

24-FORMACIÓN DE IMÁGENES

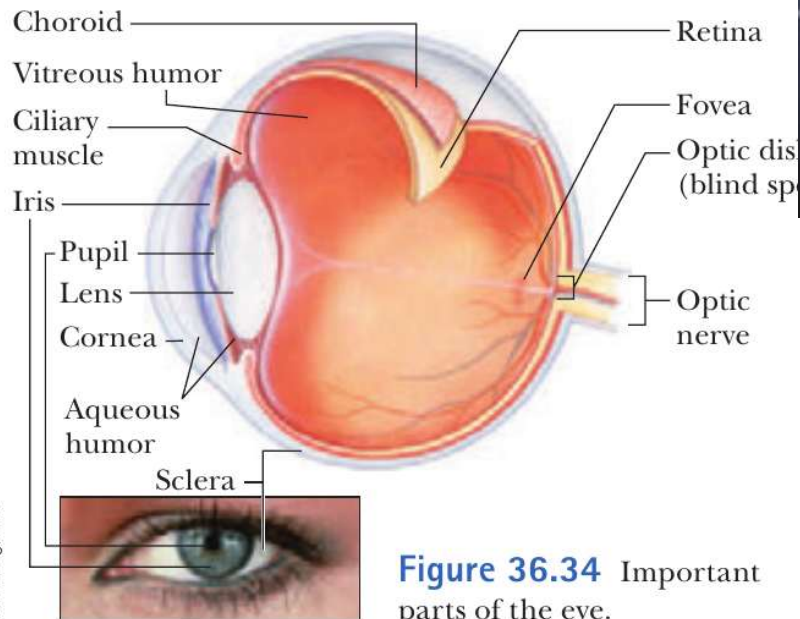
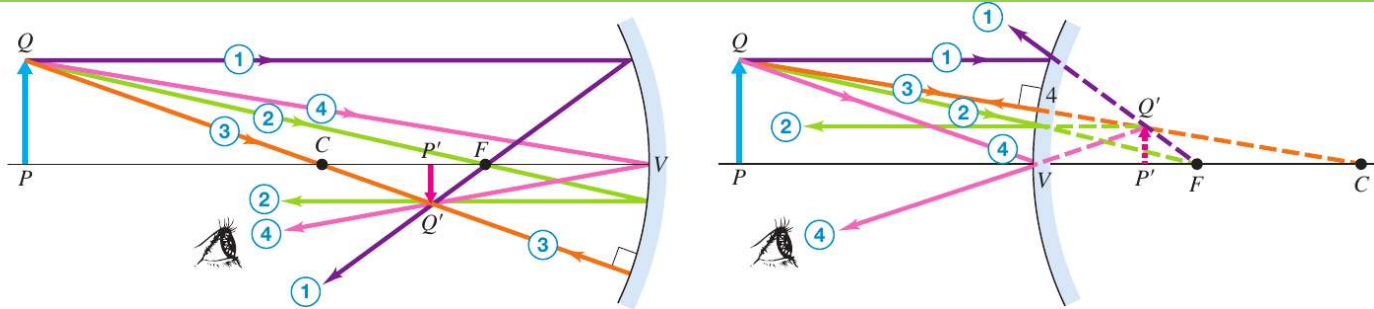


Figure 36.34 Important parts of the eye.



EJEMPLO: EJERCICIO 5.17

Segundo parcial 2021- Se colocan dos lentes delgadas con una separación de 8,00 cm. La primera de ellas es divergente y la segunda es convergente; ambas tienen una distancia focal de 11,0 cm. Un objeto de 2,50 mm de altura se coloca a 18,0 cm a la izquierda de la lente divergente. Determinar la distancia (medida desde la lente convergente) y la altura (en valor absoluto) de la imagen final.

$$d = 8,00 \text{ cm} \quad f_1 = -11,0 \text{ cm} \quad f_2 = +11,0 \text{ cm} \quad y = 0,250 \text{ cm} \quad s_1 = 18,0 \text{ cm}$$

La lente divergente crea una imagen que será el objeto de la lente convergente. Primero determino la ubicación s_1' de la imagen creada por la lente divergente y el tamaño de la misma y_1 .

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_1'} = \frac{1}{f_1} \quad s_1' = \frac{s_1 f_1}{s_1 - f_1} = \frac{18,0(-11,0)}{18,0 - (-11,0)} = -6,828 \text{ cm}$$

delante de la lente
divergente (la imagen es
virtual y derecha)

$$y_1 = -\frac{s_1'}{s_1} y = -\frac{-6,828}{18,0} 2,50 = 0,9483 \text{ mm}$$

Esta imagen queda a $8,00 + 6,828 = 14,828$, por tanto $s_2 = 14,828 \text{ cm}$

$$s_2' = \frac{s_2 f_2}{s_2 - f_2} = \frac{14,82759(11,0)}{14,82759 - (11,0)} = 42,61 \text{ cm}$$

$$y_2 = -\frac{s_2'}{s_2} y_1 = -\frac{42,61}{14,828} 0,9483 = -2,725 \text{ mm}$$

La imagen final queda a 42,6 cm a la derecha de la lente convergente y tiene una altura de 2,72 mm. La imagen es real, invertida y aumentada.

EL OJO HUMANO

En el ojo normal, un objeto situado en el infinito está enfocado nítidamente cuando el músculo ciliar se encuentra relajado.

Para permitir la formación de imágenes nítidas de objetos más cercanos en la retina, aumenta la tensión del músculo ciliar que rodea el cristalino, se contrae el músculo ciliar, se arquea el cristalino, y se disminuyen los radios de curvatura de sus superficies; esto reduce la distancia focal. Dicho proceso se llama **acomodación**.

Los extremos del rango donde es posible la visión definida se conocen como el **punto lejano** y el **punto cercano (o próximo)** del ojo. El punto lejano del ojo normal se encuentra en el infinito. La posición del punto cercano depende del grado en que el músculo ciliar puede aumentar la curvatura del cristalino.

El ámbito de acomodación disminuye gradualmente con la edad, porque el cristalino crece a lo largo de la vida de los seres humanos (es alrededor de un 50% más grande a la edad de 60 años que a los 20) y los músculos ciliares son menos capaces de deformar un cristalino más grande.

Por tal razón, el punto cercano se aleja poco a poco a medida que uno envejece.

El alejamiento del punto cercano recibe el nombre de **presbicia**.

La tabla muestra la posición aproximada del punto cercano en una persona promedio de diversas edades.

Edad (años)	Punto cercano (cm)
10	7
20	10
30	14
40	22
50	40
60	200

LA LUPA O LENTE DE AUMENTO

El tamaño aparente de un objeto está determinado por el tamaño de su imagen en la retina.

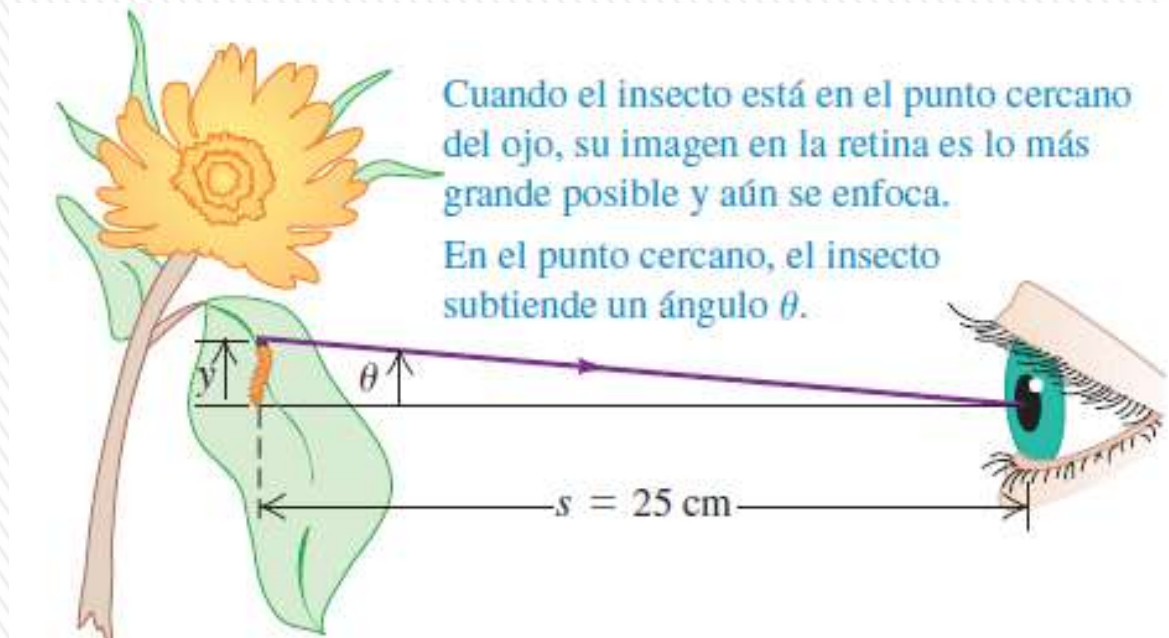
Este tamaño depende del ángulo θ que subtiende el objeto en el ojo (**tamaño angular**).

El ojo humano normal distingue apenas dos objetos puntiformes bien iluminados con una separación angular de $\theta_0 \approx 5 \times 10^{-4} \text{ rad} \approx 0,03^\circ$, representa la **separación angular mínima**, denominada **agudeza visual**.

Para observar de cerca un objeto pequeño, lo acercamos al ojo para que el ángulo subtendido y la imagen en la retina sean lo más grandes posible.

Sin embargo, **el ojo no puede enfocar nítidamente objetos más próximos que el punto cercano**; por lo tanto, el tamaño angular de un objeto es máximo (es decir, subtiende el ángulo de visión más grande posible) cuando se encuentra en el punto cercano. **Supondremos un observador promedio, para quien el punto cercano está a 25 cm del ojo.**

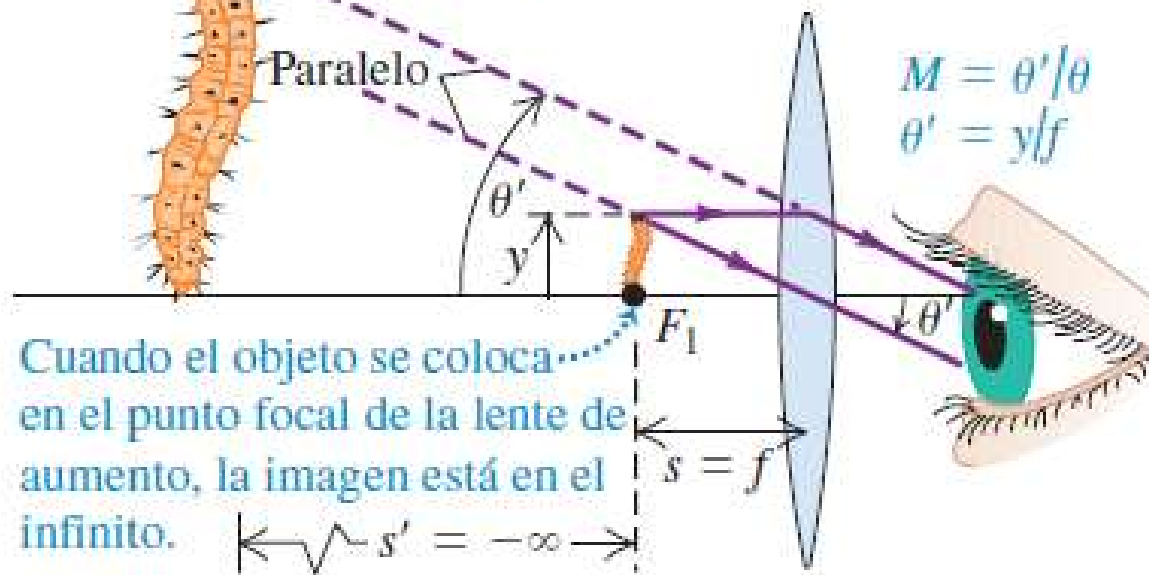
En la figura, el objeto está colocado en el punto cercano y subtiende un ángulo θ en el ojo, en donde: $y = \text{tg}(\theta) \cdot s = \text{tg}(\theta) \cdot (25,0 \text{ cm})$



LA LUPA O LENTE DE AUMENTO

b)

Con la lente de aumento, el insecto puede colocarse más cerca que el punto cercano. La lente de aumento crea una imagen virtual alargada y derecha.



Cuando el objeto se coloca en el punto focal de la lente de aumento, la imagen está en el infinito. $s' = -\infty$

Una lente convergente permite formar una imagen virtual más grande y más alejada del ojo que el objeto mismo.

Por tanto es posible acercar más el objeto al ojo, y el tamaño angular de la imagen puede ser considerablemente más grande que el tamaño angular del objeto a 25 cm sin la lente.

Una lente que se utiliza de este modo recibe el nombre de **lente de aumento**, también conocida como **lupa**.

La imagen virtual se ve con máxima comodidad cuando se encuentra en el infinito, de modo que el músculo ciliar del ojo esté relajado, lo cual significa que el objeto se coloca en el punto focal F_1 de la lente de aumento.

En esa ubicación, la lente forma una imagen virtual, ampliada y vertical.

En la figura una lente de aumento delante del ojo forma una imagen en el infinito, y el ángulo subtendido por la lente de aumento es θ' : $y = \text{tg}(\theta') \cdot f$

LA LUPA O LENTE DE AUMENTO

La utilidad de la lente de aumento queda expresada por la proporción del ángulo θ' (con la lente de aumento) con respecto al ángulo θ (sin la lente de aumento). Esta proporción se conoce como el **aumento angular M**:

$$M = \frac{\theta'}{\theta}$$

Para determinar M, suponemos que los ángulos son lo suficientemente pequeños como para que cada ángulo (en radianes) sea igual a su seno y a su tangente.

De acuerdo a las figuras tenemos que:

$$y = \operatorname{tg}(\theta) \cdot s = \operatorname{tg}(\theta) \cdot (25,0 \text{ cm}) \cong \theta \cdot 25,0 \text{ cm} \quad \text{o que:} \quad \theta \cong \frac{y}{25,0 \text{ cm}}$$

$$y = \operatorname{tg}(\theta') \cdot f \cong \theta' \cdot f \quad \text{o que:} \quad \theta' \cong \frac{y}{f}$$

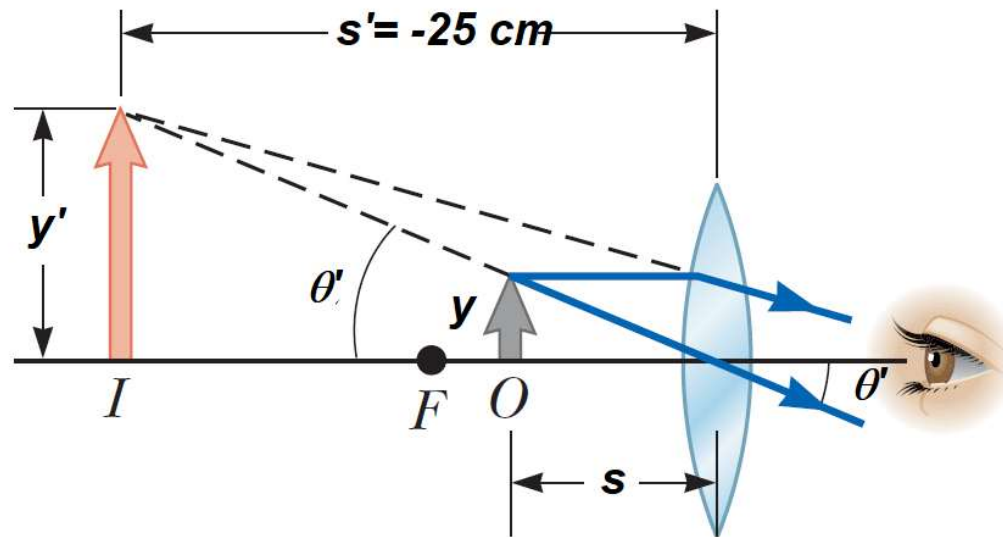
$$M_{\min} = \frac{25,0 \text{ cm}}{f}$$

Este M_{\min} es el aumento mínimo que corresponde al objeto colocado en el foco y la imagen en el infinito, f en cm

Para el caso donde la lente se sostiene cerca del ojo, la amplificación angular es un máxima cuando la imagen formada por la lente está en el punto cercano del ojo, que como dijimos estamos suponiendo que es igual a 25,0 cm.

Si tomamos entonces que la imagen se forme en el punto cercano, y no en infinito tendremos que imponer que $s' = -25,0 \text{ cm}$ y debemos hallar el valor de s para que esto suceda (ya que el objeto no lo colocamos en el foco)

LA LUPA O LENTE DE AUMENTO



Por la ecuación de las lentes delgadas:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{s} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s'} = \frac{s' - f}{s' \cdot f}$$

$$s = \frac{s' \cdot f}{s' - f} = \frac{(-25,0) \cdot f}{(-25,0) - f} = \frac{25,0 \cdot f}{25,0 + f}$$

Pero ahora tendremos que: $\theta' \cong \frac{y}{s}$

$$M_{max} = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\frac{y}{s}}{\frac{y}{25,0}} = \frac{25,0}{s} = \frac{25,0}{\frac{25,0 \cdot f}{25,0 + f}} = \frac{25,0 + f}{f} = 1 + \frac{25,0}{f}$$

$$M_{max} = 1 + \frac{25,0 \text{ cm}}{f}$$

Este M_{max} es el aumento máximo que corresponde a la imagen formada en el punto cercano o próximo de ojo (que se supone a los 25,0 cm)

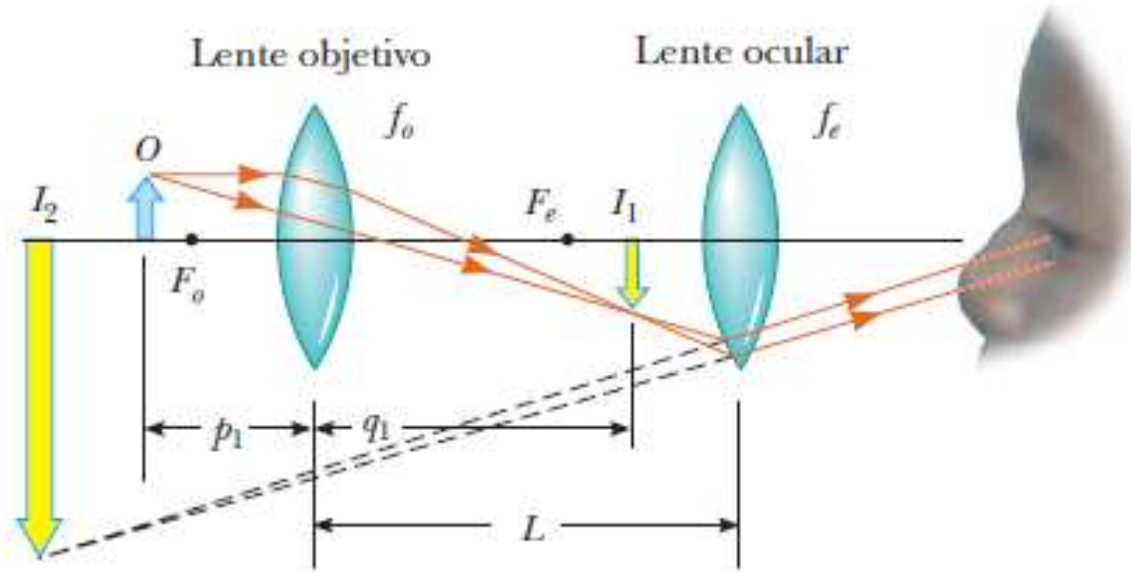
Parecería que es posible agrandar el aumento angular tanto como se desee reduciendo la distancia focal f . De hecho, las aberraciones de una lente simple biconvexa establecen un límite de M entre aproximadamente 3X y 4X.

Si se corrigen estas aberraciones, se puede alcanzar un aumento angular de hasta 20X.

Cuando se necesita un aumento aún mayor, por lo general se utiliza un microscopio compuesto.

MICROSCOPIO ÓPTICO

Una lupa o lente de aumento simple proporciona sólo una ayuda limitada en la inspección detallada de un objeto. Se logra una mayor amplificación combinando dos lentes en un dispositivo que se conoce como **microscopio compuesto**.



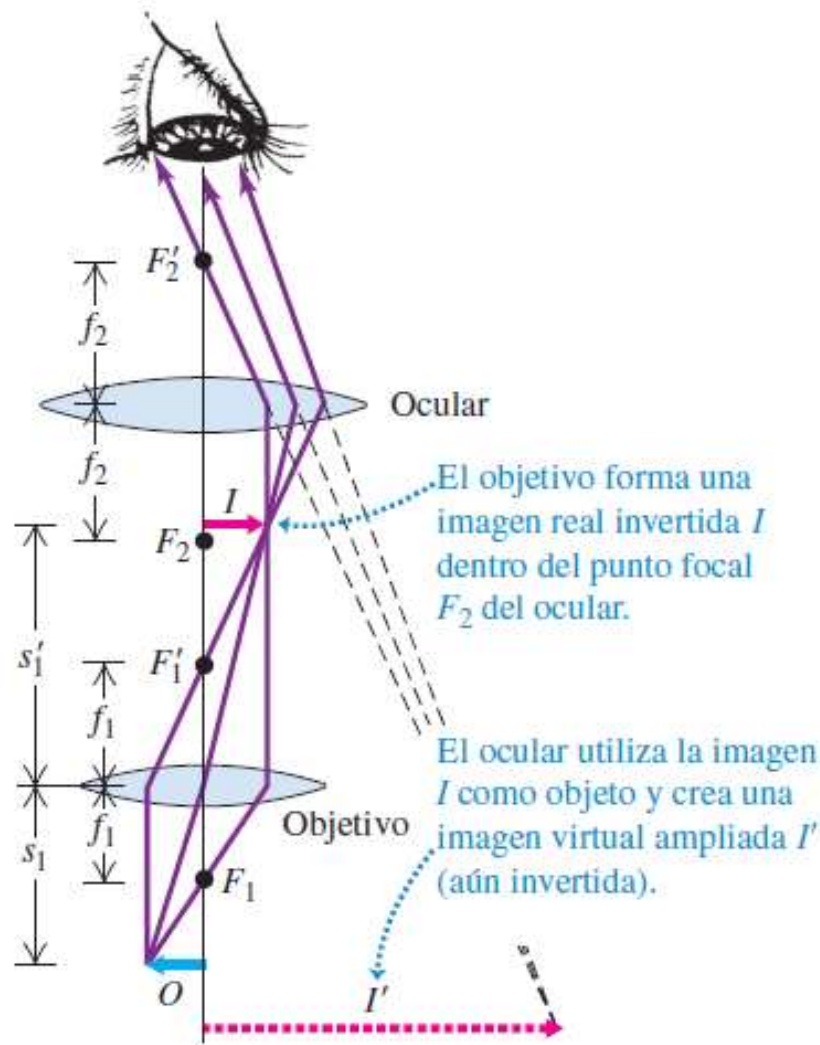
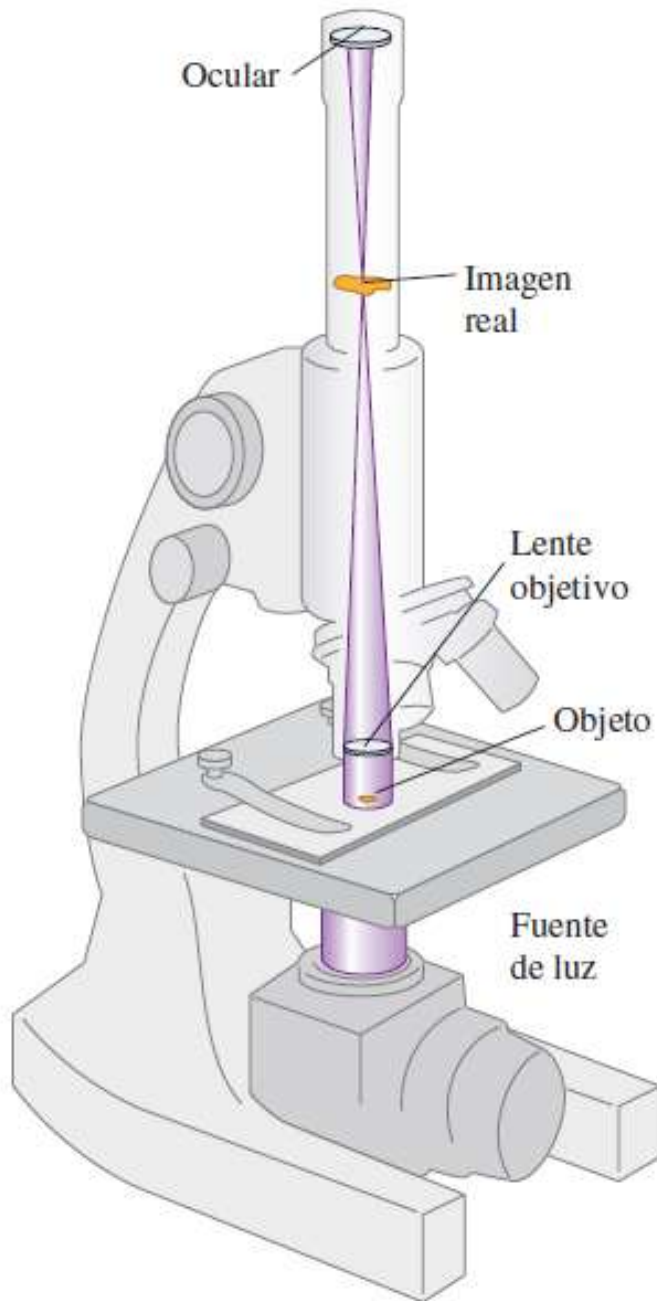
El microscopio compuesto está constituido por una lente, el **objetivo**, que tiene una distancia focal muy corta, menor a 1 cm, y una segunda lente, el **ocular**, que tiene una distancia focal de unos cuantos centímetros.

Las dos lentes están separadas una distancia L que es mucho mayor que las distancias focales de las lentes.

El objeto que se coloca justo por fuera del foco del objetivo forma una imagen real, invertida, que queda localizada en, o cerca, del foco del ocular.

El ocular, que sirve como una lente de aumento simple, produce una *imagen virtual* *amplificada* de la imagen formado por el objetivo.

MICROSCOPIO ÓPTICO



angular que la imagen real I tendría si se la viera sin el ocular.

$$m_1 = -\frac{s'_1}{s_1}$$

s_1 y s'_1 son las distancias de objeto y de imagen, respectivamente, correspondientes a la lente objetivo.

MICROSCOPIO ÓPTICO

En condiciones ordinarias el objeto está muy cerca del punto focal, y la distancia de imagen resultante s'_1 es muy grande en comparación con la distancia focal f_1 de la lente objetivo.

Por consiguiente, s_1 es aproximadamente igual a f_1 , y podemos escribir $m_1 = -s'_1/f_1$, incluso podemos aproximar: $s'_1 \cong L$

La imagen real I está cerca del punto focal F_2 del ocular; por lo tanto, para obtener el aumento angular del ocular vale: $M_2 = (25 \text{ cm})/f_2$, donde f_2 es la distancia focal del ocular (considerado como lente simple).

El aumento angular total M del microscopio compuesto (aparte de un signo negativo, que habitualmente se pasa por alto) es el producto de dos aumentos:

$$M = m_1 M_2 = \frac{(25 \text{ cm})s'_1}{f_1 f_2} \cong \frac{(25 \text{ cm})L}{f_1 f_2}$$

s'_1 o L , f_1 y f_2 se miden en centímetros.

La imagen final es invertida con respecto al objeto.

Por lo regular, los fabricantes de microscopios especifican los valores de m_1 y M_2 de los componentes del microscopio, en vez de las distancias focales del objetivo y del ocular.

Casi todos los microscopios ópticos tienen una “torreta” giratoria con tres o más objetivos de diferente distancia focal, con lo cual es posible ver el mismo objeto a diferentes aumentos.

MICROSCOPIO ÓPTICO

El microscopio ha extendido la visión del ser humano hasta el punto en que se pueden observar detalles antes desconocidos de objetos increíblemente pequeños. La capacidad de este instrumento se ha venido incrementando con técnicas mejoradas en el pulido de precisión de las lentes.

Una pregunta frecuente en relación con los microscopios es:

“¿si fuera uno extremadamente paciente y cuidadoso, sería posible construir un microscopio que pudiera hacer visible al ojo humano un átomo?”.

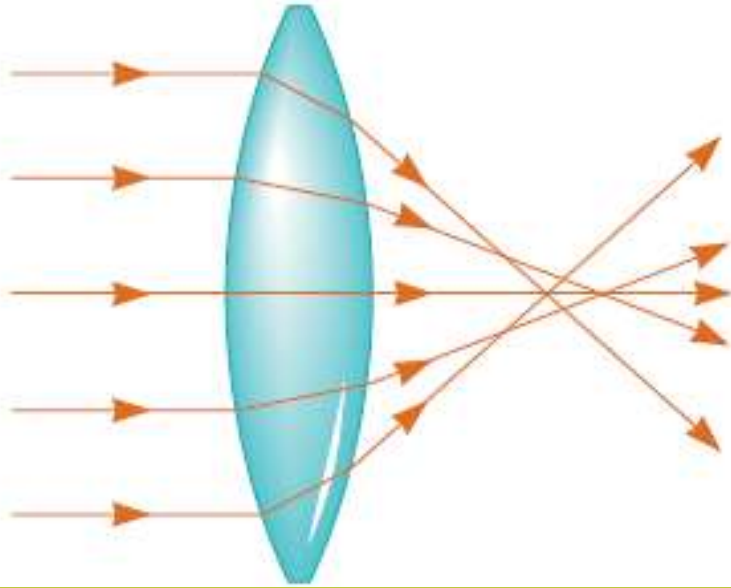
La respuesta es no, siempre que se utilice luz para iluminar el objeto.

La explicación es que, para que se vea un objeto bajo un microscopio óptico (que utiliza luz visible), debe ser por lo menos tan grande como la longitud de onda de la luz.

Como el diámetro de cualquier átomo es muchas veces menor que las longitudes de onda de la luz visible, los átomos deberán ser “vistos” mediante otro tipo de “microscopios”.



ABERRACIONES



Aberración esférica: los focos de los rayos alejados del eje principal de una lente esférica son diferentes de los focos de rayos con la misma longitud de onda que pasan cerca del eje. Los rayos que pasan a través de puntos cercanos al centro de la lente forman una imagen mas lejos de la lente que los rayos que pasan a través de puntos cerca de los bordes.

Análisis de lentes supone que los rayos forman ángulos pequeños con el eje principal y que las lentes son delgadas.

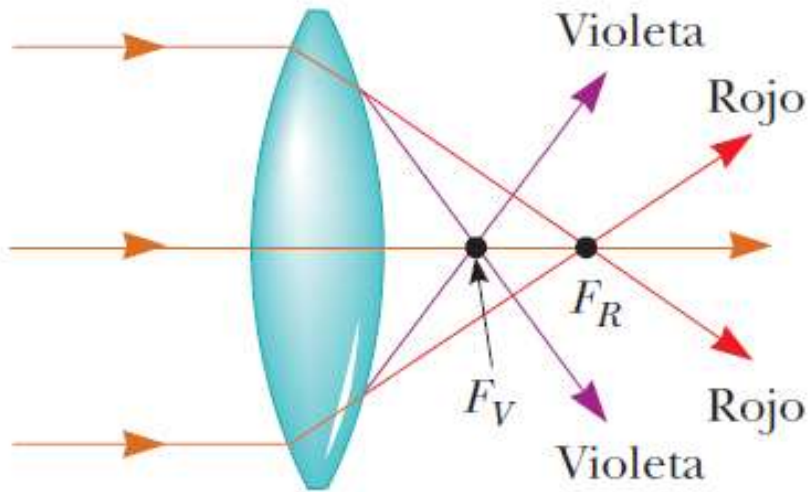
En este modelo simple, todos los rayos que salen de una fuente puntual se enfocan en un solo punto, produciendo una imagen nítida.

Desviaciones de imágenes reales del ideal pronosticado en modelo simplificado, se conocen como **aberraciones**.

Aberraciones esféricas: los focos de los rayos alejados del eje principal de una lente esférica son diferentes de los focos de rayos con la misma longitud de onda que pasan cerca del eje.

Fórmula de constructor de lentes usa aproximación de ángulos pequeños: en realidad rayos paralelos al eje producen imágenes cuya posición varía ligeramente con la distancia del eje, en lugar de formarse en un punto, se forman en una región finita.

ABERRACIONES



Aberración cromática causada por una lente convergente. Los rayos de diferentes longitudes de onda se enfocan en puntos diferentes

Aberraciones cromáticas

Dispersión: índice de refracción de un material varía en función λ .

Cuando pasa luz blanca a través de una lente, los rayos violetas se refractan más que los rojos.

Variación de la distancia focal según λ se origina imagen borrosa, llamada **aberración cromática**.

Para una lente divergente también da como resultado una distancia focal más corta para la luz violeta que para la luz roja, pero en la cara frontal de la lente.

La aberración cromática puede reducirse de manera significativa al combinar una lente convergente fabricada con un clase de vidrio y con una lente divergente hecha con otra clase de vidrio.