

Capítulo 8

Lentes y sistemas formadores de imágenes

El mundo de la fotografía y la videografía ha sido revolucionado por los intrincados componentes dentro de las lentes de la cámara. Más allá de aparentar ser solo un accesorio, las lentes son la puerta de entrada para capturar imágenes impresionantes. Los arreglos de lentes también permiten tener otros dispositivos de gran calidad, como los telescopios. El rol fundamental de una lente o sistema de lentes en estos dispositivos es proyectar la imagen de un objeto sobre el elemento sensible de la cámara (Fig. 8.1).

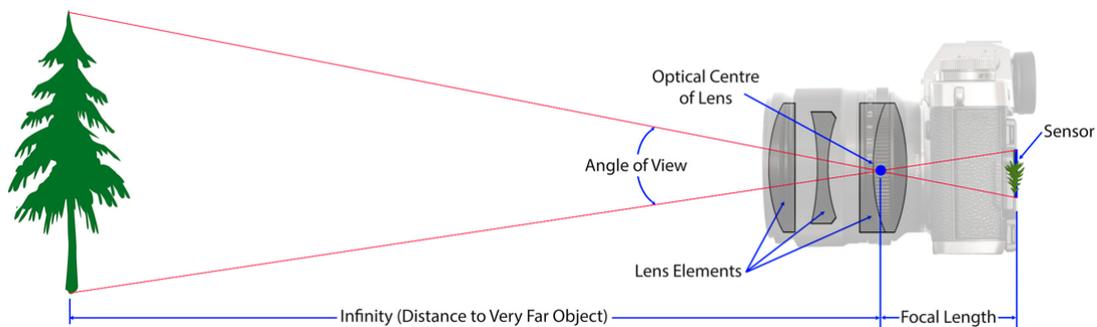


Figura 8.1: Mediante un sistema de lentes, se forma una imagen de-magnificada del objeto en el sensor de la cámara

8.1. Sistemas de lentes simples

Las propiedades ópticas que definen una lente están originadas en su composición estructural, específicamente en su distancia focal, ángulo de campo de visión y apertura relativa.

Podemos clasificar a las lentes como convergentes o divergentes, como se esquematiza

en la Fig. 8.2. En el caso de las lentes convergentes (convexas), los haces que inciden paralelos al eje óptico convergen en el plano focal de la misma. En cambio, en la lente divergente, los haces que inciden paralelos al eje óptico divergen, pareciendo provenir de un punto focal virtual, localizado detrás de la lente.

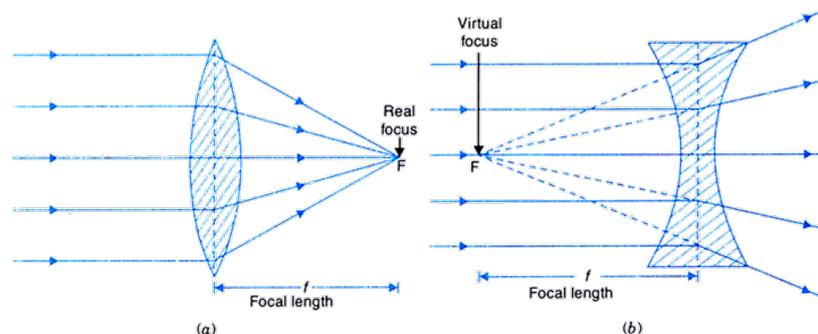


Figura 8.2: El foco de las lentes convergentes (a) y divergentes (b)

8.1.1. La ecuación de la lente, las bases de la óptica geométrica

En el caso de que las lentes sean delgadas, se puede encontrar una relación entre la distancia focal (f), la posición del objeto (u) y la posición de la imagen (v), conocida como la ecuación de la lente

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad (8.1)$$

A la relación entre el tamaño de la imagen (h') y el tamaño del objeto (h) se la conoce como aumento y esta también se relaciona con la posición objeto e imagen como

$$M = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u} \quad (8.2)$$

En base a la ecuación de la lente, se puede definir el trazado de ciertos haces de luz a partir de los cuales se puede obtener la descripción geométrica de las lentes, como se esquematiza en la Fig. 8.3. Las reglas básicas son:

- El haz de luz que incide paralelamente al eje principal sobre una lente convergente pasa por el foco real, mientras que en una lente divergente, dicho haz parece provenir del foco virtual.
- El haz de luz que pasa por el centro óptico de la lente sigue su trayectoria sin desviarse.

- El haz de luz que incide sobre la lente pasando por el foco real de una lente convergente sale de la lente de manera paralela al eje principal. En una lente divergente, el haz de luz que se dirige hacia el foco virtual sale de la lente paralelamente al eje principal.

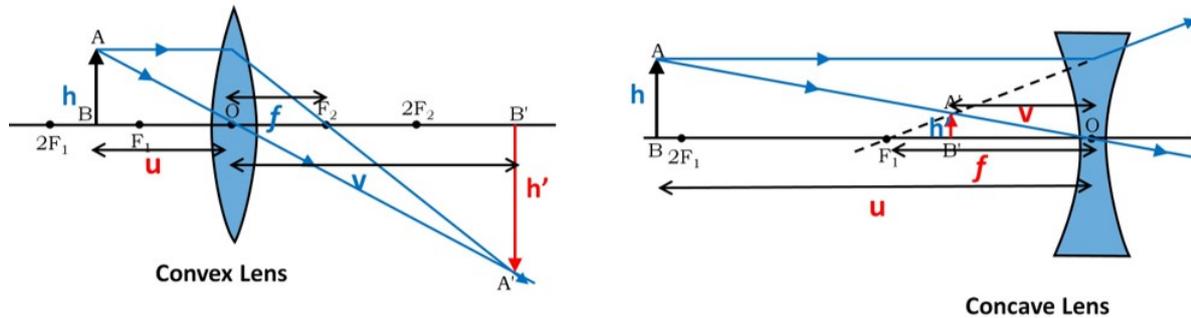


Figura 8.3: Trazado de haces principales en lentes delgadas

8.1.2. Apertura numérica, profundidad de foco y resolución

La apertura numérica (NA) de una lente es una medida de su capacidad para coleccionar luz y resolver detalles pequeños. La apertura numérica se define como:

$$NA = n \sin(\theta)$$

donde n es el índice de refracción del medio en el que se encuentra la lente y θ es el ángulo medio de aceptación de la lente. La apertura numérica puede relacionarse con los parámetros de la lente usando que

$$\sin(\theta) = \frac{D}{2f}$$

donde D es el diámetro de la apertura de la lente (o pupila de entrada) y f es la distancia focal.

Una mayor apertura numérica indica que la lente puede coleccionar más luz y tiene una mayor capacidad para resolver detalles pequeños, lo cual es crucial en aplicaciones como la microscopía y la fotografía de alta precisión.

La capacidad de colección de luz aumenta porque una lente con una mayor NA puede aceptar luz de un ángulo más amplio, lo que significa que más rayos de luz pueden entrar en la lente. Esto resulta en una imagen más brillante y mejor iluminada.

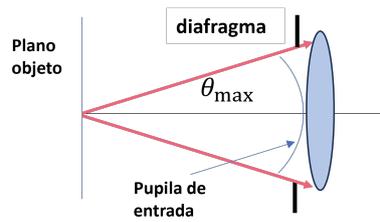


Figura 8.4: Esquema de una lente y como determina el diafragma a la apertura numérica

Además, la resolución aumenta con una mayor apertura numérica. La resolución de una lente se refiere a su capacidad para distinguir entre dos puntos muy cercanos. Según el criterio de resolución de Rayleigh, la resolución R es inversamente proporcional a la apertura numérica

$$R = \frac{0,61\lambda}{NA}$$

donde λ es la longitud de onda de la luz utilizada. Una mayor NA reduce el valor de R , permitiendo a la lente resolver detalles más finos.

El concepto de profundidad de foco también está relacionado con la apertura numérica. La profundidad de foco es la distancia sobre la cual el sistema óptico puede mantener un enfoque aceptable. La profundidad de foco está inversamente relacionada con la apertura numérica:

$$\text{Profundidad de foco} \approx \frac{\lambda}{(NA)^2}$$

Una mayor apertura numérica reduce la profundidad de foco, lo que significa que el rango de distancias en el que la imagen permanece nítida es más pequeño. Esto puede ser una ventaja o una desventaja, dependiendo de la aplicación: en microscopía, una menor profundidad de foco permite enfocar en detalles muy específicos dentro de una muestra tridimensional. En fotografía una menor profundidad de foco permite resaltar el objeto principal enfocado mientras que el resto de los objetos en otros planos están borrosos.

En resumen, una mayor apertura numérica mejora la capacidad de colección de luz y la resolución, permitiendo a la lente captar imágenes más brillantes y detalladas. Sin embargo, también reduce la profundidad de foco, restringiendo el rango de distancias a lo largo de las cuales la imagen permanece enfocada.

Experimental 1: En la experiencia de lentes vamos a estudiar primero lentes delgadas. En particular van a disponer de una fuente LED, una máscara para usar de

objeto, un diafragma, dos lentes de distinta distancia focal y una pantalla. Para ambas lentes:

- 1) Diseñar un experimento para determinar la distancia focal de las lentes.
- 2) Formar una imagen de un objeto. En que cambia la imagen si cambio el diámetro de la lente? Hint: usar un diafragma.
- 3) Como cambia la intensidad en el foco si cambio el área del diafragma?
- 3) Como varía la intensidad en la dirección longitudinal al atravesar el foco? y en la dirección transversal? Que detector usarías para medir la variación de intensidad en función de la posición?

¿Qué lente elijo para tener un foco más chico y con más intensidad?

8.2. Sistemas formados por varias lentes

En óptica, los sistemas formados por varias lentes son comunes y ofrecen diversas ventajas y funcionalidades que una sola lente no puede proporcionar. Estos sistemas pueden incluir combinaciones de lentes convergentes y divergentes para corregir aberraciones, mejorar la resolución, ajustar el campo de visión y controlar la magnificación.

Por ejemplo, las aberraciones ópticas, como la aberración cromática y la aberración esférica, pueden ser corregidas mediante la combinación de diferentes tipos de lentes. Por ejemplo:

- **Lentes Apocromáticas:** Utilizan al menos tres lentes de diferentes materiales para corregir la aberración cromática en tres colores.
- **Lentes Acromáticas:** Combinan dos lentes, generalmente una convergente y una divergente, para corregir la aberración cromática en dos colores.

Un microscopio compuesto es un buen ejemplo de un sistema óptico con varias lentes:

- **Objetivo:** Lente o sistema de lentes cercano a la muestra que produce una imagen real y ampliada.
- **Ocular:** Lente o sistema de lentes a través del cual se observa la imagen real ampliada, produciendo una imagen virtual aún más ampliada.

La magnificación total del microscopio compuesto es el producto de las magnificaciones del objetivo y el ocular.

Experimental 2: Armar algún sistema compuesto de lentes. Proponemos uno como ejemplo, pero pueden probar cualquier otro.

Telescopio. El esquema del telescopio se puede observar en la Fig. 8.5. Determinar el aumento, registrar distancias objeto, imagen, focos, distancia entre lentes. Utilizarlo para aumentar el tamaño de un laser. Como medirías el tamaño del haz?

Ahora puedes usar el telescopio para iluminar un par de rendijas. Podremos ver la difracción de Fresnel y la de Fraunhofer? Recordemos que en el foco de la lente, podemos encontrar la figura de difracción de Fraunhofer. Podemos usar una segunda lente para aumentar lo que se observa en el foco? Como elegir S_o y S_1 de manera que pueda observar la imagen, la difracción de Fresnel, y de Fraunhofer.

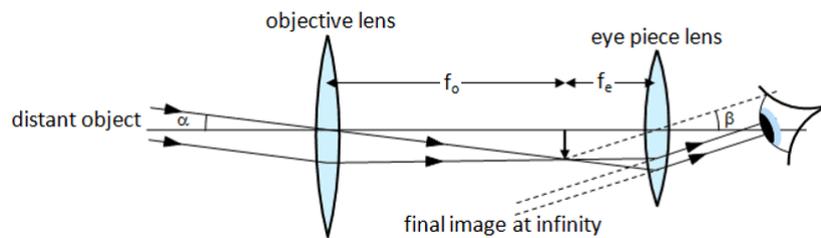


Figura 8.5: Esquema de un telescopio simple

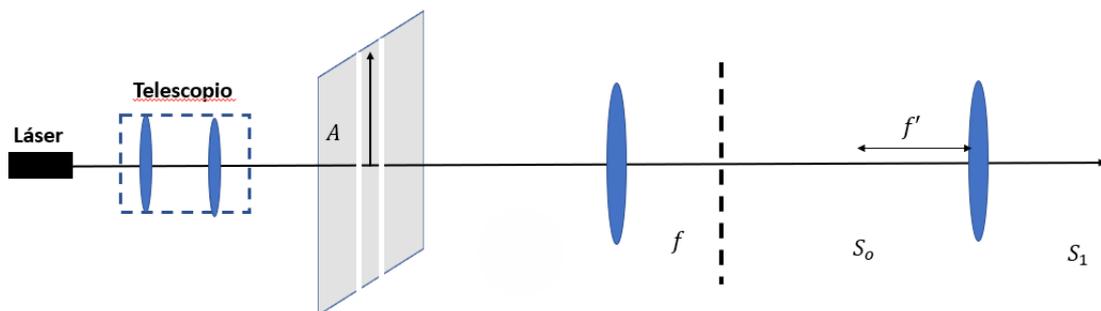


Figura 8.6: Ejemplo de montaje para observar la difracción de Fresnel y Fraunhofer