

Parte A: Lentes delgadas

### Objetivos

Estudio cualitativo y cuantitativo de sistemas ópticos simples. Análisis de la formación de imágenes por lentes convergentes. Determinación de la distancia focal de lentes convergentes delgadas.

## Proyecto 1.- Lentes convergentes – Observaciones cualitativas I

**Equipamiento recomendado:** Una lente convergente o una lupa común.

El objetivo de este proyecto es realizar algunas observaciones cualitativas usando una lente convergente.

**Observación de la imagen que forma una lente convergente:** Observe algún objeto a través de una lente convergente. Observe objetos cercanos (la escritura de un texto, por ejemplo) y objetos lejanos (un paisaje, un edificio o un árbol). Describa cualitativamente sus observaciones.

- Describa cómo varían las características de lo que observa al variar la distancia observador–objeto. ¿La imagen es más grande, más pequeña o igual que el objeto mismo? ¿La imagen es derecha o invertida? ¿Varían estas imágenes al variar la distancia observador–lente?
- Otra propiedad interesante de las lentes convergentes es que forman *imágenes reales*, es decir imágenes que pueden proyectarse en una pantalla. Para realizar esta observación es conveniente disponer de un objeto bien iluminado, por ejemplo, un árbol o un paisaje. También será conveniente que Ud., con su lente y una pantalla se coloque en un lugar con mucha sombra, pero que le permita ver claramente el objeto iluminado. Interponga la lente

entre el objeto y la pantalla y varíe la distancia lente–pantalla hasta que aparezca una imagen nítida del objeto. La imagen en la pantalla aparecerá invertida. Este es el principio de funcionamiento de una cámara fotográfica, en la cual la película fotográfica constituye la “pantalla” donde se forma la imagen.

**Determinación de la distancia focal de una lente convergente:** El *foco* de una lente convergente es el punto sobre el eje óptico a una distancia  $f$  de la lente, donde convergen todos los rayos incidentes paraxiales (paralelos y cercanos al eje) luego de la refracción.<sup>[1,2]</sup> Una manera simple de determinar  $f$ , llamada *distancia focal* de la lente, consiste en formar sobre una pantalla una imagen de una fuente de luz que se encuentre muy alejada de la lente. Con esta condición, los rayos incidentes podrán considerarse como paralelos y la imagen puntual de esta fuente lejana estará a una distancia de la lente igual a  $f$ .

- Elija una fuente de luz lejana, por ejemplo el Sol o una lámpara de alumbrado lejana, y coloque su lente convergente entre esta fuente y una pantalla. Varíe la distancia lente–pantalla hasta que sobre la pantalla aparezca en forma nítida una imagen puntual (o lo más pequeña que sea posible). En estas condiciones, la distancia lente–pantalla es la distancia focal de la lente. Para lograr imágenes bien nítidas es importante que el plano de la lente esté paralelo a la pantalla y ambos con sus planos perpendiculares a la dirección determinada por la pantalla y la fuente de luz.

- ✓ Estime la distancia focal de su lente usando este procedimiento.

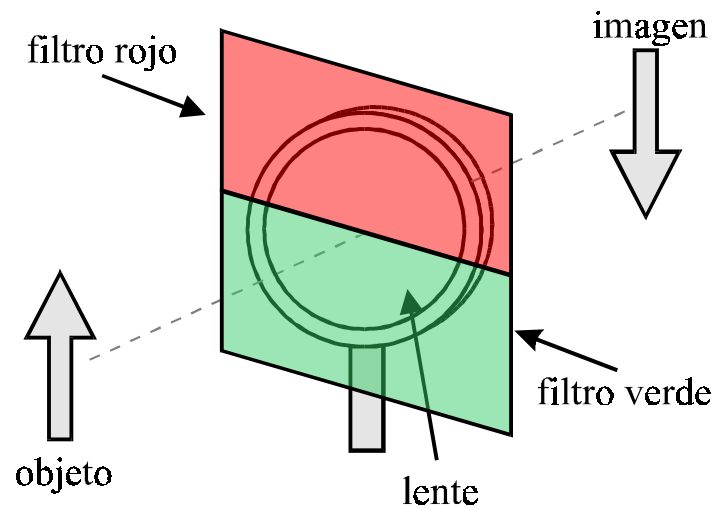
**Nota:** Si usa al Sol como fuente de luz lejana, note que en este caso la lente concentra en su foco toda la luz del Sol que incide sobre ella. En una demostración de esto último se trata de quemar papel (se quema a aproximadamente 230 °C, Ref. [3]) usando el calor producido por esta alta concentración de luz en un solo punto. Para encender el papel se necesita cierto tiempo de exposición (mantener el pulso y esperar que no se nuble).

## Proyecto 2.- Propiedades de las lentes – Observaciones cualitativas II

**Equipamiento recomendado:** Una lente convergente de distancia focal entre 5 cm y 10 cm. Una lámpara incandescente u otro objeto luminoso. Láminas transparentes de color para usar como filtros. Un banco óptico.

Una propiedad interesante de las lentes y otros sistemas ópticos es la siguiente.<sup>[4]</sup> Imagine que Ud. tiene un objeto, el cual, mediante una lente convergente, forma una imagen real sobre una pantalla, como se esquematiza en la Fig. 1. Sin hacer el experimento, prediga como variará la imagen si se cubre la mitad superior de la lente con una máscara opaca (que no permita el paso de la luz) y como será la imagen si se tapa la mitad izquierda. Realice un diagrama ilustrando la forma del objeto y su imagen en cada caso. Pregúntese también sobre cómo será la imagen si se cubre tres cuartas partes de la lente. Luego, realice el experimento y compare sus predicciones con sus observaciones. ¿Cómo se explican estos resultados? Trate de entender sus observaciones usando el principio de Fermat.<sup>[1,2]</sup> Para ello recuerde que según este principio, el camino (o caminos) que sigue la luz para ir de un punto A a otro B son aquellos que hacen mínimo, máximo o estacionario el tiempo de tránsito entre A y B. En una lente ideal, el tiempo de tránsito de la luz desde un punto del objeto al correspondiente punto en su imagen es el mismo para todos los rayos (paraxiales) que pasan por la lente. En otras palabras, los rayos llegan a cualquier punto de la imagen provenientes del punto correspondiente del objeto y pasan por todos los puntos de la lente. Esta propiedad de las lentes es similar a la relación entre imagen y objeto en el caso de espejos elípticos. Si colocamos un objeto en uno de los focos de la elipse, la imagen se producirá en el otro foco. Como la distancia foco–espejo–foco es la misma para todos los puntos de la elipse, también lo será el tiempo que emplea la luz para ir de un foco (objeto) al otro (imagen). Por consiguiente los rayos que llegan a la imagen provienen de todos los puntos de la elipse; si se obstruye una parte del espejo

elíptico, la imagen se sigue formando igualmente completa en el otro foco, sólo que la cantidad de luz que llegará será menor.



**Figura 1** Explorando propiedades de las lentes.

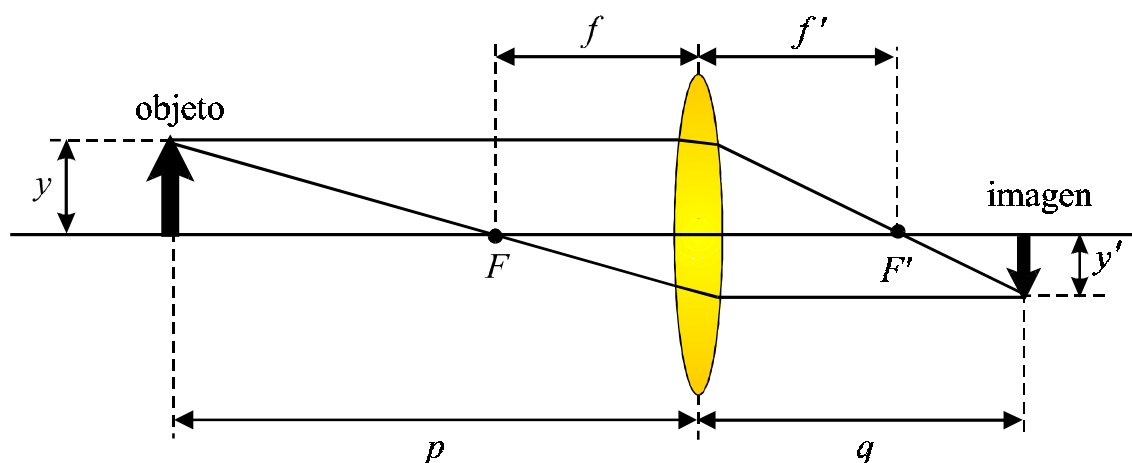
- Obstruya distintas partes de la lente y observe cómo afecta esto a la imagen. Describa sus conclusiones.
- Otra propiedad interesante de las lentes puede apreciarse cubriendo la mitad superior de la lente con un filtro rojo y la mitad inferior con uno verde.<sup>[4]</sup> Dos trozos de papel transparente de estos colores pueden servir de filtros o bien dos trozos de acrílico coloreados. Antes de hacer el experimento conjeture sobre lo que espera observar (en cuanto al color de la imagen que se formará). Luego, realice el experimento y discuta sus resultados.
- ¿Cuál es la diferencia entre una imagen real y una imagen virtual? ¿Qué tipo de imagen es la que se observa en un espejo plano? ¿Y en uno cóncavo?
- ¿Qué tipo de imagen puede ser proyectada sobre una pantalla: una imagen real o una virtual? ¿Dónde debe ubicarse el objeto respecto de la lente para obtener una

imagen que pueda observarse sobre una pantalla? Investigue estos puntos trabajando sobre el banco óptico.

## Proyecto 2.- Lentes convergentes – Estudio cuantitativo

**Equipamiento recomendado:** Una lente convergente de distancia focal entre 5 cm y 10 cm. Una lámpara incandescente u otro objeto luminoso. Láminas transparentes de color para usar como filtros. Un banco óptico.

A continuación estudiaremos cuantitativamente lo elaborado en el proyecto anterior. Use un banco óptico para alinear los elementos (objeto, lente, pantalla), en la disposición que se describe esquemáticamente en la Fig. 2.



**Figura 2** Disposición en un banco óptico de una lente delgada y un objeto y definición de las distancias importantes.

- Para diversas distancias objeto–pantalla, encuentre todas las imágenes que pueda variando la posición de la lente. ¿Para cuántas posiciones de la lente ve imágenes nítidas en la pantalla? Cada vez que observe imágenes nítidas, mida:

- ✓ la distancia objeto-lente ( $p$ ),
  - ✓ la distancia pantalla-lente ( $q$ ),
  - ✓ los tamaños de objeto e imágenes y sus respectivas orientaciones (derecho o invertido).
- Represente  $q$  en función de  $p$  y también  $q^{-1}$  en función de  $p^{-1}$ . ¿Qué relación encuentra entre  $q$  y  $p$ ? Discuta si sus datos pueden describirse con la expresión de Gauss para las lentes delgadas.<sup>[1,2]</sup>

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

donde  $f$  es la distancia focal de la lente.

- Del gráfico  $q^{-1}$  en función de  $p^{-1}$  encuentre la distancia focal  $f$  de la lente. Determine la incertidumbre de la determinación de  $f$ . Una forma de estimar las incertidumbres de las distancias  $p$  y  $q$  consiste en desplazar la lente mientras se mantiene fija la distancia objeto-pantalla ( $D = p + q$ ). Al variar la posición de la lente se determina el rango de posiciones para el cual la nitidez de la imagen no varía. Este rango permite estimar las incertidumbres de las distancias  $p$  y  $q$ . Si hay varios factores que inciden en la determinación de las distancias, indíquelos, y discuta su peso en la determinación de las incertidumbres finales.
- Se define el aumento lateral  $m$  como la razón del tamaño de la imagen al tamaño del objeto. Determine experimentalmente el aumento de la imagen que resulta para distintas posiciones relativas entre objeto y lente. Compare el resultado de sus mediciones con las predicciones de la óptica geométrica. Represente gráficamente  $m$  y el cociente  $q/p$  en función de  $p$  en un mismo gráfico y discuta sus resultados.

- Otra propiedad interesante de las lentes convergentes es que sólo forman imagen de un objeto sobre una pantalla cuando la distancia objeto–pantalla,  $D = p + q$ , cumple la condición  $D > 4f$  (Fig. 2), donde  $f$  es la distancia focal.
  - ✓ Investigue experimentalmente la validez de esta afirmación usando un banco óptico y una lente de distancia focal  $f$  conocida.
  - ✓ Usando la Ec.(1) es posible demostrar que si  $D > 4f$  la lente no forma imagen. Para ello escriba la Ec. (1) en términos de  $D$  y  $q$  y obtenga  $q$  en función de los otros parámetros (resulta una ecuación cuadrática en  $q$ ). Analice la solución y demuestre que no es posible la formación de la imagen si  $D < 4f$ . Analice el caso particular de  $D = 4f$ . ¿Dónde se forma la imagen y con qué aumento en este caso?

## Referencias

1. E. Hecht, *Optics*, Addison–Wesley Pub. Co., New York, 1990.
2. D. Halliday, R. Resnick y J. Walker, *Física para estudiantes de ciencias e ingeniería*, 4ª ed., traducido de *Fundamentals of Physics*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1993.
3. Ray Bradbury, *Fahrenheit 451*, Ediciones Minotauro, Buenos Aires, 1995.
4. P. Hewitt and D. Heckathorn, “Figuring Physics”, *Phys. Teach.* **37**, 104 (1999).

## Parte B: Instrumentos Ópticos

En la presente práctica se construirá un microscopio compuesto sencillo y se determinará su aumento. Luego se empleará un microscopio de laboratorio, se calibrará la escala del ocular para los distintos objetivos y se determinarán los aumentos del mismo.

El microscopio se emplea para observar objetos pequeños. Consta esencialmente de dos lentes. La más cercana al objeto a observar se denomina *objetivo* y la más cercana al observador se denomina *ocular*. El objetivo forma una imagen real y ampliada del objeto con la cual el ocular forma una nueva imagen virtual más ampliada que es observada por el ojo. De esta manera se alcanzan aumentos muy superiores a los que se pueden obtener con un microscopio simple (lupa). En general, la disposición del ocular respecto al objetivo es tal que los rayos emergentes del ocular sean paralelos, de este modo la imagen final se forma en el infinito y la observación se realiza a ojo relajado.

### 1) Construcción de un microscopio compuesto.

Elementos necesarios:

2 lentes convergentes de distinta distancia focal, 2 pantallas milimetradas, objeto, lámpara, banco óptico.

Para la construcción de un microscopio elemental compuesto se utilizarán dos lentes, una de corta distancia focal que será el objetivo y otra de mayor distancia focal que será el ocular. Ver Figura 1. Cómo debe ir ubicado el ocular de modo de obtener una imagen final en el infinito? ( Sugerencia: puede usar el objeto cruz y una pantalla para determinar los planos objeto- imagen del objetivo y con ello posicionar el ocular). Recuerde alinear correctamente todos los elementos empleados.



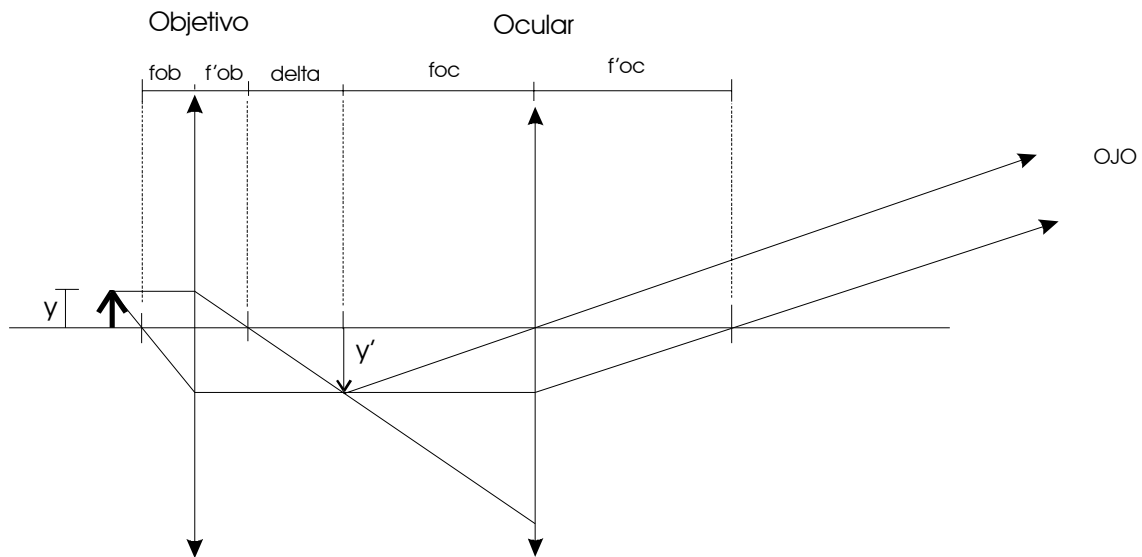


Figura 1: diagrama de microscopio

El aumento de este microscopio puede calcularse como:

$$D = \frac{\text{delta} \cdot 25}{f_{ob} \cdot f_{oc}}$$

Donde *delta* es la distancia que hay entre el foco imagen del objetivo y la posición donde se forma la imagen.

Para medir este aumento se reemplaza el objeto por una pantalla milimetrada, luego se coloca una segunda pantalla milimetrada a 25 cm de los ojos y simultáneamente se observan por el microscopio las dos pantallas (una con cada ojo). Se deberá establecer cuantas divisiones de la pantalla posterior (N1) coinciden con las de la pantalla más cercana (N2) y calcular dicho aumento.

$$D' = \frac{N2}{N1}$$

## 2) Microscopio de Laboratorio

En esta parte de la práctica se utilizará un microscopio de laboratorio el cual consta de varios objetivos y un ocular compuesto.

El microscopio está diseñado de modo tal que la distancia entre el objeto y la posición donde se forma la imagen del objetivo está estandarizada, a fin de que al cambiar de objetivo el ajuste necesario para mantener el objeto enfocado es mínimo.

a) Calibración del micrómetro ocular

El ocular del microscopio posee una escala que es necesario calibrar para los distintos aumentos que se puede lograr con el mismo. Para ello se observará una platina que tiene una escala de dimensiones conocidas, es decir hay una distancia X entre las divisiones de la misma. Por el microscopio se observan ambas escalas y se determinará el número N de divisiones de la platina que coinciden con n divisiones del micrómetro del ocular.

Se deberá calibrar para cada objetivo del microscopio.

b) Determinación del aumento eficaz del microscopio

Se observara una platina milimetrada por el microscopio y simultáneamente otra a ojo desnudo ubicada a 25 cm del observador de modo de estimar los diferentes aumentos del mismo.

c) Medición de un objeto.

Usando la escala calibrada del ocular se medirá un objeto para los distintos aumentos del microscopio.

Apéndice

Se define aumento eficaz a

$$D = \frac{\text{tg}(u')}{\text{tg}(u)}$$

Donde u es el ángulo subtendido por el objeto mirado a ojo desnudo a 25 cm de distancia.

u' es el ángulo bajo el cual se ve la imagen final mirada por el ocular.

$$\text{Tg}(u') = \frac{y'}{foc}$$

$$\frac{Y'}{y} = \frac{\text{delta}}{fob}$$

$$Y' = y \times \frac{\text{delta}}{fob}$$

$$\text{Tg}(u') = \frac{(y \times \text{delta})}{(fob \times foc)}$$

Reemplazando:  $D = \frac{(\text{delta} \times 25)}{(fob \times foc)}$