectrofluorómetro y material de vidrio de laboratorio.

2.2 Métodos

3.2.1 Diseño experimental

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada se evaluaron tres variables (Temperatura, tiempo y concentración) en tres niveles cada uno (120, 160 y 200°C; 2.5, 5 y 12 h; 5, y 100 mg/mL). En el cuadro 1, se muestra el diseño experimental obtenido con el software Design Expert.

2.2.2 Síntesis de PCC por el método hidrotermal

Se disuelve la cantidad necesaria de fuente de carbono (nopal seco) para alcanzar la concentración establecida en el diseño experimental en un volumen de 30 mL, la solución se coloca en el autoclave y posteriormente en un horno a la temperatura y tiempo indicadas en el diseño experimental. Transcurrido el tiempo de síntesis, se sacó el autoclave y la solución de PCC se centrifugó a 4000 rpm por 20 min, posteriormente el sobrenadante obtenido se filtró al vacío con papel de tamaño de poro de 2.7 μm . El filtrado obtenido fue guardado en tubos falcon a 4 °C para su posterior caracterización.

2.2.3 Caracterización de las soluciones de puntos cuánticos de carbono

Las caracterizaciones por FT-IR se obtuvieron leyendo la transmitancia de 500 a 4000 cm^{-1} . Para obtener los espectros de emisión de fluorescencia, primeramente se obtuvieron los espectros de excitación máxima.

RESULTADOS

Después del tratamiento hidrotermal las soluciones de PCC obtenidas mostraron color amarillo o marrón y fluorescencia azul-verde al ser expuestas a luz UV ($\sim 365 \text{ nm}$) (Figura 1).



Figura 1.- Soluciones de puntos cuánticos de carbono obtenidas por el método hidrotermal

Todas las soluciones mostraron un máximo de excitación a los 370 nm, por lo que los espectros de emisión fueron realizados con este valor. En la Figura 2, se muestran los espectros de emisión de las diferentes soluciones de puntos cuánticos de carbono obtenidas de acuerdo al diseño experimental. Se puede observar que las condiciones de síntesis empleadas en cada experimentación afectaron la emisión de fluorescencia de las soluciones.

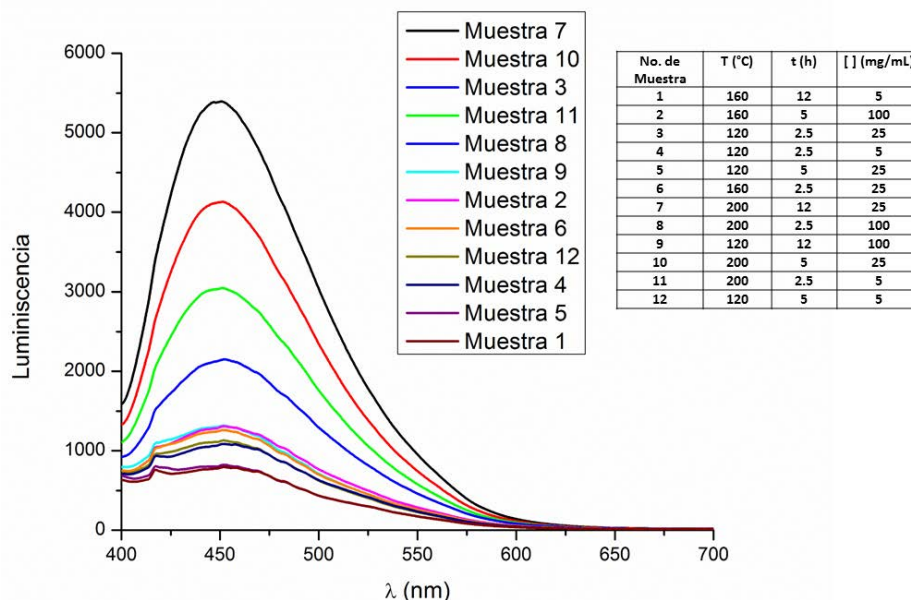


Figura 2.- Espectros de emisión de fluorescencia de los puntos cuánticos de carbono. Se puede observar que la solución que presentó la máxima emisión de fluorescencia fue la que se obtuvo a 200°C por 12 h y con una concentración de nopal seco de 25 mg/mL. De las gráficas se puede deducir que las condiciones de síntesis afectan el tamaño del punto cuántico, puesto que el tamaño está estrechamente relacionado con la emisión de la fluorescencia. Las condiciones de síntesis con las que se obtuvo menos fluorescencia fueron: 160°C, 12 h y 5 mg/mL.

Para identificar los grupos funcionales en la superficie de los PCC se realizó espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier y los resultados se muestran en la Figura 3. Se muestra un pico centrado a los 3338 cm⁻¹, el cual es atribuido a las vibraciones que corresponden a los iones OH⁻, las cuales van de los 3100 a 3500 cm⁻¹ [11]. La presencia de este grupo funcional podría mejorar la estabilidad [12] y sugiere que los PCC sintetizados tienen excelente solubilidad en agua [13]. Por otro lado, se observa otro pico donde las vibraciones se centran a los 1634 cm⁻¹, las cuales corresponden a los enlaces C=C por la hibridación sp² o algunos anillos aromáticos que contribuyen a la fluorescencia de los PCC debido a la transición π-π* [14].

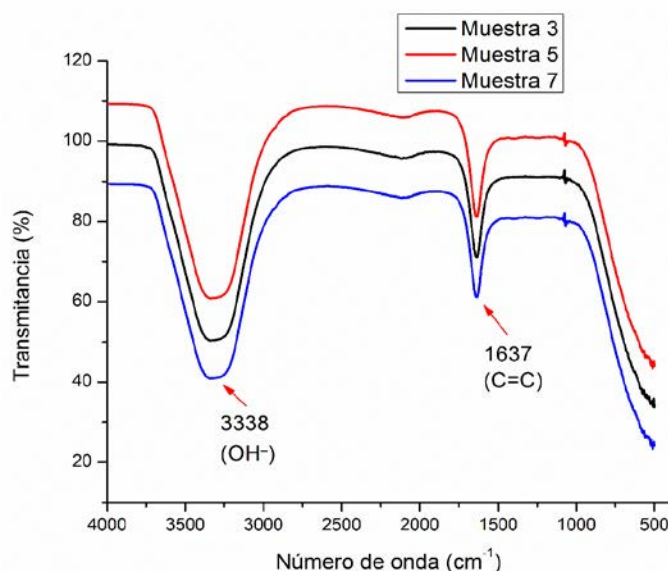


Figura 3.- Espectros FTIR de las soluciones de PCC obtenidas por el método hidrotermal

CONCLUSIONES

De acuerdo al diseño experimental optimizado las mejores condiciones de síntesis de puntos cuánticos de carbono a partir de nopal empleando el método hidrotermal son: 200 °C, 12 h y 25 mg/mL. A expensas de más caracterizaciones que se requieren realizar, estas condiciones permiten obtener puntos cuánticos con alta solubilidad en agua y con grupos funcionales que podrían permitir el anclaje a biomoléculas, y su consecuente aplicación como biomarcador.

BIBLIOGRAFÍA

1. N. Gandur, «Manual de enfermería oncológica,» Instituto Nacional del Cancer, Buenos Aires, Argentina, 2006.
2. P. Bandi, E. Barrera, K. Graves, M.-S. Melissa, D. Naishandham, T. Hargrove, M. Shah, E. Simard, S. Simpson, K. Sullivan, E. Trapido y D. Wagner, «Datos y estadísticas sobre el cáncer entre los Hispanos/Latinos,» American Cancer Society, Atlanta, Georgia, 2014.
3. Farley, «Instituto Nacional del Cancer,» 2015.
4. J. Zuo, T. Jiang, X. Zhao, X. Xiong, S. Xiao y Z. Zhu, «Preparation and Application of Fluorescent Carbon Dots,» Hindawi, China, 2015.
5. M. E. Martínez Barbosa, A. Y. S. Taylor Castillo, H. Acuña Campa y L. A. Carrasco Cota, «Síntesis y caracterización de nuevas nanopartículas de derivados de PBLG para su uso en nanomedicina,» EPISTEMUS, Sonora, 2014.
6. M. F. Torresan, C. I. Vázquez, M. V. Benavente Llorente, A. M. Baruzzi y R. A. Iglesias, «Metodologías para la obtención de puntos cuánticos de cristales semiconductores de CdSe,» Bitácoradigital, Córdoba.
7. G. Zhen y T. Li, «Quantum Dots, quizás el año que viene, México, D.F., 2012.
8. Y. Wang y A. Hu, «Carbon quantum dots: synthesis, properties and applications,» Royal Society of chemistry, Shanghai, China, 2014.

9. L. Cao, S.-T. Yang, X. Wang, G. P. Lou, J.-H. Liu, S. Sahu, Y. Lui y Y.-P. Sun, «Competitive performance of carbon "quantum" dots in optical bioimaging,» *Theranostics*, Carolina, EUA, 2012.
10. I. Costa-Moras, V. Romero, I. Lavilla y C. Bendicho, «Luminescent assays based on carbon dots for inorganic trace analysis,» *Anal Chem*, Vigo, España, 2015.
11. R. Zhang, Y.-B. Lui y S.-Q. Sun, «Preparation of highly luminescent and biocompatible carbon dots using a new extraction method,» *Research Paper*, China, 2013.
12. Y. Zheng, D. Yang, X. Wu, H. Yan, Y. Zhao, B. Feng, K. Duan, J. Weng y J. Wang, «A facile approach for the synthesis of highly luminescent carbon dots using vitamin-based small organic molecules with benzene ring structures as precursors,» *RSC Advances*, Chengdu, China, 2015.
13. B. De y N. Karak, «A green and facile approach for the synthesis of water soluble fluorescent carbon dots from banana juice.,» *RSC Advances*, Tezpur, India, 2013.
14. J. Wang , Y. Hwee Ng, Y.-F. Lim y G. Wei Ho, «Vegetable-extracted carbon dots and their nanocomposites for enhanced photocatalytic H₂ production,» *RSC Advances*, Singapore, 2014.

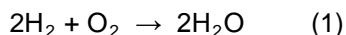
DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROGRAMA EN JAVA PARA BALANCEO ESTEQUIOMÉTRICO DE ECUACIONES QUÍMICAS

Araceli Salinas Reyes, Julio César Salinas Reyes, José Roberto Contreras Bárbara y Luz Mireya Polanco Meza

Instituto Tecnológico de Atitalaquia

RESUMEN

El balance estequiométrico, es el estudio cuantitativo de los productos y reactivos en una reacción química, que se representa mediante una ecuación química, por ejemplo:



Los números antepuestos a las fórmulas son coeficientes que multiplican a cada molécula, de reactivos y de productos. Para que se cumpla la Ley de la Conservación de la Materia, la suma de átomos de todos los reactivos debe ser igual a la suma de los átomos de los productos. En este trabajo se desarrolló un programa en Java basado en el número de átomos de los compuestos contenidos en la reacción y la variación de los coeficientes estequiométricos. Se encontró que una gran parte de reacciones químicas se pueden balancear por medio de los mismos coeficientes estequiométricos, es decir, una combinación de coeficientes estequiométricos puede dar solución a más de 10 diferentes reacciones químicas. Bajo este principio, se introdujo una interfaz con el número de átomos de cada compuesto para hacer más cómodo al usuario la entrada de datos. Al realizar la prueba con cerca de 200 reacciones químicas, se resolvió 99% de las reacciones químicas correctamente, el tiempo de espera para hallar los coeficientes de cada reacción química es de 4 segundos. Además se hizo una prueba piloto del programa con los alumnos del Instituto Tecnológico de Atitalaquia, al usar el programa desarrollado encontraron los coeficientes para las reacciones propuestas, sugiriendo además el mejoramiento de la estructura del programa, interfaz, aumento de casos para reacciones químicas orgánicas y mejor visualización.

INTRODUCCIÓN

La química es una ciencia que estudia la transformación de las sustancias. Las comodidades que goza el ser humano en la actualidad son gracias a la aplicación de la química para la generación de nuevos productos a partir de materia prima (transformaciones o reacciones químicas), tales como medicamentos, agua potable, luz eléctrica, combustibles, etc. Una reacción química es un proceso en que una sustancia se transforma o se combina con otras para formar una nueva. Las reacciones químicas se representan con ecuaciones químicas, que a su vez se rigen bajo la Ley de la Conservación de la Materia que establece "la materia no se crea ni se destruye, la masa total de una sustancia participante en un cambio físico o químico permanece constante". El balance estequiométrico es el estudio cuantitativo de los productos y reactivos en una reacción química (R. Chang, 2002).

A nivel licenciatura en los primeros semestres se cursa la materia de química (orgánica e inorgánica) que son las bases de la carrera Ingeniería química y otras ingenierías afines, una de las grandes dificultades es el balance estequiométrico de las reacciones químicas, que la mayoría de los estudiantes lo realizan por tanteo la causa principal es que los métodos existentes por ejemplo: el algebraico o matricial y óxido-reducción (Redox) logran resultados hasta cierto punto, pero que al no poder ser resuelto por el método elegido, se termina resolviendo con tanteo.

El balanceo de ecuaciones químicas en apariencia puede ser difícil para algunos estudiantes por lo cual se plantea el diseño en JAVA de un programa de balanceo de ecuaciones químicas como apoyo para estudiantes de educación superior al cursar las materias de química general, química inorgánica, orgánica, analítica, balance de materia y energía, fisicoquímica, ingeniería de reactores y otras afines.

TEORÍA

Una reacción química es un proceso en que una sustancia (o sustancias) cambian para formar una o más sustancias químicas (R. Chang, 2002). El estudio de las reacciones químicas es de gran importancia en la formación de los estudiantes de ingeniería química y otras ingenierías afines, debido que se debe tener conocimiento sobre cómo se originan éstas reacciones, el ambiente en el cual se desarrollan, los productos obtenidos al combinar un elemento con otros elementos y/o compuestos; la cantidad de cada compuesto, elemento, ion, etc., que se deben combinar para obtener cierta cantidad del producto de interés entre otras características de la propia reacción.

El balance estequiométrico, es el estudio cuantitativo de los productos y reactivos en una reacción química (R. Chang, 2002). Los cálculos estequiométricos se realizan de manera óptima expresando, tanto las cantidades conocidas como las desconocidas, en términos de moles y después, si es necesario, se convierten en otras unidades, por ejemplo: en gramos, kilogramos o toneladas. En general la estequiometría es la comparación de las cantidades molares de reactivos y productos al variar los coeficientes estequiométricos para que se cumpla la Ley de la Conservación de la Materia. Lavoisier postuló la Ley de la Conservación de la Materia y dice que “en una reacción química, la masa total de los reactivos, más los productos de la reacción, permanece constante”. Para realizar un balance estequiométrico y cumplir la Ley de la Conservación de la Materia es necesario plantear ecuaciones químicas que nos servirán para el correcto balanceo.

Las reacciones químicas se representan mediante ecuaciones químicas. Por ejemplo, cuando el hidrógeno (H_2) arde, reacciona con el oxígeno (O_2) del aire para formar agua (H_2O). Escribimos la ecuación química para esta reacción como sigue:



El signo + se lee como “reacciona con” y la flecha como “produce”. Las fórmulas químicas que están a la izquierda de la flecha representan las sustancias de partida, llamados reactivos. Las fórmulas químicas a la derecha de la flecha representan sustancias que se producen en la reacción, llamados productos. Los números antepuestos a las fórmulas son coeficientes. (Al igual que en las ecuaciones algebraicas, el número 1 normalmente no se escribe).

En ninguna reacción se crean ni se destruyen átomos, toda ecuación química debe tener números iguales de átomos de cada elemento en ambos lados de la flecha. Si se satisface esta condición,

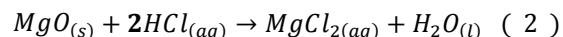
se dice que la ecuación está balanceada. Por ejemplo, en el miembro derecho de la ecuación anterior hay dos moléculas de H_2O , cada una de las cuales contiene dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Entonces, $2H_2O$ (que se lee “dos moléculas de agua”) contiene $2 \times 2 = 4$ átomos de H y $2 \times 1 = 2$ átomos de O, como se ve en la ilustración, también hay cuatro átomos de H y dos de O en el miembro izquierdo de la ecuación, por lo tanto está balanceada estequiométricamente (T. Brown, 1998).

Existen tres métodos para el balance estequiométrico: Tanteo, óxido-reducción (Redox) y algebraico o matricial. El método de tanteo, es útil para muchas ecuaciones sencillas y el único ingrediente necesario es el sentido común. Se recomienda que para balancear por tanteo es no tener en cuenta, al principio, los elementos que aparezcan en muchos de los compuestos participantes. Es decir se inicia con el elemento que aparece en menos ocasiones, se asignan coeficientes y así sucesivamente. El método óxido-reducción se aplica cuando un elemento (reactivo o producto) gana electrones, decimos que se reduce, cuando pierde electrones se oxida, (S. S. Zumdahl y S. A. Zumdahl, 2007). El Método Algebraico, es un método en donde a cada compuesto se asigna una variable y las relaciona entre si formando un sistema de ecuaciones que se pueden resolver de acuerdo a las habilidades del lector, por suma o resta, sustitución o usando matrices.

Existen actualmente algunos sitios webs que brindan ayuda a los estudiantes para realizar balanceos estequiométricos de ecuaciones químicas. La página web “Science MAgic”(2011) brinda un conteo de las páginas webs más usadas para balancear ecuaciones químicas dando una descripción de cada una, que a continuación se describen brevemente: SmartBalance es un sitio web complicado de manejar dado que requiere JAVA actualizado y las ecuaciones deben ser escritas según un formato ya establecido; ClassicChemBalancer programa orientado al balanceo didáctico y entretenido; Free Chemical Equation Balancer tiene una sencilla interfaz en la cual se introduce la ecuación en el campo de texto y tras pulsar en el botón de balancear, muestra otra ventana con la ecuación química balanceada (Science MAgic, 2011).

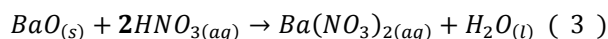
Existen algunas publicaciones en revistas para balanceo estequiométrico de ecuaciones químicas, entre ellas destaca el trabajo de J. M. Campanario (1995) quien realiza un balanceo estequiométrico planteando sistemas de ecuaciones y resolviéndolos con matrices usando un programa llamado Chemquawrit. S. K. Sen (2006) utilizó el software Cheminsolver resolviendo una reacción de 11 reactivos y 9 productos a partir de una matriz 21×19 . G. Benny (2002) utilizó un software llamado Quantum, aunque él lo usó como tutorial para balanceo de ecuaciones químicas.

Al realizar una revisión bibliográfica sobre ecuaciones químicas balanceadas se logró observar que existen combinaciones de coeficientes estequiometricos que pueden resolver distintas ecuaciones químicas las cuales en esta ocasión llamaremos patrones, los cuales clasificamos por medio del número de reactivos y productos, por ejemplo, una reacción con 2 reactivos y 2 productos:



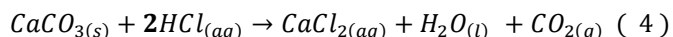
Como observamos en los reactivos, el coeficiente del MgO es **1**, el coeficiente del HCl es **2** y en los productos, el coeficiente de $MgCl_2$ es **1** y del H_2O es **1**.

Estos mismos coeficientes funcionan para la reacción:



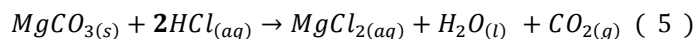
En los reactivos, el coeficiente son del BaO es **1**, el coeficiente del HNO₃ es **2** y en los productos, el coeficiente de Ba(NO₃)₂ es **1** y del H₂O es **1**. Funciona también si el primer reactivo es BeO, CaO y SrO, además también funcionan para cuando el segundo reactivo es HF, HBr y HI.

Otro ejemplo de 2 reactivos y 3 productos:



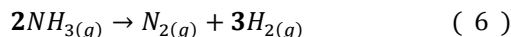
Como observamos en los reactivos, el coeficiente del CaCO₃ es **1**, el coeficiente del HCl es **2** y en los productos, el coeficiente de CaCl₂ es **1**, el coeficiente de H₂O es **1** y de CO₂ es **1**.

Estos mismos coeficientes funcionan para la reacción:

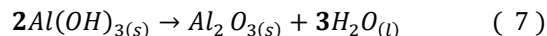


En los reactivos, el coeficiente del MgCO₃ es **1**, el coeficiente del HCl es **2** y en los productos, el coeficiente de MgCl₂ es **1**, el coeficiente de H₂O es **1** y de CO₂ es **1**. Funcionan también si el primer reactivo es BeCO₃, CaCO₃ y SrCO₃, además también funcionan para cuando el segundo reactivo es HF, HBr y HI.

Otro ejemplo de 1 reactivo y 2 productos:



Observamos en los reactivos, el coeficiente del NH₃ es **2** y en los productos, el coeficiente de N₂ es **1** y el coeficiente de H₂ es **3**. Estos mismos coeficientes funcionan para la reacción:



En los reactivos, el coeficiente del Al(OH)₃ es **2** y en los productos, el coeficiente de Al₂O₃ es **1** y el coeficiente de H₂O es **3**. Los mismos coeficientes funcionan también si el primer reactivo es AlF₃, AlBr₃, Ga(OH)₃, In(OH)₃, Fe(OH)₃, etc.

Además de estos ejemplos encontrados en donde un grupo de coeficientes estequiométricos funcionan para diversas ecuaciones químicas, se realizó una recopilación aproximadamente 200 combinaciones de coeficientes estequiométricos denominados patrones.

El corazón del proyecto se fundamenta en todos los patrones que se encontraron al revisar diferente bibliografía y el balanceo por número de átomos en los compuestos. El programa pide los números de átomos de cada compuesto y compara con todas las combinaciones de coeficientes si pueden balancear o no.

PARTE EXPERIMENTAL

En la primera parte del proyecto se realizó una investigación bibliográfica acerca del balanceo de ecuaciones de las reacciones químicas, referente a los métodos propuestos para encontrar los

coeficientes estequiométricos por ejemplo se revisaron los trabajos de W. R. Smith (2008), G. Benny, (2002), J. M. Campanario (1995), S. K. Sen (2006). Se buscaron ecuaciones químicas simples y complicadas para realizar la interfaz del programa. Se propuso un diagrama de flujo simple y lógico para su posterior codificación en JAVA. Se introdujo en el lenguaje el método que se utilizó para la resolución de las ecuaciones químicas usando variables, órdenes y condiciones.

Se plantearon todas las posibles combinaciones de ecuaciones químicas, como por ejemplo cuando una sustancia A considerada reactivo se transforma en B considerada producto, como el caso de la transformación de ozono a oxígeno molecular ($O_3 \rightarrow O_2$) y así sucesivamente se trabajaron todos los casos y en la tabla 1 se muestran algunos ejemplos.

Tabla 1. Casos, tipos de ecuaciones químicas y ejemplos.

Caso	Tipo de ecuación	Ejemplos
1	$A \rightarrow B$	$2O_3 \rightarrow 3O_2$
2	$A \rightarrow B + C$	$2NaN_3 \rightarrow 2Na + 3N_2$
3	$A \rightarrow B + C + D$	$5HNO_2 \rightarrow HNO_3 + H_2O + 2NO$
4	$A \rightarrow B + C + D + E$	$4C_3H_5N_3O_9 \rightarrow 6N_2 + 12CO_2 + 10H_2O + O_2$
5	$A + B \rightarrow C$	$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$
6	$A + B \rightarrow C + D$	$2C_8H_{18} + 25O_2 \rightarrow 16CO_2 + 18H_2O$
7	$A + B \rightarrow C + D + E$	$Ca + 2HCO_3 \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$
8	$A + B + C \rightarrow D$	$2CaO + 2SO_2 + O_2 \rightarrow 2CaSO_4$

Se utilizó la versión de Netbeans 8.0.1 con el uso del lenguaje JAVA, planteando un diagrama de flujo, posteriormente se desarrolló la codificación del programa y finalmente se realizaron las pruebas.

La segunda parte del proyecto es un estudio piloto del uso del programa con algunos alumnos del Instituto Tecnológico de Atitalaquia.

RESULTADOS

A continuación se muestra el diagrama de flujo general diseñado en este proyecto, figura 1.

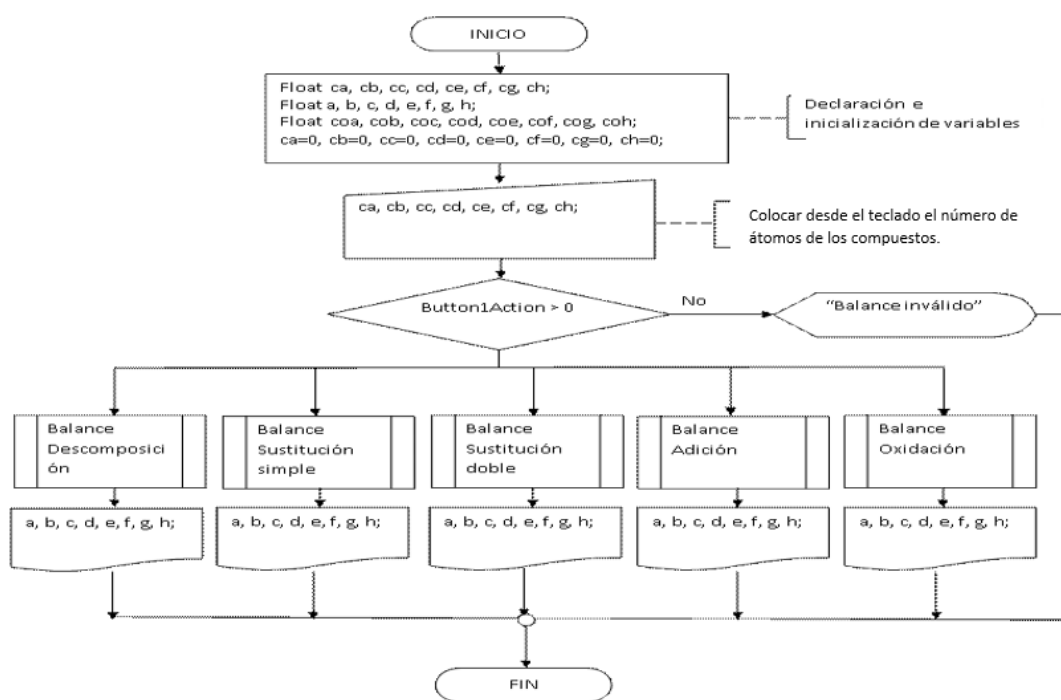


Figura 1. Diagrama de flujo general para balance estequiométrico de ecuaciones químicas.

En la figura 2 se muestra la interfaz del programa que está en proceso de hacerlo más amigable con el usuario.

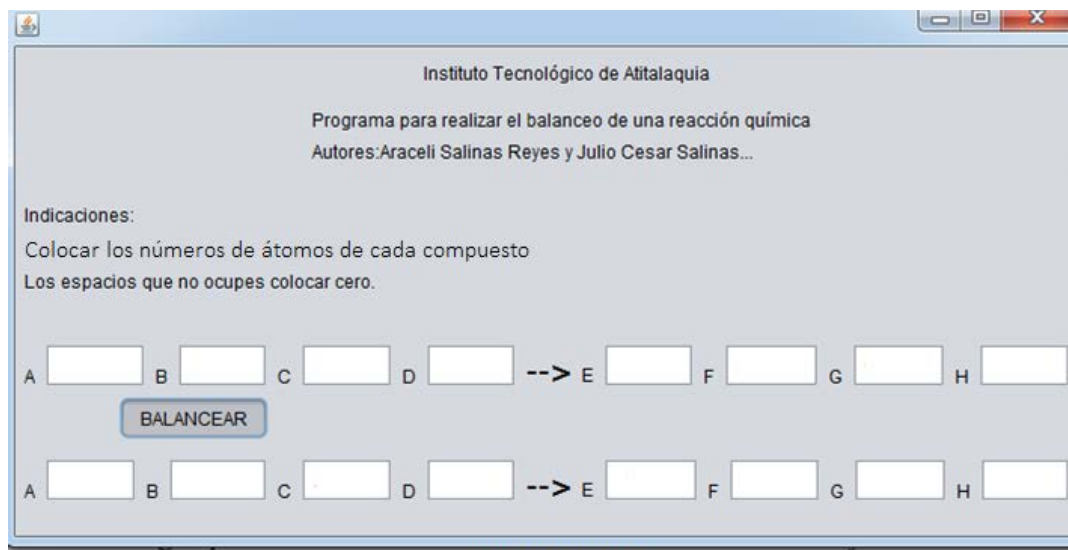


Figura 2 se muestra la interfaz del programa

En la segunda parte del proyecto se realizó el estudio piloto con la colaboración de alumnos de tercero y séptimo semestre, figura 3. Se desarrolló una actividad en la cual se ocupó el programa de balanceo estequiométrico, donde cada alumno resolvió diferentes ecuaciones químicas que desde su punto de vista eran difíciles para su solución.

Para iniciar la actividad a los alumnos se les proporcionó información acerca del uso del programa de balanceo estequiométrico, luego procedieron a introducir números de átomos de cada compuesto, después de dar clic en el botón balancear, el programa arrojó los coeficientes de cada compuesto de manera rápida.



Figura 3. Prueba piloto con algunos alumnos del Instituto Tecnológico de Atitalaquia del uso del software de balanceo estequiométrico.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un programa simple que basado en lenguaje JAVA, funciona para todas las combinaciones posibles de ecuaciones químicas. Es decir es capaz de encontrar los coeficientes estequiométricos de las ecuaciones químicas. Se está trabajando para optimizar la entrada de datos y que todos los usuarios sientan que el programa se pueda operar de manera intuitiva.

BIBLIOGRAFÍA

1. D. Skoog, "Métodos gravimétricos de análisis", en *Química Analítica*, 7 ed., (McGrawHill Interamericana, México D.F), 2005.
2. T. Brown, E. LeMay, B. Bursten, *Química la Ciencia Central*, 7 ed., (Pearson Education, México), 1998.

3. W.G. Daub, y W. S. Seese, *Química*, 8 ed., (Pearson Education, México), 2005.
4. R. Chang, W. College, "Átomos, moléculas y iones", en *Química*, 10 ed., (McGrawHill Interamericana., Colombia), 2002, capítulo 2, pp.41-43.
5. W. Smith, I. Sikaneta, "Interactive JAVA-based Web Site for Teaching Chemical Reaction", *Stoichiometry*, January, 2008.
6. S. Steven, S. S. Zumdahl, y S. A. Zumdahl, *Chemistry*, 7 ed., (Houghton Mifflin Company, Boston, New York, USA), 2007.
7. Science MAgic, página web: Cosasdequimicos.blogspot.mx/2011/09/balanceo-de-ecuaciones-quimicas-online.html, 2011.
8. J. M. Campanario, "Automatics Balancing of Chemical Equations", *Computers Chem.* Vol. 19, 2, 1995, pp 85 - 90.
9. G. Chepas, O. G. Iketchukwu, "Balancing of Chemical Equations using Matrix Algebra", *Journal of Natural Sciences Research*, Vol.5, 5, 2015, pp. 29 – 36.
10. S. K. Sen, H. Agarwal, S. Sen, "Chemical equation balancing: An integer programming approach", *Mathematical and computer modelling.* Vol.44, 2006, pp. 678–691.
11. Y. Wang, "Mathematical Models and Algorithms for Chemical Reaction Balancing in MATLAB", *Recent Advances in Mathematical and Computational Methods. In Proceedings of the 17th International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering (MACMESE '15)*.
12. G. Benny, J. Dale, "A cognitive modeling tutor supporting student inquiry for balancing chemical equations", *Chem. Educator*, Vol.7, 5, 2002, pp. 297–302.

ESCÁNER TRIDIMENSIONAL POR LUZ ESTRUCTURADA

Luis Armando García-de-la-Rosa, Juan Mario Hernández Yebra, José de Jesús Darío Luna Santillán, Ignacio de Jesús Segovia Domínguez, Sandra Marcela Munguía Gutiérrez.

Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato, coordinación de Sistemas Computacionales, Carretera Guanajuato-Puentecillas km 10.5, Puentecillas, CP 36252, Guanajuato, Gto., México.

lgarcia@itesg.edu.mx

RESUMEN

En este trabajo, se presenta el diseño y la implementación de un escáner tridimensional por medio de luz estructurada para la reconstrucción computacional a partir de objetos reales. Forman el escáner: una base giratoria, un proyector DPL y una cámara Web, la cual se coloca en un ángulo particular para evitar captar la sombra del objeto. Posteriormente se empleó la técnica de Fourier¹, a las imágenes capturadas, para obtener la fase envuelta, enseguida se aplicó la Transformada Discreta del Coseno² para desenvolver la fase y recuperar el perfil del objeto bajo estudio, en forma de nube de puntos (es necesario hacer el procedimiento a imágenes con el objeto y sin él, con la intención de discriminar el fondo). Al ser una técnica de proyección, se puede obtener el perfil de la mitad del objeto y se hace necesario girarlo (180°) para recuperar la otra mitad. Posteriormente se aplica un mallado para cubrir los puntos y así obtener un modelo 3D. Si el ángulo de giro se reduce, es necesario tomar más imágenes, sin embargo se corrige mucho la reconstrucción y se afina el modelo obtenido.

INTRODUCCIÓN

Un escáner tridimensional está basado en la reconstrucción, por medio de diversas técnicas ópticas [1,2], de las superficies que envuelven un volumen perteneciente a un objeto real. Dichas técnicas se pueden dividir en forma muy simple en dos tipos: técnicas de proyección de franjas y técnicas de barrido. En las técnicas de proyección de franjas, de alguna forma se genera un patrón de franjas con cierta resolución espacial (es decir el espaciado entre las zonas claras y oscuras) y se toma una imagen por medio de una cámara fotográfica (preferentemente digital), esta imagen una vez pasada a la computadora, se le realizan procedimientos matemáticos para obtener la fase de la luz, la cual está en relación directa con la distancia Z que separa el objeto de la cámara [1-3]. El costo computacional en esta técnica es muy elevando, sin embargo, es fácil de implementar y relativamente de bajo costo.

Las técnicas de barrido, se llevan a cabo por medio de fuentes de luz coherentes (láser por ejemplo) y una o más cámaras (visión n-focal) [4], por medio de un sistema trigonométrico simple, y tomando en cuenta parámetros de la cámara (distancia focal, tamaño de píxel, distancia entre cámaras, etc.), se puede encontrar la mencionada distancia Z. La complejidad computacional de esta técnica es menor que la anterior, sin embargo, se obtiene un punto, o utilizando la fuente de luz adecuada una "línea" sobre la superficie del objeto. Por lo que es necesario mover ya sea el sistema de captura o al objeto en sí, para poder recuperar más información. Esto le genera la complicación de minimizar la vibración para no meter ruido a la reconstrucción.

En ambas técnicas el conocimiento de los parámetros de la cámara es crucial para calcular adecuadamente las dimensiones del objeto. Debido a esto, es necesario un procedimiento de calibración para poder calcular los parámetros mencionados. Asimismo, ambas técnicas requieren post-procesamiento, ya que en realidad solo identifican una nube de puntos tridimensionales y es necesario realizar un mallado para recrear la superficie que envuelve al objeto. Lo que en sí es un problema a resolver e incrementa significativamente el costo computacional.

TEORÍA

Durante varias décadas se han venido desarrollando técnicas de análisis de franjas con la finalidad de reconstruir la información tridimensional de los objetos bajo estudio [1,2]. Los datos de las franjas son capturados y almacenados, posteriormente, los resultados derivados del proceso anterior pasan a la etapa de análisis. Las técnicas de proyección de franjas se basan, típicamente, en un arreglo similar al que se puede observar en la Figura 1 [2,3]. Donde se puede constatar que existe una distancia de separación h entre el proyector de las franjas y la cámara, además de que se forma un ángulo α , entre ambos, en el punto donde inciden en el objeto. El patrón de intensidad de las franjas se expresa escala de grises como: $I = 255 * \cos(\frac{2\pi}{p})$, siendo p el periodo (espacial) entre franjas.

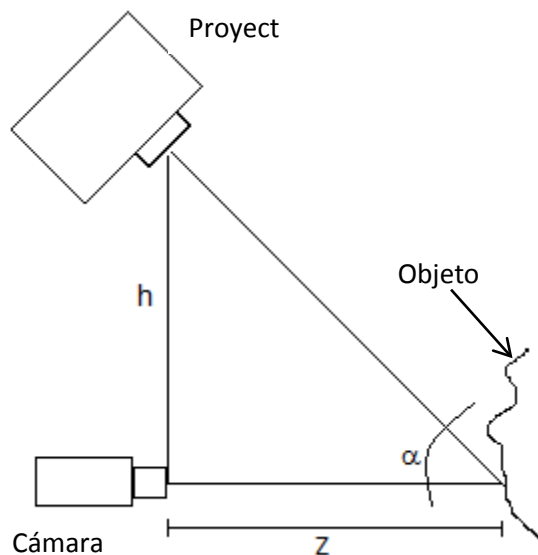


Figura 1. Sistema de proyección de franjas.

Una de las técnicas de análisis de franjas más comúnmente empleadas es la desarrollada por Takeda *et. al.*, la cual hace uso de la Transformada de Fourier [2]. Es importante recordar que la Transformada de Fourier emplea números complejos de la forma: $g(x) = \text{Re}\{g(x)\} + i \text{Im}\{g(x)\}$ (donde i es la variable compleja la cual es igual a $\sqrt{-1}$, igualmente Re e Im son la parte real e imaginaria respectivamente). Por otra parte, la fase ϕ , es el ángulo que se forma entre el eje horizontal (x) y una línea que desde el origen (0,0) hasta el valor del número complejo (graficado cartesianamente), y se puede obtener por medio de la siguiente expresión [2,3]:

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}\{g(x)\}}{\text{Re}\{g(x)\}} \right) \quad \text{Ec. 1.}$$

Esta fase tiene un efecto de envolvimiento, ya que si ambas partes (real e imaginaria) son negativas, el radio será el mismo como cuando ambas partes son positivas. Por lo tanto, la fase está comprendida dentro de los límites $0 \leq \phi \leq \pi$.

Ahora bien, la intensidad de un patrón de franjas puede escribirse de la siguiente forma [2,3]:

$$g(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos[\phi(x, y) + 2\pi f_0 x] \quad \text{Ec. 2.}$$

Donde $\phi(x, y)$ es la función de fase que se desea recuperar y f_0 es la frecuencia de la portadora que debe coincidir con la frecuencia espacial de las franjas.

Empleando la identidad $\cos(\theta) = \frac{(e^{i\theta} + e^{-i\theta})}{2}$, podemos reescribir la Ec. 2 como sigue [2,3]:

$$g(x, y) = a(x, y) + c(x, y)e^{2\pi f_0 x} + c(x, y)^* e^{-i2\pi f_0 x} \quad \text{Ec. 3.}$$

Donde $*$ denota el complejo conjugado y $c(x, y) = \frac{1}{2} b(x, y) e^{i\phi(x, y)}$.

Por otra parte, si por medio del arreglo experimental de la figura 1 se captura una imagen donde se proyecte el patrón de franjas mencionado, la cual llamaremos $g(x, y)$ y se le aplica la Transformada de Fourier, que a su vez llamaremos $G(f, y)$, y está definida como [2,3]:

$$G(f, y) = A(f_x, y) + C(f_x - f_0, y) + C^*(f_x - f_0, y) \quad \text{Ec. 4.}$$

En la figura 2, se puede apreciar gráficamente un corte transversal de $G(f, y)$, el cual está formado por al menos un lóbulo central y dos lóbulos laterales al central, que denotan las altas frecuencias (el patrón de franjas proyectado sobre el objeto).

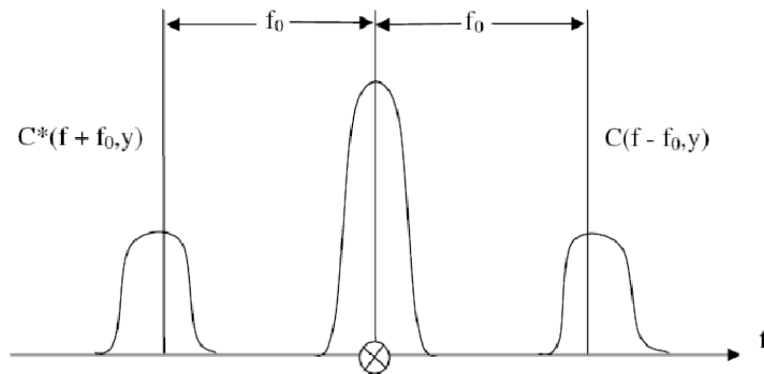


Figura 2. Espectro de Fourier $G(f,y)$.

Es indispensable aplicar un filtro (pasa bandas) alrededor de la frecuencia de la portadora para eliminar del análisis toda la demás información y recuperar la información adecuadamente.

Después habrá que calcular la transformada inversa de Fourier (sobre el espectro ya filtrado), para recuperar la función compleja $c(x,y)$ de la Ec. 3, apoyándonos de la Ec. 1 podemos escribir [2,3]:

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{\text{Im}\{c(x,y)\}}{\text{Re}\{c(x,y)\}} \quad \text{Ec. 5.}$$

La cual como ya sabemos está en relación directa con la distancia Z que se desea conocer.

Como ya se mencionó, la fase sufre el efecto del envolvimiento y es requerido aplicar una técnica de desenvolvimiento (phase-unwrapping). El principio básico del desenvolvimiento de fase es “integrar” la fase envuelta ϕ (obtenida en unidades de 2π) a lo largo de un camino de datos, en este caso, a lo largo de las filas y columnas de la matriz de fase envuelta. En cada pixel, el gradiente de la fase se calcula por diferenciación: $\Delta\phi = \phi_n - \phi_{n-1}$, donde n es el número de píxel. Si $|\Delta\phi|$ excede cierto umbral (típicamente π), entonces hubo un cambio brusco fase, es decir, el borde de la fase de esa franja tiene una discontinuidad de 2π . Este salto de fase se corrige sumando o restando 2π dependiendo del signo de $\Delta\phi$.

El principio más común usado para corregir los saltos de fase, está basado en el hecho de que la diferencia de fase entre dos puntos cualesquiera medidos integrando la fase a lo largo de un camino entre los dos puntos, es independiente de la ruta escogida mientras la ruta no pase a través de una discontinuidad de fase [3,6]. Este método es solamente adecuado para imágenes en las que se considera que el patrón de franjas está libre de ruidos, ya que de lo contrario, el algoritmo detectará cambios bruscos de fase o discontinuidad que probablemente sean solo ruido. Para patrones de franjas que presentan mayor ruido, existen otros métodos que se enfocan en resolver los problemas de inconsistencia de la fase.

PARTE EXPERIMENTAL

Primeramente, se procedió a montar un arreglo experimental similar al mostrado en la Figura 1, para poder capturar las imágenes. Se usó un proyector digital DPL y una cámara digital (montada en un trípode). Por medio de una aplicación de computadora se procedió a proyectar las franjas cuya distribución espacial estaba bien controlada. Enseguida, se capturaron las imágenes, como las que se muestra en la Figura 3.

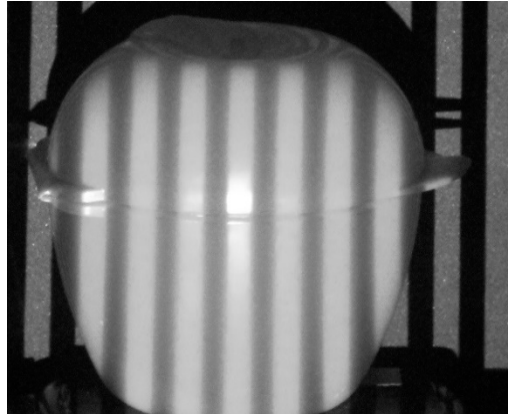


Figura 3. Imagen capturada donde se aprecia el objeto y las franjas proyectadas sobre él.

Después se procedió al análisis (interferométrico) por medio de la técnica de Takeda, aplicando la transformada de Fourier, aplicando el filtro y calculando la fase envuelta, la cual se muestra en la Figura 4.

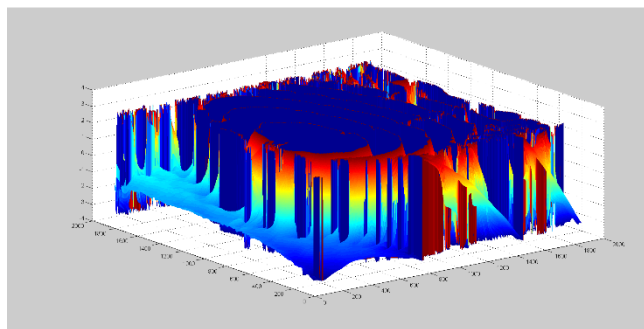


Figura 4 Fase envuelta obtenida después de aplicar el método de Takeda.

Como ya se mencionó, es indispensable aplicar una técnica de desenvolvimiento de fase para recuperar la información del objeto, detentando los saltos de fase en columnas y filas. El resultado de esto se puede observar en la Figura 5.

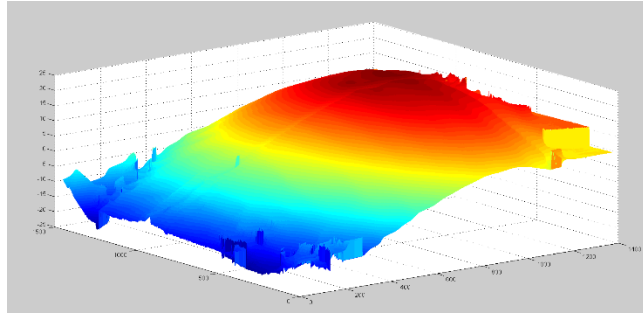


Figura 5 Fase desenvuelta.

CONCLUSIONES

La técnica de Takeda es fácil de implementar, sin embargo, gasta mucha memoria y tiempo de procesamiento. Ya que aplicar la transformada de Fourier y operadores diversos a grandes imágenes es de alto costo computacional. Sin embargo con una sola imagen se puede realizar los cálculos y al no tener elementos mecánicos se evitan complicaciones como las vibraciones, entre otras. Como ya se sabe la técnica de desenvolvimiento de fase empleada, no funciona adecuadamente con interferogramas ruidosos. Lo que desafortunadamente limita mucho su aplicación en problemas reales. Por lo que es adecuado emplear otros métodos más robustos.

Los resultados obtenidos al momento son satisfactorios ya que hemos adquirido el conocimiento para poder mejorar el arreglo experimental, mejorarlo y aplicarlo en otros contextos para la solución de problemas de la industria. Se queda como trabajo futuro implementar otros métodos de generación de franjas, técnicas de obtención de fase envuelta y de desenvolvimiento.

REFERENCIAS

1. M. Takeda, H. Ina, and S. Kobatashi, "Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computed-based topography and interferometry", J. Opt. Soc. Am., vol.72. (1982), pp. 156-160.
2. D. Malacara, M. Servin, Z. Malacara, "Phase- detection algorithms" in "Interferogram analysis for optical testing", Second Edition, Taylor & Francis ,2005,caps 6.
3. Y. Y. López-Domínguez, "Topometría y asociación de color real de los objetos", Tesis de maestría, Centro de Investigaciones en Óptica, León Gto. 2010.
4. J. A. Arzuza-Narvaez "Algoritmos de reconstrucción digital 3D y visualización de superficies a partir de una muestra de datos", tesis de licenciatura, Universidad Industrial de Santander, 2004.
5. J. Yáñez-Cajas, J. Musuña-Toapanta, L. Oñate-Cadena, B. Campusano-Nieto, "Diseño y construcción de un escáner bifocal para la obtención de una nube de puntos a través de filtrado y adquisición de imágenes", INGENIUS 11, 2014.
6. S. González-Ortega, "Comparación de algoritmos de desenvolvimiento de fase para la reconstrucción de imágenes 3d, usando patrones estructurados de franjas en el método de

perfilometría de Fourier”, Tesis de maestría, Universidad autónoma de Querétaro, Querétaro, Qro. 2014.

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ANTICORROSIVAS Y LUMINISCENTES DE UN COMPOSITO POLIMÉRICO DE HIDROXIAPATITA REFORZADO CON NANOTUBOS DE CARBONO

Giovanni García Dominguez, Aristeo Garrido Hernández, Nikte Yoliztli Martínez Palma, Ángel de Jesús Morales Ramírez, Genaro Iván Cerón Montes

División de procesos industriales, área nanotecnología, Universidad Tecnológica de Tecámac, UTTEC, Carretera Federal México, Pachuca Km 37.5, Col. Sierra Hermosa, Tecámac, Estado de México, CP 55740, MÉXICO. ari_teogh@hotmail.com

CIITEC, Instituto Politécnico Nacional, Cerrada de Cecati S/N, Col. Santa Catarina, Azcapotzalco, Ciudad de México, CP 02250, MÉXICO

RESUMEN

En la actualidad los materiales biocerámicos son de gran interés debido a sus diversas propiedades físico-químicas. La hidroxiapatita (HAp) ha sido estudiada por sus múltiples aplicaciones industriales, tales como intercambio iónico, catálisis, biomateriales y anticorrosión. Las propiedades finales de HAp dependen del tamaño de partícula, morfología y porosidad. La HAp dopada con tierras raras presentan propiedades luminiscentes, las cuales potencializan su aplicación. En este trabajo se prepararon polvos de HAp dopadas con Europio por el método hidrotermal, empleando como precursores nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y difosfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), y surfactantes SDS, Tritón-X y Pluronic para modificar la morfología. Los Resultados de infrarrojo muestran una banda de absorción situadas alrededor de 1030 cm^{-1} corresponden a vibraciones de estiramiento de asimetría de los grupos PO_4^{3-} . Existe un desplazamiento en la banda 1030 cm^{-1} debido a que la distancia de P-O varía, eso se confirma con un desplazamiento en los patrones de difracción cuando la hidroxiapatita es sintetizada en presencia de surfactantes. De acuerdo a los resultados de difracción de rayos X la hidroxiapatita presenta una excelente cristalización en la fase hexagonal, esto de acuerdo con la carta de difracción JCPDS 09-432, además no existe evidencia de fases secundaria, esto indica que las condiciones empleadas en la metodología experimental son ideales para la síntesis de hidroxiapatita. La morfología de HAp sintetizada sin surfactantes está constituida de fibras con longitud micrométrica y diámetro de alrededor de 100 nm, cuando se utiliza SDS como surfactante se observan los tamaños de partícula disminuyen considerablemente, sin embargo la morfología de alambres no se mantiene. Por lo cual las condiciones de síntesis y el uso de surfactante tienen un impacto directo en el crecimiento preferencial de los polvos de HAp ocasionado una morfología diferente. Las propiedades estructurales y morfológicas de los polvos de HAp se analizaron mediante difracción de rayos X y espectroscopia y microscopia electrónica de barrido. Las propiedades fotoluminiscentes fueron evaluadas mediante la espectroscopia de fotoluminiscencia. Los polvos de HAp se utilizaron para preparar recubrimiento anticorrosivo a base de transparente de poliuretano reforzados con nanotubo de carbono.

INTRODUCCIÓN

La hidroxiapatita ((HAp) $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) es un material biocerámico, que ha sido estudiada por sus aplicaciones industriales, tales como intercambio iónico, catálisis, biocompatibilidad y matriz de agentes dopantes. Las propiedades finales de HAp dependen del tamaño de partícula, morfología y porosidad. Polvos de HAp pueden obtenerse a partir de diversas fuentes de calcio y fósforo, puede ser sintetizada por una variedad de métodos, incluyendo rutas convencionales, tales como co-precipitación, hidrotermal, sol-gel, hidrólisis, reacción en estado sólido, entre otros [1]. El método hidrotermal permite la síntesis de cristales de hidroxiapatita con tamaños y formas definidas [2]. Se han obtenido diferentes morfologías por el método hidrotermal, tal como nanoalambres, nanocintas, esferas y prismas [3]. Las características del producto obtenido son altamente influenciadas por las variables de síntesis. La mayoría de los estudios actuales están orientados a investigar distintas vías de síntesis para la obtención de HAp con tamaño de partícula homogénea [4]. La hidroxiapatita está dentro de la clasificación de los cerámicos, por lo tanto, presenta alta estabilidad térmica y química, por lo cual es posible utilizarse en ambientes con alta temperatura, corrosivos y de alto desgaste mecánico. Además cuando la HAp se dopa con tierra rara, esta obtiene propiedades luminiscentes. Una de las tierras raras es el Europio el cual ha debido a su foto-estabilidad, alta estabilidad térmica, química, y alto rendimiento lumínico [5,6]. Sin embargo, sólo hay unos pocos informes sobre la síntesis de la HAp con propiedades luminiscentes para la potencial aplicaciones en iluminación en estado sólido. En particular, a nuestro conocimiento, no hay informes sobre la caracterización comparativa de la microestructura y la luminiscencia de las nanopartículas de HAp dopada con europio por método hidrotermal [7]. Actualmente existe una amplia gama de recubrimiento para materiales metálicos, sin embargo, estos recubrimientos normalmente están constituido de materiales poliméricos, los cuales sufren de foto degradación con los rayos UV cuando están expuestos, aunado a esto los polímeros presentan una baja dureza por lo cual después de aplicarse como acabado final pueden sufrir rayaduras Por otro lado, los polímeros tienen puntos de fusión bajos los cuales también el uso de estos recubrimientos está limitado a la temperatura de operación a la que están sometidos los componentes a recubrir. En este sentido, la HAp con una dureza de 5 en la escala de Mohs incrementará la dureza en el recubrimiento a base de polímero, también se sabe que el punto de fusión y la conductividad térmica permitirán una mayor estabilidad térmica al recubrimiento. Sin embargo se ha reportado que cuando se utilizan partículas cerámicas en una matriz polimérica esta disminuye la flexibilidad del recubrimiento, es necesario mantener dicha propiedad sin que las propiedades obtenidas con la adicción de HAp.

Este trabajo tiene como objetivo la obtención y caracterización de recubrimientos de HAp dopada con Europio sobre substrato una lámina de hierro comercial con el fin de evaluar las propiedades de corrosión, mecánicas, y de luminiscencia. La HAp al ser un cerámico poseen un gran dureza lo cual ocasiona que el recubrimiento se vuelva quebradizo, por lo que es importante aumentar la resistencia de los recubrimiento, por lo que en esta investigación también se contempla el uso de nanotubo de carbonos (NTC) los cuales poseen mayor resistencia que el acero más fuerte y tienen mayor flexibilidad lo cual puede ayudar a mejorar las propiedades finales del recubrimiento a base de transparente de poliuretano (TDP).

PARTE EXPERIMENTAL

Para la síntesis de HAP:Eu³⁺ (7%mol) se utilizaron soluciones al 0.5 M de CaNO₃•6H₂O, 0.5 M (NH₄)₂HPO₄, la solución que contiene el precursor aniónico se introdujo por goteo a la solución que contiene el precursor catiónico. Como dopante se utilizó Eu₂O₃ que se agregó a la solución catiónica. Se ajustó el pH de la solución final con NaOH, esta solución se vertió en autoclave revestido con Teflon® de 45 ml donde se efectuó la reacción hidrotermal a 200 °C durante 15 horas. Los polvos de hidroxiapatita fueron caracterizados por las técnicas de espectroscopia infrarroja, difracción de rayos X, microscopia electrónica de barrido y espectrometría de fluorescencia Para realizar el recubrimiento se utilizaron concentraciones de 1% en peso de polvos de HAp:Eu³⁺ y 0.1% en peso de NTC en relación al TDP. Las pruebas de anticorrosión se evaluarán mediante el empleo de una cámara salina, así también se determinará la adhesión de las mismas, con la finalidad de evaluar el comportamiento de los morfologías que se obtuvieron mediante las condiciones de síntesis además de evaluar las propiedades de luminiscencia al someter el recubrimiento a medios corrosivos.

Tabla 1 Recubrimiento sobre un sustrato comercial (composición NTC 0.1%)

Muestra	Recubrimiento
S	Sin recubrimiento
P	TDP
PH	TDP/HAp (sin surfactante)
PHC	TDP/HAp (sin surfactante)/NTC
PHCS	TDP/HAp(SDS) 0.5 % /NTC
PHCE	TDP/HAp (EDTA) 0.5% /NTC-5 mg
PHCS2	TDP/HAp (SDS) 1 % /NTC-10 mg
PHCE2	TDP/HAp/ (EDTA) 1% /NTC-10 mg

RESULTADOS

En la Figura 1 muestra las bandas de absorción características de HAp, las bandas situadas a 560 y 601 cm⁻¹ se asocian a los enlaces P-O, las bandas correspondientes a 963, 1022 y 1090 cm⁻¹ se relacionan al grupo PO₄³⁻, finalmente la banda situada a 876 cm⁻¹ se atribuye a la presencia de carbonatos [8,9]. En la figura 1c muestra el espectro de infrarrojo de los nanotubos de carbono, las bandas de absorción son características de los nanotubos de carbono oxidados [7].

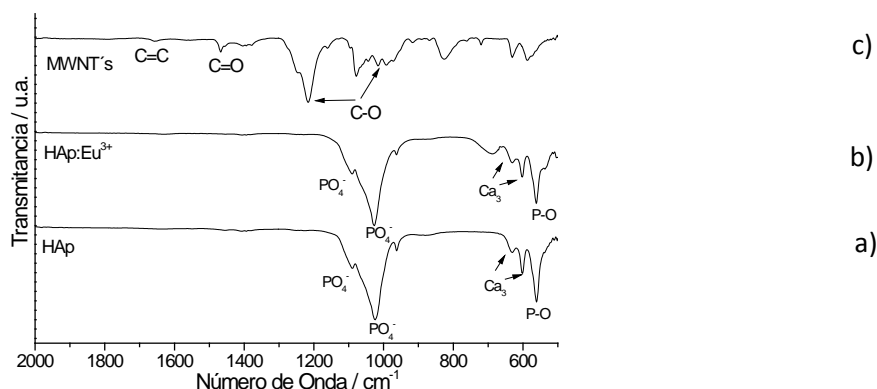


Figura 42. Espectro infrarrojo Nanotubos de Carbón (MWNT's), polvos de HAp.
 De acuerdo a los resultados de difracción de rayos X mostrados en la Figura 2 la hidroxiapatita presentan una excelente cristalización en la fase hexagonal esto de acuerdo con la carta de difracción JCPDS 09-432, además no existe evidencia de fases secundarias, esto indica que las condiciones empleadas en la metodología experimental son ideales para la síntesis de hidroxiapatita [10,11]. En la Figura 2 la difracción de rayos X revelan el plano (002) que confirman el nanotubo de carbono es de pared múltiple COD 96-153-8684. Por lo tanto de acuerdo a la información de los análisis de infrarrojo y DRX los nanotubos de carbono utilizados durante la experimentación son de pared múltiple oxidados.

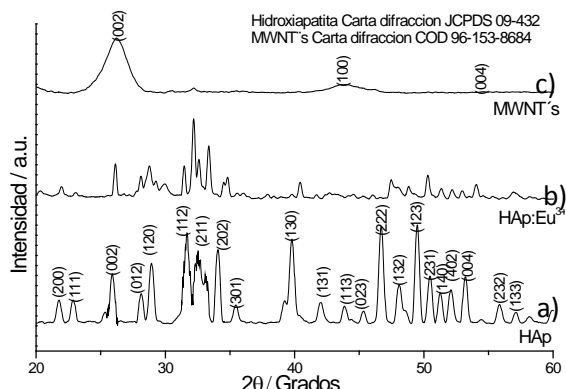


Figura 43. Difractograma nanotubos de Carbón (MWNT's), polvos de HAp.
 La fotoluminiscencia de HAp:Eu³⁺ (7%mol) se evaluó mediante espectroscopia de fotoluminiscencia, un método no destructivo, que es muy útil para analizar la eficiencia de la emisión y excitación de los materiales luminiscentes [12]. La Figura 3a muestra el espectro de excitación de los polvos de HAp:Eu³⁺ monitoreado a λ = 575 nm. Discute las picos

La Figura 3b muestra el espectro de emisión de los polvos de HAp:Eu³⁺ excitados a λ = 395 nm. Los picos de luminiscencia situados a 590, 615 nm corresponden a los niveles de transición del Eu³⁺, ⁵D₀ → ⁷F₁ y ⁵D₀ → ⁷F₂ respectivamente [13,14].

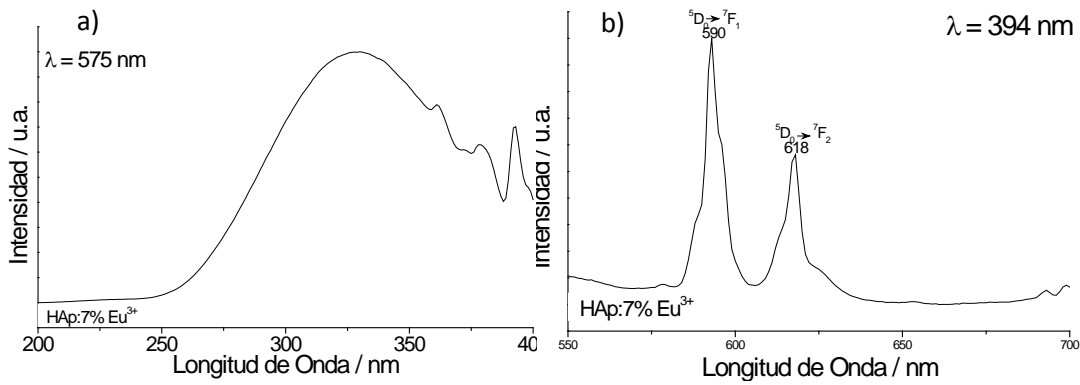


Figura 44. Espectro a) Excitación, b) Emisión, de polvo de HAp: 7%Eu³⁺

La Figura 4a Muestra la micrografía de HAp:Eu³⁺ se observa que los tamaños de partícula pequeños, y aglomeración, el control de la morfología y tamaño de partícula ya que de estos factores depende el área superficial. La Figura 4b corresponde a la micrografía de HAp sin dopaje, se observa una morfología de fibras lo cual representa que se pueden generar redes del cerámico dentro de la matriz polimérica.

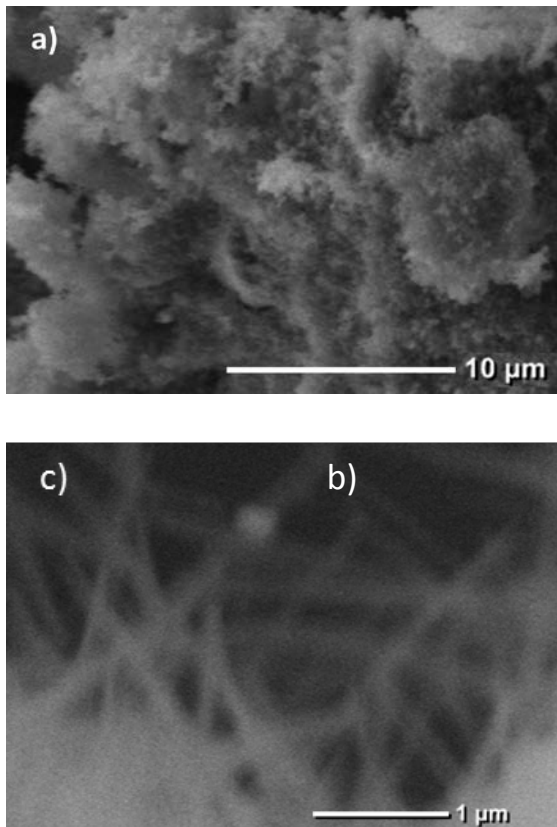
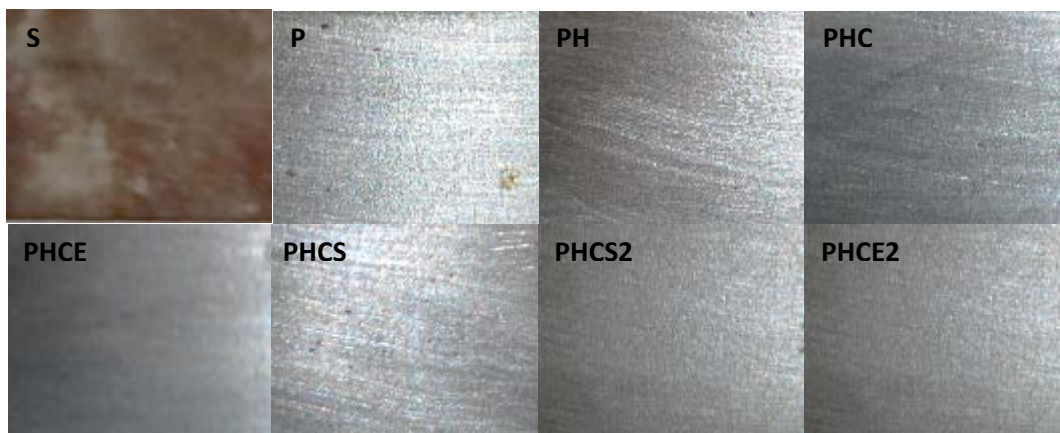


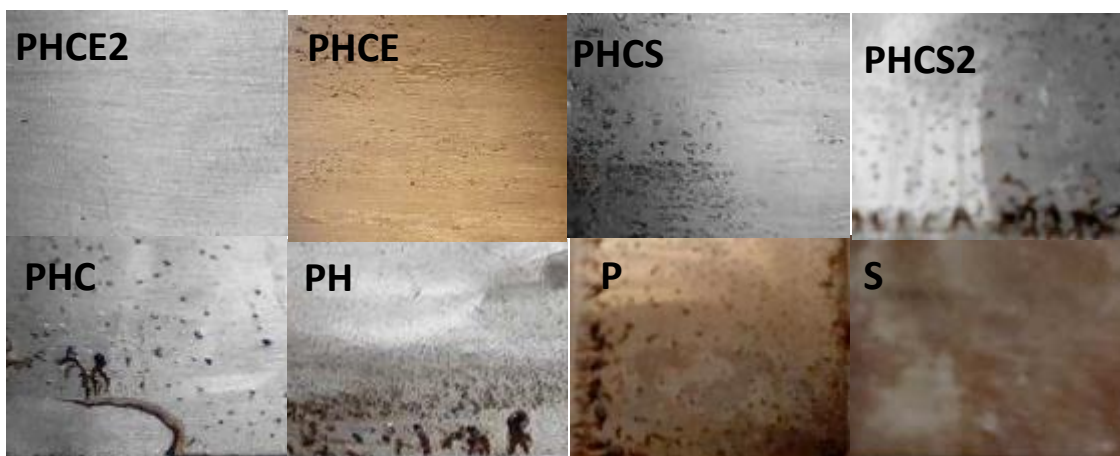
Figura 45. Micrografía a) polvo HAp: 7%Eu³⁺



La figura 5 muestra las láminas de acero comercial con recubrimiento. La lámina con la letra "S" corresponde a lámina control, sin recubrimiento, y las otras 7 láminas presentan un recubrimiento. Las láminas fueron almacenadas 2 meses y como se observa, la lámina control tiene una oxidación muy avanzada, por otro lado la lámina con el recubrimiento "P" inhibe en gran medida la corrosión, sin embargo es evidente los puntos de corrosión en la lámina. Los recubrimientos tienen diferentes texturas al tacto debido que la dispersión de los polvos de la HAP cambia de acuerdo a la morfología. El avance de la oxidación es diferente en cada recubrimiento, por lo que se observa que las morfologías empleadas en la elaboración del recubrimiento son parámetros importantes para lograr un recubrimiento que maximice las propiedades anticorrosivas. Se realizará un estudio detallada para determinar la corrosión mediante el empleo de una cámara salina.

Figura 46. Lámina de acero comercial sin recubrimiento y con recubrimiento (2 meses almacenamiento)

En la Figura 6 se muestra las láminas recubiertas con TDP/HAp (ver composiciones en tabla 1), las cuales fueron sometidas a un ambiente corrosivo solución de NaOH al 2.5M durante un mes. El comportamiento del compuesto fue diferente en cada composición, la muestra sin recubrimiento "S" presento picaduras y erosión del acero, la muestra recubierta solo con el polímero "P" presento menor corrosión a comparación de la muestra "S", sin embargo el recubrimiento perdió la adherencia al acero debido a que la interface entre el polímero y el acero fue afectado que los vapores de NaOH pasaron por los poros presentes en el polímero hasta llegar al acero, ya que no contaba con ningún reforzante que inhibiera la reacción del oxígeno y el metal.[16] Las muestras recubiertas con reforzante sin surfactante, presentan una mayor protección a los vapores, el polímero fue desgastado y se volvió frágil después del proceso de corrosión. Las muestras con surfactantes representan una mayor protección a la corrosión, la lámina con mayor resistencia al ambiente corrosivo fue "PHCE2" que está compuesta por Transparente de poliuretano, 10 mg de polvo de hidroxiapatita funcionalizada con EDTA y el 1% /de nanotubos de carbón lo cual muestra el papel que desarrolla el cambiar la carga superficial del cerámico y la concentración del mismo en el recubrimiento.



CONCLUSIÓN

Se sintetizaron polvos de HAp:Eu^{3+} por método hidrotermal. Las condiciones de síntesis fueron evaluadas; los enlaces característicos de las HAp se evidenciaron por la espectroscopia de infrarrojo, la estructura cristalina se demostró mediante la difracción de rayos X, la morfología se evidenció mediante MEB y la luminiscencia estudiada por espectroscopia de fotoluminiscencia mostro emisión con alta intensidad. Los recubrimientos a base TDP HAp:Eu^{3+} y nanotubos de carbono posee propiedades prometedoras.

BIBLIOGRAFÍA

1. S. Pramanik, A.K. Agarwal, K.N. Rai, & A. Garg, "Development of high strength hydroxyapatite by solid-state-sintering process". *Ceram. Int.* Vol. 33, (2007)419-426.
2. Yoshimura, M. and H. Suda, Hydrothermal Processing of Hydroxyapatite: Past, Present, and Future, in *Hydroxyapatite and Related Materials*, P.W. Brown and B. Constantz, Editors. (1994)
3. M. Sadat-Shojai, A.M. Mohamed-TaghiKhorasani, "Hydrothermal processing of hydroxyapatite nanoparticles, an experimental design approach" *Journal of Crystal Growth*, Vol. 361,(2012.)73–84,
4. D.J. Wood, and S.J. Milne, Hydrothermal synthesis of hydroxyapatite. *Journal of Physics: Conference Series*, 26(26): (2006) 268-271.
5. G.F. Wang, Q. Peng, Y.D. Li, Lanthanide-doped mamocrystals: synthesis, optical-magnetic properties, and application, *Acc. Chem. Res* 44 (2011) 322-332.
6. A. Escudero, M.E. Calvo, A. Rivera-Fernández, J.M. de la Fuente, Microwave-assisted synthesis of biocompatible europium-doped calcium-hydroxyapatite and fluoroapatite luminescence nanospindles functionalized with poly (acrylic acid), *Langmuir* 29 (2013) 1985-1994
7. M. Aufray, A.A. Roche, Residual stresses and practical adhesion: effect of organo-metallic complex formation and crystallization, *Journal of Adhesion Science and Technology* 20 (2006) 1889
8. C. Yang, P. Yang, W. Wang, S. Gai, J. Wang, M. Zhang, J. Lin, Synthesis and characterization of Eu-doped hydroxyapatite through a microwave assisted microemulsion process, *Solid State Sci* 11, (2009) 1923-1928.

9. S. Furuta, H. Katsuki, and S. Komarneni, "Porous hydroxyapatite monoliths from gypsum waste", *Journal of Materials Chemistry*, 8(12): (1998) 2803-2806.
10. S. Koutsopoulos, "Synthesis and characterization of hydroxyapatite crystals: a review study on the analytical methods", *Journal of Biomedical Materials Research*, 62, (2002) 600–612.
11. M.J Arellano-Jiménez, R. García-García, and J. Reyes-Gasga, "Synthesis and hydrolysis of octacalcium phosphate and its characterization by electron microscopy and X-ray diffraction". *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 70(2): (2009) 390-395,
12. M. Sadat-Shojai, "Preparation of hydroxyapatite nanoparticles: comparison between hydrothermal and solvo-treatment processes and colloidal stability of produced nanoparticles in a dilute experimental dental adhesive", *Journal of the Iranian Chemical Society*, 6, 386–392, 2009.
13. R.J. Wiglusz, R. Pazik, A. Lukowiak, W. Streck, Synthesis, structure, and optical properties of $\text{LiEu}(\text{PO}_3)_4$ nanoparticles, *Inorg. Chem* 50 (2011) 1321-30.
14. R.S. André, E.C. Paris, M.F.C. Gurgel, I.L.V. Rosa, C.O. Paiva-Santos, M.S. Li, J.A. Varela, E. Longo, Structural evolution of Eu-doped hydroxyapatite nanorods monitored by photoluminescence emission, *J. Alloys. Com* 531 (2012) 50-54.
15. A. Aninian, M. Solati-Hashjin, A. Samadikuchaksaraei, F. Bakhshi, F. Gorjipour, A. Farzadi, F. Moztarzaleh, M. Schmücker, Synthesis of silicon-substituted hydroxyapatite by a hydrothermal method with two different phosphorous sources, *Ceram. Int* 37 (2011) 1219-1229.
16. F. Mansfeld, M.W. Kending, S. Tsai, Evaluation of corrosion behavior of coated metals with AC Impedance measurements, *Corrosion* 38 (1982) 478.

LÁMPARAS DE ILUMINACIÓN SOLAR CON FIBRA ÓPTICA PLÁSTICA “” ILU GREEN

Ailin Alejandra Ramos Ramírez, Anai Julieta Hernández Villalbaso, Guadalupe Elizabeth Delgado Medina, Pedro Isaac Gámez Hernández, Abraham Olivares Arriaga y David Aarón Rodríguez Alejandro.

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato Carretera Irapuato - Silao km 12.5 Colonia El Copal.

ailinale2r@gmail.com; aolivares@ienergy.com.mx; david.rodriguez@itesi.edu.mx

RESUMEN

El desarrollo de la investigación propicio la creación de Ilu Green que es un producto que responde a las necesidades de iluminación en espacios interiores como escuelas u oficinas de manera responsable, propiciando el desarrollo de la tecnología verde. Este proyecto se conformó en diferentes fases con base documental y experimental. El prototipo de banco ha mostrado una capacidad de iluminación de 300 luxes aproximadamente por cada 4m², que permite el ahorro en consumo energético por iluminación promedio en oficinas y edificios hasta 50%. Se ha establecido un nivel de factibilidad técnica hasta TRL4. Ilu Green representa una alternativa viable para la iluminación de interiores de acuerdo a su aporte es valioso a la cantidad y a la calidad de la iluminación, además de contribuir al medio ambiente positivamente.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las nuevas tecnologías exige el uso de la sostenibilidad como herramienta principal, al combinar los elementos ecológicos y tecnológicos se propicia la creación de productos contribuyentes al medio ambiente actuando de manera positiva en el mismo y en la sociedad.

El uso de la electricidad es un requerimiento constante en las operaciones del ser humano. En la industria, representa un recurso indispensable para realizar casi cualquier actividad. Actualmente se han registrado un consumo de energía de las industrias en México de 107158 miles de millones watts por hora en el año de 2015 y para el 2016 se hizo un consumo de miles de millones de watts por hora de 109133A representando un aumento del 0.98% en miles de millones de watts por hora. [1]

Es por ello que el consumo de la energía genera elevados costos a las empresas y contribuye al aumento de contaminación del medio ambiente. Si bien, se puede considerar a la electricidad como una fuente de energía limpia, no se toma en cuenta que una porción de esta, es generada mediante la quema de combustibles fósiles, en centrales nucleares o mediante métodos que generan residuos que aumentan a la huella ambiental causada por el hombre. En este sentido cabe señalar que la producción y el consumo de energía generan efectos que se manifiestan en forma de calentamiento global, contaminación atmosférica, lluvia ácida, contaminación radiactiva o vertidos de hidrocarburos, entre otros, dando lugar a graves afecciones medioambientales [2]

Para las empresas es un reto encontrar formas de aminorar el impacto resultante de realizar su operación, y que, a su vez, esto no repercuta en el incremento de sus costos, por lo tanto, cause una baja en su rentabilidad. En este panorama, la búsqueda del uso de energías renovables,

amigables con el ambiente y que a su vez sean de un costo apegado a su requerimiento, resulta la mejor alternativa para estas organizaciones.

Es por ello que se pretendió con este proyecto elaborar una solución viable, medible, alcanzable y eficiente que además de efectuar positivamente respecto a los requerimientos ambientales, aprovechando las energías renovables como es la solar, en especial en la iluminación de interiores que requiere luz durante el día y la carga económica que la actividad genera.

DESARROLLO

Ilu Green constituye una alternativa práctica y eficiente para la iluminación espacios en interiores, un desarrollo tecnológico que se apega a los requerimientos de las leyes ambientales, representando una solución al consumo de luz y carga económica que este genera.

Ilu Green es un sistema de Iluminación mediante captación y concentración solar transmitida a través de fibra óptica plástica el cual también se enfocó en elaborar un sistema para poder instalarse en espacios ya construidos presentando una ventaja al adecuarse a los sistemas de iluminación artificial ya existentes sin modificar significativamente la construcción, la versatilidad para la conducción de luz permite tener un amplio margen de ubicación tanto del concentrador como del o de los emisores estableciendo como primordial el subsidio de iluminación espacios de interiores cerrados como escuelas, oficinas y centro de trabajos pequeñas.

Capta los rayos del sol y los concentra en fibras óptica de diámetro pequeño transmitiéndolos a distancias de hasta 30 metros donde se ocupe iluminación. Al captar los rayos propios de UV provenientes del sol, se pueden concentrar e ingresar a las fibras ópticas en forma de cable (12 fibras de medio milímetro), y se pueden llevar mediante reflexión los rayos hasta una distancia de 30 metros a un difusor de luz como una lámpara o un foco instalado en los techos de oficinas o escuelas, donde cada foco puede tener un rango de intensidad luminosa igual al de las lámparas ahorradoras actuales.

Este proyecto de iluminación presenta diversas ventajas competitivas antes los sistemas de iluminaciones convencionales y sistemas de iluminación ecológicos, uno de los más relevantes, debido a que este sistema no integra en su construcción ningún elemento que requiera de energía eléctrica. Además, de ser destacable la versatilidad la conducción de luz que genera al acoplarse a espacios de construcción ya estructurados, esto permite tener un amplio margen de ubicación, tanto del concentrador, así como también de los emisores.

FASE DOCUMENTAL

El desarrollo de la tecnología requiere en primera instancia, una inmersión en diversas fuentes de información confiable y competente de la misma manera que el desarrollo de este proyecto. Para el desarrollo de la investigación para la maduración tecnológica de Ilu Green se conformó primeramente en una investigación en artículos científicos, además de un análisis en registros de propiedad intelectual, patentes libres que contribuyeran a su desarrollo.

FASE EXPERIMENTAL

Con el apoyo de un sustento teórico y un marco operativo legal, se puede dar apertura a la fase operativa y aplicada del proyecto.

Modelo en 3d de los diseños propuestos para el prototipo.

Se analizó los distintos componentes que comprenden la construcción del prototipo pretendido, se estudió los distintos tipos de domos, tipos de concentradores de plato y Fresnel, se realizaron pruebas de captación solar, para ello se adquirió equipos de sistemas existentes a la vez de construir y comparar el sistema propuesto obteniendo como resultado el diseño de diferentes modelos 3D los cuales se sometieron a un análisis sus características vislumbrando su posible aporte al proyecto. De esta manera se propuso y eligió el desarrollo de un modelo en forma de domo con lentes concentradores de fresnell rectangulares.

Análisis y determinación de recursos.

Para iniciar con las pruebas correspondientes se adquirió diversos materiales entre los cuales encontramos las lentes Fresnell de tipo lineal, matricial y puntual, y rollos de Fibra óptica plástica de 1.5mm, 2.0mm y 2.5mm, posteriormente con el desarrollo del proyecto se adquirieron los materiales para armar el espacio

Construcción del concentrador de energía en domo de lentes fresnell rectangulares.

Este sistema de iluminación, se configuro por un concentrador tipo fresnell que se destaca por la sencillez de funcionamiento y su bajo costo. Capaz de enfocar la luz solar a un área menor, éste va ubicado considerando el máximo tiempo de sol posible durante el día. Además está preparado contra el deterioro para resistir agentes externos climáticos y grandes aumentos de temperatura.

Conexión entre el concentrador y fibra óptica.

Se diseñó el cable de fibra óptica, uno de los principales estudios elaborados, fue el determinar la cantidad de fibras que son necesarias y aunado a eso, se determinó el tipo de difusor adecuado para el sistema. Para el diseño, modelado y construcción del cable de la fibra óptica se adquirió diversos materiales para las pruebas y el diseño del prototipo.

Instalación del difusor de luz y fibra óptica de 30 m de longitud.

Una vez realizado el porta cable de 7 fibras ópticas plásticas se le coloco un difusor Led, este cable fue llevado varios metros para determinar la calidad de la luminosidad a diferentes distancias

Soportes para pruebas de Ilu-Green, frontal y posterior.

Una vez realizado y seleccionado el concentrador solar se diseñaron los soportes frontal y posterior.

Construcción del espacio de simulación de un centro de trabajo cerrado.

Para determinar la calidad de la luminosidad a diferentes distancias, para ello se construyó un cuarto oscuro de madera (Figura 10) de aproximadamente 2x2x3 metros, el cual fue construido e instalado en la planta alta de las oficinas de la empresa I-ENERGY (CONSORCIO CONTRU-COSS S.A. de C.V.)

Análisis y pruebas de las emisiones de luz a diferentes exposiciones en el día.

Una vez definidos los requerimientos y tipos de materiales con mayor grado de factibilidad, y analizados los resultados de las pruebas elaboradas, se realizaron las mediciones estandarizadas luminosidad y las de calidad para saber su vida útil y conocer sus posibles daños o malas instalaciones, con ellos se genera un reporte técnico económico del proyecto. En esta etapa se realizó un rediseño y optimización del prototipo, realizando las modificaciones pertinentes para su optimización, integrando elementos que no se tenían contemplados en la primera fase de su desarrollo, acoplado un seguidor solar, para mejorar el rendimiento del prototipo.

Orientación mercantil, análisis del mercado y competitividad del producto.

Considerando la capacidad energética del sol, la cual perdurará durante millones de años, así como la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, la cual permite que el territorio nacional destaque en el mapa mundial de territorios con mayor promedio de radiación solar anual, con índices que van de los 4.4 kWh/m² por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m² por día en el norte del país, resulta fundamental hacer uso de toda esta energía. [3]

El mercado objetivo es la zona geográfica denominada Bajío, la cual se encuentra localizada en la parte central de México. Esta zona involucra cuatro estados que son: Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí, los cuales han detonado un crecimiento económico que ha sido el más rápido del país y América Latina en los últimos años, la inversión extranjera creció 126 por ciento de 2003 a 2012 debido al asentamiento de la industria automotriz y aeronáutica en esta región de acuerdo con la secretaria de economía, equivalente a 11 por ciento del total de recursos que atrajo el país en su conjunto. [4]

Como competencia directa se tienen a dos empresas la cuales presentan sistemas similares a ILU-

Ilustración 2 A

GREEN,
además **Ilustración 1B**

no es tecnología mexicana, sin embargo si tienen distribuidores en el país.

RESULTADOS

- Analizando los materiales empleados para la construcción del prototipo se determinó una vida útil de 20 años con mantenimientos mínimos.
- Mediante pruebas de funcionamiento y análisis de materiales conductores se determinó que es posible transmitir la luz solar captada en un rango de 30 metros.
- Se genera un 0% de huella de carbono durante su uso.
- Presenta reducción de consumo de energía eléctrica con su implementación de forma inmediata, amortizando el costo de inversión del producto en un periodo promedio de dos a tres años.
- Al conducir la luz natural mediante varios conductores de fibra óptica se logra homogenizar las luces requeridas por cada espacio.
- Por los materiales utilizados y los requerimientos para su operación, no presenta riesgos de descargas eléctricas.
- El sistema impide que la radiación solar se transmita al interior del edificio.
- Por la información recopilada y análisis se determinó usar desde 7 fibras ópticas plásticas de 2.5mm y hasta 25 fibras ópticas de 2mm.

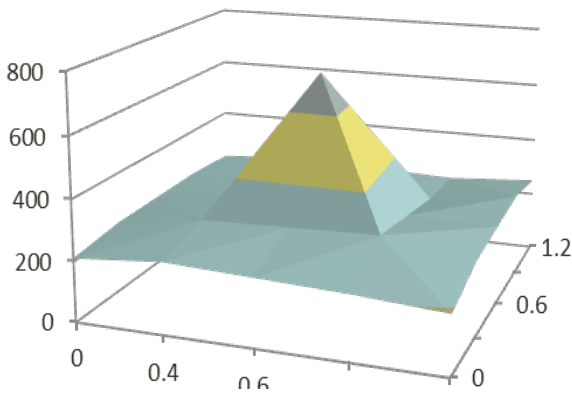


Ilustración 4D

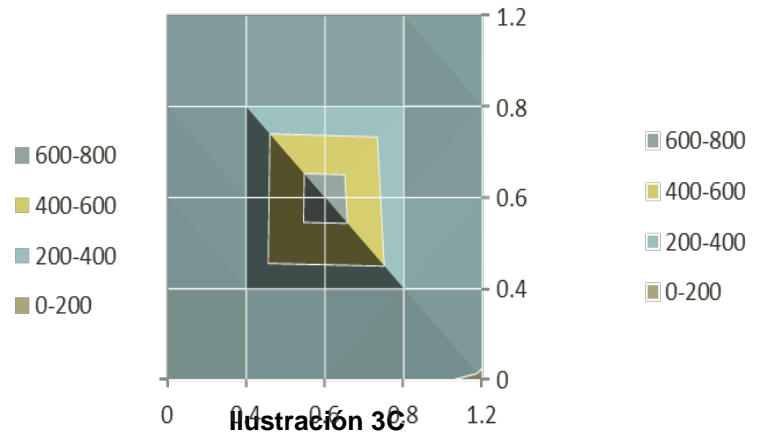
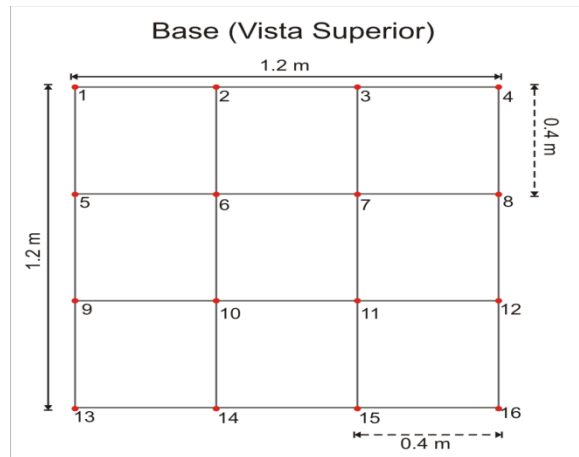
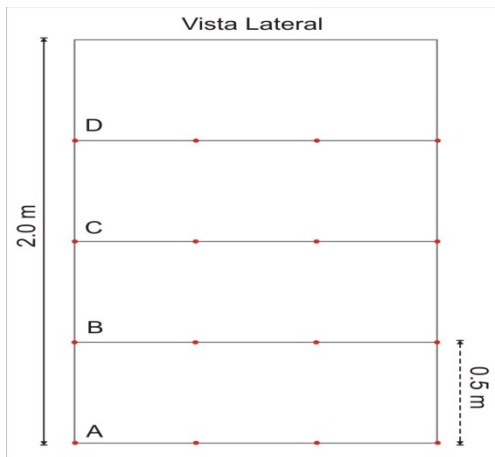


Ilustración 3C

- Al cable de 7 fibras ópticas plásticas se le colocó un difusor Led, este cable fue llevado varios metros para determinar la calidad de la luminosidad a diferentes distancias, para ello se construyó un cuarto oscuro de madera de aproximadamente 2x2x3 metros, el cual fue construido e instalado en la planta alta de las oficinas de la empresa I energy.
- Se caracterizó el captador solar de lentes Fresnel y se comparó sus resultados con la caracterización que se obtuvo de las lámparas LED convencionales y los equipos de nuestra competencia directa SolaTube. Para ellos se colocó en diferentes posiciones el luxómetro dentro del cuarto oscuro. (Véase Ilustración 2 A Y1 B)



- Inicialmente la idea era colocar un seguidor pasivo o sin seguidor con las pruebas realizadas se confirmó la importancia de contar con un seguimiento solar para optimizar nuestro sistema, por lo que el diseño final se muestra en la figura 13 donde se incluye el seguidor de bajo costo. Actualmente se cuenta con un prototipo de laboratorio de un sistema de iluminación solar con concentrador Fresnel (lentes de 35x35 cm) montado sobre un seguidor de bajo costo (con servomotor), cuya luz solar es distribuida mediante un cable de fibra óptica plástica de 7 fibras de 2.5mm los cuales nos proporcionaban hasta 300 luxes por cada 4m² en habitaciones cuyo techo se encuentra a 2 metros de altura. Se ha iniciado la construcción de un sistema de iluminación solar pre-comercial por lo que se pretende terminarlo en el siguiente año e incursionar en el mercado de iluminación ecológica.

- Las emisiones de luxes en el espacio de prueba se evaluaron en distintos puntos del espacio manifestando una homogeneidad de luz al medio día y las 2 de la tarde en donde el punto 6 (véase ilustración 1B) se alcanzó luxes por encima de los 600 y menor o igual a 800 luxes en promedio, y para los puntos 13,16, 4 y 1 (véase ilustración 1B) , se alcanzaron luxes de manera homogénea entre los 400-800 luxes (véase ilustración 3C y 4D).

Lo cual permite que se puedan realizar numerosas actividades dentro de espacios cerrados con características similares a las del cuarto de simulación.

Las manifestaciones de luxes obtenidos a distintas horas del día, tomando como referente desemejantes valores en Z como lo fueron 0, 0.5 y 1, con base a los datos obtenidos se puede deducir que a partir de las 12 del medio día se obtiene un incremento de los luxes emitidos por medio del difusor y este se va acrecentando constantemente hasta que muestra un decremento delante de las 4 de la tarde (véase la Ilustración 5F).

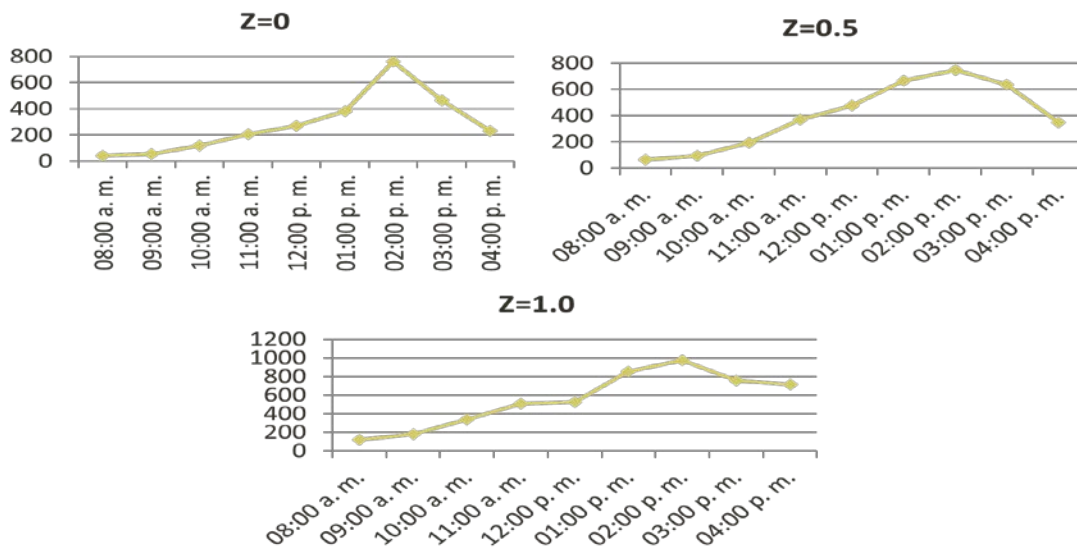


Ilustración 5F

- Se alcanzó un nivel de maduración tecnológica cuatro.
- Ilu Green se muestra competente dentro del mercado, ya que la inversión es mayor en corto plazo, pero no habrá gastos concurrentes eléctricos. Por lo que será un ahorro de con escasa diferencia del 18 % de gastos bimestrales en oficinas y escuelas en el mediano plazo.
- Ilu Green tiene un amplio potencial en el mercado, el precio final para el cliente será menor, al igual las refacciones para su mantenimiento.

CONCLUSIONES

El impacto que se logra con la contribución a una alternativa viable para la iluminación de interiores y su aporte es valioso a la cantidad y a la calidad de la iluminación, al mismo tiempo que cumple con las leyes ambientales al no emitir sustancias toxicas, es un producto verde, sustentable y amable con el medio ambiente con cero contaminación. Para la sociedad es una alternativa de iluminación que resuelve una problemática al utilizar luz natural, sin dañar el medio ambiente, y a la vez concientiza y fomenta el uso de éstas tecnologías, sin dejar de lado el impacto positivo de este

proyecto para las empresas. El cliente final tendrá resultados positivos al instalar este sistema de iluminación en sus edificios tanto para sus clientes como empleados, estudios realizados demuestran que con la iluminación solar natural aumenta la comodidad y bienestar de las personas.

BIBLIOGRAFÍA

1. [1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2017). Consumo de energía eléctrica reporte mensual. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/cuadrosestadisticos/GeneraCuadro.aspx?s=est&nc=652&c=33196>
2. [2] Uned biblioteca (2017). Energía y desarrollo sostenible. Obtenido de <http://www2.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm>
3. [3] Comisión intersecretarial de cambio climático (2012). *Programa especial de cambio climático 2006-2012*. SEMARNAT. Obtenido de <http://www.semarnat.gob.mx>
4. [4] Secretaria de economía <http://www.economia.gob.mx/eventos-noticias/informacion-relevante?start=50>

APLICACIÓN DEL MODELO BÁSICO DE LA CANTIDAD ECONÓMICA A ORDENAR (EOQ) COMO PARTE DE LA LOGÍSTICA EMPRESARIAL EN UNA MAQUILADORA TEXTIL (TLAXCO)

Ing. Martha Martínez Arroyo, Dr. Héctor Domínguez Martínez, Dr. Miguel Ángel Rodríguez Lozada,
M.A.D. Ma. Agustina Acela Dávila Jiménez

Instituto Tecnológico de Apizaco

RESUMEN

El modelo básico para la cantidad económica a ordenar (EOQ) tiene como objetivo determinar el lote económico y a la vez que se responde a dos preguntas claves: ¿Cuánto pedir? y ¿Cuándo pedir?, evitando las rupturas en líneas de producción por falta de materia prima y minimizando el costo de tener inventario excesivo en almacén (Heizer y Render 2009).

En base a lo anterior se elabora una propuesta de aplicación para el caso del inventario en una maquiladora textil, ubicada en el municipio de Tlaxco.

La aplicación del modelo para 16 insumos utilizados en la elaboración del estilo 431 textil inflamable, da como resultado lo siguiente: a) número esperado de órdenes para primer insumo 15 órdenes por año, segundo insumo 8 órdenes por año y tercer insumo 12 órdenes por año; b) tiempo esperado entre órdenes para primer insumo 16 días, segundo insumo 30 días, tercer insumo 21 días; c) cantidad a ordenar en cada pedido para primer insumo 29,600 unidades, segundo insumo 36,323 piezas y para el tercer insumo 25,684 piezas.

Con lo anterior se propone el lote óptimo a ordenar para cada insumo, optimizando el costo de ordenar y costo de preparar un pedido con el objetivo de minimizar el costo total.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación se desarrolló en una maquiladora textil, ubicada en el municipio de Tlaxco, donde se identificaron problemas de inventarios ya que el exceso de materia prima en almacén genera altos costos, así mismo se presenta ruptura de la cadena productiva por falta de materia prima, y las órdenes de pedido extraordinarias generan costos extra.

Por lo anterior se propone la aplicación del modelo Cantidad Económica de Pedido (EOQ) para mejorar la situación que presenta la empresa. Con la información proporcionada por el personal del área de ingeniería y a partir de la teoría del modelo EOQ, se define costo anual de preparar pedido, costo anual de mantener, cantidad óptima a ordenar, número esperado de órdenes, tiempo esperado entre órdenes, costo total anual e inventario de seguridad para 16 insumos que componen el producto terminado estilo 431 de textil inflamable. Con un nivel de servicio del 90%, en el inventario de seguridad para evitar las rupturas en producción.

TEORÍA

El modelo conocido como Cantidad Económica de Pedido (EOQ) intenta encontrar un equilibrio entre los costos de tener inventario y los costos de no tenerlo, ya que su objetivo general es minimizar el costo total (Chapman, 2006). Así mismo es una de las técnicas más antiguas conocidas que se utilizan para el control de inventarios (Heizer y Render, 2009).

De acuerdo a Krajewski y Ritzman (2000), el planteamiento para hallar el EOQ se basa en las siguientes suposiciones:

1. La tasa de demanda para el artículo es constante.
2. No existen restricciones para el tamaño de cada lote.
3. Los dos últimos costos relevantes son el correspondiente al manejo de inventario y el costo fijo por lote, tanto de hacer pedidos como de preparación.

4. Las decisiones referentes a un artículo pueden tomarse independientemente de las decisiones correspondientes a los demás.
 5. No hay incertidumbre en cuanto al tiempo de entrega o al suministro.
- El modelo EOQ constituye a menudo una primera aproximación aceptable del tamaño promedio de los lotes, aun cuando una o varias de las suposiciones no sean del todo aplicables (Krajewski y Ritzman, 2000).

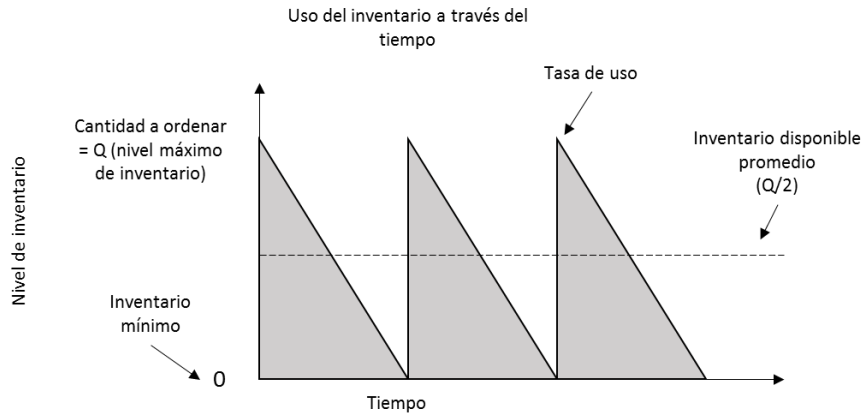


Figura 1: Uso del inventario a través del tiempo

Fuente: Heizer y Render (2009)

Para determinar el costo de ordenar y mantener y despejar Q, se utilizan las siguientes variables (Heizer y Render 2009):

- Q= Número de unidades por orden
- Q*= Número óptimo de unidades a ordenar
- D= demanda anual en unidades para el artículo en inventario
- S= Costo de ordenar o de preparación para cada orden
- H= Costo de mantener o llevar inventario por unidad y año

Costo anual de preparación = (Número de órdenes colocadas por año) X (Costo de preparación u ordenar por orden)

$$= \left(\frac{\text{demanda anual}}{\text{numero de unidades en cada orden}} \right) (\text{costo de preparacióm u ordenar por orden})$$

$$= \left(\frac{D}{Q} \right) (S) = \frac{D}{Q} S \quad 2-1$$

Costo anual de mantener = (Nivel de inventario promedio) X (Costo de mantener por unidad y año)

$$= \left(\frac{\text{cantidad a ordenar}}{2} \right) (\text{costo de mantener por unidad y por año})$$

$$= \left(\frac{Q}{2}\right)(H) = \frac{Q}{2}H \quad 2-2$$

La cantidad óptima a ordenar se encuentra cuando el costo anual de preparación es igual al costo anual de mantener; a saber:

$$\frac{D}{Q}S = \frac{Q}{2}H$$

Para despejar Q^* , simplemente se multiplican en forma cruzada los términos y se despeja Q en el lado izquierdo de la igualdad.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad 2-3$$

Para determinar el número esperado de órdenes colocadas durante el año (N) y el tiempo esperado entre órdenes (T) se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Numero esperado de órdenes} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Cantidad a ordenar}} = \frac{D}{Q^*} \quad 2-4$$

$$\text{Tiempo esperado de órdenes} = T \frac{\text{Numero de días de trabajo por año}}{N} \quad 2-5$$

El costo variable anual total del inventario es la suma de los costos de preparación y los costos de mantener:

$$\text{Costo total anual} = \text{Costo de preparación (ordenar)} + \text{Costo de mantener}$$

De acuerdo a los términos de las de las variables del modelo, el costo total TC se expresa como:

$$TC = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H \quad 2-6$$

Otra variable requerida para éste modelo es el inventario de seguridad, ya que para para brindar un nivel de servicio por encima del 50%, el punto de reorden deberá ser mayor que la demanda promedio durante el tiempo de entrega. Se calcula el inventario de seguridad multiplicando el número de desviaciones estándar, con respecto a la media que se requiere para aplicar el ciclo del nivel de servicio, z , por la desviación estándar de la demanda en la distribución de probabilidad, σ_L , durante el tiempo de entrega.

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_L \quad 2-7$$

Cuanto más alto es el valor de z , tantos más altos deberán ser el inventario de seguridad y el ciclo del nivel de servicio. Si $z = 0$, entonces no habrá inventario de seguridad y se presentaran faltantes en el 50% de los ciclos de pedido.

Para encontrar el valor de la varianza utilizamos la función de Excel, la cual se obtiene a partir de los datos históricos de la demanda en un periodo de tiempo, y con la formula =VAR.S(rango de datos).

Posteriormente se calcula el calor de la desviación estándar, σ_L , utilizando la función de Excel y a partir de la celda donde se ha calculado la varianza y con la formula = raíz(referencia de celda).

El valor de z , se obtiene a partir de las listas de la tabla normal, de acuerdo al nivel de servicio deseado, para un servicio de 90%. El número más cercano es .8997, que corresponde a un valor z de 1.28 (Krajewski y Ritzman, 2000).

PARTE EXPERIMENTAL

Para aplicar el modelo EOQ se elige un producto con demanda constante, siendo este uno de los supuestos necesarios para aplicar éste modelo. Posterior a un análisis se elige la prenda estilo 431 textil inflamable, misma que se compone de 16 insumos, mismos que se describen en la tabla 1:

Número	Clave	Descripción
1	8 RUL T95NB	TELA
2	12R2IND70NA	BOLSA
3	18 F1488	ETIQUET BORDADA
4	42 F460	HILO PARA OJAL
5	44 F4024	HILO PARA BOTON
6	46 F0006	BOTÓN
7	48 F2127	BOTÓN CON POSTE METALICO
8	52 F0742	FUSIONABLE
9	54 F0698	TELA DE PRETINA
10	58 F8490	ETIQUETA DE CARTON
11	80 F4232	HILO PARA PRENDA
12	84 F6607	CIERRE

13	92 F1263	ETIQUETA DE INSTRUCCIO
14	100 F8447	PLASTIFLECHA
15	102 F8580	ETIQUETA DE TALLA
16	110 F1513	ETIQUETA DE COMPOSICION

Tabla 1 descripción de insumos utilizados para la prenda estilo 431

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la empresa.

Se determinan las variables para cada insumo:

Q= Número de unidades por orden

Q*= Número óptimo de unidades a ordenar

D= demanda anual en unidades para el artículo en inventario

S= Costo de ordenar o de preparación para cada orden

H= Costo de mantener o llevar inventario por unidad y año

Insumo	D= demanda anual en unidades para el artículo en inventario	S= Costo de ordenar o de preparación para cada orden	H= Costo de mantener o llevar inventario por unidad y año
TELA	2225.115	107.78	21.9674
BOLSA	295500	107.78	0.0483
ETIQUET BORDADA	295500	107.78	0.0966
HILO PARA OJAL	88650	107.78	0.0056
HILO PARA BOTON	53190	107.78	0.0056
BOTÓN	295500	107.78	0.0422
BOTÓN CON POSTE METALICO	295500	107.78	0.2173

FUSIONABLE	3959.7	107.78	1.4725
TELA DE PRETINA	475755	107.78	0.9897
ETIQUETA DE CARTON	295500	107.78	0.0664
HILO PARA PRENDA	79194000	107.78	0.0056
CIERRE	295500	107.78	2.1726
ETIQUETA DE INSTRUCCIO	295500	107.78	0.0181
PLASTIFLECHA	295500	107.78	0.0024
ETIQUETA DE TALLA	295500	107.78	0.0181

Tabla .2: Variables que necesarias para cada insumo
Fuente: Elaboración propia en base a datos de la empresa

A continuación se aplican las formulas del modelo para dar solución a la cantidad óptima a ordenar que permitirá encontrar el lote óptimo que minimice los costos del inventario. En la tabla 3.3, se presentan los datos de: costos anual de preparar pedido, costo anual de mantener, cantidad óptima a ordena, número esperado de órdenes, tiempo esperado entre órdenes, Costo total anual e inventario de seguridad para cada insumo que compone el producto terminado.

Articulo	Costo anual del preparar	Costo anual de mantener	Cantida d óptima a ordenar	Número esperad o de órdenes	Tiempo esperad o entre órdenes	Costo total anual	Inventari o de segurida d
Fórmula aplicada	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7
TELA	1623.004	1623.004	29600	15	16	3246.008	2334.600
BOLSA	876.832	876.832	36323	8	30	1753.664	1550.199
ETIQUET BORDADA	1240.028	1240.028	25684	12	21	2480.056	1550.199
HILO PARA OJAL	164.040	164.040	58246	2	161	328.081	465.060
HILO PARA BOTON	127.065	127.065	45117	1	208	254.130	279.036
BOTÓN	820.201	820.201	38831	8	32	1640.403	1550.199

BOTÓN CON POSTE METALICO	1860.04 2	1860.04 2	17123	17	14	3720.084	1550.199
FUSIONABLE	560.556	560.556	761	5	47	1121.111	20.773
TELA DE PRETINA	5037.39 9	5037.39 9	10179	47	5	10074.79 8	2495.821
ETIQUETA DE CARTON	1028.17 7	1028.17 7	30976	10	26	2056.354	1550.199
HILO PARA PRENDA	4902.94 8	4902.94 8	1740897	45	5	9805.895	69.242
CIERRE	5881.96 9	5881.96 9	5415	55	4	11763.93 8	1550.199
ETIQUETA DE INSTRUCCIO	536.948	536.948	59315	5	49	1073.896	1550.199
PLASTIFLECH A	196.066	196.066	162440	2	135	392.131	1550.199
ETIQUETA DE TALLA	536.948	536.948	59315	5	49	1073.896	1550.199
ETIQUETA DE COMPOSICION	536.948	536.948	59315	5	49	1073.896	1550.199

Tabla 3: Solución de fórmulas del modelo EOQ, para cada insumo que compone el producto
Fuente: Elaboración propia en base a datos de la empresa

Para representar el uso del inventario a través del tiempo se muestra la figura 2, donde se considera primer insumo correspondiente a tela, de la tabla 3.

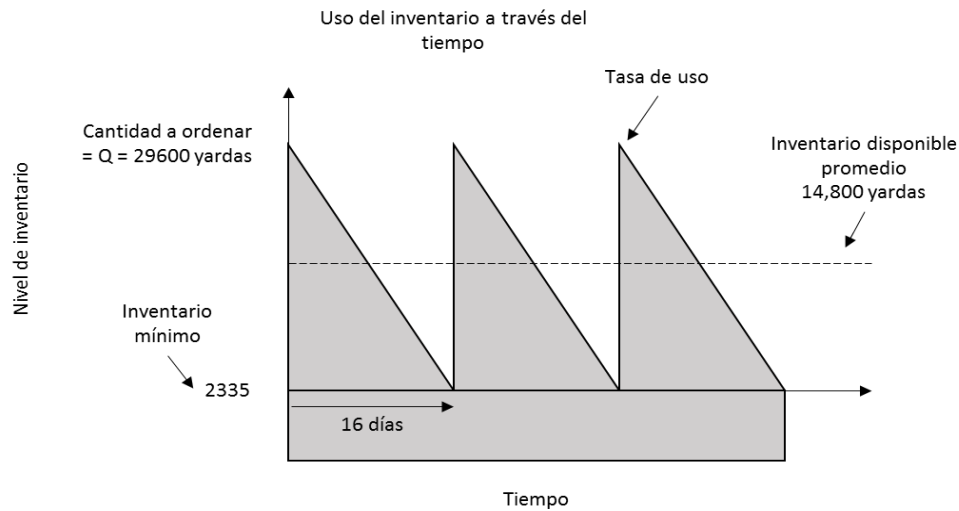


Figura 2: Uso del inventario a través del tiempo

Fuente: Elaboración propia a partir de Heizer y Render (2009) y datos de la empresa

RESULTADOS

Aplicando el modelo se llegaron a los siguientes datos, el costo total anual para los 16 insumos \$51,858.00, con un nivel de servicio de 90%, donde la empresa podrá realizar pedidos para los insumos de la siguiente manera: tela, 15 pedidos de 2,960 unidades; bolsa, 8 pedidos de 36,323 unidades; etiqueta bordada, 12 pedidos 25,684 unidades; hilo para ojal, 2 pedidos de 58,246 unidades; hilo para botón, 1 pedido de 45,117 unidades; botón, 8 pedidos de 38,831 unidades; botón con poste metálico, 17 pedidos de 17,123 unidades; fusionable, 5 pedidos de 761 unidades; tela de pretina, 47 pedidos de 10179 unidades; etiqueta de cartón, 10 pedidos de 30,976 unidades; hilo para prenda, 45 pedidos de 1,740,897 unidades; cierre, 55 pedidos de 5,415 unidades; etiquetas de instructivo, 5 pedidos de 59,315 unidades; plastiflecha, 2 pedidos de 162,440 unidades; etiqueta de talla, 5 pedidos de 59,315 unidades y etiqueta de composición, 5 pedidos de 59,315 unidades.

Los datos anteriores representan el lote óptimo para cada insumo que compone la prenda estilo 431 de textil inflamable.

5. CONCLUSIONES

El trabajo realizado aportó una forma de solución a los problemas más comunes que se presentaban en inventarios, dentro de la organización. Se cumplió el objetivo del modelo EOQ que era encontrar el lote óptimo, donde la suma del costo de ordenar y el costo de mantener inventario, debe ser el valor mínimo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chapman Stephen N., (2006) Planificación y control de la producción, Pearson Educación, 1era Edición, México, pp 234-236
2. Heizer J. y Render B., "Principios de Administración de Operaciones", séptima edición Pearson Educación, (México, 2009), Parte 3, pp. 491
3. Krajewski, L., y Ritzman, L., (2000) Administración de operaciones estrategia y análisis, quinta edición, Prentice Hall, México.

FUNCIÓN DE SUSTITUCIÓN PARA AES EN MODO ECB PARA CIFRADO DE IMÁGENES

Marco Tulio Ramírez Torres, Blanca Jazmín Espindola Paizano, Juan Daniel González Del Rio,
Luis Felipe de la Rosa García,

Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, UASLP

RESUMEN

En la presente investigación se muestra una función de sustitución especializada en conjuntos de datos altamente redundantes, como pueden ser las imágenes digitales. El algoritmo de cifrado AES (Advanced Encryption Standard) en modo ECB (Electronic Code Book) presenta problemas de seguridad perceptual, debido a la alta correlación adyacente de los píxeles. La función descrita en esta investigación utiliza la sincronización de autómatas celulares en conjunto con un proceso de retroalimentación, esto permite obtener diferentes resultados ante mismos datos de entrada. Una vez procesada la imagen se puede cifrar con el código AES en modo ECB, superando los problemas de seguridad. Una de las ventajas es que en esta modalidad es posible paralelizar el proceso de cifrado.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el envío de información como textos, imágenes, música, videos, juegos, aplicaciones, entre otros se realiza a través de diversos medios de comunicación, quedando expuestos a ataques, permitiendo el acceso no autorizado a todos los datos. Afortunadamente existen medidas de seguridad para proteger la información empleando técnicas como el cifrado y la esteganografía.

El cifrado o encriptación de imágenes es un área de estudio que requiere de conocimientos específicos y consideraciones dadas las características intrínsecas que las imágenes poseen. El propósito principal es volver ininteligible la imagen impidiendo así que el personal no autorizado pueda visualizar su contenido. Mientras que la esteganografía permite ocultar información dentro de portadores, logrando así pasar información de manera inadvertida ante los atacantes de un sistema. Ante la creciente demanda de seguridad por parte de usuarios, gobiernos y empresas, estas dos técnicas podrían ser la solución a la problemática actual.

El cifrado de imágenes es un área de estudio que requiere atender necesidades específicas de las imágenes digitales. Los cifradores convencionales como lo es el AES en modo ECB no brindan seguridad perceptual, es por eso que nos dimos a la tarea de diseñar una función capaz de intercambiar los valores de forma tal que se rompiera la correlación adyacente de los píxeles permitiendo cifrar los datos con el algoritmo AES en modo ECB. Una de las ventajas de usar este modo es que es posible paralelizarlo, lo que permitiría en un futuro optimizar el tiempo de cifrado.

TEORÍA

AES es un algoritmo de cifrado simétrico desarrollado por los estudiantes Vincent Rijmen y Joan Daemen de la Katholieke Universiteit Leuven en Bélgica, bajo el nombre "Rijndael" fue presentado

en 1997 al concurso organizado por el Instituto Nacional de Normas y Tecnologías (NIST) para elegir el mejor algoritmo de cifrado; el algoritmo ganó el concurso transformándose en un estándar en el año 2002, con algunos cambios fue posteriormente renombrado AES (Advanced Encryption Standard) y se convirtió en uno de los algoritmos más utilizados en la actualidad.

El estándar de cifrado (encriptación) avanzado AES, Advanced Encryption Standard (AES), es uno de los algoritmos más utilizados hoy en día, disponible para uso público. Por ser simétrico, se utiliza la misma clave para encriptar como para desencriptar, la longitud de la clave puede ser de 128, 192 o 256 bits según especifica el estándar, esto permite tres implementaciones conocidas como AES-128, AES-192 y AES-256.

El algoritmo AES en modo ECB (Electronic Code Book) divide los datos en bloques de 64 bits y cada bloque se cifra uno a la vez. Cifrados separados con diferentes bloques son totalmente independientes entre sí. Esto significa que si los datos se transmiten a través de una red, los errores de transmisión sólo afectarán al bloque que contiene el error. También significa, sin embargo, que los bloques pueden ser reorganizados, y esta acción sería pasar desapercibido. ECB es el más débil de los distintos modos porque no hay medidas de seguridad adicionales. Sin embargo, ECB es el modo más rápido y fácil de implementar, por lo que es el modo más común visto en aplicaciones comerciales.

PARTE EXPERIMENTAL

Durante el tiempo de desarrollo de la investigación se ha logrado conformar varios algoritmos, donde se han manipulado y transformado imágenes destacando algunas características o bien generando nuevas imágenes a partir de las originales. En esta investigación se desarrolló una función de sustitución basada en el fenómeno de sincronización de autómatas celulares, utilizando la regla local 90 [2]. Esta función toma por base un generador de números pseudoaleatorios, el cual ha pasado de manera exitosa las pruebas de aleatoriedad del NIST. Pero en esta ocasión se modificó el proceso de retroalimentación, permitiendo obtener diferentes resultados ante mismos datos de entrada. Por último, se propuso utilizar esta función en conjunto con el algoritmo AES. Una vez procesada la imagen con nuestra función se puede cifrar con el código AES en modo ECB, superando los problemas de seguridad perceptual.

RESULTADOS

Habiendo modificado los algoritmos y conjuntándolos, procedimos a realizar las pruebas para medir la calidad de cifrado, para esto realizamos el análisis de histogramas. Un histograma de imagen muestra cómo se distribuyen los píxeles en dicha imagen. Se calcularon los histogramas para la imagen del panda esta imagen tiene dimensiones de 512 × 512, y se consideró esta imagen por su alta correlación de datos.

En la Figura 1 se muestra la imagen original y el procesamiento de la imagen utilizando el algoritmo de cifrado AES (Advanced Encryption Standard) en modo ECB (Electronic Code Book), se puede percibir la alta correlación de los datos siendo posible descifrar la imagen fácilmente de manera perceptual.

Mientras que en la Figura 2 se muestra la imagen original y su versión procesada y cifrada con el sistema AES en modo ECB, además de los histogramas de distribución.

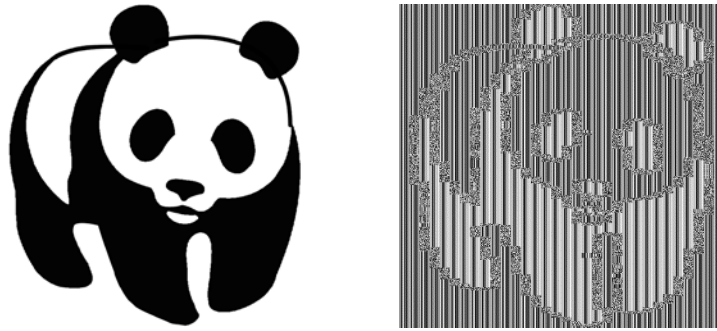
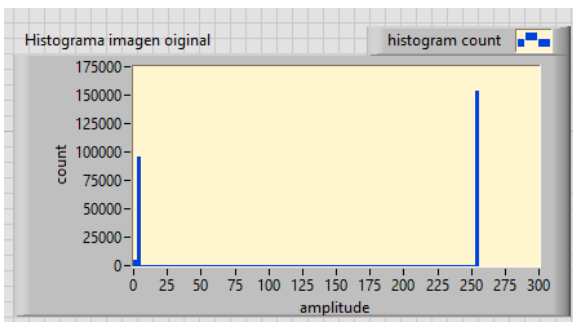
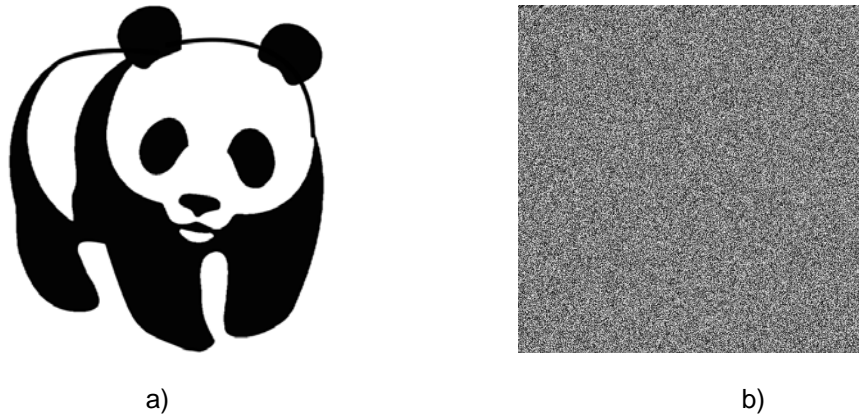
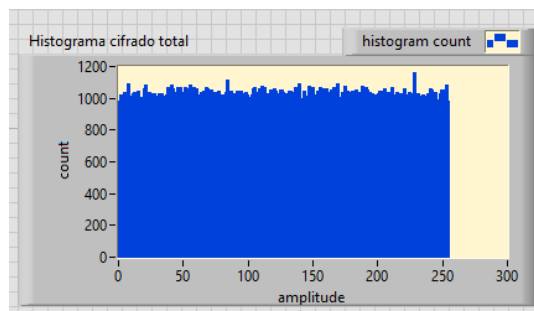


Figura 1. Procesamiento de la imagen utilizando el algoritmo AES en el modo ECB. En la Figura 2 se muestra la imagen original y el procesamiento de la imagen utilizando el algoritmo de cifrado CSAC en conjunto con el algoritmo de cifrado simétrico AES (Advanced Encryption Standard) en modo ECB (Electronic Code Book), a simple vista es imposible detectar la imagen cifrada.



c)



d)

FIGURA 2. Análisis de histograma para la imagen de prueba el panda. Fila superior: (a) y su respectivo histograma fila inferior: (c), imagen cifrada: (b) y su respectivo histograma: (d).

CONCLUSIONES

La nueva función de sustitución presenta un buen resultado en cuestión de cifrado imperceptible a vista humana. Hasta el momento no se incluyen pruebas de ataques porque el algoritmo AES ya ha sido validado ampliamente como se mencionó previamente. Continuando con la investigación

se espera llegar a trabajar con imágenes en RGB y alguna implementación en hardware para utilizar una versión en paralelo del sistema de cifrado AES y analizar su desempeño.

BIBLIOGRAFÍA

1. J. J. Esqueda Elizondo, L. E. Palafox Maestre, Fundamentos de procesamientos de imágenes. *Universidad autónoma de baja california & departamento de editorial universitaria*, 27-31, 2005.
2. M. T. RAMÍREZ TORRES, J. S. MURGUÍA & M. MEJÍA CARLOS, Image encryption with an improved cryptosystem based on a matrix approach. *International Journal of Modern Physics C*. Vol. 25, No. 10 1450054 (16 pages), 2014.
3. M. T. RAMÍREZ TORRES Application and implementation of an improved encryption system. (Tesis Doctoral) *Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P., México*, 2015.

CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE FORRAJE POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA SCOR

Daniel Armando Aguirre Ibarra, Brenda Elizabeth Delgado Vela, Mónica Alejandra Vela Aceves

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

RESUMEN

La mayoría de los productos agrícolas son perecederos, por tal razón, los intermediarios están forzados a tomar medidas adecuadas en las actividades relacionadas en el proceso de suministro y comercialización. Incluso el forraje, que es un alimento destinado para el ganado, se puede incluir dentro de esta problemática. La presente investigación fue desarrollada en el municipio de Ciudad Manuel Doblado, Guanajuato, y su objetivo consistió en identificar los eslabones más débiles en la cadena de suministro del forraje (CSF). La investigación se basó en una simulación con el software ARENA que fue combinada con la metodología SCOR (Supply Chain Operation Reference Methodology), lo cual permitió el análisis de los elementos estáticos de la CSF. La información se recolectó in situ por medio de muestras aleatorias, también se incluyeron entrevistas abiertas con productores e intermediarios. Como resultado se obtuvieron rutas de distribución alternas y puntos relevantes para definir la red logística de transporte. Esta investigación provee un marco referencial en la caracterización de las prácticas y procesos involucrados en la CSF. Los resultados obtenidos son de vital importancia para los agricultores de la región debido a que se resaltan los eslabones que representan un mayor problema para la sincronización de la CSF.

INTRODUCCIÓN

El municipio de Ciudad Manuel Doblado se encuentra en una región templada y semiárida de México, así que se cuenta con condiciones óptimas para la producción de alfalfa, que es un forraje que tiene una alta demanda ya que se utiliza como alimento básico para el ganado bovino productor de leche (Espinoza, et al., 1997). Sin embargo, como sucede en todo el país, la alfalfa que se produce presenta problemas para su comercialización, lo que ha resultado en que los intermediarios sean los que obtienen un margen desproporcionado en la cadena de valor (TIS Consultig Group, 2009).

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2014 el Estado de Guanajuato contaba con 45558 hectáreas sembradas de alfalfa, como se muestra en la Tabla 1.

Cultivo	Superficie sembrada (Hectáreas)	Superficie cosechada (Hectáreas)	Volumen (Toneladas)	Valor (Miles de pesos)
Alfalfa	45558	4558	3526130	2194962

Tabla 1. Alfalfa en Guanajuato
Fuente: INEGI (2014)

Específicamente en el municipio de Ciudad Manuel Doblado, según la información proporcionada por el Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria (SCIGA), se cuenta con 152 unidades de producción de alfalfa (Ver Tabla 2 y 3).

Clase: 111941	Municipio: 11008	Total
Total	53	53

Tabla 2. Áreas de control.
Fuente: SCIGA (2017)

Clase: 111941	Municipio: 11008	Total
Total	152	152

Tabla 3. Unidades de producción.
Fuente: SCIGA (2017)

En la Figura 1 se muestra un mapa del municipio de Ciudad Manuel Doblado donde en color verde se identifican las parcelas destinadas a la producción de alfalfa.

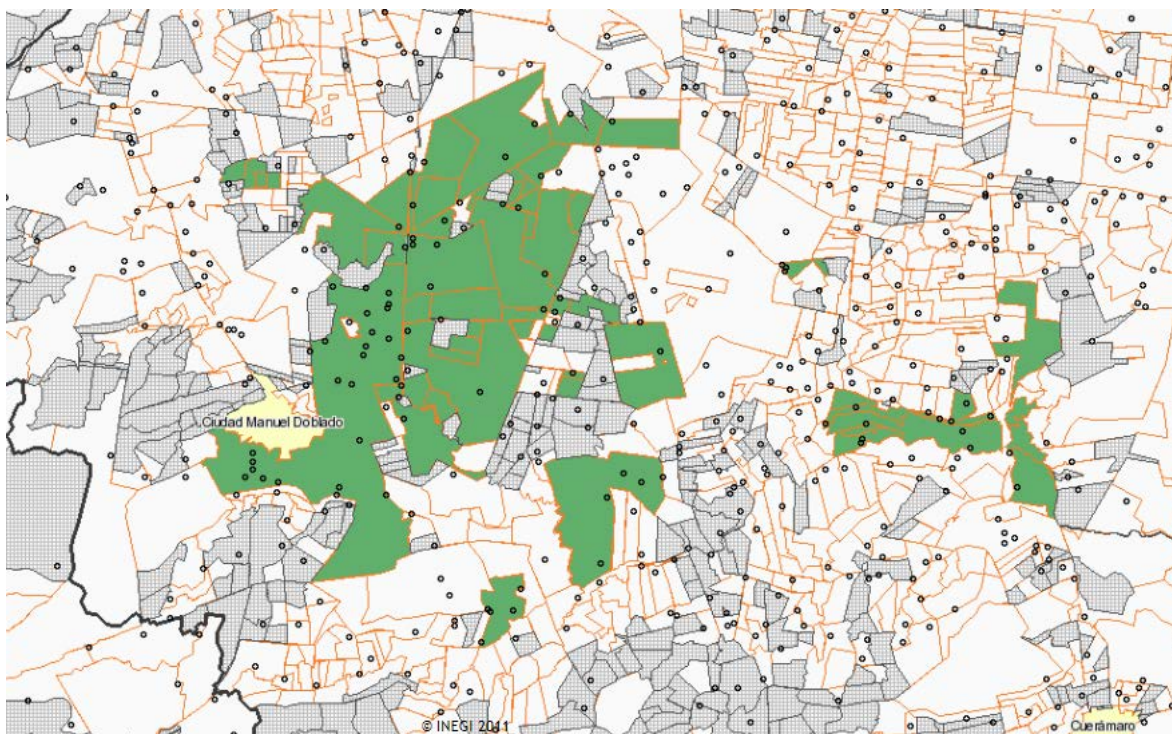


Figura 1. Producción de alfalfa.
Fuente: SCIGA (2017)

El forraje, como cualquier otro insumo de valor, cuenta con una cadena de suministro que en este caso se denomina: Cadena de Suministro del Forraje (CSF), la cual se refiere al proceso que se inicia desde la producción hasta que el producto llega a manos del consumidor. Basados en este hecho, pretendemos determinar la estructura compleja, diversa, dinámica y en continua evolución de la cadena de suministro en específico del forraje, debido a que cada cadena cuenta con características que pueden variar según los contextos sectoriales, nacionales e institucionales.

TEORÍA

La plantilla de la metodología SCOR (Supply Chain Operations Reference) fue desarrollada en 1996 por la firma de consultoría gerencial PRTM (Ntabe, et al., 2015) y más tarde fue endosado por el Supply Chain Council (APICS, 2017). El modelo SCOR es una herramienta de diagnóstico basada en una terminología y procesos estandarizados (Meyr et al., 2002) que ayudan a las organizaciones a lograr mejoras rápidas, eficiente y eficaz en el desempeño de la cadena de suministro (Ntabe, et al., 2015).

El modelo SCOR está basado en cinco procesos administrativos (Plan, Source, Make, Deliver and Return) y que se subdividen en categorías, elementos y actividades (Huang et al., 2005), además, consta de tres niveles jerárquicos (Persson, 2011) y define dos tipos de atributos de desempeño (SCOR, 2006) y cada atributo contiene un conjunto de métricas.

Las diferentes aplicaciones del modelo SCOR han sido descritas por Ntabe et al., (2015) y abarcan una gran variedad de industrias, por ejemplo: la industria petroquímica, sistemas de información geográficos, industria de la construcción, turismo, madererías, industria automotriz así como en la construcción de embarcaciones.

La simulación ha sido una herramienta útil para validar la información obtenida a partir de la aplicación de una plantilla SCOR, siendo el software ARENA el que se adapta a la metodología (Persson, 2011).

MATERIALES Y MÉTODO

La información para realizar la caracterización de la cadena de suministro se obtuvo a partir de entrevistas abiertas con los productores de alfalfa en las localidades de: El Tecuán, San José de Bellavista, La Escondida y Las Palmas; pertenecientes al municipio de Ciudad Manuel Doblado, ya que son zonas identificadas como productoras del forraje por el SCIGA.

La metodología utilizada para la caracterización de la CSF se muestra en la Figura 2 y se basó en la investigación realizada por Fernández et al., (2015) con sus respectivas modificaciones al incluir la metodología SCOR combinada con una simulación en ARENA.

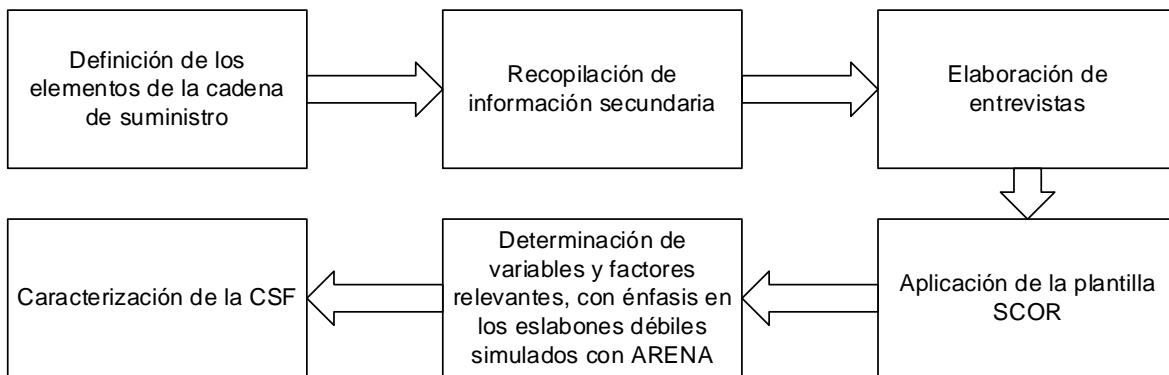


Figura 2. Esquemización del método de investigación
 Fuente: Adaptado de Fernández et al., (2015)

Para la evaluación de la CSF se utilizó la Revisión 11 de SCOR y la simulación de los eslabones débiles se realizó con el software ARENA Versión 15.

RESULTADOS

La Figura 3 describe la CSF para llegar a los clientes, que en un 85% son del Estado de Jalisco. El eslabón principal se encuentra entre 4 y 5, siendo el transporte el causante principal de que los costos se eleven. Como se mencionó, el 85% de los clientes se encuentran en el Estado de Jalisco, el intermediario distribuye el forraje en San Julián, San Miguel el Alto, San Diego de Alejandría y Unión de San Antonio.

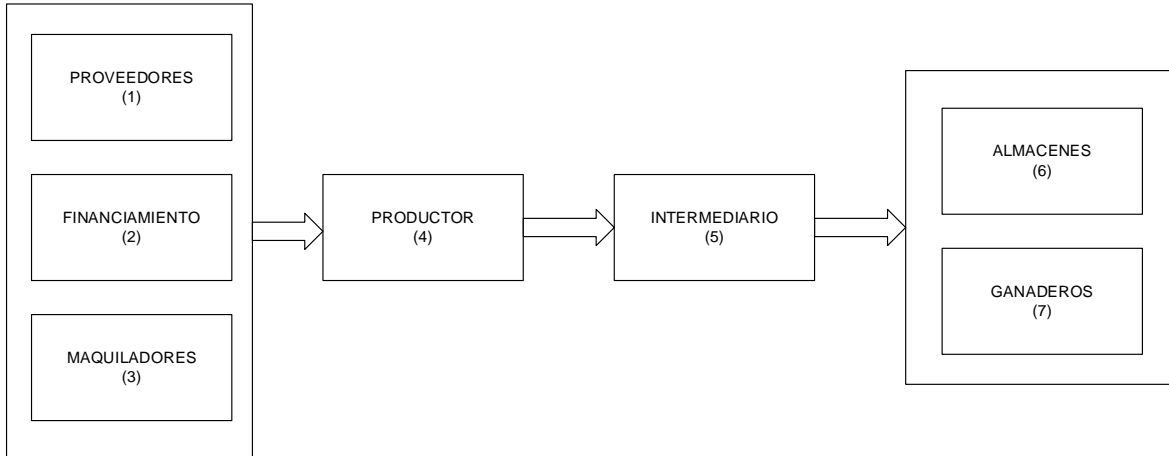


Figura 3. CSF
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4 se muestra la ubicación de los clientes y de las zonas productoras donde se realizó la investigación. En la Tabla 4 se muestran las distancias entre los nodos ya mencionados, para fines prácticos las zonas productoras de alfalfa El Tecuán, San José de Bellavista, La Escondida y Las Palmas se identifican como ZPA.

Origen-Destino	Distancia
ZPA - San José de Bellavista	71 km
ZPA - San Diego de Alejandría	51 km
ZPA - San Miguel el Alto	148 km
ZPA - Unión de San Antonio	66 km

Tabla 4. Distancias
Fuente: Elaboración propia

La CSF se ve afectada por las altas y bajas de producción, estas debido a situaciones meteorológicas, la humedad y la lluvia son factores críticos para realizar las actividades básicas en la producción de alfalfa en pacas, las cuales son: corte, alineado y empacado.

La recolección de la alfalfa por parte del intermediario se realiza en vehículos de carga de 3.5 toneladas. De lunes a sábado el intermediario llega a la ZPA e identifica las parcelas en las que hay pacas de alfalfa, ahí se realiza la negociación del precio de compra y se cargan las pacas de alfalfa.

La aplicación del nivel 3 de la metodología SCOR combinada con una simulación discreta muestra que el eslabón 4-5 es donde se cuentan con mayor variación en cuanto a los tiempos de respuesta y por tal razón se incrementan los costos en la CSF.

CONCLUSIONES

La CSF presenta problemáticas, las cuales se atribuyen a una nula planeación en el proceso de compra-venta que se representa en el eslabón 4-5.

Con las nuevas rutas de recolección a partir de la sincronización de la información, se pretende un ahorro en tiempo, manejo de materiales y combustible por parte del intermediario.

A partir de la metodología SCOR se puede determinar que es necesario:

- Definir indicadores de desempeño
- Evaluar el riesgo de la cadena de suministro

Es necesario aplicar la investigación y fortalecer el sector Agro-Logístico de la región, ya que en la mayor parte de la cadena existe la falta de información y capacitación en nuevas tecnologías para lograr una mejora sustancial. Por tal razón, en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato se está trabajando la propuesta de integrar un Laboratorio de Inteligencia de Negocios Agroindustriales, con el objetivo de proveer soluciones a la cadena agrologística por medio de modelos matemáticos basados en el análisis mega-datos en cubos de información administrados por TIC'S.

BIBLIOGRAFÍA

1. APICS. (27 de 04 de 2017). Obtenido de SCORE Framework: <http://www.apics.org/apics-for-business/products-and-services/apics-scc-frameworks/scor>
2. Espinoza Calzada, J. M., Ramos González, J. L. (1997). El cultivo de Alfalfa y su Tecnología de manejo. Folleto para Productores Núm. 22, Pabellón de Arteaga: Fundación Produce Aguascalientes A.C.
3. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Anuario estadístico y geográfico. México: INEGI.
4. TIS Consulting Group. (2009). Diseño de estrategias de mercado, logísticas y de adecuación de productos para la integración de la alfalfa mexicana en el comercio global de forrajes. Ciudad Delicias: SAGARPA.
5. Persson Frederick, "SCOR template-A simulation based dynamic supply chain analysis tool", Int. J. Production Economics Vol. 131, 2011, pp. 288-294
6. Fernández Lambert, G., Aguilar Lasserre, A., Martínez Castellanos A., Ruvalcaba Sánchez, M., Correa Medina, J., Martínez Flores, J. "Contexto y caracterización de la cadena de suministro del Limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en Veracruz-México", Conciencia Tecnológica Núm. 50, 2015, pp. 21-31.
7. Ntabe, E.N., LeBel, L., Munson, A.D., Santa-Eulalia, L.A., "A systematic literature review of the supply chain operations reference (SCOR) model application with special attention to environmental issues", Int. J. Production Economics Vol. 169, 2015, pp. 310-332.
8. INEGI. (17 de Enero de 2017). *Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria*. Obtenido de <http://gaia.inegi.org.mx/sciga/viewer.html>
9. Meyr, H., Rohde, J., Stadler, H., "Basics for modelling", Supply Chain Management and Advanced Planning, Second ed. Springer-Verlag, Berlin, pp. 45-70
10. Huang, H.S., Sheoran, K.S., Kestar, H., "Computer-assisted supply chain configuration based on supply chain operations reference (SCOR) model", Comput. Ind. Eng. Vol. 48, pp. 377-394.

EVALUACIÓN DE PROBLEMÁTICA DE REACTOR DE FLUJO ASCENDENTE DE EMPRESA PRODUCTORA DE GRENETINA

Sofía Balderas Salas, Andrea Cordoba Castro, Javier Páramo Vargas, Claudia Serrano Yáñez

Universidad Tecnológica de León. E-mail: jparamo@utleon.edu.mx

RESUMEN

La empresa de interés produce grenetina, generando agua residual con alto contenido orgánico, como lo indican los valores de DBO de 3474 mg/L y DQO de 7392 mg/L; la cual es tratada en 3 etapas: fisicoquímica, anaerobia y aerobia. La anaerobia, conformada por 4 reactores de flujo ascendente (RAFAs), tiene bajas eficiencias de remoción de DQO (20 a 40%). La caracterización del lodo de 3 de los reactores mostró el predominio de material inorgánico, con porcentajes de sólidos totales fijos de 75.5%, 84.5 % y 78%, para los reactores 1, 3 y 4 respectivamente. Se realizaron pruebas de actividad metanogénica específica (AME), usando una sustancia nutritiva como sustrato y del potencial bioquímico del metano (PBM) con el agua residual; ambas basadas en el método volumétrico. Se usó como inóculo lodo del reactor 3 (22883.3 mgSSV/L) y de un reactor externo (50579.15 mgSSV/L). En el primer caso, se obtuvieron valores promedio para AME de 0.037 gDQO/gSSV•d y para PBM de 0.039 gDQO/gSSV•d; mientras que en el segundo, valores de 0.115 gDQO/gSSV•d y 0.094 gDQO/gSSV•d respectivamente. En las pruebas de PBM con lodo del RAFA3, se alcanzó una remoción de DQO entre 47 y 62%; mientras que con el otro inóculo varió entre 70 y 75%. El proceso de PBM fue más rápido con inóculo externo, estabilizándose en promedio en 6d, contra 22 d del otro.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el cuidado del agua es una necesidad a nivel mundial, dada su poca disponibilidad; pues menos del 0.001% de su total es agua dulce superficial accesible y la distribución desigual en el planeta [1]. Esta problemática es común a la ciudad de León, Guanajuato, cuyo suministro de agua depende fundamentalmente de pozos, con un abatimiento del acuífero anual entre 1 y 2 m [2]. El tratamiento del agua residual para cumplir con los límites permitidos de descarga o posibilitar su reúso, contribuye a la atención de este problema; siendo una de dichas alternativas, el tratamiento anaerobio, usado para aguas residuales de alta carga orgánica. El tratamiento anaerobio es un proceso de depuración de agua residual, mediante microorganismos que metabolizan la materia orgánica y los sólidos en ausencia de oxígeno disuelto. Conforme la DBO es eliminada, se genera un biogás rico en metano, un combustible de alto contenido energético [3].

La producción de grenetina es una actividad que demanda gran cantidad de agua, por lo que el aporte que las empresas de este sector realicen al cuidado del agua, es muy importante. La empresa productora de grenetina, considerada en este estudio tiene un proceso de tratamiento de aguas residuales, cuya parte anaerobia tiene una eficiencia menor al 40% [4]. Pachuca, 2016, relacionó esta problemática, con la baja concentración de microorganismos activos en el lodo de los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA's). Actualmente los 4 reactores anaerobios están funcionando, pero con bajas eficiencias, por el predominio del material inorgánico. Es necesario aumentar la eficiencia de esta etapa del tratamiento para reducir su efecto negativo en las siguientes etapas del mismo.

En este proyecto como parte de la atención al problema referido, se analizó el tren de tratamiento que se le da al agua residual proveniente del proceso de producción de la grenetina, se caracterizó el agua residual y lodo actual en puntos representativos del sistema, se cuantificó la actividad metanogénica específica (AME) del lodo y se evaluó el potencial bioquímico de metano del lodo (PBM). Estas últimas pruebas se realizaron con lodo de uno de los reactores, el número 3 (RAFA3) y lodo de otra planta de tratamiento.

TEORÍA

El hombre ha tratado las aguas residuales a lo largo de su historia, con el objetivo de remover los contaminantes presentes en ellas; mezclas complejas de compuestos orgánicos e inorgánicos; primero para satisfacer sus necesidades y actualmente, para cumplir además con disposiciones legales. Se usaron primero tratamientos físicos, que permiten remoción de sólidos suspendidos, aprovechando las diferentes densidades de los materiales; remoción que puede representar hasta un 30% de la contaminación total. Posteriormente, por observación de lo que sucede en la naturaleza, surgieron los tratamientos biológicos, que mediante el uso de microorganismos (bacterias saprófitas fundamentalmente), en condiciones aerobias o anaerobias, pueden remover hasta el 95% de la contaminación de naturaleza orgánica presente. La materia orgánica es transformada en dióxido de carbono, agua y más microorganismos, en la alternativa aerobia; mientras que en las técnicas anaerobias, se da la transformación a metano, dióxido de carbono y más microorganismos, principalmente.

El tratamiento anaerobio es útil, particularmente para efluentes con alta carga orgánica, dada la transformación de gran parte de ella en biogás, cuyo componente principal es el metano; con niveles de remoción promedio entre el 80 y 90 %. A pesar del alto nivel de remoción referido, el efluente generado no es de alta calidad, requiriendo un tratamiento posterior con un proceso aerobio o fisicoquímico; siendo común esta combinación de procesos.

El tratamiento anaerobio ofrece ventajas como la reducción de costos por ahorro de energía, reducción de necesidades de nutrientes, baja generación de biomasa pues solo entre el 5 y 10% de la DBO removida es usada para síntesis celular y tener una biomasa resistente.

Las etapas principales del tratamiento anaerobio son la hidrólisis, biodegradación y metanogénesis. En la primera, se da la descomposición de materiales orgánicos complejos (carbohidratos, proteínas y lípidos), por bacterias hidrolíticas que usan enzimas hidrolíticas como proteasas, lipasas, celulasas, amilasas, etc., obteniendo compuestos orgánicos solubles más sencillos como ácidos grasos, aminoácidos y azúcares diversos. Posteriormente en la biodegradación, las bacterias acidogénicas y acetogénicas, transforman los compuestos orgánicos de la etapa anterior a intermediarios diversos como acetato, propionato, butirato y dióxido de carbono [3,5].

La metanogénesis es la etapa final, caracterizada por la producción de metano.; llevada a cabo por las bacterias metanogénicas; caracterizadas por su gran sensibilidad a factores como el pH y su lenta actividad metabólica. El intervalo de pH óptimo es entre 6.5 y 8.2. La diferente velocidad de la actividad metabólica entre estas bacterias y las anteriores, provoca problemas de distribución de

poblaciones y una natural acidificación del medio; problema común de este tipo de tratamientos. La recirculación es una medida para fomentar la distribución de poblaciones bacterianas y contribuir a una mayor eficiencia del proceso. La temperatura es otro factor importante del proceso con un intervalo óptimo entre 30 y 40 °C; a valores de 10°C, la actividad metanogénica se reduce hasta un 10 a 20% de la respectiva a 35°C [3].

Las bacterias anaerobias son en general resistentes a compuestos tóxicos. Sin embargo, el amoníaco (NH_3) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S) tienen efectos importantes en el proceso. El primero proviene de la descomposición anaerobia de compuestos nitrogenados como proteínas y actúa como inhibidor de bacterias metanogénicas por encima de concentraciones de 500 mg/L de nitrógeno amoniacal. El segundo es importante, pues indica la presencia de bacterias sulfatoreductoras, que compiten con las metanogénicas. Otros tóxicos para estos sistemas, son los metales pesados, detergentes, desinfectantes y productos farmacéuticos, entre otros.

El reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), es un tratamiento anaerobio de biomasa suspendida. La biomasa se desarrolla en forma de gránulos; con poblaciones diversas que mantienen relaciones metabólicas simbióticas. Los gránulos más grandes se distribuyen de la parte media hacia abajo y en la superior los más ligeros. Puede lograr una eficiencia de remoción de hasta el 90% de la DQO y se usa para tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, proveniente de industria de alimentos, por ejemplo. La alimentación se da en el fondo, con un sistema de tuberías provisto de cambios de diámetro, para permitir la entrada del agua con presión suficiente para mantener el lodo en suspensión. La degradación de la materia orgánica se da a lo largo del lecho de biomasa, generándose de modo simultáneo el biogás; cuyas burbujas se liberan de modo natural y gracias a los choques entre gránulos. En la parte superior el efluente sale tratado por la periferia del reactor y el biogás es captado empleando una campana invertida y colectado para su uso posterior. Una correcta operación de este sistema implica el monitoreo de la calidad del agua residual, lodo del reactor, interacción entre el lodo y el agua residual; así como el biogás generado. Entre los parámetros importantes están: temperatura, pH, DBO_5 , DQO, ácidos grasos volátiles, alcalinidad y sólidos. Es característico de estos sistemas la alta concentración de biomasa, alcanzando valores entre 50 y 100 g/L de SSV en el fondo y entre 5 y 40 g/L de SSV en la parte superior [5].

La Actividad Metanogénica Específica (AME) es una herramienta utilizada para determinar la capacidad de las bacterias de producir biogás. Permite conocer la actividad de la población metanogénica, su comportamiento ante los diversos componentes de efluentes reales, su respuesta ante presencia de tóxicos, conocer el grado de degradabilidad de un sustrato, monitorear la posible acumulación de material inorgánico y determinar la carga máxima aplicable para un cierto lodo. La AME se define como la máxima capacidad de producción de metano en condiciones anaerobias controladas de laboratorio, que permiten la máxima conversión del sustrato orgánico a metano. La medición de metano se realiza con métodos volumétricos, manométricos o cromatográficos. La producción bioquímica de metano (PBM), es una prueba muy similar a la AME, solo que con agua residual real [6].

PARTE EXPERIMENTAL

Agua residual e inóculo

El agua residual utilizada para los ensayos del PBM fue colectada a la entrada de los RAFA's de Pilsac con una DQO de 4403 mg/L. En el caso de la segunda corrida de pruebas con el inóculo proveniente del reactor externo, la DQO fue de 3368 mg/L. Se usó como inóculo, lodo del reactor 3 de la empresa, con una concentración de 22883mgSSV/L y lodo de un reactor externo con una concentración promedio de 50579mgSSV/L.

Montaje de reactores

Los ensayos de la AME y del PBM se realizaron por la técnica de desplazamiento de líquido, tomando como referencia el método presentado por Torres Lozada & Pérez [6]. Se usaron reactores con una capacidad de 0.5 Le hidróxido de sodio (NaOH) al 3% como sustancia desplazante. Como Reactor 1 (R1), se utilizaron matraces bola de fondo plano ubicados en un nivel superior al Reactor 2 (R2), para evitar daños del ensayo si se presentaban presiones negativas al interior del sistema. Los reactores estaban conectados con una manguera flexible y perfectamente sellados, para evitar fugas del biogás generado; aguja hipodérmica para el goteo por desplazamiento de la solución de NaOH y un recipiente para contener el líquido desplazado [7].

Puesta en marcha de los ensayos de la AME y del PBM

Los inóculos fueron aclimatados antes de comenzar los ensayos con el agua residual utilizada en el experimento. Se usó una concentración de biomasa de 4000mgSSV/L. Las condiciones experimentales para los ensayos de la AME con el inóculo tomado del RAFA 3, fueron las siguientes: se adicionaron 0.079 L de lodo (volumen calculado con la fórmula 1); 0.0225 L de ácido acético, sustrato sintético usado para obtener una concentración de 5000mg/L de DQO y 0.0009 L de solución nutritiva compuesta de una solución de macronutrientes (NH_4Cl , KH_2PO_4 , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), micronutrientes ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, NiCl_2 , HCl al 36%), levadura y un agente reductor ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) [8]. Estas sustancias se usaron, buscando que el sustrato y los nutrientes estuvieran presentes en exceso. Se aforó a un volumen total de 0.45 L con agua desionizada. Las condiciones experimentales para los ensayos del PBM fueron similares, usando como sustrato 0.37 L de agua residual de entrada a los reactores y se adicionó el mismo volumen de solución nutritiva. En el caso de los ensayos con el inóculo del reactor externo, las condiciones experimentales fueron las mismas; usando en las pruebas AME y PBM 0.038 L de lodo; mientras que en la réplica del PBM se usó 0.0335 L de lodo. En las pruebas PBM, varió también el volumen de aforo de agua residual con cantidades aproximadas de 0.412 y 0.417 mL respectivamente. Para asegurar las condiciones anaerobias, previamente a la inoculación del reactor se burbujeo con un gas inerte durante 5 minutos, desplazando el oxígeno presente. Las pruebas se llevaron a cabo a temperatura ambiente en promedio de 26°C. Estos ensayos fueron realizados por triplicado para garantizar la repetibilidad del experimento y paralelamente se corrió un blanco con el objetivo de realizar una corrección de la generación de biogás endógena del lodo.

$$V_{\text{lodo}} = \frac{[V_{\text{mezcla}} * C_{\text{fija}}]}{C_{\text{inicial Lodo}}} \quad (1)$$

VARIABLES MONITOREADAS

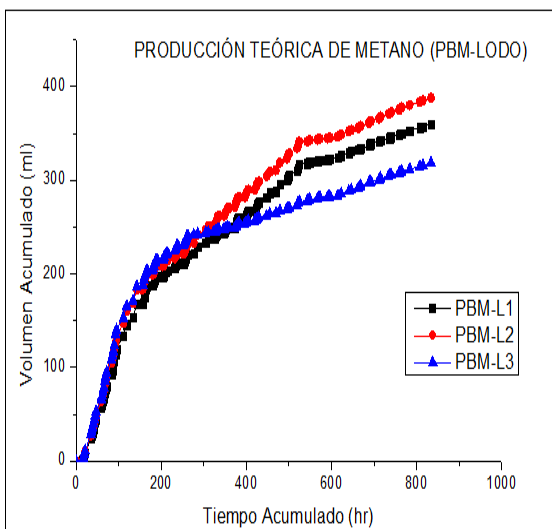
Durante el experimento se monitorearon diariamente las variables: volumen desplazado de NaOH (equivalente al volumen de biogás generado) y temperatura. Al concluir la prueba se determinó la DQO para obtener el porcentaje de remoción de este parámetro.

RESULTADOS

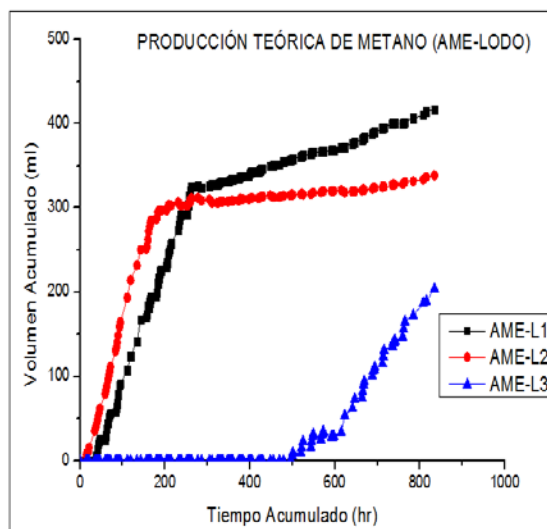
La duración de las pruebas con el lodo de los reactores fue de 36 días (864 h), en comparación con los 15 días (368 h) promedio que duraron las pruebas con el inóculo. Se monitoreo aproximadamente 8 veces por día.

Ensayos con inóculo de reactor RAFA 3 de la empresa

En la gráfica 1 se presenta la producción teórica del metano de las pruebas de AME, con inóculo del reactor RAFA3 de la empresa. Se puede observar que la prueba que se torna con línea asintótica más visiblemente es la AME-L2, a los 7 días, con un desplazamiento de líquido de 300 ml aproximadamente. La prueba AME-L1 mantiene un comportamiento creciente en el tiempo monitoreado y la AME-L3, un comportamiento irregular, no representativo del proceso. La gráfica 2, muestra la producción teórica del metano de las pruebas de PBM. Se puede observar que las tres réplicas no alcanzaron un comportamiento asintótico en el período de estudio; teniendo un punto de quiebre en el día 6.



Gráfica47. Producción teórica de metano de la prueba de la PBM con el lodo del reactor RAFA 3

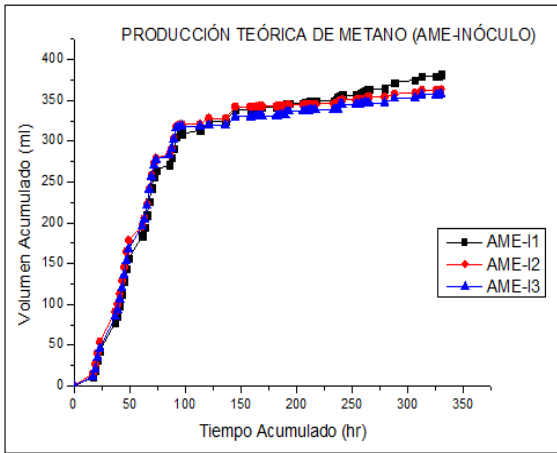


Gráfica48. Producción teórica de metano de la prueba del AME con el lodo del reactor RAFA3

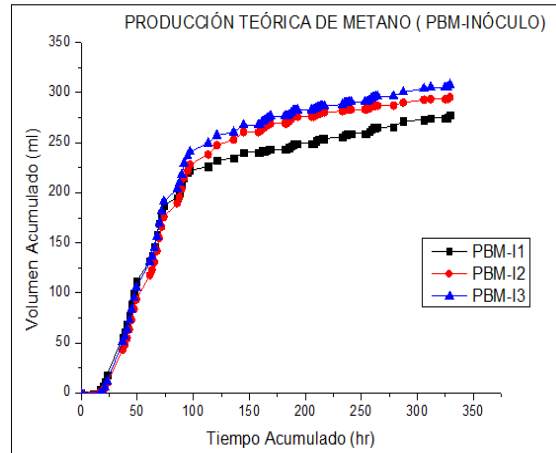
Ensayos con inóculo de reactor externo

La gráfica 3, muestra el comportamiento de la producción teórica del metano de las pruebas de AME. Se puede observar que los triplicados se tornan asintóticos pasados aproximadamente 97 h (4 días) con un desplazamiento de NaOH aproximado de 310 ml. En relación a la producción teórica del metano de las pruebas de PBM, se puede observar en la gráfica 4 que los triplicados se

tornan asintóticos pasados aproximadamente 92 h (4 días) con un desplazamiento de NaOH aproximado de 250 ml.

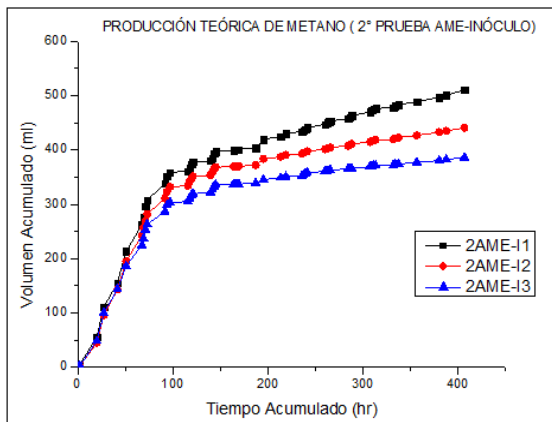


Gráfica49. Producción teórica de metano de primera prueba de AME con inóculo de reactor externo

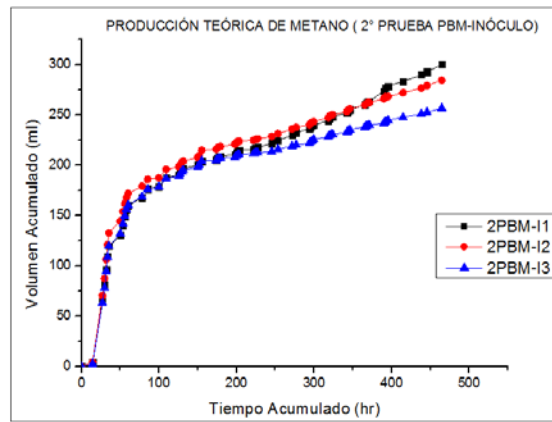


Gráfica50. Producción teórica de metano de primera prueba de PBM con inóculo de reactor externo

Dada la rapidez de esta prueba, se realizó una segunda; mostrando las gráficas 5 y 6 el comportamiento respectivo de las pruebas AME y PBM. En la primera, se observa que los triplicados se tornan asintóticos pasados aproximadamente 97 h (4 días) con un desplazamiento de NaOH aproximado de 280 mL; mientras que en la segunda se observa comportamiento asintótico pasados aproximadamente 85 h (3 días) con un desplazamiento de NaOH de 160 mL.



Gráfica51. Producción teórica de metano de segunda prueba de AME con inóculo de reactor externo



Gráfica52. Producción teórica de metano de segunda prueba de PBM con inóculo de reactor externo

Las gráficas, muestran que el inóculo del reactor externo es adecuado, pues las pruebas se dan dentro del intervalo recomendado por otros autores, entre 7 y 20 días [6], no así el lodo de los reactores actuales.

Considerando las gráficas realizadas y las ecuaciones referidas por Lozada [6], se estimaron los valores promedio de AME y PBM, encontrándose lo siguiente: a) pruebas con lodo del reactor actual RAFA3; AME de 0.037 gDQO/gSSV•d y PBM de 0.039 gDQO/gSSV•d; b) prueba con lodo del reactor externo, AME de 0.115 gDQO/gSSV•d y PBM de 0.094gDQO/gSSV•d

Análisis de resultados

Los valores de AME y PBM de RAFA’s usados para el tratamiento de aguas residuales, varía entre 0.1 y 1.5 g DQO/g SSV•d; como el caso de Dolfig y Bloemen,1985, que en sus pruebas de AME obtuvieron un valor de 0.11 g DQO-CH₄/gSSV•d[6]. En caso de lodos de reactor anaerobio y de lecho fluidizado, se reporta un valor de producción de metano de 0.4 a 1.2 gDQO_{CH₄}/gSSV•d a una temperatura de 30°C [8]. Otro ensayo consultado sobre depuración de aguas residuales provenientes del despulpado del café, reportó un valor de actividad metanogénica específica de 0,0076 gDQO/gSST•d [9,10]. Los valores obtenidos en este estudio se encuentran en los rangos de los valores recomendados. El segundo ensayo de PBM realizado con el lodo de reactor externo, muestra que es posible mejorar la velocidad del proceso con la adaptación de los microorganismos; congruente con lo referido por algunos autores que sugieren realizar dos alimentaciones para los ensayos, esperándose en la mayoría de los casos que la segunda alimentación sea mayor que la primera por considerar que el inóculo ya se adaptó al sustrato. Para la mejor condición, relacionada con el inóculo del lodo de reactor externo; se estimó la generación de biogás para las 2 pruebas encontrando un valor promedio de 0.175 m³ biogás/Kg de DQO removida.

Por otro lado, al darse por terminadas las pruebas, se determinó la DQO al sustrato de los ensayos de PBM; para saber que eficiencia tuvieron los reactores del inóculo y del lodo actual después de concluidos los ensayos (tabla 1).

Tabla 1. Resultados del sustrato de las pruebas PBM
INÓCULO DE REACTOR EXTERNO PRIMERA PRUEBA

<i>REACTOR</i>	DQO inicial (g/L)	DQO final (g/L)	DQO removida (gDQO)	% remoción DQO
<i>PBM-I1</i>		1.2	1.320	72.7%
<i>PBM-I2</i>	4.403	1.25	1.299	71.6%
<i>PBM-I3</i>		1.3	1.279	70.5%
<i>INÓCULO DE REACTOR EXTERNO SEGUNDA PRUEBA</i>				
<i>REACTOR</i>	DQO inicial (g/L)	DQO final (g/L)	DQO removida (gDQO)	% remoción DQO
<i>2PBM-I1</i>		0.96	1.003	71.5%
<i>2PBM-I2</i>	3.368	1.17	0.915	65.3%
<i>2PBM-I3</i>		1.23	0.890	63.5%

LODO DE REACTOR ACTUAL RAFA 3				
REACTOR	DQO entrada (g/L)	DQO salida (g/L)	DQO removida (gDQO)	% remoción DQO
PBM-L1		1.68	1.011	61.8%
PBM-L2	4.403	2.295	0.783	47.9%
PBM-L3		1.665	1.017	62.2%

*ND. No detectado bajo el método de análisis aplicado.

*ND. No detectado bajo el método de análisis aplicado.

Los resultados de DQO, mostraron una eficiencia de remoción entre el 48 y 62 % en el caso de las pruebas PBM con el lodo actual del reactor RAFA3 y entre el 63 y 73% usando lodo del reactor externo. Sin embargo, es muy importante la diferencia en los tiempos involucrados; que en el primer caso es mayor a 30 días y en el segundo solo alrededor de 4 días.

CONCLUSIONES

La caracterización inicial del agua residual utilizada para este estudio, permitió establecer que el nitrógeno amoniacal sobrepasa los 500 mg/L que señala la literatura es el punto en donde la metanogénesis comienza a ser inhibida, así como también la concentración de sulfuros que excede los 160 mg/L, inhibiendo las bacterias metanogénicas.

El lodo candidato para inocular los RAFA's está compuesto por el 48.73 % de material orgánico y su concentración es de 50579.15 mgSSV/L.

La Actividad Metanogénica Específica que resultó de los experimentos de 0.13 y 0.10 g DQO/g SSV·d, corresponde a un lodo floculento.

El lodo candidato para inoculación presenta una concentración del 121.03% mayor en SSV/L en relación con la que presenta el inóculo proveniente del reactor actual RAFA 3 de la empresa grenetina, lo que le provee una mayor capacidad para biodegradar la materia orgánica presente y transformarla en metano.

Para los ensayos del PBM con inóculo del reactor externo, se obtuvieron valores promedio de 0.10 gDQO/gSV·d en el primer montaje y en el segundo de 0.09 gDQO/gSSV·d. Bajo las condiciones en las cuales se desarrollaron las pruebas de producción de metano se observó que existe una eficiencia de remoción de DQO aproximada del 70%; a diferencia del lodo del RAFA 3, pues del ensayo de PBM se obtuvieron valores promedio de 0.039 gDQO/gSSV·d y una eficiencia de remoción de DQO aproximada del 57.3%, concluyendo que el sustrato en conjunto con el inóculo tiene mayor capacidad de producción de metano. Esto muestra que una medida necesaria para mejorar la operación de los RAFA's de esta planta de tratamiento, es inocular con lodo como el usado en este estudio.

La producción de biogás es importante y constituye una fuente de energía que se debe considerar para su uso en la empresa, como lo indica el valor de generación de biogás de 0.175 m³ biogás/Kg de DQO removida.

BIBLIOGRAFÍA

1. Puig, G.P., *Virtual water: concepts and implications*. Orinoquia, 2012. **16**(1): p. 69-76.
2. CEAG. *Comisión estatal del agua de Guanajuato*. 2012; Available from: <http://www.guanajuato.gob.mx/ceag/disponibilidad.php>.

3. Jiménez Cisneros, Blanca Elena., *La contaminación Ambiental en México*. Edit. LIMUSA, México 2001.
4. Pachuca Guerra, R. C. (2015). *Optimización del sistema de tratamiento de agua*. León, Guanajuato. Universidad Tecnológica de León
5. Metcalf & Eddy, Inc., *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Edit. McGraw Hill, USA 2004.
6. Torres Lozada, P., & Pérez, A. (2010). *Actividad Metanogénica Específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Calí, Colombia: Universidad del Valle
7. Córdoba Castro, A.L. (2016). *Propuesta de mejora para el reactor anaerobio de flujo ascendente de una empresa productora de grenetina*. León, Guanajuato. Universidad Tecnológica de León.
8. J. Field, «Parametros operativos del manto de lodos anaerobicos de flujo ascendente,» Agricultural University of Wageningen., Holanda, 1987.
9. B. A. Parra Orobio, «Producción de metano a partir de la digestión anaerobia de biorresiduos de origen municipal,» Universidad del Valle, Calí, 2014.
10. J. Del Real Olvera y J. Islas Gutierrez, «Biodegradación anaerobia de las aguas generadas en el despulpa del café,» *Revista Colombiana de Biotecnología*, pp. 230-239, 2010.

SISTEMA DE INTERACCIÓN FÍSICA HOMBRE-ROBOT CON DISPOSITIVOS HÁPTICOS

José María Busto Villarreal, Claudia Teresa Solano Pérez, Luis Enrique Díaz Pérez, María Luisa Sánchez Padilla, José Arias Rico, Rosario Barrera Gálvez.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; Instituto de Ciencias de la Salud; Área Académica de Medicina.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; Instituto de Ciencias de la Salud; Área Académica de Enfermería. E-mail. rosariobarrerag@yahoo.com.mx

RESUMEN

En la Actualidad la interacción entre la Medicina, la Computación y la Robótica se ha vuelto inevitable, ya que estas ciencias realizan un trabajo conjunto con humanos capaces de rehabilitar su salud gracias a la repetición continua de movimientos con Phantom Omni de dispositivos complejos. Estas máquinas (o robots), proporcionan sensación de presencia al usuario que ejecuta acciones frente a un dispositivo tecnológico mientras que las dos funciones (máquina-humano) se intersectan en entornos virtuales. *Objetivo.*- Clasificar los tipos de sistemas hápticos conforme a su uso y características, a partir de una investigación en humanos que usan Phantom Omni como simulador para rehabilitación. *Método.*- Se realizó un estudio transversal descriptivo, no experimental, para uso y observación de dispositivos como Phantom Omni y computadora personal en estudiantes de tres áreas de la salud: odontología, medicina y enfermería. *Resultados.*- los participantes presentaron estrés en alguna forma, luego de desarrollar un esfuerzo controlado como reacción fisiológica en su cuerpo, ya que 40% de los participantes expresaron diferentes tipos de respuesta como el estrés al momento de realizar la actividad combinando el uso del Phantom Omni y computadora personal, una situación que requiere aumento de la demanda mental. Esta información sirve para en un futuro diseñar Sistemas de Interacción Física Hombre-Robot con características que sean más ergonómicas para los usuarios. *Conclusiones.*- Actualmente se ha incrementado la tendencia en el uso de sistemas robóticos acoplados total o parcialmente en el cuerpo humano, particularmente ante la presencia de discapacidad. El flujo de energía que permite validar la transmisión de conocimiento a través de canales kinestésicos, representa una variable muy relacionada con la demanda física y que implica efectos sobre el esfuerzo.

Palabras clave: dispositivos hápticos, Phantom Omni, interacción hombre-robot.

INTRODUCCIÓN

Con los cambios globales y la evolución tecnológica y de información, ahora las formas de reacción entre individuos es variable; las herramientas técnicas que tenemos al alcance son varias: dispositivos electrónicos para localización, explicación y adiestramiento, entre otros.

En el mismo sentido, la robótica ha revolucionado el mundo de la medicina siendo una herramienta coadyuvante en análisis y en la terapia física. Los robots tienen sistemas que evocan movimientos a través de protocolos prediseñados los cuales identifican y evalúan movimientos dinámicos así como trastornos de coordinación. Para los sistemas de interacción física hombre robot, los esquemas clásicos de evaluación corresponden a la medición de las variables físicas que describen el desempeño del sistema robótico, particularmente la convergencia y la energía de intercambio.

De acuerdo con la literatura [1], lo más recomendable en evaluación de plataformas es el uso de esquemas que permitan realizar un análisis extensivo en muestras de personas que se asumen sanas, así como verificar el desempeño global con análisis estadístico descriptivo y con perspectivas de predicción y diagnóstico como posibles trabajos futuros.

METODO

Con la llegada de los sistemas de información estas tareas se automatizaron y la cantidad de esfuerzo que ahora tiene que hacer el hombre, es menor comparada con el de otros tiempos. La toma de decisiones dentro de una organización debe soportarse en información oportuna y veraz, características que coinciden con el desarrollo de los sistemas de información, lo que justifica su existencia y la agilidad de captar, almacenar, procesar y rescatar los datos, todo ello para contar con una planeación y control organizacional [2].

La robótica es la rama de la tecnología que se dedica al diseño, construcción, operación, disposición estructural, manufactura y aplicación de los robots¹. La robótica combina diversas disciplinas como son: la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial, la ingeniería de control y la física; así como el álgebra, los autómatas programables, la animatrónica y las máquinas de estados. El uso original del término **Biofeedback** (bio-retroalimentación), se refiere a una técnica que se emplea para controlar las funciones fisiológicas del organismo humano, mediante la utilización de un sistema de retroalimentación que informa al sujeto del estado de la función que se desea controlar de manera voluntaria².

El término biofeedback está compuesto por la palabra griega *bio*, que significa vida, y la inglesa *feedback* que significa retroalimentación o retroinformación, por lo tanto biofeedback podría traducirse por *bio-retroalimentación*, por ello la importancia de describir la investigación de Daniel David Palmer [3] final del siglo XX.

El concepto de **tarea orientada a la formación repetitiva** sugiere que la terapia de bio-retroalimentación debe ser durante el movimiento dinámico relacionado para optimizar la mejoría de la función motora; la tecnología avanzada actualmente facilita el diseño de sistemas de retroalimentación biológica que poseen diversos parámetros, visualización de señal avanzada y sofisticados sistemas de control para el uso en biofeedback orientado a las tareas [4] de rehabilitación neuromotora.

¹ Robot, es la palabra Checa más difundida en todo el mundo.

² <http://audiologiaondas.com/biofeedback/>

De esta manera, ofrece opciones para los pacientes con problemas motores, ya que al usar una máquina con desarrollo de tareas de forma repetida, puede mejorar la salud y calidad de vida del usuario-paciente.

Los **Dispositivos Hápticos**, son el resultado de décadas de investigación activa en la industria y en laboratorios de universidades. En las décadas de los 50's y 60's, cuando la realidad virtual no existía, la investigación se orientó al desarrollo y mejoramiento de sistemas tele robóticos. En dicho sistema, el operador humano controla un brazo maestro que transmite sus comandos de movimiento a un esclavo remoto. El esclavo sigue a la entrada del maestro, interactuando con ambientes peligrosos tales como: nuclear, espacio exterior o sitios submarinos.

El primer sistema de Phantom estaba constituido únicamente de transmisiones mecánicas para que el esclavo estuviera muy aproximado a los movimientos del maestro. Un primer servomecanismo eléctrico fue desarrollado en 1954 por Goertz y Thompson en el Laboratorio Nacional de Argonne [5]. Los servo actuadores reciben señales de retroalimentación a los sensores del esclavo, y aplican fuerzas a la mano del operador humano, quien sujeta al maestro. En este sentido, el operador humano siente como si él estuviera manipulando directamente al sistema remoto.

El Phantom Omni, representa una herramienta tecnológica que a través de dispositivos hápticos de entrenamiento de alto desempeño y sus aplicaciones en cirugía, manejo de herramienta, entretenimiento y operación remota de sistemas robóticos complejos, así como de vehículos móviles no tripulados, los cuales permiten validar el interés de la comunidad científica en proponer estrategias nuevas y novedosas en construcción, planificación, control, decisión en condiciones de contingencia y operación en ambientes con incertidumbre. La realización de este proyecto permitió una evaluación del comportamiento del ser humano, utilizando el método de base en la carga de trabajo con la interacción basada en el protocolo NASA TLX [6] a partir de los indicadores de esfuerzo, frustración, carga mental, carga temporal y estrés, y su relación con la usabilidad y la utilidad en sistemas de interacción hombre-robot; además de las variables de medio ambiente (luz, ruido, humedad y temperatura), lo que permitió identificar los cambios de las personas que participaron en sus signos vitales antes y después de realizar la tarea [7].

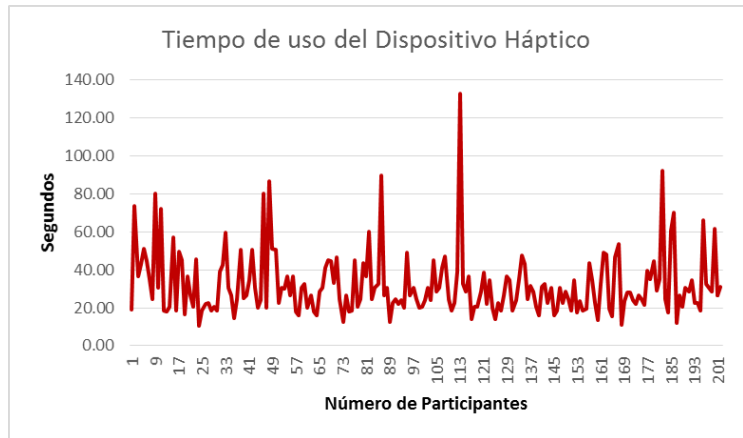
El protocolo NASA TLX, es un métodos subjetivos y ponderado es una herramienta con que se realizó la evaluación con dispositivos hápticos: reto para la educación por simulación en ciencias de la salud". Este es un procedimiento de valoración multidimensional que da una puntuación global de carga de trabajo, basada en una media ponderada de las puntuaciones en seis sub-escalas, cuyo contenido es el resultado de la investigación dirigida a aislar de forma empírica y a definir los factores que son de relevancia en la experiencia subjetiva de carga de trabajo. El NASA TLX (Task Load Index) es un procedimiento de valoración multidimensional que da una puntuación global de carga de trabajo, basada en una media ponderada de las puntuaciones en seis sub-escalas, de éstas, tres se refieren a las demandas impuestas a la persona (demandas mentales, físicas y temporales) y las otras tres se refieren a la interacción de la persona con la tarea (esfuerzo, frustración y rendimiento o performance). La carga no es una característica inherente a la tarea sino que es el resultado de la interacción entre los requerimientos de la tarea, las circunstancias bajo la que se desarrolla y las capacidades, conductas y percepciones del operador.

RESULTADOS

Se puede deducir que el cuerpo humano al realizar un esfuerzo, sufre un incremento de su temperatura corporal; esto se debe a los movimientos de sus músculos y a la tensión de la carga mental ejercida. La frecuencia cardiaca se tomó en reposo los resultados obtenidos se registró al iniciar un rango de 52 a 104 pulsaciones y la finalizar la tarea de carga se registraron de 56 a 105

pulsaciones por minuto. Se identificó una media al iniciar de 71.6 pulsaciones y al finalizar de 76 pulsaciones por minuto. El 35% de los participantes no registró ningún cambio en su presión arterial sistólica tomada al inicio del experimento y al final de él. Al realizar el extracto de información se identificó que el 30% de los participantes del PE de medicina no registraron cambios; para el caso del PE de Odontología se identificó el 39% de los participantes y para el PE de Enfermería se identificó el 32% de los participantes sin cambios. La variación o estabilidad de la presión arterial podría estar relacionada con la experiencia del participante con juegos de realidad virtual, de los cuales se identificó el 41% que si tiene experiencia en juegos de realidad virtual, se mantuvo estable en su presión arterial.

Dentro de la investigación y con el dispositivo háptico Phantom Omni, tenemos comunicación con una computadora, por medio de la cual se envía la consigna al dispositivo para ejecutar el guiado háptico; esto permite tener un desplazamiento del dispositivo en el espacio de trabajo proporcionando así los valores de la posición y velocidad, los cuales se analizaron determinando el desempeño de los participantes. Se analizaron los datos del guiado activo, donde los participantes tuvieron diferentes tiempos en la carga de trabajo identificando como un mínimo de 10 segundos; un máximo de 133 segundos y un promedio de 32 segundos. Como se muestra en la siguiente gráfica.



Fuente: n=204 archivos analizados 2014.

En la gráfica, se puede identificar que los participantes realizaron en promedio 233 movimientos en el espacio de trabajo con un mínimo de 75 movimiento y un máximo de 952 movimiento; además de identificar las colisiones para el primer ejercicio donde en promedio fueron 71 y como máximo 393 y como mínimo 0 es decir una persona realizó la trayectoria sin colisiones.

CONCLUSIONES

Con respecto a la evaluación que se realizó para identificar el nivel de estrés generado por las personas que participaron en la investigación; podemos decir, que el 40% de los participantes identificó una carga de trabajo; aún con ello todos los participantes realizaron la actividad de manera satisfactoria. Por lo anterior, se infiere que a los participantes se les generó estrés de una u otra manera en la realización de la carga de trabajo ya que presentaron una reacción fisiológica en el organismo en el que entran en juego diversos mecanismos de defensa para afrontar una situación que se percibe como amenazante o de demanda incrementada; además de la comprobación con los resultados obtenido a través del cuestionario NASA TLX que se les aplicó. Es decir al 40% de los participantes, les generó estrés el hecho de estar realizando la actividad que consistió en el uso de la realidad virtual y de un brazo robótico. Esta información sirve para en un futuro diseñar Sistemas de Interacción Física Hombre-Robot con características que sean más ergonómicas para los usuarios.

BIBLIOGRAFIA

1. R. B. Gálvez y E. Omar A. Domínguez Ramírez, Evaluación Sistema de Interacción Físico HOMBRE-Robot, Alemania: Editorial Académica Española, 2015.
2. J. A. Senn, Análisis y Diseño de Sistemas de Información;, McGraw-Hill 2da. Edición, , Julio 1992..
3. J. A. J. Carrobes., «La biorretroalimentación en la rehabilitación neuromuscular: revisión y estudio de casos,,» *Revista Latinoamericana de Psicología; Fundación Universitaria Konrad Lorenz*, vol. 15, nº 1-2, pp. pp. 215-236, 1983.
4. S. L. W. a. J. H. He Huang¹, «Rehabilitation., Recent developments in biofeedback for neuromotor,» *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 2006*, nº 3:11 doi:10.1186/1743-0003-3-11, 2006.
5. R. a. R. T. Goertz, «Electronically Controled Manipulator, Nucleonics,,» 1954, pp. pp 46-47, 1954..
6. J. A. O. y. G. M. Marakas, Sistemas de Información Gerencial, Mc Graw Hill, 2013.
7. M. C. V., Gestión y planificación de sistemas y servicios de información. En: García Gutiérrez AL., Sevilla: Alcalá de Guadaira: Introducción a la documentación informativa y periodística., 1998.

MIGRACIÓN DE UN REPOSITORIO UNIVERSITARIO A LA WEB SEMÁNTICA

Angelica Viorato-Rea, Francisco Ramirez-Ruvalcaba, Christopher Estrada-Barahona, Mildreth Alcaraz-Mejia

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología de migración de un repositorio universitario sentado en bases de datos relacionales, a un repositorio basado en la Web Semántica utilizando la tecnología de VIVO.¹ Una de las necesidades importantes de un repositorio universitario es que la producción académica y científica, ya sea de investigación, desarrollo o divulgación, que se encuentra registrada en él, llegue a la mayor cantidad de personas posibles. Una forma de hacer esto realidad es que dicha producción esté disponible de manera digital y, adicionalmente, que su búsqueda y acceso sean asequibles. Comúnmente, en México se han utilizado bases de datos relacionales (repositorios) para almacenar información relacionada con la producción académica y científica. Sin embargo, estos repositorios en ocasiones carecen de la flexibilidad necesaria para permitir una búsqueda efectiva, dificultan el trabajo en red entre los autores y sus investigaciones y afectan la diseminación y divulgación de sus resultados. Una migración efectiva de estos repositorios institucionales a la Web Semántica permitiría crear una red de información sobre resultados de investigación y desarrollo científico y tecnológico de fácil acceso y, consecuentemente, impulsaría el desarrollo de futuros trabajos. El marco de trabajo llamado VIVO, resguardado por Duraspace, propone una solución en la que las publicaciones científicas y tecnológicas estén disponibles para su búsqueda, así como para su fácil acceso, además de permitir la visualización de interconexiones entre publicaciones y autores, lo cual facilitará la diseminación de información, así como posibles colaboraciones entre investigadores a nivel nacional e internacional.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los repositorios universitarios usados para el almacenamiento de datos relacionados con investigaciones hechas por profesores, estudiantes e investigadores, tienen una arquitectura diseñada en bases de datos relacionales. Dichos repositorios no satisfacen la búsqueda precisa de información actualizada que facilite la investigación y disminuya los tiempos dedicados al estudio del arte.

La Web Semántica representa una solución conveniente para almacenar y obtener datos valiosos acerca de estas investigaciones y pertinentes a los fines de indagación de diversos usuarios. En este trabajo, partimos del supuesto de que las bases de datos tradicionales no garantizan la extracción de todos los posibles resultados, principalmente por la falta de inferencia para encontrar relaciones implícitas. Esto incrementa el tiempo que los investigadores dedican a la construcción de los estados del arte y, con ello, puede provocar la duplicación de procesos de verificación y contratación de información.

El uso de VIVO como un marco de trabajo flexible para la búsqueda de producción de investigaciones, mejora la eficiencia en la indagación del estado del arte. Por lo tanto, los usuarios pueden aprovechar el tiempo al explorar solo aquellos trabajos que son realmente relevantes para sus investigaciones.

Durante este trabajo se describirá la narrativa de la migración de una base de datos tradicional a la Web Semántica.

MARCO CONCEPTUAL

El inventor de la Web Semántica, Tim Berners-Lee, la define como una red que: “no está separada del Internet, si no que es una extensión del mismo, en la cual se le da un significado bien definido a la información, habilitando así a las computadoras y personas para trabajar en cooperación” [1].

La Web Semántica almacena información y le da un significado explícito que facilita la obtención de resultados de búsqueda más precisos. Las Ontologías son los pilares de la Web Semántica: se utilizan para representar el universo de conceptos y sus relaciones, así como las reglas de inferencia para un dicho universo. Las Ontologías ayudan a organizar la información mediante relaciones lógicas, tales como equivalencia, es-una-parte-de y es-un.

La definición de las relaciones y entidades existentes dentro de un repositorio universitario es una parte importante de la migración que se plantea en este trabajo. El Lenguaje de Ontologías Web (OWL por sus siglas en inglés) es la herramienta que se utilizó para este fin. OWL fue diseñado para facilitar a las computadoras el procesamiento de información expresado en lenguaje natural; se basa en la Metodología de Descripción de Recursos (RDF por sus siglas en inglés) que utiliza tripletas con la forma de sujeto-predicado-objeto para definir dichas entidades y sus relaciones.

RDF representa una capa intermedia entre expresiones en lenguaje natural usadas por el hombre y los formatos de archivos que una máquina puede leer. Adicionalmente, por medio del uso de Identificadores Únicos de Recursos (URIs por sus siglas en inglés), se asegura que cada elemento clave tenga una definición única. RDF está escrito en Lenguaje de Marcado Extensible (XML por sus siglas en inglés), lo que permite crear etiquetas propias y, consecuentemente, estructuras propias para definir un elemento y sus propiedades.

La migración de la información hacia bases de datos relacionales a la Web Semántica no es una tarea trivial, sobre todo cuando existen grandes cantidades de datos almacenados en las mismas. Dado que un proceso manual de migración no es viable se requiere de una herramienta de integración de datos que permita modelar la información proveniente de bases de datos relacionales hacia las ontologías correspondientes.

En este trabajo se utilizó Karma como herramienta de modelado de RDF, porque permite a los usuarios la integración de información de una variedad de fuentes de datos y convertirlos a la metodología deseada, utilizando una interfaz gráfica que facilita el proceso de aprendizaje sobre las ontologías utilizadas.

Como resultado de la integración, Karma genera archivos con formato RDF que posteriormente son utilizados para importar la información a la Web Semántica. Este trabajo usa una herramienta de Web Semántica que provee un mejor acceso a publicaciones y trabajos de investigación. Existen diversas herramientas de Web Semántica que están diseñadas para satisfacer distintas necesidades. Solo algunas herramientas del amplio espectro fueron consideradas para este trabajo, debido a su enfoque en el ámbito educativo y a que son proyectos de código abierto. Se muestra una breve comparación en la tabla 1.

Herramienta de Web Semántica	Página Web	Desarrollador	Usuarios
HUBzero	HUBzero [2]	Universidad dePurdue [6]	Indiana CTSI, Universidad de Indiana, Universidad de Purdue, Universidad de Notre Dame
IRIS (Institutional Research Information)	IRIS [3]	CINECA [7]	60 Universidades [10]

System)			
Profiles Research Networking Software	Profiles [4]	Universidad de Harvard [8]	Harvard y UCSF
VIVO	VIVO [5]	Duraspace [9]	Universidades de Cornell, Florida, Washington, Duke, Colorado, Northwestern, Nebraska, Melbourne, etc. Existen más de 140 implementaciones de VIVO alrededor de más de 25 países [11].

Tabla 20. Comparación de herramientas de Web Semántica.

VIVO es una red de ontologías de publicaciones institucionales basada en Web Semántica que facilita el descubrimiento y la colaboración, proveyendo una forma de compartir información acerca de investigadores y sus actividades. VIVO puede almacenar información sobre las publicaciones, así como datos sobre investigadores, organizaciones, actividades, proyectos, afiliaciones, etcétera. Esta red fue diseñada para fortalecer la colaboración entre distintas áreas de investigación (e.g. médica, de ingeniería, química, física, biológica) y actualmente se enfoca en actividad académica. Una de las razones para elegir VIVO sobre otras herramientas de Web Semántica es su amplio uso en diferentes y prestigiosas instituciones educativas alrededor del mundo (e.g. Cornell University at Ithaca, Harvard, University of Minnesota), lo que sienta un precedente de cómo puede ajustarse a las necesidades de la comunidad educativa.

METODOLOGÍA

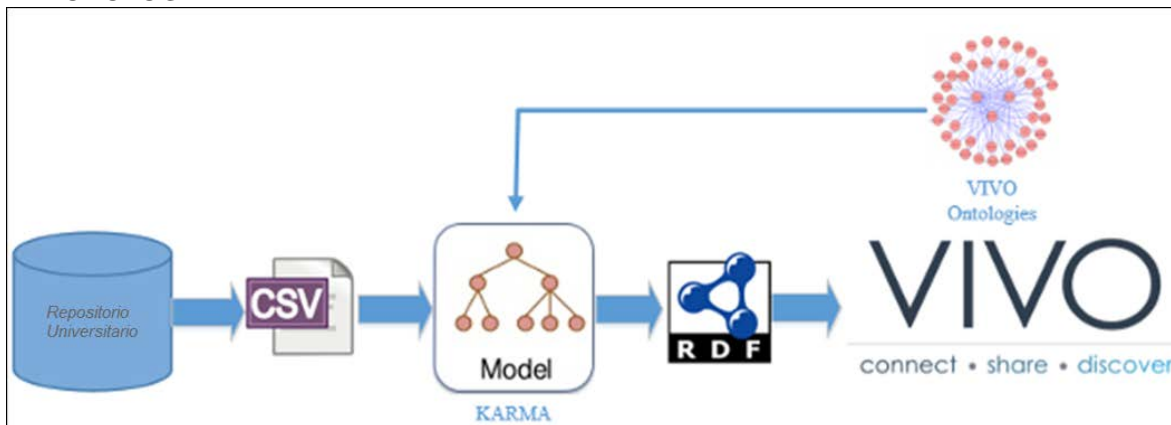


Fig. 1. Modelo de Migración.

La Figura 1 describe la arquitectura del proceso de migración de datos desde un repositorio universitario a la Web Semántica (VIVO). Los datos deben ser extraídos del repositorio universitario en formato CSV. Estos datos son seleccionados de acuerdo a las ontologías que serán utilizadas en VIVO. A continuación, los archivos CSV son mapeados a las ontologías de VIVO usando Karma como la herramienta de integración, lo que da como resultado un conjunto de archivos RDF que serán usados como la entrada para importar datos en VIVO. Los archivos CSV necesitan estar sincronizados con las ontologías de VIVO, de tal manera que el mapeo resulte natural entre ellos. Comenzando con el módulo *People* de VIVO, el procedimiento elegido consistió en insertar datos dentro de esta red usando su interfaz grafica. Una vez que la

información fue mostrada adecuadamente en VIVO, los datos fueron exportados a formato RDF para su análisis.

La ingeniería inversa ayudó a reconocer las ontologías, clases y atributos usados por VIVO. Con ello fue posible entender la forma en que VIVO relaciona las diversas entidades internamente y cómo hace inferencias de tales relaciones.

```

- <rdf:Description rdf:about="http://localhost/vivo/individual/n3659">
  <j.7:familyName rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">Viorato</j.7:familyName>
  <j.7:givenName rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">Angelica</j.7:givenName>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2006/vcard/ns#Name"/>
</rdf:Description>
    
```

Fig. 2. RDF persona.

La Figura 2 muestra un extracto del archivo RDF exportado desde VIVO, en el cual los atributos de nombre y apellido son mapeados a los atributos *familyName* y *givenName*, correspondientes a la clase *Name*. La ontología es representada por el prefijo *j.7*, que pertenece a la ontología *vcard*.

Una vez que se identificaron las ontologías que permiten el mapeo del CSV, se utilizó Karma para visualizar los modelos de datos semánticos, lo cual facilitó la comprensión del mapeo. Karma soporta una gran variedad de formatos de archivos para el mapeo de ontologías. El formato CSV fue elegido debido a su simplicidad para transformarlo a RDF, conectando cada columna del CSV a un atributo de una clase. El mapeo de atributos genera un grafo cuyo resultado puede ser exportado a formato RDF.

Finalmente, Karma provee una utilidad capaz de crear archivos RDF en formato turtle (*.ttl), que es aceptado para la importación de datos en VIVO.

RESULTADOS

Se realizó un caso de uso de la migración de un repositorio universitario a VIVO. Para este caso de uso, el repositorio universitario es una base de datos relacional. Atendiendo al hecho de que VIVO cuenta con distintos módulos, se describe a continuación el modelado de ontologías que se ejecuto sobre los datos del repositorio universitario, para representar el módulo de *People* en VIVO.

A través de consultas SQL, se extrajo la información de la base de datos en formato CSV. La Tabla 2 muestra el archivo CSV utilizado, el cual contiene un registro con las siguientes columnas: ID_Person, FullName, FirstName, LastName, Promotion, WebPageURL y WebPageLabel. La primera columna llamada ID_Person es un identificador único para el registro y el resto de las columnas se explican por sí mismas.

ID_Person	FullName	FirstName	LastName	Promotion	WebPageURL	WebPageLabel
1	Angelica Viorato	Angelica	Viorato	Student	https://www.facebook.com/angelica.viorato	Personal Facebook

Tabla 21. CSV del módulo People.

El siguiente paso fue la importación del CSV a la herramienta de integración Karma. El resultado del modelado del CSV a las ontologías se muestra en la Figura 3. Los cuadros en azul representan las columnas originales del CSV y los cuadros en marrón indican las columnas añadidas en Karma, las cuales sirven para que las entidades a las cuales están asignados dichos URI puedan buscarse en VIVO. Por encima de los cuadros aparece un grafo que mapea los atributos de clase con las columnas del CSV, así como las relaciones entre clases, e.g. la columna *FullName* esta mapeada a la clase *FacultyMember1* por medio del atributo *label*.

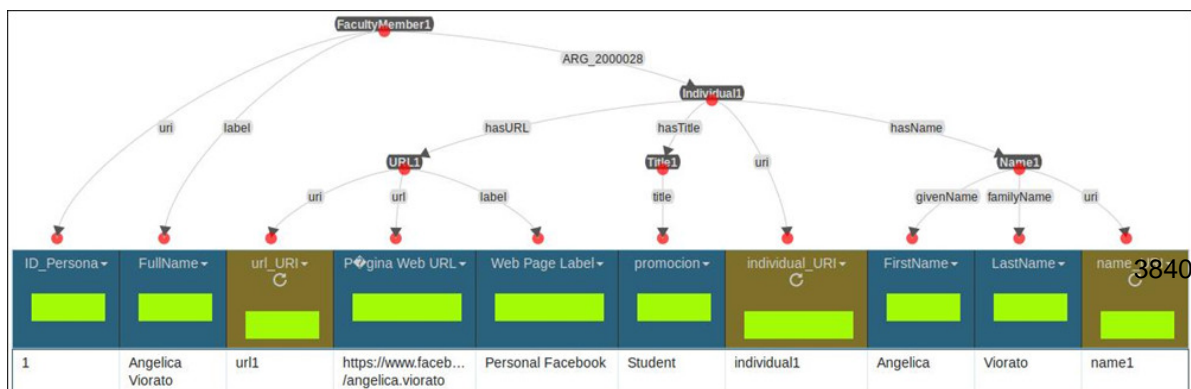


Fig. 3. CSV mapeado a ontologías.

Aunque VIVO puede utilizar ontologías de terceros, las usadas en este caso fueron *bibo*, *foaf*, *obo*, *skos*, *vcard* y *vivo_core*, las cuales están precargadas en el paquete de distribución de VIVO. Una vez que el grafo fue creado, el siguiente paso fue exportar el archivo RDF correspondiente al mapeo. La Figura 4 muestra una parte del archivo RDF exportado por Karma, e.g. la línea cinco representa la relación entre la clase *vcard2* con la clase *name2* por medio de la relación *hasName*.

```

1 <http://localhost:8080/source/2> <http://purl.obolibrary.org/obo/ARG_2000028> <http://localhost:8080/source/vcard2> .
2 <https://www.facebook.com/Angelica.Viorato> <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type> <http://www.w3.org/2006/vcard/ns#URL> .
3 <https://www.facebook.com/Angelica.Viorato> <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label> "Web Site" .
4 <http://localhost:8080/source/name2> <http://www.w3.org/2006/vcard/ns#familyName> "Viorato" .
5 <http://localhost:8080/source/vcard2> <http://www.w3.org/2006/vcard/ns#hasName> <http://localhost:8080/source/name2> .
6 <http://localhost:8080/source/name2> <http://www.w3.org/2006/vcard/ns#givenName> "Angelica" .
7 <http://localhost:8080/source/positionEstudiante> <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type> <http://vivoweb.org/ontology/core#PrimaryPosition> .
8 <http://localhost:8080/source/2> <http://purl.obolibrary.org/obo/RO_0000053> <http://localhost:8080/source/positionEstudiante> .
9 <http://localhost:8080/source/positionEstudiante> <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label> "Estudiante" .
10 <http://localhost:8080/source/2> <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type> <http://vivoweb.org/ontology/core#FacultyMember> .
11 <http://localhost:8080/source/2> <http://www.w3.org/2006/vcard/ns#hasURL> <https://www.facebook.com/Angelica.Viorato> .
12 <http://localhost:8080/source/vcard2> <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type> <http://www.w3.org/2006/vcard/ns#Individual> .
13 <http://localhost:8080/source/2> <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label> "Angelica Viorato" .
14 <http://localhost:8080/source/name2> <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type> <http://www.w3.org/2006/vcard/ns#Name> .
    
```

Fig. 4. RDF generado por Karma.

Finalmente, el archivo RDF fue importado a VIVO utilizando el sitio de administración de VIVO. El resultado de la importación del RDF se muestra en la Figura 5.

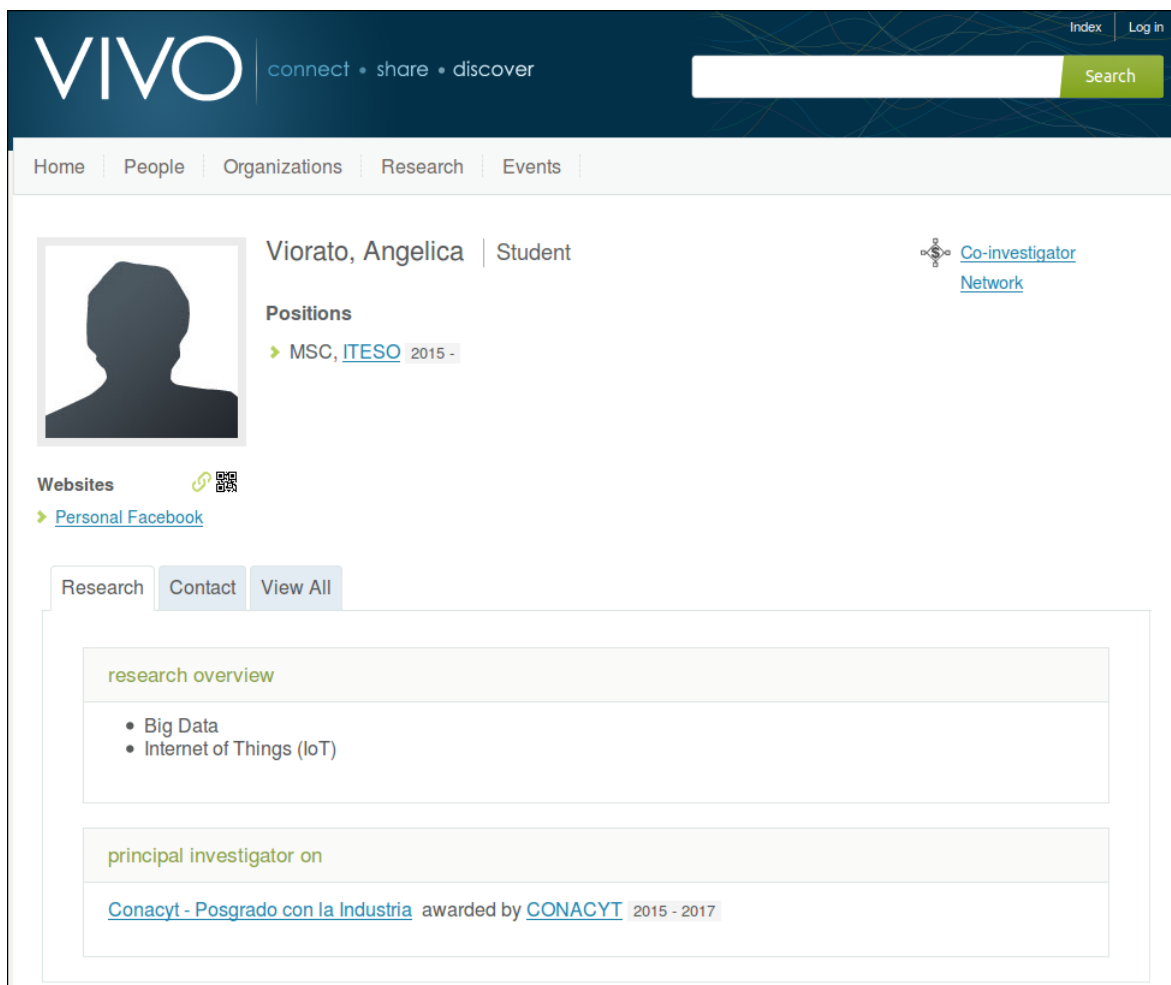


Fig. 5. Importación de datos a VIVO.

CONCLUSIONES

El desarrollo de procesos exitosos de migración de información de bases de datos tradicionales a sistemas basados en la web semántica representa una oportunidad de mejora para los servicios de acceso y organización de información que ofrecen universidades y centros de investigación en todo el mundo. Una de las aportaciones del trabajo reseñado en este documento consiste en demostrar que se pueden obtener resultados en procesos de migración utilizando recursos que gozan de amplia aceptación. La implementación de VIVO como repositorio universitario permite unirse a una red mundial de Universidades con más de 140 miembros, que explotan el potencial de la web semántica para colaborar y compartir información significativa sobre investigaciones. La migración a la web semántica mejora la eficiencia en el análisis del estado del arte al facilitar la colaboración entre investigadores, incrementando así la calidad de las investigaciones. Finalmente, este trabajo ofrece evidencia de que se puede salvaguardar la integridad de la información contenida en bases de datos tradicionales, siempre y cuando se defina con claridad el uso que se le dará en un entorno más actualizado.

BIBLIOGRAFÍA

1. DURASPACE "VIVO", [documentación en línea], [05 Febrero 2017]. Disponible en: <http://vivoweb.org/>
2. Hubzero Platform for Scientific Collaboration, [documentación en línea] 2016 HUBzero Foundation, LLC. [2016 Nov 27]. Disponible en: <https://hubzero.org/>
3. Cineca, IRIS - Institutional Research Information System [documentación en línea] 2016, [2016 Nov 27]. Disponible en: <http://www.cineca.it/en/content/iris-institutional-research-information-system>
4. Profiles Research Networking Software, [documentación en línea], [2016 Nov 27]. Disponible en: <http://profiles.catalyst.harvard.edu/>
5. DURASPACE "VIVO", [documentación en línea] 2016, [2016 Nov 27]. Disponible en: <http://vivoweb.org/>
6. Purdue University, [documentación en línea] 2016, [2016 Nov 27]. Disponible en: <http://www.purdue.edu/>
7. Cineca, [documentación en línea] 2016, [2016 Nov 27]. Disponible en: <http://www.cineca.it/en>
8. Harvard University, [documentación en línea] 2016 The President and Fellows of Harvards College, [2016 Nov 27]. Disponible en: <http://www.harvard.edu/>
9. DURASPACE.ORG, [documentación en línea] 2016 Duraspace organization, [2016 Nov 27]. Disponible en: <https://duraspace.org/>
10. List of IRIS Installations, [documentación en línea] 27 Jul 2016, [2016 Nov 27]. Disponible en: <https://wiki.u-gov.it/confluence/pages/releaseview.action?pageId=67639048>
11. Sites Implementing VIVO, [documentación en línea] Dec 2015, [2016 Jul 12]. Disponible en: <https://wiki.duraspace.org/display/VIVO/Sites+implementing+VIVO>

TINTAS DE SEGURIDAD CON NANOPARTÍCULAS LUMINISCENTES DISPERSAS EN POLÍMEROS NATURALES

Mónica Araceli Camacho González, María del Consuelo Márquez Rueda, Ángel de Jesús Morales Ramírez^b, Uriel Aldair Alarcón Carrillo, Miguel Arteaga Varela, Efraín Rodríguez Gínez.

División de Procesos Industriales, Área Nanotecnología, Universidad Tecnológica de Tecámac, Carretera Federal México-Pachuca Km 37.5, , Col. Sierra Hermosa, Tecámac, Estado de México, C.P. 55740, MÉXICO. ibq_mony@hotmail.com
Coordinación del Área de Posgrado, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica IPN, Cerrada de Cecati s/n, Azcapotzalco, Santa Catarina, Santo Tomas, 02250 Ciudad de México, CDMX, México

RESUMEN

En el presente proyecto, se obtendrá una tinta de seguridad para emplearse contra la falsificación de documentos, constituida por nanoestructuras de ZnO dopadas con el ion Tb^{3+} sintetizadas por la técnica hidrotermal, dispersas en un polímero natural con propiedades fisicoquímicas específicas. La tinta emitirá una coloración verde característica del ion Tb^{3+} en respuesta a la energía absorbida por las nanopartículas de ZnO a una longitud de onda determinada. Para garantizar las propiedades del sistema es necesario emplear técnicas de caracterización específicas.

Palabras clave. Luminiscencia, Dopaje, Dispersión, ZnO, Nanopartículas.

INTRODUCCIÓN

El ZnO es un semiconductor ampliamente estudiado por sus propiedades ópticas y eléctricas, su conductividad es mediada por vacancias de oxígeno [1], tiene una banda prohibida de 3.37 eV, y una alta energía de enlace de 60 meV. Es usualmente usado en celdas fotovoltaicas, dispositivos ópticos, contactos óhmicos transparentes, diodos emisores de luz (LEDs) [2, 3], transistores transparentes de películas delgadas y transductores. [4, 5].

En el campo de la óptica, las propiedades luminiscentes del semiconductor ZnO dopado con tierras raras (Nd^{3+} , Ho^{3+} , Tb^{3+} y Er^{3+}) ha demostrado en primer lugar que la fotoluminiscencia de estos sistemas se debe a una reabsorción de la luz emitida por el ZnO por la tierra rara, en segundo lugar; la emisión de bandas estrechas del espectro visible por los iones de tierra raras (TR^{3+}) los cuales pueden o no sustituir a los átomos de zinc u ocupar los intersticios en la estructura cristalina del ZnO [6, 7]. Varios métodos han sido usados para la síntesis de nanoestructuras de ZnO dopado, dentro de ellos el método hidrotermal [8], siendo un método de reacción química homogénea o heterogénea en presencia de un disolvente (acuosa o no acuosa) por encima de la temperatura ambiente y a presión mayor que 1 atm en un sistema cerrado [9], el cual facilita el control de los parámetros de reacción tales como concentración, tiempo de reacción, temperatura de reacción, uso de solventes y surfactantes, control de pH, control de presión autógena, etc., y se obtienen materiales puros, de morfología homogénea y el tamaño promedio es muy exacto.

En este proyecto se sintetizarán nano partículas de ZnO dopadas con terbio ($ZnO:Tb^{3+}$) con una morfología de nanoalambres mediante el método hidrotermal, para tal fin se utilizarán surfactantes para modificar el crecimiento preferencial, acetatos y nitratos como precursores del Zn^{2+} y del ion

dopante Tb^{3+} . El terbio tiene aplicaciones potenciales como activador para producir color verde en la matriz que dopa y emite luz continua a 546 nm. Las nanopartículas se dispersarán en un polímero natural de almidón de papa por sonicación para crear fuertes enlaces químicos dentro del nanocompuesto [10, 11, 12, 13]

PARTE EXPERIMENTAL

Para la obtención de nanopartículas de $ZnO:Tb^{3+}$ se utilizó como precursor del ion Zn^{2+} el acetato de zinc ($Zn(CH_3COO)_2$), como ajustador de pH, hidróxido de sodio (NaOH), como precursor de ion dopante se utilizó nitrato de terbio hexahidratado ($Tb(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$) y como agente surfactante dodecil sulfato de sodio, SDS.

Se preparó una solución a 0.006 M de $Zn(CH_3COO)_2$ en 20 ml de H_2O , manteniendo agitación constante durante 15 min, se agregó por goteo NaOH 0.01 M para obtener un pH básico y se agregó el $Tb(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ a 5, 7, 10 y 15 % en relación al ion Zn^{2+} , se mantuvo en agitación para lograr la homogeneidad, el precipitado obtenido se obtuvo por centrifugación 4000rpm durante 15 min. El precipitado lavado, se añadió a la solución de SDS y se agitó vigorosamente, la solución obtenida se colocó en un recipiente de teflón que se llevó a un autoclave para el proceso hidrotermal a 200°C por 4 hr, al término de la reacción el precipitado se lavó por triplicado, el producto obtenido se pasó a un proceso de secado a 110°C por 24hrs al término del cual, siguió un tratamiento térmico a 200°C por 5 h para favorecer la cristalización del sistema.

Para la obtención del nanocomposito se extrajo el polímero natural (almidón) de la papa, utilizando sonicación para incorporación de las nanopartículas de $ZnO:Tb^{3+}$. El almidón de la papa se extrajo macerando 100gr de papa rallada que se llevaron a 100ml de agua para obtener una pasta homogénea, se filtró la mezcla, el polímero se obtuvo por centrifugación a 4000rpm por 15 min, posteriormente el almidón se re suspendió en 35 ml de agua donde se adicionaron 0.0250g de las nanopartículas $ZnO:Tb^{3+}$, la mezcla se trató en un baño ultrasónico a 40 kHz durante 15 min a temperatura ambiente. Se adicionaron 3ml de la disolución de HCl y se calentó hasta 100 °C por 15 min, para detener la reacción se agregó por goteo 1.5ml de la solución de NaOH para neutralizar el ácido excedente, la mezcla resultante se vertió en vidrios de reloj y se dejó reposar durante 24hrs.

Las nanopartículas con diferentes porcentajes de dopaje y se llevaron a análisis por espectroscopia infrarroja por la transformada de Fourier y por Difracción de rayos X, para conocer la presencia de los enlaces y la estructura cristalina de la nanopartícula.

RESULTADOS

En la figura 1 se muestran los espectros de Espectroscopía FTIR de las experimentaciones A y B de $ZnO:Tb^{3+}$ con una concentración del ion Tb^{3+} al 7% con respecto al ion Zn^{2+} . En ambas experimentaciones encontramos la presencia del enlace Zn-O aproximadamente a los $500cm^{-1}$ así como la presencia de los enlaces C=O ubicados a los $1454cm^{-1}$, sin embargo en la experimentación B se aprecia la presencia de una banda de absorción ubicada cerca de los $1093cm^{-1}$ la cual puede indicar la presencia de un enlace C-N debido al precursor del ion Tb^{3+} [14].

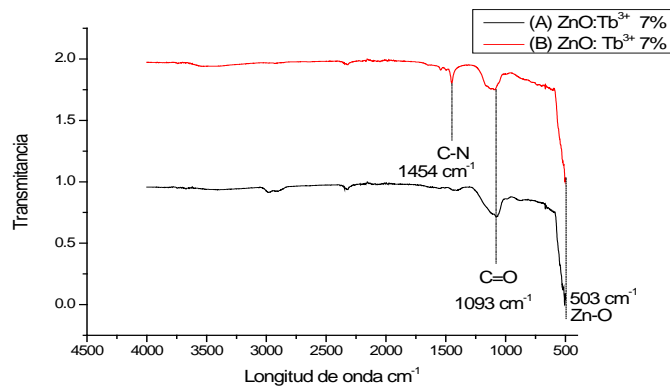


Figura 53 Espectros de FTIR de nanopartículas de ZnO:Tb³⁺ a una concentración al 7% del ion dopante con respecto al ion Zn²⁺.

Por la técnica de DRX, se analizó la estructura cristalina de las nanopartículas sintetizadas, los difractogramas obtenidos se compararon con la estructura del ZnO puro tomado de la carta de difracción 01-080-0074. Los resultados obtenidos fueron de gran importancia debido a que se mostró una gran similitud en las estructuras, presentando un desfaseamiento hacia la izquierda en algunos de los picos de difracción lo cual indica la presencia del ion dopante en la estructura modificando los parámetros de red así como los planos cristalográficos que esta posee.(Figura 2)

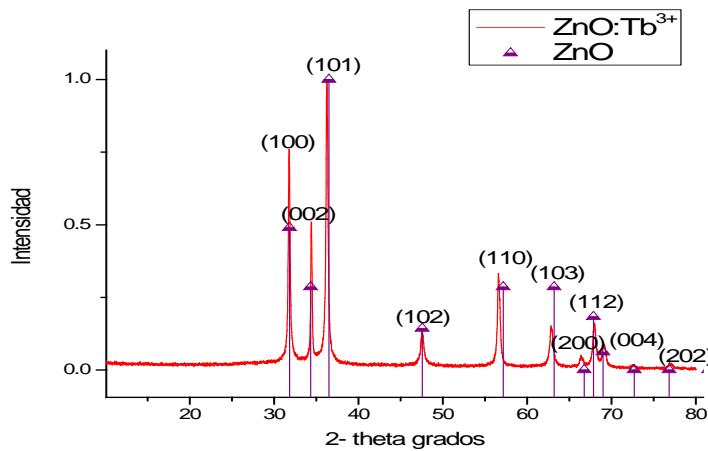


Figura 54 Difractograma ZnO:Tb³⁺ a una concentración de 7% del ion dopante con respecto al Zn²⁺.

Por espectroscopia UV-VIS se apreció la banda de absorción de las nanopartículas de ZnO:Tb³⁺ ubicada a los 384 nm, figura 3. Se calculó la energía de banda prohibida E_g para las nanopartículas sintetizadas empleando la ecuación 1.

$$eV = \frac{hc}{\lambda} \tag{Ec. 1}$$

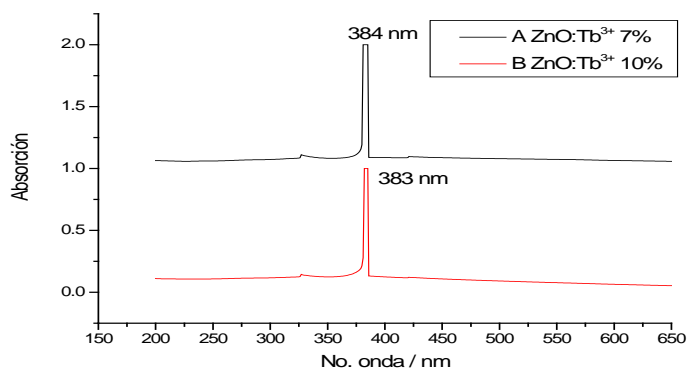


Figura 3 Espectros de UV-VIS de nanopartículas de ZnO:Tb³⁺.

En la figura 4 se observa el espectro de FTIR del nanocompuesto de ZnO:Tb³⁺/Polímero natural a base almidón, se presentan vibraciones a los 1150 cm⁻¹ correspondientes al enlace CO, así como a los 1314 cm⁻¹ correspondientes a los enlaces CC y a la banda de 1006 cm⁻¹ es atribuida a la vibración y estiramiento del enlace COH la cual es característica de la fase amorfa del almidón, se encuentran bandas entre los 3000 y 3500 cm⁻¹ correspondientes a los enlaces -OH y ubicada a los 500 cm⁻¹ se encuentra la banda característica del Zn-O. [15]

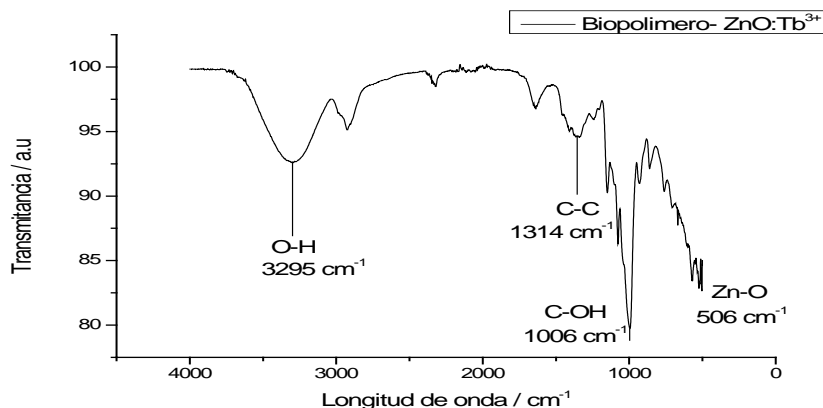


Figura 4 FTIR Polímero natural / ZnO:Tb³⁺

Se realizaron las dispersiones con las nanopartículas de ZnO:Tb³⁺ con diferentes porcentajes. Las dispersiones de las nanopartículas al 2 y 1% en relación peso, se pueden apreciar homogéneas y con una elevada transparencia

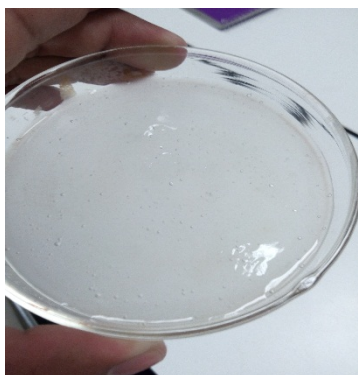


Figura 5 *Dispersión de nanopartículas de ZnO:Tb³⁺ en un polímero natural de almidón de papa.*

CONCLUSIONES

La síntesis de las nanoestructuras ZnO:Tb³⁺ se llevó de manera adecuada debido a la presencia de los rasgos característicos de la molécula en los análisis por FTIR y DRX, también se determinó que las nanopartículas de ZnO:Tb³⁺ poseen una bandgap diferente al ZnO en estado Bulk, los resultados de la dispersión fueron los esperados cumpliendo con los objetivos teniendo un composito translucido, sin embargo esta investigación seguirá en desarrollo para realizar las caracterizaciones correspondientes para comprobar sus propiedades luminiscentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. Kittel, *Introducción a la Física del Estado Solido*, México: Reverté, S.A., 1995.
2. J. B. Webb y D. F. Williams, «Transparent and highly conductive films of ZnO prepared by rf reactive,» *Applied Physics Letters*, vol. 39, n° B, pp. 640-642, 1981.
3. H. Nanto, T. Minami, S. Shooji y S. Takata, «Electrical and optical properties of zinc oxide thin films prepared by rf magnetron,» *Journal of Applied Physics*, vol. 55, n° 4, pp. 1029-1034, 1984.
4. G. Kino y R. S. Wagers, «Theory of interdigital couplers on nonpiezoelectric substrates,» *Journal of Applied Physics*, vol. 44, n° 4, pp. 1480-1488, 1973.
5. J. Lee, I. Leu y M. Hon, «Substrate effect on the growth of well-aligned ZnO nanorod,» *Journal of Crystal Growth*, vol. 275, n° B, pp. 2069-2075, 2005.
6. D. Kouyate, J. C. Ronfard-Haret y J. Kossanyi, «Photo and electro-luminiscence of rare earth-doped semiconducting zinc oxide electrodes: Emission from both the dopant and the support.,» *Journal of Luminiscence*, vol. 50, pp. 205-210, 1991.
7. J. Kossanyi, D. Kouyate y J. Pouliquen, «Photoluminescence of semiconducting zinc oxide containing rare earth ions as impurities,» *Journal of Luminiscence*, vol. 46, pp. 17-24, 1990.
8. H. Hu, X. Huang, C. Deng, X. Chen y Y. Qian, «Hydrothermal synthesis of ZnO nanowires and nanobelts on a large scale,» *Materials Chemistry and Physycs*, vol. 106, pp. 58-62,

2007.

9. K. Byrappa y M. Yoshimura, Byrappa K, Yoshimura M. Handbook of hydrothermal technology: A Technology for Crystal Growth and, New Jersey, U.S.A.: NOYES PUBLICATIONS, 2002.
10. Z. Guo, V. Henry, E. Palshin y E. Podlaha, «Synthesis of poly (methyl methacrylate) stabilized colloidal zero-valence metallic nanoparticles,» *Journal of Materials Chemistry*, vol. 16, pp. 1772-1777, 2006.
11. E. Marutani, S. Yamamoto, T. Ninjbadgar y Y. Tsujii, «Surface-initiated atom transfer radical polymerization of methyl methacrylate on magnetite nanoparticles,» *Polymer*, vol. 45, p. 2231–2235, 2004.
12. S. Yu y G. Chow, «Carboxyl group (–CO₂H) functionalized ferrimagnetic iron,» *Journal of Materials Chemistry*, vol. 14, p. 2781–2786, 2004.
13. Y. Lee, H. Lee, P. B. Messersmith y T. Park, «A Bioinspired Polymeric Template for 1D Assembly of Metallic Nanoparticles, Semiconductor Quantum Dots, and Magnetic Nanoparticles,» *Macromolecular Rapid Communications*, vol. 31, p. 2109–2114, 2010.
14. J. Partha P. Pal, «EFFECT OF Li CO-DOPING ON THE LUMINESCENCE PROPERTIES OF ZnO:Tb NANOPHOSPHORS,» *NANOSYSTEMS: PHYSICS, CHEMISTRY, MATHEMATICS*, p. P. 395–404, 2013.
15. Q. LIU, «Phase transition in potato starch- water system I. starch galatinization at high moisture level,» *food research internacional*, pp. 397-407, 2002.

COMO MODIFICA LA TEMPERATURA LAS FASES CRISTALINAS DE FOTOCATALIZADORES DE TiO_2 -Fe AL INCORPORAR EL Fe.

M. Orozco-González, M. Villicaña-Méndez, J. Apolinar Cortes, Rafael Huirache Acuña.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. accion18@hotmail.com

RESUMEN

La impurificación del TiO_2 con metales se realiza para modificar la capturar los electrones inhibiendo la recombinación de pares electrón-hueco durante el proceso de fotocátalisis entre otros. Las síntesis asistidas por microondas requieren un tiempo de reacción más corto y capaz de producir partículas pequeñas con una distribución de tamaño de partícula limitada logrando una elevada pureza. El presente trabajo tiene el propósito con un método asistido por microondas catalizadores de TiO_2 impurificados con hierro adicionado en distintas formas y bajas concentraciones: (Magnetita-Mineral, Magnetita-Nanométrica, Síntesis de magnetita sobre el fotocatalizador, Sal de hierro. Todas desde 0.025-1.4245%) para ver el efecto sobre la cristalización de los catalizadores y la temperatura de transición de fases. Los catalizadores sintetizados se caracterizaron con Difracción de Rayos X, mostrando la presencia de fase cristalina Rutilo a partir de 500°C independientemente de la forma y concentración en que se adicione el hierro; además, está la presencia de la fase Anatasa a partir de los fotocatalizadores sin tratamiento; con 0.1 % de Fe se tiene una mayor cristalización y formación de fase Rutilo más Anatasa; con 1.42% de Fe desde 400°C se tiene la fase Rutilo y Anatasa. Se evaluó la Actividad Fotocatalítica sobre el AA9 a 20 ppm, el fotocatalizador sintetizado con 0.025% Fe la mejor degradación se presenta a los 600°C , con 0.05 % de Fe la mayor degradación se presenta a los 500°C , con 0.1 % de Fe la mayor degradación es sin tratamiento térmico.

INTRODUCCIÓN

El método de síntesis sol-gel permite la obtención de óxidos metálicos en forma de polvos, películas delgadas o como un material denso, cuyo objetivo es alcanzar un sólido de alta pureza de alta homogeneidad a escala molecular [2-3]. El método sol-gel consiste en cuatro etapas generales [3]:

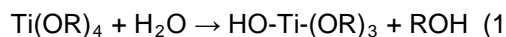
1. Preparación de una disolución coloidal de los precursores.
2. Gelificación de la disolución coloidal. El gel es una red porosa tridimensional formada por la interconexión de partículas sólidas en un medio líquido.
3. Secado del gel (xerogel).
4. Calcinación del xerogel para obtener el material cerámico.

Este método puede diferenciarse según las características de las sustancias precursoras, ya sea en fase acuosa (precursores ionizados) o en fase orgánica (precursores no ionizados, como los alcóxidos). El proceso de obtención del gel comprende cuatro etapas sucesivas:

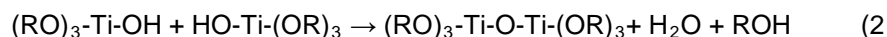
Hidrólisis → Polimerización → Nucleación → Crecimiento → Aglomeración

En el caso de la síntesis de TiO₂ usando alcóxidos como precursores orgánicos se llevan a cabo las siguientes reacciones generales [1]:

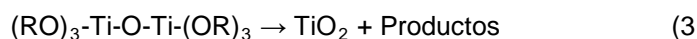
Hidrólisis



Polimerización



Tratamiento térmico



Donde R representa a la cadena alquílica del alcóxido precursor.

TEORÍA

Impurificación con metales. La modificación de los catalizadores de dióxido de titanio también ha sido hecha a través de la incorporación en su estructura cristalina de diversos metales como Fe, Cr, Sn, Pt, V. La presencia de impurezas, como especies metálicas, en el semiconductor es generalmente perjudicial para la degradación de especies orgánicas en sistemas acuosos aunque algunos resultados controversiales han sido reportados. No obstante, las actividades fotocatalíticas del dióxido en cuestión impurificado substancialmente dependen de la naturaleza iónica del agente con el que se realiza la impurificación y la concentración de éste último junto con los métodos de preparación o síntesis además de los tratamientos térmicos y/o reductivos.[4].

Jiefang et al.[4] lograron además, sintetizar el dióxido de titanio impurificado con un ion de hierro por método hidrotérmico. Consiguieron mostrar en el espectro de reflectancia difusa UV-Vis un ligero salto a longitudes de onda mayores y una extensión en la absorción de luz en la región visible para casi todas las muestras impurificadas con el ion a diferencia de las muestras puras. Pudieron degradar el colorante amarillo XRG en fase acuosa bajo irradiación con luz UV y visible. Encontraron además que la cantidad de hierro en el dióxido impurificado tiene un rol muy importante, lo que afecta así la actividad fotocatalítica; el contenido óptimo de hierro tiene la capacidad de mejorar tal actividad, especialmente bajo la irradiación de la luz visible.

Pang et al.[5] sintetizaron catalizadores similares pero le dieron una forma distinta al dióxido y utilizaron otro método alternativo de síntesis. Sintetizaron nanotubos del dióxido e impurificados con hierro a partir del método sol-gel seguido por el método hidrotérmico. Señalan que los iones de hierro pudieron incorporarse a la red cristalina del catalizador. Sus catalizadores impurificados mostraron, al igual que los anteriores, un “band gap” más estrecho pero además áreas superficiales específicas mucho mayores en comparación con el catalizador puro y mostraron una actividad sono-catalítica significativamente mejorada. La cantidad óptima de hierro nuevamente es mencionada como crucial. Adicionalmente, señalaron que estos nanotubos impurificados con hierro podrían mantener una alta eficiencia en la degradación incluso después de ser utilizados durante 4 ciclos catalíticos con una pérdida mínima de hierro de la superficie de los catalizadores.

Cuando se requiere la calcinación a altas temperaturas para la síntesis del catalizador (impurificado o no), la síntesis no se podrá concretar si se hace uso de algún sustrato polimérico debido a que la alta temperatura afectaría la pobre estabilidad térmica del sustrato. Dada esta situación,

recientemente ha habido un interés hacia otros métodos de síntesis con mayor efectividad para lograr la fabricación de materiales avanzados (TiO_2).[6,7].

Kim et. al. [8] hicieron uso de la técnica previamente descrita para obtener al fotocatalizador en cuestión impurificado con Fe y N. Sus resultados experimentales mostraron que el semiconductor obtenido posee la fase cristalina anatasa y el "band gap" del fotocatalizador sintetizado se desplazó hacia longitudes de onda superiores a las de la luz UV pudiendo así absorber energía radiante de la región de luz visible; estas son las cualidades a las que atribuyeron su buen comportamiento fotocatalítico.

Las reacciones químicas (hidrólisis y condensación) son auxiliadas o asistidas por las microondas dentro de un reactor que sea capaz de producir esta clase de ondas. En comparación con los sistemas ya mencionado, las síntesis químicas asistidas por las microondas requieren un tiempo de reacción más corto y son capaces de producir partículas pequeñas con una distribución de tamaño de partícula limitada al mismo tiempo que logran una elevada pureza.[8]. Poseen además ventajas únicas como el calentamiento uniforme y rápido.[7].

Boonyod et. al. [6] reportaron satisfactoriamente la síntesis de polvos de TiO_2 nanocristalino con y sin impurificación de hierro a baja temperatura a través del método de sol-gel pero asistido por microondas. Encontraron que la fase cristalina anatasa se formó y el comportamiento antibacteriano de sus polvos sintetizados hacia la *Escherichia coli* bajo irradiación UV y fluorescente mostró una muy buena actividad antibacteriana en comparación con el polvo comercial "Degussa P25" pero también observaron que los polvos sintetizados tienen un tamaño de cristal más pequeño y un área superficial específica mayor que los polvos comerciales a causa de la ausencia de la calcinación a altas temperaturas. La DRX y la espectroscopia Raman confirmaron que las nanopartículas impurificadas tienen un alto grado de cristalinidad y el desarrollo total de la anatasa a los 500°C . Finalmente, lograron que el tamaño de partícula del fotocatalizador impurificado fuera más pequeño que el del fotocatalizador puro.

Inclusive con este método, ya se ha encontrado la síntesis de materiales mesoporosos tal como lo demostraron [7]. Pudieron desarrollar un método novedoso y fácil para una rápida síntesis de TiO_2 mesoporoso vía hidrotérmica pero asistida por microondas. Los resultados que se obtuvieron señalan que el catalizador sintetizado poseía principalmente anatasa, un tamaño de cristal de entre 5.0 nm y 8.6 nm, áreas superficiales específicas de $217\text{m}^2/\text{g}$ hasta $323\text{m}^2/\text{g}$ y un diámetro de poro de 5.8nm a 6.9nm, observándose claramente las características mesoporosas.

PARTE EXPERIMENTAL

El trabajo se realizó por partes principales: la síntesis de los fotocatalizadores y la caracterización. Las síntesis de los polvos de dióxido de titanio y dióxido de titanio dopado con magnetita se realizaron con el método asistido por microondas, fueron secados a 100°C y sometidos a diferentes tratamientos térmicos como son 400 , 500 y 600°C .

Se realizaron por duplicado las siguientes síntesis:

- Dióxido de Titanio – Magnetita mineral,
- Dióxido de Titanio – Magnetita sintética,
- Dióxido de Titanio – Magnetita grado reactivo (tamaño nanométrico)
- Dióxido de Titanio – Magnetita grado reactivo + Sal precursora de Fe.

Nota: la síntesis realizada Dióxido de Titanio – Magnetita sintética se realizó por el método de Co-precipitación.

Dispersión de la sal precursora de hierro: La cantidad de Magnetita así como la cantidad de la sal precursora de Fe correspondiente, se adicionó al agua destilada a temperatura ambiente y con agitación moderada.

En este trabajo se sintetizaron catalizadores de TiO_2 dopado con hierro al 0.025% con adición de magnetita y se compara con la adición de sal de hierro a concentraciones que van desde 0.05-1.4245% de sal.

Tabla 1. Cantidades empleadas en la síntesis de catalizadores de TiO_2 – magnetita.

% mol Total	% mol Fe^+ sal	% Magnetita	$W_{\text{sal precursora}}$ (g)	$W_{\text{magnetita}}$ (g)
TiO_2 puro	-	-	-	-
0.025%	0	0.025	0	0.0022
0.05%	0.025	0.025	0.0038	0.0022
0.10%	0.075	0.025	0.114	0.0022
0.5%	0.475	0.025	0.0724	0.0022
1.0%	0.975	0.025	0.1494	0.0022
1.4245%	1.3995	0.025	0.2153	0.0022

Síntesis en el reactor de microondas: se utilizó un reactor de microondas Anton Paar Synthos 3000, en viales se agregaron las siguientes reactivos: 1. Etanol, 2. Butóxido de titanio, 3. Agua desionizada, 4. Suspensión precursora de Magnetita. Se calcularon las cantidades para obtener un total de 3 g de TiO_2 puro, al cual se le incorporaron las partículas de hierro. Los viales se introdujeron al reactor, con condiciones de operación específicas. Se seca en una mufla a 100°C durante 24 h, se muele hasta un tamaño de partícula de 0.0573 mm.

Síntesis por el método de Co-precipitación: Se utiliza una síntesis de Dióxido de titanio asistido por microondas ya seco. Se prepara una solución de NaOH con dióxido de titanio en agitación y burbujeo con gas de nitrógeno, se deja caer 1 gota/s de la mezcla de óxido férrico y ferroso hasta que se termine la mezcla de óxidos. Se toma el pH final de la solución. Se centrifuga para retirar la solución de NaOH excedente y se lavas con agua, se seca y muele.

Calcínación de los catalizadores: El catalizador es sometido a calcínación en una mufla a 400°C , 500°C , 600°C y 700°C .

RESULTADOS

El análisis de muestras sólidas mediante la Difracción de Rayos X (DRX, por sus siglas en inglés). Muestra las fases cristalográficas presentes en los polvos sintetizados en un difractor de polvos de Rayos X marca SIEMENS modelo D5000, utilizando cátodo de cobre (radiación $K\alpha$ de cobre $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) con filtro de Níquel, los difractogramas se registraron en una escala de 2θ y un ángulo de $10^\circ - 90^\circ$ con un tamaño de paso de $0.02^\circ/0.6 \text{ s}$ (igual a $2^\circ/\text{min}$).

Se trabajaron los datos obtenidos del difractómetro de Rayos X en el programa Origin Pro obteniendo las siguientes figuras 1 – 4, en las cuales se obtuvieron para la primera concentración de Fe que es 0.025% en las formas que se mencionan en la tabla 1.

En estos difractogramas solo presento el efecto de la temperatura de calcinación en función de las fases presentes para una misma concentración de Fe.

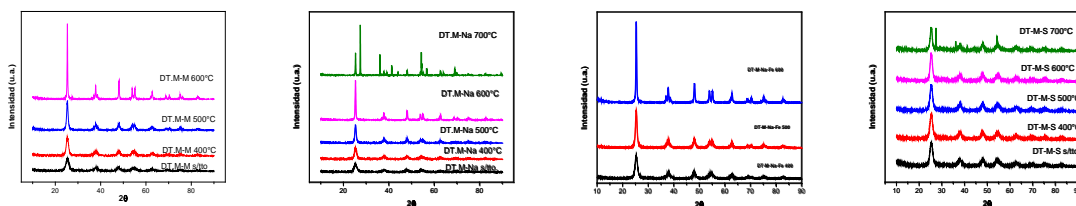


Figura 1. DT-M-Min s/tto, 400 – 600°C **Figura 2.** DT-M-Na s/tto,400 – 700°C **Figura 3.** DT-M-Na-Fe 0.05% 400 – 600°C **Figura 4.** DT-M-S s/tto, 400 – 700°C

En las figuras 1-4, se puede observar que al incrementar la temperatura de tratamiento térmico se tiene mayor cristalinidad mostrando en todos los catalizadores, el pico más grande que se localiza entre $2\theta = 25.31^\circ$, el cual coincide con el doble ángulo de difracción representativo de la fase anatasa [1, 9]. En la mayoría de los catalizadores a partir del tratamiento térmico de 500 °C empieza a haber presencia de la fase rutilo (además de la anatasa), cuyo pico característico se localiza aproximadamente en $2\theta = 37.82^\circ$ [9,11]; Esto es contrario a lo que reportan sobre la influencia del hierro en la transformación anatasa-rutilo. [12]. (sol-gel): *atraso* y [13]. (MOCVD): *aceleración*. En el caso del catalizador DT-M-S figura 4, no muestra diferencia entre los tratamientos térmicos, se puede observar además que no hay variación significativa en la cristalinidad obtenida, y solamente está presente la fase Anatasa.

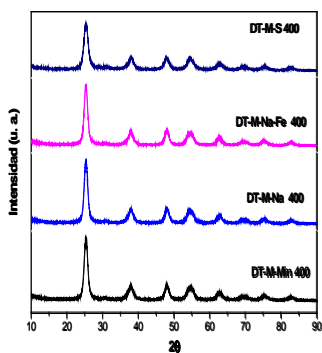


Figura 5. DT-M-Min-Na-Na 0.025% Fe-S c/tratamiento térmico a 400°C

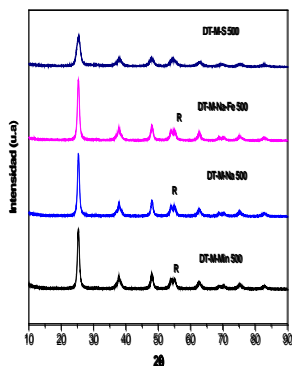


Figura 6. DT-M-Min-Na-Na 0.025% Fe-S c/tratamiento térmico a 500°C

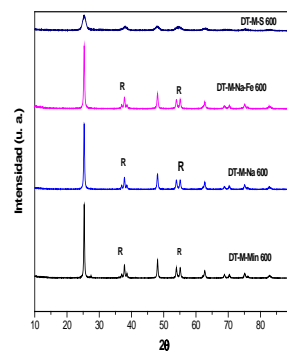


Figura 7. DT-M-Min-Na-Na 0.025% Fe-S c/ tratamiento térmico a 600°C.

La figura 5, muestran todos los catalizadores obtenidos y sometidos a tratamiento térmico de 400 °C en los cuales se puede observar el pico definido de la fase anatasa localizada a partir de los $2\theta=25.31^\circ$, también se observa que empieza a presentar la fase rutilo pero no está bien definido su pico. En la figura 6, se observa que en los tratamientos para los catalizadores: DT-M-Min, DT-M-Na, DT-M-NaFe, DT-M-S a 0.025%, a medida que aumenta la temperatura de calcinación de 400 a 500°C el pico de la fase anatasa crece ($2\theta= 25.31^\circ$) y aparece también el pico de la fase rutilo localizada en $2\theta= 53.89^\circ$. Esta figura muestra que con el tratamiento térmico aumenta la cristalinidad de los catalizadores, a excepción del catalizador DT-M-S el cual no muestra aparente cambio en la cristalinidad y solo se puede observar la fase Anatasa. La figura 7, muestra un mayor crecimiento de los picos, atribuyéndose a una mayor cristalinidad, sobre todo en los catalizadores: DT-M-Min, DT-M-Na, DT-M-NaFe, DT-M-S con una concentración de 0.025% Fe. Se observa un aumento de altura en los picos y una disminución de base (que es proporcional al tamaño de cristal de las fases presentes) probablemente un tamaño de cristal nanométrico. Conforme aumenta la temperatura de calcinación, hay una diferencia en el tamaño de cristal de los catalizadores [1].

Las diferencias observadas con el incremento en la cantidad de hierro dopado a 500°C y 600°C podrían deberse a que a esta última temperatura hay una *tendencia* hacia la transformación de la fase Anatasa a la Rutilo (esta última termodinámicamente más estable que la anatasa [14]), por lo que si la cantidad de hierro rebasa un cierto límite se tendrá modificaciones en la cristalinidad, esto es, menor cristalinidad producto de la diferencia de los radios iónicos del Ti^{4+} y del Fe^{3+} (0.68 Å y 0.64 Å, respectivamente [15]), la cual genera defectos en la estructura del material debido a la mayor sustitución de iones de Ti^{4+} por iones Fe^{3+} para formar una solución sólida.

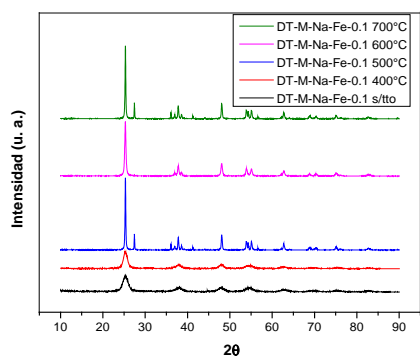


Figura 8. DT-M-Na-0.1% Fe s/tto,
400 – 700°C

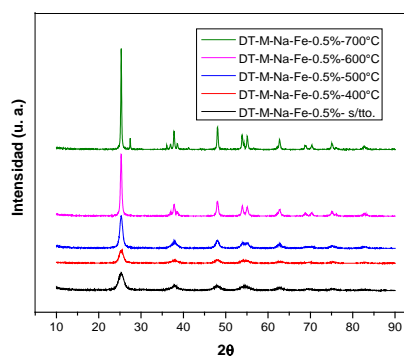


Figura 9. DT-M-Na-0.5% Fe s/tto,
400 – 700°C

En la figura 8 se muestran el tratamiento térmico del catalizador DT-M-NaFe 0.1% sin tratamiento y a 400°C se observa la presencia de la fase anatasa, se tiene un incremento mayor del pico a 500°C y muestra la presencia de ambas fases Anatasa y Rutilo desde 500 a 700°C, hay una disminución del pico a 700°C. En la figura 9 se muestra el tratamiento térmico del catalizador DT-M-NaFe 0.5%, sin tratamiento y a 400°C se observa la presencia de la fase anatasa. Conforme se

incrementa la temperatura se observa un aumento de altura en los picos y una disminución de base estando presente la fase rutilo además de la anatasa. Se tiene un incremento mayor del pico a 700°C mostrando la presencia de ambas fases Anatasa y Rutilo.

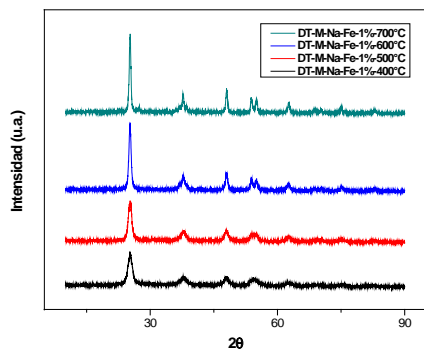


Figura 10. DT-M-Na-1% Fe 400 – 700 °C

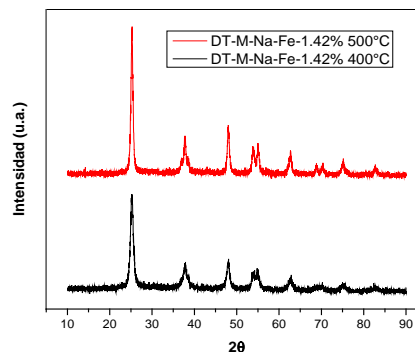


Figura 11 DT-M-Na-1.42% Fe 400 Y 500°C

En la figura 10 se muestra los diferentes tratamientos térmicos utilizados del catalizador DT-M-NaFe 1%, muestra la presencia de ambas fases Anatasa y Rutilo desde 400 a 700°C, se tiene un incremento mayor del pico a 700°C. En la figura 11 se muestra los tratamientos térmicos utilizados del catalizador DT-M-NaFe 1.42%, muestra la presencia de ambas fases Anatasa y Rutilo, desde los 400°C y a 500°C se observa un aumento de altura en los picos, dejando más definido la fase y una disminución de base.

CONCLUSIONES

Lo que podemos concluir en esta etapa de la investigación analizando los catalizadores por Rayos X es la presencia de la fase cristalina rutilo a partir de los 500°C independientemente de la forma y concentración en que se adicione el hierro. Además, está la presencia de la fase Anatasa a partir de los fotocatalizadores sin tratamiento.

Con 0.1 % de Fe se tiene una mayor cristalización y formación de fase Rutilo además de Anatasa. Con 1.42% de Fe desde 400°C se tiene la fase Rutilo y Anatasa.

Estos fotocatalizadores su función es en la degradación de colorantes evaluando la Actividad Fotocatalítica sobre el AA9 a 20 ppm, el fotocatalizador sintetizado con 0.025% Fe la mejor degradación se presenta a los 600°C, con 0.05 % de Fe la mayor degradación se presenta a los 500°C, con 0.1 % de Fe la mayor degradación es sin tratamiento térmico.

BIBLIOGRAFÍA

1. U. Caudillo-Flores, "Estudio comparativo de la síntesis de TiO_2 , por los métodos sol-gel convencional y sol-gel catalizado por microondas", Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2011.
2. E. Jiménez-González, "Depósito químico sol-gel", Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México.

3. G. Monrós, J. A. Badenes, A. García, M. A. Tena, "El color de la cerámica: nuevos mecanismos en pigmentos para los nuevos procesados de la industria cerámica", Publicacions de la Universitat Jaume I, 2003.
4. Zhu Jiefang, Sheng Qiaorong, Zheng Wei, He Bin, Zhang Jinlong, Masakazu Anpo. Characterization and photocatalytic reactivity of Fe-TiO₂ photocatalysts synthesized by hydrothermal method. www.paper.edu.cn, 2003.
5. Yean Ling Pang, Ahmad Zuhairi Abdullah. Effect of low Fe³⁺ doping on characteristics, sonocatalytic activity and reusability of TiO₂ nanotubes catalyst for removal of Rhodamine B from water. *Journal of hazardous materials*, 2012, 235-236, 326-335.
6. Saowaluk Boonyod, Weerawan Sutthisripok, Lek Sikong. Antibacterial activity of TiO₂ and Fe³⁺ doped TiO₂ nanoparticles synthesized at low temperature. *Advanced materials research*. 2011, 214, 197-201.
7. Chun-Hsien Huang, Yen-Tung Yang, Ruey-An Doong. Microwave-assisted hydrothermal synthesis of mesoporous anatase TiO₂ via sol-gel process for dye-sensitized solar cells. *Microporous and mesoporous materials*, 2011, 142, 473-480.
8. Vicent Rodríguez-González, Gobinda Gyawali, Sung-Hun Cho, Tohru Sekino, Soo-Wohn Lee. Synthesis of solar light responsive Fe, N co-doped TiO₂ photocatalyst by sonochemical method, Tae-Ho Kim, *Catalysis today*, 2012.
9. Abdollah Fallah Shojaie, Mohammad Hassan Loghmani. La³⁺ and Zr⁴⁺ co-doped anatase nano TiO₂ by sol-microwave method. *Chemical engineering journal*, 2010, 157, 263-269.
10. Zapata Dederle A. C. 2008. Tesis Maestría en Ingeniería en Materiales: "Síntesis y Caracterización de Magnetita pura y dopada con cerio o titanio". Universidad de Antioquia. Medellin.
11. L. Luu, Q. T. Nguyen, S. T. Ho, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 1(2010) 015008 (5 pp), <http://stacks.iop.org/ANSN/1/015008>.
12. Y. Zhang, S. G. Ebbinghaus, A. Weidenkaff, T. Kurz, H-A K. v. Nidda, P. J. Klar, M. Güngerich, A. Reller, *Chem. Mater.* 15 (2003) 4028-4033.
13. X. Zhang, L. Lei, *Mater. (MOCVD) Lett.* 62 (2008) 895-897.
14. J. Winkler, "Titanium Dioxide", Vincentz Network, Hannover, Germany, 2003.
15. Wang, C. Böttcher, D. W. Bahnemann, J. K. Dohrmann, *J. Mater. Chem.* 13 (2003), 2322-2329.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE TENSOESTRUCTURA AL AIRE LIBRE POR EL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO

Humberto Rodríguez-Bravo, Miroslava Cano-Lara, Francisco Torres-Chimal, Alejandro Tadeo-Chávez, José Vázquez-Martínez

Depto. Mecatrónica. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

RESUMEN

Una tensoestructura es una superficie delgada y flexible diseñada para soportar esfuerzos de tracción, montada sobre una serie de elementos los cuales forman una estructura rígida la cual es soportada varias columnas, tensada por cables y soportes. La investigación para el desarrollo de este trabajo, comienza sobre la importancia que tiene el realizar un análisis previo a la construcción de una tensoestructura, ya que este tipo de estructuras deben garantizar completa seguridad a sus usuarios además de resistir a las condiciones climatológicas del lugar donde son construidas. Este trabajo trata del análisis de una tensoestructura construida al aire libre, para lo cual se aplica un enfoque particular de diseño. El método de análisis utilizado, es el llamado Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD por sus siglas en inglés), que tiene ventajas sobre otros, proporcionando un diseño más realista y su uso resulta en estructuras más confiables y económicas.

Con el fin de hacer una evaluación del comportamiento de la tensoestructura bajo las condiciones ambientales a las que está sometida, se realizó un Análisis Estructural de la misma utilizando el software ANSYS, que utiliza el Método de Elemento Finito para su solución. Con equipo de punta se llevaron a cabo las mediciones que permitieron crear el modelado de las geometrías de cada elemento de la tensoestructura en el software ANSYS para poder realizar las simulaciones y obtener los resultados del análisis de esfuerzos y deformación de los elementos del sistema, lo cual permita predecir los puntos críticos de la tensoestructura y así poder tener una mayor confiabilidad en el diseño.

INTRODUCCIÓN

Una tensoestructura es una superficie que soporta cargas a través de esfuerzos de tracción. En estudios realizados en una tensoestructura, Marroquín (2012), ellas se componen principalmente por elementos totalmente flexibles, entre éstos tenemos la membrana textil y los cables. Además de ellos existen elementos rígidos como lo son el mástil o columnas y los puntos de anclaje que soportan y mantienen la tensión de los otros elementos.

De esta manera se forma un sistema basado en la flexibilidad y la tensión. Battaglia (2009) establece una clasificación de las tensoestructuras en función de la forma de la superficie o en función de las condiciones de apoyo. Las formas básicas son:

- Superficies sinclásticas tensadas o de doble curvatura, en este tipo de estructuras se suelen utilizar redes con mallas regulares (triangulares o rectangulares) o tejidos formados por bandas estrechas y largas cosidas o pegadas que actúan como pequeños cables suspendidos. Si además de apoyan en arcos o cables interiores suelen generar superficies onduladas.
- Superficies Anticlásticas de forma cónica o de simple curvatura, en este caso se utilizan redes radiales de cables o patrones de tejido.
- Superficies Combinadas, las cuales son más comunes debido a su estética física y moderna, además de ser las que más agradan por su complejo de diseño, resultan en tensoestructuras que cada vez se desarrollan con más auge debido a su diseño, ahorro de material y dinero.

Colacelli (2010) especifica que las membranas flexibles responden a la acción de las cargas únicamente mediante esfuerzos de tracción. Para que la membrana se mantenga a tracción bajo cualquier condición de carga la fuerza de pretensado deberá ser suficiente y, además, la tensión inicial deberá proporcionarle la rigidez necesaria para que la deformación sea mínima.

Su estabilidad depende de la geometría tridimensional y la curva que adquiere el recubrimiento textil al pretensarse. Al actuar las cargas perpendicularmente a su superficie tienden a deformarse adoptando curvas tridimensionales y desarrollan tensiones superficiales de tracción, de forma similar a lo que ocurre en un sistema de cables cruzados.

Aparecen también esfuerzos tangenciales cortantes, asociados con el giro (normalmente presente en todas las superficies curvas que colaboran a soportar cargas). Se trata por tanto de superficies que se comportan como funiculares excepto en aquellos casos en que aparecen compresiones, que se traducen en arrugas en la membrana.

Los tejidos utilizados en estas tensoestructuras son fibras sintéticas de alta resistencia con revestimientos que aumentan su duración. Estos tejidos son capaces, también, de resistir climas extremos. Todas estas características hacen que estas estructuras dejen de considerarse temporales, al grado de que en muchas construcciones se utilizan como elementos permanentes, pues pueden tener una vida útil incluso mayor a 20 años.



Figura 1. Tensoestructura sinclástica analizada.

Los cables y los tejidos no se comportan de forma lineal, sino que resisten las cargas a través de grandes deformaciones, consiguiendo de este modo que las tensiones en la membrana dependan de su posición final en el espacio.

Benítez y col. (2009) advierten que otros aspectos de la no linealidad son la fluencia, y la retracción de la superficie (son muy sensibles a los cambios de temperatura y humedad) y el deslizamiento entre las abrazaderas y el tejido, que permiten el cambio de geometría. Las membranas son también muy vulnerables a las cargas dinámicas que les producen fatiga, reduciendo paulatinamente la resistencia con el tiempo. Este comportamiento no lineal hace que el diseño de estas membranas sea muy complejo.

La tensoestructura analizada, es una con superficie sinclástica tensada, ya que está formada por curvas dobles y dos arcos como se muestra en la figura 1.

METODOLOGÍA

El análisis modal – estructural, se realizó en el software ANSYS, por lo que se siguió la siguiente metodología:

- i. Obtención de dimensiones del sistema analizado
- ii. Obtención de propiedades de los materiales a modelar
- iii. Modelado del sistema
- iv. Análisis estructural
- v. Evaluación de resultados

Con estos pasos se obtuvo los puntos críticos de la estructura.

2.1 Obtención de las dimensiones del sistema analizado

Para determinar las medidas geométricas de la tensoestructura, se utilizó un Distanciómetro marca Leica Geosystem modelo Leica DISTO D5, cuyas características se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 Características del distanciómetro.

Modelo	D5
Alcance	200 metros
	± 45 grados
Unidades en sensor de inclinación	0.0 Grados, 0.0 % mm/m, in/ft
Cámara Integrada	Si
Puntero zoom de 4 aumentos	Si
Memoria de últimas visualizaciones	20 visualizaciones
Disparo automático	Si
Mediciones por juego de baterías	Hasta 500
Rosa para trípode	Si
Baterías	(2) AA 1.5 V
Clase de protección	IP54

Las medidas que se realizaron con el distanciómetro fueron: la separación entre placas, las alturas de las columnas, la inclinación de las columnas, y los puntos de la membrana

2.2 Obtención de las propiedades de los materiales a modelar

Para otorgar las propiedades a los elementos estructurales fue necesario definir los materiales de cada elemento. Hibbeler (2006) define como un parámetro vital para cualquier simulación, la correcta caracterización de los materiales, ya que el software necesita saber las propiedades de cada material, sus resistencias, elongaciones, esfuerzos máximos y densidades. Esto es fundamental para el análisis estructural, tanto como para el análisis modal de la estructura. Para la obtención de los materiales, se revisó en el proyecto de construcción, para finalmente encontrar sus propiedades mecánicas de la Gere & Barry (2009). Los materiales que se usaron para el análisis se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Materiales de elementos estructurales.

Material	Tipo	Módulo de Young	Coefficiente de Poisson	Densidad
Acero ASTM 1023	Isotrópico	30458 ksi	0.3	$8.81 \cdot 10^{-3}$ slugs
Acero AISI A36	Isotrópico	29000 ksi	0.26	$8.8198 \cdot 10^{-3}$ slugs
Fibra de poliéster con recubrimiento de PVC	Ortotrópico	Ex=1244 psi Ey=1979 Psi	0.26	$1.4565 \cdot 10^{-3}$ slugs

2.3 Modelado del sistema

La plataforma ANSYS es capaz de utilizar diferentes modelos de algún otro software de CAD como se explica en Fornos (1982), sin embargo, en este caso, cada elemento fue modelado en la interfaz del mismo ANSYS.

La tensoestructura se compone de cinco elementos principales:

- Columnas
- Vigas
- Bases
- Soportes
- Membrana

Cada elemento fue modelado con las herramientas del ANSYS para CAD componiéndose principalmente de líneas, puntos, arcos, áreas y volúmenes, que facilitó el análisis, ya que era altamente editable por haberse hecho en el mismo software. El resultado del modelado de los elementos que componen la tensoestructura se muestra en la figura 2.

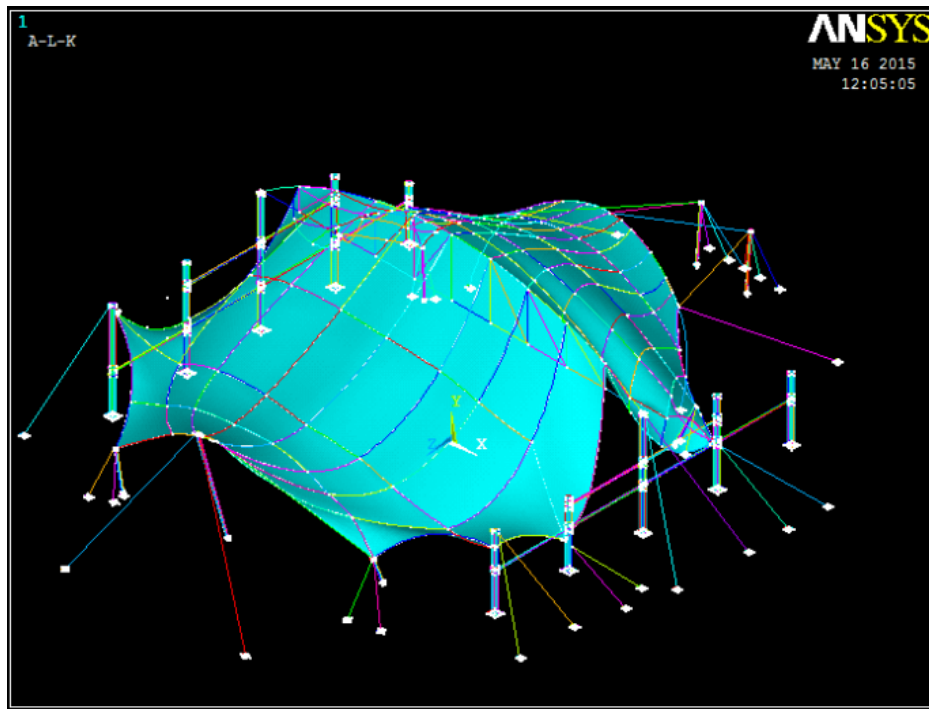


Figura 2. Tensoestructura modelada en ANSYS.

2.4 Análisis estructural

El software ANSYS, utiliza el Método de Elemento Finito (FEM), el cual se basa en la discretización de un modelo continuo en pequeños elementos unidos entre sí en puntos comunes llamados nodos Askeland (1998). Cada elemento puede variar de forma en función de su aplicación, en ANSYS, hay elementos lineales, planos y tridimensionales que cambian en tamaño, forma y número de nodos. Este método genera una matriz que incluye las propiedades de los materiales analizados, las ecuaciones que describen el comportamiento del sistema y sus restricciones, para finalmente resolver esa matriz y así encontrar esfuerzos, desplazamientos y deformaciones en el sistema. Por todo lo descrito anteriormente, es muy importante definir cada aspecto del sistema correctamente.

Los tipos de elementos y los materiales que se utilizaron en este análisis se describieron en la tabla 2.

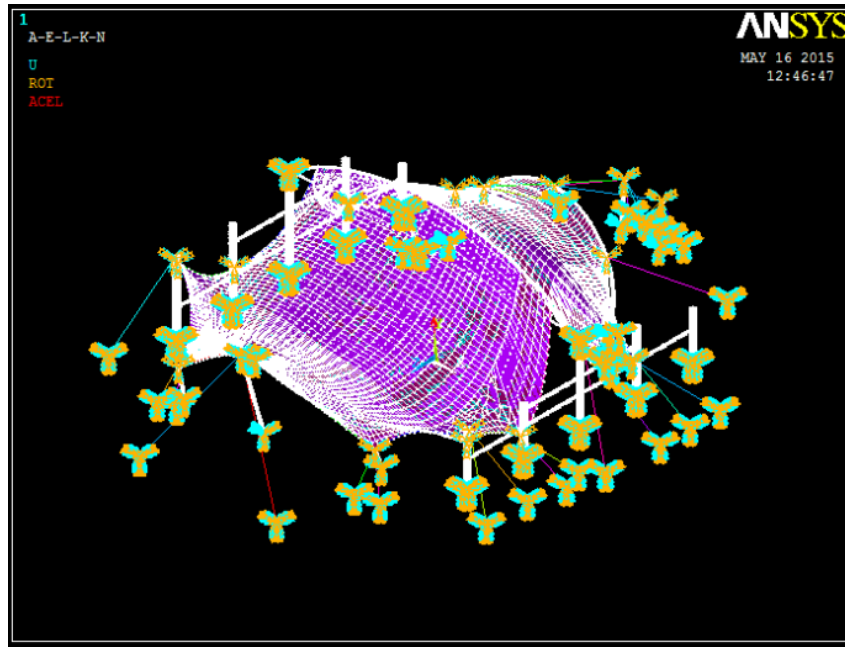


Figura 3. Restricciones aplicadas en placas y columnas en la Tensoestructura.

Las restricciones son los puntos en los que se limita en movimiento la tensoestructura simulando su anclaje en el suelo, bases o elementos de soporte en su localización real. Estas condiciones son importantes ya que son la base de la tensoestructura, debido a que proporciona la rigidez y la oposición al desplazamiento y rotación bajo el efecto de fuerzas externas que actúan sobre el sistema estructural.

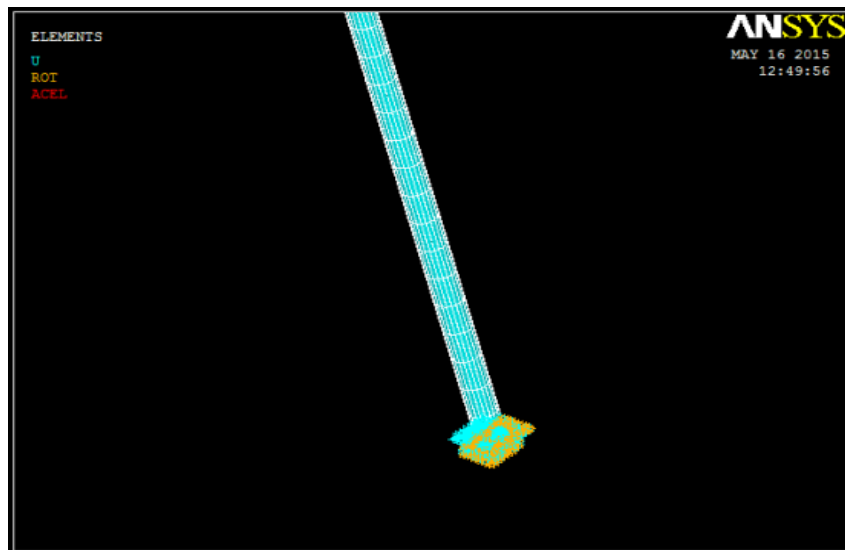


Figura 4. Restricciones aplicadas en columnas inclinadas.

Las restricciones aplicadas a la tensoestructura se realizaron en sus placas limitando todos los grados de libertad de desplazamiento y rotación. Estas placas proporcionan el empotramiento y la resistencia al movimiento de los elementos de la tensoestructura, además son puntos sin desplazamientos ya que son los puntos de anclaje de los cables y de la membrana. Las restricciones que se aplicaron a toda la tensoestructura se muestran en la figura 3.

Dentro de la tensoestructura realizada, todas las columnas tienen la finalidad de tensar la membrana estructural, la mayoría de ellas tienen restricciones en todas las direcciones, permitiendo de esta manera la rigidez de la membrana. Otras columnas tienen un eje de rotación libre, en caso de fuerzas externas grandes, los cables y la membrana generan una mayor tensión debido a los esfuerzos, la finalidad de este grado de libertad, es que la estructura pueda liberar un poco de esfuerzos en puntos de anclaje, para evitar concentraciones de esfuerzos o presiones muy grandes. Fue importante llevar esta condición de equilibrio al modelo real en ANSYS. Estas columnas fueron simuladas de esta manera, por lo que las que cumplen con esta función de disminución de esfuerzos, se restringieron en todos sus desplazamientos y en sus rotaciones, excepto en la rotación alrededor del eje x. En la figura 4 se puede observar una columna con la restricción mencionada.

2.5 Cargas

La tensoestructura se cargó bajo las siguientes condiciones:

1. La acción de la gravedad fue de 32.2 ft/s^2
2. La presión sobre la membrana fue de 5 psi
3. La velocidad del viento fue de 49.42 Mi/h

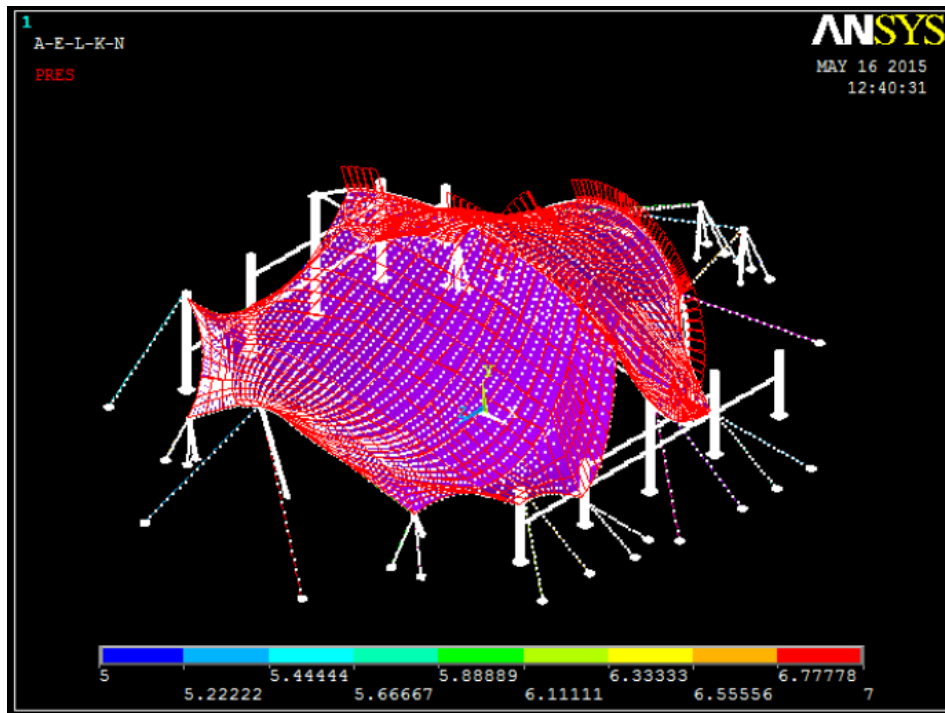


Figura 5. Aplicación de presión de 5 Lb/in² distribuidas en la Tensoestructura.

Todos estos datos de acuerdo con el Manual de Normas y Especificaciones Para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones en México, la estructura cargada se puede observar en la figura 5.

RESULTADOS

Tras la simulación, Se encontró que la ubicación de los puntos de mayor concentración de esfuerzos, los resultados nos muestran que el valor del esfuerzo máximo es de 14.44 kpsi y esfuerzo mínimo de 7.76 kpsi, como se esperaba en la hipótesis el análisis muestra que existe una concentración de esfuerzos en los puntos de anclaje de la membrana a las columnas y también al arco principal que soporta la estructura como se ve en la figura 6.

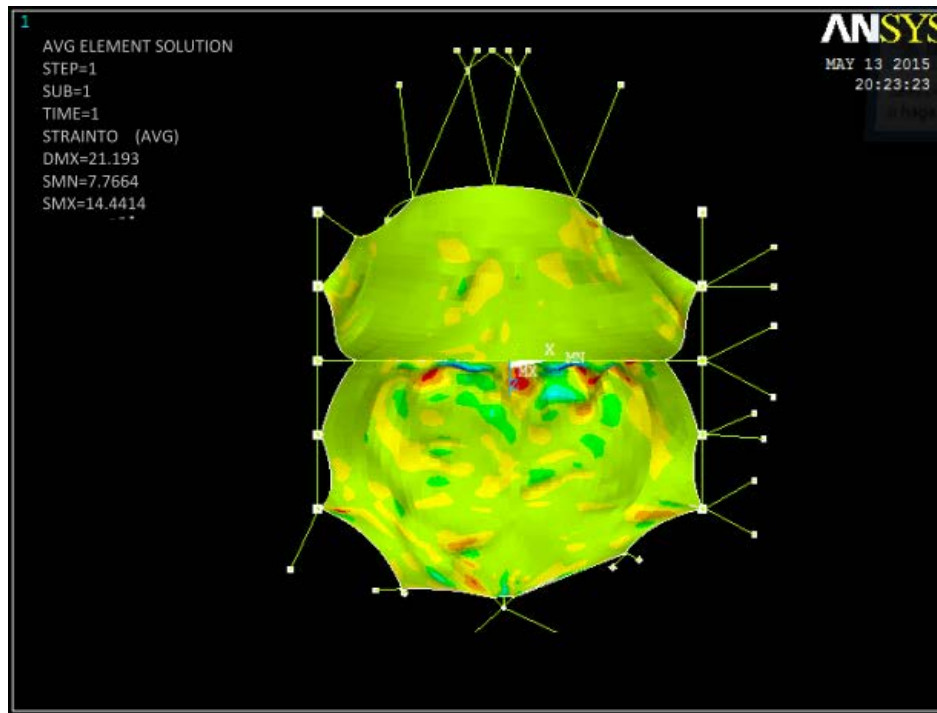


Figura 5. Resultado de Esfuerzos Máximos y Mínimos

Estos puntos presentan mayores esfuerzos ya que sirven para tensar la membrana, existe una constante fuerza para mantener la membrana con la forma predeterminada, y al recibir presiones de viento constantes, estas fuerzas generan aumento de esfuerzos en la lona de la estructura.

Con estos resultados, se observa que es altamente recomendable reforzar los puntos críticos, ya que, de lo contrario, se verán reflejados en posibles rupturas de la membrana en los puntos señalados como “*débiles*” por el análisis numérico.

FALLA EN CAMPO

El análisis de la tensoestructura, arrojó resultados que indicaban que la estructura fallaría en los puntos de sujeción de la membrana con el arco central de la misma si era sometido a las condiciones simuladas. Esto fue visible en campo, ya que la membrana se rasgó por completo en la parte central, como puede verse en la figura 6, tras una ventisca que fue semejante con los datos proporcionados al modelo.

CONCLUSIONES

Tras el análisis de la tensoestructura por el Método de Elemento Finito, bajo los parámetros ambientales a los cuales estará sometido, se pueden hacer las siguientes observaciones

- Se obtuvieron concentraciones de esfuerzos más altas en los puntos de anclaje de la membrana estructural.



Figura 6. Ruptura de membrana tras ventisca similar a la simulación numérica

- Con esta gran presión se muestra que las zonas de mayor desgaste y probabilidad de ruptura esta donde se pone a tensión la lona, en las columnas, así como en el arco principal que soporta el mayor peso de la membrana.
- La membrana solamente funciona a tensión, los elementos que le proporcionan rigidez, lo hacen aplicando una fuerza en la membrana, la cual está siendo tensada constantemente por la acción del viento que actúa sobre la estructura, generando una presión que a su vez hace que las fuerzas en estos puntos de anclaje aumenten, esto genera que estos puntos sean los más propensos a sufrir fallas.
- La ruptura en campo de la tensoestructura, coincide con los puntos de esfuerzo máximos mostrados en los resultados del análisis numérico, validando de esta manera, el modelo y las condiciones utilizadas en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Askeland, R. D. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Estados Unidos.
2. Battaglia, M. E. (2009). Recursos para el Diseño de Estructuras Resistentes. Argentina: Nobulco.
3. Benitez Garcia, C., Sorto Maltez, A., & Villalobos Amaya, J. (2009). Manual de Diseño de Naves Industriales Metálicas Utilizando un Software Especializado.
4. Colacelli, M. S. (2010). La forma en las Cubiertas de Membrana. Argentina: Academia Nacional de Ingeniería.
5. Fornons, M. J. (1982). El metodo de los Elementos Finitos en la Ingeniería de Estructuras. España: Marcombo.
6. Hibbeler, R. C. (2006). Mecanica de Materiales. Prentice Hall.
7. James Gere, M., & Barry, J. (2009). Mecánica de Materiales.
8. Marroquin, L. A. (2012). Tensoestructuras, Guía Basica de Diseño, Lima. Peru.
9. Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones. (2014), INIFED Infraestructura Educativa. Mexico.

CALENTADOR ELÉCTRICO SUSTENTABLE DE BASE EÓLICA PARA ALIMENTOS

J. J. Roa Cervantes, P. S. Bastida, Á. Monzalvo Hernández, N.-I Toto Arellano, L. García Lechuga, J. A. Hernández Galicia, D. Neri Enríquez

Universidad Tecnológica de Tulancingo (CTOF-UTEC)

RESUMEN

La situación actual en el país respecto al consumo de energía eléctrica, pérdidas económicas en gas butano por el recalentamiento de comida en restaurantes, cocinas económicas, fondas, es un problema al que se enfrentan cotidianamente empresarios y microempresarios. En el siguiente trabajo de investigación se aborda esta problemática, planteando como solución un dispositivo híbrido que se compone de un sistema eólico y un sistema de suministro eléctrico que permite mantener la temperatura de una sustancia basado en el efecto joule. Los resultados muestran que el sistema permite aumentar la temperatura hasta a 95° C. Inicialmente el sistema se alimenta durante 35 min de un voltaje de 127 VCA teniendo un consumo total de 0.21905Kwh, posteriormente el suministro de energía del sistema es sustituido por un generador eólico de 12 VCD, logrando mantener la temperatura constante en la cámara del dispositivo. Ello ha permitido sustituir el uso de gas butano empleado para el recalentamiento de alimentos, lo cual reduce costos y es amigable con el ambiente.

El prototipo tiene un arranque de consumo de diferencia de potencial durante 35 minutos siendo posteriormente sustituido por una segunda etapa que consta de un generador eólico que administra la energía necesaria para mantener constante la temperatura del sistema. Con este prototipo se espera obtener una disminución económica hasta de un 60%

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo mundial de energía eléctrica y gas Lp es notablemente considerable, aunado a ello las tarifas son cada vez mayores, tan solo en México durante el primer mes del año, la liberación de los precios del gas LP generó aumentos de hasta 36.5 por ciento para los consumidores domésticos, lo cual dependió de las zonas de distribución, de acuerdo con el reporte más reciente de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), el costo promedio del hidrocarburo que debieron pagar los consumidores en el mercado mexicano osciló en 15.05 pesos por kilogramo, cifra que representa un aumento de 16.5 por ciento en comparación a los 13.35 en los que se vendió en diciembre del año pasado, en la Ciudad de México, el energético se vendió en un máximo de 15.6 pesos por kilogramo, casi 20 por ciento más, mientras que en el Estado de México la cotización oscila en 16.3 pesos, equivalentes a un aumento de 23.4 por ciento.

Esta problemática es a la que se enfrentan día a día microempresarios y empresarios de restaurantes, cocinas económicas, fondas etc. por lo cual se inicia esta investigación que está enfocada en la reducción del costo fijo de hidrocarburo por medio del acoplamiento de un sistema eólico y un sistema eléctrico, los cuales interactúan entre sí para lograr cumplir con el objetivo planteado, con ello se comprobaba que es posible reducir costos fijos con ayuda de energías limpias e implementando la modificación de diversos sistemas de conversión de energía para poder cumplir con el objetivo de esta investigación, por último se hace mención de las disciplinas que intervinieron en la realización de este trabajo; Ing en Nanotecnología, Ing Eléctrica, Ing Mecatrónica, Ing Mercadotecnia, Ing Energías Renovables, Contabilidad, cabe mencionar que es necesario trabajar en equipo para llegar a un fin común [1-3].

TEORÍA

El Prototipo funciona a partir del suministro eléctrico que permite elevar la temperatura por medio del efecto Joule de un fluido que se encuentra dentro de una cámara de calentamiento a 95 °C durante un tiempo de 35 minutos de esta manera solo existe intercambio de energía ya que es un sistema cerrado, el calor emitido fluye a la superficie que se encuentra a menor temperatura por medio de convección cumpliendo con la primera ley de la termodinámica (ver Fig 1), una vez alcanzada la temperatura el sistema es desactivado por un sistema de automatización el cual permite el paso de energía proveniente del sistema eólico.

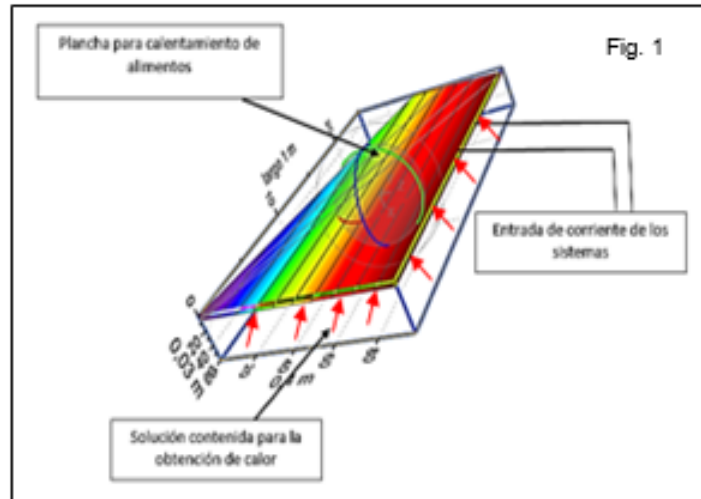


Fig. 1. Muestra el comportamiento y distribución por convección de la energía calorífica otorgada por el sistema eléctrico.

La generación de energía del sistema eólico está dada gracias a la captación de la energía cinética proveniente del viento, la cual es transformada a energía eléctrica por medio de un generador, este último transporta a la energía hasta un banco de baterías, a partir de este banco se toma la energía una vez desactivado el sistema eléctrico, cuando la energía del banco disminuye a un 20% el sistema es desactivado y a la misma vez el sistema electro es activado, dando pauta a que el banco de baterías sea recargado por el sistema eólico, teniendo como finalidad un ciclo y un equilibrio termodinámico a una temperatura de 95 °C, la sumatoria de los lapsos de encendido del sistema eléctrico son de un tiempo total de 3 horas durante la jornada laboral que oscila entre 10 y 12 horas, durante la noche el sistema eólico carga al 100% las baterías permitiendo que el ciclo inicie con su máxima capacidad[1-6].

PARTE EXPERIMENTAL

El sistema Eléctrico entrega 37% más energía que la que se requiere para evaporar el fluido por ello en la superficie de la cámara de calentamiento se obtiene por convección la misma temperatura en un tiempo de 7:15 minutos en la figura 2 se muestra el comportamiento del sistema,

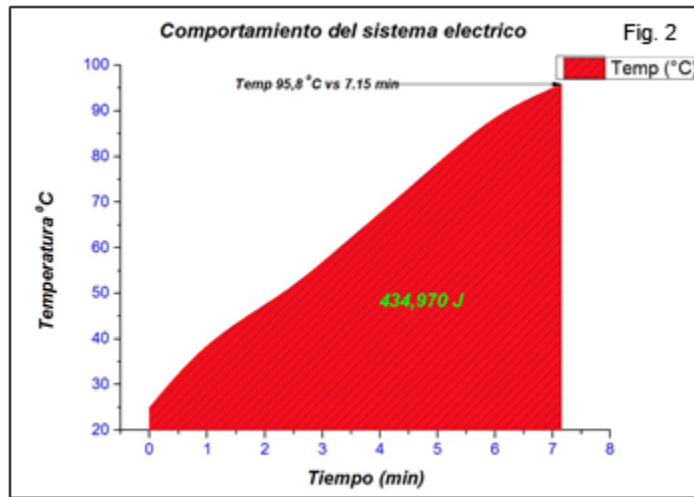


Fig. 2. Se muestra la curva de evaporación del fluido aunado a la cantidad de energía suministrada para alcanzar la temperatura de 95°C

En la figura 3 se muestra el comportamiento del sistema eólico las cuales se realizaron durante una hora obteniendo una temperatura lineal de 95°C comprobando la hipótesis que se había determinado anteriormente.

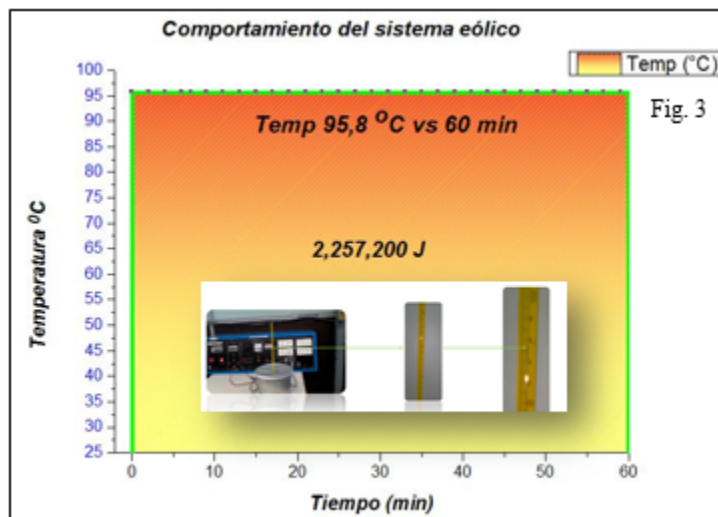


Fig. 3 Se muestra el comportamiento lineal de la temperatura, de igual manera la prueba experimental de laboratorio.

El comportamiento del sistema eléctrico y el sistema eólico trabajando de una manera intercalada se muestran en la figura 4, esta parte experimental comprueba la hipótesis que se planteó al inicio de esta investigación, la razón por la cual el sistema eólico llega a la misma temperatura en milisegundos es porque el trabajo requerido para disociar a las moléculas y poder evaporar el fluido es innecesario ya que el sistema eléctrico realizó ya esta acción, cabe mencionar que al no

implementar trabajo y recordando que la energía eléctrica viaja en función de la velocidad de la luz el tiempo que tarda en recorrer apenas 1 metro de cable es menor a 1 segundo.

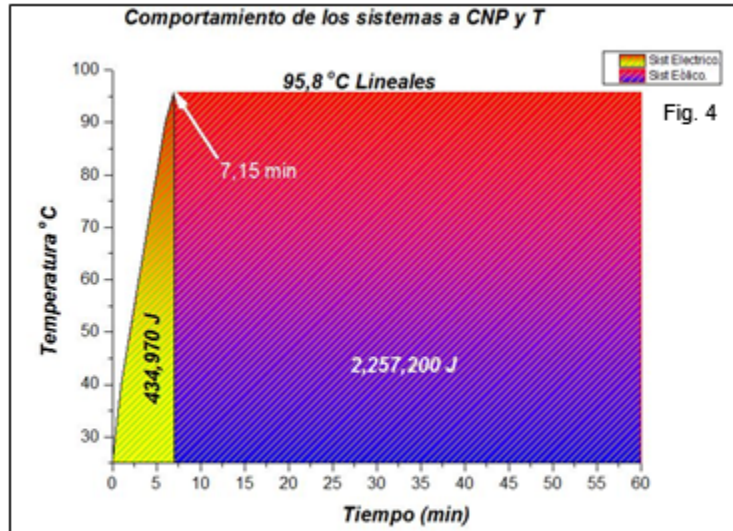


Fig. 4 Muestra el comportamiento de los sistemas eléctrico y eólico trabajando en conjunto logrando observar un comportamiento lineal en la temperatura

RESULTADOS

Acorde a los resultados en el laboratorio los resultados finales están basados en el consumo energético real los cuales se describen en la tabla 1

Ejemplo de una estufa encendida con 4 quemadores 1 hora			Tabla 1
1.-	Multiplicamos el consumo por la densidad del gas	$[0,24 \frac{m^3}{hora} \times 1,964 \frac{Kg}{m^3}]$	0,468 $\frac{Kg}{hora}$
2.-	Obtenemos el consumo de gas Lp en kg durante una hora		0,468 $\frac{Kg}{hora}$
3.-	Multiplicamos el consumo por el costo del gas LP	$0,468 \frac{Kg}{hora} \times \$ 15,19$	\$ 7,1 por Kg durante una hora
4.-	El costo de una estufa de cuatro quemadores encendida una hora es de \$ 7,10		

Tabla 1 Se ejemplifica el costo neto de gas Lp durante una hora

El costo por una hora en promedio de gas Lp es de \$7.10, la jornada laboral en promedio dura 12 horas durante 6 días a la semana por lo tanto en la ecuación 1 se muestra el costo semanal promedio de gas Lp.

$$[(7.1)KgGas \times (12hrs) \times (6)dias] = \$511.20 \tag{1}$$

La Tabla 2 y 3 muestran las condiciones y el costo sobre hora del sistema eléctrico [6]

Voltaje (V)	Intensidad de Corriente (A)	volumen (Lts)	Tiempo (min)	Temp (°C)	Tiempo (hrs)	Potencia (W)	Tabla 2
120	7,5	1	58	95,8	0,966666667	900	
120	7,5	1	59	95,8	0,983333333	900	
120	7,5	1	60	95,8	1	900	

Potencia en Horas (Wh)	Kilowatts hora(KW/h)	(Kwh) Consumidos	Costo de 1 KWh	Costo real por sistema encendido
870	0,87	0,841	\$0,79	\$0,67
885	0,885	0,87025	\$0,79	\$0,69
900	0,9	0,9	\$0,79	\$0,71

Tabla 2,3 Muestran condiciones del sistema eléctrico y costo fijo por una hora

El sistema eléctrico solo se mantendrá encendido durante 3 horas diarias, el costo semanal del sistema eléctrico se muestra en la ecuación 2

$$[(0.71)KWh \times (3)horas \times (6)dias] = \$14.27 \text{ Semanales} \tag{2}$$

Un sistema convencional cuesta \$511.20 semanales de Gas Lp, el tiempo empleado para la cocción de alimentos es de 3 horas diarias, el costo fijo por cocción de alimentos semanal se indica en la ecuación 3.

$$[(3)hrs \times (7.1)Costo \times (6)dias] = \$127.80 \text{ Semanales} \tag{3}$$

En la ecuación 4 se muestra el costo convencional menos la cocción de alimentos, la cual indica el consumo del hidrocarburo por recalentamiento de comida.

$$511.20 - 127.80 = \$383.40 \text{ Semanales} \tag{4}$$

El prototipo tiene un costo fijo dado por la sumatoria de la ecuación 2 más la ecuación 3 la cual indica el consumo energético del sistema eléctrico más el consumo de gas Lp dado por la cocción de alimentos el cual tiene un costo de 142.20 pesos semanales.

La relación del sistema convencional y el prototipo desarrollado está dado por el siguiente sistema de ecuaciones:

- Costo convencional semanal \$ 511,20 -----100%
- Costo del prototipo semanal \$ 142,074 -----27,79 %

Rendimiento de un 72.20% sobre el costo fijo de gas Lp.

CONCLUSIONES

Al desarrollar esta investigación se ha determinado un método confiable para la disminución del costo fijo de gas Lp, El ahorro del sistema es del 72.20% respecto al costo neto de gas Lp semanal, si consideramos los cálculos teóricos contra los cálculos reales del sistema el rendimiento lo podemos disminuir hasta un 65% por margen de error con ello cumplimos aun así el objetivo de la investigación y con la hipótesis mencionada, el uso de energías alternas es de suma importancia ya que gracias a esta se logra llegar a un porcentaje tan alto de ahorro así como de eficiencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Howell, J. R. (1990). Principios de termodinamica para ingenieros. En J. R. Howell. Texas: printed in mexico.
2. Mikati, M. (2012). Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar. *Elsevier*, 15.
3. Aguado, J. & Serrano, D. P., Feed stock recycling of Plastic Wastes. Cambridge: e Royal Society of Chemistry, 1999.
4. Díaz-Álvarez, A. E., Francos, J., Lastra-Barreira, B., Crochet, P. & Cadierno, V., Glycerol and derived solvents: new sustain able reaction media for organic synthesis, *ChemicalCommunications*, 47, 6208–6227, 2011.
5. Gil S., Mayochi M., Pelliza L. J., *Experimental estimation of the luminosity of the Sun*. *Am. J. Phys.* 74 (8) August 2006, pp. 728-733
6. L.I. Eguíluz, J.C. Lavandero y M. Mañana. "Criterios para una facturación de la energía eléctrica más equitativa". *Revista Energía: Ingeniería Energética y Medioambiental*. Año N° 28 N° 165, pp. 125-128. 2002.

DISEÑO DE EQUIPO DE ROTOMOLDEO

Olivares Estrada María de Lourdes, García de la Rosa Omar, García de la Rosa Héctor, Casillas Guerrero Adriana del Rosario, Gutiérrez Olivares Efrén y García Vázquez Adiel

Centro de Bachillerato Tecnológico del Gobierno del Estado de México

Departamento de Metalmecánica, Instituto Tecnológico de Toluca, Toluca, México.

RESUMEN

San Andrés Cuexcontitlán en el Municipio de Toluca Estado de México es una comunidad productora de artesanías que se realizan a través del vaciado de la resina a moldes de distintos tamaños utilizando la resina poliéster como la principal materia, el monómero de estireno, cobalto, dimetil y talco industrial, se mezclan cada una de las sustancias en cantidades específicas haciéndola totalmente homogénea, el siguiente paso será verter el material al molde (conocido generalmente como proceso de vaciado), existen dos tipos de vaciado: el vaciado para figuras completamente llenas y las huecas. Las huecas se realizan en el proceso de rotomoldeo, este proceso lo realiza una persona manualmente. se observó que los artesanos de la comunidad carecen de maquinaria para facilitar dicho proceso, por lo que en esta investigación se realizó el diseño, construcción de un equipo de rotomoldeo, logrando la automatización del proceso mediante la implementación de un equipo electromecánico permitiendo elevar la producción, así como reducir el desgaste físico del personal, ya que existen moldes de gran tamaño que son muy pesados los cuales van desde los 500g hasta los 25Kg en promedio, esta operación de rotomoldeo que realiza una persona física en un horario laboral de 8:00 am a 6:00 pm. Por lo que la rotomoldeadora facilita, eficientiza y mejora el proceso de fabricación, además, elimina el desgaste físico del personal y aumenta la producción.

INTRODUCCIÓN

El rotomoldeo es un proceso de elaboración de materiales termoplásticos y termofijos que permite obtener cuerpos huecos de cualquier tamaño y forma. Se trata de una tecnología que se distingue de los convencionales procedimientos de moldeo por inyección, soplado y vaciado, resultando especialmente indicada para la producción en pequeñas series de artículos que también son geométricamente complejos, piezas de grandes dimensiones cuerpos huecos que no son posibles obtener de otra manera. El procedimiento nace para la producción de recipientes, aprovechando la posibilidad de obtener inmediatamente productos huecos sin posteriores fases de soldadura y montaje.

El procedimiento de rotomoldeo es de la siguiente manera: El material líquido (resina poliéster) se desliza a lo largo de las paredes del molde, se adhiere por todas la paredes del molde hasta que el fluido se solidifique, asumiendo la forma del molde. La última fase es la de la apertura del molde para la extracción del producto manufacturado obtenido y la introducción de nueva materia prima para el siguiente ciclo.

Este proceso puede ser completamente automatizado mediante la creación de una maquinaria electromecánica de rotomoldeo, dejando así que sólo las operaciones de carga/descarga sean manuales.

TEORÍA

El proceso de vaciado hueco puede realizarse en medio ambiente templado y seco, con las principales sustancias químicas las cuales son: Resina M-30 o PP-30, Catalizador K-2000, Talco industrial, Monómero de estireno, Dimetritilanilina, Cobalto. Este proceso de fabricación se realiza manualmente por personal calificado. Se utiliza como equipo: Moldes de Silicón o polietileno (Molde y contra molde de fibra de vidrio), Mezcladores (pueden ser estacas de madera o cualquier otro material solido) y Vasos de mezclado.

Para la fabricación de las piezas se sigue el siguiente método de producción:

1.- Calcular el volumen del molde a utilizar (cubicar), para esto lo calculamos aproximadamente dependiendo de la pieza. Mezclar la resina M-30 o PP-30 y monómero de estireno en cantidades iguales para diluir la resina (la cantidad depende del tamaño del molde y la cantidad de piezas a producir) como se aprecia en la figura 1:



Figura 1. Preparación de material

2.- Aplicar 100 mililitros de cobalto y dimetritilanilina (para aumentar la aceleración del curado o el solidificado de la resina) por cada 10 kg de resina hacer que la mezcla sea homogénea.

3.- Después de los pasos mencionados anteriormente se le agrega talco industrial, esto en un 10% de la mezcla total de la resina y el monómero de estireno para aumentar el peso y volumen. Se mezcla hasta que desaparezcan los grumos y la mezcla sea homogénea, en la siguiente figura se observan sacos contenedores de talco:



Figura 2. Talco industrial

Nota: Si agregamos talco industrial y rebasamos del 100% en peso (en relación 1 a 1) se corre el riesgo de que el monómero de estireno se separe de la mezcla o el curado sea ineficiente.

4.- Después de tener preparada mezcla de todas las sustancias químicas, se prepara el molde y se verifica que se encuentre semihermético (algunos moldes son usados de forma completamente hermética, y algunos tienen un pequeño barreno que después de realizar el vaciado del material se le coloca una tapa para evitar el escape de material a esto se le llama semihermético).



Figura 3. Moldes

5.- Al tener el molde ya preparado, en un recipiente se le agrega material ya preparado desde 30% a 50% de acuerdo al volumen del molde, según sea la necesidad del fabricante.

6.- Después de tener el volumen calculado del material ya preparado se le agrega catalizador K-2000 (figura 4.) de 4 a 10 gotas por cada 250 ml de resina posteriormente realizar una mezcla homogénea mediante el agitador durante 10 segundos.



Figura 4. Catalizador

7.- el siguiente paso será vaciar el material y tapar el molde con la tapa adecuada. Ya hecho lo anterior se empiezan a realizar movimientos ascendentes y descendentes girando el molde en todas direcciones como se muestra en la figura 5.

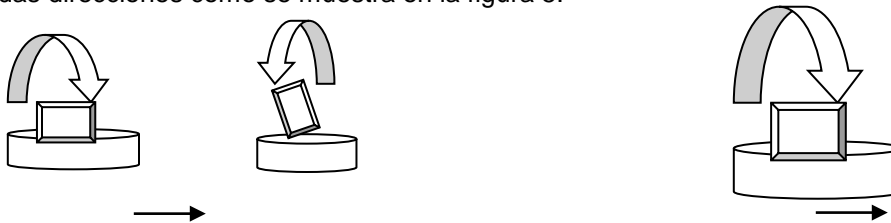


Figura 5. Tipo de movimientos para el molde

Realizar estas acciones aproximadamente de 2 a 5 minutos según sea la aceleración propuesta por el fabricante, en seguida se quita el tapón del molde y se realiza una perforación para que los gases que se pudieron haber generado dentro de la pieza sean expulsados y así evitar que la pieza se expanda.

8.- Como último paso se desarma el molde quitando los sujetadores de unión de las diferentes partes del mismo y se extrae el producto terminado (figura 6.).



Figura 6. Producto terminado

En la figura 7 se muestran los movimientos para el proceso de rotomoldeo manual realizada por la persona física. Esta serie de movimientos será sustituida por una maquina rotomoldeadora que además de eliminar el desgaste físico elevara la producción.



Figura 7 Movimientos del rotomoldeador

PARTE EXPERIMENTAL

Las ventajas más importantes a obtener mediante el equipo de rotomoldeo: Máxima versatilidad: posibilidad de obtener simultáneamente y con la misma máquina artículos de diferentes formas y tamaños; Se pueden realizar simultáneamente artículos de distintos espesores; Las bajas presiones utilizadas y las velocidades reducidas de las rotaciones minimizan el desgaste de los moldes y de las piezas mecánicas; Aplicación "automática" y Mayor producción.

Con base a lo anterior se realizó el diseño mecánico y eléctrico que permitió sustituir el proceso de rotomoldeo manual. Para la construcción de este equipo se realizaron una serie de cálculos como lo son el análisis estático de la estructura, el peso del molde y el modelo. A continuación se muestran cada una de las partes mecánicas que componen la maquina rotomoldeadora:

Por facilidad comercial, algunas partes de esta máquina están realizadas con perfil tubular PTR con dimensiones de 40mm x 40mm, un espesor de 2.0 mm y un peso de 2.31 Kg por cada metro, según los datos obtenidos del fabricante como se muestra en la figura 8.

Díametro exterior	Espesor	Masa por unidad de longitud	Área de la sección transversal	Momento de inercia de flexión	Radio de giro	Módulo de flexión elástico	Módulo de flexión plástico	Momento de inercia de torsión	Módulo de torsión	Área superficial por metro lineal	Longitud nominal por tonelada
D	T	M	A	I	i	W _e	W _p	J	C	A	L
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m	m
20	2.0	1.05	1.34	0.692	0.720	0.692	0.877	1.21	1.06	0.0731	963
25	2.0	1.36	1.74	1.48	0.924	1.19	1.47	2.53	1.80	0.0931	733
	2.5	1.64	2.09	1.69	0.89	1.35	1.71	2.97	2.07	0.0914	610
30	3.0	1.89	2.41	1.94	0.874	1.47	1.91	3.53	2.27	0.0897	529
	2.0	1.69	2.14	2.72	1.13	1.81	2.21	4.54	2.75	0.113	596
40	2.5	2.03	2.59	3.16	1.10	2.10	2.61	5.40	3.20	0.111	492
	3.0	2.38	3.01	3.50	1.08	2.34	2.98	6.15	3.58	0.110	423
50	2.0	2.31	2.94	6.94	1.54	3.47	4.13	11.3	5.23	0.183	434
	2.5	2.82	3.59	8.22	1.51	4.11	4.97	13.6	6.21	0.151	365
60	3.0	3.30	4.21	9.32	1.49	4.66	5.72	15.8	7.07	0.150	303
	4.0	4.20	5.35	11.1	1.44	5.54	7.01	19.4	8.48	0.146	236
80	2.0	2.93	3.74	14.1	1.95	5.66	6.66	22.6	8.51	0.193	341
	2.5	3.60	4.59	15.9	1.92	6.78	8.07	27.5	10.2	0.191	278
100	3.0	4.25	5.41	19.5	1.90	7.79	9.39	32.1	11.8	0.190	236
	4.0	5.45	6.95	23.7	1.85	9.49	11.7	40.4	14.4	0.186	183
120	5.0	6.58	8.36	27.0	1.80	10.8	13.7	47.5	16.6	0.183	152
	2.0	3.56	4.54	25.1	2.35	8.38	9.79	39.8	12.6	0.233	281
150	2.5	4.39	5.59	30.3	2.33	10.1	11.9	48.7	15.2	0.231	228
	3.0	5.19	6.61	35.1	2.31	11.7	14.0	57.1	17.7	0.230	193
200	4.0	6.71	8.55	43.6	2.26	14.5	17.6	72.6	22.0	0.226	149
	5.0	8.13	10.4	50.5	2.21	16.8	20.8	86.4	25.6	0.223	123
250	6.0	9.45	12.0	56.1	2.16	18.7	23.7	98.4	28.6	0.219	106
	6.3	9.56	12.2	54.4	2.11	18.1	23.4	100	28.6	0.213	106
300	2.5	5.17	6.59	49.4	2.74	14.1	16.5	78.5	21.2	0.271	193
	3.0	6.13	7.81	57.5	2.71	16.4	19.4	92.4	24.7	0.270	163

Figura 8. Perfil tubular PTR

De acuerdo con el material y sus dimensiones se obtiene que el esfuerzo de cizallamiento o cortante que pudiese afectar a la maquina es:

$$\sigma = \frac{f}{A} \text{-----Ec.1}$$

Dónde: f=fuerza y A=área

De acuerdo a la tabla de la figura 8: Área= 2.94x10⁻⁴ m². Por otra parte el peso total a soportar el balancín central depende del molde máximo a trabajar el cual es de 20Kg. Por lo que la masa total concentrada al centro de la estructura es de 23.316Kg lo que de acuerdo a la segunda ley de Newton: Fuerza= masa x aceleración

Considerando que la aceleración es la de la gravedad (9.81m/s²), Por lo que la fuerza desarrollada es de: 196.2 N. Para este caso en particular el esfuerzo es de:

$$\sigma = \frac{196.2N}{2.94 \times 10^{-4} m^2} = 667.34KPa$$

Que comparados con las propiedades del material, del perfil estructural de acuerdo a la tabla1:

Apéndices A-13

APÉNDICE 7 PROPIEDADES DE LOS ACEROS ESTRUCTURALES

Designación del material (número ASTM)	Grado, producto o espesor	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
A36	t ≤ 8 pulg	58	400	36	250	21
A242	t ≤ 3/4 pulg	70	480	50	345	21
A242	t ≤ 1 1/2 pulg	67	460	46	315	21
A242	t ≤ 4 pulg	63	435	42	290	21
A500	Tubo estructural formado en frío, redondo o de otras formas					
	Redondo, grado A	45	310	33	228	25
	Redondo, grado B	58	400	42	290	23
	Redondo, grado C	62	427	46	317	21
	Otra forma, grado A	45	310	39	269	25
	Otra forma, grado B	58	400	46	317	23
	Otra forma, grado C	62	427	50	345	21
A501	Tubo estructural formado en caliente, redondo o de otras formas	58	400	36	250	23
A514	Templado y revenido, t ≤ 2 1/2 pulg	110-130	760-895	100	690	18%
A572	42, t ≤ 6 pulg	60	415	42	290	24
A572	50, t ≤ 4 pulg	65	450	50	345	21
A572	60, t ≤ 1 1/2 pulg	75	520	60	415	18
A572	65, t ≤ 1 1/2 pulg	80	550	65	450	17
A588	t ≤ 4 pulg	70	485	50	345	21
A992	Perfiles W	65	450	50	345	21

Nota: ASTM A572 es uso de los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA), y sus propiedades son similares a las del acero SAE 14100, especificadas por la SAE.

Tabla1. Propiedades de los aceros estructurales

Esfuerzo teórico= 667.34KPa comparados con 450MPa, implica que es un diseño altamente resistente.

En esta primera figura se observa el balancín central (véase figura 9) medidas de 90 x 90 cm exterior donde estarán colocados los moldes, está sujeta a una carga máxima de 20 kg Calculando el esfuerzo de flexión obtenemos que

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec.2}$$

Dónde: M=momento, I=momento de inercia y c= mitad de la sección transversal.

Sabemos que: $M = fd$ Ec.3
 Por lo que:

$$M = (196.2 \text{ N})(0.45\text{m}) = 88.29\text{Nm}$$

Obtenemos I de la figura 8.

$$I = 6.94 \times 10^{-8} \text{m}^4$$

$$c = 0.02\text{m}$$

De los datos anteriores tenemos que:

$$\sigma_m = \frac{(88.29\text{Nm})(0.02\text{m})}{6.94 \times 10^{-8} \text{m}^4} = 25.44 \text{MPa}$$

Esfuerzo teórico flexionante=25.44KPa comparados con 345MPa de la Tabla1. Propiedades de los aceros estructurales, implica que es un diseño altamente resistente.

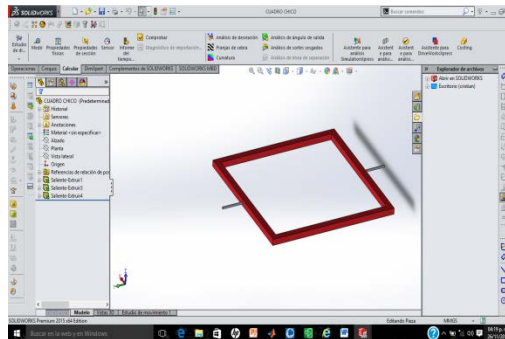


Figura 9. Balancín central

Por otra parte el peso de la estructura es de 2.31Kg/m por lo que el total del balancín central de 3.6 m dan un valor de 8.316Kg que sumados al molde máximo a trabajar es de 20Kg. Por lo que la masa total concentrada al centro de la estructura es de 28.316Kg.

El balancín exterior con medidas de 1x1 m (figura 10.) estará sujeta a una carga mayor al balancín pequeño ya que este soportara el peso del balancín central que a su vez carga los moldes esto con una carga aproximada de 28.31Kg mas el peso de un motor con un promedio de 5Kg, y el peso de dos chumaceras con un peso de 300g cada una.

$$\text{Carga a soportar} = 28.31\text{Kg} + 5\text{Kg} + 0.6\text{Kg} = 33.91\text{Kg}$$

Para este caso en particular el esfuerzo es de:

$$\sigma = \frac{332.654\text{N}}{2.94 \times 10^{-4} \text{m}^2} = 1.13 \text{MPa}$$

Que comparados con las propiedades del material, del perfil estructural de acuerdo a la tabla1:

Esfuerzo teórico= 1.13MPa comparados con 450MPa, implica que es un diseño altamente resistente.

Calculando el esfuerzo de flexión obtenemos que:

$$\sigma_m = \frac{(166.32Nm)(0.02m)}{6.94 \times 10^{-8}m^4} = 47.93MPa$$

Esfuerzo teórico flexionante=47.93KPa comparados con 345MPa de la Tabla1. Propiedades de los aceros estructurales, implica que es un diseño altamente resistente.

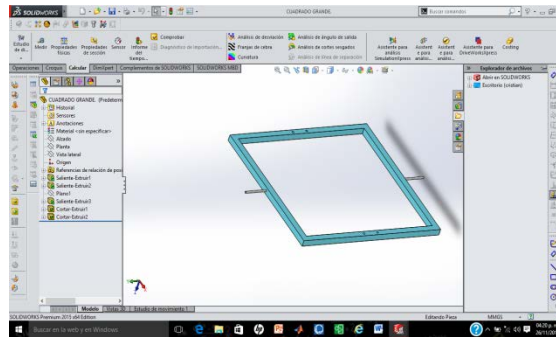


Figura 10. Balancín exterior.

Para hacer girar cada balancín (central y exterior) se usaron 4 chumaceras tipo Base con rodamiento de bolas marca Protor (figura 11) el cual tiene las siguientes características establecidas por el fabricante (tabla 2.).

En la figura 11 se muestra el soporte donde estarán sujetos los balancines, este soporte está sujeta a la mayor carga, la cual estará sujeta a la suma de todas las cargas, las cuales serán: la carga del balancín central + la carga de los moldes + la carga del balancín exterior + la carga de las chumaceras. El soporte estará sujeto a un peso aproximado de 43.75Kg, la longitud del perfil donde estará sujeta la fuerza es de 20cm.

De manera análoga se calcularon chumaceras, torques de motores de cada balancín, obteniendo un diseño de la siguiente forma:

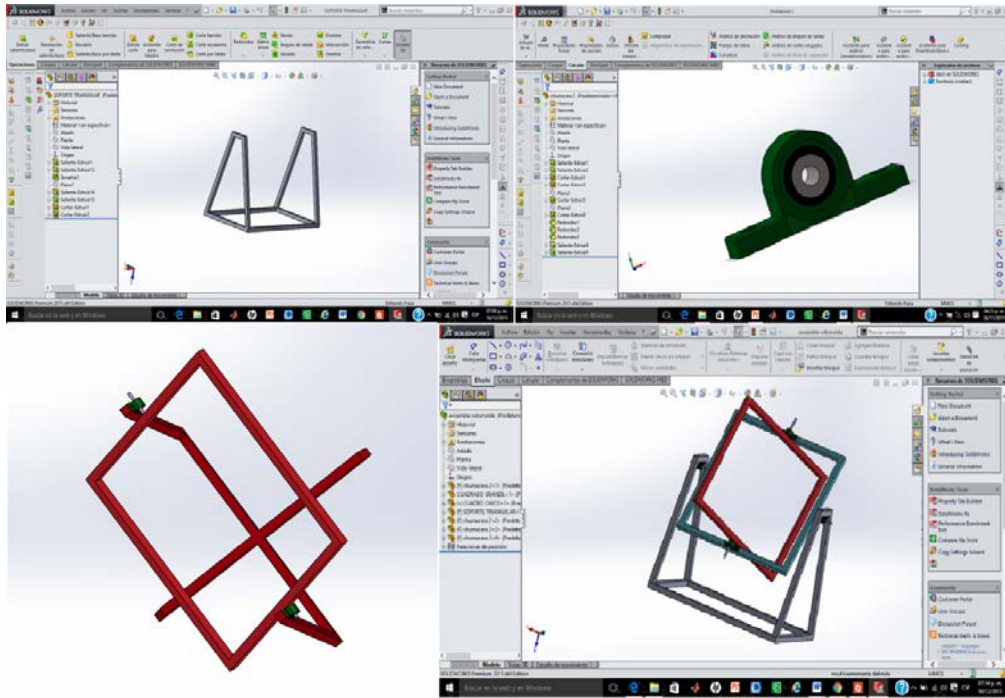


Figura 11 Modelado de la estructura completa

Existen diversos sistemas de control, entre las más comunes es el PLC y micro controladores (figura 12), ambos eficientes para el control de motores, ya sean de corriente continua o alterna, destacando como diferencia el precio y el micro controlador resulta ser más económico que un PLC por lo cual se optó utilizarlo en este proyecto

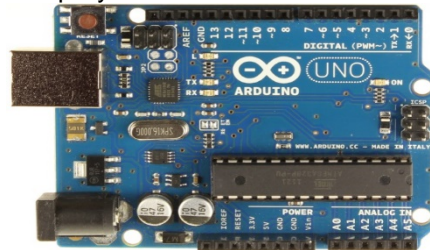


Figura 12 Micro controlador Arduino

RESULTADOS

Los análisis realizados y el modelo virtual resultante de la estructura física se aprecia en la figura 13.



Figura 13. Estructura física del equipo de rotomoldeo

Las mediciones realizadas con el tacómetro digital del giro de los balancines se obtuvo 50rpm en condiciones nominales de velocidad y amperaje. Realizando pruebas adicionales para el sistema de control como se muestra en la figura 16, los resultados son suficientes para automatizar el proceso en el equipo de rotomoldeo.

CONCLUSIONES

Cada uno de los análisis y las pruebas realizadas son viables, este equipo de rotomoldeo es de gran utilidad para todas aquellas personas o artesanos que tienen como oficio el vaciado de resinas poliéster y yeso, el método de rotomoldeo automatizado realiza el proceso de vaciado en hueco con mejor eficiencia. Después de culminar el equipo se pasó a realizar una serie de pruebas de vaciado en hueco, donde se colocaron moldes de diversos tamaños esta dispersión uniforme ayuda a evitar grietas y poros en el producto, así como evitar el resane y ahorrar tiempos durante el proceso mostrado en la (figura 14).



Figura 14. Producto final obtenido.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. G: James, "Mecánica de materiales", sexta edición, editorial Thomson.
2. Pytel & Singer, "Resistencia de materiales", cuarta edición, editorial Alfa omega- Oxford.
3. J. Cecil, D. H. Jay & R.S. Dennis, "Dibujo y diseño en ingeniería", octava edición, editorial Mc Graw Hill.
4. L.M. Robert, "Diseño de elementos de maquinas", cuarta edición, editorial Prentice Hall.
5. <http://www.poliformas.mx/index.php>
6. <http://polimers.com/rotomoldeo/>
7. http://www.constructalia.com/repository/transfer/es/resources/Contenido/00033560Foto_Big.pdf

ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR CON MEMBRANAS SUMERGIDAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

D. I. Loeza, A. Munro y J.C. Orantes

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

dianaloeza.b@gmail.com julio.orantes@gmail.com

RESUMEN

A partir de la década de los setentas, una nueva tecnología para el tratamiento de aguas residuales se introdujo en el mercado de los países más desarrollados: los reactores con membranas (BRM). Estos sistemas relativamente nuevos, están integrados por dos partes: un reactor responsable de la depuración biológica acoplado a un sistema de micro o ultrafiltración directa a través de membranas, que separa físicamente la biomasa del sistema y el agua tratada. Poco a poco, los BRM se han ido popularizando en el resto del mundo, perfilándose actualmente como una de las mejores alternativas de tratamiento de aguas residuales; debido principalmente a que ofrecen altas eficiencias de remoción de materia orgánica, mínima huella ecológica y efluentes de calidad. En el presente trabajo, se montó y puso en marcha un biorreactor con membranas sumergidas a escala laboratorio, para tratar un influente de agua residual sintética diseñada a partir de ácido acético a dos cargas orgánicas ($CO_1=0.1 \text{ kgDQO/kgSSV}\cdot\text{d}$ y $CO_2= 0.3 \text{ kgDQO/kgSSV}\cdot\text{d}$). El sistema requirió un periodo de 28 días para alcanzar una concentración óptima de biomasa (5000 mg/L); mientras que la estabilización se alcanzó al cabo de 80 días, operando de forma continua a condiciones controladas de temperatura ($20 \pm 2^\circ\text{C}$), pH (6.5-7.5) y oxígeno disuelto ($>2\text{mg/L}$). Los resultados de los análisis fisicoquímicos se determinaron mediante métodos normalizados. Se obtuvieron eficiencias de remoción de materia orgánica y nitrógeno amoniacal superiores al 97% y 99%, respectivamente para CO_1 , mientras que para CO_2 se llegó a 98.9% y 99%, respectivamente, con lo que se comprueba la capacidad y factibilidad del sistema.

INTRODUCCIÓN

Ante la creciente problemática de escasez de agua y la necesidad de tratamientos más eficientes de aguas residuales que permitan su reutilización, la incorporación de nuevas alternativas para el tratamiento ha dado paso a procesos que integran tecnologías más rentables, capaces de hacer frente a los retos de la actualidad. Si bien los procesos de lodos activados son muy eficientes, la creciente demanda de agua ha dado paso a la incorporación de la tecnología de membranas en reactores biológicos.

Con aproximadamente cuatro décadas, los biorreactores de membrana han sido utilizados en el tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales, debido principalmente a las altas eficiencias de remoción de materia orgánica que presentan y a la potencial reutilización de los efluentes tratados. Sin embargo, a pesar de las ventajas que presentan los BRM frente a los procesos de tratamiento convencionales, en México aún es baja la difusión y popularidad de este tipo de reactores, por lo que es necesario generar información confiable a partir del análisis y el seguimiento de los procesos que contribuyan a mejores diseños de plantas que integren estos equipos, que sean viables y que funcionen bajo parámetros de operación adecuados.

En el presente estudio se analizó la eficiencia de remoción de materia orgánica y conversión de nitrógeno en un sistema de tratamiento de agua residual sintética a partir de ácido acético en relación C/N/P = 30/2/1 en un BRM, trabajando en continuo a dos diferentes condiciones de carga orgánica y a condiciones controladas de temperatura, pH y oxígeno disuelto.

MARCO TEÓRICO

Generalmente, el proceso de biorreactor de membrana es descrito como la combinación de tratamiento de biodegradación por biomasa en suspensión con separación sólido/líquido por membranas porosas. La presencia de membranas de micro o ultrafiltración (es decir, barrera física que rechaza partículas mayores que su tamaño de poro, que va desde 0.05 a 0.4 micras) conduce a mejoras y ventajas significativas del BRM en comparación con los procesos convencionales de lodos activados (PCLA; Fig. 1):

- La huella del sistema de tratamiento se reduce, debido principalmente a la sustitución del clarificador secundario por módulos de membranas compactas.
- Mejora la calidad del efluente producido, gracias al uso de filtración de membrana como proceso de separación. Permite la retención física de flóculos y la mayoría de los sólidos en suspensión, y por lo tanto, puede ofrecer una buena capacidad de desinfección. (Hirani *et al.* 2010).
- Puede funcionar a altas concentraciones de sólidos suspendidos y elevados tiempos de retención celular (TRC); por lo tanto, cargas volumétricas elevadas pueden aplicarse a sistemas de BRM. TRC largos permiten el desarrollo de microorganismos de crecimiento lento, responsables de la degradación de contaminantes orgánicos específicos (especialmente compuestos nitrogenados).
- La operación con TRC elevados también puede conducir a un rendimiento bajo de lodos, lo que resulta en la minimización del volumen de éstos.

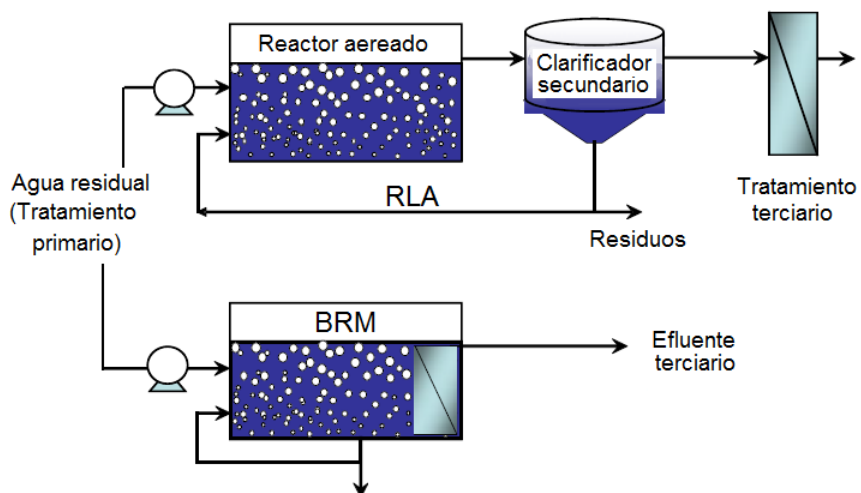


Figura 1. Comparación entre diseños convencionales de lodos activados y reactores con membranas (Tomado y modificado de Le-Clech 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del reactor piloto. Construido de acrílico transparente, tiene un volumen de 70L y forma cilíndrica con una base cónica truncada. La sedimentación de las partículas en suspensión se evita mediante la colocación de un aireador de membrana tipo disco de 22 cm de diámetro, regulado a través de un rotámetro. Cuenta con una base de acrílico que soporta el módulo de membranas a una distancia de 10 cm de la membrana difusora de aire, la cual es alimentada por un compresor de aire, con tres filtros adaptados que permiten obtener aire libre de partículas finas suspendidas, sin vapores de aceite y libre de líquidos.

Condiciones fisicoquímicas. El BRM se operó a temperatura de 20°C ± 2°C, manteniendo un pH de 6.5-7.5 mediante la adición de hidróxido de sodio (NaOH) y ácido clorhídrico (HCl) 2N. Los experimentos se llevaron a cabo en condiciones aerobias, con una concentración de oxígeno superior a 2 mgO₂/L en el reactor.

Condiciones de filtración. El módulo de membranas consta de ocho láminas de polifluoruro de vinilideno y está instalado en sentido paralelo al flujo de aire, con la finalidad de procurar un mayor cizallamiento de las burbujas con las membranas. Las características del módulo se presentan en la tabla 1.

Tabla 22. Características generales del módulo de membranas

Concepto	Dimensión	Unidad
Material	PVDF	
Diámetro de poro	0.14	µm
Número de hojas	8	pza
Espacio entre hojas	12	mm
Área de filtración	0.20	m ²
Densidad de Área	54	m ² / m ³

Resistencia nominal | 1×10^{12} | m^2 / m^3

Características del sustrato. Utilizar un sustrato sintético facilita la cuantificación de las cinéticas de reacción, lo cual permite trabajar en condiciones más precisas y reproducibles. El BRM fue alimentado de forma continua con un sustrato simple, soluble y fácilmente biodegradable: un agua residual sintética diseñada a partir de ácido acético (CH_3COOH) como fuente de carbono enriquecido con cloruro de amonio (NH_4Cl) y fosfato de amonio ($NH_4H_2PO_4$). Los nutrientes fueron proporcionados con una relación C/N/P 30:2:1.

RESULTADOS

Seguimiento de parámetros de operación. Se llevó un registro periódico de las condiciones de temperatura, pH y oxígeno disuelto al interior del reactor (figura 2). Estos parámetros se mantuvieron en rangos óptimos establecidos tanto en el periodo de adaptación como en los periodos estables para CO1 y CO2.

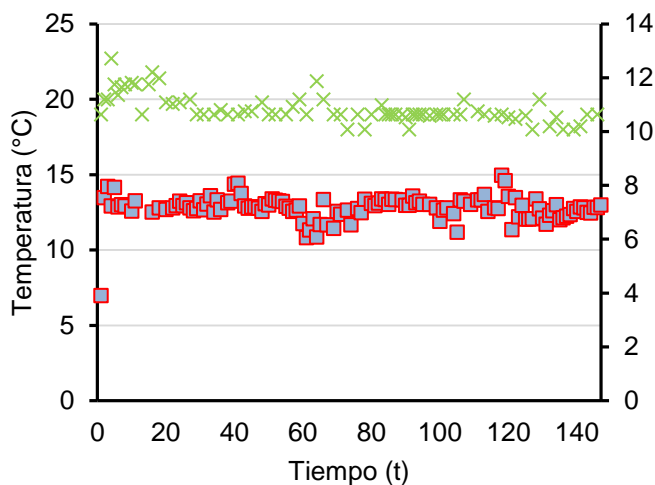


Figura 2. Temperatura (x) y pH (□) registrados en el BRM

Asimilación de materia orgánica. El reactor se mantuvo en etapa estable a partir del día 85 y durante los siguientes 13 días. En este periodo se alimentó a una primera $CO = 0.1$ $kgDQO/kgSSV \cdot d$, registrando una DQO promedio en el efluente de 17 mg/L, que en contraste con la DQO del influente (1858 mg/L), representa una remoción del 99.1% de materia orgánica (figura 3).

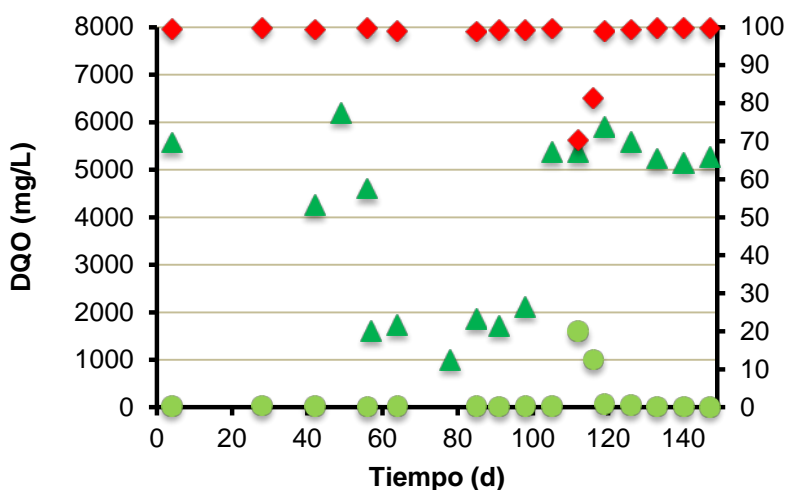


Figura 3. Concentración de DQO en el influente (▲), efluente (●) y porcentaje de remoción (◆).

Terminado el periodo estable para la primera CO, el reactor se mantuvo los siguientes 34 días en fase de adaptación para $CO = 0.3 \text{ kgDQO/kgSSV}\cdot\text{d}$. La etapa estabilizada para esta segunda condición comenzó el día 133, prolongándose hasta el día 147. Como puede observarse en la figura 15, partiendo de una DQO promedio en el influente de 5210 mg/L, la remoción promedio de DQO en este caso alcanzó un 99.8%, registrándose una DQO en el efluente de 10.7 mg/L (figura 3).

Estos resultados revelan que el sistema de tratamiento empleado ofrece una alta eficiencia de remoción de materia orgánica, ubicándose por encima de las eficiencias comúnmente reportadas para los sistemas convencionales de tratamiento de AR (Sanjay y Rashmi, 2013).

Conversión de Nitrógeno amoniacal. El agua residual sintética con la que se alimenta el BRM contiene nitrato y fosfato de amonio como fuentes de nitrógeno en una relación $C/N=15/1$, por lo que el nitrógeno disponible en el sistema se encuentra en forma de nitratos y amoniacal. Durante los periodos de carga orgánica estabilizada, se evaluó la remoción del nitrógeno amoniacal, mediante el monitoreo de la concentración de nitrógeno amoniacal en el influente y en el agua tratada (figura 4).

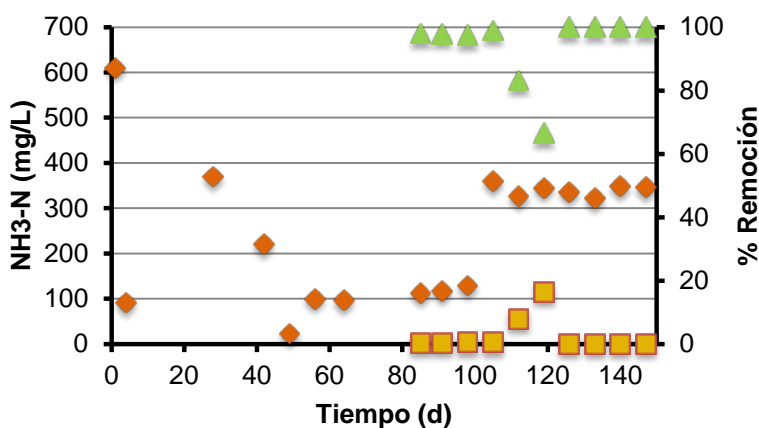


Figura 4. Concentración de nitrógeno amoniacal en el influente (◆), efluente (■) y porcentaje de remoción (▲).

En el periodo correspondiente a la CO1, se observó una eficiencia de conversión superior al 97%, mientras que para la CO2, se alcanzó un porcentaje superior al 99%. Estas eficiencias de conversión son similares a las obtenidas en 2016 por Sánchez *et al.*, en un sistema de tratamiento de agua residual en BRM, en cuyo estudio se implementó un sistema para la remoción de nitrógeno acoplado a la oxidación de metano, obteniendo una remoción posterior de nitrógeno del 60%.

CONCLUSIONES

Durante los 147 días de experimentación, se mantuvieron dentro de rangos óptimos los parámetros de operación de pH, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos volátiles. La adaptación de la biomasa al sustrato sintético se logró satisfactoriamente bajo las condiciones establecidas en el diseño experimental planteado para este estudio.

Las eficiencias de remoción de materia orgánica reportadas con este sistema sobrepasan las comúnmente reportadas para los tratamientos con BRM (95%), con lo cual se comprueba la capacidad del proceso. Por otro lado, se lograron eficiencias de conversión de nitrógeno amoniacal superiores al 90%, el cual es uno de los objetivos principales de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que las convierte en potenciales precursores de eutrofización de los cuerpos receptores. Esto es de suma importancia, puesto que en los procesos aerobios de tratamiento de aguas residuales, se busca lograr la mayor conversión de nitrógeno amoniacal a nitritos y finalmente a nitratos, siendo estos últimos la forma menos tóxica para los ecosistemas acuáticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Hirani Z.M., Decarolis J.F., Adham S.S., Jacangelo J.G., (2010). Peak flux performance and microbial removal by selected membrane bioreactor systems. *Water Res* 44(8):2431–2440

2. Le-Clech P., (2010). Membrane bioreactors and their uses in wastewater treatments. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 88:1253–1260.
3. Sanjay K. Sharma y Rashmi Sanghi.(2013) *Wastewater Reuse and Management* ISBN 978-94-007-4941-2 ISBN 978-94-007-4942-9 (eBook) DOI 10.1007/978-94-007-4942-9 pag. 61-65
4. Sánchez Alberto, Rodríguez-Hernández Leticia, Buntner Dagmara, Esteban-García Ana L., Tejero Iñaki and Garrido Juan M. (2016). Denitrification coupled with methane oxidation in a membrane bioreactor after methanogenic pre-treatment of wastewater. *Society of Chemical Industry.*

FABRICACIÓN Y ESTUDIO DE UNA CELDA SOLAR ORGÁNICA CON ARQUITECTURA DE HETEROUNIÓN DE VOLUMEN UTILIZANDO PELÍCULAS NANOTUBULARES DE TiO_2

Carlos Fabián Arias Ramos, Cecilia Cuevas Arteaga, M. A. Rodríguez Rivera, José Luis Maldonado.

CIICAp (Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas), Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México CP62210.

CIO (Centro de Investigación en Óptica A.C.), Loma del Bosque 115, Lomas del Campestre, León, Guanajuato, México CP 37150.

RESUMEN

La producción de energía eléctrica a partir de dispositivos fotovoltaicos es hoy una fuente de energía de vital importancia¹. Las celdas solares orgánicas (OPV's) son dispositivos basados en materiales que contienen átomos de carbono en su estructura², dichos dispositivos son fabricados a menor costo, flexibles y de área grande. En la actualidad resulta de gran interés el mejorar su funcionamiento, dentro de lo cual el dopaje con materiales inorgánicos ha resultado atractivo debido al aumento de sus parámetros eléctricos y además incrementando la vida útil de las OPV's. De esta manera el óxido de titanio (TiO_2) ha sido empleado como componente de la capa activa³, de las capas colectoras de cargas⁴ y en su gran mayoría como electrodo⁵. Pero existen pocos trabajos donde se estudie la relación de su estructura nanométrica y como esta afecta las propiedades eléctricas de las celdas. Por lo que en este trabajo se estudiaron los parámetros eléctricos de dispositivos fotovoltaicos fabricados dopando capa transportadora de electrones con nanotubos (NT) de TiO_2 . Encontrando que la eficiencia de conversión en promedio mejora un 8% para dispositivos que contienen nanotubos dentro de la capas.

INTRODUCCIÓN

Entre las energías limpias que en un futuro serán el motor de cada nación, la energía solar y más en específico la energía fotovoltaica tomará uno de los roles primarios en la producción de electricidad⁶. Apoyado por la disminución de costos y un impacto ambiental significativamente menor, las celdas fotovoltaicas orgánicas podrán ser una alternativa viable para la producción de energía de las generaciones futuras⁷. Las celdas orgánicas solares (OPVs) son dispositivos basados en la combinación de moléculas orgánicas tales como polímeros semiconductores, moléculas de bajo peso molecular y/o algunos derivados de fullerenos (C_{60})⁸. Este tipo de materiales lucen como una opción viable debido a que pueden presentar intensas bandas de absorción en la región del espectro visible, propiedad por la cual se pueden producir dispositivos extremadamente delgados⁹. Adicionalmente, un atractivo estructural es la posibilidad de crear celdas flexibles las cuales pueden ser fabricadas usando técnicas comunes de impresión^{2,10}. Pero estos dispositivos poseen dos problemas fundamentales a superar para el uso de forma global: la baja fotogeneración de carga que se encuentra menor al 10%¹¹, y la vida útil menor a 1 año de los dispositivos orgánicos¹². Una opción para superar estos dos problemas es fabricar dispositivos híbridos, donde el óxido de titanio (TiO_2) resulta un excelente candidato, este material debido a sus propiedades ópticas⁵ y eléctricas¹³ se ha estudiado como material complementario en la fabricación de celdas solares orgánicas. Éste presenta polimorfismo que se refleja en sus dos fases más comunes: anatasa y rutilo. Las cuales, aunque tienen la misma composición química, poseen variaciones en sus propiedades físicas⁵. Aunado a eso, la formación de estructuras a nivel nanométrico con un amplio ordenamiento como lo son los nanotubos de óxido de titanio (NT- TiO_2) le han permitido reportar un mejor desempeño en su uso como fotocatalizador, ya que estas

estructuras permiten un aumento en el área de contacto¹⁴, de hasta 573 veces mayor en $1\mu\text{m}^2$ ¹⁴. Pese a que hay pocos trabajos reportados, existen antecedentes donde se ha observado que dentro de dispositivos fotovoltaicos ha beneficiado los parámetros eléctricos, con incrementos de la eficiencia del $2.7\pm 0.1\%$ a $3.1\pm 0.1\%$ ¹⁵, e incluso ha mostrado ayudar a la estabilidad eléctrica al paso del tiempo impidiendo la degradación acelerada¹⁶. En particular, con la realización de este trabajo se evaluará el efecto del uso de nanotubos y nanopartículas de óxido de titanio, en sus fases anatasa y rutilo, como dopante de la capa colectora de electrones dentro de un dispositivo fotovoltaico orgánico de arquitectura de heterounión de volumen (ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PC₆₁BM/PFN:TiO₂/FM), comparando los parámetros eléctricos de los dispositivos con aquellos donde no se utiliza óxido de titanio.

EXPERIMENTACIÓN

La fabricación de los nanotubos de óxido de titanio (NT-TiO₂) se llevó a cabo a través de la técnica de anodización electroquímica, en la cual se utilizó lámina de titanio (Titanio 99.7%, ALDRICH), que se empleó como electrodo (ánodo) dentro del procedimiento, con una duración de 11h 15min. Empleando como electrolito una solución compuesta por: 98 mL de etilenglicol (HOCH₂CH₂OH al 99.8%, J.T. BAKER), 2 mL de agua desionizada (Reactivos CIVEQ) y 0.6% en peso de fluoruro de amonio (NH₄F al 99.99%, ALDRICH). La síntesis de las nanopartículas de óxido de titanio (NP-TiO₂) fue a través del método de SOL-GEL¹⁷. En la fabricación de las OPVs se empleó como soporte un sustrato que posee un recubrimiento conductor de óxido de indio y estaño (ITO) que tendrá la función del ánodo en la celda. Las diferentes soluciones que componen el dispositivo tales como la capa transportadora de huecos (HTL), activa y transportadora de electrones (ETL) se depositaron usando la técnica de spin-coating. Para la HTL se usa el polímero PEDOT:PSS, como capa activa la mezcla del material donador P3HT y aceptor PC₆₁BM, y como ETL el polímero PFN. Como cátodo se empleó la aleación eutéctica field's metal (FM-Bismuto 32.5%, Indio 51% y Estaño 16.5%) que funde a 62°C⁴.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como primer objetivo se comprobó la fabricación de los NT-TiO₂. La imagen 1 contiene las micrografías de SEM de la superficie y una vista transversal de la membrana de NT-TiO₂ se observa una superficie homogénea de nanotubos con un tamaño de poro de 117nm (promedio) y un largo de entre 17-20 μm , corroborando que es posible la fabricación de NT-TiO₂ sobre la lámina, estas nanoestructuras serán empleadas para dopar las OPVs.

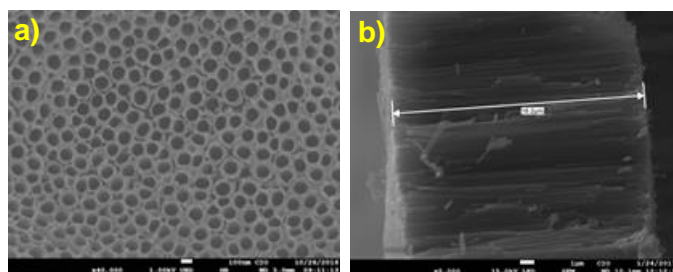
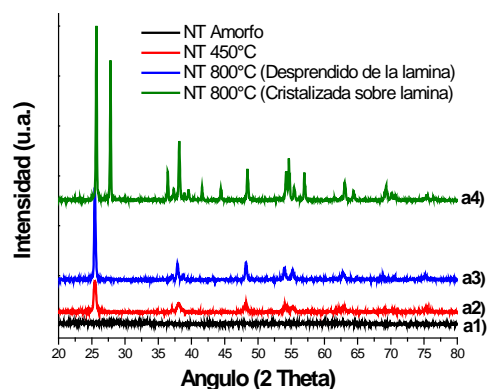


Imagen 1. Micrografías obtenidas por SEM de la (a) superficie y (b) vista transversal de la membrana de NT-TiO₂.

La gráfica 1 contiene los patrones de difracción de rayos-X para las muestras de NT-TiO₂ cristalizadas, los resultados demuestran que se mantienen en fase anatasa aún después de ser tratadas a 800°C.



Gráfica 1. Patrones de DRX de TiO₂ tratados térmicamente a distintas temperaturas NT-TiO₂ fase amorfa(a1) y cristalizados a 450°C (a2), 800°C desprendido de la lámina de Ti (a3) y a 800°C sobre la lámina sobrante de Ti (a4).

Observado el comportamiento de los NT-TiO₂ tratados a 450 °C y 800 °C se estudió la integridad de las nanoestructuras al ser sometidas a un procedimiento de agitación mecánica, simulando al que serán sometidas al fabricar las OPV. La imagen 3 posee las micrografías de la fracción de la membrana de NT-TiO₂ a 450°C (imagen 3-a) y a 800°C (imagen 3-b), en las que se puede observar para el caso de los NT-TiO₂ a 450°C la morfología nanotubular se conserva. Al contrario en las muestras tratadas a 800°C los nanotubos son destruidos, dando como resultado fracciones de TiO₂ con morfología irregular. Por lo que los NT-TiO₂ a 800°C con presencia de rutilo, no podrán ser utilizados en OPVs, por el colapso de las estructuras.

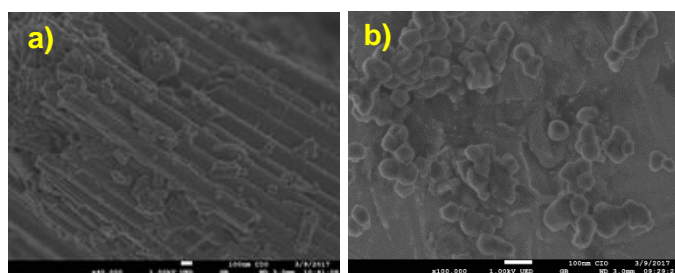
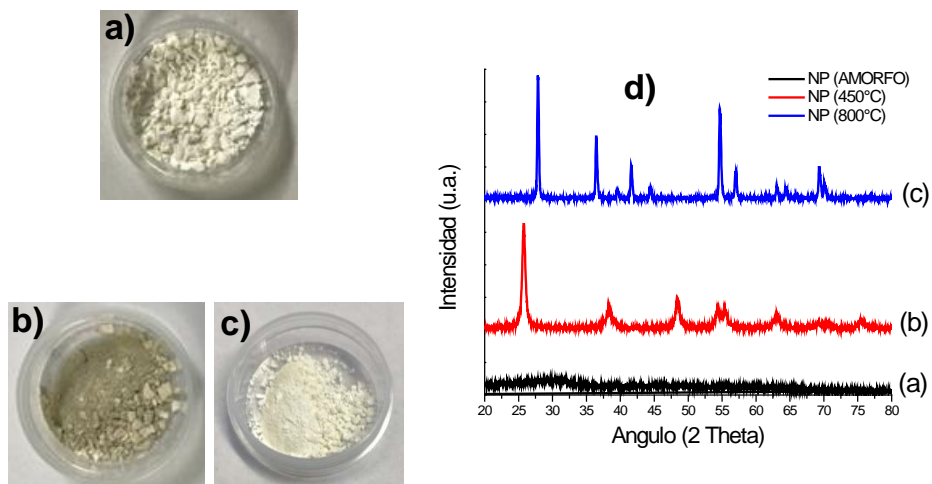


Imagen 2. NT-TiO₂ cristalizada a (a) 450°C y (b) 800°C, después de 7h agitación.

Las nanopartículas de óxido de titanio (NP-TiO₂) fueron fabricadas mediante el proceso de SOL-GEL¹⁷, la fase anatasa y rutilo fueron obtenidas térmicamente a 450°C y 800°C, respectivamente. En la gráfica 3 se observan los patrones de DRX de las tres muestras de NP-TiO₂, en donde la muestra analizada sin tratamiento térmico no presenta ningún pico, indicando se encuentra en fase amorfa sin embargo, en las fracciones cristalizadas a 450 y 800°C, se puede comprobar la presencia de los picos representativos del TiO₂ en fase anatasa y rutilo.



Gráfica 2. NP-TiO₂ en fase amorfa (a), con tratamiento térmico a 450 °C (b) y 800 °C (c), DRX de las NP-TiO₂.

Posteriormente se caracterizaron las muestras por SEM, las imágenes 5 concentran las micrografías de las muestras de nanopartículas de óxido de titanio (NP-TiO₂) en fase anatasa y rutilo respectivamente. En ellas se puede ver que la morfología del material es irregular, donde nanopartículas se aglomeran en fragmentos de tamaño micrométrico. Adicionalmente se puede ver una sutil diferencia entre la cristalinidad del TiO₂ en fase anatasa contra la de rutilo, en esta última es más marcado el límite de grano que existe sobre la aglomeración, con tamaños variables e inferiores a 107 nm. De esta manera se tiene nanomateriales con estructura tubular y semiesférica para fabricar OPVs dopando la capa transportadora de electrones y realizar la comparación con aquellos dispositivos que se fabriquen sin dopar.

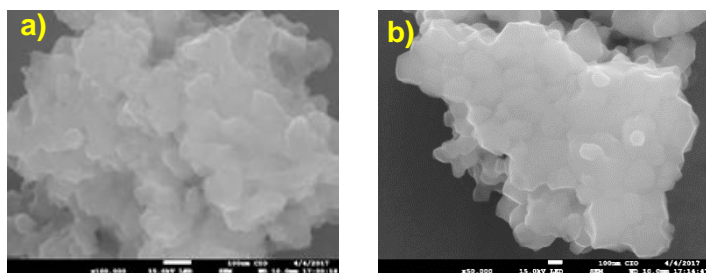
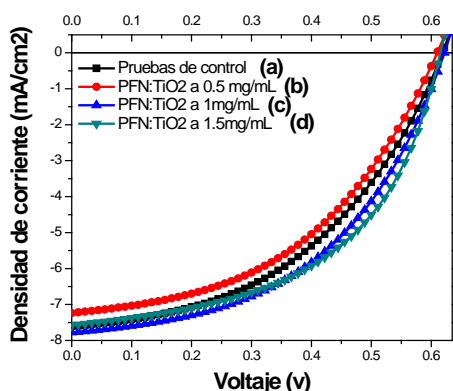


Imagen 3. Nanopartículas de óxido de titanio (NP-TiO₂) cristalizadas a (a) 450°C y (b) 800°C.

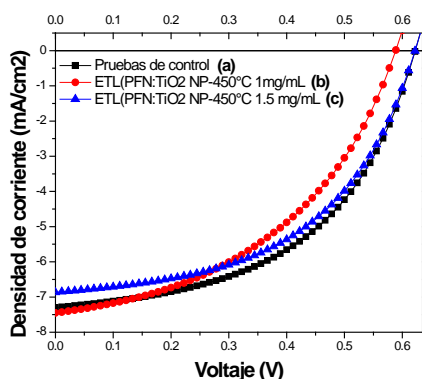
Siendo el TiO₂ es un material con una buena movilidad de electrones ($0.1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)¹⁸, se probó dopando la capa transportadora de electrones (ETL) con concentraciones de 0.5-1.5mg/mL. La gráfica 2 tiene el concentrado promedio de las curvas J-V para un total de 8 dispositivos cada concentración. Los resultados muestran un claro incremento de las pruebas con concentraciones de 1 y 1.5 mg/mL de NT-TiO₂, siendo esta última la que presentan un mejor desempeño con un aumento del 8% de incremento sobre las pruebas de control, porcentaje que supera la consideración de posibles errores de fabricación. La densidad de corriente y el factor de llenado son los dos valores que se ven mejorados por la presencia de los NT-TiO₂ en fase anatasa para concentraciones de 1 y 1.5 mg/mL.



Parámetro eléctrico	Pruebas de control (Promedio)	Dopaje ETL		
		PFN:TiO ₂ 0.5 mg/mL (Promedio)	PFN:TiO ₂ 1 mg/mL (Promedio)	PFN:TiO ₂ 1.5 mg/mL (Promedio)
Voc	0.62	0.61	0.63	0.62
Jsc	7.46	7.24	7.78	7.58
FF	0.48	0.46	0.48	0.51
PCE	2.23%	2.04%	2.34%	2.41%

Gráfica 3. Curva J-V de las OPV's dopadas en su ETL con **NT-TiO₂ a 450°C**: (a) Prueba de control, (b) PFN:TiO₂ 0.5mg/mL, (c) PFN:TiO₂ 1mg/mL, (d) PFN:TiO₂ 1.5mg/mL.

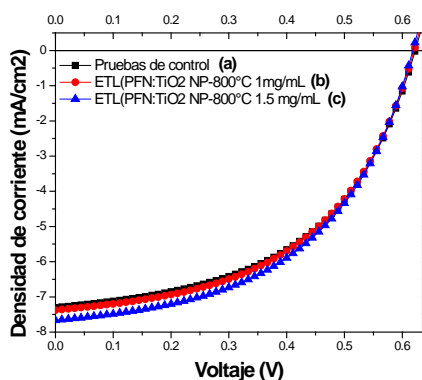
En la gráfica 4 se muestran las curvas J-V de las pruebas de NP-TiO₂ a 450°C (fase anatasa) y la tabla con sus respectivos parámetros eléctricos. En ellos se observa que existe una disminución de las propiedades eléctricas generales de todos los dispositivos dopados con las nanopartículas en comparación con las pruebas de control. Siendo nuevamente la concentración a 1.5mg/mL de las NP-TiO₂ la que presenta los mejores valores entre los dispositivos. En semejanza al comportamiento de los NT-TiO₂ a 450°C, existen variaciones no sólo en la densidad de corriente y en el factor de llenado.



Parámetro eléctrico	Prueba de control (PROMEDIO)	Dopaje ETL con NP-TiO ₂	
		PFN:TiO ₂ 1 mg/mL (PROMEDIO)	PFN:TiO ₂ 1.5 mg/mL (PROMEDIO)
Voc	0.62	0.59	0.62
Jsc	7.46	7.45	6.86
FF	0.48	0.45	0.51
PCE	2.23%	1.98%	2.17%

Gráfica 4. Curva J-V de las OPV's dopadas en su ETL con NP-TiO₂ a 450°C: (a) Prueba de control, (b) PFN:TiO₂ 1mg/mL, (c) PFN:TiO₂ 1.5mg/mL, (d) PFN:TiO₂ 2mg/mL.

En la gráfica 5 se concentran las curvas J-V de las pruebas de NP-TiO₂ a 800°C (fase rutilo) y en la tabla se muestran los parámetros eléctricos obtenidos. Donde se puede ver mejoras en concentraciones a 1 y 1.5 mg/mL presentando mejoras del 3.1% y 6.7% respectivamente.



Parámetro eléctrico	Prueba de control (PROMEDIO)	Dopaje ETL con NP-TiO ₂	
		PFN:TiO ₂ 1 mg/mL (PROMEDIO)	PFN:TiO ₂ 1.5 mg/mL (PROMEDIO)
Voc	0.62	0.62	0.62
Jsc	7.46	7.38	7.66
FF	0.48	0.5	0.5
PCE	2.23%	2.30%	2.38%

Gráfica 5. Curva J-V de las OPV's dopadas en su ETL con NP-TiO₂ a 800°C: (a) Prueba de control, (b) PFN:TiO₂ 1mg/mL, (c) PFN:TiO₂ 1.5mg/mL.

CONCLUSIONES

Se fabricaron nanotubos y nanoparticulas de óxido de titanio por anodización electroquímica y el método de SOL-GEL, respectivamente. La estructura tubular tienen una longitud de entre 17-20 μm y un tamaño de poro de 17nm, mismos que pudieron pasar de una fase amorfa a la fase cristalina anatasa, con un tratamiento térmico desde 450°C a 700°C manteniendo la integridad de la

estructura. Pero arriba de los 800°C la morfología nanotubular comienza a comprometerse y de hacerse el tratamiento térmico sobre la lámina sobrante de titanio el procedimiento de cambio de fase a rutilo se ve beneficiado. Además se pudo comprobar la morfología nanotubular sobre las capas de la celda bajo la técnica de spin-coating, los dispositivos dopados muestran incrementos en sus parámetros eléctricos de las OPVs con concentraciones de 1 y 1.5 mg/mL de NT-TiO₂. Además el comparativo con los dispositivos con NP-TiO₂ con fases similares tiene un mayor porcentaje de beneficio dopaje con estructura de nanotubos debido al aumento de área superficial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Nozik, A. J. & Miller, J. Introduction to Solar Photon Conversion. *Chem. Rev.* **110**, 6443–6445 (2010).
2. Shaheen, S. E., Radspinner, R., Peyghambarian, N. & Jabbour, G. E. Fabrication of bulk heterojunction plastic solar cells by screen printing. *Appl. Phys. Lett.* **79**, 2996 (2001).
3. Shankar, K., Mor, G. K., Paulose, M., Varghese, O. K. & Grimes, C. A. Effect of device geometry on the performance of TiO₂ nanotube array-organic semiconductor double heterojunction solar cells. *J. Non. Cryst. Solids* **354**, 2767–2771 (2008).
4. Pérez-Gutiérrez, E. *et al.* Titanium oxide:fullerene composite films as electron collector layer in organic solar cells and the use of an easy-deposition cathode. *Opt. Mater. (Amst)*. **36**, 1336–1341 (2014).
5. Rahimi, N., Pax, R. A. & Gray, E. M. A. Review of functional titanium oxides. I: TiO₂ and its modifications. *Prog. Solid State Chem.* **44**, 86–105 (2016).
6. Jäger, K., Olindo, I., Arno, H. M. S., Rene, A.C.M.M., V. S. & Zeman, M. *Solar Energy. Fundamentals, Technology, and Systems*. (Delft University of Technology, 2014).
7. Maldonado Rivera, J. L. Energía sustentable : Celdas fotovoltaicas orgánicas. *Cozcyt.Gob.Mx* 1–8 (2012).
8. Günes, S., Neugebauer, H. & Sariciftci, N. S. Conjugated Polymer-Based Organic Solar Cells. *Chem. Rev.* **107**, 1324–1338 (2007).
9. Barbosa García, O. *et al.* Celdas solares orgánicas como fuente de energía sustentable. (Spanish). *Org. Sol. cells as a Renew. energy source.* **22**, 36–48 (2012).
10. Gustafsson, G. *et al.* Flexible light-emitting diodes made from soluble conducting polymers. *Nature* **357**, 477–479 (1992).
11. Rand, B. P., Genoe, J., Heremans, P. & Poortmans, J. Solar Cells Utilizing Small Molecular Weight Organic Semiconductors. *Prog. Photovolt Res. Appl.* **15**, 659–676 (2007).
12. Jørgensen, M., Norrman, K. & Krebs, F. C. Stability/degradation of polymer solar cells. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **92**, 686–714 (2008).

13. Yang, Z. *et al.* Nanostructures and lithium electrochemical reactivity of lithium titanites and titanium oxides: A review. *J. Power Sources* **192**, 588–598 (2009).
14. Vera Jiménez, A. M., Melgoza Alemán, R. M., Valladares Cisneros, M. G. & Cuevas Arteaga, C. Synthesis and Mechanical / Electrochemical Characterization of TiO₂ Nanotubular Structures Obtained at High Voltage. *J. Nanomater.* **2015**, 12 (2015).
15. Yang, P., Zhou, X., Cao, G. & Luscombe, C. K. P3HT:PCBM polymer solar cells with TiO₂ nanotube aggregates in the active layer. *J. Mater. Chem.* **20**, 2612 (2010).
16. Huang, J.-H., Ibrahem, M. A. & Chu, C.-W. Wet-milled anatase titanium oxide nanoparticles as a buffer layer for air-stable bulk heterojunction solar cells. doi:10.1002/pip.2522
17. Pookmanee, P. & Phanichphant, S. Titanium dioxide powder prepared by a sol-gel method. **10**, 167–170 (2009).
18. Bak, T., Nowotny, M. K., Sheppard, L. R. & Nowotny, J. Mobility of electronic charge carriers in titanium dioxide. *J. Phys. Chem. C* **112**, 12981–12987 (2008).

ESTUDIO ESTADÍSTICO DE PROPORCIONES DEL ROSTRO SEGÚN DA VINCI EN ESTUDIANTES HOMBRES DE LA UPIITA-IPN

Paola González Ortega, Adriana López López, Grecia A. Navarrete Recio, Berenice Tacuba Morales* y Verónica L. Villegas Rueda

Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas-UPIITA Av. IPN 2580, Col. Barrio la Laguna Ticomán, GAM, Cd. de México, CP. 07340

RESUMEN

Los estudios del análisis facial, en particular las proporciones de la cara, son de gran importancia en la medicina estética y de reconstrucción donde la forma y proporciones son cruciales para mejorar, arreglar o reconstruir un rostro. Algunas de las áreas que usan este tipo de análisis son por ejemplo la cirugía plástica, cirugía máxilo facial, en medicina prostética y ortodoncia. Para anomalías faciales de un sujeto de una población, la reconstrucción del rostro esta dentro de los rasgos de proporciones promedio de la población. Las medidas de esta población deben mostrar unos intervalos de normalidad que permitan ubicar las medidas faciales del paciente dentro de un rango. En este trabajo presentamos un estudio estadístico desarrollado en un curso semestral en la ingeniería biónica de la UPIITA de las proporciones del rostro según Da Vinci, para lo cual tomamos una muestra aleatoria de 100 jóvenes estudiantes de la UPIITA. Las medidas fueron tomadas directamente del rostro de cada sujeto. Para las proporciones analizadas se considero en el plano horizontal de Frankfort los puntos clave definidos como el Trichion (Tr), la Glabella (G), el Nasion (N), el punto subnasal (Sn), el surco mentolabial (Si), el Pogonion (Pg) y el Mentón (Me). También analizamos el plano mediosagital dividiendo el rostro en cinco puntos cruciales como amplitud del ojo y ancho de la boca. Medimos las diferencias con la proporción "divina" de Da Vinci y encontramos que la muestra está alejada de esta proporción, sin embargo, encontramos una relación de las proporciones en el plano horizontal con la altura. Este primer estudio de análisis estadístico que consta de pruebas de hipótesis, arroja información real de los promedios y dispersiones de las proporciones en jóvenes los cuales deben ser considerados si se desea diseñar cualquier tipo de software ya sea para aplicaciones médicas o de reconocimiento de rostros para seguridad ya sea de una empresa, escuela o país.

INTRODUCCIÓN

Los estudios del análisis facial, en particular las proporciones de la cara, son de gran importancia en la medicina estética y de reconstrucción donde la forma y proporciones son cruciales para mejorar, arreglar o reconstruir un rostro. Por ejemplo en la cirugía plástica, cirugía máxilo facial, en medicina prostética y ortodoncia estas medidas resultan de importancia crucial, Farhad y col. (2007). Por ejemplo en anomalías faciales de un sujeto en una población dada, la reconstrucción del rostro esta dentro de los rasgos de proporciones promedio de la población. Las medidas de esta población deben mostrar unos intervalos de normalidad que permitan ubicar las medidas faciales del paciente dentro de un rango. En particular en este trabajo centramos nuestra atención

en las proporciones divinas del rostro según DaVinci, que recordamos es el autor del Hombre Vitrubio de las proporciones anatómicas. Dentro de su extensa colección de escritos, Leonardo DaVinci mostro esquemas del rostro, el cual dividió en segmentos de donde saco las “proporciones divinas” que describieran la bella en términos de razones o cocientes numéricos, Figura 1.1.



Figura 1.1. Esquemas de proporciones de DaVinci.

En este trabajo presentamos un estudio estadístico desarrollado en un curso semestral en la ingeniería biónica de la UPIITA de las proporciones del rostro según Da Vinci en 1509, para lo cual tomamos una muestra aleatoria de 100 jóvenes estudiantes de la UPIITA. Las medidas fueron tomadas directamente del rostro de cada sujeto. Para las proporciones analizadas se consideró en el plano horizontal de Frankfort los puntos clave definidos como el Trichion (Tr), la Glabella (G), el Nasion (N), el punto subnasal (Sn), el surco mentolabial (Si), el Pogonion (Pg) y el Mentón (Me). También analizamos el plano mediosagital dividiendo el rostro en cinco puntos cruciales como amplitud del ojo y ancho de la boca. Medimos las diferencias con la proporción “divina” de Da Vinci y encontramos que la muestra está alejada de esta proporción, sin embargo, encontramos una relación de las proporciones en el plano horizontal con la altura. Este primer estudio de análisis estadístico arroja información real de los promedios y dispersiones de las proporciones en jóvenes los cuales deben ser considerados si se desea diseñar cualquier tipo de software ya sea para aplicaciones médicas o de reconocimiento de rostros para seguridad ya sea de una empresa, escuela o país.

METODOLOGÍA

Para calcular las medidas antropométricas se utilizaron los instrumentos como los presentados en la Figura 2.1, ellos son: Vernier, cinta métrica, un par de cartones. Para realizar las medidas, ciertas precauciones deben ser tenidas en cuenta, por ejemplo, la cabeza al ser medida debe conservarse en el plano horizontal Frankfurt (HR). Siendo el objetivo de este trabajo hacer una propuesta metodológica para determinar una relación antropométrica facial ya sea con la estatura o la edad, se tomaron en cuenta las siguientes proporciones del rostro, además en este conjunto de características está orientado a establecer que tan asimétricas son las medidas.

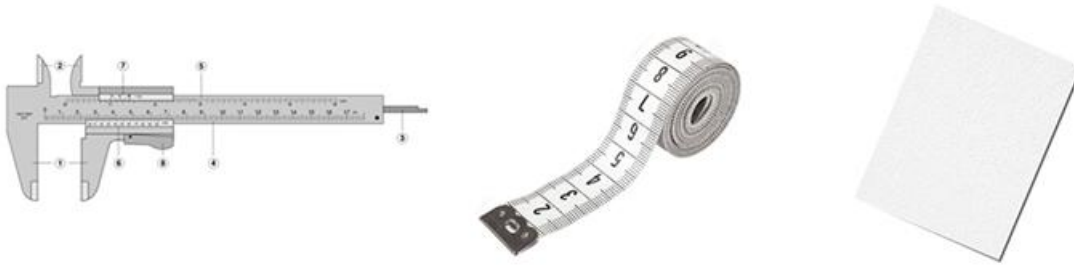


Figura 2.1. Vernier, Cinta métrica, un par de cartones

Las primeras medidas que se les hicieron a los sujetos de prueba, con ayuda de un vernier, fueron las proporciones del largo de la cara, del trinchion a la glabela, de la glabela al punto subnasal, del punto subnasal al mentón (Figura 2.2 (a) y (b)).

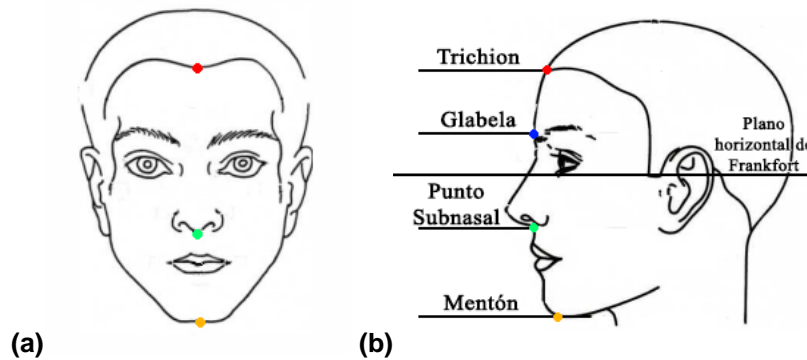


Figura 2.2 Puntos característicos medidos de la altura facial (a) Vista Frontal, (b) Vista Lateral.

Consecuentemente las medidas del ancho de la boca y la longitud de las fisuras palpebrales derecha e izquierda (Figura 2.3 (a)), igualmente con el uso de un vernier.

Por último, se realizó la medida del ancho de la cara, para esto se requirió usar dos cartones que iban a los costados del rostro y el uso de la cinta métrica (Figura 2.3 (b)).

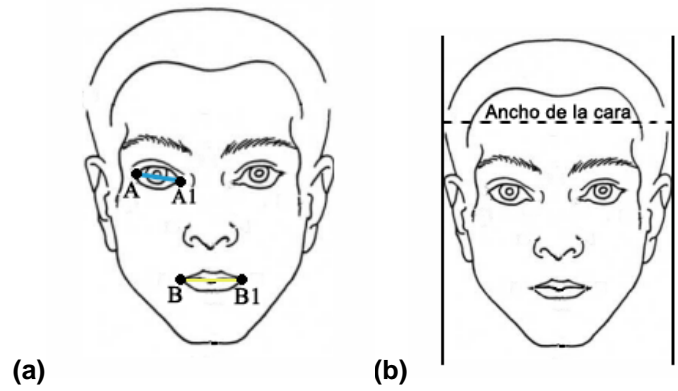


Figura 2.3. (a) Medidas de la longitud de las fisuras palpebrales derecha e izquierda (A-A1) y medidas ancho de la boca (B-B1). (b) Medida del ancho de la cara.

Todos los datos obtenidos por los 100 sujetos de prueba fueron registrados en tablas de registro de datos (Tabla 1), la medida de la longitud de la cara no es necesario medirla en el método práctico ya que esta es la suma de las 3 medias iniciales (Del trinchion al mentón).

Tabla 1. Formato de registro de datos

Nombre:						
Edad:						
Estatura:						
Carrera:						
Teléfono celular:						
Longitud de la cara	Ancho de la cara	Ancho del ojo	Del trichion a la glabella	De la glabella al punto subnasal	Punto subnasal al mentón	Ancho de la boca

Posteriormente para analizar los datos obtenidos en cada una de las variables usamos el comando de análisis de datos de EXCEL y llevamos a cabo análisis de regresión lineal simple y multiregresión lineal con significancia de 0.05 en todos los casos.

RESULTADOS

Pruebas de hipótesis

Con base a la teoría de las proporciones se obtuvieron dos medidas “ideales” ya que no se poseen datos de investigaciones previas para realizar las pruebas de hipótesis requeridas. Y con la suposición de que existe una distribución normal.

La primera medida “ideal” se obtuvo con la consideración de que las tres medidas longitudinales deben ser iguales, por lo que se dividió el largo de la cara de cada sujeto en tres para obtener dicha medida. Con los siguientes resultados:

Media
0.0642182
Desviación E.
0.003898706

Así se estableció que para la prueba de hipótesis:

$$H_0 : \mu = 0.0642182$$

$$H_A : \mu \neq 0.0642182$$

$$\alpha = 0.05$$

a) Del trichion a la glabela

Media=0.0551754

Desviación E=0.008046548

n=100

Z de una muestra

Prueba de $\mu = 0.0642182$ vs. $\neq 0.0642182$
 La desviación estándar supuesta = 0.00804655

N	Media	Error estándar de la media	IC de 95%	Z	P
100	0.055125	0.000805	(0.053548, 0.056702)	-11.30	0.000

Hipótesis 1.a: Del trichion a la glabela

El p-valor es cero por lo que es menor que nuestra significancia y se rechaza la hipótesis nula.

b) De la glabela al punto subnasal

Media=0.068048

Desviación E=0.004959695

n=10

0

Z de una muestra

Prueba de $\mu = 0.0642182$ vs. $\neq 0.0642182$
 La desviación estándar supuesta = 0.00495970

N	Media	Error estándar de la media	IC de 95%	Z	P
100	0.068048	0.000496	(0.067076, 0.069020)	7.72	0.000

El p-valor es

cero

por lo

que es menor que nuestra significancia y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis 1.b: De la glabela al punto subnasal

c) Del punto subnasal al mentón

Media=0.0694312

Desviación E=0.005785293

n=100

Z de una muestra

Prueba de $\mu = 0.0642182$ vs. $\neq 0.0642182$
 La desviación estándar supuesta = 0.00578529

N	Media	Error estándar de la media	IC de 95%	Z	P
100	0.069431	0.000579	(0.068297, 0.070565)	9.01	0.000

Hipótesis 1.c: Del punto subnasal al mentón

El p-valor es cero por lo que es menor que nuestra significancia y se rechaza la hipótesis nula.

La segunda medida “ideal” es el ancho de la cara, obtenido considerando que es igual a cinco veces el ancho del ojo. Se obtuvieron los siguientes datos:

Media
0.15648
Desviación E
0.01448353

$$H_0 : \mu = 0.15648$$

$$H_A : \mu \neq 0.15648$$

$$\alpha = 0.05$$

De los datos crudos de nuestra muestra:

Media=0.193491

Desviación E=0.013601954

n=100

Z de una muestra

Prueba de $\mu = 0.15648$ vs. $\neq 0.15648$
 La desviación estándar supuesta = 0.0136020

N	Media	Error estándar de la media	IC de 95%	Z	P
100	0.19349	0.00136	(0.19083, 0.19616)	27.21	0.000

Hipótesis 2: Ancho de la cara igual a 5 veces el ancho del ojo

El p-valor es cero por lo que es menor que nuestra significancia y se rechaza la hipótesis nula.

Estos resultados muestran que las medidas tomadas en los muchachos de la UPIITA se alejan de las medidas ideales de DaVinci. Este primer estudio de análisis estadístico arroja información real de los promedios y dispersiones comparando con las medidas ideales. Por otro lado, las proporciones en jóvenes los cuales deben ser considerados si se desea diseñar cualquier tipo de software, además de demostrar que el análisis estadístico serio para obtener parámetros

poblacionales es laborioso ya que además de llevar a cabo pruebas de hipótesis realizamos análisis de regresión lineal el cual fue presentado en Mayo 3, Paola y col. (2017) lo que nos corrobora lo que encontramos por prueba de hipótesis.

CONCLUSIONES

Medimos las diferencias con la proporción "divina" de Da Vinci y encontramos que la muestra está alejada de esta proporción, sin embargo, encontramos una relación de las proporciones en el plano horizontal con la altura. Este estudio de prueba de hipótesis arroja información real de los promedios y dispersiones de las proporciones en jóvenes los cuales deben ser considerados si se desea diseñar cualquier tipo de software ya sea para aplicaciones médicas o de reconocimiento de rostros para seguridad ya sea de una empresa, escuela o país. Por otro lado, vemos que la obtención de datos en el rostro directo puede estar influyendo en los valores de la proporción del rostro, sin embargo, estos resultados llevan a cuestionarnos sobre la importancia de medidas de profundidad facial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Farhad B. y col. (2006). The enigma of facial beauty: Esthetics, proportions, deformity, and controversy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, Vol. 130, Issue 3, 277-282.
2. Donnelly Robert (2007). *The complete idiot's guide to statistics*, 2nd Edition.
3. A. Aron, E. J. Coups, E. Aron. (2013), *Statistics for Psychology*, 6th Edition. Pearson.
4. González Ortega Paola, López López Adriana, Navarrete Recio Grecia Ameyaly, Tacuba Morales Berenice, V. L. Villegas (2017), *Estudio estadístico de proporciones del rostro según Da Vinci en estudiantes hombres de la UPIITA-IPN*, Memorias del Congreso Internacional Sobre la Enseñanza y Aplicación de las Matemáticas, Universidad Nacional Autónoma de México.

ANÁLISIS DE RELAJACIÓN DE HILOS DE ALGODÓN BAJO CARGAS DE TENSIÓN

Arturo F. Méndez Sánchez, Israel Rivera Martínez, Claudia Hernández Hernández, Edith Cortez Martínez

Depto. de Física, ESFM, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

Depto de Confección, ESIT, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

Depto. de Ciencias Básicas, ESIT, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

RESUMEN

Entender a los materiales fibrosos compuestos es de gran interés en la industria, ejemplo de éstos son los textiles, ya que este tipo de materiales se requieren para la mejora de prendas y por el creciente interés de elaborar materiales reforzados con propiedades mecánicas específicas. Por ello, existe la importancia en entender los procesos físicos y mecánicos de estos materiales y sus componentes. Particularmente, los textiles están conformados de hilos y éstos a su vez de fibras, por lo que los procesos físicos que ocurren en los hilos durante el proceso de tejido son complejos. Además, la relación entre las propiedades físicas de las fibras que conforman un hilo con las propiedades de éste tampoco es del todo conocida. En el presente trabajo se analiza la relajación de hilos de algodón sometidos a cargas de tensión. Los resultados encontrados muestran 3 etapas de relajación, a saber, una primera etapa exponencial, una segunda etapa semi-exponencial y una tercera de relajación con cambios abruptos en la curva. El comportamiento observado se sugiere está asociado al estiramiento de la fibra, a su deslizamiento y a la separación de la fibra dentro del hilo.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de materiales compósitos ha venido en creciente desarrollo en diversas aplicaciones de la industria. Existe gran interés en desarrollar materiales con diferentes capacidades como en el desarrollo de películas de alimentos, que puedan servir como inhibidoras de bacterias o para mejorar o cambiar algunas de las propiedades naturales, como por ejemplo en la elaboración de bolsas se requiere que sean cada día más ecológicas por lo que le adicionan partículas de harina de maíz, o para retardar la flamabilidad de los polímeros. Asimismo, como dotar de mejores propiedades mecánicas a este tipo de compósitos. En esencia un material compósito se puede entender como un material compuesto de dos partes una matriz y el elemento adicionado a dicha matriz, ya sea en polvo o en otra forma. La finalidad primaria es que el compósito formado tenga alguna propiedad física mejorada con respecto a los elementos que los constituyen. El elemento que se adiciona puede poseer diversas características físicas y químicas, así como diferentes tamaños geométricos que van desde los milímetros a las micras o los nanómetros. Por ello es que es de gran interés conocer y caracterizar este tipo de materiales compuestos.

En la industria textil, los compósitos, son de gran interés pues existen propiedades físicas que requieren mejorarse, como, materiales antiestáticos, con mayor resistencia o impermeables, entre otros. No obstante, algunos materiales textiles como los derivados de fibras naturales, ya son en sí materiales compósitos debido a su naturaleza de conformación. Por tal motivo es que es muy importante caracterizarlos y entender a profundidad sus propiedades físicas, antes de elaborar o modificar dichas propiedades con la presencia de partículas. En el presente trabajo se tiene el interés de estudiar el hilo textil de algodón, con la idea de que a partir de éstos, se generen compósitos tomando como matriz a los hilos de algodón.

Los hilos de algodón están constituidos de pequeñas fibras torcidas, por lo que los procesos físicos que ocurren en los hilos durante el proceso de tejido son complejos, en donde muchas veces están sometidos a tensiones. Además, la relación entre las propiedades físicas de las fibras que conforman un hilo con las propiedades de éste tampoco es del todo conocida. Particularmente, en el presente trabajo se analizan los procesos de relajación que experimentan hilos de algodón sometidos a cargas de tensión.

TEORÍA

La fibra del algodón procede como es bien sabido de la semilla del algodnero, del género de las malváceas. Aunque existen distintos tipos de algodón, el de mayor producción es el algodón americano. El origen natural de dicha fibra, se debe a que el crecimiento de la fibra está dividido en dos etapas, a saber, la primera mitad del tiempo en su desarrollo, se ocupa en su crecimiento longitudinal, mientras que la otra mitad en el crecimiento trasversal o diámetro. Se sabe que este algodón es introducido en un baño de sosa caustica y al lavarlo se observa que la fibra pasa a tener una sección más circular, se consigue un aumento de resistencia y adquiere elasticidad [1,2]. Posteriormente, pasa al proceso de hilado el cual es la conformación del hilo mediante torsiones de las fibras.

La realización de pruebas mecánicas, como lo son las pruebas de tensión tiene una estrecha relación del tipo de fibra utilizada, de su título, torsión, retorsión, y sistema de hilatura, entre otras. Sin embargo, en la actualidad no existen relaciones funcionales que relacionen las propiedades mecánicas de las fibras con las propiedades mecánicas de los hilos ya conformados por estas fibras. Empero, es de esperarse que la determinación de las propiedades mecánicas de los hilos, posean características elásticas y plásticas por su naturaleza ondulada (ver figura 1).

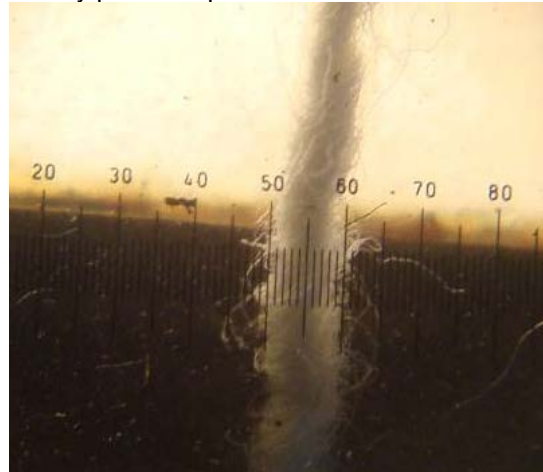


Figura 1 Imagen óptica que muestra una consistencia ondulada de las fibras de algodón.

En la teoría de la elasticidad típica [3], se entiende que un sólido elástico es aquel cuerpo que se mueve y se deforma de manera recuperable a respuestas de fuerzas externas. Mientras que la plasticidad se encarga de las deformaciones no recuperables de los sólidos. De ahí resalta la ecuación constitutiva de la ley de Hooke en donde se relaciona de manera lineal parámetros físicos como el esfuerzo y la deformación. En este caso, un esfuerzo de tensión (τ) se define como la razón de la fuerza aplicada a un material por unidad de área, esto es,

$$\tau_T = \frac{F}{A} \tag{1}$$

Asimismo, la deformación unitaria que se genera en un material bajo tensión (γ) está dada mediante:

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \tag{2}$$

Por lo que la ley de Hooke está expresada por, la relación,

$$\tau_T = Y\gamma \tag{3}$$

Por lo que la determinación del módulo elástico (Y), a partir de las ecuaciones (1) y (2) toma la forma,

$$Y = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{Fl_o}{A\Delta l} \tag{3}$$

A partir de las ecuaciones anteriores, es que es posible determinar las propiedades mecánicas de los hilos de algodón [4]. Sin embargo lo que nos compete en el presente trabajo, es el análisis de las curvas de relajación de fuerza contra tiempo cuando los hilos son sometidos a una deformación constante.

Dentro de las curvas características de deformación de los materiales, existe otro tipo de respuesta que se genera debido a las características propias de los materiales, ya que solo se ha considerado que los materiales obedecen solo las leyes elásticas y no poseen características de material viscoso. Empero, existen materiales como los poliméricos que presentan una acción combinada de elasticidad y viscosidad, a los cuales se les denomina viscoelásticos. Los comportamientos de este tipo de materiales son observados al aplicárseles cargas (esfuerzos) o estiramientos (deformaciones) constantes. Ya que presentan una respuesta rápida de origen elástico y una respuesta retardada de origen viscoso. Las relaciones constitutivas encontradas, han sido modeladas por el desplazamiento de un resorte de constante elástica k que obedece un comportamiento elástico de Hooke y el desplazamiento un pistón que modela un comportamiento viscoso η newtoniano. Estos son los modelos Voigt-Kelvin en donde acopla un resorte y un pistón en paralelo, así como el modelo de Maxwell en donde acopla el resorte y el pistón en serie. Ver figura 2.

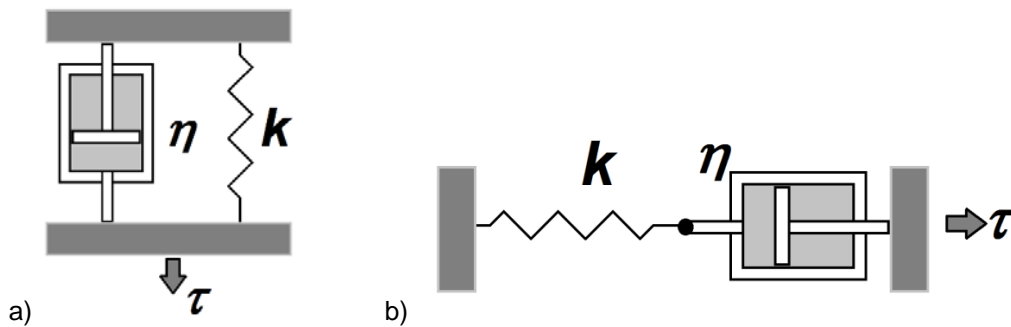


Figura 2. Modelación de comportamiento viscoelástico, a) modelo de Voigt-Kelvin y b) modelo de Maxwell.

La expresión matemática que resultan para el modelo de Voigt-Kelvin es,

$$\dot{\gamma} + \left(\frac{Y}{\eta}\right)\gamma = \frac{\tau}{\eta} \tag{4}$$

Donde $\dot{\gamma}$ corresponde a la rapidez de deformación, mientras que el modelo de Maxwell conduce a,

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\tau}}{Y} + \frac{\tau}{\eta} \tag{5}$$

En especial para este último modelo, se sabe que bajo deformaciones fijas el comportamiento resultante es de tipo exponencial decreciente, es decir,

$$\tau = \tau_o e^{-\frac{Y}{\eta}t} \tag{6}$$

Y dado que el esfuerzo es proporcional a la fuerza de acuerdo a la ecuación (1), es de esperarse que un comportamiento viscoelástico esté identificado por esta ecuación (6).

PARTE EXPERIMENTAL

Inicialmente, el hilo de algodón a estudiar fue elegido de tela de algodón comercial, a la que le fue extraído un hilo de urdimbre [5] de un metro de longitud, al cual se le dejó reposar por un día. Posteriormente, se determinaron sus propiedades como: su masa para determinar el título del hilo

que es la densidad lineal del hilo, el diámetro inicial del hilo. Estos valores están resumidos en la tabla 1.

Las pruebas mecánicas sobre el hilo se realizaron empleando una balanza de Jollie a alargamiento (o deformación) constante y midiendo la fuerza en función del tiempo para dicho alargamiento. La fuerza se midió con un sensor de fuerza perteneciente a una interface Pasco workshop 750 acoplada a un Pc. Se fijaron una serie de alargamientos que se fueron incrementando paulatinamente una vez que se alcanzó una meseta en la fuerza. La longitud inicial de trabajo fue de $l_0=0.26m$, en la figura 3 se muestra el arreglo empleado.

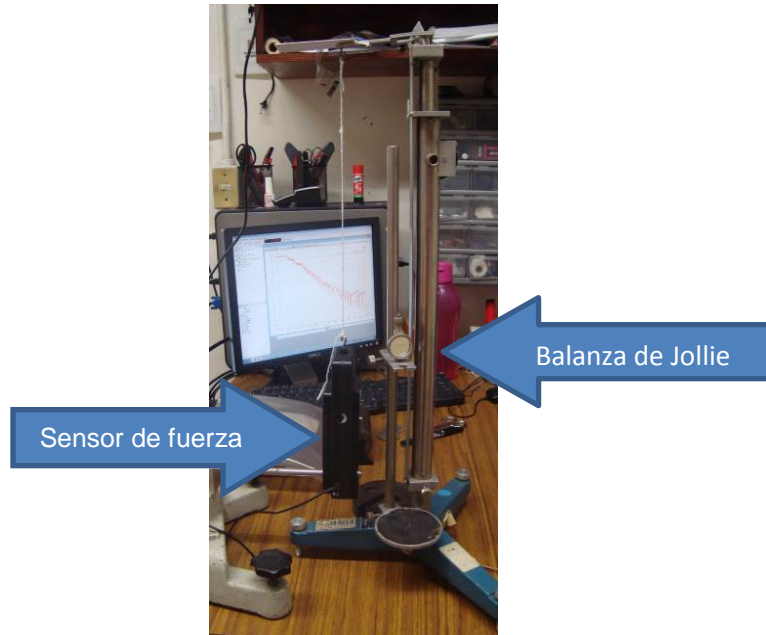


Figura 3. Arreglo experimental de la relajación de fuerza en hilo de algodón.

Tabla 1. Propiedades geométricas del hilo y la fibra de algodón

Composición	Densidad lineal	Torsiones/cm	Diámetro del hilo	Diámetro de la fibra	Longitud de fibra	Desviación estándar	CV
100% algodón	Ne 2	5	$1 \pm 0.2 \times 10^{-3}m$	$3 \pm 0.1 \times 10^{-4}m$	$L=2.602 \pm 0.7cm$	$\sigma=0.7cm$	0.269024

RESULTADOS

Como respuesta a los alargamientos sucesivos aplicados, de manera general se identificaron tres etapas en la gráfica de fuerza contra tiempo (Ver Figura 4), para pequeñas deformaciones comprendidas entre fuerzas a 2N, se evidencian aparentemente escalones de fuerza obtenidos en el intervalo de tiempo menor a 500s, mientras que para tiempos mayores y fuerzas posteriores a 2N, los alargamientos aplicados muestran una respuesta de relajación de la fuerza a partir del máximo que se alcanza y finalmente a alargamientos posteriores, la respuesta de la fuerza es del tipo de relajación seguido de una disminución de fuerza abrupto seguido de una pequeña meseta y su recuperación correspondiente.

Analizando detalladamente cada una de las regiones encontradas, se generan la serie de figuras 5, 6 y 7. En la figura 5 se observa en detalle la curva de relajación en la primera región que evidencia un comportamiento de relajación exponencial esperado para materiales con comportamiento viscoelástico lo que se atribuye principalmente al estiramiento de las fibras de algodón, mientras que en la figura 6 se muestra un comportamiento que se aleja de este comportamiento, por lo que se sugiere que existen otros procesos físicos involucrados, como puede ser el deslizamiento parcial de las fibras que empieza a tomar mayor importancia. Finalmente en la figura 7 se observa un comportamiento de relajación alejado de exponencial, seguido de una disminución abrupta de la fuerza, un fuerza constante sostenida por aproximadamente 10 segundos, para mostrar un nuevo incremento de fuerzas. Este comportamiento anómalo se considera que es resultado de un proceso de separación parcial de las fibras que ceden y luego después de volverse a anudar en los llamados nep, son capaces de recuperar y sostener el proceso de fuerza al cual está siendo sometida el hilo.

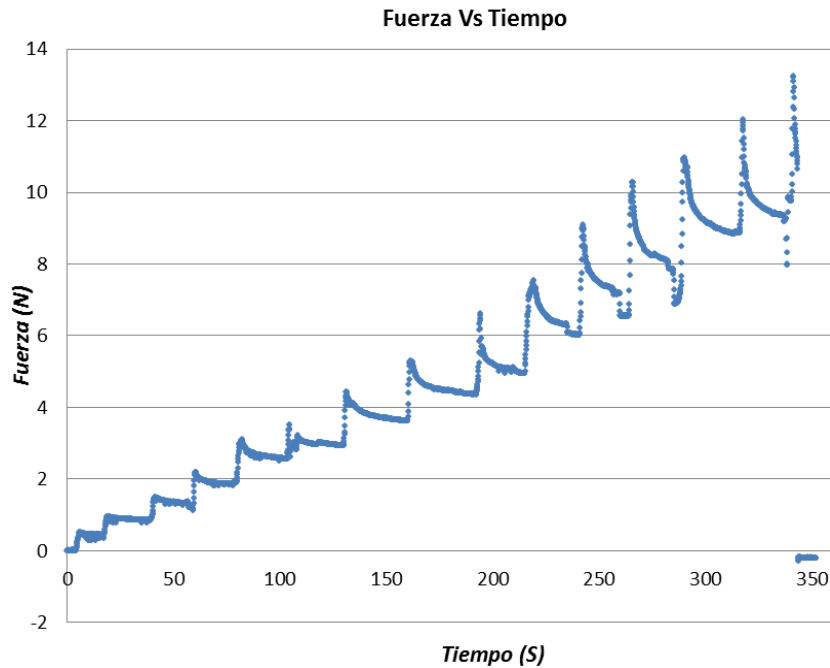


Figura 4 Gráfica de fuerza vs tiempo en el hilo de algodón.

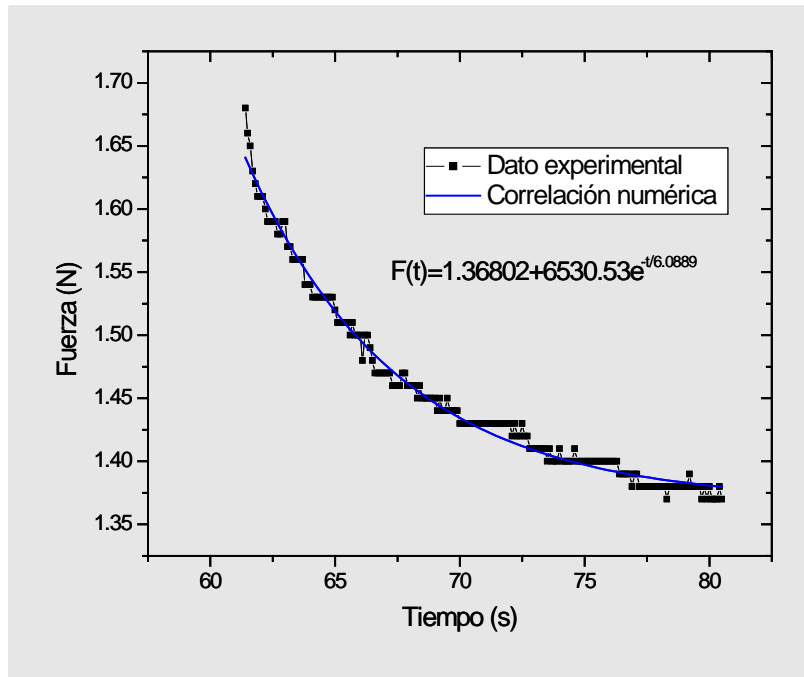


Figura 5 Gráfica de fuerza vs tiempo del hilo de algodón encontrado para valores de fuerzas menores de 2N mostrando un comportamiento exponencial decreciente que corresponde a un comportamiento viscoelástico lineal dominante.

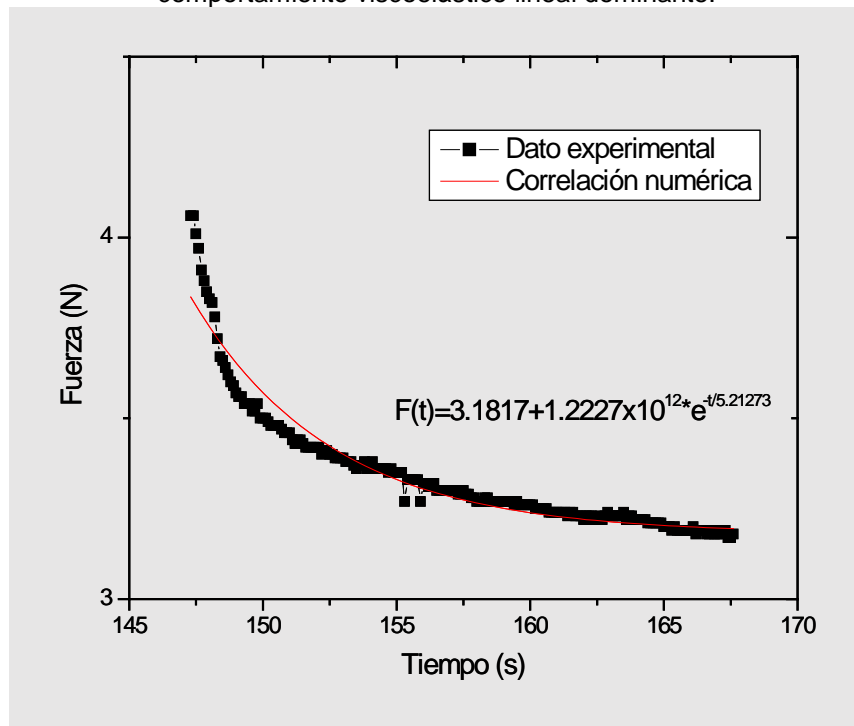


Figura 6 Gráfica de Fuerza vs tiempo del hilo de algodón encontrado a fuerzas superiores a 2N mostrando una relajación no exponencial, lo que sugiere que otros procesos están involucrados.

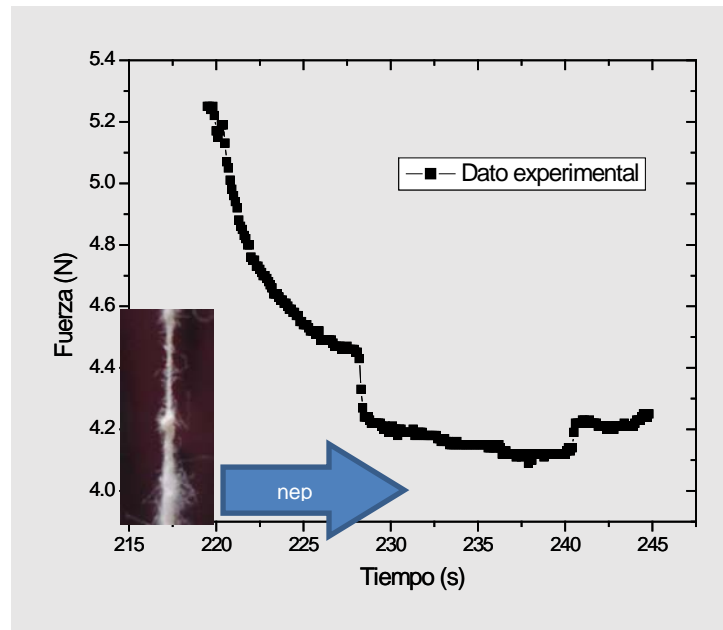


Figura 7 Gráfica de Fuerza vs tiempo del hilo de algodón mostrando una relajación no exponencial, caída abrupta, meseta seguida de una recuperación de fuerza, la caída abrupta se sugiere es el efecto nep.

CONCLUSIONES

Se estudiaron los procesos de relajación que ocurren en el hilo de algodón al aplicar un alargamiento constante.

Se encontraron 3 etapas, una primera región que evidencia un comportamiento de relajación exponencial evidenciando un comportamiento viscoelástico atribuido al estiramiento de las fibras de algodón, mientras que en la segunda la etapa se encontró un comportamiento que se aleja del exponencial, por lo que se sugiere que existen otros procesos, como el deslizamiento parcial de las fibras. La tercera etapa muestra un comportamiento de relajación de fuerza alejado de exponencial, una disminución abrupta, un meseta constante sostenida por aproximadamente 10 segundos y un nuevo incremento de fuerza, cuyo comportamiento se sugiere es resultado de un proceso de separación parcial de las fibras que ceden y luego después de volverse a anudar en los llamados nep recuperan el proceso de fuerza al cual está siendo sometida el hilo. Sin embargo, mayor investigación deberá realizarse y modelación para analizar los procesos que ocurren en el hilo.

BIBLIOGRAFÍA

1. J. V. Alonso Felipe, "Manual Control de calidad en productos textiles y afines," referencia electrónica: <http://oa.upm.es/38763/1/Binder1.pdf>. Fecha de consulta 15/03/2017.
2. F. E. Lockupan, V., "la industria textil y su control de calidad," referencia electrónica, <https://archive.org/details/V.LITYSCDC>. Fecha de consulta 27/03/2017.
3. D. R. Askeland, P. P. Phulé, "Ciencia e ingeniería de los materiales," Thomson, 2004.
4. C. Hernández Hernández, P. Sánchez Cruz., A. F. Méndez Sánchez, J. A. Cortes Martínez, I. Rivera Martínez, "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE HILOS DE ALGODÓN," Memorias de la XXI Reunión nacional académica de Física y Matemáticas, México D. F., agosto 2016.
5. A. Gil Solis, "Manual de laboratorio Textil TINS," imprenta grupo IDAT, lima Perú.

ESTIMACIÓN DEL MÓDULO BIAxIAL DE UN POLÍMERO TRANSLÚCIDO USANDO LA PRUEBA DE ABULTAMIENTO Y LA TÉCNICA DE TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA

Mario C. Flores-Bustamante, Roberto Zitzumbo, Sergio Calixto.

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN OPTICA

CENTRO DE INOVACION APLICADA EN TECNOLOGÍAS COMPETITIVAS

mariocfb@cio.mx, rtzitzumbo@ciatec.mx, scalixto@cio.mx

RESUMEN

Los valores del módulo biaxial de una membrana circular transparente de Polidimetilsiloxano (PDMS) se obtuvieron en una prueba de abultamiento hidráulico usando un dispositivo de Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) comercial. Imágenes tomográficas fueron obtenidas a través del OCT para medir las deflexiones y las deformaciones de la membrana causadas por la presión hidráulica. Los valores de la presión, las deflexiones, las deformaciones y las dimensiones originales de la membrana se usaron para calcular los valores del módulo biaxial. Se obtuvieron gráficas del perfil de la membrana, presión vs. desplazamiento fuera de plano y módulo biaxial vs deformación. Los resultados experimentales del módulo biaxial se compararon con los calculados a partir de los resultados obtenidos en la prueba de tensión uniaxial realizada bajo la norma ASTM D638-14.

INTRODUCCIÓN

El módulo de elasticidad es un número que mide la resistencia mecánica de un material a ser deformado elásticamente según la dirección de aplicación de una fuerza. En un material elástico, isotrópico y lineal se define al módulo de elasticidad longitudinal (E) como la relación entre el esfuerzo (fuerza por unidad de área) y la deformación unitaria (relación entre la deformación y la longitud inicial) a lo largo de un eje¹. E se determina en el rango en el que los esfuerzos cumplen la ley de Hooke¹. En materiales elásticos isotrópicos no lineales, la resistencia mecánica a la deformación elástica se mide con el módulo de elasticidad aparente (E_u)². En la literatura existen diferentes métodos para calcular E_u . En este trabajo, E_u se calculó como la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria en cualquier punto de la curva esfuerzo-deformación del material. Esta forma de calcular E_u corresponde al método módulo secante². La curva esfuerzo-deformación para materiales lineales y no lineales se obtiene a través de ensayos de tensión uniaxial que causan esfuerzos en fibras alineadas con la fuerza aplicada principalmente².

Algunos elementos estructurales como películas delgadas, placas, membranas, recipientes de pared delgada, etc., presentan una de sus dimensiones espaciales (el espesor) relativamente menor a las otras dos. Este tipo de elementos estructurales cuando se someten a condiciones de trabajo, generan tensiones en todas las fibras internas de las muestras y pueden modelarse mediante esfuerzos y deformaciones en un plano¹. El parámetro que indica la resistencia mecánica a la deformación de un material en un plano, es el módulo biaxial³. Este parámetro puede obtenerse experimentalmente en ensayos de esfuerzos biaxiales asumiendo que los esfuerzos y las deformaciones en el plano son iguales en todas las direcciones³. En el caso de materiales

elásticos isotrópicos lineales, el módulo biaxial se conoce como M y puede calcularse conociendo E y el índice de Poisson (ν)⁴. En este estudio, el material evaluado se considera elástico isotrópico no lineal y denominamos al módulo biaxial como E_b .

En este trabajo se implementó un ensayo de tensión biaxial conocido como prueba de abultamiento hidráulico, para calcular los esfuerzos biaxiales, las deformaciones biaxiales y los valores del módulo biaxial de una membrana circular de PDMS. Los esfuerzos y las deformaciones biaxiales se pueden calcular conociendo las deflexiones, las variaciones de espesor y los valores de presión obtenidos experimentalmente en la prueba de abultamiento³. Las deflexiones de las membranas usadas para realizar los cálculos de esfuerzos y deformaciones biaxiales se midieron de manera novedosa con un aparato comercial de Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) aprovechando la transparencia del material.

TEORÍA

La prueba de abultamiento es un método de ensayo de esfuerzos biaxiales usado en ingeniería e investigación para calcular las características mecánicas de un material⁴. Permite calcular esfuerzos y deformaciones biaxiales midiendo la deflexión y las variaciones de espesor de una placa o membrana delgada cuando se le aplica una presión uniforme⁴. La membrana se sujeta en su contorno en un soporte, logrando una fijación rígida. Se presuriza en uno de sus lados con líquido, aire, vacío o elementos mecánicos para generar la deflexión hacia uno de sus lados⁵. La presión aplicada a la membrana se asume que es uniforme y generalmente se logra una deformación con simetría axial⁶. La deflexión de la membrana y la variación del espesor se miden para cada incremento de presión, y con ellos se calculan los esfuerzos y deformaciones biaxiales⁶.

La Fig.1 muestra el diagrama de una celda de prueba de abultamiento (CPA) usada en este trabajo para realizar la prueba de abultamiento hidráulico. En el diagrama puede observarse un soporte que tiene una cámara cilíndrica en su centro donde se almacena el líquido que abultará a la membrana. El diagrama muestra también una membrana circular de caras planas que en estado de reposo se indica con líneas de trazos y cuando se ejerce una presión p se deforma en forma esférica. El radio inicial de la membrana es a y su espesor inicial es t_0 . Se indica un sistema de coordenadas cilíndricas (r, z) cuyo origen coincide con el centro de la superficie superior de la membrana en estado de reposo. Las deflexiones h fueron medidas sobre el eje z y el máximo desplazamiento de la superficie superior de la membrana se denomina punto $C(0, h)$ para cada incremento de presión. ρ indica el radio de curvatura de la membrana deformada y t muestra el espesor de la membrana en C para cada valor de presión aplicada. En el diagrama se observa un vidrio plano en la parte inferior que sirve para cerrar herméticamente la cámara de líquido y otro vidrio superior que sirve para fijar a la membrana. El vidrio superior tiene un orificio de radio a igual al de la cámara del soporte, para permitir el abultamiento de la membrana. Ambos vidrios fueron fijados al soporte con un adhesivo líquido curable con luz UV. Dos orificios en la parte lateral del soporte se indican con líneas de trazos. Uno de los orificios sirve para llenar la cámara del soporte, mientras el otro permite la purga eliminando burbujas de aire.

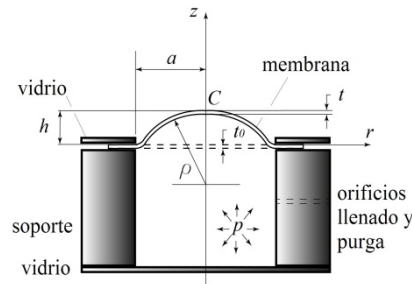


Figura 1. Perfil de la celda de prueba de abultamiento (CPA).

El método de ensayo biaxial debe contar con sistemas de medición de las deflexiones de la membrana y de medición de la presión⁷. En este trabajo usamos un manómetro analógico para medir presiones y de manera novedosa usamos la técnica de OCT para obtener las deflexiones y los cambios de espesor de la membrana en el punto C. El OCT es una técnica de obtención de imágenes no invasiva que permite la visualización de estructuras internas de un objeto usando luz de baja coherencia⁸. Registra imágenes de diferentes planos o secciones (tomogramas) de la estructura interna en tejidos biológicos y otros materiales translúcidos y transparentes⁸. Las distancias entre las estructuras internas de un material pueden obtenerse midiendo el tiempo de retardo que toma a la luz retro-reflejarse o retro-dispersarse en las estructuras internas del material⁸. Es común usar técnicas interferométricas para medir los tiempos extremadamente cortos de retardo de la luz cuando se retro-refleja en el material⁸. En un interferómetro, la luz se envía por dos caminos ópticos. Uno es el de la muestra y el otro es el de la referencia. La luz se retro-refleja en las capas de la estructura interna de la muestra retornando para combinarse con la luz que regresa de la referencia. Los haces de luz se combinan en la superficie de un foto-receptor formando un patrón de interferencia que contiene las características ópticas de la muestra⁸. La información se procesa para obtener las distancias axiales entre las capas de la muestra. El escaneo en diferentes posiciones transversales permite obtener tomogramas de la muestra⁸. En este trabajo se usa un OCT comercial de Zeiss® para obtener tomogramas de la membrana transparente de PDMS y registrar sus deflexiones y deformaciones para los diferentes incrementos de presión.

PARTE EXPERIMENTAL

Elaboración de la membrana. La Fig. 2 muestra el dibujo de la membrana traslúcida de PDMS hecha con materiales comerciales (Dow Corning® USA). La membrana tiene forma circular con un diámetro de 12 mm y un espesor inicial $t_0 = 0.137$ mm. El área de prueba de la membrana abarca un diámetro de 7 mm desde su centro y ha sido marcada con línea de trazos en la Fig. 2. Esta área coincide con la entrada circular de la cámara cilíndrica del soporte. El resto de la membrana sirve como lengüeta para fijarla al soporte.

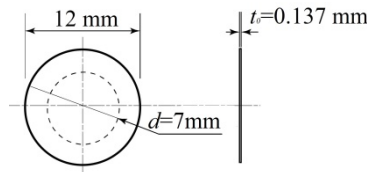


Figura 2. Diagrama de la membrana. El material con el que está hecha la membrana es PDMS comercial translúcido (*Dow Corning*[®] USA). La línea de trazos muestra el área que fue abultada por la presión hidráulica, el resto del área sirve como lengüeta para fijar la membrana al soporte.

Elaboración del soporte. La Fig. 3a muestra el esquema del soporte cuadrado de Poly(methyl methacrylate) (PMMA) usado para fijar la membrana. El soporte tiene una cámara cilíndrica con un diámetro interno $d = 7$ mm y un espesor de 7.5 mm. Dos orificios de 0.3 mm de diámetro, para llenar y purgar la cámara se muestran en la parte lateral del soporte. El orificio de llenado recibe la aguja de una jeringa para agregar el líquido a la cámara. El orificio de purga permite eliminar las burbujas de aire durante el llenado de la cámara.

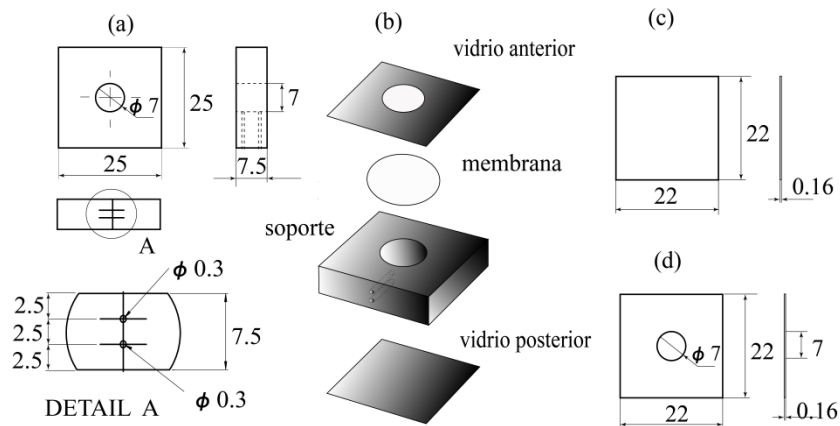


Figura 3. (a) Esquema del soporte. (b) Componentes de la célula de prueba de abultamiento (CPA). (c) y (d) Esquemas de los vidrios planos. Dimensiones en mm.

La membrana y un vidrio plano delgado sirven como paredes en los extremos de cámara del soporte (Fig. 3b). Ambos se fijaron herméticamente para contener el líquido. El vidrio plano está hecho de borosilicato con un espesor de 0.16 mm y una longitud lateral de 22 mm (*Corning*[®]) (Fig. 3c). El vidrio fue fijado herméticamente usando un adhesivo líquido curable con luz UV. Otro vidrio plano con un orificio de 7 mm de diámetro en el centro (Fig. 3d), fue usado para fijar la membrana enfrente del soporte. El orificio permitió el abultamiento de la membrana cuando la presión se incrementó en la cámara. El líquido introducido en la cámara es agua purificada con viscosidad de 1 cps, densidad relativa de 1 e índice de refracción de 1.33 a 22°C.

Aplicación de la presión. Un esquema del sistema para la aplicación de la presión se muestra en la Fig. 4. La presión dentro de la cámara fue aplicada hidráulicamente mediante una jeringa. El émbolo de una jeringa se empujó con el husillo de un micrómetro. El desplazamiento del husillo del micrómetro indicó la altura de la columna de agua introducida en la cámara de la CPA. La presión fue medida con un manómetro (*Winters*[®]) cuya escala varió de 0 a 15 psi con una precisión de 0.5 psi.

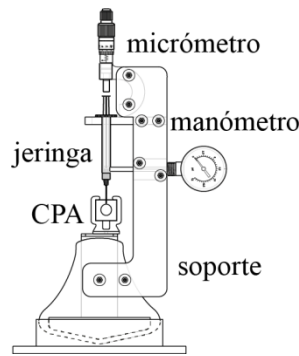


Figura 4. Sistema para la aplicación de la presión.

Medición de la deflexión. La deflexión se midió por medio de tomogramas usando un dispositivo OCT comercial (Cirrus-high definition spectral/Fourier domain OCT from Carl Zeiss® Meditec Inc.). El dispositivo OCT de Zeiss® es un instrumento computarizado que integra todos sus componentes de hardware en una unidad. Incluye la óptica de escaneo para la adquisición de imágenes, el interferómetro, el espectrómetro, la computadora y el monitor de video (Fig. 5a).

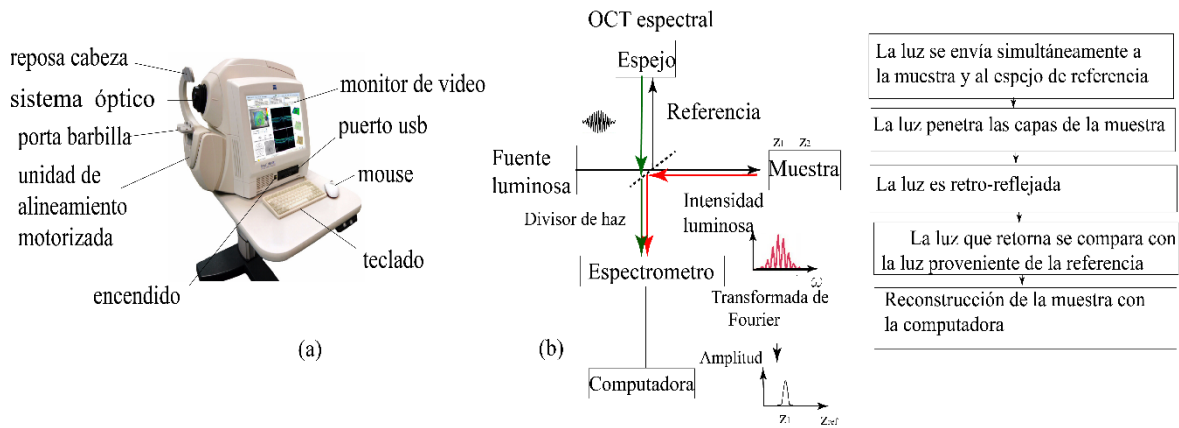


Figura 5. (a) Sistema OCT Cirrus 5000 de Zeiss®. (b) Principio de funcionamiento del OCT.

El sistema para la aplicación de presión se fijó en el porta barbilla del OCT reemplazando al paciente (Fig. 6a). Los controles de la computadora permitieron mover el porta-barbilla y alinear la CPA con el sistema óptico del OCT para observar su imagen en el monitor de la computadora (Fig. 6b.) Ajustando la imagen de la CPA en el monitor, se pudo observar el tomograma de la membrana en otro cuadrante del monitor (Fig. 6c). Finalmente, el tomograma se alineó con la ayuda de los controles de la computadora.

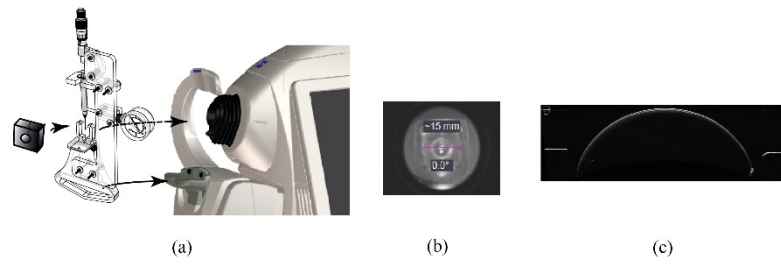


Figura 6. (a) Fijación del sistema para la aplicación de presión en el OCT. (b) Imagen de la CPA en el monitor de la computadora. La CPA sustituyó al ojo humano. (c) Tomograma de la membrana en el monitor de la computadora.

Se aplicaron diferentes valores de presión hidráulica en la cámara de la CPA y la membrana se deformó en una forma esférica como se muestra en la Fig. 7. Los tomogramas fueron registrados con el OCT y se midieron las deflexiones h_i para cada incremento de presión p_i . La prueba se desarrolló a la temperatura ambiente de 22 °C aproximadamente.

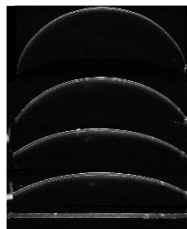
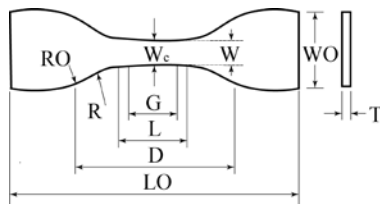


Figura 7. Deformación de la membrana por el incremento de la presión en la cámara de la CPA.

Ensayo de tensión uniaxial. Se desarrolló con una máquina Instron 3365 de acuerdo a la norma ASTM D638-14. Las dimensiones cumplieron con las especificaciones del tipo IV, obtenidas por troquelado. Ver Fig. 8 para las dimensiones. La prueba se desarrolló a una velocidad de deformación de 5 mm/ min a temperatura ambiente de 22 °C aproximadamente. Se prepararon y probaron 5 probetas de una sola muestra. La deformación se consideró como el cambio en la separación de sujeción respecto a la separación de sujeción original. Todos los valores de los módulos de elasticidad fueron calculados usando el promedio del área de la sección transversal original en el segmento de calibración de la muestra, denominada G en la Fig. 8. El módulo de elasticidad en cualquier punto de la curva, fue calculado como el esfuerzo dividido por la deformación unitaria como se muestra en la Ec. (1).



Dimension	Value (mm)
W-Width of narrow section	6
WO-Width overall	19
G-Gage length	25
L-Length of narrow section	33
D-Distance between grips	65
LO- Length Over-all	115
T-Thickness	3
R-Radius of fillet	14
RO-Outer radius	25

Figura 8. Dimensiones de la muestra para el ensayo de tensión uniaxial.

RESULTADOS

En la Fig.9 se muestra el perfil de la membrana dado por el OCT.

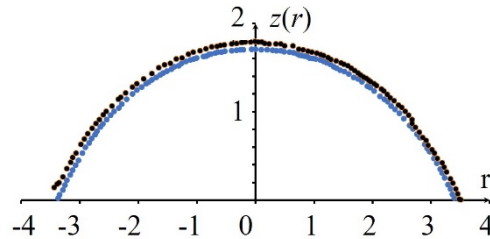


Figura 9. Perfil de la membrana formada con datos crudos provenientes del dispositivo OCT. Se muestra el perfil de la membrana cuando se aplican 2 psi de presión. El método arroja datos de las superficies exterior e interior de la membrana.

En las Fig. 10-12 mostramos los comportamientos de la altura (h) en función de la presión (p), el esfuerzo uniaxial (σ_u) en función de la deformación unitaria (ϵ_u), el módulo de elasticidad aparente (E_u) en función de la deformación unitaria (ϵ_u), y el módulo biaxial (E_b) en función de la deformación biaxial (ϵ_b).

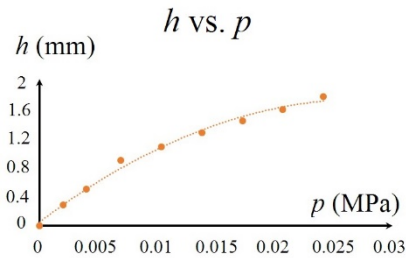


Figura 10. Gráfica presión (p) vs deflexión (h). El incremento en p genera incremento en h

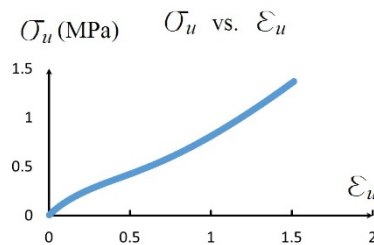


Figura 11. Gráfica esfuerzo uniaxial (σ_u) vs. deformación unitaria (ϵ_u). En un ensayo de tensión uniaxial, el PDMS que evaluamos se comporta como un material no lineal.

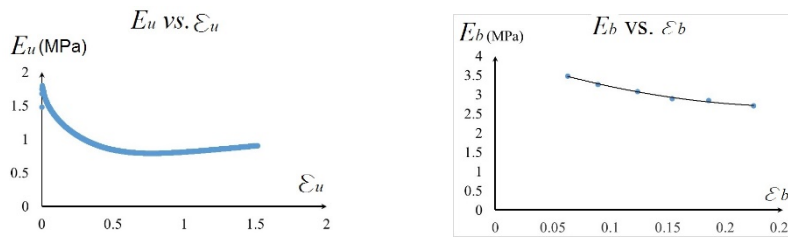


Figura 12. (a) Gráfica módulo biaxial (E_u) vs deformación unitaria (ϵ_u). (b) Gráfica módulo biaxial (E_b) vs deformación unitaria (ϵ_b). El valor del módulo biaxial es mayor que el módulo de elasticidad aparente del material.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron las deflexiones y los cambios de espesores del PDMS con el OCT para cada incremento de presión.

Se calcularon los valores del módulo biaxial (E_b) del PDMS. Los valores obtenidos oscilan entre 2.5 a 3.5 MPa para los rangos de presión medidos (0 a 3.5 psi)

Se realizó un ensayo de tensión uniaxial para obtener la gráfica esfuerzo-deformación del PDMS.

Se calcularon los valores del módulo de elasticidad aparente (E_u). Los valores oscilan entre 1.2 y 1.7 MPa para los rangos de presión medidos (0 a 3.5 psi).

Materiales isotrópicos lineales cumplen con la relación $E = M(1-n)$ donde M es el Módulo biaxial, E es el módulo de elasticidad longitudinal y n es el índice de Poisson. En este trabajo observamos que los valores de E_b son mayores que los de E_u . Suponiendo un índice de Poisson $n = 0.45$ reportado en la literatura para hules de silicona, las gráficas cumplen con la relación $E_u = E_b(1-n)$ para cada valor de presión evaluado.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. Pytel, F.L. Singer, "Resistencia de materiales" (Oxford University Press y Alfa Omega Grupo Editor S.A de C.V. 2008), Capítulos 1 y 2, pp. 1-38.
2. W.D. Callister, "Material Science Engineering. An introduction" (Jhon Wiley and Sons, Inc. New York, U.S.A 2007), Capítulo 6, pp. 114- 128.
3. S. Rojas-Ramirez, F. Ornelas-Rodriguez, J. Hurtado-Ramos, J. Gonzalez-Barbosa, R. Zitzumbo, "Estimation of the elastic properties of polymer plates using a structured light technique" *Exp Mech* Vol. 55, 2015, pp. 1465-1474, doi: 10.1007/s11340-015-0062-9.
4. M.K. Small, W.D. Nix, "Analysis of the accuracy of the bulge test in determining the mechanical properties of thin films" *J. Mater. Res.* Vol. 7, 6, 2009, pp. 1553-1563.
5. H. Campos, A. Santos, B. Martins, K. Ito, N. Mori, F. Barlat, "Hydraulic bulge test for stress-strain curve determination and damage calibration for Ito-Goya model" 11th World Congress on Computational Mechanics.
6. M. Sasso, G. Palmieri, G. Chiappini, and D. Amodio, "Characterization of hyperelastic rubber-like materials by biaxial and uniaxial stretching test based on optical methods" *Polymer testing* Vol.27, 2008, pp. 995-1004.
7. L. Chuanwei, L. Zhanwei, X Huimin, "Novel scanning electron microscope bulge test technique integrated with loading function" *Rev Sci Instrum* Vol. 85,10, 2014, 103709 pp. 1-12. doi:10.1063/1.4897623.

8. W. Drexler, J. Fujimoto, "Optical coherence tomography. Technology and applications", (Springer 2008), Chapter 1, pp. 1-45, Chapter 31, pp. 961-1326.

PROTOTIPO DE IMPRESORA 3D A BASE DE MATERIALES RECICLADOS

Cruz Ángeles Alma Jessica, Cruz Mendoza Elizabeth, Calvo Torres Guadalupe¹, Godínez Jarillo Alicia Montserra

Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo

RESUMEN

Actualmente en la carrera de Sistemas Computacionales, del Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo (ITSOEH), se ofrece la especialidad Inteligencia Artificial aplicado a la robótica, la cual permite que los estudiantes desarrollen habilidades acerca de la electrónica, a partir de programación sobre dispositivos mecatrónicos.

Para cumplir con los objetivos del estudio de la robótica, es necesario el desarrollo constante de prácticas que involucran la construcción de prototipos y por ende una variedad de piezas como poleas, piezas de unión de motores y sensores.

Ante el constante uso de material para diversas prácticas educativas, las piezas pueden limitarse un poco, cuando estas se rompen o se extravían, o bien implican un costo extra para el estudiante al adquirirlas por cuenta propia; este problema pudiera disminuirse a través de la impresión 3D, con la cual podrían fabricarse piezas difíciles de conseguir y al tamaño que se requiera.

En el presente trabajo se propone el proceso de construcción de una impresora 3D, a base de materiales reciclados, con el objetivo de tener al alcance los materiales necesarios para el desarrollo de diversas prácticas; cabe resaltar que la tecnología en impresión 3D ha venido en aumento en los últimos años, debido a que permite generar piezas de PLA [1]; el cual corresponde a un polímero biodegradable utilizado para la fabricación de juguetes [2] y es el material implementado para el funcionamiento del prototipo desarrollado.

El prototipo de impresora presentado en este documento fue construido a base de una placa Arduino, motores y componentes de impresoras, que ya no eran funcionales. La primera prueba de impresión correspondió a un cubo de medidas de 2.5 x 2.5 cm, en PLA color rojo, las primeras 10 capas fueron impresas a la medida, sin embargo a partir de la capa 11 se movió su posición, lo cual ocasiono que no se concluyera la impresión del objeto. En base a estos resultados en necesario mejorar el algoritmo implementado para el proceso de impresión en los ejes x, y y z

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las tecnologías de desarrollo en hardware y software han evolucionado para la mejora de la vida cotidiana, a medida que cada año se incrementa el nivel de desarrollo gracias a la innovación constante, en concreto en el campo de la Robótica y áreas afines, se puede mencionar el prototipo para la generación de objetos físicos en 3D, a través de la impresión en 3D.

De acuerdo a un artículo publicado en Forbes la impresión 3D corresponde “al proceso técnico de fabricación de un modelo tridimensional físico, a partir de un archivo digital...se trata más bien de un proceso de fabricación por adición” [3]. La generación de impresoras ha llegado al mercado hace unos años, pero a costo elevado y manejo un tanto complicado, con proyectos de desarrollo tecnológico a través de universidades o grupos de aprendizaje se han desarrollado alternativas que

optan con el reciclaje de materiales de impresoras comunes dando más accesibilidad a su desarrollo.

En el Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo (ITSOEH), se ofrece la especialidad Inteligencia Artificial aplicado a la robótica, la cual permite que los estudiantes desarrollen habilidades en área de la electrónica, a partir de programación sobre dispositivos mecatrónicos, en esta especialidad se hace uso constante de diferentes dispositivos como la placa Arduino, para la generación de pequeños prototipos, sin embargo su uso implica un costo extra para los estudiantes.

El uso de una impresora 3D en una institución educativa más que aportar el conocimiento de cómo trabaja, puede replicar piezas que comúnmente se usan en los proyectos y que en ocasiones suelen ser difíciles de conseguir.

El costo de un kit de impresora 3D es elevado, por lo que el desarrollo del prototipo presentado en este documento se diseñó un mecanismo compuesto por motores, poleas, rieles, obtenidos de impresoras y copiadoras industriales; la parte electrónica fue construida por dos placas, una para el control de los motores (RAMPS) y una placa Arduino Mega que es la responsable de controlar el movimiento de los ejes.

METODOLOGÍA

La metodología que se implementó para el desarrollo de la impresora 3D comenzó con la búsqueda de un diseño apropiado, el cual debe corresponder a la total integración de los componentes en cuanto a la conexión, y finalizó con las pruebas de impresión; a continuación, se describe la metodología empleada de forma detallada:

1.- Análisis. El proyecto tuvo como primera tarea la búsqueda de diferentes prototipos ya existentes en el mercado, de los que se pueden mencionar, que tienen variaciones en cuanto a la mecánica de sus ejes son por ejemplo, algunas impresoras que se constituyen de un solo eje ya sea X, Y y Z de manera fija; partiendo de este conocimiento se determinaron los requerimientos mínimos para el diseño del prototipo propio.

Posteriormente, tomando de referencia los prototipos encontrados, se consideró el más óptimo en cuanto a factibilidad de construcción, para proceder al diseño de la parte electrónica y la selección de los materiales adecuados para la construcción del mismo.

2.- Desarrollo. Una vez que se obtuvo el diseño y los materiales, se prosiguió a realizar la construcción de cada uno de los ejes, tomando en cuenta los esquemas de conexión, la calibración de motores y medición de los movimientos del extrusor, este último es el encargado de *“guiar la fibra de filamento desde el inicio frío hasta el final de fundido, en la boquilla”* [4].

La figura 1, presenta el esquema general de conexión de la placa RAMPS con el extrusor, la cama caliente, motores y fuente de alimentación, en base al autor Alverti [5].

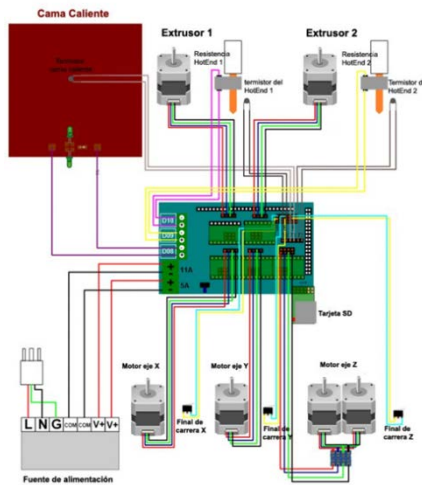


Figura 1. Esquema de conexión

Una vez considerando el esquema se continúa con la instalación de software y el código de Arduino para poder manejar cada uno de los componentes como una unidad de sistema.

3.- Pruebas. Para la puesta en marcha del prototipo fue necesario realizar ciertas acciones de validación y verificación; 1) conexión entre la computadora y el prototipo, 2) posteriormente se prosiguió a realizar pruebas para la calibración de los motores con sus respectivos controladores, 3) la revisión de la boquilla para poder alcanzar un nivel óptimo de calor para fundir el plástico, aquí se llega a una etapa de si el análisis inicial fue bueno, a partir de este punto, 4) se continuó con la depuración de errores de las cuáles se mencionan ajuste de los rieles y motores para aproximarnos a la exactitud para fabricar una figura de pequeñas dimensiones.

Una vez comprobada la conexión entre la parte mecánica y la electrónica, se procedió a realizar la primera prueba de impresión.

RESULTADOS

En este apartado se muestran las primeras figuras impresas, cabe mencionar que los diseños de las piezas a imprimir fueron elaborados en Solid Works, que es un software de diseño y simulación de piezas mecánicas. La figura 2a muestra el diseño de un cubo, de medidas 2.5 x 2.5 cm, de la colección Lego Mindstorms, mientras que la figura 2b corresponde a la impresión 3D, en PLA color rojo con el prototipo generado.

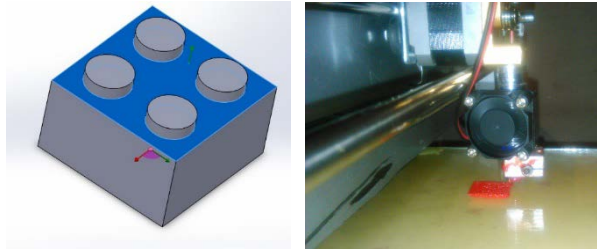


Figura 2. Impresión de un cubo de Lego Mindstorms

En la figura 3a, se observa la réplica de una pieza con aumento en la complejidad en el diseño de curvas y círculos, la 3b corresponde al resultado de la impresión, es evidente que el resultado de la impresión fue mejor, debido a que posterior a la primer prueba de impresión, se realizó un cambio de boquilla.

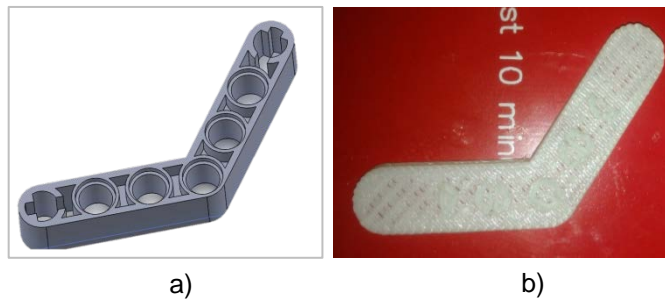


Figura 3. Impresión de una pieza curva de Lego Mindstorms

Por ultimo, en la figura 4 se aprecia nuevamente la impresión del cubo de Lego Mindstorms, despues de algunas correcciones y mejoras en el diseño.



Figura 4. Impresión de un cubo de Lego Mindstorms después de mejoras al prototipo.

CONCLUSIONES

Durante el proceso de construcción de la impresora se tuvieron dificultades para conseguir los materiales, además la información de este tipo de proyectos es escasa, lo que ocasiona una construcción a prueba y error.

Con lo que respecta a la primera prueba de impresión, en específico del cubo “Lego”, las primeras 10 capas fueron impresas a la medida, a partir de la siguiente capa se movió la posición de la boquilla teniendo un desfase en las capas siguientes, ocasionando piezas incompletas; situación que se repitió en la impresión de las siguientes 3 pruebas. Para solucionar este problema se cambió la boquilla y se empleó un nuevo filamento PLA, realizando nuevamente pruebas hasta obtener un resultado favorable, donde se lograron imprimir 2 piezas, con una mejora evidente en su constitución.

Para finalizar, es importante hacer énfasis que para el desarrollo de este tipo de proyectos y evitar los problemas de impresión, es necesario trabajar en el mejoramiento de los algoritmos implementados para la manipulación de los ejes, así como el reemplazamiento de piezas como la boquilla y el engrane del eje x; y tener ciertos cuidados con el plástico PLA, como evitar exponerlo a la intemperie o agentes que lo puedan dañar, como es el caso del polvo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Maturana, J.. “Éstas son las tecnologías de impresión 3D que hay sobre la mesa y lo que puedes esperar de ellas”. Recuperado el 15 de febrero de 2017 de <https://www.xataka.com/perifericos/estas-son-las-tecnologias-de-impresion-3d-que-hay-sobre-la-mesa-y-lo-que-puedes-esperar-de-ellas>
2. Ácido poliláctico. Recuperado el 17 de febrero de 2017 de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso08-09/pla/Pag%20web/acido%20polilactico.html>
3. Morales, Carlos. Impresión en 3D, ¿Qué diablos es esto? Forbes México. Recuperado el 3 de abril de 2017 de <https://www.forbes.com.mx/impresion-en-3d-que-diablos-es-eso/>
4. Escobar, C., Breve historia de la impresión 3D. Impresoras3d. Recuperado el 30 de Marzo de 2017 de <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102825479-breve-historia-de-la-impresion-3d>
5. Crea Tu Impresora 3D, Zona Maker. Recuperado el 30 de marzo de 2017 de <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora>

ELECTROCARDIÓGRAFO PORTÁTIL DE 12 DERIVACIONES CON COMUNICACIÓN WIRELESS

A.C. Islas Padilla, A.A. Ruiz Heredia, H. García Estrada, M. G. Ramírez Sotelo, A.I. Cabrera Llanos

Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México CDMX

Departamento de Bioingeniería, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México CDMX

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño, desarrollo y construcción de un electrocardiógrafo de 12 derivaciones portátil con visualización en PC a través de la plataforma de programación gráfica LabVIEW y en dispositivos móviles como tablets por medio de Data Dashboard LabVIEW utilizando comunicación Wireless. La realización de este prototipo se basa en el diseño del circuito para procesar la señal obtenida de un cable para electrocardiografía tomando el potencial de nueve electrodos, estos son conectados a amplificadores de instrumentación, continuamente implementando un procesamiento analógico que consiste de un filtrado pasa bajas y rechaza banda, que adecuan la señal y este en óptimas condiciones para su visualización, cabe mencionar que los amplificadores adquieren nueve derivaciones (tres bipolares y seis precordiales), y posteriormente usando la tarjeta de adquisición MyRIO 1900 se adquirió la señal. La siguiente etapa consiste en la comunicación Wireless que permite la conectividad con un dispositivo móvil, para ello se programó la tarjeta MyRIO 1900 para usar su módulo wifi y así realizar la transferencia de datos a través de diversos dispositivos que cuenten con la plataforma Data Dashboard, permitiendo visualizar y manipular la información por vía remota como una PC o una Tablet.

INTRODUCCIÓN

El sistema de electrocardiografía es un método de diagnóstico no invasivo que permite detectar alteraciones en el ritmo cardíaco, por lo que es usado comúnmente en distintas áreas hospitalarias. Existen electrocardiógrafos con adquisición de 3,6 o 12 derivaciones entre menos cantidad de derivaciones menor será el costo. En general estos equipos cuentan con la misma estructura, algunas diferencias entre cada equipo son su diseño o forma de procesamiento y tamaño ^[1].

El electrocardiógrafo muestra la actividad eléctrica del corazón, es decir que muestra la evolución en tiempo real de la actividad eléctrica ^[2].

Las corrientes que se originan en el corazón son llevadas, a través de amplificadores, el equipo de registro consiste fundamentalmente de las siguientes partes:

- Los electrodos
- Cables de conducción
- Los amplificadores

- Etapa de filtrado
- Sistema de adquisición

Actualmente en el área de la salud se viene desarrollando una gran necesidad de aplicaciones, ya que hoy en día se busca tener un control minuto a minuto de cada paciente, la incursión de los sistemas móviles es un gran apoyo para contrarrestar las necesidades que se desean solucionar.^[3]

METODOLOGÍA

Para la construcción del electrocardiógrafo fueron empleadas dos etapas, la primera fue una etapa analógica que constó de la amplificación y filtrado. La segunda etapa consistió en la digitalización de la señal a través de la tarjeta myRio 1900 y la visualización de las derivaciones en dispositivos móviles.

A. Amplificación

Se realizó una amplificación con ganancia aproximada de 1000 a partir de la hoja de especificaciones del fabricante (ecuación 1). El amplificador de instrumentación debe cumplir con diversas características para el manejo adecuado de las señales, entre ellas están: CMRR alto, impedancia de entrada alta y baja impedancia a la salida, así como un bajo nivel de ruido.

$$G = 1 + \left(\frac{49.4k\Omega}{RG}\right) \dots \dots \dots (1)$$

B. Pre filtrado

El rango de frecuencias para un ECG en reposo está de 0.5 a 150Hz por lo que a cada una de las nueve derivaciones se realizó un filtrado analógico pasa bajas de 120 Hz.

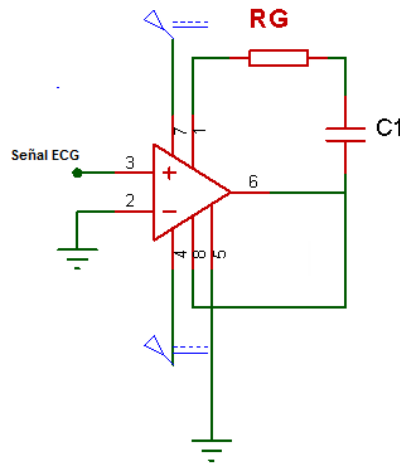


Fig.1 Amplificador de instrumentación y pre filtrado

C. Filtro 60Hz

Se diseñó un filtro rechaza banda de 60 Hz para eliminar frecuencias electromagnéticas que puedan existir. Para el diseño del circuito se considera la siguiente ecuación:

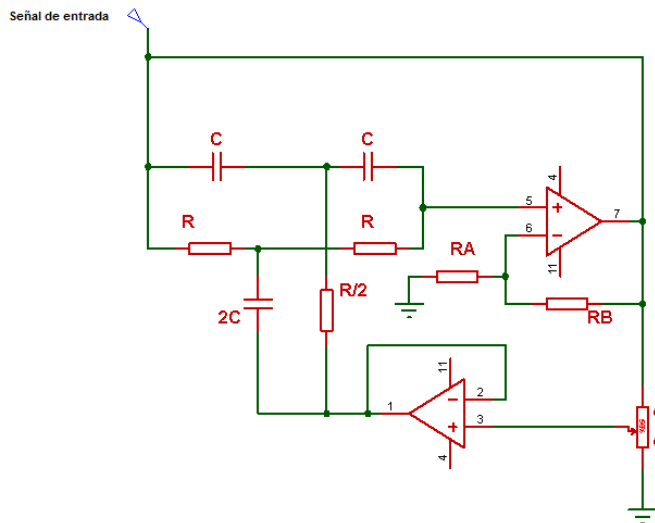


Fig.2 Circuito rechaza banda 60Hz

$$\frac{1}{RC} = 2\pi F \dots \dots \dots (2)$$

Dónde R es la Resistencia, C es el Capacitor y F es la frecuencia en donde cortará el filtro.

D. Adquisición de la señal

La señal fue adquirida a través de la tarjeta de adquisición myRio 1900 en el software de programación gráfica *LabVIEW*, mediante este software se procesa la señal electrocardiográfica para su posterior visualización. La tarjeta myRio se caracteriza por utilizar un bus de datos hacia la computadora de tipo USB, cuenta con transmisión Wireless, posee 10 entradas analógicas con 12bits de resolución y una velocidad de muestreo de 500 kS/s.

E. LabVIEW

LabVIEW es un entorno de programación donde se utiliza un tipo de lenguaje gráfico para el desarrollo de *Instrumentos Virtuales (VIs)*. Los VI se componen de dos partes: el panel frontal (dónde se representan las salidas proporcionadas por el programa) y el diagrama de bloques (código fuente del VI).

F. Cálculo para las derivaciones aumentadas

Para poder visualizar las derivaciones aumentadas se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$aVR = -\frac{I - II}{2} \dots \dots \dots (3)$$

$$aVL = \frac{I - III}{2} \dots \dots \dots (4)$$

$$aVF = \frac{II + III}{2} \dots \dots \dots (5)$$

G. Real Time

Para poder realizar una conexión con un dispositivo móvil es necesario el módulo *Real Time*, este módulo está especialmente diseñado para ejecutar aplicaciones con tiempo muy preciso y un alto grado de fiabilidad. Para ingresar a este módulo se selecciona *Tools>Real Time Module>Project Wizard*.

H. Variable Compartida

El uso de una variable permite compartir datos entre VIs a través de la red en tiempo real, existen diferentes tipos de variables compartidas: *single-process*, *network-published*, and *time-triggered*, para el desarrollo del ECG se utilizó una variable compartida de tipo *network-published*, la función de esta variable es escribir y leer desde variables compartidas a través de una red Ethernet. Para crear una variable una vez abierto un proyecto nuevo se siguieron los siguientes pasos: *click derecho en la tarjeta myRIO>New>Variable*, posteriormente se configuró el nombre y el tipo de dato a usar.

I. Conexión al Data Dashboard

Para la conexión entre un ordenador portátil y un dispositivo móvil (tablet o celular) es necesario una vinculación mediante variables compartidas, una variable permite leer y mostrar datos provenientes de un VI en LabVIEW. Primeramente, se colocan en el Data Dashboard los indicadores a mostrar (fig 4), al pulsar el indicador debajo de la gráfica se despliegan las variables compartidas guardadas en la red (figura 3), se selecciona la variable de elección, en este caso se seleccionó la variable ECG que corresponde a la gráfica dónde se visualiza el electrocardiograma. para realizar posteriormente su conexión mediante el DNS del servidor de variables o la dirección IP del ordenador. Para realizar la visualización en Dashboard se utilizó el iPad 2.



Fig.3 Configuración en el Data Dashboard



Fig.4 Indicador gráfico en Data Dashboar

RESULTADOS

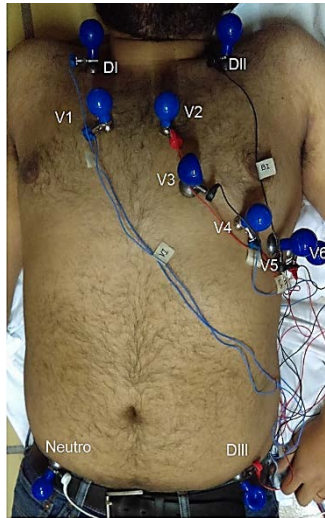


Fig 5. Colocación de los electrodos

La adecuada colocación de los electrodos es esencial para que la señal pueda ser correctamente captada en la figura 5 se observa los 9 electrodos, 3 correspondientes a las derivaciones bipolares y 6 correspondientes a las derivaciones precordiales, el paciente está posición de supino con lo que se evita el ruido por movimiento. En la figura 6 se muestra el algoritmo en LabVIEW para calcular las derivaciones aumentadas.

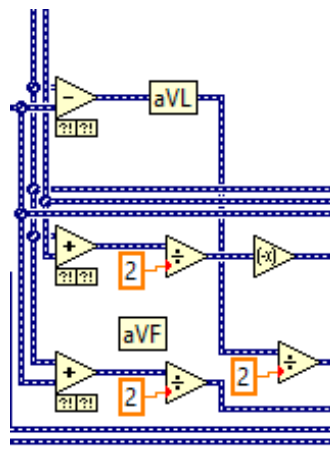


Fig 6. Cálculo de las derivaciones aumentadas

En la figura 7 se obtuvo la señal electrocardiográfica sólo con el pre filtrado de 120Hz, se observa que la señal presenta ruido y no puede ser utilizada para un diagnóstico

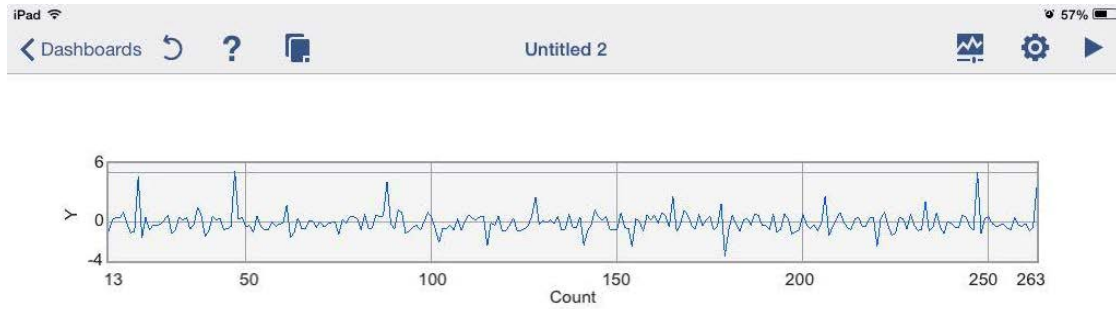


Fig.7 Señal obtenida con el pre filtrado de 120 Hz

Con el fin de eliminar el ruido se empleó en la segunda versión una alimentación por medio de baterías AA evitando el ruido de la fuente. La señal mejoró notablemente sin embargo el ruido continuaba distorsionando la señal de ECG (figura 8).

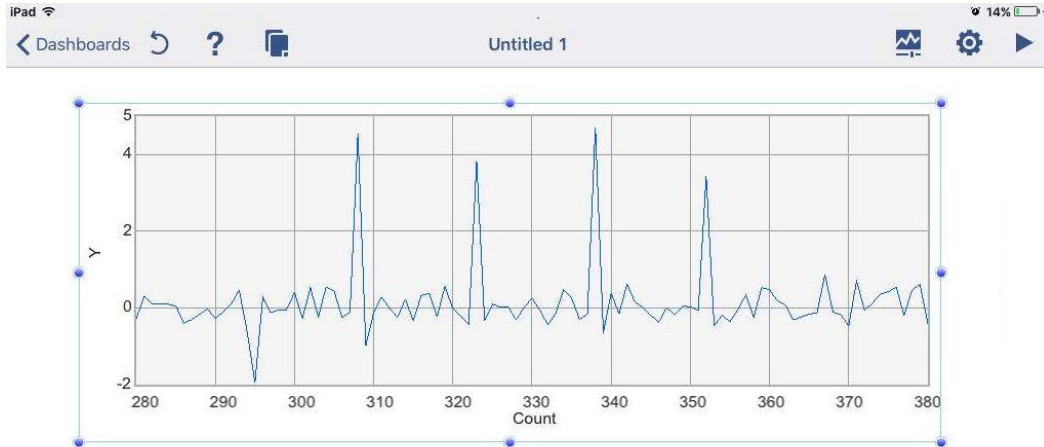


Fig.8 Señal obtenida con la alimentación por medio de baterías

Para tener una mejor visualización de la señal se utilizó un filtro analógico rechaza banda de 60 Hz y adicionalmente se utilizó una jaula de faraday para descartar el ruido proveniente de interferencias electromagnéticas.

Las mediciones que se muestran en las figuras 9 y 10 se realizaron en un paciente de sexo masculino de 20 años de edad aparentemente sano. Se muestran las derivaciones DI y DII.

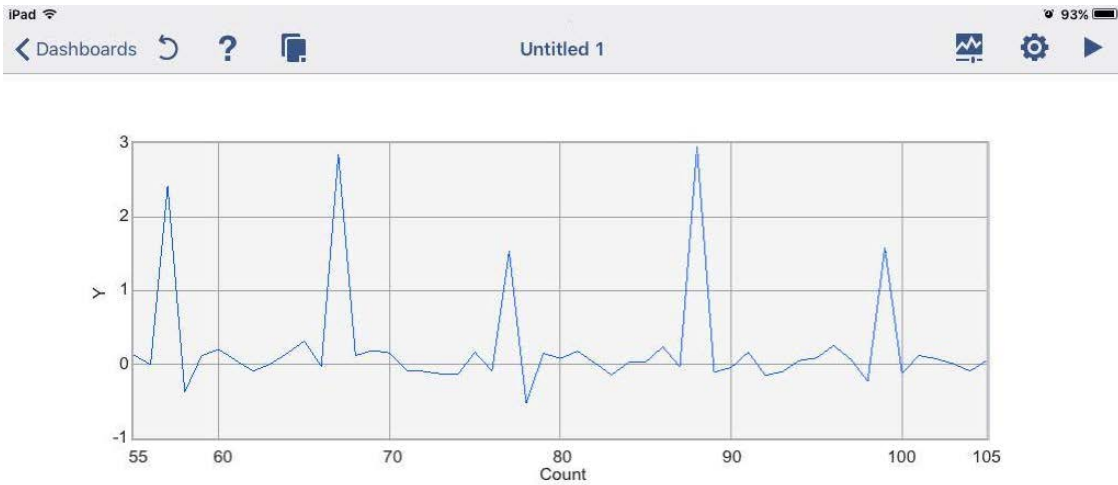


Fig.9 Señal obtenida de la derivación DI

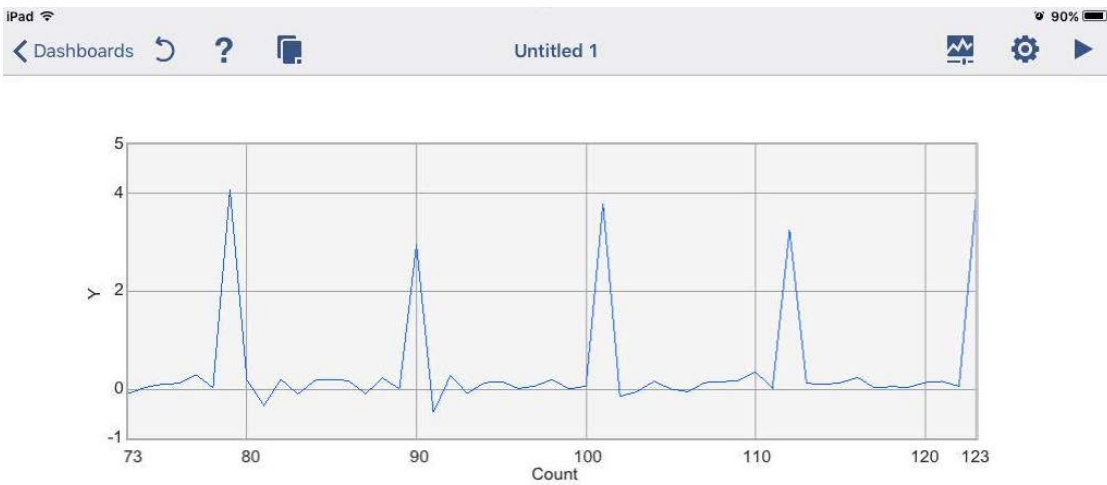


Fig.10 Señal obtenida de la derivación DII

CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema de electrocardiografía con visualización en iPad, este sistema cuenta con dos etapas, la primera etapa consistió en la adquisición y procesamiento por medio de filtros, la segunda en la visualización y programación de la tarjeta myRIO.1900. En la etapa analógica se remarca la importancia del filtro rechaza banda de 60 Hz ya que, aunque se contaba con alimentación por medio de baterías seguía existiendo una interferencia en la señal de electrocardiografía. Para visualizar la señal de ECG en el Data Dashboard en el iPad 2 se utilizó el módulo de Real Time en LabVIEW debido a que este permitió utilizar la dirección IP de la tarjeta

myRIO estableciendo una conexión Wi Fi para la transferencia de la señal electrocardiográfica.

Por medio de la tarjeta de adquisición myRIO.1900 se logró transmitir la señal electrocardiográfica a LabVIEW, se escogió esta tarjeta debido a sus características técnicas, como su frecuencia de muestreo y canales analógicos para su adquisición.

El sistema desarrollado permite el monitoreo a distancia de un estudio de electrocardiografía

BIBLIOGRAFÍA

1. Pallares D. Medrano G. (2013). Electrocardiografía Clínica. México. Méndez Editores
2. Webster John. (2010). Medical Instrumentation Application and Design. Estados Unidos: John Wiley & Sons.
3. Mendoza, E. Delgado, A. Gualdron, G. (2013). Multimonitoreo y visualización de variables fisiológicas en un dispositivo. marzo, 2017, de Universidad Distrital Francisco José de Caldas Sitio web: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/REDES/article/view/5928/7435>
4. [4] Texas Instrument. (Diciembre 2009). Datasheet INA 129P. Abril 2016, de Sitio web: <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/ina129-ep.pdf>
5. [5] Del Río Joaquín (2013). LABVIEW Programación para Sistemas de Instrumentación. México: Alfaomega.
6. Dvorkin, Cardinali & Ermoli. (2010). Bases Fisiológicas de la Práctica Médica. Argentina: Panamericana.
7. (marzo 2012). Using the LabVIEW Shared Variable. abril 2017, de National Instruments Sitio web: <http://www.ni.com/white-paper/4679/en/>
8. (Noviembre 2013). What is a Real-Time Operating System (RTOS)?. abril 2017, de National Instruments Sitio web: <http://www.ni.com/white-paper/3938/en/>

AISLAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE CEPAS BACTERIANAS EN JALES DEL DISTRITO MINERO DE GUANAJUATO

Berenice Noriega Luna, Daniela del Carmen Regalado Medina, Mario Josué Aguilar Mendez, Alma Hortensia Serafín Muñoz, Norma Leticia Gutiérrez Ortega y Luis Enrique Mendoza Puga

División de Ingenierías de la Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato. Av. Juárez 77, Zona Centro, Guanajuato, Gto. México. C.P. 36000. Tel: 01 (473) 102 01 00 Ext. 2206.

RESUMEN

Las actividades mineras traen consigo la generación de una gran cantidad de residuos como resultado de las operaciones de separación y concentración de minerales. Estos residuos se denominan jales y son de importancia ambiental porque en su composición pueden presentar elementos tóxicos y potencialmente tóxicos. Se consideran tóxicos aquellos elementos que no desempeñan una función biológica y que provocan efectos adversos en los seres vivos, aún en concentraciones traza. Arsénico, plomo, cadmio y mercurio son ejemplos de elementos tóxicos. Los elementos potencialmente tóxicos (EPT), como zinc, hierro y cobre, sí cuentan con una función biológica; no obstante, en altas concentraciones son perjudiciales para los organismos. El propósito de esta investigación fue aislar y caracterizar grupos bacterianos presentes en los residuos mineros con posible aplicación en tecnologías de recuperación de suelos contaminados con elementos tóxicos y potencialmente tóxicos. Se colectaron muestras de sedimento y jal en un sitio del distrito minero de Guanajuato. Se realizaron diluciones decimales seriadas de las muestras para cuantificar unidades formadoras de colonias. Se seleccionaron 14 colonias representativas y se caracterizaron tomando en cuenta los siguientes parámetros, forma, borde, elevación y color. Finalmente se tiñeron con la técnica de Gram para conocer la morfología bacteriana. El análisis morfológico evidencia la presencia de diferentes grupos bacterianos, bacilos, cocos y filamentos, lo que sugiere la presencia de actinobacterias. Se demostró la presencia de microorganismos resistentes a metales pesados tales como arsénico, mercurio y plata en un ambiente contaminado por metales pesados.

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad económica importante en el Estado de Guanajuato. Esta actividad tiene alto impacto ambiental porque afecta desde el subsuelo hasta la atmósfera incluyendo suelos y cuerpos de agua. El distrito minero más explotado dentro del estado de Guanajuato se ubica en el municipio de Guanajuato, donde las compañías mineras durante años generaron alrededor de 3000 toneladas de jales por día, las cuales fueron depositadas en barrancas o planicies próximas a la zona de explotación minera, de tal forma que actualmente existen acumulados en la periferia de la ciudad de Guanajuato alrededor de 45 millones de toneladas de estos residuos (Ramos-Arrollo et al., 2006). Las presas de jales constituyen un peligro latente para la población de Guanajuato y sus alrededores debido a la inestabilidad geológica de los residuos y a la dispersión del polvo de

los jales por el aire y la lluvia, ya que este material al ser absorbido por las vías cutánea y respiratoria causan problemas de salud pública asociados a la presencia de metales pesados. Asimismo, los ecosistemas han sido impactados teniendo como consecuencia principal la disminución de su biodiversidad.

No obstante, los metales desempeñan un papel importante en diferentes procesos vitales de los microorganismos. Algunos metales tales como calcio, cobalto, cromo, cobre, hierro, níquel y zinc son nutrientes necesarios y esenciales. Otros no tienen función biológica y no son esenciales, tal es el caso de plata, aluminio, cadmio, oro, plomo y mercurio. Los metales esenciales desempeñan funciones tales como catalizadores en las reacciones bioquímicas, como estabilizadores de estructuras de proteínas y paredes celulares bacterianas y para mantener el equilibrio osmótico (Hughes and Poole, 1989; Poole and Gadd, 1989; Ji and Silver, 1995; Manahan, 2000; Romero, 2011). Los metales de transición esenciales como hierro, cobre y níquel están involucrados en procesos redox. Otros metales esenciales como magnesio y zinc estabilizan las estructuras químicas de las enzimas así como la molécula del ADN a través de fuerzas electrostáticas. Hierro, magnesio, níquel y cobalto forman parte de moléculas complejas con una amplia gama de funciones; potasio y sodio son indispensables para la regulación de la presión osmótica (Nies, 1992). Los metales en altas concentraciones son tóxicos para los microorganismos. La toxicidad se produce por el desplazamiento de los metales esenciales de sus sitios nativos de unión o por interacción con ligandos. Los metales no esenciales se unen con mayor afinidad a los grupos tiol y a los átomos de oxígeno de los grupos funcionales de los metales esenciales. La toxicidad resulta de alteraciones en la estructura conformacional de ácidos nucleicos y de proteínas y de interferencias en los procesos de la fosforilación oxidativa y balance osmótico (Poole and Gadd, 1989).

Generalmente los metales se remueven por medio de procesos fisicoquímicos, los cuales son muy costosos e ineficientes cuando éstos están en bajas concentraciones. Actualmente se buscan alternativas biotecnológicas con organismos vivos como bacterias, algas y hongos para la remoción de iones metálicos. Particularmente, los jales son considerados ambientes extremos donde muchos organismos han desarrollado estrategias de sobrevivencia importantes de conocer dado que son especies biológicas con adaptaciones útiles en restauraciones ambientales (Volke y Velasco, 2006, Marrero-Coto et al., 2012). Estudios en la literatura desarrollados en áreas de influencia minera han reportado plantas, hongos, algas y bacterias resistentes a altas concentraciones altas de metales (Mendoza-Amezquita, 2006). En este sentido, el propósito de esta investigación fue aislar y caracterizar grupos bacterianos presentes en los residuos mineros con posible aplicación en tecnologías de recuperación de suelos contaminados con elementos tóxicos y potencialmente tóxicos.

TEORÍA

Debido a la presión selectiva que han sufrido las comunidades microbianas en las presas de jales esperamos encontrar una baja riqueza específica de microorganismos resistentes a metales pesados, particularmente a arsénico, mercurio y plata.

PARTE EXPERIMENTAL

Levantamiento de muestras. La zona de estudio se ubica entre las minas de Valenciana, Mellado y Cata. Este sitio es de interés de estudio porque se encuentra impactado por pasivos ambientales de la actividad minera. Se tomaron muestras de jal, sedimento y agua en el sitio de estudio. Las muestras líquidas se colectaron en frascos de plástico estériles y las muestras sólidas se tomaron en bolsas de plástico. Los frascos y bolsas se etiquetaron con la clave del punto de muestreo, fecha y nombre del responsable. Las muestras se trasladaron al laboratorio para su análisis microbiológico.

Análisis químico de las muestras ambientales. Se emplearon muestras representativas jal, sedimento y agua. Las muestras de agua, sedimento y residuos mineros se procesaron mediante digestión ácida en caliente de acuerdo al método 3050 b de la Agencia de Protección Ambiental (USEPA). Para el análisis se utilizó un equipo ICP-OES (Perkin Elmer Optima 4300 DV). Las muestras de jales y suelos se analizaron para As, Hg, Cr, Cu, Cd, Pb, Ni, Zn, y Mg.

Análisis microbiológico de las muestras. Se realizaron diluciones decimales seriadas de cada una de las muestras de jal, sedimento y agua desde 1×10^{-1} hasta 1×10^{-4} en solución salina estéril. Se tomó 1 mL de cada dilución seriada y se inoculó en agar nutritivo con la técnica de extensión en placa empleando un espaciador de vidrio estéril y las placas se incubaron a 37°C. Posteriormente se llevó a cabo la cuantificación de microorganismos por el método de conteo en placa. Finalmente se realizó el aislamiento de las unidades formadoras (UFC) con la técnica de estría cruzada para obtener cultivos puros. Se realizó una caracterización morfológica de las colonias con los siguientes aspectos: forma, borde, elevación, textura y color.

Caracterización morfológica microscópica con tinción de Gram. Se tomó muestra de la colonia bacteriana con asa bacteriológica, y se colocó en un portaobjetos. La muestra se fijó al portaobjetos con mechero. Sobre la muestra se adicionó el colorante cristal violeta y se dejó reposar durante un minuto. Posteriormente, se agregó solución yodo-lugol y se dejó reposar durante un minuto, enseguida se realizó un lavado con solución alcohol-acetona. Finalmente, se usó safranina como medio de contraste. Las muestras se observaron en microscopio electrónico con objetivo 100X.

RESULTADOS

En el análisis químico de las muestras ambientales se encontraron concentraciones interesantes arsénico y mercurio, los valores se muestran en la tabla 1. Por lo tanto, las diluciones decimales seriadas se sembraron en agar nutritivo enriquecido con nitrato de plata (AgNO_3), arsenito de sodio (NaAsO_2) y nitrato de mercurio (I) (HgNO_3) para evaluar la capacidad de crecimiento de los microorganismos presentes en las muestras de agua, sedimento y jal, encontrándose formación de colonias en todos los medios a las 24 horas de cultivo (tabla 2). Los resultados mostraron una mayor densidad de bacterias resistentes a metales en las muestras de sedimento y jal, por lo tanto se decidió continuar la investigación con ambas muestras.

Tabla 1. Análisis químico de muestras ambientales.

	Cr ppm	Cu ppm	Cd ppm	Pb ppm	Ni ppm	Zn ppm	Mg ppm	As ppm	Hg ppm
M1	0	0	0	0	0	150	4800	150	427

M2	7.0	100	0	6.0	6.4	120	1950	1100	280
M3	230	79	0.5	5.0	100	500	19600	3200	250

M1=muestra de agua, M2=muestra de sedimento, M3=muestra de jal

Tabla 2. Unidades formadoras de colonia en diferentes condiciones de cultivo después de 24 horas de incubación a 37°C.

Medio de cultivo	Muestra	Dilución	UFC
Agar nutritivo	M2	1X10 ⁻²	341
Agar nutritivo enriquecido con AgNO ₃	M2	1X10 ⁻⁴	43
Agar nutritivo enriquecido con HgNO ₃	M3	1X10 ⁻²	47
Agar nutritivo enriquecido con NaAsO ₂ y HgNO ₃	M2	1X10 ⁻²	139

M2=muestra de sedimento, M3=muestra de jal

Se seleccionaron 14 cepas bacterianas. Respecto al análisis de morfología colonial, los resultados indican que la mayoría de las cepas crecen en colonias con forma irregular y circular. En cuanto a las características del borde, se observan ondulados y lobulados. Se registran elevaciones planas y convexas. Respecto a la coloración se observan colonias amarillas, blancas, café, crema y gris (tabla 3). Características semejantes de las colonias bacterianas han sido reportadas por otros autores que han demostrado la presencia de actinobacterias en suelos contaminados con EPT. Respecto al análisis morfológico microscópico, las micrografías obtenidas muestran diversas formas microscópicas, tales como cocos, bacilos y filamentos (tabla 4). Es probable que algunas de las cepas aisladas se traten de actinobacterias ya que presentan morfología filamentososa. Sin embargo, algunas actinobacterias presentan morfologías de bacilos o cocos. Particularmente, las actinobacterias se caracterizan por mostrar un resultado positivo a la tinción de Gram, prueba que permite conocer características de la composición de la pared celular (Pelaz, 2014). En la figura 1 se muestran las morfologías encontradas en este estudio.

Tabla 3. Morfología colonial de cepas aisladas.

Muestra	Forma	Borde	Color margen	Elevación	Color
Cepas bacterianas aisladas de Jales					
J1	Circular	Entero	Blanco	Plana	Café
J2	Circular	Ondulado	Blanco	Convexa	Café
J3	Circular	Entero	Blanco	Plana	Crema
J4	Circular	Entero	Blanco	Convexa	Café
J5	Circular	Entero	Blanco	Convexa	Café
J6	Circular	Entero	Blanco	Plana	Café
J7	Circular	Entero	Blanco	Plana	Blanco
J8	Circular	Entero	Crema	Convexa	Café
J9	Circular	Ondulado	Blanco	Plana	Blanco
J10	Circular	Entero	Blanco	Plana	Café

J11	Circular	Entero	Gris	Convexa	Gris
Cepas bacterianas aisladas de sedimentos					
S12	Circular	Entero	Transparente	Plana	Amarillo
S13	Irregular	Lobulado	Transparente	Plana	Blanco
S14	Puntiforme	Entero	Transparente	Plana	Crema
S15	Circular	Entero	Blanco	Plana	Crema
S16	Circular	Entero	Transparente	Plana	Café

Tabla 4. Morfología microscópica de cepas bacterianas.

Muestras Jales	Tinción de Gram	Morfología	Muestras sedimentos	Tinción de Gram	Morfología
J1	+	Filamento	S12	-	Cocos
J2	-	Filamento	S13	-	Bacilos
J3	-	Bacilos	S14	-	Bacilos
J4	+	Filamento	S16	-	Bacilos
J5	+	Filamento			
J6	+	Filamento			
J8	-	Bacilos			
J9	-	Estreptobacilo			
J10	+	Filamento			
J11	-	Cocos			

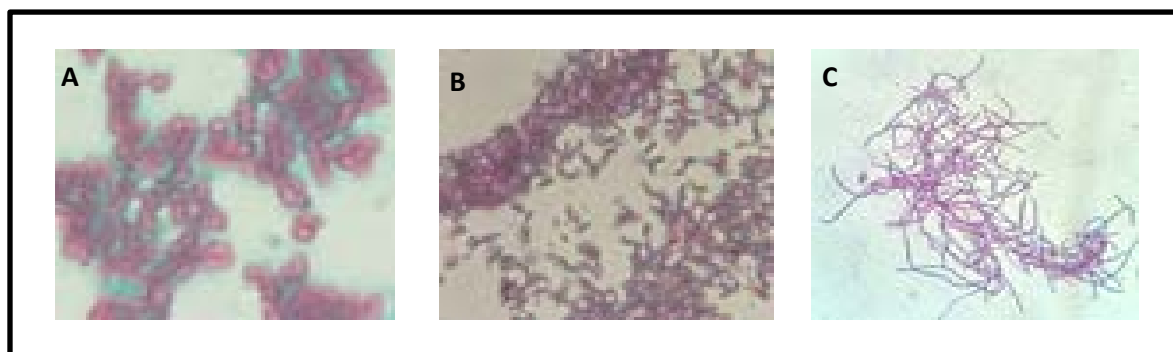


Figura 1. Micrografías de cepas bacterianas aisladas del Distrito Minero de Guanajuato. A) Muestra J11, cocos; B) Muestra J3, bacilos; C) J1 Filamentos.

CONCLUSIONES

Se demostró la presencia de grupos bacterianos presentes en las muestras de sedimento y jal. Se encontraron algunas formas filamentosas positivas para la tinción de Gram, lo que sugiere la posible presencia de actinobacterias. Se obtuvieron cultivos puros los cuales se emplearan para realizar una caracterización bioquímica de las cepas. Asimismo, una vez conocida la composición de la comunidad microbiana cultivable se llevará a cabo el análisis de su metagenoma y

posteriormente conocer el potencial de estos microorganismos en técnicas de recuperación de sitios impactados por metales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hughes, M.N., and Poole, R.K. (1989). *Metals and microorganism*. Chapman and Hall, London. 280-285 pp.
2. Ji, G., and Silver, S. (1995). Bacterial resistance mechanism for heavy metals of environmental concern. *J. Ind. Microbiol.* 14, 64-168.
3. Manahan, S.E. (2000). *Environmental Chemistry*, 7th Ed. Lewis Publishers, Washington, D. C., 877 pp.
4. Marrero-Coto, J., Amores-Sánchez, I., y Coto-Pérez, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA*, 46(3), 52-61.
5. Mendoza-Amézquita, E., Armienta, M.A., Ayora, C., Soler, A. y Ramos, E. (2006). Potencial lixiviación de elementos traza en jales de las minas La Asunción y Las Torres, en el distrito minero de Guanajuato, México. *Rev. Mex. Cienc. Geol.* 23, 75-83.
6. Nies, D.H. (1992). Resistance to cadmium, cobalt, zinc, and nickel in microbes. *Plasmid* 27, 17-28.
7. Poole, R.K., and Gaad, G.M. (1989). *Metals: microbe interactions*. IRL Press, Oxford, 1-37 pp.
8. Pelaz, G.G. (2014). Aislamiento y estudio de la diversidad de las poblaciones de Actinobacterias presentes en muestras de compost. Tesis de licenciatura. Universidad de Salamanca, España.
9. Ramos-Arroyo Y.R. (2004). Caracterización Geoquímica de Depósitos de Jales del Distrito de Guanajuato: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, tesis doctoral, 221 pp.
10. Romero, G. J. A. (2011) Geoquímica de As, Hg, Pb y Zn y mineralogía en sedimentos superficiales de la cuenca de drenaje del distrito minero El Triunfo, B. C. S., México. Tesis de
11. USEPA, (1996). Acid digestion of sediments, sludges and soils, in: EPA (Ed.), USA, p. 12.
12. Volke, S. T., Velasco, T. J. A. (2002) Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología (INE). México, 64 pp

**PUESTA EN MARCHA Y EXPERIMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE DESHIDRATADO
MEDIANTE COLECTORES CILINDRO PARABÓLICOS (CCPS), CHILE POBLANO COMO
CASO DE ESTUDIO.**

Zavala Cervantes Pedro, Yazmani García Ortiz.

Ingeniería en Diseño Industrial, Universidad Politécnica del Bicentenario (UPB), Carretera Estatal Silao – Romita Km. 2, San Juan de los Duran, Silao, Gto. México, C.P. 36283, (472)723-87-11.

RESUMEN

El presente trabajo está basado a partir de la construcción de un prototipo de deshidratado que consta de un túnel de secado convencional, pero en el cual para su funcionamiento requiere combustible fósil (gas L.P., combustóleo, etc.), este se sustituye por energía renovable, en este caso, energía solar fototérmica. Lo anterior se logra utilizando colectores cilindro parabólicos (CCPs) los cuales concentran la energía solar en un foco a través del cual circula un termofluido (agua) el cual es el encargado de generar la demanda energética necesaria para el deshidratado.

Se muestra un comparativo del funcionamiento del prototipo contra un túnel eléctrico de secado.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen un sin número de productos agrícolas que requieren un tratado post-cosecha, como lo es el secado. con la finalidad de incrementar el ciclo de vida del producto y facilitar el transporte del mismo, tanto en los mercados nacionales, como internacionales en ese sentido, existe el interés en desarrollar procesos o sistemas que permitan lograr el deshidratado de manera menos costosa. En el presente trabajo se muestra un prototipo de secado que consta de 2 CCPs cuya función es la concentración solar para el calentamiento de un termofluido en este caso agua, estos a su vez, están adaptados a un túnel de deshidratado que cuenta con un dissipador de calor y un extractor de aire el cual hace la inyección del aire caliente en el interior del mismo, donde se encuentra el producto (rodajas de chile ancho); Se registraron las temperaturas dentro del túnel en dos puntos (entrada y salida), en donde se introdujeron 2 termopares conectados a un sistema de adquisición de datos para determinar la relación entre pérdida de humedad del producto. Los resultados muestran fueron comparados con el secado en un túnel de secado comercial.

TEORÍA

En los últimos años ha aumentado la demanda de productos deshidratados tanto en los mercados nacional como internacionales debió a que es un proceso esencial en la preservación de los productos, en la actualidad existe el interés en desarrollar procesos que permitan lograr este propósito de manera económica y con un consumo bajo en energía. Una opción para lograrlo es mediante la energía solar. Esta técnica todavía es utilizada en el medio rural, la principal desventaja es que al estar expuesto a cielo abierto por lo que no existe una forma de controlar el

deshidratado uniforme derivado del polvo, roedores o cambios climáticos (Fudoli A, 2010). En general, las grandes industrias dedicadas al deshidratado, consumen demasiada energía en el proceso intensivo; por lo tanto, tienen que invertir mucho dinero porque el combustible principal es el gas LP o gas butano (IO Okoro, 2004), además de esto, la escasez de combustibles fósiles aumentó el interés en el uso de la energía solar como fuente de energía alternativa para el proceso de deshidratación de productos agrícolas (Mulhaber, 1986).

Las curvas de secado normalmente son representadas mediante diferentes modelos, entre los más comunes se encuentran los mostrados en la tabla 1:

Tabla 1: Principales modelos de deshidratado

	Modelo	Ecuación
1	Newton	$MR = Exp(-kt)$
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$

Estos modelos son experimentales, para este caso se utilizó directamente un análisis en base a la pérdida de peso tomando como referencia el modelo de Page, ya que para casos de deshidratado de productos agrícolas es el más utilizado, con esto se justifica su elección, se sabe que la constante de secado para este tipo de chile a una temperatura de 70 °C.

Por otro lado, la tecnología de colectores cilindro parabólico ha sido concebida para la generación de energía eléctrica, está enmarcada dentro de la energía solar fototérmica de media concentración alcanzando temperaturas de hasta 500 °C (Zarza, 2006). En ese sentido, los sistemas de concentración solar han aumentado en los últimos años y se han desarrollado diferentes tipos de dispositivos cuyas aplicaciones requieren materiales con una alta reflectancia solar para que puedan ser considerados en su fabricación para conseguir eficiencias de conversión aceptable, esta eficiencia depende del material reflectante usado. Una amplia variedad de espejos ya han sido estudiados y usados para la elaboración de colectores cilindro-parabólicos (CCP) logrando resultados sobresalientes (García-Salvidegoitia, 2008).

Finalmente (García-Ortiz, 2016), menciona sobre la aplicación de los CCPs como fuente energética para el deshidratado de productos agrícolas, es justamente en este trabajo que se basa la construcción del prototipo que se propone en este trabajo.

PARTE EXPERIMENTAL

El enfoque principal del presente trabajo es la validación de aplicación de un prototipo de deshidratado mediante un túnel conectado a un sistema de colectores cilindro parabólicos (CCP) Fig. 1, del cual se obtienen valores experimentales del comportamiento de secado.

Para lo anterior se construyó un prototipo que consta de túnel de deshidratado, 2 CCPs, y un sistema de bombeo, como lo muestra el diagrama de la figura 1.

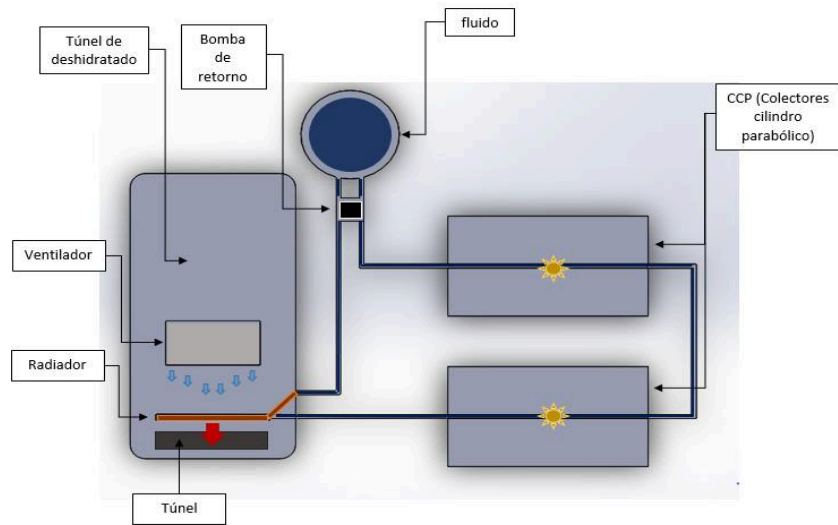


Figura1. Diagrama de funcionamiento del sistema de deshidratado con CCPs

El sistema híbrido que consta básicamente de un campo solar de CCPs, un túnel de deshidratado; los productos se colocan en el interior del túnel, a través del cual circula aire caliente inyectado por medio de un ventilador. La temperatura requerida puede variar desde 70 a 90 °C dependiendo del tipo de producto, en este caso chile poblano, el tiempo de secado es de alrededor de 36 horas; Su ventaja principal con respecto a otros sistemas térmicos de deshidratado que utilizan combustibles fósiles, es que tiene una reducción de costos de aproximadamente un 40% al igual que la disminución de emisión de gases tipo invernadero.

Por otro lado, se utilizó un horno marca Felisa, con esto se buscó comparar los rendimientos obtenidos mediante el sistema con CCPs, las pruebas fueron a 70°C, La figura 2 muestra los dos sistemas mencionados.



(a)

(b)

Figura 2. (a) Prototipo de deshidratado mediante CCP (b) Horno convencional utilizado para el comparativo con el prototipo propuesto.

Para determinar la cinética del secado de las rodajas del chile poblano (*Capsicum annuum*), primeramente, los frutos fueron lavados en agua común y secados con papel absorbente y almacenados a temperatura ambiente.

Durante el secado, las muestras fueron retiradas del túnel en intervalos de 10 minutos hasta obtenerse el equilibrio dinámico de la muestra con el aire caliente o hasta que no se note cambio en el peso de las muestras, aproximadamente en el ciclo 10. Las muestras fueron pesadas mediante una báscula analítica y los lapsos de tiempo fueron cada 10 minutos. El peso inicial de las muestras fue de 10 grs.

Por lo tanto, con esta información para el caso del chile poblano la curva de cinética de secado tiene un comportamiento similar a los mostrados por otros modelos reportados en la literatura.

RESULTADOS

El comportamiento de secado se basa en la pérdida de peso en ambas cámaras de secado. La Figura 3, muestra la variación del contenido de la humedad en el horno de laboratorio y el prototipo propuesto.

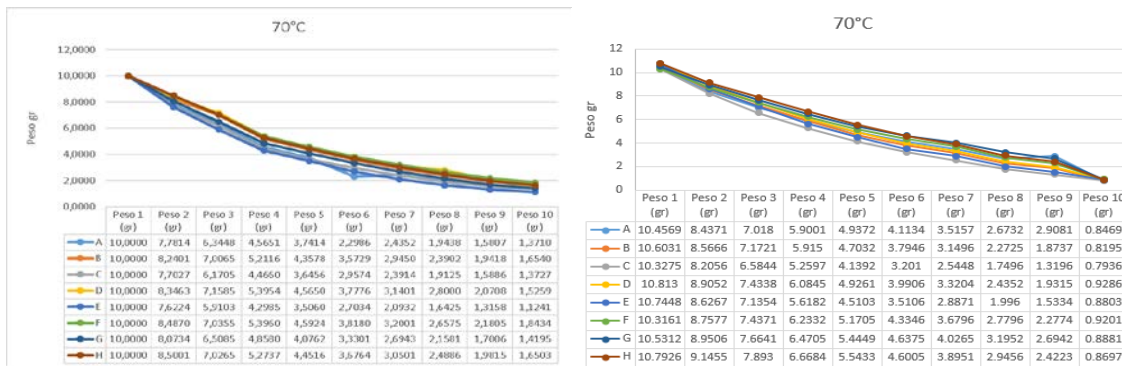


Figura 3. Variación de humedad en las muestras de secado en el horno convencional (1); variación en las muestras de secado en el prototipo propuesto (2).

Derivado de lo anterior, se tiene que la curva de secado del prototipo con colectores cilindro parabólicos tiene un comportamiento muy similar con el del horno de laboratorio como lo muestra la figura 4.

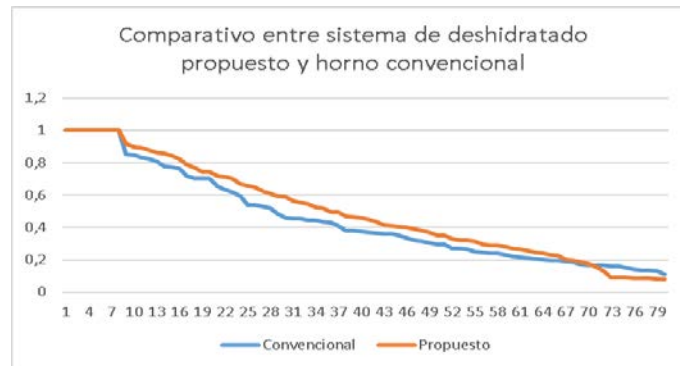


Figura 4. Comparativo entre el horno convencional de laboratorio y el prototipo propuesto.

Con esto se valida la aplicación del prototipo mediante colectores cilindro parabólicos conectados a un túnel de deshidratado, como se pudo ver, la pérdida de humedad relativa es muy similar en relación a un horno de deshidratado, las variaciones se pueden atribuir a las características técnicas del prototipo debido a la manufactura del mismo.

CONCLUSIONES

Se logró poner en marcha el prototipo de deshidratado mediante colectores cilindro parabólicos, obteniendo resultados muy satisfactorios en relación a métodos convencionales, en este caso, en la comparación con el horno comercial.

Cómo trabajo futuro queda trabajar en la utilización de aire como termofluido y que sea inyectado directamente al túnel de deshidratado en sustitución del usado (agua).

Finalmente comentar que esta nueva alternativa satisface el deshidratado de diferentes productos reduciendo un estimado de 40 % de combustible fósil comúnmente usado, por consiguiente, una disminución en costos y la No liberación de gases efecto invernadero a la atmósfera.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fudoli A, S. K. (2010). Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-30.
2. García-Ortiz, Y. (2016). Colectores cilindro parabólicos a partir de materiales de acero inoxidable aplicado a un sistema de deshidratado. *Dyna*.
3. García-Salvidegoitia, B. (2008). Solar Energy. *Dyna*, 561-566.
4. IO Okoro, T. M. (2004). Present Status of solar crop drying. *Energy in agriculture*, 1599-1610.
5. Mulhaber, W. (1986). Presents status of solar crop drying. *Energy in agriculture* , 121-137.
6. Zarza, E. (2006). *Plataforma Solar de Almería*. Obtenido de Plataforma Solar de Almería: <http://www.psa.es/webesp/index.php>

SUERO DE LECHE COMO SUSTRATO RESIDUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS

Castro-Ramos J J, Ramírez-Castillo M L, Lozada-Lechuga J, Toribio-Jiménez J

Laboratorio de Investigación y Posgrado, Universidad Politécnica de Puebla, Juan C. Bonilla, Puebla.

Laboratorio de Microbiología Molecular y Biotecnología Ambiental, Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Académica de Ciencias Químico-Biológicas, Chilpancingo, Guerrero.

RESUMEN

El suero de leche es un subproducto de la industria láctea generado durante la elaboración de queso. De la leche utilizada del 80 al 90 % se convertirá en suero de leche lo cual, aunado a su elevada carga orgánica lo convierte en un contaminante. Nacionalmente el 16 % de la producción de leche se destina a la elaboración de quesos. En 2014 México produjo 11.46 millones de toneladas de leche [1]. Por su parte, los polihidroxialcanoatos (PHA) han cobrado gran relevancia debido a que poseen características similares a los petroplásticos pero a diferencia de estos son producidos a partir de fuentes renovables, son biodegradables y biocompatibles. Sin embargo sus costos de producción son mayores representando la fuente de carbono el 50 % del costo [2]. En este trabajo se produjo PHA por *Pseudomonas putida* utilizando lactosa y suero de leche como sustratos en cultivo lote en biorreactor. La mayor concentración de biomasa y PHA se alcanzó en el cultivo con suero de leche con 2.5 y 1.63 g/L respectivamente mientras que el máximo contenido de PHA en las células fue de 88 % en lactosa y de 81 % en suero de leche. Adicionalmente se realizó el modelado de las cinéticas de fermentación para ambos cultivos.

INTRODUCCIÓN

El suero de leche es un subproducto que por su composición, rica en proteínas, minerales y lactosa, se ha aprovechado para la obtención de diversos productos de interés industrial, sin embargo dados sus altos volúmenes de producción aún no se aprovecha en su totalidad y es desechado representando una fuente de contaminación ambiental [1], [3]. El contenido de lactosa y minerales del suero de leche lo convierte en un caldo de cultivo ideal para ser utilizado en procesos de fermentación [4].

Por su parte los bioplásticos han tomado gran relevancia debido a la necesidad de sustituir a los plásticos derivados de petróleo para mitigar los problemas de contaminación que generan al ser desechados. Entre los bioplásticos más estudiados se encuentran los polihidroxialcanoatos (PHA) los cuales son polímeros generados por algunos microorganismos a partir de fuentes renovables [5], [6]. Las propiedades mecánicas de los PHA están en función de su estructura, peso molecular y composición monomérica por lo cual se asemejan a diversos plásticos derivados del petróleo [7]. El objetivo de este proyecto fue producir PHA sintetizado por *Pseudomonas putida* RD35 utilizando

suero de leche como sustrato para darle una utilización a este residuo tan abundante y contaminante en nuestro país. Además se realizó un cultivo con lactosa para compararlo con el cultivo con suero de leche.

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Acondicionamiento de suero de leche

Se realizó un pretratamiento al suero de leche para evitar la presencia de color intenso y partículas en suspensión que pudiesen causar interferencias en las determinaciones analíticas. Se ajustó a 7.5 el pH del suero de leche y se esterilizó a 120 °C durante 15 minutos, posteriormente se centrifugó a 7000 rpm por 15 min y se decantó el sobrenadante en condiciones de esterilidad. Se almacenó para su utilización en los procesos de fermentación.

2.2 Microorganismo y medio de cultivo

Se utilizó *Pseudomonas putida* RD35 como microorganismo productor en los procesos de fermentación. Se conservó en glicerol y se almacenó en congelación para su posterior utilización.

Las sales utilizadas en los medios de cultivo fueron en g/L: Na₂HPO₄, 6.7; KH₂PO₄, 1.5; (NH₄)₂SO₄, 1; MgSO₄·7H₂O, 0.2; CaCl₂, 0.01; (NH₄)₂HC₆H₅O₇, 0.06; FeSO₄, 0.01 y 1 ml de solución de oligoelementos con los siguientes componentes en g/L: H₃Bo₃, 0.3; ZnSO₄·7H₂O, 0.1; NaMoO₄·2H₂O, 0.03; NiCl₂·6H₂O, 0.02 y CuSO₄·5H₂O, 0.01. Para la preparación del inóculo se utilizó glucosa como fuente de carbono.

Se realizaron dos procesos de fermentación en cultivo lote en los cuales se utilizó suero de leche y lactosa como sustrato, ambos adicionados con las sales mencionadas.

2.3 Preparación del inóculo y proceso de fermentación

Como inóculo se utilizó un cultivo de *Pseudomonas putida* RD35 en 200ml de medio incubado durante 48 h a 30 °C y 100 rpm.

Los procesos de fermentación se llevaron a cabo en un biorreactor de 4 L nominales y se utilizó un volumen de operación de 2 L. Se realizaron dos cultivos, uno utilizando suero de leche y otro lactosa como sustratos. En ambos cultivos se mantuvo la temperatura a 30 °C y una velocidad de agitación de 100 rpm. Se tomaron muestras a lo largo del proceso para realizar las determinaciones de biomasa PHA y azúcares reductores.

2.4 Determinaciones analíticas

La determinación de biomasa se realizó por peso seco. Se colocaron 2 ml de muestra en viales a peso constante y se centrifugó a 7500 rpm por 15 minutos, después se decantó el sobrenadante y se lavó la biomasa por duplicado. Se secó en una estufa a 70 °C hasta peso constante.

Por su parte la determinación de PHA se hizo consultando las técnicas utilizadas por Pantazaki y col. (2009) [1] y Peña y col. (2014) [7], ajustadas según los requerimientos. Se tomaron 20 ml de muestra y se centrifugó a 7500 rpm por 15 minutos. Se recuperó la biomasa y se lavó con agua destilada. Posteriormente se le agregaron 5 ml de cloroformo y 2.5 ml de hipoclorito de sodio al 13 % y se llevó a 30 °C en agitación constante. Una vez transcurridas 1.5 h la mezcla se centrifugó a 5000 rpm durante 10 minutos formándose 3 fases de las cuales se recuperó la inferior que contenía disuelto el PHA en cloroformo y se pasó por papel filtro (Ahlstrom 601) para eliminar los

restos celulares remanentes. Finalmente se secó el filtrado hasta peso constante y se cuantificó el PHA gravimétricamente.

En cuanto a la determinación de azúcares reductores se utilizó el método de DNS utilizando una curva estándar de lactosa de 0 a 2 g/L. Las muestras se leyeron en un espectrofotómetro de uv-vis a 540 nm y se diluyeron cuando fue necesario.

Se realizó un espectro de infrarrojo del PHA obtenido utilizando un equipo Shimadzu IRAffinity-1.

2.5 Modelado de las cinéticas de fermentación

Para el modelado de las cinéticas de crecimiento y producción de PHA se utilizó el modelo Logístico presentado en la ecuación (1) y (2) respectivamente. Por su parte en la ecuación (3) se presenta el modelo de Yeh y col. [8] utilizado para modelar el consumo de sustrato.

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \left(\frac{S}{K_s + S} \right) \quad (1)$$

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y_{xs}} \frac{dX}{dt} + \frac{1}{Y_{ps}} \frac{dP}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dt} = P_0 \left(1 - \frac{P}{P_{\max}} \right) P \quad (3)$$

Se resolvieron las ecuaciones y se calcularon las constantes de los modelos variando sus valores hasta obtener coeficientes de correlación cercanos a uno entre la curva de modelado y los datos experimentales.

RESULTADOS

En la Figura 1 se muestran las cinéticas de crecimiento y las curvas de modelado del modelo Logístico de los dos cultivos lote realizados con *Pseudomonas putida* RD35. La mayor concentración de biomasa fue obtenida en el cultivo en que se utilizó suero de leche como sustrato con 2.5 g/L después de 26 h de cultivo. Las velocidades específicas de crecimiento para los cultivos con lactosa y suero de leche fueron de 0.052 y 0.055 h⁻¹ respectivamente mientras que en el modelado se obtuvieron coeficientes de correlación de 0.74 para lactosa y 0.96 para suero de leche.

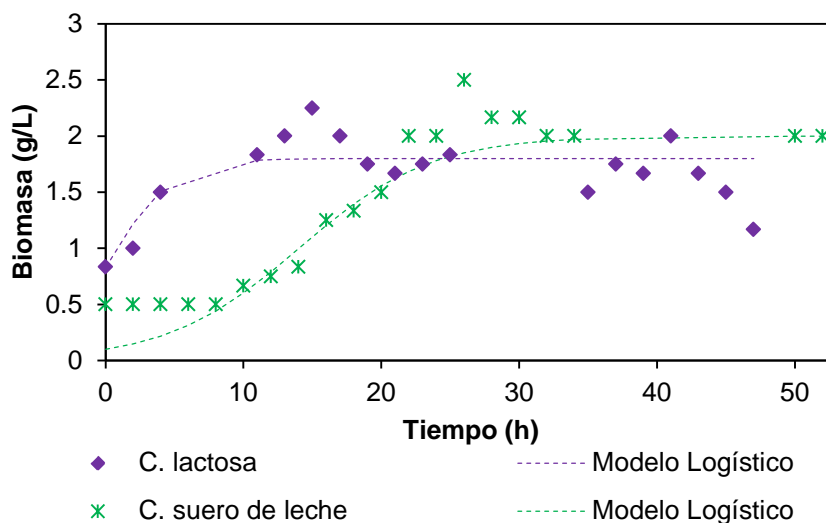


Figura 1. Cinéticas de crecimiento y curvas de modelado de los cultivos con *P. putida* RD35 utilizando lactosa y suero de leche como sustrato.

Las cinéticas de producción de PHA por *Pseudomonas putida* RD35 y las curvas de modelado del modelo Logístico se muestran en la Figura 2. La tendencia de producción fue similar en ambos cultivos habiéndose obtenido una mayor producción en el cultivo con suero de leche con 1.63 g/L después de 34 h. Por su parte el cultivo con lactosa alcanzó una concentración máxima de PHA de 1.5 g/L tras 17 h de proceso.

El porcentaje de PHA del peso seco celular fue mayor en el cultivo con lactosa con 88 % mientras que el cultivo con suero de leche alcanzó un porcentaje de 81 %.

En cuanto al modelado, se obtuvieron coeficientes de correlación de 0.90 y 0.81 para los cultivos con lactosa y suero de leche respectivamente.

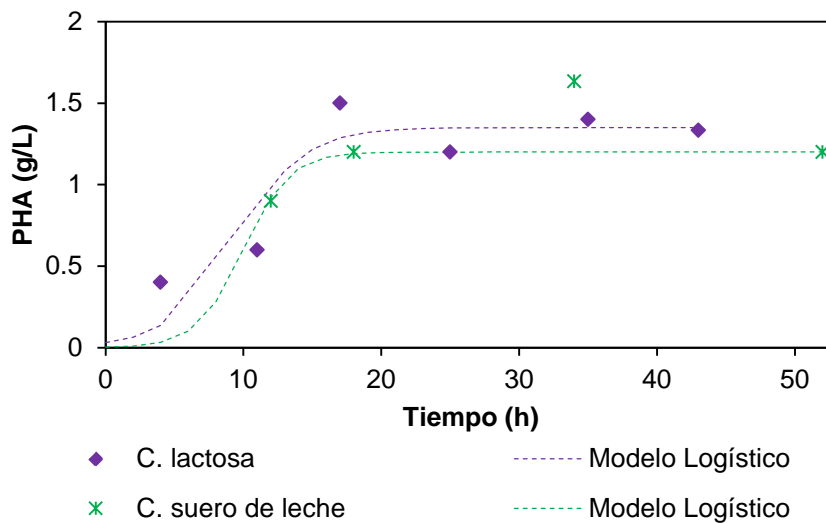


Figura 2. Cinéticas de producción de PHA y curvas de modelado de los cultivos con *P. putida* RD35 utilizando lactosa y suero de leche como sustrato.

En la Figura 3 se presentan las cinéticas de consumo de sustrato y las curvas de modelado del modelo de Yeh y col. de los cultivos realizados. El sustrato fue consumido casi en su totalidad en ambos cultivos. Los coeficientes de correlación obtenidos en el modelado fueron de 0.98 para el cultivo con lactosa y de 0.97 para el cultivo con suero de leche.

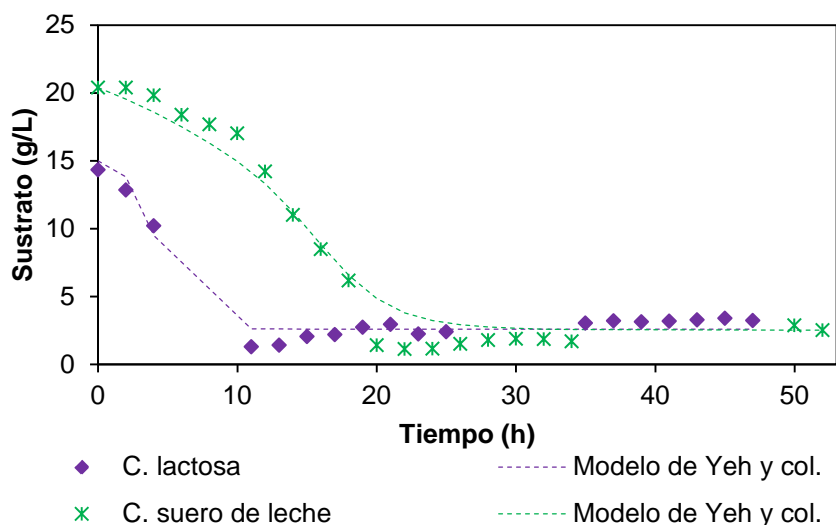


Figura 3. Cinéticas de consumo de sustrato y curvas de modelado de los cultivos con *P. putida* RD35 utilizando lactosa y suero de leche como sustrato.

En la Tabla 1 se muestran los resultados principales de investigaciones realizadas para la producción de PHA con *Pseudomonas putida* que van desde la utilización de sustratos puros hasta la utilización subproductos industriales y sustratos residuales.

Tabla 1. Principales resultados de trabajos relacionados con la producción de PHA en cultivo lote.

Cepa	Sustrato utilizado	Biomasa (g/L)	PHA (g/L)	% de PHA del peso seco celular	Referencia
<i>Pseudomonas putida</i> PGA1	Aceite de palma	3	1.1	36.6	[9]
<i>Pseudomonas putida</i> CA-3	Glucosa	0.6	0.1	16.6	[10]
<i>Pseudomonas</i>	Hidrolizado de	0.88	0.22	25	[11]

<i>putida</i> W619	pasto (B2)				
<i>Pseudomonas putida</i> IPT046	Aceite de arroz	1.77	0.6	33.8	[12]

La Figura 4 presenta el espectro de infrarrojo realizado al PHA sintetizado por *Pseudomonas putida* RD35. La banda presente 3400 cm^{-1} corresponde a un grupo hidroxilo terminal, mientras que la observada a 2915 cm^{-1} se encuentra asociada a las vibraciones de tensión de los enlaces C-H [13]. Una de las señales características en los PHA es la producida por el enlace carbonilo (C=O) de los grupos éster, Goma (2014) [14] reporta esta señal entre 1631 y 1644 cm^{-1} para la identificación de PHA la cual es similar a la señal obtenida en este trabajo (1635 cm^{-1}). Las señales ubicadas a 1457 y 1376 cm^{-1} representan a los grupos metileno (CH₂) y metilo (CH₃) encontrados en los PHA. Adicionalmente, Raheb y col. (2013) [15] mencionan que los PHA de cadena media presentan una banda característica a 1165 cm^{-1} , misma que puede observarse como un pico de mediana intensidad en el espectro obtenido en este trabajo.

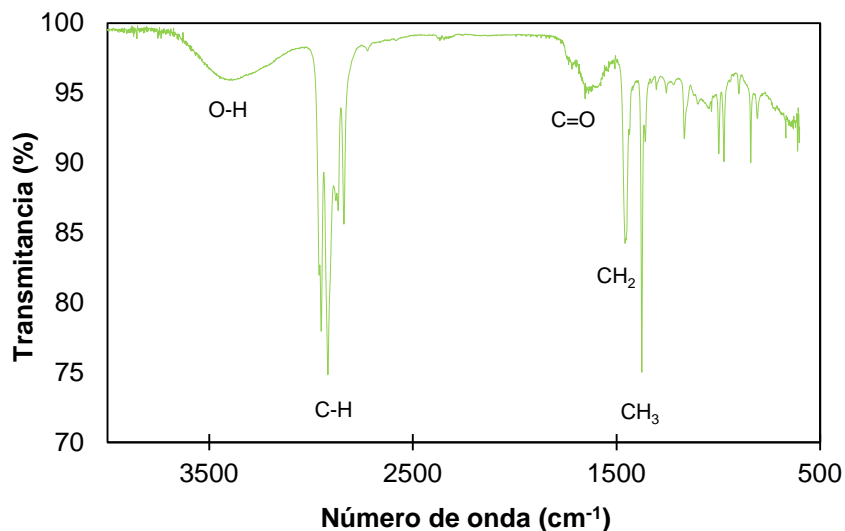


Figura 4. Espectro de infrarrojo (FT-IR) de PHA sintetizado por *P. putida* RD35.

CONCLUSIONES

En los cultivos realizados con suero de leche como sustrato se alcanzó la mayor concentración de biomasa y PHA con 2.5 y 1.63 g/L respectivamente. El máximo porcentaje de PHA del peso seco celular alcanzado en el cultivo con lactosa fue de 88 % y en el cultivo con suero de leche de 81 %.

Por su parte el modelo Logístico para crecimiento presentó un mejor ajuste a los datos experimentales del cultivo con suero de leche con un coeficiente de correlación 0.98, mientras que para de las cinéticas de consumo de sustrato el modelo de Yeh y col. presentó coeficientes de correlación de 0.98 y 0.97 para los cultivos con lactosa y suero de leche respectivamente. El

modelo Logístico para producción presentó un coeficiente de correlación de 0.90 para el cultivo con lactosa.

El espectro de infrarrojo realizado al PHA obtenido en los cultivos de *Pseudomonas putida* RD35 presentó las bandas características correspondientes a los enlaces presentes en los PHA.

Bajo las condiciones utilizadas el suero de leche demostró ser un recurso competitivo ante un sustrato puro, como lo es la lactosa, para la producción de PHA por *Pseudomonas putida* RD35.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. Pantazaki, C. Papanephytou, A. Pritsa, M. Liakopoulou, D. Kyriakidis, Production of polyhydroxyalkanoates from whey by *Thermus thermophilus* HB8, *Process Biochemistry*, 44, 2009, pp. 847–853.
2. United States Department of Agriculture, Cows Milk Production and Consumption: Summary For Selected Countries, 2016. Recuperado el 15 de abril de 2017, de <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Cows+Milk+Production+and+Consumption%3a++Summary+For+Selected+Countries&hidReportRetrievalID=2544&hidReportRetrievalTemplateID=7>
3. A. R. Madureira, C. I. Pereira, A. M. Gomes, M. E. Pintado, F. X. Malcata, Bovine whey proteins-Overview on their main biological properties *Food Research International*, 40, 2007, pp.1197–1211.
4. M. García, R. Quintero, A. López, *Biotecnología alimentaria*. Quinta edición. (Editorial Limusa, S.A. de C.V., México, D.F., 2004)
5. L. R. Castilho, D. A. Mitchell, D. M. Freire, Production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) from waste materials and by-products by submerged and solid-state fermentation, *Bioresource Technology*, 100, 2009, pp.5996–6009.
6. D. Segura, R. Noguez, G. Espín, Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables, 2007. Recuperado el 5 de noviembre de 2015, de http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/libro_25_aniv/capitulo_31.pdf
7. C. Peña, T. Castillo, A. García, M. Millán, D. Segura, Biotechnological strategies to improve production of microbial poly-(3-hydroxybutyrate): a review of recent research work, *Microbial Biotechnology*, Vol. 7, 4, 2014, pp. 278–293.
8. M. Jakymec, H. Morán, G. Páez, J. R. Ferrer, Z. Mármod, E. Ramones, Cinética de la producción de ácido láctico por fermentación sumergida con lactosuero como sustrato, *Revista Científica FCV-LUZ*, Vol. 11, 1, 2001, pp. 53-59.
9. I. K. P. Tan, K. S. Kumar, M. Theanmalar, S. N. Gan, B. Gordon III, Saponified palm kernel oil and its major free fatty acids as carbon substrates for the production of polyhydroxyalkanoates in *Pseudomonas putida* PGA1, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 47, 1997, pp. 207-211.
10. P. G. Ward, G. Roo, K. E. O'Connor, Accumulation of Polyhydroxyalkanoate from Styrene and Phenylacetic Acid by *Pseudomonas putida* CA-3, *Applied and Environmental microbiology*, Vol. 71, 4, 2005, pp. 2046–2052.
11. R. Davis, R. Kataria, F. Cerrone, T. Woods, S. Kenny, A. O'Donovan, M. Guzik, H. Shaikh, G. Duane, V. K. Gupta, M. G. Tuohy, R. B. Padamatti, E. Casey, K. E. O'Connor, Conversion of grass biomass into fermentable sugars and its utilization for medium chain length polyhydroxyalkanoate (mcl-PHA) production by *Pseudomonas* strains, *Bioresource Technology*, 150, 2013, pp.202–209.

12. S.R. Silva-Queiroz, L.F. Silva, J.G.C. Pradella, E.M. Pereira, J.G.C Gomez, PHAMCL biosynthesis systems in *Pseudomonas aeruginosa* and *Pseudomonas putida* strains show differences on monomer specificities, *Journal of Biotechnology*, 143, 2009, pp. 111–118.
13. U., Apparao, V. G. Krishnaswamy, Production of Polyhydroxyalkanoate (PHA) by a Moderately Halotolerant Bacterium *Klebsiella pneumoniae* U1 Isolated from Rubber Plantation Area, *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, Vol. 3, 2, 2015, pp. 54-61.
14. E. Z. Gooma, Production of Polyhydroxyalkanoates (PHAs) By *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* Grown on Cane Molasses Fortified with Ethanol, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Vol. 57, 1, 2014, pp. 145-154.
15. J. Raheb, S. Saadat, F. Nazari, Identification of a Novel phaC1 Gene from Native *Pseudomonas putida* KT2442 as a Key Gene for PHA Biosynthesis, *Computational Molecular Biology*, 3(3), 2013, pp.16-23.

MEDICIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL EN LA INDUSTRIA DE PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS CON CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE

Celene Juárez Ignacio, Ezequiel Villagarcía Chávez, Alberto Mijares Rodríguez, Selene Capula Colindres, Esther Torres Santillán

Universidad Autónoma Metropolitana. Azcapotzalco. Ciudad de México. C.P. 02200, México

Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Ingeniería Química Industrial, ESQIE-IPN, UPALM EDIF. 7, Zacatenco, CP. 07738, CDMX, México.

⁴Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación, CIC-IPN, Av. Juan de Dios Batiz s/n, Col. Industrial Vallejo, CP. 07738, CDMX, México.

RESUMEN

En sectores industriales como el de pinturas y recubrimientos es indispensable conocer el valor de la tensión superficial, debido a que este es un parámetro que garantiza su capacidad cubriente. Para este trabajo se generó una ecuación de referencia para el cálculo de la tensión superficial de agua a partir de datos experimentales [10] en el intervalo de 5 a 50 °C. También se determinó experimentalmente la tensión superficial de agua destilada en el intervalo de 5 a 50 °C por medio de un tensiómetro de Du-Noüy marca CENCO y utilizando la ecuación de referencia se ajustó un modelo de calibración explícito en tensión superficial, para corregir el valor tensión superficial proporcionada por el equipo. Además se midió la tensión superficial de muestras de pintura proporcionadas por la empresa Curacreto S.A. de C.V. y una marca comercial. Por medio del modelo de calibración ajustado, se corrigió la magnitud de la tensión superficial y se determinó la incertidumbre (varianza) en el resultado por medio de una expansión en serie Taylor, tal como lo marca la guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM) [12].

INTRODUCCIÓN

La actual exigencia industrial en términos de gestión de calidad, debida a tratados comerciales y normalización (estandarización) a nivel internacional es cada día mayor. Dichas exigencias se enfocan principalmente en la calidad en la calibración, verificación y ajuste de los diversos equipos de medición de los cuales depende la obtención de la magnitud de diferentes propiedades físicas y químicas de los productos.

En diferentes sectores como la medicina, procesos biológicos, tratamiento de aguas residuales, artículos de limpieza, catalizadores, detergentes, procesos de recuperación mejorada del petróleo y el de pinturas y recubrimientos, además de lo anterior, es de suma importancia conocer con certeza la magnitud e incertidumbre de las propiedades ya que esto les permite realizar mejoras en sus procesos. En la industria de las pinturas y recubrimientos específicamente, la tensión superficial es muy importante, ya que es un parámetro que les permite asegurar que dichos materiales cumplen con las características para garantizar su poder cubriente textural [1].

La tensión superficial es un fenómeno de superficie, se puede definir como la fuerza ejercida por unidad de longitud, dicha fuerza evita que las moléculas de un fluido escapen del interior [2] [3]. Este fenómeno ocurre en la frontera o interfase existente entre dos fluidos; (líquido-gas o líquido-líquido). A la fuerza de superficie líquido-gas se le conoce como tensión superficial y a la fuerza de superficie líquido-líquido como tensión interfacial. A la frontera o interfase se le suele considerar como una tercera fase, ya que presenta propiedades diferentes a los senos de los fluidos que la forman y suele ser caracterizada por la tensión interfacial.

En la superficie o interfase existe una desigualdad en las fuerzas que actúan sobre las moléculas, puesto que las moléculas en esta zona son atraídas por fuerzas desiguales hacia cada uno de los fluidos.

En la interacción de un líquido y un gas, las moléculas en la frontera del líquido son atraídas de manera desigual por las moléculas del mismo fluido que se encuentran a los costados, por las moléculas que se encuentran debajo (dentro del seno del líquido) y por las moléculas del gas que se encuentran en la parte superior, siendo estas últimas las que atraen con menor fuerza, tal como se muestra en la figura 1.

Lo anterior descrito genera que en la capa superficial del fluido, la fuerza de tensión cree una especie de película. De hecho dicha película se crea en todas las fronteras del líquido, incluyendo las paredes del recipiente. La tensión superficial se expresa generalmente en unidades de dinas/cm o N/m.

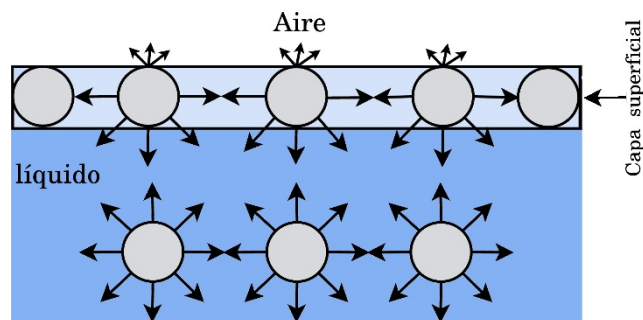


Figura 1. Imagen cualitativa de la capa superficial microscópica de una frontera líquido-gas.

TEORÍA

Existen diversos métodos para determinar la tensión superficial, tanto de forma experimental como teórica. Entre los métodos experimentales se encuentran: el método de pesada hidrostática [4], ascenso capilar, Stalagmómetro, método de la presión máxima de burbuja, método de la gota pendiente [5], método de la burbuja de gas, método del peso de la gota, el método de la placa y el método del anillo. Para los métodos teóricos la mayoría son de tipo correlativo como el de

Macleod-Sugden [2], el de estados correspondientes, de Pitzer, de Zuo y Stenby [3], la de Hawking [6] y la correlación de Sastri, entre otras.

La desventaja que presentan las correlaciones y algunos métodos experimentales es que estos tienen dentro de su estructura dependencias en algunas de las propiedades de las sustancias a medir, tales como densidad (ρ), temperatura crítica (T_c), temperatura de ebullición (T_b), entre otros. Lo anterior genera no solo una focalización del modelo en sustancias específicas, además incrementa con dichas dependencias la magnitud de la incertidumbre. Un ejemplo de este tipo de dependencias en correlaciones se observa la de Sastri (ecuación 1).

$$\gamma = 3.9529 \times 10^{-7} P_c^{0.5} T_b^{-1.5} T_c^{1.85} \left(\frac{1 - T / T_c}{1 - T_b / T_c} \right) \tag{Ec. (1)}$$

Si bien la ecuación de Sastri es una de las ecuaciones con menor número de parámetros (uno), las tres propiedades específicas; presión crítica (P_c), temperatura crítica (T_c) y temperatura de ebullición (T_b), si bien deberían permitir a la ecuación adaptarse para cualquier sustancia, esto se vuelve relativo en lo que concierne a mezclas, donde dichas propiedades pueden o no estar disponibles en la literatura.

En este trabajo se buscó establecer la mínima dependencia, en un modelo de lineal para sustancias cuyo valor de tensión estén dentro del intervalo de 5 a 50 mN/m de un modelo teórico y las magnitudes de respuesta de un tensiómetro de anillo de Du-Noüy marca CENCO.

El método de anillo de Du-Noüy está considerado como un método dinámico, por medio del cual se determina la fuerza necesaria para separar un anillo de la superficie de un líquido. Dicho anillo se encuentra suspendido de un sistema de hilo de torsión, el cual ejerce una fuerza vertical suficiente para desprender al anillo de líquido. Dicha fuerza es leída a través de un sistema tipo vernier y puede ser relacionada con la tensión superficial

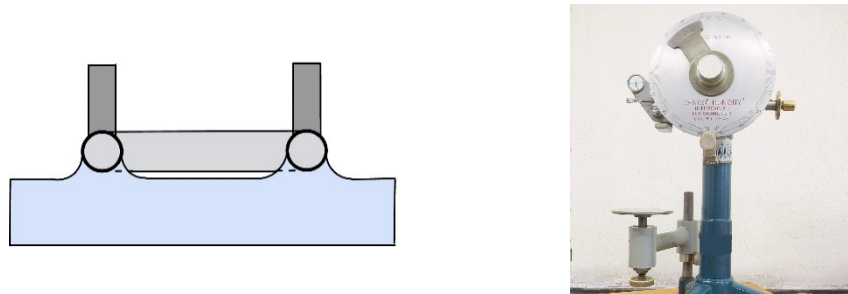


Figura 2. Izquierda. Diagrama esquemático del momento en que el anillo extiende la superficie del líquido. Derecha. Tensiómetro de Du-Noüy marca CENCO.

La fuerza F_T para desprender el anillo sería igual al producto de la tensión superficial y la periferia de la superficie de anillo que es desprendida, es decir: $F_T = 2 \gamma (2R)$

Donde R es el radio del anillo, $(2R)$ es el perímetro del anillo, γ es la tensión superficial. El 2 adicional se añade considerando que el líquido toca al anillo tanto en la parte interna como en la externa. La ecuación anterior quedaría por tanto expresada como

$$\gamma = \frac{F_T}{(4\pi R)} \tag{Ec. (2)}$$

El peso del anillo se desprecia de la fuerza ajustando a cero la caratula del tensiómetro, que es donde se encuentra el sistema tipo vernier. Puesto que los resultados proporcionados por la ecuación (2) no suelen ser cercanos a los datos de la literatura, es necesario añadir factores de corrección, tales como el de Zuidema y Waters [7] (ecuación 3). También se pueden utilizar las tablas de Harkins and Jordan [8] [9] las cuales son el resultado de vincular la dependencia de la forma del menisco del líquido durante el desprendimiento del anillo.

$$\gamma = \frac{F_T}{(4\pi R)} [f_c] = \frac{F_T}{(4\pi R)} \left[C_1 + \frac{C_2 \gamma_{\text{exp}}}{\pi^2 R^2 \Delta \rho} + C_3 - C_4 \left(\frac{r}{R} \right) \right]^{1/2} \tag{Ec. (3)}$$

El cálculo de la incertidumbre se realizó por medio de una aproximación en serie de Taylor para la varianza (incertidumbre) tal como lo expresa la GUM [12].

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \tag{Ec. (4)}$$

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \tag{Ec. (5)}$$

Para la determinar el valor de la incertidumbre se consideró el modelo con y sin correlación entre las variables de entrada y los parámetros (ecuación 4 y 5 respectivamente).

PARTE EXPERIMENTAL

Se generó como referencia una función lineal de segundo orden para relacionar la tensión superficial del agua en el intervalo de temperatura t de 5 a 50 °C con los datos de tensión superficial del agua reportados por Vargaftik, Volkov y Voljak [10].

Dicha función de referencia (ecuación 6) presentó una desviación porcentual promedio de 0.0055% respecto a los que presentan Vargaftik, Volkov y Voljak (ver figura 3).

$$\gamma_{ref} = 75.655 - 0.139318t - 3.0 \times 10^{-4} t^2 \tag{Ec. (6)}$$

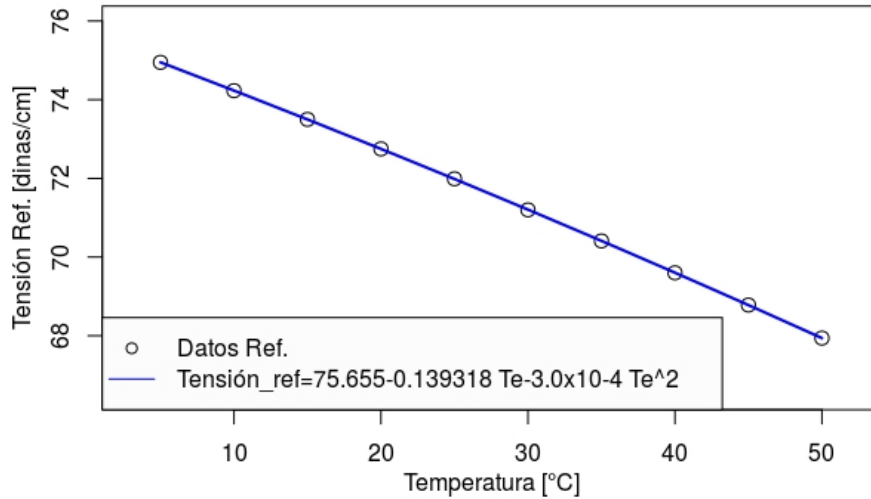


Figura 3. Función de referencia para la tensión superficial del agua construida con los datos presentados por Vargaftik [10].

Por medio del tensiómetro de Du-Noüy marca CENCO se realizó la medición de la tensión superficial de agua destilada en el intervalo de temperaturas de 5 a 50 °C. Posteriormente con los datos de tensión obtenidos se construyó el modelo de calibración que se presenta en la ecuación 7.

$$\gamma_{exp} = m \left[\frac{F_T \left(\frac{mg}{F_{Tr}} \right)}{4\pi R} \right] + b = m[X_T] + b \tag{Ec. (7)}$$

Donde F_T es el valor de tensión superficial (dinas/cm) para cada una de las mediciones de tensión proporcionado por el tensiómetro Du-Noüy, m es una masa de referencia de 0.5 gramos, g es la gravedad local (978 cm/s^2), F_{Tr} es la lectura de tensión necesaria para levantar la masa de 0.5 gramos a una posición de referencia en el tensiómetro (23 dinas/cm), R es el radio de anillo (0.95366 cm), mientras que m y b son los parámetros ajustables del modelo de calibración.

El parámetro m es adimensional, y tiene una relación muy cercana al factor de corrección f_c de la ecuación 3. El parámetro proporcional b , es un parámetro con unidades de tensión dinas/cm.

La fuerza de tensión de referencia F_{Tr} de la ecuación (7) pretende no solo generar una estructura dimensional en el modelo de calibración, también es un parámetro de control, el cual debe permanecer constante o de lo contrario sería un indicador que muestra cuando es necesario realizar de nuevo la calibración del equipo y reajustar los parámetros del modelo.

Como se puede observar en la ecuación 7, el modelo de calibración no depende de las características de la sustancia a la que se está determinando la tensión superficial y solo es necesario ajustar el valor de los parámetros m y b del modelo con un fluido de referencia.

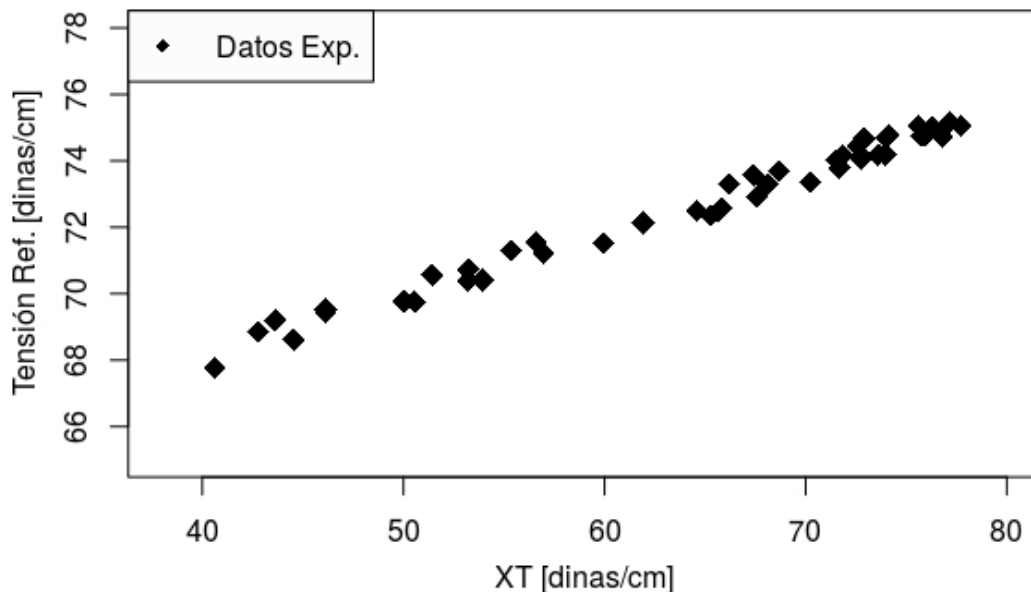


Figura 4. El comportamiento de la variable X_T respecto a la tensión de referencia a la misma temperatura como justificación de un modelo lineal para la calibración.

RESULTADOS

Como se muestra en la figura 4, la estructura de la variable X_T del modelo de calibración respecto a la tensión de referencia a la misma temperatura de medición, presenta comportamiento lineal. Para el ajuste de los parámetros del modelo se utilizó el algoritmo de Levenverg-Marquart. Para determinar la incertidumbre en los resultados del modelo de calibración, se determinó durante el ajuste, la matriz de correlación y la matriz de varianza-covarianza. Los resultados del ajuste se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del ajuste del modelo de calibración respecto a la función de referencia. El error residual estándar fue de 0.2771 con 46 grados de libertad.

Estimación		Matriz de Correlación		Matriz de varianza-covarianza	
		m	b	m	b
m	0.18618	1.0000	-0.9849	$1.33962e^{-5}$	$-8.518138e^{-4}$
b	60.66327	-0.9849	1.0000	$-8.518138e^{-4}$	$5.58323664e^{-2}$

Los residuos del modelo de calibración respecto al de referencia son menores a 0.5 dinas/cm de tensión, lo cual es consistente con algunas referencias [4], [6], [10].

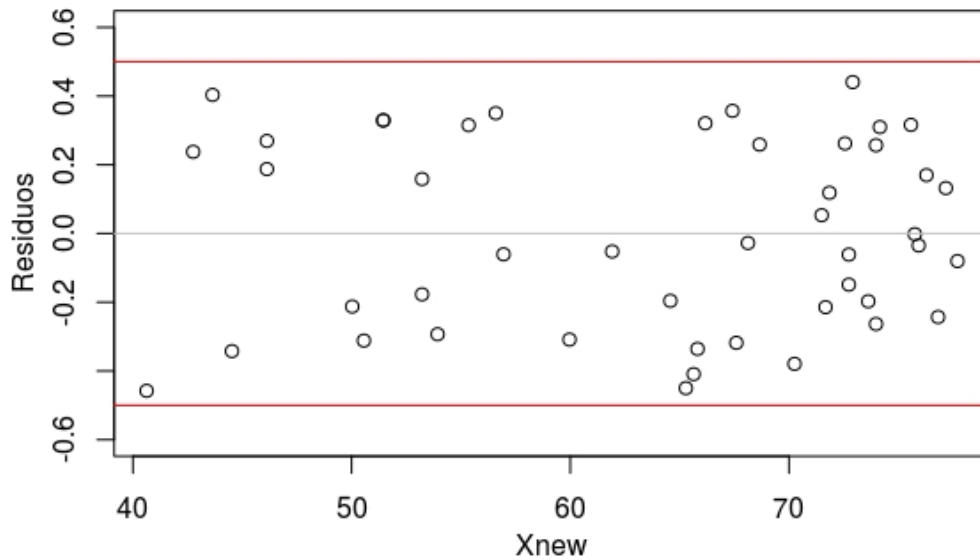


Figura 5. Residuos del modelo de calibración. Las líneas rojas marcan un intervalo de variación menor a +/- 0.5 dinas/cm

Para determinar la tensión superficial de las pinturas, se realizaron diluciones de pintura proporcionada por Curacreto S.A. de C.V. con agua al 10% volumen (figura 6), tal como se recomienda en las especificaciones de producto [11].



Figura 6. Lote de muestras de pintura Arquimavel proporcionadas por Curacreto S.A. de C.V. para para las cuales se determinó la tensión superficial.

Los datos de tensión obtenidos con el tensiómetro para cada una de las muestras de pintura; Arquimavel y Policreto proporcionadas por Curacreto S.A. de C.V. y una muestra Comercial de

pintura se evaluaron con el modelo de calibración y se obtuvieron los resultados que se observan en la figura 7.

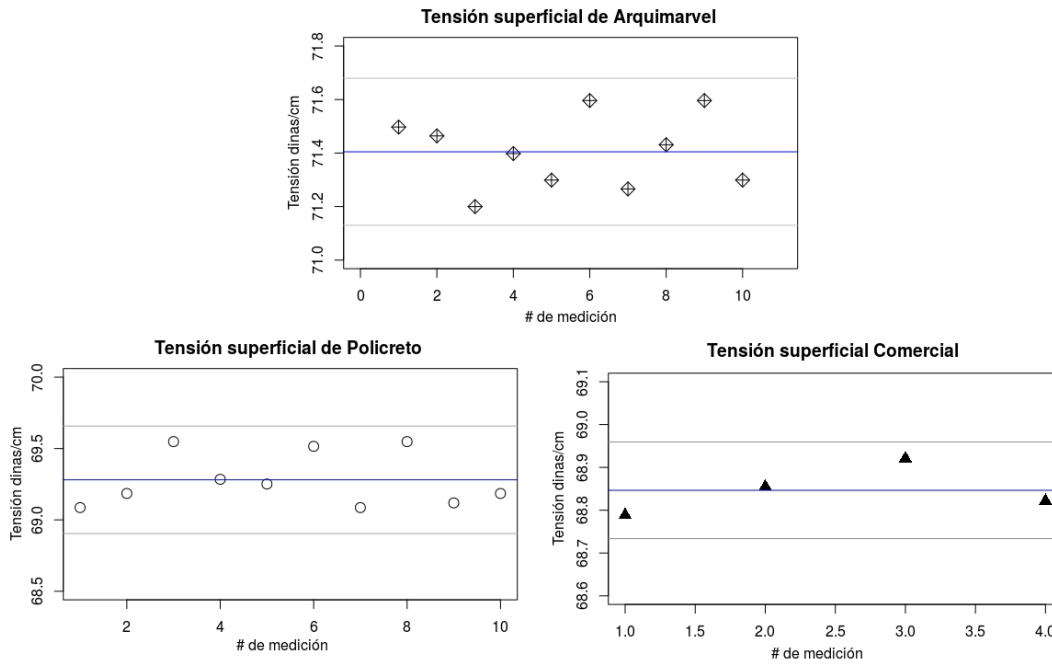


Figura 7. Dispersión de los datos de tensión superficial para las pinturas. La línea azul muestra el valor central de las tensiones superficiales, las grises el valor de la desviación típica.

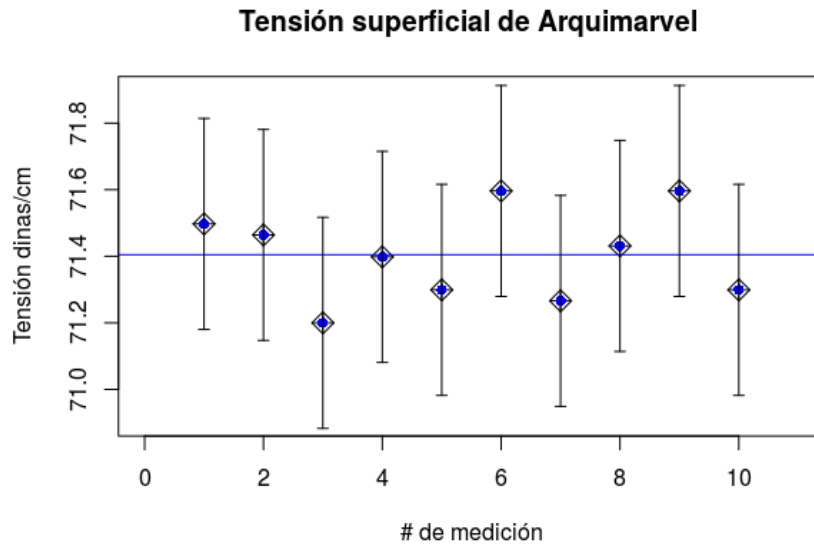


Figura 8. Dispersión de los datos de tensión respecto su valor de tensión medio. Las barras de error tienen la magnitud de la incertidumbre.

Los resultados de tensión promedio, y el valor de la incertidumbre sin y con correlación se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Tabla de resultados de la determinación de la Tensión superficial.

Pintura	Tensión Superficial	Incertidumbre con correlación	Incertidumbre sin correlación
Arquimarvel	71.404(7)	0.0472(1)	0.317(0)
Policreto	69.280(8)	0.0759(8)	0.290(9)
Comercial	68.846(5)	0.0832(2)	0.286(0)

CONCLUSIONES

El modelo de calibración es lo suficientemente robusto para determinar la tensión superficial dentro de un margen aceptable de variación (figura 8), porque las barras de incertidumbre respecto a cada resultado tocan la magnitud de la media. También la nula dependencia de modelo en propiedades particulares del fluido de estudio, hacen que el modelo pueda ser utilizado para fluidos puros y mezclas. Además de no existir datos de tensión superficial en la literatura con que comparar y que la mezcla sea tan compleja que no se puede determinar por alguna correlación, se puede confiar en el resultado, ya que la calibración del modelo se efectuó explícitamente en tensión.

BIBLIOGRAFÍA

1. Neurtek Instruments, Tensión superficial, España, www.neurtek.com/es/recubrimientos/tension-superficial
2. Gail Masutani and Michael K. Stenstrom, "A review of surface tension measuring techniques, surfactants, and their implications for oxigen transfer in waste water treatment plants", (Water Resources Program, School of engineering and Applied Science, University of California, Los Angeles. 1984). pp, 4-29.
3. Bruce E. Poling, John M. Prausnitz, John P. O'Connell, "The Properties of Gases and Liquids", Fifth Edition, McGraw-Hill, 2004. Chapter 4 pp 632,
4. Díaz Julio C, Becerra Luis O, Peña Luis M, Pulido Olga V, Castillo Florianne, Bravo Ulises I., "Cálculo de tensión superficial mediante el método de pesada hidrostática", Centro Nacional de Metrología, Simposio de Metrología 2006.
5. Julio C. Díaz. J., Luis O. Becerra. S. "Tensión Superficial, Importancia de las Mediciones en la Metrología de Densidad con un Valor de Incertidumbre Aceptable", Centro Nacional de Metrología, Simposio de Metrología 2008, SM2008-M108-1050.
6. Manual del Ingeniero Químico, Robert H. Perry, et al, 6th ed, McGraw-Hill, pp 3-336, 1992.
7. H. H. Zuidema and G. W. Waters, "Ring Method for the Determination of Interfacial Tension", Ind. Eng. Chem. (1941), Vol. 13, pp 312.
8. W. D. Harkins and H. F. Jordan, "A method for the determination of surface and interfacial tension from the maximum pull on a ring" J. Am. Chem. Soc. , (1930), Vol. 52.
9. M. T. Toral, F. J. Garfias, "Métodos de determinación de tensiones superficial e interfacial y su clasificación por la simetría de la intercara", Sociedad Química de México, Vol. 24 (1980). pp 10-22.
10. N. B. Vargaftik, B. N. Volkov, L.D. Voljak, "International Tables of the Surface Tension of Water", J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 12, No 3, (1983). pp 819.
11. Curacreto S.A. de C. V. Productos, pinturas y texturizados, Arquimarvel, <http://www.curacreto.com.mx/pinturas/decorativas/arquimarvel.html>.
12. JCGM 100, "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida", Centro Español de Metrología, (2008), pp. 22,24.

COMPETITIVIDAD A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LEAN HUMAN EN UNA EMPRESA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS EN EL ESTADO DE GUANAJUATO

Víctor Hugo de la Cruz Madrigal, María del Socorro Elizabeth Torres Vazquez, Jaime Pérez Cortés, Ana Celene Cuevas Zuñiga.

Universidad Politécnica Bicentenario

RESUMEN

Lean Human da el lugar que le corresponde al capital más valioso de las organizaciones, el capital Intelectual, recordando que no solo basta estudiar y capacitarse, lo más importante es educar al capital humano para que aplique los conocimientos adquiridos en el campo de trabajo. Por esta razón en este artículo de estudio se presenta una aplicación del sistema Lean Human para mejorar la competitividad en una empresa de inyección de plásticos, minimizando el inventario en proceso e igualando la producción acorde a las exigencias del cliente, obteniéndose una relación trabajador-cliente comprometida con el mejoramiento y una mayor flexibilidad en las operaciones, a través de fomentar la cultura de mejora continua e integrar equipos de alto rendimiento. En consecuencia, se obtuvo una reducción del inventario en proceso del 60%, el tiempo total de entrega disminuyó un 21%, se incrementó el número de piezas de 62 a 70 por hora, todo esto manteniendo el mismo número de personas, evitando la rotación continua del personal.

Palabras clave—Competitividad, inventario en proceso, Lean human, mejora continua, equipos de alto rendimiento.

INTRODUCCIÓN

Espejo y Moyano (2007) argumentan que actualmente las empresas necesitan encontrar soluciones en su modelo de gestión para afrontar determinados retos a los que la competencia, el mercado y el entorno institucional las somete. Dichos retos están relacionados con, rapidez en los tiempos de entrega, desarrollo e innovación de nuevos productos, entregas en lotes más pequeños y frecuentes, precios con tendencia decreciente, cero defectos y alta calidad en los productos. Con este escenario Womack *et al* (1991) definen que la manufactura esbelta hacer más eficiente los procesos con menos mano de obra, menos equipo, menos espacio y menor tiempo de entrega, produciendo solo lo que el cliente quiere al eliminar los desperdicios de improductividad tales como sobreproducción, inventario, transporte, movimientos, reprocesos, tiempo, rechazos. De este modo Espejo y Moyano (2007) adiciona un octavo desperdicio talento humano.

Liker y Meier (2004) Puntualizan este nuevo escenario ha ocasionado la búsqueda de nuevas alternativas en los modelos de gestión a garantizar el cumplimiento de las necesidades de los clientes y de este modo reforzar la posición competitiva de la empresa. En consecuencia, Benders (2012) ha detectado una tendencia hacia la adopción del modelo lean human para mejorar la competitividad de las empresas tanto cualitativamente como cuantitativamente bajo la utilización del recurso humano.

Dalgobind y anjani (2009) contextualizaron que la manufactura esbelta es aplicable en cualquier tipo de empresa. Sin embargo, la implementación de las herramientas de manufactura esbelta requiere el entendimiento de su filosofía y dar seguimiento a los procesos etapa por etapa para

asegurar la correcta aplicación de la misma. No obstante, Cuatrecasas (2007) menciona que pequeñas empresas han tenido dificultades durante la implementación debido a la escasez de mano de obra calificada, la falta de recursos y un centro de entrenamiento. Además, Dalgobind y anjani (2009) indican que dichas empresas cuentan con restricciones financieras y el tiempo limitado. Esto hace la implementación de la manufactura esbelta más difícil. Similarmente estas empresas a menudo se enfrentan a inercia cultural para superarse, pero qué hacen que sea más difícil de establecer la filosofía y la cultura necesaria en apoyarse en las herramientas de manufactura esbelta.

Señala Dalgobind y anjani (2009) en la implementación de la manufactura esbelta debe estar directamente relacionada con la motivación y la satisfacción de los trabajadores, esto debe incluir un balance adecuado entre habilidades y la autonomía para la ejecución de tareas con las instrucciones establecidas en el flujo de información del proceso, además el factor cultural es clave en la formación, diseño, implementación de células de manufactura y operación de equipos autónomos de producción.

Para medir el grado de compromiso de los directivos con este modelo; liderazgo en calidad, establecimiento grupos de mejora, formación permanente a los trabajadores y delegación de responsabilidad en los trabajadores. En tanto Womack y Jones (2003) agrega que la cualificación no solo se basa en la transmisión y conocimientos en el puesto de trabajo, sino en la formación continua, la rotación de tareas entre los trabajadores, además Spear y Browen (1999) argumentan la necesidad de adquirir y fomentar una cultura de cooperación. No obstante Espejo y Moyano (2007) subrayan que debe ser el propio empresario en adquirir la formación necesaria del modelo. Así mismo Ifechukwude y Spencer (2010) proponen el objetivo principal de lean human es potencializar el talento humano en las operaciones del proceso con la convicción de mejorar la ventaja competitiva en el mercado.

En este sentido la habilidad y la disponibilidad al cambio de los trabajadores y directivos es la primera causa de éxito en la implementación del modelo lean human a través del análisis de las variables de estudio tales como; inventario en proceso, capacidad de producción, tiempo total de entrega, junto con el factor humano quien es la parte medular del proceso. Mientras tanto en la presente investigación es necesario tener una cultura lean desarrollada en las empresas, como señala Onho (1991) que si no hay un estándar en los procesos de manufactura, no puede haber una mejora continua, que permita llevar a cabo la aplicación del modelo lean human.

Con el presente trabajo se pretende evaluar el estado actual del modelo lean human que lo han adoptado en la industria automotriz en México y en particular una empresa de inyección de plásticos, manufactura y ensamble en el estado de Guanajuato al examinar el papel que desempeñan los recursos humanos en este modelo. Aunado a esto Ifechukwude (2010) menciona para que el modelo se exitoso en las empresas es necesario trabajar cuando y donde se requiere.

Por lo tanto, la problemática principal que se presentó en la empresa de inyección de plásticos fue el mejorar el nivel de inventario en procesos y el aprovisionamiento de material que provoca un flujo irregular entre las estaciones de trabajo, generándose tiempos de espera. En consecuencia, se desequilibran las operaciones del proceso, así mismo afecta directamente la eficiencia de célula con el propósito de tener un equipo autónomo de producción quien es el responsable de producir con calidad en el momento correcto, la cantidad correcta, con política no acepto, no produzco, no envío defectos a la operación subsecuente.

Dentro de la productividad de clase mundial, en el sector automotriz, está la filosofía manufactura esbelta, por lo tanto, lean human compete a un tópico reciente que se está adoptando en las empresas. Que para este caso correspondió en una empresa de inyección de plásticos. En tanto se pretende combinar el capital humano con el desempeño de los procesos de manufactura lográndose la integración de lean human. Este modelo está centrado en la cultura organizacional que implica la formación de equipos de trabajo de alto rendimiento, así como su capacitación y desarrollo contante en las herramientas de manufactura esbelta para generar una cultura de mejora continua, utilizando el plan de mejora continua; plan, hacer, verificar, actuar y talleres Kaizen que permiten realizar las mejoras al proceso

MÉTODOS

Benders (2012) menciona la estructura y el carácter de cualquier organización son fundamentales para determinar la dirección y las acciones a seguir dentro de la misma. Aunado a esto Rupy y Stewart (2005) proponen que la estructura organizacional debe ser de tal manera que los mandos medios sean más participativos y se involucren aún más en la parte operativa, en lugar de girar instrucciones de trabajo solamente. Por lo tanto, consideran Ifechukwude y Spencer (2010) que los mandos medios al ser más participativos y comprometidos permiten a los trabajadores proponer acciones de mejora en los procesos, de tal manera se fomenta la mejora continua, un pilar importante en la manufactura esbelta, en consecuencia, se convierten en líderes por sus decisiones y acciones hacia el logro del objetivo. Mientras tanto Benders (2012) menciona a la estructura organizacional como parte medular en la aplicación de lean human compatible con el objetivo principal de satisfacer los requerimientos del cliente en el momento que los necesita. Por lo tanto, tener conocimiento de las políticas, valores y en general la cultura organizacional será de gran valor en la implementación de lean human dentro de la empresa.

Para que el modelo se exitoso Espejo y Moyano (2007) subrayan las empresas necesitan tener una base de datos en la que incluyan las habilidades o capacidades de cada trabajador. Dichas habilidades las agrupan 3 categorías a) técnicas, c) humanas, c) conocimientos de los principios lean. Una vez que se conocen dichas habilidades del personal se establecen los planes de formación más adecuados, se asigna al trabajador al puesto más idóneo y se establece un sistema de recompensa.

Lean Alony y Jones (2008) requiere la formación de equipos de trabajo de alto rendimiento donde cada uno de sus miembros adquiera múltiples competencias. El trabajo en equipo debe ser autonomo y necesitan mejorar continuamente su desempeño en los procesos de manufactura, así como cambios que pueden significar retos para la organización.

Este análisis Rother y Harris (2001) incluyen la formación de equipos autónomos de producción encargados de la supervisión, calidad del producto, fabricación y paros de células cuando se detectan fallas menores en el proceso con un líder de célula capaz de capacitar a sus compañeros y en un momento dado suplirlo en caso, de ausentarse del trabajo por motivos personales y de salud para no afectar significativamente la productividad de la célula. No obstante, Modrák (2009) propone que los trabajadores de una célula de manufactura deben ser multihábiles, es decir que cada uno de ellos es capaz de realizar diferentes operaciones al interior de la célula en caso de faltar alguno de ellos. En tanto Dalgobind y Anjani (2009) afirman que esto no es sorpresa porque las empresas han optado por la formación de trabajadores con múltiples habilidades, con categorías diferentes tales como 1 excelente, 2 muy bien, 3 bien, 4, promedio, 5 abajo del promedio, 6 satisfactorio, 7 no satisfactorio.

A continuación, se muestra en la figura 1, las estaciones y el número de personal que existía en un inicio, junto con las actividades correspondientes que hacía cada uno de los trabajadores en sus áreas respectivas.

Trabajadores	Estaciones de trabajo						
	Ensamble calentador	Ensamble de recipiente	Cableado	Fondo y pruebas de control	Ensamblado de portafiltro	Ensamble de jarra	Ensamble individual y colectivo
1	C						
2		C					
3			C				
4				C	C		
5						C	C

Fig 1. Matriz de la situación inicial en la empresa.

Para tener un equipo de trabajo de alto rendimiento debemos conocer sus características de este y como es que fue la aplicación a nuestro estudio.

Primeramente, nos basamos en las 6 etapas de Mazuela para hacer un buen equipo de trabajo, con nuestros 5 trabajadores permanentes en el área de producción y se muestran a continuación:

Aprovechar las sinergias de trabajar juntos: Es importante darles a conocer al grupo de trabajo que existe “algo” (mucho o poco) que puede dar un valor agregado o fuerza a los demás, cuando se trabaja en equipo y que con el fruto y/o aportación de todos en su conjunto se puede llegar más lejos y con mejores resultados.

La misión del equipo: El equipo debe tener bien en claro la misión del mismo, en nuestro caso, nuestra misión del equipo es “Minimizar el inventario y nivelar la producción acorde a las exigencias del cliente, obteniéndose una mayor flexibilidad en las operaciones”

Objetivos grupales e individuales: Como objetivos grupales se consideran dos: a) Lograr un control de inventario en el área de producción y b) Fomentar la cultura de mejora continua, como objetivos individuales, cada uno de los integrantes del equipo deben tener una postura y dirección firme, dispuestos a ayudar y aceptar ayuda cuando se necesite.

Liderazgo: Si bien es importante tener un líder en nuestro equipo de trabajo de alto rendimiento, es muy beneficioso compartir el liderazgo según lo menciona Mazuela, ya que en las personas existe una interdependencia mutua en las capacidades, aptitudes, talentos y recursos que cada uno podemos ofrecer a los demás, es decir, el líder asigna una determinada tarea a un miembro del equipo, pero este a su vez también tiene la capacidad para desarrollar y/o apoyar cualquier otro rol del equipo.

Apoyo Mutuo: Aquí les creamos conciencia al equipo de trabajo que debe existir apoyo mutuo para los momentos difíciles y también cuando los momentos son los mejores.

Motivación mutua: Esta es una de las etapas más importantes ya que mientras tengas a tu equipo de trabajo motivado, estos desarrollarán mucho mejor su trabajo y los resultados serán mejores, en esta etapa no solo se reconoce su trabajo económicamente hay otros factores importantes para mantener motivado a una persona, uno de ellos, aplicable al caso fue la incorporación como socios a la empresa y con ello hacerlos sentir parte importante de la empresa, otro punto de motivación fue el reconocimiento ante la compañía sobre los logros personales y grupales.

En base a lo anterior mostramos en la Fig. 2 cómo empezó el equipo de trabajo de alto rendimiento antes de la aplicación de estas etapas, se califican las habilidades que tienen los trabajadores en cada una de estas, considerando 1 = Excelente, 2 = Muy bien, 3 = Promedio, 4 = Satisfacción, 5 = No satisfactorio.

Trabajador	1	2	3	4	5
Aprovechar las sinergias de trabajar juntos	3	4	2	5	1
La misión del equipo	2	5	3	4	1
Objetivos grupales e individuales	3	2	4	5	1
Liderazgo	2	5	4	3	1
Apoyo Mutuo	3	4	5	2	1
Motivación Mutua	4	3	2	5	1

Fig. 2. Matriz de selección de trabajadores para las etapas del EAR.

A continuación, se muestra en la Fig. 3 los resultados en la aplicación a las etapas de alto rendimiento reduciéndose a 5 trabajadores distribuidos en 5 estaciones de trabajo que componen la célula reestructurada, donde el trabajador 1 se pueden desplazar de la estación 1 a la estación 2 y 3, el trabajador 2 se desplaza de la estación 2 a la estación 3, el trabajador 3 se desplaza de la estación 3 a la estación 2, el trabajador 4 se desplaza de la estación 4 a la estación 3 y el trabajador 5 se desplaza de la estación 5 a la estación 4 y 3. Observando con esto, que todos los trabajadores tiene la habilidad de trabajar en nuestra estación 3 crítica “Pruebas de Control y Ensamble de tubo nivel de cafetera”. Esta matriz ayuda a establecer equilibrio en el proceso y a tener flexibilidad, colocando el número de operadores acorde a demanda del cliente mes a mes, establecida por el takt time.

Trabajadores	Estaciones de trabajo				
	Ensamble calentador con soporte	Cableado y cerrar fondo	Pruebas de control y ensamble de tubo nivel en cafetera	Ensamble de portafiltro y jarra	Empaque individual y colectivo

1	C	C	C		
2		C	C		
3		C	C		
4			C	C	
5			C	C	C

Fig. 3. Matriz multihabilidad.

Mientras tanto es importante tener capacitación en los tópicos de manufactura esbelta como kanban, 5 s, SMED, TPM, Sin embargo, lo más importante es entrenar a la gente en las habilidades básicas en la solución de problemas y a colaborar en equipo a través de talleres de mejora continua que ayudan a desarrollar múltiples competencias para que identifiquen y resuelvan los problemas que se les presentan. Liker y Meier (2007) hacen hincapié que el desarrollo del personal es lo más importante para las empresas. De esta manera se adquiere un alto nivel de compromiso hacia la mejora continua. Liker (2004) propone darle seguimiento a través del plan de mejora continua desarrollado por Deming. Por consiguiente, la gente estará preparada para detectar problemas de calidad en los productos y resolverlos: a) los miembros del equipo deben ser capacitados para entender los estándares, b) los miembros del equipo deben ser capacitados en métodos de solución de problemas, c) los miembros del equipo deben ser motivados para ayudar a la empresa a lograr los objetivos

Propone Ifechukwude y Spencer (2010) la motivación del personal es un factor clave en el desempeño del capital humano, acompañado de un paquete de prestaciones laborales, buen ambiente de trabajo, mejores condiciones de trabajo, capacitación y desarrollo en herramientas de manufactura esbelta, adicionalmente Liker (2007) menciona que las empresas promuevan oportunidades de formación constante y un plan de carrera para su personal con iniciativa, motivación y la disponibilidad de asumir diferentes roles y responsabilidades e involucrarse y tomar decisiones importantes que contribuyan a la organización. Por lo tanto, el éxito de las empresas es simple debido al talento y conocimientos de su personal que se distingue con respecto a otras empresas.

En la presente investigación se enfocó a la mejora continua en la empresa de inyección de plásticos en el estado de Guanajuato a través de la aplicación de lean human, de acuerdo a un análisis, se determinó como variables principales para incrementar la competitividad, considerando las variables; inventario en proceso, tiempo de espera, balance de operaciones, aprovisionamiento de material. Se diseñó un cuestionario que se llevó a cabo a 30 personas como el staff de producción, supervisores, gerentes de área. Se entrevistó a las personas acerca de los factores que influyen en la problemática de estudio.

En este caso se observó el proceso de manera directa para medir el impacto de las variables a través de un estudio de tiempos y movimientos que permite determinar el tiempo de ciclo de las operaciones en cada estación de trabajo, así como los tiempos de inactividad, agregan Rother y Harris (2001) que el tiempo de ciclo es la frecuencia con la que sale en realidad una pieza terminada.

Señala Meyers (2000) con esta información se llevó a cabo el balance de las operaciones partiendo de la gráfica de balance que indica los tiempos de ciclo de cada estación de trabajo. Por consiguiente, el tiempo mayor de ciclo es la estación cuello de botella quien establece la capacidad de producción que tiene la célula. Para ello Rother y Harris (2001) la necesidad de asignar al trabajador más hábil en esa estación quien será el responsable de coordinar a sus compañeros conforme a la matriz multihabilidad que indica el nivel de habilidad que desarrolla cada trabajador. En tanto Rother y Harris (2001) consideran evaluar el flujo de material y de información con el diseño de la distribución de planta con la ayuda de trabajadores, líderes de equipo y supervisor que son esenciales para lograr que el flujo funcione, manteniéndolo, al encontrar maneras de mejorarlo continuamente, a través del plan de mejora continua. En este sentido los trabajadores necesitan enfocarse hacia la mejora continua en los procesos.

RESULTADOS

En la presente investigación se estudió la problemática de inventario en proceso, tiempos de espera desequilibrio de las operaciones debido al aprovisionamiento de material. y los resultados de la investigación final se muestra a continuación en el cuadro 1:

Resultados	Porcentaje
Se redujo el inventario en proceso	66%
Se redujo el tiempo de espera	4%
Incremento de la productividad	14%
Abastecimiento de material mejoró	2.5%
Se redujo el lead time en	21%

Cuadro 1 Resultados finales.

CONCLUSIONES

Una implicación significativa de acuerdo a los resultados de estudio, fue obtener la eficiencia productiva a través de lean human, con el objetivo de incrementar competitividad y obtener un equipo autónomo de producción al formar equipos de alto rendimiento. Así mismo, con el análisis obtenido, puede ser aplicable, a otras organizaciones que cuenten con procesos similares.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alony I and Jones M Lean supply chains, JIT and cellular manufacturing– the human side, *University of Wollongong, Wollongong, Australia, 2008.*
2. Benders J. **Lean human resources; redesigning HR processes for a culture of continuous.**

3. **Improvement, by C. M. Jekiel**, International Journal of Production Research, 50:4, 1237-1238, 2012.
4. Cuatrecasas Lluís, Nadal Jordi, **Herramientas e indicadores de control para la mejora proceso de acuerdo con los principios de la producción lean**, *Universidad Politécnica de Catalunya, 2007.*
5. Dakgibind, M. and Anjani, K. The effect of Lean manufacturing on Product quality and Industrial Productivity: and empirical Survey, APEM, Journal, Vol, 4, 2009 pp 221-232.
6. Espejo Alarcón M, Moyano Fuentes J, **Lean Production: Estado Actual y Desafíos Futuros de la Investigación**, Universidad de Jaén, 2007.
7. Ifechukwude K. Dibia and Spencer Lean Revolution and the Human Resource Aspects, Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 Vol III WCE 2010, June 30 - July 2, 2010, London, U.K.
8. Liker, J. and Meier D. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturing**, McGraw-Hill © 2004.
9. Liker, J. and Meier D **Toyota Talent; Developing your People Toyota Way**, **McGraw-Hill, 2007.**
10. Marmaduke Kilpatrick Auston, **Lean Manufacturing Principles: A Comprehensive Framework for Improving Production Efficiency**, Massachusetts Institute of Technology, 1997.
11. Mazuela Llanos Alberto, **Diez herramientas de gestión organizacional**, 2a. Parte. Madrid. Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2012.
12. Meyers Fred E, **Estudio de tiempos y movimientos: para la manufactura ágil**, segunda edición, Prentice Hall, 2000.
13. Modrák Vladimír, **Case on Manufacturing Cell Formation Using Production Flow Analysis**, World Academy of Science, Engineering and Technology 49 2009, pp 519-523.
14. Ohno Taichi, **El sistema de producción Toyota más allá de la producción a gran escala**, Gestión 2000, Barcelona, 1991.
15. Rother M. and Harris R, **Creando Flujo Continuo**, The lean Enterprise Institute, USA, 2001.
16. Rupy S and Stewart C **Human Behavior Based Exploratory Model for Successful Implementation of Lean Enterprise in Industry**. University of Tennessee, 2005.
17. Spear Steven, Bowen Kent, **Decoding the DNA of the Toyota Production System**, Harvard College, 1999.
18. *Schonberger R. The Human Side of Lean*, Target Fourth Issue 2009.
19. Womack James P, Jones T Daniel, Roos Daniel, **La máquina que cambió al mundo**, McGraw-Hill, 1991.
20. Womack James P., Jones T Daniel, **Lean Thinking**, Free Press, USA, 2003.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CONCENTRADOR DE SOL AUTOMÁTICO DISCO PARABOLICO PARA ALIMENTAR A UN MOTOR STIRLING

Javier Hernández Pérez, Salatiel García Nava, Julio Gerardo Duran Candelaria, Julio Cesar De Dios García, José Gerardo Benítez Morales, Maricela Villanueva Ibáñez, Crhistopher J. Paul, Miguel Ángel Aguilera Jiménez, Erick Robles González, Jaqueline Alvarado Sánchez.

Universidad Politécnica de Pachuca.

Michigan State University

RESUMEN

Los sistemas de concentración solar absorben energía solar para generar energía eléctrica limpia, libre de y de consumo de agua, lo cual es de suma importancia debido a los problemas presentes de calentamiento global y contaminación ambiental. Por esta razón es primordial desarrollar nuevas tecnologías para generar energía limpia y renovable. En este proyecto, se reutilizó una antena parabólica satelital de un diámetro de para el concentrador solar, se añadió una superficie reflectiva (Acero Inoxidable con acabado espejo de), acorde a las necesidades de diseño para alcanzar necesarios para el correcto funcionamiento de motor Stirling. Para el sistema se realizó un prototipo escalado en base al diseño real, en cual se aplicó el NREL's Solar Position Algorithm (SPA)¹, utilizando una tarjeta Arduino, un módulo de tiempo real y un algoritmo de posicionamiento para controlar a los motores CD, ubicándolos respecto al azimuth y zenith calculados mediante el programa implementado. Al realizar pruebas de concentración e implementando un termopar tipo k, se obtuvo una temperatura de 700°C . Se corroboró el funcionamiento del algoritmo de control mediante pruebas realizadas a lo largo de una semana donde se observó el seguimiento de la trayectoria del sol. Es posible construir un concentrador de sol automático para alimentar a un motor Stirling de bajo presupuesto.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existen regiones marginadas principalmente en zonas montañosas en donde no existe una alimentación de red eléctrica por lo que resulta conveniente la utilización de plantas generadoras de electricidad o celdas o fotovoltaicas sin embargo las dos tienen inconvenientes como como consumo de combustibles fósiles y para las celdas fotovoltaicas se requiere de una gran inversión y tienen poca eficiencia por lo que el presente proyecto pretende solucionar este problema con el diseño de un sistema disco parabólico solar con motor Stirling, el disco parabólico solar es un concentrador solar que en su punto focal alcanza grandes temperaturas que son la alimentación de energía del motor Stirling ya que estos pueden convertir la energía calorífica en energía mecánica y posteriormente con un generador eléctrico esta energía se puede convertir en energía eléctrica así como acondicionarla para su almacenamiento en baterías y posterior utilización.

Para que el sistema alcance su óptimo funcionamiento se requiere que el disco parabólico siga al sol para poder absorber la mayor energía posible solar. Para el sistema se realizó un prototipo escalado en base al diseño real, en cual se aplicó el NREL's Solar Position Algorithm (SPA)¹,

utilizando una tarjeta Arduino, un módulo de tiempo real y un algoritmo de posicionamiento para controlar a los motores CD, ubicándolos respecto al azimuth y zenith calculados mediante el programa implementado

OBJETIVO

Diseñar y construir un prototipo capaz de orientar al disco parabólico de forma que éstos permanezcan aproximadamente perpendiculares a los rayos solares, siguiendo al sol desde el este en la alborada hasta el oeste en la puesta.

TEORÍA

Tipos de colectores de concentración

Existen diferentes tipos de colectores de concentración atendiendo a la geometría del colector. Como muestra la Fig. 1 [3] el colector lineal está formado por un cilindro parabólico en forma de espejo y un tubo ubicado en el foco de la parábola, por el cual circula el fluido a calentar. El colector puntual está formado por una superficie de revolución reflectora que concentra la radiación solar sobre un punto focal en el que se encuentra el receptor de calor y, por último, el colector central se distribuyen concéntricamente los espejos planos reflectantes.

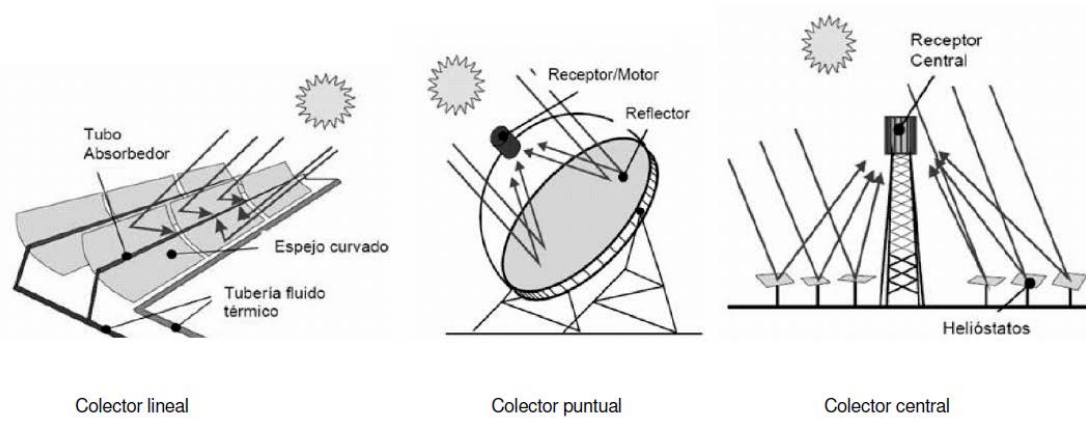


Figura 1 Tipos de colectores solares

EL CICLO STIRLING

Conversión termodinámica

Un sistema de disco parabólico-ciclo Stirling consta de un colector puntual de gran diámetro con un motor de combustión externa tipo Stirling ubicado en su foco. El colector realiza seguimiento solar continuado, de manera que los rayos solares son reflejados en su foco (receptor), obteniéndose varias decenas de kW.

El motor Stirling es un motor de combustión externa que emplea el ciclo termodinámico del mismo nombre y que presenta dos ventajas que le hacen muy adecuado para esta aplicación:

- Es de combustión externa, por lo tanto el aporte energético puede realizarse mediante la radiación solar recogida por el colector y concentrada en su foco.
- Es un ciclo de alto rendimiento térmico.

El motor Stirling lleva acoplado un alternador, de manera que dentro de un mismo bloque situado en el foco del colector se realiza la conversión termodinámica de la energía luminosa en electricidad que se puede inyectar en la red eléctrica o bien destinarla a consumo directo en alguna aplicación próxima al lugar de emplazamiento.

El rango óptimo de potencias para ser competitivo en el mercado energético estaría en el orden de unas decenas de kilowatts donde aspiraría a competir con sistemas ya comerciales como los fotovoltaicos o los generadores diésel.

Funcionamiento del ciclo Stirling

Un motor Stirling es un motor de ciclo cerrado, lo cual implica que el fluido de trabajo (aire, helio o hidrógeno) está encerrado en el motor y los pistones lo desplazan en las diversas etapas del ciclo. El elemento más destacado del motor es el llamado regenerador. Éste tiene la propiedad de poder absorber y ceder calor en las evoluciones a volumen constante del ciclo. El regenerador es un medio poroso, con conductividad térmica despreciable que divide al motor en dos zonas: Zona caliente y zona fría. El fluido se desplaza de la zona caliente a la fría a lo largo de los diversos ciclos de trabajo, atravesando el regenerador.

Los elementos a tener en cuenta en el ciclo Stirling [7] son:

el cilindro, el pistón, el fluido y el desplazador

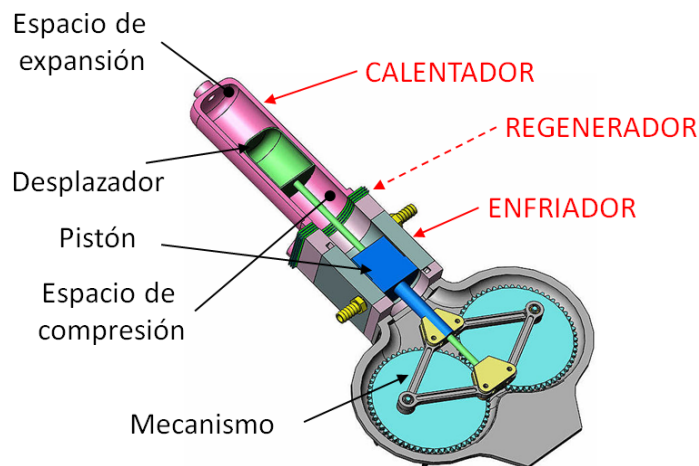


Figura 2 Partes de un motor Stirling.

Se parte de la posición 1 en el que el desplazador, colocado en el interior del cilindro, ubica todo el fluido en la zona fría y el pistón se encuentra en la posición inferior. Cuando el pistón pasa de la posición 1 a la 2 se realiza una compresión isotérmica a la temperatura inferior. El proceso es representado en un diagrama presión – volumen. Si se mantiene fijo el pistón y se mueve el desplazador, para hacer pasar todo el aire a la zona caliente, se tiene un proceso isocórico en el que sin variar el volumen aumenta la presión (posición 2 – 3). En este momento se puede obtener una expansión isotérmica a la temperatura más elevada, haciendo bajar juntos el pistón y el desplazador (posición 3 -4). Moviendo el desplazador a la posición inicial se obtendrá otro proceso isocórico que finalizará el ciclo termodinámico (posición 4 -1).

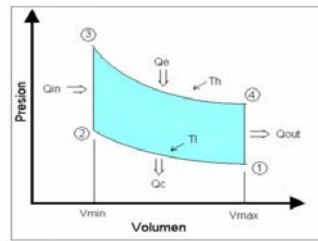


Figura 3 Diagrama Presión-Volumen de un ciclo Stirling

La configuración propuesta para el motor Stirling es la de tipo híbrido este tipo de motor el desplazador es libre y se mueve debido a las diferencias de presiones que existen entre el desplazador y el pistón. Para el diseño de un motor stirling de bajo costo se trabajó con un motor a gasolina de un generador comercial de 2 hp como y a partir de este se realizan las modificaciones para construir el motor Stirling.

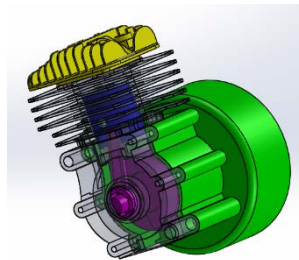


Figura 4 Motor de combustión interna para un generador de 2Hp

Posteriormente se diseñaron los componentes adicionales para el motor como se muestra a continuación

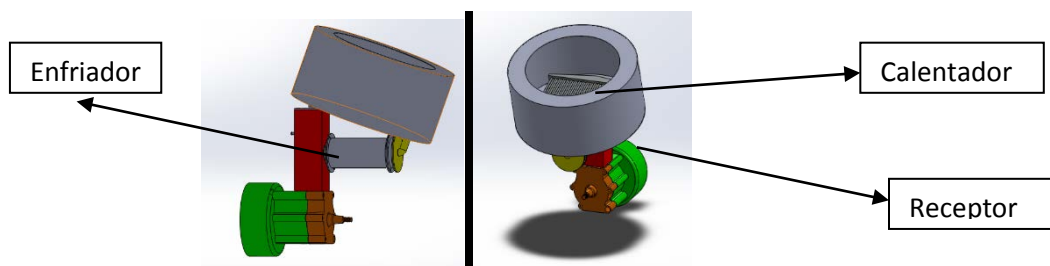


Figura 5 Motor de combustión interna con modificaciones para ser un motor stirling

Básicamente el enfriador es un intercambiador de calor que contiene internamente 20 tubos de acero inoxidable de diámetro exterior 4.8mm y 3 mm de diámetro interior cubiertos por una envoltura cilíndrica de acero inoxidable y dentro del enfriador también se encuentra el regenerador que es una malla de alambre de acero inoxidable de 200 x 200

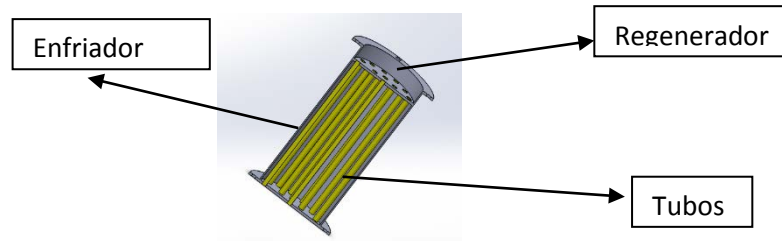


Figura 6 Corte interior del enfriador

Para el calentador que es el dispositivo que obtiene el calor del calentador solar el se muestra a continuación este es un intercambiador de calor pero los tubos tiene aletas para mejorar la captación de calor por radiación

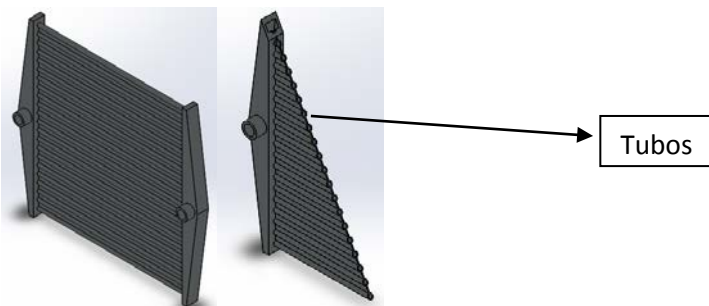


Figura 7 Calentador

Por último se presenta el diseño del sistema completo con el concentrador solar de disco parabólico

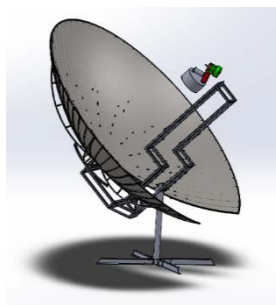


Figura 8 Sistema completo disco parabólico – motor Stirling

Seguimiento solar

La altura (h) es la distancia angular entre el astro S y el punto P (punto de intersección entre la vertical, que pasa por el astro y el horizonte). Este ángulo se puede medirlo con el cuadrante. Para nosotros, la elevación del sol es el ángulo que forma la dirección de su centro geométrico y el horizonte local del observador. El acimut (a), se mide sobre el horizonte, y es el ángulo comprendido entre el punto cardinal Norte (que se toma como origen) y el punto P siguiendo el sentido de las agujas del reloj. De esta forma un acimut de 90° corresponde al punto cardinal este. El Zenith es el punto de la esfera celeste situado en la vertical del observador, que corresponde, en vertical a un lugar determinado de la Tierra

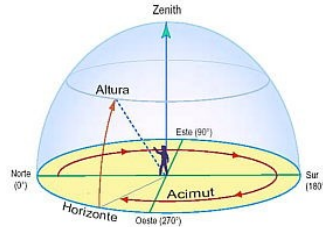


Figura 9 Ángulos de orientación solar acimut y zenith

El vector **S** se puede expresar como vemos en la figura en términos de dos ángulos α_s (altitud del Sol) y γ_s (acimut del Sol)

$$S = \cos \alpha_s \cdot \sin \gamma_s E + \cos \alpha_s \cdot \cos \gamma_s N + \sin \alpha_s Z \tag{1}$$

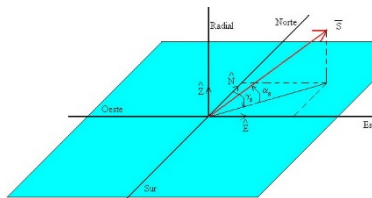


Figura 10 Sistema de referencia de un observador hacia el sol

Igualando las componentes, obtenemos tres relaciones:

$$\cos \alpha_s \cdot \sin \gamma_s = -\sin \omega \cdot \cos \delta \tag{2}$$

$$\cos \alpha_s \cdot \cos \gamma_s = \cos \lambda \cdot \sin \delta - \sin \lambda \cdot \cos \omega \cdot \cos \delta \tag{3}$$

$$\sin \alpha_s = \cos \lambda \cdot \cos \omega \cdot \cos \delta + \sin \lambda \cdot \sin \delta \tag{4}$$

De las cuales, solamente precisamos dos:

1. Obtenemos α_s la altitud del Sol

$$\sin \alpha_s = \cos \lambda \cdot \cos \omega \cdot \cos \delta + \sin \lambda \cdot \sin \delta \tag{5}$$

2. Obtenemos γ_s el acimut del Sol medido desde el Norte (positivo en el sentido de las agujas del reloj, hacia el Este)

$$\cos \gamma_s = \frac{\cos \lambda \sin \delta - \cos \omega \sin \lambda \cos \delta}{\cos \alpha_s} \tag{6}$$

Para calcular γ_s se precisa calcular el arco coseno que devuelve un ángulo entre 0-180°. Pero el acimut del Sol puede tomar un valor en el intervalo 0-360°.

El vector S se puede expresar como vemos en la figura en términos de dos ángulos α_s (altitud del Sol) y γ_s (acimut del Sol).

PARTE EXPERIMENTAL

De la parte experimental se desarrolló un prototipo a escala para determinar si realmente el disco parabólico sigue al sol el cual se muestra a continuación.

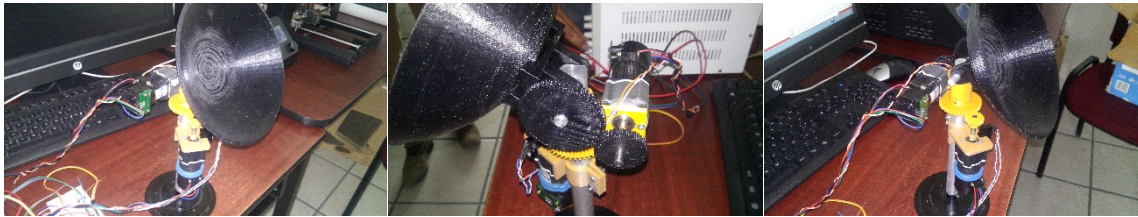


Figura 11 Prototipo a escala del seguidor del Sol

Se crea un programa en Matlab para dibujar el acimut y la altitud del Sol a cada hora, entre el orto y el ocaso. En el programa se realizan las siguientes tareas:

1. Introduce mediante el comando input

La latitud λ del lugar en grados

La fecha (día y mes), en forma de número de día N a lo largo del año

2. Calcula la declinación δ mediante la fórmula

Define la función anónima que calcula la altitud del Sol α_s mediante la fórmula

$$\alpha_s = \arcsin(\cos\lambda \cdot \cos\omega \cdot \cos\delta + \sin\lambda \cdot \sin\delta)$$

Define la función anónima que calcula el azimut del Sol $0 \leq \gamma_s \leq 180^\circ$ mediante la fórmula

5. Calcula el ángulo horario del Orto o del Ocaso tomando el mediodía como cero.

$$\Delta h = \arccos(-\tan\lambda \cdot \tan\delta)$$

Para convertir el ángulo en horas se tiene en cuenta que 15° equivalen a 1 hora. Se multiplica el ángulo en radianes por el factor de conversión $12/\pi$.

6. Se crea un vector w de ángulos correspondientes a las horas que van desde el valor entero de $-12 \cdot \Delta h / \pi$ (Orto) al valor entero de $12 \cdot \Delta h / \pi$ (Ocaso)

Conocidos la altitud del Sol α_s y el acimut γ_s para cada una de las horas. Calculamos el vector unitario de componentes (x,y,z) que señala la orientación del Sol en la esfera celeste y se grafica

$$\mathbf{S} = \cos\alpha_s \cdot \sin\gamma_s + \cos\alpha_s \cdot \cos\gamma_s + \sin\alpha_s \tag{7}$$

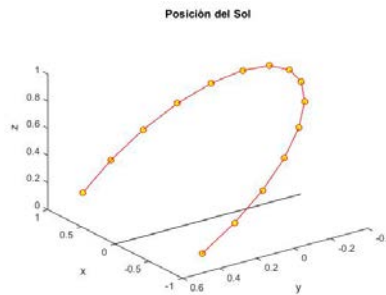


Figura 11 Orientación del sol desde el plano del observador

RESULTADOS

Si dibujamos la altitud del Sol en función del acimut en un determinado momento y en una localidad dada, obtendremos una figura similar a un ocho. Como hemos visto, la ecuación del tiempo nos da la diferencia entre el movimiento del Sol (medio) y el actual, en el cual se tiene en cuenta que la órbita de la Tierra es elíptica y el eje de la Tierra está inclinado respecto a la perpendicular a la eclíptica. A las 12 del mediodía el Sol alcanza su altura máxima $\alpha_{sm} = 90 - \lambda + \delta$, cuando su acimut γ_s es 180° . A lo largo de los 365 días del año, la hora local del mediodía no es constante debido a la corrección que introduce la ecuación del tiempo.

Si situamos nuestra cámara fotográfica en la misma posición y tomamos una fotografía del Sol a la misma hora local, superponemos las fotografías, veremos la figura de un ocho. Convertimos el tiempo Δt en minutos que nos suministra la ecuación del tiempo en desviación angular en grados teniendo en cuenta que 60 minutos, o una hora son 15 grados.

$$\Delta t = 229.18 \cdot (0.00075 + 0.001868 \cdot \cos(x) - 0.032077 \cdot \sin(x) - 0.014615 \cdot \cos(2x) - 0.040849 \cdot \sin(2x)) \tag{8}$$

Donde x se define en función del número de día N y la hora h

$$x = 2\pi 365(N - 1 + h - 1224) \tag{9}$$

El script realiza las siguientes tareas:

- Introduce mediante el comando *input* la latitud λ del lugar
- Define una función anónima que calcula el tiempo Δt en minutos, cuando se le pasa el parámetro x relacionado con el número de día N a lo largo del año.
- Define una función anónima que calcula la declinación δ , cuando se le pasa el parámetro x relacionado con el número de día N a lo largo del año.
- Determina la desviación angular en grados a los que equivale el tiempo Δt

- Determina la máxima altitud del Sol al mediodía $\alpha_{sm}=90-\lambda+\delta$,
- Representa mediante el comando *plot*, la desviación angular en el eje horizontal y la altitud máxima en el vertical

Este programa calcula los ángulos del cenit solar y del azimut en el periodo del año -2000 a 6000, con incertidumbres de +/- 0,0003 grados en base a la fecha, hora y ubicación en la Tierra. (Referencia: Reda, I, Andreas, A., Algoritmo de Posición Solar para Aplicaciones de Radiación Solar, Energía Solar, Vol. 76 (5), 2004, pp. En las siguientes imágenes se puede observar pruebas realizadas mediante la introducción de ciertos parámetros como; latitud, longitud, fecha y hora, y el resultado obtenido.

```

spa.year      = 2017;
spa.month     = 03;
spa.day       = 29;
spa.hour      = 15;
spa.minute    = 00;
spa.second    = 00;
spa.timezone  = -7.0; //IGN
spa.delta_utl = 0; //IGN
spa.delta_t   = 07; //IGN
spa.longitude = -98.6846117;
spa.latitude  = 19.9790996;
spa.elevation = 1830.14; //IGN
spa.pressure  = 820; //IGN
spa.temperature = 11; //IGN
spa.slope     = 30; //IGN
spa.azm_rotation = -10; //IGN
spa.atmos_refract = 0.5667; //IGN
spa.function  = SPA_ALL; //IGN
    
```

Figura 11 Programa en arduino

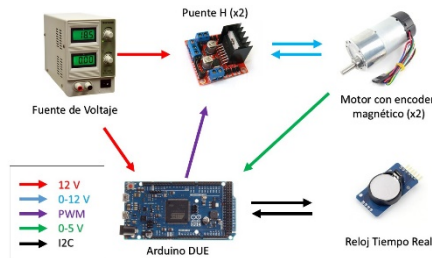


Figura 12 Diagrama de conexiones

Como se muestra en la figura, se utiliza una tarjeta Arduino para procesar los cálculos del azimuth y zenith, a su vez enviara por medio de PWM las señales necesarias para posicionar el motor a estas referencias, el proceso es cada media hora durante todo el día, para asegurar el correcto funcionamiento se conectó un reloj en tiempo real que nos servirá para llevar la cuenta de fecha y hora.

CONCLUSIONES

El prototipo valida la ecuación propuesta para orientar el concentrador solar tipo disco parabólico con incertidumbres de +/- 0,0003 grados en base a la fecha, hora y ubicación en la Tierra.

BIBLIOGRAFÍA

1. Reda, I.; Andreas, A. (2003). Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. 55 pp.; NREL Report No. TP-560-34302, Revised January 2008.

OBTENCIÓN DE NANOFIBRAS DE PVA POR EL MÉTODO DE ELECTROHILADO

Dra. Karina Santiago Santiago, Dra. Manuela Calixto, T.S.U. Lizbeth Negrete Martínez.

Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del Estado de Morelos

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es desarrollar nanofibras poliméricas de PVA por el método de electrohilado. Las fibras de diámetros milimétricos se pueden obtener mediante técnicas de producción convencional [1]. Existen nuevas técnicas para desarrollar fibras de diámetros nanométricos como la técnica del electrohilado [2]. Esta técnica se basa en la aplicación de una fuerza eléctrica entre dos electrodos, generando un haz hilado que es acelerado hacia un colector donde se deposita, formando una membrana o malla no tejida. Las fibras obtenidas por este método se pueden usar en membranas para filtros, sensores, capacitores, tejidos de ingeniería, cubrimiento de heridas y como refuerzo de materiales compuestos, etc. [3]. En esta investigación se preparan soluciones de PVA en diferentes concentraciones (15%, 16% y 17%), se utiliza H₂O como disolvente, se varían los parámetros de la disolución y del proceso de electrohilado como la distancia del colector, el voltaje, la presión de jeringa. Las fibras obtenidas son caracterizadas mediante la técnica de microscopia electrónica de barrido. Los resultados señalan que los diámetros de las nanofibras se encuentran en un rango nanométrico. La obtención de nanofibras de PVA depende de los parámetros de la disolución polimérica y del sistema de electrohilado.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las nanofibras es un gran tema de investigación hoy en día, gracias a sus características y propiedades únicas, diferentes a las fibras de tamaño microscópico. Las nanofibras se pueden considerar dentro de la nanotecnología como nanomateriales debido a su pequeño diámetro, pero también pueden catalogarse como materiales nanoestructurados si se aditivan con nanopartículas y/o se recogen en forma de velo, de bajo espesor y gramaje. Las nanofibras presentan un diámetro inferior a los 100 nm, son de alta reactividad superficial, conductividad térmica y eléctrica, y con propiedades mecánicas superiores. Presentan un enorme potencial para mejorar significativamente las tecnologías actuales y desarrollar nuevas aplicaciones como sistemas de información, desarrollo de bioingeniería de tejidos vivos y liberación controlada de fármacos dentro del campo de la biomedicina, absorción acústica, equipos de protección individual, productos de limpieza y cuidado personal, productos industriales como pilas de combustible, capacitores, transistores, sensores, óptica y nanocables [3]. Existen algunas técnicas para obtener nanofibras, por ejemplo la separación de fases, auto-ensamblado, estiramiento, patrones de diseño, electrohilado o electrospinning [4]. La técnica de electrohilado es una de las técnicas más innovadoras y presenta diferentes ventajas en relación a otras, ya que se pueden desarrollar a escala de laboratorio y posteriormente a nivel industrial, posee repetibilidad y control de la dimensión de las fibras, aunque presenta una desventaja en la inestabilidad del haz proyectado. Las nanofibras por el método de electrohilado se obtienen a partir de soluciones

poliméricas como nylon, poliamida, poliestireno, alcohol polivinil, entre otros. El alcohol polivinil o PVA es un polímero soluble en agua producido industrial por la hidrólisis del polivinil acetato y posee excelentes propiedades físicas y mecánicas que permiten su electrohilado con resultados exitosos.

TEORÍA

1.1. Alcohol Polivinil (PVA)

El PVA es un polímero semicristalino, muy hidrofóbico, no tóxico y biocompatible con propiedades excelentes tales como la resistencia, solubilidad en agua, permeabilidad a los gases y las características térmicas además el PVA está disponible con diferentes grados de hidrólisis (DH), ya que se deriva de la hidrólisis (o alcoholólisis) del poli (acetato de vinilo) (PVAc) y las propiedades de PVA son afectadas por el DH, un PVA con DH entre el 87 y el 89 % tiene una menor resistencia mecánica y agua que un PVA con DH entre el 98 y el 99,9% [5]. Comercialmente se encuentra disponible en diferentes grados que difieren en peso molecular o en el contenido de acetato, tiene color estable hasta 140 °C, el PVA es un coloide que es reversible en agua caliente, es insoluble en agua fría. En agua a 20 °C y con un contenido máximo de 10% de acetato se hincha, es soluble entre un 10% y un 38%, se forma un gel fino entre 38% y 75% y en contenidos mayores se hace insoluble [6]. La fórmula del PVA tiene hidrocarburos (C y H) alifáticos yes insaturada, requiere de hidrógenos para poder saturarla, esto se logra cuando se diluye en agua. En la fórmula se representa el Vinyl como $-CH_2CH$, y el alcohol como OH. La "n", representa el número de veces que puede repetirse la cadena $(-CH_2CH(OH)-)_n$ [7].

El PVA y sus copolímeros se han usado en medicamentos de liberación controlada. A pesar de su alto contenido de agua los hidrogeles de PVA son útiles tanto para fármacos hidrofílicos como hidrofóbicos y también se ha utilizado para la liberación de polipéptidos, para liberación de teofilina, y últimamente en microesferas cargadas con sulfato de bario y metilotalamato como marcadores de embolización endovascular [6].

1.2. Electrospinning

La técnica de electrospinning se remonta a más de 60 años, y fue observada por Rayleigh en 1897, quien evaluó el efecto de inducir cargas eléctricas en chorros de agua, así como la inestabilidad asimétrica del flujo del jet, esta última fue estudiada por Zeleny en 1914, en la cual realizó un análisis del comportamiento de las gotas de solución en el extremo de un capilar y el inicio del proceso de modelamiento matemáticamente del comportamiento de los fluidos bajo las fuerzas electroestáticas, que después fue patentada por Cooley, Morton y Formhal en 1914.

El electrospinning es una técnica que ha sido ampliamente estudiada durante los últimos años gracias a la posibilidad de crear fibras en escala micro y nanométricas para una gran variedad de aplicaciones biomédicas, La técnica es versátil y de fácil ensamble lo que ha permitido procesar una gran variedad de polímeros, integrando en los últimos años otras clases de materiales, sin embargo los autores señalan que la técnica aporta a los elementos desarrollados diversas características como: amplia superficie por unidad de área, porosidad y una serie de propiedades mecánicas y esto hace que sea atractiva a nivel biotecnológico. El método del electrohilado consiste en la obtención de filamentos de polímero utilizando una fuerza electrostática, a partir de la disolución de polímero cargado eléctricamente. La fuente de alimentación de alto voltaje crea un campo eléctrico entre un colector puesto a tierra y un capilar cargado positivamente llenado de la solución del polímero, cuando se aplica un voltaje suficientemente alto a una gotita de líquido, el cuerpo del líquido se hace más grande que la tensión superficial de la solución de polímero en la punta capilar y se genera un chorro del polímero [1].

1.3. Caracterización de las nanofibras

El microscopio electrónico de barrido es un instrumento indispensable para el análisis morfológico de los velos de nanofibras electrohilados. Permite estudiar y caracterizar la superficie de los velos, al tiempo que determina el diámetro de las nanofibras que lo conforman [8]. Un microscopio electrónico utiliza electrones en vez de fotones o luz visible para formar imágenes de objetos diminutos, debido a esta particularidad, sólo pueden ofrecer imágenes en blanco y negro. Los microscopios electrónicos permiten alcanzar una capacidad de aumento muy superior a los microscopios convencionales u ópticos, (hasta 500.000 aumentos comparados con los 1.000 aumentos de los mejores microscopios ópticos) debido a que la longitud de onda de los electrones es mucho menor que la de los fotones. Funciona con un haz de electrones acelerados por la aplicación de alto voltaje, y focalizados por medio de lentes magnéticas. La amplificación de la imagen se produce por un conjunto de lentes magnéticas, que forman una imagen sobre una placa fotográfica o sobre una pantalla sensible al impacto de los electrones que transfiere la imagen formada a la pantalla de un ordenador. Todos los microscopios electrónicos cuentan con varios elementos básicos comunes. Disponen de un cañón de electrones que emite los electrones que chocan contra la muestra, creando una imagen aumentada. Se utilizan lentes magnéticas para crear campos que dirigen y enfocan el haz de electrones, ya que las lentes convencionales utilizadas en los microscopios ópticos no funcionan con los electrones. El sistema de vacío es una parte relevante del microscopio electrónico. Los electrones pueden ser desviados por las moléculas del aire, de forma que tiene que hacerse un vacío casi total en el interior de un microscopio de estas características. Por último, todos los microscopios electrónicos cuentan con un sistema que registra o muestra la imagen que producen los electrones.

PARTE EXPERIMENTAL

1.4. Materiales y equipo

El PVA utilizado fue de la marca J.T. Baker, parcialmente hidrolizado 87.0% - 89.0% con peso molecular 11,000 - 31,000, como solvente empleado fue agua destilada. Se utilizó un equipo de electrohilado LE-10 de la marca Bionicia. Para la caracterización de las muestras un microscopio de barrido de SEM marca TESCAN, Modelo Vega 3.

1.5. Preparación de la solución polimérica

Fueron preparadas a temperatura de 85°C - 90°C con agitación constante durante 40 minutos. Se elaboraron 3 soluciones poliméricas de 100ml. con diferente tipo de concentración: a) 15%, b) 16% y c) 17% de PVA, siendo la muestra control de 17%. Se utilizó agua destilada para diluir el polímero.

1.6. Proceso de electrohilado

En el proceso de electrohilado se determinaron las distancias de 5cm, 10cm y 12cm, por cada una de las muestras. Se manejó un voltaje de 10kv, se utilizó un colector plano y una presión de jeringa de 14.43. El tiempo para cada electrohilado fue de 40 min. Posteriormente se les dio un baño catódico de 5 segundos para su caracterización en el SEM.

1.7. Caracterización del proceso de electrohilado

La caracterización de las nanofibras se obtuvieron en el SEM, se dieron las siguientes condiciones para obtener las micrografías en el modo de alto vacío, HV 10.0 kV, Magnification 5kx.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las muestras de PVA en diferentes concentraciones: 15%, 16% y 17%. Las distancias del colector plano se determinaron a 5 cm, 10 cm y 12 cm como se muestra en las Figuras 1, 2 y 3.

En la muestra de PVA del 15% se muestra un velo con una superficie muy homogénea, en la Figura 1-(a) se observan algunos nodos.

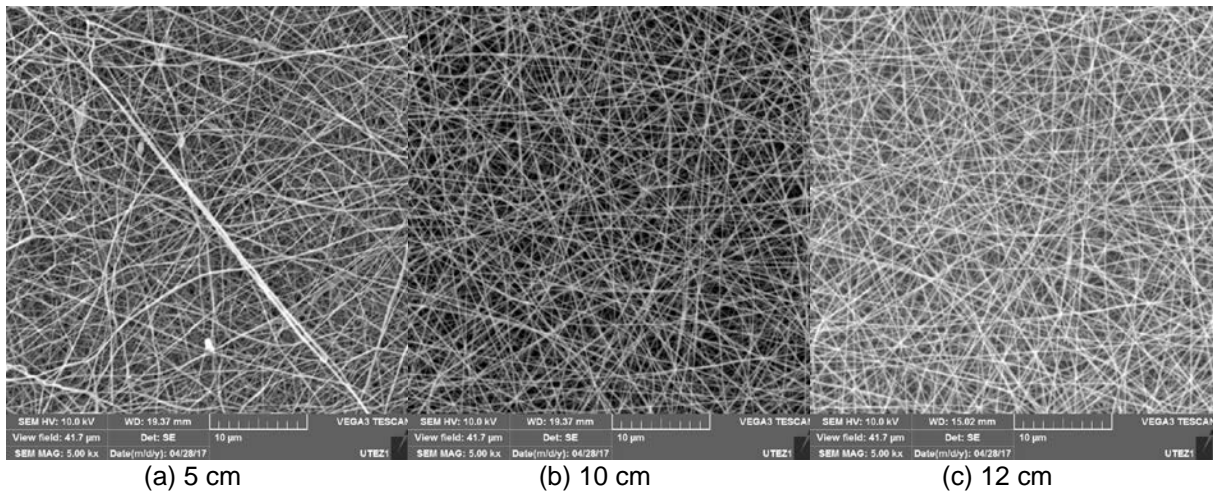


Figura 1. Micrografías SEM del velo de nanofibras de PVA al 15%

En la muestra de PVA del 16% se muestra un velo con una superficie no muy homogénea, en algunas zonas los hilos se encuentran dispersos.

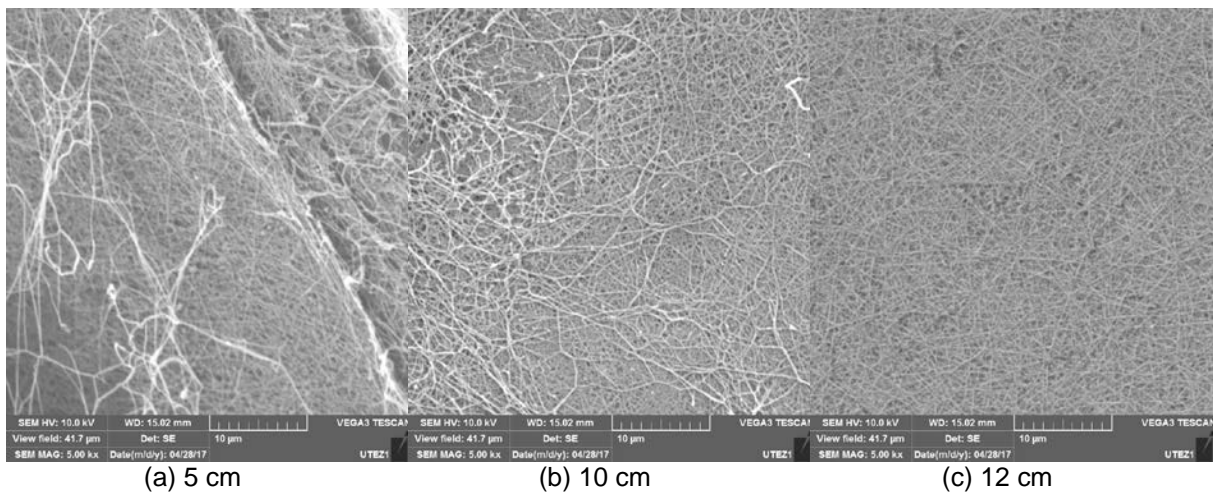


Figura 2. Micrografías SEM del velo de nanofibras de PVA al 16%

En la muestra de PVA del 17% se muestra un velo con una superficie bastante homogénea, los hilos muestran unos hilos uniformes, finos y sin ninguna formación de nodos.

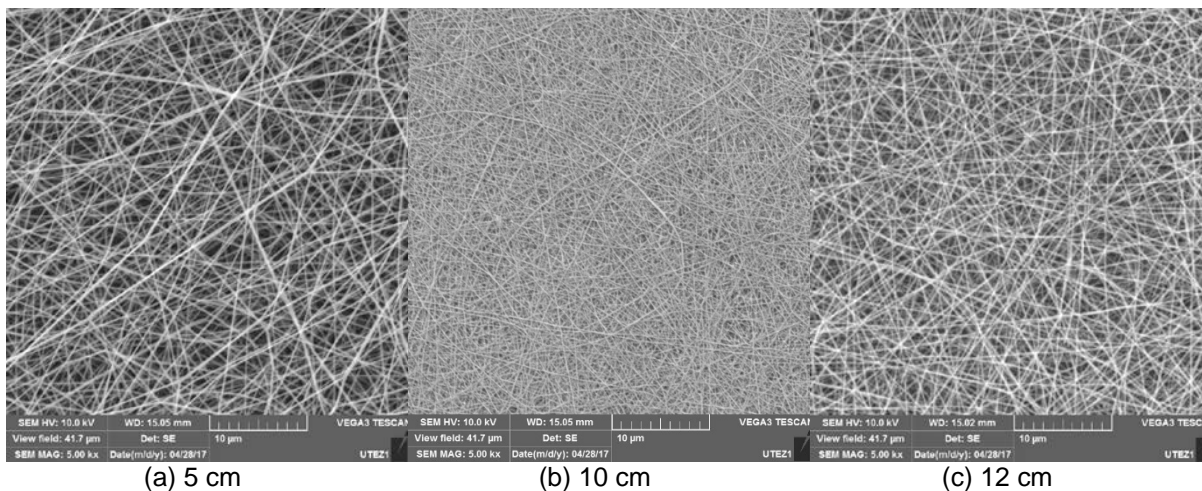


Figura 3. Micrografías SEM del velo de nanofibras de PVA al 17%

CONCLUSIONES

Los resultados señalan que a medida en que se aumenta la distancia entre los electrodos mejora la morfología del velo, las ligeras variaciones de la presión de la jeringa, el voltaje y las condiciones ambientales permiten obtener resultados similares entre 5 cm y 12 cm. En cuanto al nivel de concentración de PVA, el 17% permite obtener electrohilados uniformes sin la presencia de nodos. Estos resultados contribuirán en futuras investigaciones para obtener materiales nanoestructurados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Blanes Company, M. (2011). *Obtención de velos de nanofibras de alcohol de polivinilo (PVA) sobre substratos textiles, con aplicaciones como absorbentes acústicos*. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
2. Supaphol, P., & Chuangchote, S. (2008). *On the Electrospinning of Poly(vinyl alcohol) Nanofiber Mats: A Revisit*. Bangkok, Thailand: Journal of Applied Polymer Science.
3. T, O. (1992). General Properties of Polyvinyl Alcohol in Relation to Its Applications. En E. b. Finch, *Poly Vinyl Alcohol-Developments* (págs. 1-29). John Wiley & Sons Ltd.
4. Jayaraman, K., et al., *Recent advances in polymer nanofibers*. Journal Of Nanoscience And Nanotechnology, 2004. 4(1-2): p. 52-65.
5. Jong-Chul, P., Takeru, I., Kyu-Oh, K., Kwan-Woo, K., Byoung-Suhk, K., Myoung-Seob, K., y otros (2010). *Electrospun Poly(vinyl alcohol) nanofibers: effects of degree of hidrolisis and enhanced water stability*. Polymer Journal.
6. Hernández B., E., Cruz R., R., Robledo S., F., & Santoyo M., L. (abril-junio, 2007). Caracterización del alcohol polivinílico usado en recubrimientos de base acuosa. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 15-25.
7. Gökmese, F., Uslu, Í., & Aytimur, A. (2014). *Preparation and Characterization of PVA/PVP Nanofibers as Promising Materials for Wound Dressing*. Turkey: Taylor & Francis Group.

8. Blanes, M., Marco, B., Gisbert, M.J., Bonet, M.A. and Balart, R., *Surface Modification of polypropylene Non-woven Substrates by Padding with Antiestatic Agents for Deposition of Polyvinyl Alcohol Nanofiber Webs by Electrospinning*. Textile Research Journal., 2010. **80(13)**: p. 1335-1346.

LIMITANTES INFRAESTRUCTURALES PARA EL USO DE VEHÍCULOS AÉREOS URBANOS EN MÉXICO

Daniel Ledezma García, Verónica Elizabeth Sánchez Flores

Universidad Marista de Guadalajara

RESUMEN

Este artículo trata de abordar el problema de las limitantes infraestructurales para el uso de vehículos aéreos de doble función, desde una investigación pura y un método de recolección basado en la observación, esto para fundamentar la hipótesis que sugiere que son necesarios ciertos cambios para que estos vehículos pueden ser una realidad. El problema procura ser abordado de forma completa, procurando analizar los tres aspectos principales, los cuales son la seguridad, la infraestructura y las leyes o regulaciones. Durante esta investigación se destacaron al menos cuatro principales limitantes en la infraestructura urbana en las ciudades mexicanas de más de setecientos mil habitantes, que, de manera integral, se complementan con las limitantes en el marco legal del problema planteado además de presentar requerimientos de seguridad que garanticen la correcta operación de estos nuevos vehículos. Se logró refutar y discutir la hipótesis planteada con base en las observaciones y las comparaciones realizadas entre las leyes y textos en contraste con las observaciones en campo, fue una investigación que presento diversos puntos de partida para el desarrollo futurista de nuevos modelos de vehículos cuya función sea doble y además tengan la autonomía y la seguridad para agilizar el tráfico en las urbes de todo México

INTRODUCCIÓN

En un contexto de constantes innovaciones tecnológicas y el desarrollo constante de la industria aeronáutica, en el cual la ley se ha enfrentado a una difícil regulación del espacio aéreo ante las nuevas creaciones, como lo es el caso de los drones. Se observó que, así como la ley se enfrenta ante dificultades para regular estos nuevos vehículos, así también las dependencias encargadas de la infraestructura a nivel nacional, estatal y local; pueden enfrentarse con grandes dificultades en cuestiones de infraestructura, cuando se normalice de hecho el uso de vehículos aéreos urbanos o vehículos de doble función.

Puesto que en nuestro contexto estos vehículos no tienen un uso cotidiano y apenas estén en fase experimental, no deberá de sorprendernos cuando su uso se normalice, y aparezcan deficiencias para satisfacer las necesidades que estos vehículos traigan consigo, especialmente en lo que respecta a obra pública e infraestructura. Por este motivo el alcance a futuro de esta investigación puede arrojar luces para plantear nuevas soluciones.

A partir de los recientes avances en la industria aeronáutica y los esfuerzos por crear un vehículo aéreo urbano de doble función, es decir auto/avión, a fin de facilitar los traslados en distancias cortas. Se plantea una revisión a las necesidades infraestructurales a fin de determinar los riesgos que implica el uso de estos nuevos vehículos y cuáles serán sus necesidades en cuanto a nuevas

estructuras para asegurar y regular su operación de forma adecuada y segura tanto para los conductores como para la población civil en general.

Debido a que la tecnología en este campo crece de forma exponencial, es un hecho que pronto veremos vehículos aéreos urbanos o vehículos de doble función, sin embargo, es de suma importancia analizar cuales serán las necesidades que estos pueden generar en materia de infraestructura, lo cual nos asegura estar preparados para la llegada de esta tecnología y anticiparnos a cualquier cambio que esta pueda generar en el entorno urbano.

Puesto que es necesario tener visión del alcance de la tecnología, antes de que la tecnología nos alcance. Se propone en esta investigación desarrollar tres aspectos principales, alrededor de los cuales gira el planteamiento de dicho problema; estos aspectos son: Los riesgos y medidas de seguridad para la operación de estos vehículos en un entorno urbano, Las modificaciones a la infraestructura urbana, para las necesidades de operación de los vehículos aéreos urbanos y las regulaciones de operación de los vehículos aéreos urbanos, en función de la infraestructura. En resumen, se pretende visualizar; la seguridad, los requerimientos y la normativa del uso de estos nuevos vehículos, en función de la infraestructura urbana.

Para tener un mejor desarrollo social, es necesario adaptarse a los cambios del contexto en el que se vive. Por lo tanto, aquellos que son capaces de tener una visión anticipada de las necesidades y los problemas a futuro; poseen una mayor capacidad de adaptación al cambio. Pues en el momento en el que este se presenta ya se tiene un panorama claro y previamente supuesto, así como posibles soluciones y acciones.

Lo que se pretende con el desarrollo de esta investigación es brindar un panorama visionario ante una situación latente, la cual llegara en un futuro dado en función del avance de la tecnología y la innovación. Es por este motivo dada la importancia, del objeto de la presente investigación. A fin de cuentas, se trata de evitar que la tecnología nos tome por sorpresa y que exista una referencia sobre cómo se puede reaccionar ante este cambio, por lo que es pertinente dar un punto de vista a futuro de la problemática, que puede presentar un avance tecnológico, que dentro de unos pocos años alcanzará su cenit.

Estamos a tiempo de analizar con antelación cuáles serán los supuestos problemas que presentara el desarrollo de los vehículos aéreos urbanos, es por eso que esta investigación servirá de referencia a los próximos planteamientos de esta situación. Lo cual supone que es una investigación de relevancia a futuro, y un punto de partida hacia nuevas formas de adaptarse al cambio de las nuevas revoluciones tecnológicas. Pues el que prevé primero, soluciona mejor.

Los principales objetivos que desea alcanzar la investigación van encaminados a la ampliación de la industria para el desarrollo de estos nuevos vehículos, contribuyendo a una preparación previa para la llegada de nuevas tecnologías en materia de movilidad, además de servir como una referencia base para la construcción y diseño de vehículos de doble función de forma que pueda a su vez extender la visión a futuro del uso de estos vehículos. Dados los objetivos se pretende lograr por dicho conducto plantear con base en la investigación cuáles serán las necesidades de obra pública con respecto a los vehículos de doble función, y analizar los riesgos operacionales de maniobrar esta clase de transporte en un entorno urbano.

TEORÍA

La Hipótesis sugerida

Inicialmente se propuso plantear una hipótesis que afirmara una realidad según el contexto y los antecedentes de la investigación se propuso que: Son necesarios una serie de cambios en la infraestructura vial de las urbes en México además de reglamentos de tránsito actualizados, para permitir una correcta integración de nuevos vehículos aéreos urbanos de uso personal, al tráfico aéreo y terrestre local. Además, estos cambios garantizan seguridad a la población civil y proporcionan los lineamientos y sanciones pertinentes en materia vial Aero-terrestre. 'por medio de una investigación pura y un método de recopilación de datos, basado en observaciones ya que existe poca información con respecto al tema, se desarrollará la refutación de esta hipótesis que plantea más bien una visión de la realidad, a fin de que, en base a lo planteado como verdad, posteriormente se desarrollen soluciones.

Puesto que la investigación se enfoca a las limitantes en ciudades mexicanas con una población mayor a los 700,000 habitantes, se tomará como muestra de ello las calles del sector libertad y la zona oriente de Guadalajara, Jalisco, México.

Análisis de la realidad

Una de las principales observaciones realizadas en esta investigación fue el hecho de que en la vía pública hay presencia de servicios públicos como la electricidad y líneas telefónicas y de señal televisiva, estos servicios son transmitidos a través de cableado de cobre localizado en postes de aproximadamente 5 metros de altura y ubicados a una distancia promedio de 50 metros a lo largo de las aceras, sin embargo el cableado no se encuentra organizado de forma paralela a la vialidad sino que en muchas de las ocasiones este cruza la vía pública formando un tejido de cables sobre la calle o avenida en cuestión, la presencia del cableado se da en función del tamaño del ancho de la calle puesto que se observó que en las avenidas más grandes con más capacidad de vehículos debido a su anchura, se presentan con menor frecuencia estas redes de cableado sobre la vía. Otro factor común en la presencia de cableado, es la zona donde se localice la vialidad, puesto que se afirma que a mayor número de casas habitación, existe un mayor número de servicios por cableado, hecho que disminuye en zonas comerciales o recreativas de la ciudad.

Puesto que el cableado se localiza de forma acomodado de forma irregular a una distancia promedio de entre 4 y 5 metros de alto con respecto al pavimento, se consideró que el cableado eléctrico y de servicios corresponde a una limitante en la infraestructura para la libertad de movimiento de nuevos vehículos aéreos urbanos.

Otra de las observaciones sugirió una serie de irregularidades en el pavimento tales como mantenimiento mal ejecutado, accidentes en la superficie y desgastes que van desde severos a ligeros. Toda esta irregularidad en la superficie de rodaje no solo afecta al movimiento de vehículos de ruedas, sino que por subsecuente también puede afectar la movilidad de vehículos aéreos en maniobras de aterrizaje principalmente y de maniobras en tierra por lo que este hecho sugiere un punto de partida para conocer si la superficie en la cual se desplazara por tierra el vehículo de doble función representa o no un obstáculo en la maniobrabilidad.

Además Se observó que en promedio la distancia entre intersecciones viales, coloquialmente conocida dicha distancia con el nombre de "cuadra" se presenta de forma irregular y variada en los distintos puntos de la ciudad, puesto que estas intersecciones convergen en diferentes ángulos y

en algunos casos hasta en curvas bien definidas, se obtuvo la conclusión de que las calles se presentan de forma irregular y con formas que pueden dificultar el acceso por aire a una calle, dicho esto entonces podemos afirmar que las dimensiones desiguales presentan también una limitante en la infraestructura urbana.

Por ultimo Como es normal, el entorno urbano consta también de áreas verdes y árboles, estos últimos, debido a sus grandes dimensiones en altura y radio de follaje, son capaces de obstruir calles enteras y la agrupación de estos cuerpos vegetales de variados tamaños tienen la capacidad de tapar de forma total o parcial calles enteras, considerándose, así como obstáculos importantes a tomar en cuenta para la maniobra de despegues y aterrizajes en vehículos aéreos urbanos de doble función.

PARTE EXPERIMENTAL

La realidad vs la hipótesis

Al igual que las características que debe poseer un automóvil, así como una aeronave, las regulaciones legales deberán estar a cargo de las dependencias e instancias encargadas tales como la OACI, la DGAC y la SEMOV para el caso de México. Las Regulaciones establecidas deberán estar hechas en función del correcto uso de la infraestructura, lo cual implica respetar la seguridad operacional de ambos vehículos, además, para efectos de ambos, serán necesarias regulaciones de velocidad, techo de vuelo, altitudes permitidas y zonas seguras de aterrizaje y despegue. Dado que el tema legal es bastante extenso, y los procesos son de duraciones indefinidas, para fines de dicha investigación será necesario limitarla a responder quienes serán los encargados de realizar esta labor de regulación vehicular y algunos de los puntos a los que se deben atender.

Para el correcto aprovechamiento de la investigación fue necesario definir cuáles son las principales configuraciones de la infraestructura vial, esto a modo de conocer la realidad en la que se encuentra el planteamiento infraestructural y de manera general, identificar si aquella infraestructura existente es necesaria para la adaptación de vehículos aéreos urbanos al entorno existente. O si de lo contrario la carencia de estas representan una limitante para el uso de dichos vehículos.

Se optó por clasificar la infraestructura vial en primaria y secundaria considerando factores de prioridad para la correcta operación de los vehículos. Tomando las primarias como aquellas indispensables y las secundarias como aquellas auxiliares.

Uno de los aspectos más importantes a considerar es el hecho de que al ser vehículos de doble función aquellos en operación, estos deberán tener por ende la capacidad de integrarse al tráfico terrestre y al tránsito aéreo sin restricción ni dificultad y es necesario considerar si es que la infraestructura actual permite dicho tipo de operaciones por parte de una aeronave que se integra a una avenida con automóviles, o si un automóvil se integra una ruta aérea con más aeronaves circulando, planteada dicha pregunta es necesario señalar cuales son las maniobras que se llevaran a cabo en los diferentes tipos de infraestructura. Y además presentar cuales son los riesgos operacionales de dichas maniobras, incluso considerar si los aspectos climatológicos aunados al estado de la infraestructura al momento de aterrizar son óptimos y seguros.

Un vehículo de doble función deberá tener entonces la capacidad de realizar, al igual que cualquier aeronave, maniobras de despegue y aterrizaje con completa seguridad.

Por otro lado, En toda operación existen riesgos los cuales deben ser previstos y a su vez una vez visualizados, procurar la prevención de los mismos. Dichos riesgos en la integración de estos vehículos al tránsito aéreo a terrestre o viceversa, presentan un mayor grado de riesgo y a su vez un mayor grado de responsabilidad por parte de pilotos y conductores. Entre los mayores riesgos que destacan en la movilidad vehicular, se encuentran colisiones, atropellamientos, fallas mecánicas, y volcaduras para el caso de los automóviles. En el caso de las aeronaves son de mayor repercusión los accidentes a evitar, entre ellos pueden ser colisiones entre aeronaves, caída en pérdida, despegue o aterrizaje fallido o riesgoso. Al igual que las características comunes para aeronaves y automóviles, los riesgos al integrar un vehículo de doble función al entorno urbano se duplican de forma considerable y es necesario que la infraestructura intervenga de forma positiva a la prevención de estos accidentes que presentan un riesgo latente a la población en general.

Además, Al igual que un aeropuerto, se requieren servicios apostados en el entorno urbano para asegurar la aeronavegabilidad de las aeronaves. De forma más específica se trata de asegurar y controlar mejor el tráfico aéreo que se encuentra sobre la ciudad en cuestión. Los servicios planteados se sugieren como una modificación a la infraestructura secundaria.

Por último, se llega a afirmar que Para las diferentes maniobras de una aeronave en entornos urbanos serán necesarios espacios para el correcto y seguro despegue y aterrizaje, una de las posibles soluciones puede ser el crear acotamientos en algunas de las actuales avenidas, acotamientos los cuales estén bien señalizados y asegurados, otra de las opciones posibles es crear pistas en tipos puentes, en algunos de los principales puntos de la ciudad. De cualquier modo, serán necesarios definir estos espacios ya que no es posible aterrizar o despegar en cualquiera de las vías terrestres, pues es necesario designar un espacio para las mismas.

Y que, a su vez A partir de las observaciones en materia de seguridad en la operación del vuelo, se puede afirmar que para que se lleve a cabo de forma adecuada la operación en necesario una integración entre leyes e infraestructura que sean capaces de garantizar que todo se lleve a cabo en un entorno de prevención y completa seguridad. Dentro de los aspectos a tomar en cuenta según las observaciones obtenidas es el hecho de garantizar la seguridad a primeros y terceros a toda costa. Otro de los aspectos que se deben tomar en cuenta es que estas nuevas infraestructuras no sean a su vez foco de delincuencia o vandalismo. Es por eso que para que la seguridad sea una realidad al operar vehículos de doble función, también es necesario que las autoridades estén presentes en el espacio aéreo, sean policías o agentes viales, es necesario que al igual que en tierra. Es preciso que a su vez sean custodiadas las nuevas infraestructuras ya que todo vehículo que suba, tiene que descender en algún momento.

RESULTADOS

Con base en las anteriores afirmaciones, es posible refutar la hipótesis que afirma que Son necesarios una serie de cambios en la infraestructura vial de las urbes en México además de reglamentos de tránsito actualizados, para permitir una correcta integración de nuevos vehículos aéreos urbanos de uso personal, al tráfico aéreo y terrestre local. Esta hipótesis es correcta, a continuación, la refutación.

Puesto que en el análisis de la información indica que debido a que, para tener seguridad en las operaciones, son necesarias al menos modificaciones en la señalética y en la luminaria en lo que

respecta a infraestructura secundaria. En lo que respecta a infraestructura primaria, es necesario un espacio determinado para maniobras de despegue y aterrizaje, sea un acotamiento bien señalado, o un puente de aterrizaje. Según la información, se afirma la primera parte de la hipótesis en lo que respecta a que, si es necesario un cambio en la infraestructura vial para albergar el tránsito aéreo y terrestre, ya que se presentó que el principal reto es la integración del uno en el otro y viceversa. Además, en lo que respecta a los reglamentos de tránsito actualizados también son necesarios puesto que el segundo enunciado de la hipótesis se comprueba en esta investigación, desde el momento en el que es necesario el control en los vehículos en las urbes, para fines de seguridad.

Además, se comprueba que la integración entre reglamentos actualizados y prácticos, así como la óptima infraestructura en las urbes, serán capaces de lograr que la seguridad operacional sea una realidad presente

CONCLUSIONES

En conclusión, respecto a lo investigado con anterioridad, se puede afirmar que será un proceso largo el de adaptación de estos nuevos vehículos al entorno, sin embargo como todo proceso de adaptación este requiere nuevas modificaciones, fue una investigación exitosa ya que la hipótesis se puede afirmar de manera firme y concreta y además se cumplió con los objetivos de la investigación, puesto que esta tiene la posibilidad de dar pie a la apertura de nuevas líneas de investigación en lo que respecta al diseño de estas nuevas aeronaves del futuro.

Una de las principales recomendaciones que se sugieren, es que se utiliza la observación directa de lo que se encuentra en la actualidad y a partir de lo que se tiene considerar modificar tanto reglamentos como infraestructura.

Según las observaciones, las limitantes infraestructurales no podrán ser erradicadas en su totalidad, puesto que siempre existirán limitantes, sin embargo, a modo de conclusión se logra contestar al hecho de que necesita adaptarse a que. Y en este punto de la investigación se afirma que el vehículo debe adaptarse al entorno y superar todas las limitantes que se le presenten. Por lo que los nuevos diseños deberán hacerles frente a todos ellos.

Para todos aquellos que se planteen realizar una investigación que respecta al uso de vehículos de doble función en las actuales ciudades se les recomienda tomar en cuenta las limitantes infraestructurales presentadas y no pasar por alto las consideraciones aquí descritas. En lo que respecta a aquellos que harán las leyes se recomienda no comprometer la seguridad operacional de las aeronaves y los vehículos. Por último, se concluye que lo que procede es un proceso extenso y serio que se debe abordar con bastante profesionalismo y atención a los detalles incluidas limitantes, áreas de oportunidad y retos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Biblioteca Virtual Luis Ángel Arango (2012) Estaciones de Servicio. Banco de la Republica de Colombia, Recuperado de:
http://www.barranquilla.gov.co/movilidad/index.php?option=com_content&view=article&id=5507

2. Alcaldía de Barranquilla, Secretaria de Movilidad. (2010) Gestión de la Infraestructura Vial y cierre de Vías. PDF Recuperado de: <http://dle.rae.es/?id=biqyH1>
3. Javier Jebenes (2013) El Espacio Aéreo. Gaceta Aeronáutica. Recuperado de: <http://www.gacetaeronautica.com/gaceta/wp-101/?p=5126>
4. Academia de Conductores Perla (2010) Señales Viales. Conceptos. recuperado de: <http://www.academiaperla.com.ar/sviales.html>
5. Ptolomeo G. (2008) Teoría del Flujo Vehicular. PDF. UNAM. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/417/A4.pdf?sequence=4>
6. Diario Oficial de la Federación (2012) Reglamento de Tránsito del Estado de Jalisco. PDF. Vigente Recuperado de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5278684&fecha=22/11/2012
7. Diario Oficial de la Federación (2012) Ley General de Aeronáutica Civil. DGAC, PDF

MODOS DE VUELO EN MISSION PLANNER PARA DRONES

Axel Morales Cortés, Gerardo De Jesús Díaz, Claudia Carolina Vaca García, Efraín Gutiérrez Chavez, María Eugenia Sánchez Morales y Cuauhtémoc Acosta Lúa.

Centro Universitario De La Ciénega

INTRODUCCIÓN

Un cuadricóptero es un vehículo aéreo con cuatro rotores y con dinámicas sub-actuadas, que cuenta con cuatro entradas y seis salidas acopladas, donde las velocidades de los rotores son controladas para producir las fuerzas de levantamiento. El movimiento vertical puede ser obtenido cambiando la velocidad de los cuatro rotores al mismo tiempo (Véase Fig. 1). El movimiento de cabeceo es obtenido incrementando (o reduciendo) la velocidad del rotor trasero mientras se reduce (o se incrementa) la velocidad del rotor frontal. El movimiento de rodado es obtenido similarmente usando los rotores laterales.

El movimiento de guiñada es obtenido incrementando (o reduciendo) la velocidad de los rotores frontal y trasero mientras se reduce (o se incrementa) la velocidad de los rotores laterales. Esto debe ser hecho mientras se mantiene constante el empuje total. La ventaja de usar un vehículo aéreo de cuatro hélices es que permite despegues y aterrizajes verticales, acceso a lugares riesgosos o zonas aisladas, gran capacidad de carga, entre otras. La desventaja es el incrementado peso del cuadricóptero y el consumo de energía, debido al requerimiento de los motores.

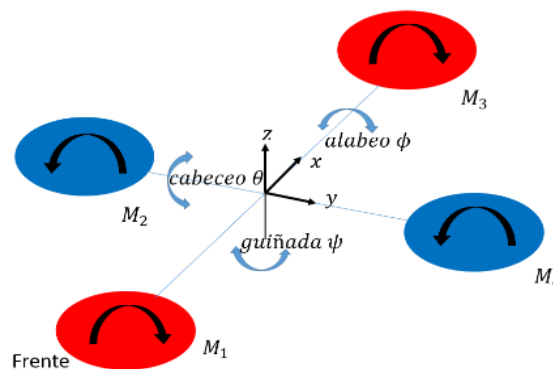


Fig. 1: Ángulos de cabeceo, alabeo y guiñada.

Hoy en día las aeronaves no tripuladas (UAV del inglés Unmanned Aerial Vehicles) son populares en todo el mundo. El Cuadricóptero es uno de los UAV más conocidos debido a su amplio uso ya sea en el área de búsqueda y seguridad, mapeo, fotografía aérea, reconocimiento de superficies, aplicación en campos de agricultura, uso militar, entre otra gran variedad de aplicaciones. Por ello,

en la actualidad una gran cantidad de científicos han incrementado su investigación y desarrollo alrededor de estos sistemas dinámicos por las ventajas que ofrece.

Actualmente existe un software llamado Mission Planner el cual permite calibrar los sensores del cuadricóptero, así como configurar distintos modos de vuelo en él, con la finalidad de facilitar la maniobrabilidad de dichos vehículos aéreos no tripulados.

TEORIA

Existen 14 tipos de vuelos distintos, incorporados en los modos de vuelo del software Mission Planner.

Se dividen en dos categorías, con y sin dependencia del bloqueo del GPS.

El bloqueo GPS es alcanzado cuando el LED de la controladora de vuelo parpadea en color azul antes de armar y despegar el cuadricóptero, es necesario el bloque de GPS para establecer la posición inicial o de lanzamiento.

MODOS DE VUELO QUE NO REQUIEREN BLOQUEO DEL GPS.

- **STABILIZE.**

El modo Stabilize (Estabilizar) de vuelo permite volar el cuadricóptero manualmente, pero nivela automáticamente los ángulos "roll" y "pitch".

- **ALT HOLD**

En este modo (Mantenimiento de altitud), el cuadricóptero mantiene una altitud constante, permitiendo al piloto maniobrar los ángulos 'pitch', roll' y 'yaw'. El piloto puede controlar la velocidad de ascenso o descenso del vehículo con los sticks. Si el acelerador está en el centro (40% - 60%), el vehículo mantiene su altitud actual.

- **ACRO**

El modo ACRO utiliza los sticks de RC para controlar la velocidad angular del cuadricóptero, al soltar los sticks el vehículo mantendrá la altitud actual, y no volverá al nivel. Este modo es útil para las acrobacias como los flips o rolls, o FPV (First Person View) en drones de carreras cuando se desea controles rápidos y llanos.

- **SPORT**

El modo deportivo también es conocido como 'Velocidad controlada a estabilizar' más el bloqueo de altitud. Fue diseñado para volar y grabar FPV en lugares complicados, porque puedes establecer y mantener el vehículo en un determinado ángulo.

- **LAND**

El objetivo del modo LAND es realizar un aterrizaje. Desciende a 10 metros (o hasta que el sonar detecta algo por debajo del cuadricóptero) utilizando el controlador de retención de Altitud y desciende con una velocidad constante preestablecida hasta aterrizar.

- **AUTOTUNE**

Este modo de vuelo trata de sintonizar los parámetros P y D del modo Stabilize, que proporcionen la máxima respuesta del cuadricóptero sin excederse demasiado. Esto es posible gracias al cambio que hace el cuadricóptero en los ángulos roll y pitch, lo que significa que el vehículo necesita ser básicamente volable en el modo ALTHOLD antes de intentar usar AUTOTUNE.

MODOS DE VUELO QUE REQUIEREN BLOQUEO DEL GPS.

- **LOITER**

Intenta automáticamente mantener la ubicación actual, dirección y altitud. El piloto puede volar el cuadricóptero en el modo LOITER como si fuera un modo de vuelo más manual, pero cuando los sticks son liberados, el vehículo se detiene lentamente manteniendo la posición.

- **RETURN TO LAUNCH (RTL)**

En el modo "Vuelta al lugar de lanzamiento (RTL)" el cuadricóptero navega desde su actual posición, para volar alrededor de su zona de lanzamiento. El comportamiento del modo RTL se puede ajustar por varios parámetros reajustables.

- **AUTO**

En el modo automático, el cuadricóptero seguirá una misión de vuelo programada, almacenada en el autopiloto, que está hecha de comandos de navegación (caminos).

- **GUIDED**

En el modo GUIDED, el cuadricóptero es guiado inalámbricamente a una localización, usando un módulo radio de telemetría y una aplicación de estación de tierra. Es necesario establecer comunicación con una computadora portátil, asegurar el bloqueo del GPS, despegar en STABILIZE teniendo una altura adecuada, cambiar a LOITER, y finalmente en el planificador de misión seleccionar "Vuela aquí" e indicar la altitud deseada (en la cual el cuadricóptero no colisione con ningún objeto). El vehículo debe volar a la ubicación de destino y esperar allí hasta que introduzca otra ubicación o se cambie a otro modo de vuelo.

- **DRIFT**

El modo DRIFT permite al usuario volar el cuadricóptero como si fuera un avión, en tiempos automáticos coordinados donde el usuario tiene un control directo de Yaw y Pitch, pero roll es controlado por el piloto automático. Esto permite que el cuadricóptero sea controlado con una sola palanca de control. El usuario tiene un control completamente manual sobre el acelerador como en el modo STABILIZE.

- **POSHOLD**

El modo de vuelo POSHOLD (anteriormente conocido como "híbrido") es un nuevo modo similar a LOITER porque el vehículo mantiene una posición constante, el rumbo y la altitud, pero en general es más popular porque los sticks controlan directamente el ángulo de inclinación del vehículo proporcionando una sensación de vuelo más natural.

- **FOLLOW ME**

Es posible hacer que el cuadricóptero siga tus movimientos, usando un radio de telemetría y una estación de tierra. El planeador de misiones para laptops Windows, Planeador APM para laptops OS X, y DroidPlanner para dispositivos Android que normalmente soportan este modo; sin embargo, es más fácil usar un teléfono móvil o una Tablet en tu estación de tierra FOLLOW ME. Es necesario despegar cambiar a LOITER en una altura en la cual el cuadricóptero no colisione contigo, en el planificador de misión hacer click en FOLLOW ME.

- **CIRCLE**

El cuadricóptero orbitará en círculos sobre el punto de interés, con la cara del vehículo apuntando al centro.

CONCLUSIONES

Los modos de vuelo son una herramienta útil en el cumplimiento de tareas asignadas a los cuadricópteros, debido a su diversidad, es posible que el cuadricóptero sea capaz de realizar distintas acciones de una forma sencilla, tales como, despegar, mantener la posición indicada del vehículo, sobrevolar una zona a determinada altura, realizar acrobacias, volar una ruta, regresar al lugar de lanzamiento, aterrizar etc. Dichas acciones facilitan la correcta ejecución de tareas en diferentes campos de aplicación, como, la vigilancia, inspección de estructuras, agricultura, ganadería, milicia, comunicaciones, paquetería, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue apoyado y realizado por el cuerpo Académico consolidado Número 871 (Ciencias Aplicadas).

BIBLIOGRAFÍA

1. *Flight Modes — Copter documentation.* (2017). *Ardupilot.org*. Retrieved 11 April 2017, from <http://ardupilot.org/copter/docs/flight-modes.html>