

LUPAS Y MICROSCOPIOS



Erick Barrios Barocio.
Óptica v.2025

Uno de los instrumentos ópticos más importantes en la ciencia y en especial en la medicina y biología, es el microscopio compuesto. Históricamente este instrumento fue uno de los pilares sobre los cuales evolucionaron las ciencias naturales, permitiendo el estudio de células y bacterias, así como el desarrollo de medicinas. Los microscopios basan su funcionamiento en la teoría de lentes, ya que permiten la magnificación de objetos pequeños.

Contenido

1	LA LUPA	1
2	EL MICROSCOPIO.....	3
3	REFERENCIAS.....	4

Un microscopio óptico es un instrumento cuyo propósito es ayudar en la observación de objetos muy pequeños a través de la magnificación producida con lentes, objetos cuyos detalles son muy pequeños para ser vistos a simple vista. Existen distintos tipos de microscopios, unos interactúan con el objeto y producen imágenes enviando luz y recibéndola de regreso, otros con electrones y otros recabando la fluorescencia de materiales; sin embargo, el más común y antiguo es el microscopio óptico.

Los primeros registros de microscopios datan desde inicios de los 1600 en Europa, y cuyo posible inventor fue Zacharias Janssen ^[1]. Las primeras aplicaciones de estos instrumentos fueron en anatomía, en el estudio de tejidos, y posteriormente en biología en el estudio de microorganismos, donde una de las publicaciones más relevante fue la *Micrografía* de Robert Hooke.

Para entender el funcionamiento de un microscopio, es necesario comenzar por conocer el de una lupa, y posteriormente dar el paso a la teoría básica de microscopios simples.



Figura 1. Microscopio binocular de 1914.

1 LA LUPA

Una lupa es una lente simple utilizada para producir imágenes virtuales magnificadas y que trabaja bajo la ecuación de lentes delgadas.

Para entender su funcionamiento, supongamos que un objeto está a cierta distancia o del ojo (Figura 2a). El tamaño angular de la imagen formada en la retina depende del ángulo θ subtendido por el objeto desde el ojo. A medida que el objeto se acerca al ojo, θ aumenta y el objeto se observa más grande.

Sin embargo, en promedio, un ojo normal es incapaz de enfocar sin esfuerzo objetos más cercanos que aproximadamente 25cm ^[1, 2], denominado "*punto cercano*" (i_{pc}) (Figura 2b); aunque este valor puede variar de una persona a otra y con la edad. Debido a esto, consideraremos que el tamaño angular máximo con que se puede observar el objeto (de tamaño h) es θ_o , que se encuentra cuando el objeto está en el punto cercano (i_{pc}).

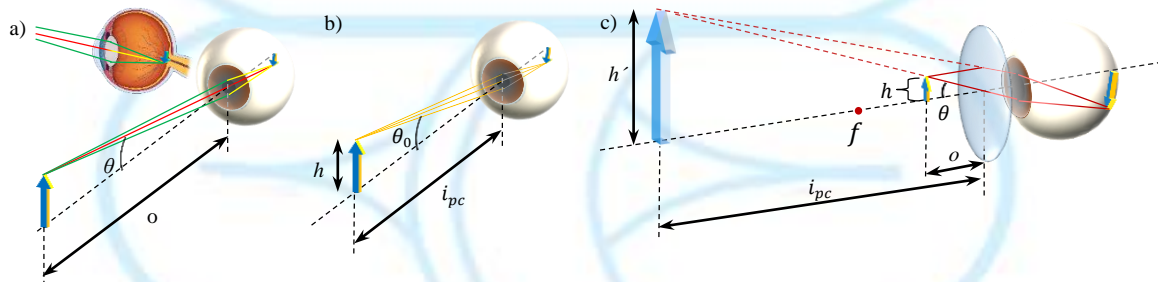


Figura 2. a) El tamaño de la imagen formada depende del ángulo subtendido; b) un objeto situado en el *punto cercano* subtiende un ángulo θ_o ; c) un objeto colocado dentro del punto focal de una lente convergente produce una imagen virtual magnificada y enfocada.

Para poder aumentar el tamaño angular del objeto, y seguir viéndolo enfocado, se puede colocar una lente convergente enfrente del ojo (Figura 2c), y posicionar el objeto dentro del punto focal de la lente. En tal posición, la lente formará una imagen virtual del objeto la cual tendrá un tamaño mayor, pero estará a una distancia más alejada de la lente (fuera del punto focal). Sin embargo, hay que notar que esta imagen virtual deberá estar en o más allá del punto cercano si queremos verla de forma nítida.

Por otro lado, el *aumento angular* (m) será la razón entre el ángulo subtendido por la imagen virtual generada por la lente (θ) y el ángulo subtendido por el objeto cerca del *punto cercano* sin lente (θ_0):

$$m = \frac{\theta}{\theta_0} \quad (1)$$

El aumento angular será máximo cuando la imagen virtual esté en el punto cercano del ojo (i_{pc}), y la posición del objeto correspondiente a esta distancia a la imagen puede calcularse a partir de la fórmula de la lente delgada (tomando en cuenta que la posición de la imagen virtual es negativa).

$$o = \frac{|i_{pc}|f}{|i_{pc}|+f} \quad (2)$$

Tomando en cuenta la aproximación paraxial en las Figuras 2b y 2c:

$$\tan\theta_0 \approx \theta_0 \approx \frac{h}{i_{pc}} \quad y \quad \tan\theta \approx \theta \approx \frac{h}{o} \quad (3)$$

Por lo que, sustituyendo en la ecuación (1), tenemos:

$$m_{max} = 1 + \frac{|i_{pc}|}{f} \quad (4)$$

Aunque el ojo puede enfocar una imagen formada en cualquier lugar entre el punto cercano y el infinito, está más relajado (menor tensión muscular) cuando la imagen está en el infinito, y para que la imagen formada por la lupa aparezca en el infinito, el objeto tiene que estar en el punto focal de la lente. En dicha configuración, la imagen también está magnificada, pero dicha magnificación será menor comparada con la dada por la ecuación (4):

$$m_{min} = \frac{|i_{pc}|}{f} \quad (5)$$

Para comprobar experimentalmente la magnificación generada por una lupa, es necesario medir el tamaño de la imagen virtual, sin embargo, al ser virtual, no podemos medirla directamente. Para solucionar esto, es necesario utilizar otra lente de foco conocido (lente auxiliar) para generar una proyección (imagen real) de la imagen virtual en una pantalla (Figura 3), y así poder realizar una medición indirecta del tamaño de la imagen virtual usando la ecuación de lente delgada.

Entonces, es necesario colocar la lupa de forma que, al observar con ella el objeto, produzca una magnificación (de preferencia máxima) y genere una imagen virtual en el punto cercano del observador. Posteriormente, se colocan la lente auxiliar y la pantalla como en la Figura 3 y se posicionan de forma que la imagen virtual ahora sea el objeto (virtual) de la lente auxiliar y genere una

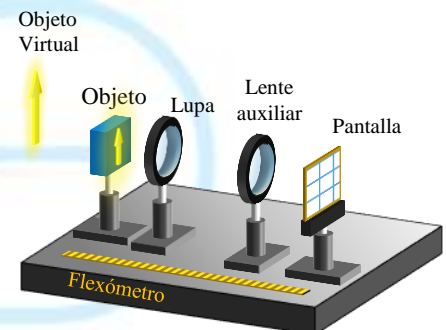


Figura 3. Arreglo experimental para analizar la magnificación de una lupa.

imagen real en la pantalla. Esto permite medir el tamaño de la imagen proyectada directamente, y utilizando las ecuaciones de lente delgada y magnificación, es posible conocer el tamaño y posición (respecto de la lente auxiliar) del objeto virtual, lo cual permite comprobar la ecuación de magnificación de la lupa.

2 EL MICROSCOPIO

Con un solo lente siendo utilizado como lupa es posible obtener magnificaciones angulares alrededor de $m = 4$ sin la presencia de aberraciones, pero al intentar mayores magnificaciones, las imágenes estarán fuertemente aberradas. Para tener magnificaciones superiores a 20, sin aberraciones, se necesitan uno o dos lentes adicionales, éste arreglo es denominado microscopio compuesto (Figura 4).

En un microscopio compuesto, la lente denominada *objetivo*, tiene una longitud focal muy corta (f_o); la segunda lente, el *ocular*, tiene una longitud focal (f_e) de unos cuantos centímetros (generalmente $f_o \ll f_e$). Las dos lentes están separados por una distancia L , la cual es más grande que f_o o f_e . El objeto se coloca en el lado externo del punto focal del objetivo (o_1) y muy cercano a este, formando una imagen (I_1) invertida real en i_1 , cuyo aumento lateral M_1 será $-i_1/o_1$. De esta forma, se puede hacer la aproximación:

$$o_1 \approx f_o \quad (6)$$

A su vez, la imagen I_1 se debe localizar por dentro del punto focal del ocular, el cual actuará como lupa sobre la imagen real producida por el objetivo y producirá una imagen virtual I_2 . De la Figura 4, i_1 puede ser aproximada como L si el ocular está cerca de la imagen I_1 , es decir, si puede hacer la aproximación ^[1]:

$$i_1 \approx L \quad (7)$$

Así:

$$M_1 \approx -\frac{L}{f_o} \quad (8)$$

El ocular, al actuar como lupa, generará una magnificación máxima o mínima, dependiendo de si la imagen virtual I_2 se observa a una distancia i_{pc} del ocular, por lo que la magnificación generada por el ocular (m_e) será:

$$m_{emax} = 1 + \frac{|i_{pc}|}{f_e} \quad \text{ó} \quad m_{emin} = \frac{|i_{pc}|}{f_e} \quad (9)$$

Finalmente, el aumento total del microscopio compuesto será el producto de ambos aumentos (ecuaciones 8 y 9):

$$M_{min} = M_1 m_{emin} = -\frac{L}{f_o} \left(\frac{|i_{pc}|}{f_e} \right) \quad (10)$$

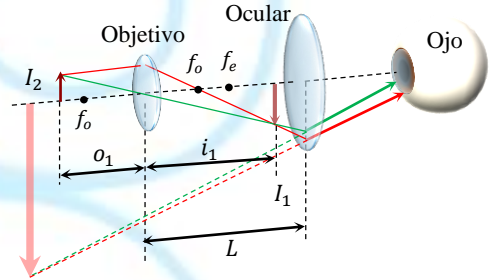


Figura 4. Diagrama óptico del funcionamiento de un microscopio.

$$M_{max} = M_1 m_{emax} = -\frac{L}{f_0} \left(1 + \frac{|i_{pc}|}{f_e} \right) \quad (11)$$

Al momento de construir un microscopio (Figura 5), es común fijar su longitud L (denominada longitud de tubo) a valores de 20cm a 25cm. De igual forma, se utilizan valores de distancia focal de objetivos del orden de milímetros; sin embargo, utilizar distancia focales pequeñas reduce la cantidad de luz que entra al sistema (reduciendo la visibilidad) y aumenta la aberración cromática. De las ecuaciones (10) y (11), también se observa que se recomienda un ocular con distancia focal pequeña, sin embargo, se tiene que cumplir que $f_e > f_o$.

Dado que la distancia focal del objetivo es pequeña, la distancia a la cual se debe colocar esta lente del objeto por observar (denominada distancia de trabajo), debe ser también pequeña, por lo que hay que tener cuidado al colocarlo.

La imagen magnificada final producida por un microscopio es una imagen virtual, por lo que si se requiere proyectarla en una pantalla para poder medir sus características, es necesario utilizar una lente auxiliar de foco conocido, y manejarla como se hizo en el caso de la Lupa.

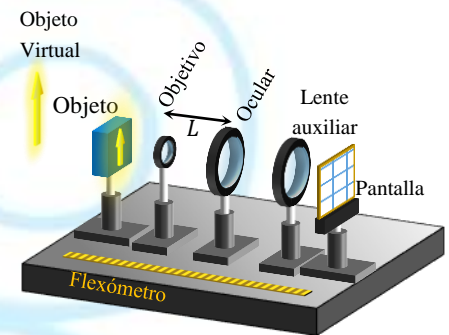


Figura 5. Arreglo experimental para analizar la magnificación de un microscopio.

3 REFERENCIAS.

- [1] R.A. Serway, R.J. Beichner. "Física para ciencias e ingeniería". 5° edición, McGraw-Hill. 2002
- [2] E. Hecht. "Óptica". 3° edición. Addison Wesley. 2000