

FORMACIÓN DE IMÁGENES CON LENTES

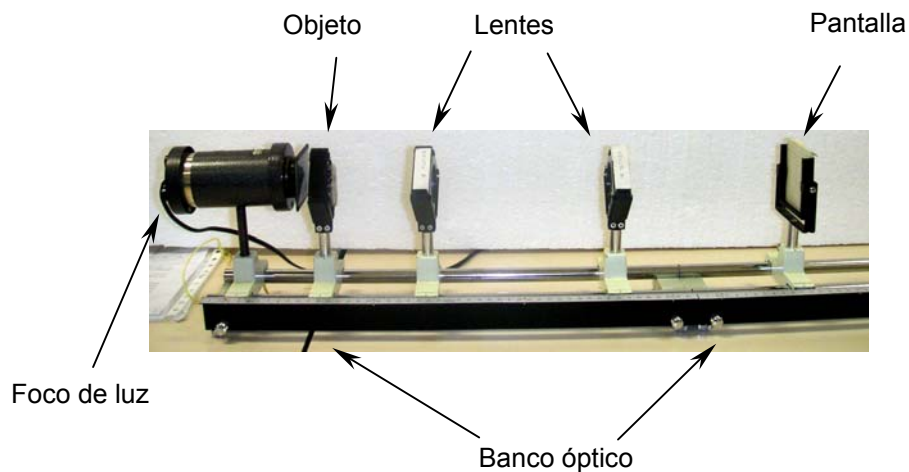
Fecha: 07/02/05

1. Objetivo de la práctica

Estudio de la posición y el tamaño de la imagen de un objeto formada por una lente delgada. Determinación de la distancia focal de la misma. Aplicación a la imagen final que forma un sistema de dos lentes.

2. Material

- Banco óptico con regla graduada
- Lámpara de iluminación con vidrio difusor de luz y objeto transparente
- Dos lentes cuyas distancia focales son desconocidas
- Pantalla para la observación de la imagen



3. Teoría

Dado un cierto objeto, una lente puede formar una imagen del mismo gracias al proceso físico de la *refracción de la luz* que ocurre en la superficie que separa el vidrio del aire. Como se ilustra en la Fig. 1, el ángulo que forma el rayo refractado con la normal a la superficie es menor dentro del vidrio que fuera en el aire, cumpliéndose la ley de Snell para la refracción dada por:

$$1^{\text{a}} \text{ cara: } n_{\text{aire}} \text{ sen } \theta_{\text{aire}} = n_{\text{vidrio}} \text{ sen } \theta_{\text{vidrio}}$$

$$2^{\text{a}} \text{ cara: } n_{\text{vidrio}} \text{ sen } \theta'_{\text{vidrio}} = n_{\text{aire}} \text{ sen } \theta'_{\text{aire}}$$

donde $n_{\text{aire}} \cong 1$ y n_{vidrio} son los índices de refracción del aire y del vidrio respectivamente. (El índice de refracción es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio considerado; por tanto, siempre es mayor que 1 excepto para el vacío donde vale 1, y para el aire donde es muy aproximadamente igual a 1).

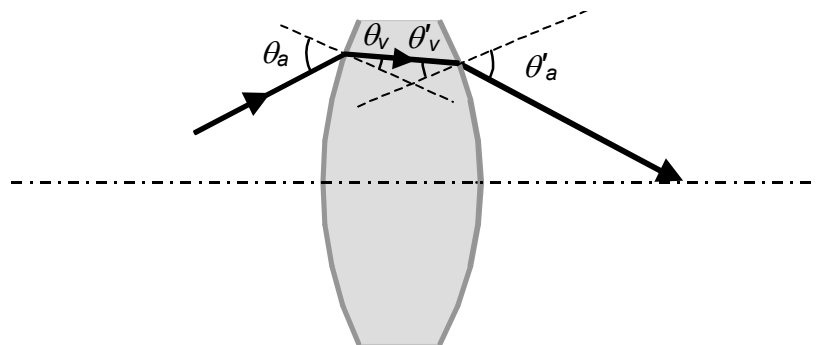


Fig. 1. Trayectoria de los rayos refractados en las dos caras de una lente.

Si consideramos el cono de infinitos rayos que, saliendo de un punto del objeto, están delimitados por los bordes de la lente (Fig. 2), se puede demostrar teórica y experimentalmente que todos ellos van a confluir muy aproximadamente en un punto al otro lado de la lente, lo cual hace que se forme una imagen de características similares al objeto. Para que la aproximación sea buena, el ángulo del cono de rayos no debe ser grande (d 10°) y se suele hablar de aproximación paraxial, aunque un cono mayor produzca una imagen más brillante. La imagen en el caso de la Fig. 2 es de mayor tamaño, invertida y de menor luminosidad que el objeto; en otras configuraciones geométricas puede ser menor y derecha. También se puede demostrar que la posición y el tamaño de la imagen vienen dados por las siguientes fórmulas:

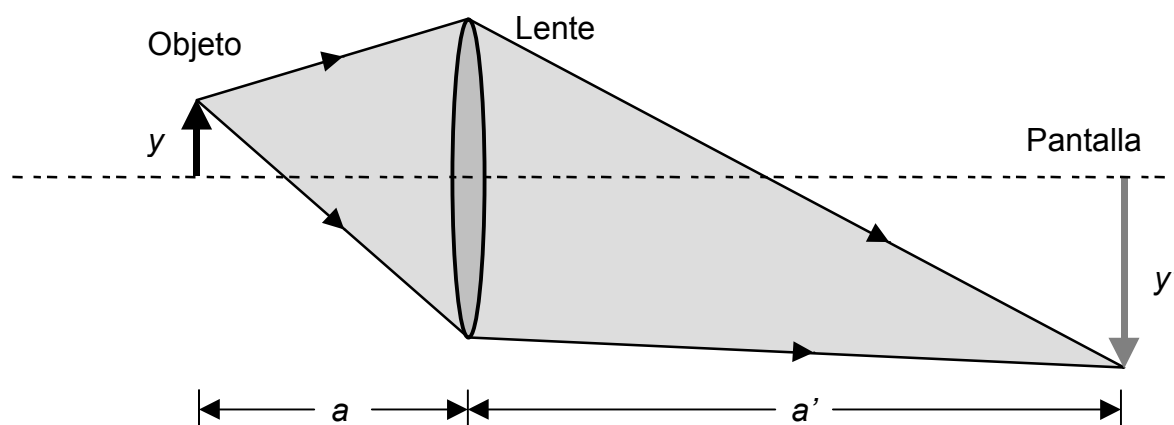


Fig. 2. Conos de rayos que forman una imagen cuando se usa una lente convergente (más gruesa por el centro que por los bordes).

$$\frac{1}{a'} + \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}; \quad \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} \quad (1)$$

donde a' y a son respectivamente las distancias desde la imagen y desde el objeto hasta la lente, mientras que y' e y son los tamaños de la imagen y del objeto. En cuanto a f' , es la llamada *distancia focal* de la lente (distancia a la que se forma la imagen de un punto objeto situado en el infinito), y su inversa $1/f'$ es la *potencia* de la lente (la cual se mide en unidades de m^{-1} denominadas *dioptrías*). Con las fórmulas anteriores, por tanto, se puede determinar la posición y el tamaño de la imagen si se conoce la distancia focal; o bien se puede determinar la distancia focal desconocida de una lente midiendo las posiciones del objeto y de la imagen.

4. Montaje experimental

- En un extremo del banco óptico se coloca la fuente luminosa que, según el tipo de banco, contiene o no contiene al objeto y al difusor. Si no los contiene, a continuación se coloca el objeto tan cerca de la fuente como sea posible para que la luminosidad del objeto sea la mayor posible; el difusor de luz debe colocarse entre la fuente y el objeto y su misión es la de distribuir la luz de modo homogéneo por todo el objeto. A continuación se colocan, por este orden, la lente A y la pantalla, y se varían sus posiciones hasta que se observe una imagen nítida del objeto sobre la pantalla.
- Como tanto el tamaño del objeto y (su altura), como la distancia focal de la lente f'_A permanecen constantes, multiplicando la primera ecuación de (1) por a' y substituyendo la segunda se tiene:

$$\frac{y'}{y} = \frac{1}{f'_A} a' - 1 \quad (2)$$

Por tanto, representando los cocientes y'/y en función de los valores de a' se deben obtener puntos aproximadamente situados sobre una recta. La pendiente de la recta debe ser igual a $1/f'_A$, por lo que se puede obtener la distancia focal de la lente.

- c) Se repite el procedimiento anterior para la lente B, para obtener la distancia focal f'_B .
- d) Colóquese ahora la lente A en una posición tal que forme una imagen más pequeña que el objeto (a una distancia del objeto $\sim 5 \cdot f'_A$). Tómese esta imagen como objeto para la lente B, colocando esta última de modo que se obtenga una segunda imagen como se indica en la Fig. 3 (la mayor parte de los instrumentos ópticos operan con varias lentes).
- e) Midáse la distancia a la que aparece cada imagen respecto a su lente correspondiente, es decir a'_A y a'_B , y compárense los valores con los calculados aplicando dos veces la ecuación primera de (1) usando los valores de f'_A y f'_B obtenidos previamente.

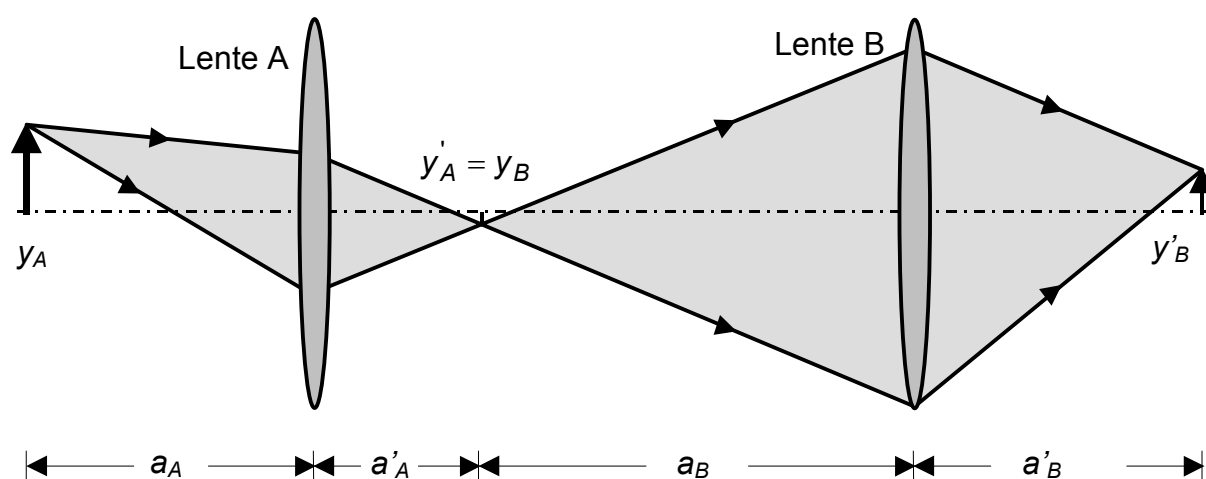


Fig. 3. Formación de imágenes mediante dos lentes en serie.

5. Resultados

- a) Las medidas de a , a' , y' , se hacen por ejemplo para 5 valores de a , entre ~ 7 cm y ~ 80 cm para la lente A, y entre ~ 12 cm y ~ 70 cm para la lente B, anotándose los resultados en la Tabla 1.

- b) A continuación se representan los valores de y'/y en función de a' , y , primero visualmente y después por mínimos cuadrados, se ajustan a una recta de cuya pendiente se obtiene $1/f'$ (y por tanto f') para la lente A.
- c) Se repite el apartado anterior para la lente B.
- d) Para que la lente B produzca una imagen y'_B de la imagen y'_A dada por la lente A, se toma como distancia entre el objeto y_A y la lente A un valor varias veces mayor que f'_A (por ejemplo $a \sim 5 f'_A$), de modo que la y'_A sea claramente menor que el objeto. Medida la posición de y'_A , se coloca la lente B a una distancia de dicha imagen entre 1.5 y 2 veces el valor de f'_B , para observar la imagen y'_B en la pantalla. Una vez medidas las diferentes distancias objeto e imagen, compárense los valores de a'_B y de y'_B con el calculado mediante la aplicación de la ecuación de (1) dos veces consecutivas.
- e) Una manera sencilla de comprobar que la distancia focal de cada lente está dentro del orden de magnitud que se ha obtenido es la siguiente. Se utiliza como fuente de luz “muy alejada” un tubo fluorescente del techo del Laboratorio y se coloca la lente perpendicular a la vertical del tubo a la altura de una mesa. Usando un papel blanco como pantalla, se varía la distancia entre la lente y el papel hasta que se observe una imagen nítida del tubo fluorescente sobre el papel. En ese momento, la distancia lente-papel coincide aproximadamente con la distancia focal de la lente.

6. Trazado gráfico de rayos (no es obligatorio).

- a) Dibújense en un papel milimetrado las posiciones del objeto inicial y de las dos lentes obtenidas en el apartado 5.d.
- b) Márquense sobre el eje los focos objeto e imagen de ambas lentes:
 - F'_A estará a la distancia f'_A a la derecha de la lente A.
 - F_A será simétrico de F'_A respecto de la lente A.
 - F'_B estará a la distancia f'_B a la derecha de la lente B.
 - F_B será simétrico de F'_B respecto a la lente B.
- c) Para obtener la imagen dada por la lente A se utilizan las propiedades de los focos, “*todo rayo que entra paralelo al eje, sale de la lente pasando por el foco imagen; todo rayo que pasa por el foco objeto, sale de la lente paralelo al eje*”. Por tanto, trazando un rayo desde el extremo del objeto y_A que sea paralelo al eje, saldrá pasando por F'_A ; ahora se traza un rayo que pase por F_A , por lo que

saldrá paralelo al eje. Donde se corten ambos rayos, se tendrá el extremo de la imagen y'_A , el cual determina la posición y el tamaño de y'_A .

- d) Tomando ahora como objeto para la lente B la imagen $y'_A = y_B$, repítase el procedimiento anterior para obtener y'_B .
- e) Comparando con el resultado numérico del apartado 5.d, estímesese el error cometido con el trazado gráfico.

Bibliografía

1. Alonso y Finn, *Física General, Vol. II (Campos y Ondas)*. Addison Wesley Iberoamericana. (O cualquier libro de Física General).

Tabla 1. Datos de a' y de y' para la **lente A**
 $y = \pm \text{ m}$

$a \pm \Delta a, (\text{m})$	$a' \pm \Delta a', (\text{m})$	$y' \pm \Delta y', (\text{m})$	$y'/y \pm \Delta(y'/y)$

Tabla 2. Datos de a' y de y' para la **lente B**
 $y = \pm \text{ m}$

$a \pm \Delta a, (\text{m})$	$a' \pm \Delta a', (\text{m})$	$y' \pm \Delta y', (\text{m})$	$y'/y \pm \Delta(y'/y)$

Tabla 3. Datos de a' y de y' para las dos lentes encadenadas
 $y_A = \pm \text{ m}$

Valores medidos							Valores calculados		
$a_A, (m)$	$a'_A, (m)$	$y'_A, (m)$	$a_B, (m)$	$a'_B, (m)$	$y'_B, (m)$	y'_B/y_A	$a'_B, (m)$	$y'_B, (m)$	y'_B/y_A