

Física General IV: Óptica

Práctico de Laboratorio N°3: Lentes Delgadas

Objetivo: Identificar los tipos y características de las lentes delgadas, los parámetros empleados en la formación de imágenes y la determinación experimental de focos e imágenes generados por las lentes.

Introducción: Se llaman lentes delgadas aquellas lentes cuyo espesor d es pequeño comparado con sus distancias focales y los radios de curvatura de las superficies refringentes. En la aproximación paraxial, los ángulos de desviación que sufre un haz de luz a través de la lente son pequeños. Esta situación se garantiza cuando el haz se propaga en la proximidad del eje de simetría de la lente. Bajo estas condiciones es válida de la **Fórmula del Constructor de Lentes** o ecuación de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), \quad (1)$$

donde n es el índice de refracción del material con el que la lente está construida y se asume para el medio circundante (aire) que el índice es la unidad. Suponiendo que la luz se propaga de izquierda a derecha, se tiene según la convención de signos establecida para superficies refractoras que la distancia objeto s_o es positiva si el objeto se encuentra a la izquierda de la lente, mientras que la distancia imagen s_i resulta positiva si la imagen se encuentra a la derecha de la lente. El radio R_1 de la primer superficie se toma positivo para las superficies convexas y el radio R_2 de la segunda superficie se toma positivo para las superficies cóncavas.

Considerando los límites $s_o \rightarrow \infty$ y $s_i \rightarrow \infty$ en la Ec. (1), resulta inmediatamente que los focos objeto e imagen son iguales para una lente delgada, por lo que estas se caracterizan por un único foco f dado por:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right). \quad (2)$$

El signo de esta expresión determina si la lente es convergente (positiva) o divergente (negativa).

De esta forma se obtiene la **Fórmula de Gauss** para las lentes delgadas

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}. \quad (3)$$

Cuando la distancia focal se mide en metros, la potencia de una lente, dada por $1/f$ queda expresada en dioptrías.

Si dos lentes delgadas coaxiales de distancias focales f_1 y f_2 se colocan en contacto, se tiene que el sistema se comporta como una lente delgada equivalente de distancia focal f dada por

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}. \quad (4)$$

De esta forma, la superposición de lentes delgadas genera una lente cuya potencia es suma de las potencias de las lentes individuales.

Para cualquier sistema óptico se define la magnificación transversal o lateral M_T como la razón entre las dimensiones transversales (al eje óptico) de la imagen y del objeto. Mediante el trazado del rayo que pasa por el centro de la lente y que une los extremos del objeto y la imagen, resulta inmediatamente para una lente delgada que

$$M_T = -s_i/s_o, \quad (5)$$

donde la inclusión del signo da cuenta de magnificación negativa para imágenes invertidas con respecto al objeto. Se puede demostrar que la magnificación longitudinal M_L , es decir la magnificación de la distancia entre dos puntos sobre el eje óptico, es el cuadrado de la magnificación lateral

$$M_L = -M_T^2, \quad (6)$$

donde el signo indica que una flecha sobre el eje óptico que apunta hacia la lente, tiene como imagen una flecha que apunta alejándose de la lente.

Desarrollo Experimental: Para garantizar la validez de la aproximación paraxial, utilice diafragmas apropiados sobre cada lente, con el fin de sólo permitir la propagación de rayos en la proximidad del eje óptico de la lente.

Experiencia 1: Determinar la distancia focal de las lentes convergentes disponibles utilizando:

- a) un haz de rayos incidentes paralelos (objeto en el infinito),
- b) pares medidos de distancias objeto-imagen y empleando la fórmula de Gauss para determinar la distancia focal mediante un ajuste de cuadrados mínimos.

Experiencia 2: Reproduzca dos de las situaciones medidas en la parte b) de la experiencia anterior. Una de las cuales en la que $d_o > 2f$ y otra para la cual $f < d_o < 2f$. Mida en cada caso las dimensiones transversales de objeto e imagen para calcular la magnificación transversal. Compare los valores obtenidos con lo que resulta de la aplicación de la Ec. (5).

Experiencia 3: Una lente divergente no genera imágenes reales que puedan verse sobre la pantalla. Por este motivo para determinar el foco de una lente divergente se usa en forma auxiliar una lente convergente de mayor potencia para fabricar un par positivo. Determinar así la distancia focal de una lente divergente utilizando los procedimientos de la primer experiencia y la Ec. (4).

Experiencia 4: Medir los radios de curvatura de una lente positiva cilíndrica y su distancia focal, y utilizar la fórmula del constructor de lentes, Ec. (2), para determinar el índice de refracción del material. Notar que para una lente cilíndrica las ecuaciones descriptas en la introducción son válidas únicamente para rayos trazados en planos perpendiculares al eje del cilindro. En particular, apreciar qué imagen forma un haz de rayos incidentes paralelos.

Experiencia 5: Estudio cuali-cuantitativo de la formación de una imagen real:

Seleccione una lente esférica de gran diámetro y ubíquese frente de una ventana (o fuera del laboratorio) y obtenga sobre una pantalla translúcida la imagen de un objeto lejano situado fuera del aula (edificios, arboles). Indique que características presenta la imagen obtenida, y de que factores depende su nitidez.

Bibliografía:

- J. S. Fernández y E. Galloni, *Trabajos Prácticos de Física*, “La Linea Recta”, Buenos Aires (1963).
- E. Hecht, *Optics*, Addison Wesley, Reading, MA (1998), 3ed.