

Óptica geométrica II: lentes e imágenes.

Versión 2.0

Héctor Cruz Ramírez¹
Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM
¹hector.cruz@ciencias.unam.mx

septiembre 2017

Índice

1. Objetivos	1
2. Teoría	2
2.1. Lentes delgadas y ley de Gauss	2
3. Propiedades de las lentes	3
3.1. Distancia focal	3
3.2. Magnificación	4
3.3. Transmitancia	5
3.4. Experimento	5
3.4.1. Lente positiva	5
3.5. Lente negativa	6
3.6. Telescopio	7
3.7. Microscopio	7
4. Pormenores de la práctica	7
5. Agradecimientos	7

1. Objetivos

Los objetivos de la práctica son los siguientes:

1. Medir la distancia focal de una lente positiva mediante la formación de imágenes.
2. Medir la distancia focal de una lente negativa mediante la formación de imágenes.
3. Medir algunas propiedades de las lentes

4. Construir un telescopio.
5. Construir un microscopio.

2. Teoría

2.1. Lentes delgadas y ley de Gauss

Basados en la teoría de la óptica geométrica paraxial y de primer orden, la formación de *imágenes* con *lentes delgadas* (el que una lente sea delgada es una aproximación adicional) esta dada por la llamada *ecuación de lentes delgadas* [1, 2, 3, 4]

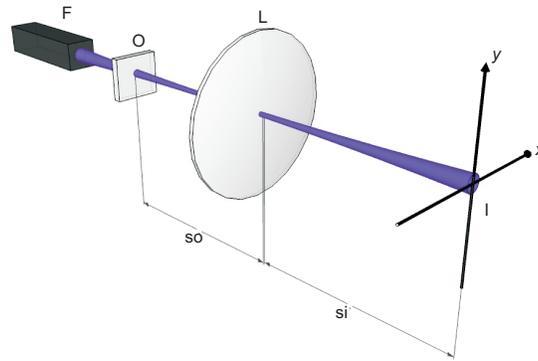


Figura 1: Sistema óptico conformado por una fuente de luz (F), una lente (L) de distancia focal f . Si el objeto (O) se encuentra en la posición s_o , entonces la imagen se encuentra en la posición s_i de tal forma que se cumple la ecuación de lentes delgadas, Ec. (1).

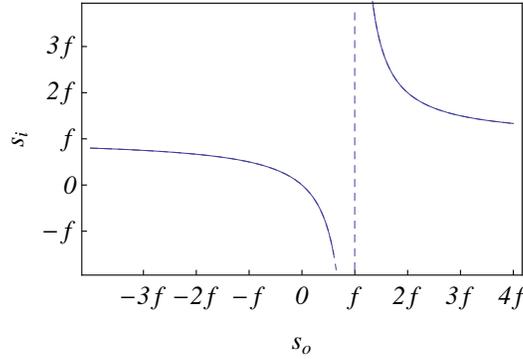
$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}, \quad (1)$$

donde s_o es la distancia del objeto, O, ver Figura (1) a la lente delgada L; y s_i es la distancia de la lente al plano donde se forma la imagen (I); y f es la distancia focal de la lente. Existe una convención de signos para s_o , s_i y f que se resume en el Cuadro (1) [1, 2].

El comportamiento de s_o y s_i es sintetizado en la Figura (2) para una *lente positiva* y en la Figura (3) para una *lente negativa*.

Todo *sistema óptico* se le asocia un *eje óptico*, en este caso será el eje z de la Figura (1). El cual es definido como la dirección de un rayo de luz que pasa por el centro de la lente de tal forma que el rayo reflejado y el rayo transmitido tienen la misma dirección que el rayo incidente. El plano que se encuentra a la distancia focal de la lente y del lado del objeto se llama *plano focal posterior*, y

	> 0	< 0
s_o	Objeto real	Objeto virtual
s_i	Imagen real	Imagen virtual
f	Lente positiva	Lente negativa

 Cuadro 1: Convención de signos para s_o , s_i y f .

 Figura 2: Relación entre s_o y s_i para una lente positiva ($f > 0$).

el plano que se encuentra a la distancia focal de la lente del lado de la imagen se llama *plano focal frontal*[1, 2].

3. Propiedades de las lentes

A continuación se describen algunas propiedades de las lentes, las cuales algunas dependerán del sistema $(s_o, s_i, f, \lambda, n)$.

3.1. Distancia focal

La **ecuación de fabricante de lentes** determina la distancia focal, f , de una lente hecha con un material de índice de refracción n y cuyas superficies tienen **radios de curvatura** R_1 y R_2 respectivamente, esta dada por[1, 2]

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{(n - 1)^2 d}{n R_1 R_2}, \quad (2)$$

donde d es la distancia entre vértices de las superficies. Si el radio de curvatura es negativa es una superficie convexa y si es positiva es una superficie cóncava. Una conclusión importante de la ecuación anterior es que la distancia focal depende la **frecuencia angular** ya que n depende de ella[1, 2, 3, 4].

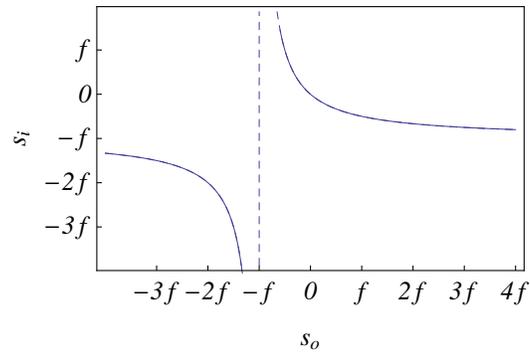


Figura 3: Relación entre s_o y s_i para una lente negativa ($f < 0$).

3.2. Magnificación

La imagen producida por una lente puede ser magnificada e invertida. Lo cual se modela con la siguiente ecuación de **magnificación transversal** (M_t) [1, 2]

$$M_t = -\frac{s_i}{s_o}, \quad (3)$$

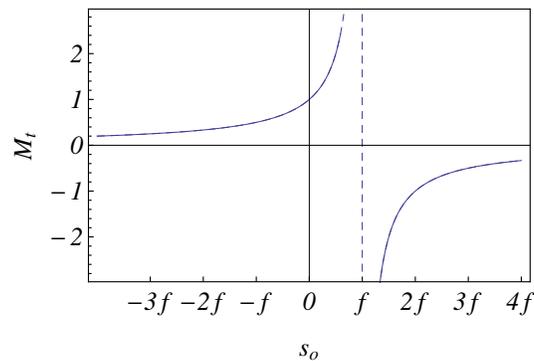


Figura 4: Amplificación transversal en función de s_o para una lente positiva ($f > 0$).

en la Figura (4) se encuentra sintetizado el comportamiento de M_t en función de s_o para una lente positiva y de igual forma para una lente negativa en la Figura (5).

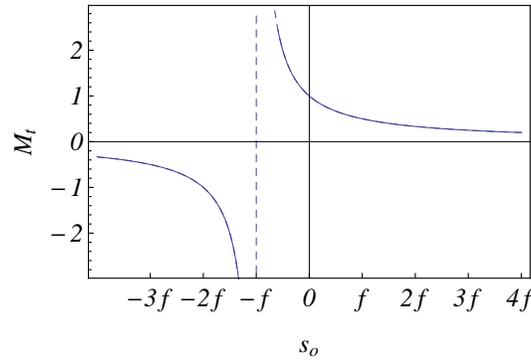


Figura 5: Amplificación transversal en función de s_o para una lente negativa ($f < 0$).

3.3. Transmitancia

La luz incide sobre la lente, una parte se refleja y la otra se transmite. El flujo de energía que se transmite se ve afectada por pérdidas por absorción y por la luz que se refleja. Para disminuir las pérdidas por reflexión los fabricantes cubren a la lente con una película antireflectora (los materiales de la película dependerán en que longitud de onda que se trabaje). Entonces, es importante medir cual es la pérdida de potencia al pasar por la lente,

$$t = \frac{P_s}{P_0}, \quad (4)$$

donde la t es la transmitancia, P_0 es la potencia de la luz que incide en la lente y P_s es la potencia después de pasar por el elemento óptico.

3.4. Experimento

3.4.1. Lente positiva

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Estimar la distancia focal de la lente obteniendo la imagen de un objeto que se encuentre en el *infinito*.
2. El siguiente experimento es medir la distancia focal mediante la ecuación de lentes delgadas. Se fija la posición s_o del objeto y después se encuentra su imagen en la posición s_i . El alumno puede ayudarse de la Fig. (2) para estimar la posición de la imagen. Se repite el mismo proceso para varias posiciones del objeto. El arreglo experimental consiste en una lente positiva con una distancia focal entre 10cm a 30cm; una fuente de luz blanca colimada; una diapositiva con un impresión de un objeto en

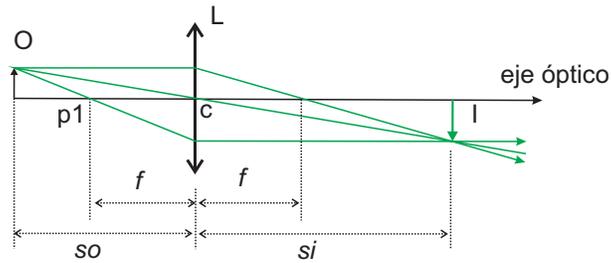


Figura 6: Trazado de rayos.

blanco y negro; y una pantalla donde se observe la imagen. Todo montaje sobre monturas de desplazamiento y estas sobre un riel graduado. El arreglo experimental debe alinearse previamente utilizando un láser y dos diafragmas. Los detalles serán explicados en clase.

3. El alumno deberá realizar un análisis de rayos. El análisis de rayos consiste trazar desde el objeto tres rayos, ver Figura (6): El primer rayo se traza desde un punto del objeto (O) paralelo al eje óptico hasta la lente (L) y después de la lente este rayo se traza pasando por el punto focal posterior (p2); el segundo rayo se traza desde el objeto pasando por el centro de la lente (c); el tercer rayo se traza desde el objeto pasando por el punto focal frontal (p1) hasta la lente y después este rayo se traza paralelo al eje óptico. La intersección de los tres rayos es donde se forma la imagen.

3.5. Lente negativa

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. El siguiente experimento es medir la distancia focal mediante la ecuación de lentes delgadas. Si fija la posición s_o del objeto y después se encuentra su imagen en la posición s_i formada por un sistema compuesto: lente positiva + lente negativa. Se repite el mismo proceso para varias posiciones del objeto. El arreglo experimental consiste en una lente positiva y una lente negativa (las distancias focales deberán cumplir $|f| < 30\text{cm}$); una fuente de luz blanca colimada; una diapositiva con una impresión de un objeto en blanco y negro; y una pantalla donde se observe la imagen. Todo montaje sobre monturas de desplazamiento y estas sobre un riel graduado. El arreglo experimental debe alinearse previamente utilizando un láser y dos diafragmas. Los detalles serán explicados en clase.
2. El alumno deberá realizar un análisis de rayos y después un análisis con la ecuación de lentes delgadas.



3.6. Telescopio

La idea principal es usar dos lentes positivas separadas una distancia d de tal forma que se obtenga una imagen virtual y ampliada de un objeto que se encuentre muy alejado. El alumno deberá realizar un análisis de rayos tomando en cuenta las dos lentes positivas; después deberá realizar un análisis con la ecuación de lentes delgadas tomando en cuenta la ampliación transversal total de las dos lentes:

$$M_T = M_2 M_1, \quad (5)$$

donde M_1 es la ampliación de la primera lente y M_2 la ampliación de la segunda lente. El alumno deberá realizar un análisis de rayos y después un análisis con la ecuación de lentes delgadas.

3.7. Microscopio

De forma coloquial se puede decir que el microscopio compuesto consiste en poder observar un objeto de dimensiones pequeñas, o sea poder obtener una imagen virtual ampliada mediante un sistema óptico conformado por dos lentes positivas. Para este experimento debemos considerar un objeto de dimensiones $L \times L$. Los valores de L que se puedan observar dependerá de las lentes elegidas. El objeto se coloca cerca del plano focal frontal de la primera lente (llamado objetivo) este formara una imagen. La imagen formada por el objetivo servirá como objeto para la segunda lente (llamada ocular). La posición del ocular deberá ser tal que la imagen sea virtual y ampliada. El alumno deberá realizar un análisis de rayos y después un análisis con la ecuación de lentes delgadas.

4. Pormenores de la práctica

La práctica es de tres sesiones de laboratorio.

5. Agradecimientos

Estas notas fueron realizadas con el apoyo de los proyectos PAPIME PE106415 (version 1) y PE105917 (version 2). Agradecemos a los estudiantes Samuel Corona Aquino, Javier Alejandro López, Alfaro Jorge Arturo Monroy Ruz y Francisco Javier Morelos Medina por su contribución a la elaboración de estas notas.

Referencias

- [1] B.D. Guenther, "Modern Optics," Oxford University Press; 2 edition (2015).
- [2] E. Hecht, "Optics," Addison-Wesley; 4 edition (2001).



- [3] B.E.A Saleh y M.C. Teich, "Fundamentals of photonics," Wiley-Interscience; 2 edition (2007).
- [4] M. Born and E. Wolf, "Principles of optics," Cambridge University Press; 7 edition (1999).