

NOMBRE DE LA ASIGNATURA O UNIDAD DE APRENDIZAJE

## **ÓPTICA GEOMÉTRICA**

CICLO

**Primero**

CLAVE DE LA ASIGNATURA

**OG**

### **OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA**

Proporcionar al estudiante un curso introductorio sólido y bien estructurado de óptica geométrica, poniendo especial énfasis en los temas básicos de esta disciplina, como son la óptica gaussiana y su aplicación al análisis de instrumentos ópticos, el trazo de rayos paraxial, los diafragmas y las pupilas en un sistema óptico, la teoría de aberraciones y el trazo exacto de rayos, entre otros. Con este curso se espera que el estudiante adquiera los conocimientos básicos de óptica geométrica que le permitan continuar, si así lo desea, con otros cursos de ingeniería óptica, como son el diseño óptico, la manufactura óptica, las pruebas ópticas, los sistemas de iluminación y otros semejantes

### **TEMAS Y SUBTEMAS**

#### **1. Fundamentos de la óptica geométrica**

- 1.1. Ondas, frente de onda y rayos
- 1.2. Propagación de frentes de Onda, reflexión y refracción
- 1.3. Principio de Fermat
- 1.4. Irradiancia y la ley cuadrática inversa
- 1.5. Los postulados básicos de la óptica geométrica

#### **2. Repaso de la óptica de rayos elemental**

- 2.1. Superficies planas
  - 2.1.1. Superficies reflectoras
  - 2.1.2. Superficies refractoras
- 2.2. Superficies curvas: enfocamiento
  - 2.2.1. Enfocamiento en la región paraxial
  - 2.2.2. Trazado de rayos gráfico en lentes delgadas
  - 2.2.3. Trazado de rayos gráfico en espejos

#### **3. Imagen producida por una superficie y una lente delgada**

- 3.1. La convención de signos
- 3.2. La aproximación paraxial
- 3.3. Imagen producida por una superficie
  - 3.3.1. La ecuación de conjugados
  - 3.3.2. Potencia y distancia focal de una superficie
- 3.4. Espejos
- 3.5. Imagen producida por una lente delgada
  - 3.5.1. Ecuación de conjugados de una lente delgada
  - 3.5.2. Potencia de una lente delgada en aire
  - 3.5.3. Distancias focales de una lente delgada
  - 3.5.4. Refracción en una lente delgada: el caso general
  - 3.5.5. Muchas superficies en contacto
  - 3.5.6. Tiro
- 3.6. Imagen de un objeto extendido. Amplificación
- 3.7. El problema de diseño utilizando un componente
- 3.8. Otros tipos de amplificación
  - 3.8.1. El tamaño angular de un objeto
  - 3.8.2. Amplificación visual
  - 3.8.3. Amplificación longitudinal. Imagen de un volumen

#### **4. Óptica Gaussiana**

- 4.1. La altura paraxial y las variables angulares
- 4.2. Trazo de rayos paraxial en sistemas de muchas superficies
  - 4.2.1. Notación
  - 4.2.2. Amplificación
  - 4.2.3. Trazo de rayos paraxial a través de muchas superficies
- 4.3. El invariante óptico
- 4.4. Planos principales
  - 4.4.1. Definición y propiedades de los planos principales
  - 4.4.2. Potencia y distancias focales de un sistema general
  - 4.4.3. Referencia a un conjunto de conjugados
  - 4.4.4. Sistemas afocales
  - 4.4.5. Posición de los planos principales
- 4.5. Potencia y planos principales de un sistema de dos componentes separadas
- 4.6. Lentes gruesas: potencia y posición de los planos principales
- 4.7. Puntos nodales. Medición de la distancia focal
- 4.8. Fórmula de Newton para la ecuación de conjugados
- 4.9. Resumen de óptica gaussiana
- 4.10. El problema de diseño con dos componentes

#### **5. Diafragmas y pupilas. Rayos marginales y de pupila. Flujo luminoso a través de un sistema óptico**

- 5.1. Diafragmas y pupilas
  - 5.1.1. Pupila de entrada y pupila de salida
  - 5.1.2. Abertura numérica, número F.
  - 5.1.3. Profundidad de foco, profundidad de campo
  - 5.1.4. Pupilas: imágenes fuera de eje
  - 5.1.5. Acoplamiento de pupilas
  - 5.1.6. Rayos marginales y de pupila paraxiales
  - 5.1.7. Cómo encontrar los diafragmas
  - 5.1.8. Tamaño de un lente o superficie (apertura clara)
  - 5.1.9. Expresiones de H con dos rayos
- 5.2. Significado y uso de los rayos marginal y de pupila
  - 5.2.1. Conectando la óptica paraxial y la finita
  - 5.2.2. La condición del seno
  - 5.2.3. La condición de la tangente
  - 5.2.4. Pre-diseño gaussiano
  - 5.2.5. El sistema de dos lentes con posiciones de pupilas fijas
- 5.3. Transmisión del flujo luminoso a través de sistemas ópticos
  - 5.3.1. Radiometría vs fotometría
  - 5.3.2. Cantidades y unidades radiométricas (fotométricas)
  - 5.3.3. Flujo emitido en un cono por una fuente lambertiana
  - 5.3.4. Flujo colectado por una lente
  - 5.3.5. Irradiancia de una imagen
  - 5.3.6. Radiancia (luminancia) de una imagen aérea
  - 5.3.7. Fotometría de sistemas de iluminación
  - 5.3.8. Iluminación fuera de eje
  - 5.3.9. Iluminación de una fuente grande
  - 5.3.10. Luminancia de una fuente distante

#### **6. Óptica gaussiana de instrumentos y componentes ópticos**

- 6.1. El telescopio
  - 6.1.1. Telescopios visuales
  - 6.1.2. Telescopios astronómico y resolución
  - 6.1.3. Capacidad de información de un sistema óptico
  - 6.1.4. Expansor de un haz láser

- 6.2. El microscopio
  - 6.2.1. Poder de amplificación y resolución
  - 6.2.2. Sistemas de iluminación en un microscopio
- 6.3. Sistemas de proyección
  - 6.3.1. El proyector de acetatos
  - 6.3.2. Asféricas en sistemas de iluminación
  - 6.3.3. Otros sistemas de proyección
- 6.4. El ojo
  - 6.4.1. Anatomía básica
  - 6.4.2. Parámetros geométricos
  - 6.4.3. Luminancia de una escena y luminancia retiniana
  - 6.4.4. Efectos de refracción y acomodación
  - 6.4.5. Resolución y agudeza
  - 6.4.6. Contraste y sensibilidad
- 6.5. Prismas reflectivos
  - 6.5.1. Aspectos geométricos de la reflexión
  - 6.5.2. Diagrama de túnel. Efecto de un bloque de vidrio plano
  - 6.5.3. Tipos comunes de prismas
  - 6.5.4. Algunas aplicaciones de prismas reflectivos en instrumentación

### **Introducción a las aberraciones**

- 6.6. Aberración cromática
  - 6.6.1. Caracterización de la dispersión
  - 6.6.2. Efectos cromáticos en una lente delgada
  - 6.6.3. El doblete acromático y conceptos relacionados
  - 6.6.4. Espectro secundario: corrección apocromática
- 6.7. El origen de las aberraciones monocromáticas
  - 6.7.1. El origen de las aberraciones monocromáticas
  - 6.7.2. Aberraciones de frente de onda y aberraciones de rayos
- 6.8. La función de aberración de onda. Clasificación de aberraciones
  - 6.8.1. El polinomio de aberración de frente de onda
  - 6.8.2. Tipos clásicos de aberraciones
  - 6.8.3. Patrones de intersección de rayos y diagrama de manchas
  - 6.8.4. Aberración longitudinal
  - 6.8.5. Tolerancias de aberraciones
  - 6.8.6. Ejemplo: Cálculo de la aberración de onda y la de rayo

### **7. Cálculo de las aberraciones primarias**

- 7.1. Los coeficientes de aberración de Seidel
  - 7.1.1. Los invariantes de refracción paraxiales
  - 7.1.2. Contribución de cada superficie a la aberración de frente de onda
  - 7.1.3. Las fórmulas de aberración de Seidel
  - 7.1.4. Casos especiales libres de aberración. El menisco aplanático
  - 7.1.5. Aberraciones cromáticas
  - 7.1.6. Ejemplo de diseño: un objetivo de cámara simple
- 7.2. Astigmatismo y curvatura de campo
- 7.3. Aberraciones primarias de un prisma reflector (placas plano-paralelas)
- 7.4. Aberraciones de un espejo esférico

### **8. Aberraciones de una lente delgada en aire**

- 8.1. Aberraciones centrales (diafragma en el lente)
  - 8.1.1. Aberraciones independientes de la forma
  - 8.1.2. El factor de forma y el parámetro de amplificación
  - 8.1.3. Aberraciones dependientes de la forma
  - 8.1.4. El doblete corregido
  - 8.1.5. Un manual básico y práctico de aberraciones
- 8.2. Aberraciones de una lente delgada con un diafragma remoto

- 8.2.1.El parámetro de excentricidad
- 8.2.2.Efectos del desplazamiento del diafragma para una superficie
- 8.2.3.Efectos del desplazamiento del diafragma para un sistema en general y para un lente delgado
- 8.2.4.Teoremas para el desplazamiento del diafragma
- 8.2.5.Ejemplo: La lente de proyección de Petzval
- 8.3. La solución de dos y tres componentes con  $\Sigma K$  fijo
  - 8.3.1.La solución de dos componentes
  - 8.3.2.La solución de tres componentes
  - 8.3.3.El triplete de Cooke

## 9. Diseño óptico

- 9.1. El proceso de diseño óptico
- 9.2. Haciendo el sistema real: engrosamiento, aberración total
- 9.3. Ejemplo de diseño
- 9.4. Optimización
- 9.5. Pupilas y formación de imágenes de pupilas
  - 9.5.1.Aberración de pupilas
  - 9.5.2.Forma de la pupila fuera de eje y viñeta
  - 9.5.3.Formación de imágenes fuera de eje y coordenadas canónicas
- 9.6. Asféricas
- 9.7. Una breve guía al software de diseño óptico

## 10. Trazo de rayos finitos

- 10.1. Forma vectorial de la ley de Snell
- 10.2. Ecuación de una superficie y normal a una superficie
- 10.3. Transferencia entre superficies
- 10.4. Refracción

## 11. Desplazamiento de foco

- 11.1. Desplazamiento longitudinal de foco
- 11.2. Desplazamiento transversal de foco

## 13. Introducción al uso del programa de diseño óptico ZEMAX

### ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

- i) **Frente a docente:** Se cubre un total de 28 sesiones de una hora y media a la semana con la participación activa del estudiante. 14 sesiones de ayudantía, que incluyen la aclaración de dudas del curso, la solución de problemas, demostraciones prácticas y sesiones para exámenes parciales  
2 proyectos  
Proyecto I. Dos programas de computación
  - PI.1 Diseño de un doblete aplanático delgado (diafragma en la lente)
  - PI.2 Trazo de rayos paraxial y cálculo de las aberraciones de Seidel
 Proyecto II. Programa de doblamiento de lentes delgadas
- ii) **Independientes:** El estudiante realiza al menos 42 horas de actividades diversas fuera del aula como: tareas, solución de problemas, lectura y análisis de artículos de investigación y otras referencias bibliográficas.
- iii) **Demostraciones:**
  - Leyes de reflexión
  - Distancia focal
  - Instrumentos ópticos
  - Aberraciones

## **CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION Y ACREDITACION**

3 exámenes parciales a libro cerrado de 2 horas cada uno.	50%
5 tareas.	20%
2 Proyectos.	30%

## **BIBLIOGRAFÍA**

- P. Mouroulis and J. Macdonald, Geometrical Optics and Optical Design, Oxford UP, New York, 1997.
- W. T. Welford, Aberrations of Optical Systems, Adam Hilger, Bristol, 1986.

## **REFERENCIAS ADICIONALES**

- J. E. Greivenkamp, Field Guide to Geometrical Optics, SPIE Press, Bellingham WA, 2004.
- W. J. Smith, Modern Optical Engineering, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 2008.
- Handbook of Optical Systems: Vol. 3, Aberration Theory and Correction of Optical Systems, Edited by H. Gross, Wiley-VCH, Weinheim, 2007.
- M. J. Kidger, Fundamental Optical design, SPIE Press, Bellingham WA, 2002.
- M. J. Kidger, Intermediate Optical design, SPIE Press, Bellingham WA, 2004.
- J. M. Geary, Introduction to Lens Design with Practical Zemax Examples, Willmann-Bell, Richmond VA, 2002.