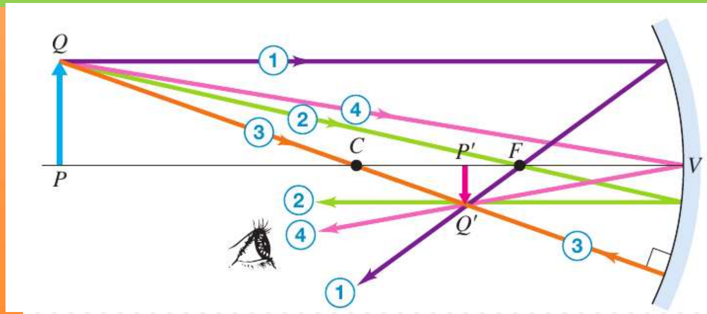
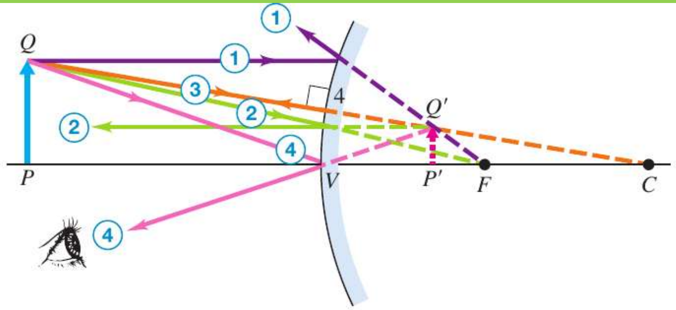
23-FORMACIÓN DE IMÁGENES





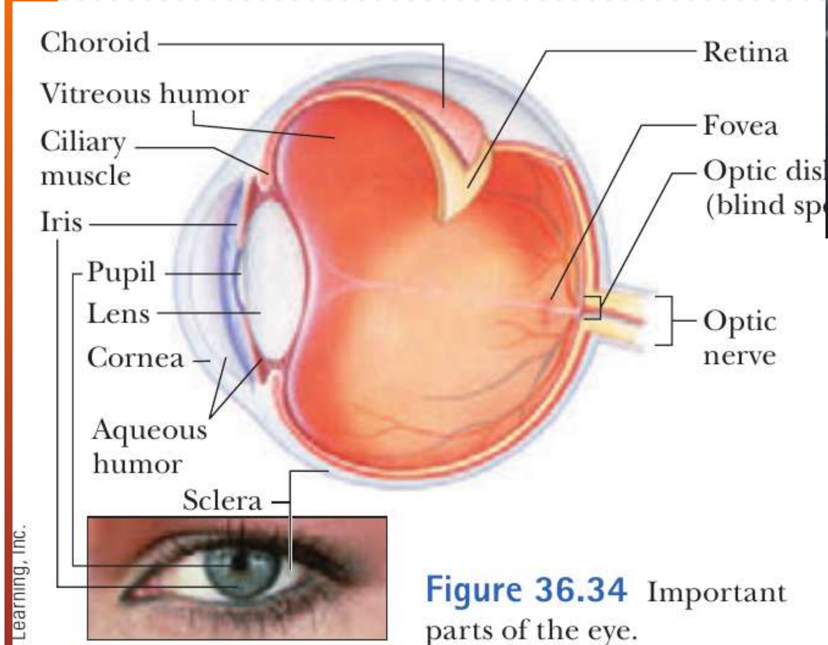


Figure 36.34 Important parts of the eye.

PREGUNTAS RÁPIDAS

¿Verdadero o falso?

En general cuando la luz pasa del vacío a una región material, la longitud de onda de la misma disminuye.

Un espejo convexo puede producir imágenes reales y amplificadas, según donde se ubique el objeto.

Para un espejo cóncavo los rayos de luz reflejados provenientes de una distancia muy grande ($s = \infty$) convergen en el foco.

Independientemente de la distancia al espejo, los espejos convexos siempre producen imágenes derechas.

Con un espejo cóncavo, se pueden producir imágenes virtuales y reales según sea la posición del objeto respecto al espejo.

EJEMPLO: Examen diciembre 2023

En un circo, se expone un espejo. Un visitante se observa en el mismo, viéndose aumentando con un factor $m_1 = 3{,}00$. Da un paso hacia adelante, acercándose 40,0 cm al espejo, y vuelve a observarse. Nuevamente se ve en el espejo, ahora aumentado por un factor $m_2 = 2{,}25$. ¿Cuál es la distancia focal del espejo en cuestión?

Como la imagen está aumentada, el espejo debe ser cóncavo, y debe estar a una distancia menor que la focal del mismo.

$$m_1 = -\frac{s'_1}{s_1} \qquad s'_1 = -m_1 s_1 = -3s_1$$

Ecuación de formación de imágenes para situación inicial:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_1} = \frac{1}{s_1} - \frac{1}{3s_1} = \frac{2}{3s_1} \quad (1)$$

Luego que da el paso hacia adelante:

$$s'_2 = -m_2 s_2 = -2{,}25 s_2 \qquad s_2 = s_1 - 0{,}400$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1}{s_2} - \frac{1}{2{,}25 s_2} = \frac{1{,}25}{2{,}25 s_2} = \frac{1{,}25}{2{,}25(s_1 - 0{,}4)} \quad (2)$$

Igualo y resuelvo: (1) = (2)

$$\frac{1{,}25}{2{,}25(s_1-0{,}4)} = \frac{2}{3s_1} \qquad 3{,}75 s_1 = 4{,}5(s_1 - 0{,}4) \qquad 0{,}75 s_1 = 1{,}8 \qquad s_1 = 2{,}4\ m$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{3s_1} = \frac{2}{7{,}2}$$

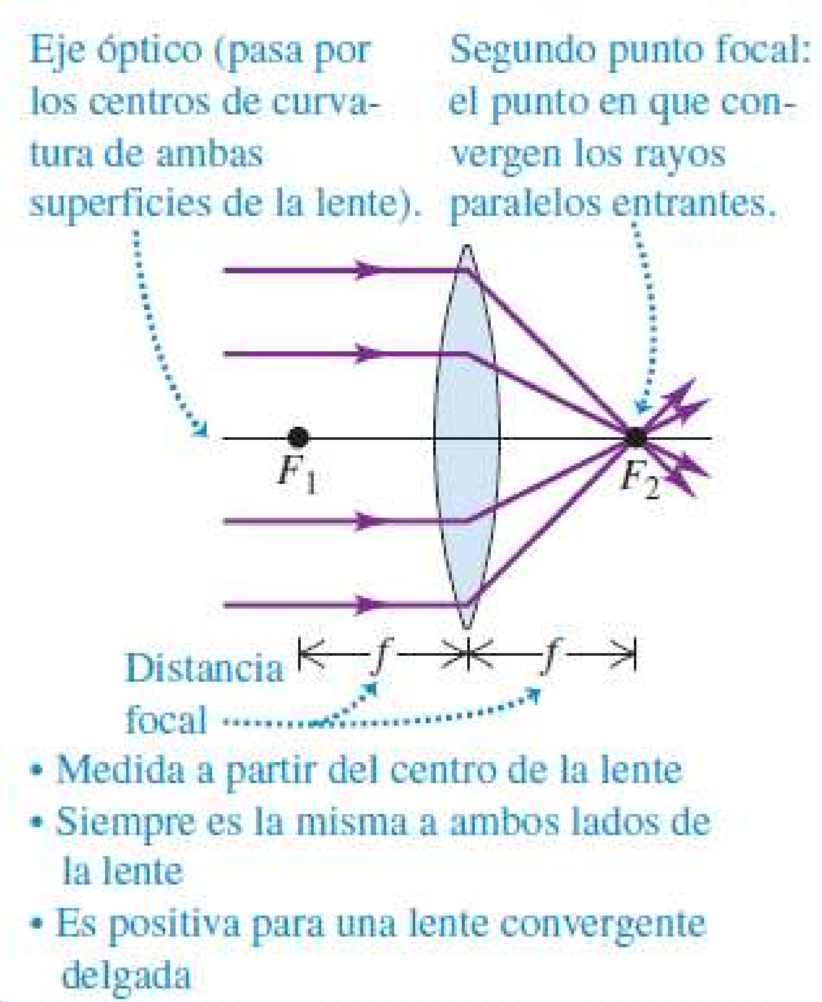
***f* = 3,6 m**

LENTES DELGADAS

Lente: sistema óptico con dos superficies refractivas.

Lente más simple: dos superficies esféricas muy próximas entre sí de modo que podamos despreciar lel espesor de la lente: **lente delgada**.

Los anteojos o lentes de contacto son ejemplos de lentes delgadas.



Una lente como la la forma que se muestra en la figura hace que un haz de rayos paralelos al eje, converjan en un punto F_2 y forman una imagen real en ese punto. Las lentes de este tipo se llaman **lentes convergentes**.

Igualmente los rayos que pasan por el punto F_1 emergen de la lente en forma de un haz de rayos paralelos.

F_1 y F_2 son los puntos focales primero y segundo, y la distancia f (medida desde el centro de la lente) es la **distancia focal**.

La distancia focal de una lente convergente se define como una cantidad positiva.

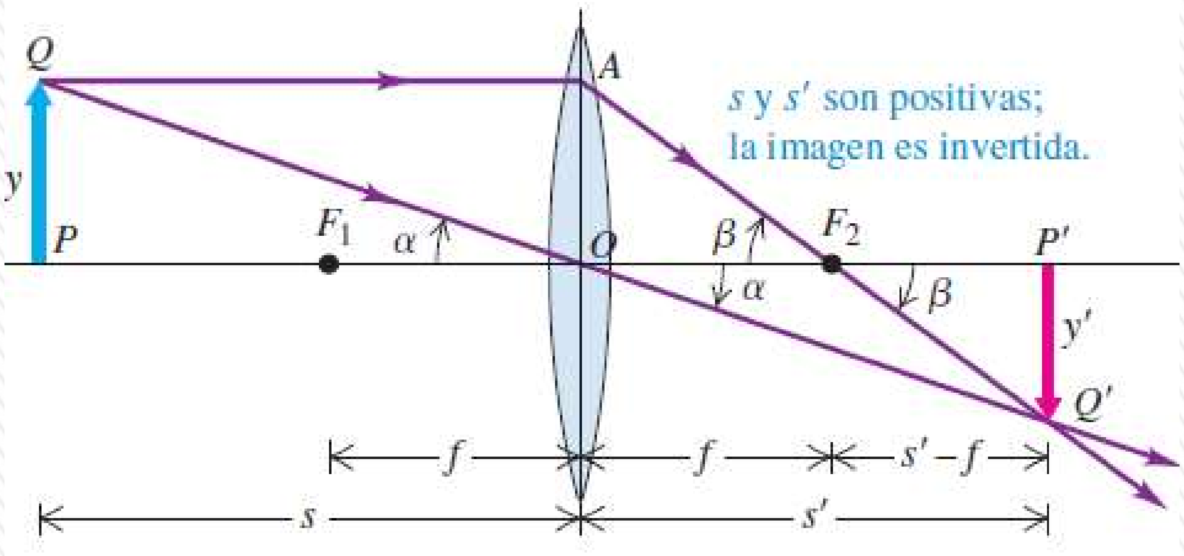
La recta horizontal central de la figura es el **eje óptico**.

La potencia de una lente es el recíproco de su distancia focal expresada en metros, y se expresa en **dioptrías**.

LENTES DELGADAS

Los centros de curvatura de las dos superficies esféricas se encuentran sobre el eje óptico.
Las dos distancias focales de la figura, ambas identificadas como f, siempre son iguales en el caso de una lente delgada, aun cuando los dos lados tienen diferente curvatura.

Imagen de un objeto extenso: Lentes convergentes



s y s' distancias del objeto y de la imagen,
y e y' alturas del objeto y de la imagen.
Rayo QA, paralelo al eje óptico antes de la refracción, pasa por el punto focal F2 después de refractarse.
El rayo QOQ' pasa por el centro sin desviarse (en el centro superficies paralelas y muy próximas entre sí.

Se puede probar la **relación objeto-imagen, lente delgada**

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

Demostración en presentación 05.2 en Teórico del EVA

LENTES DELGADAS-lente convergente

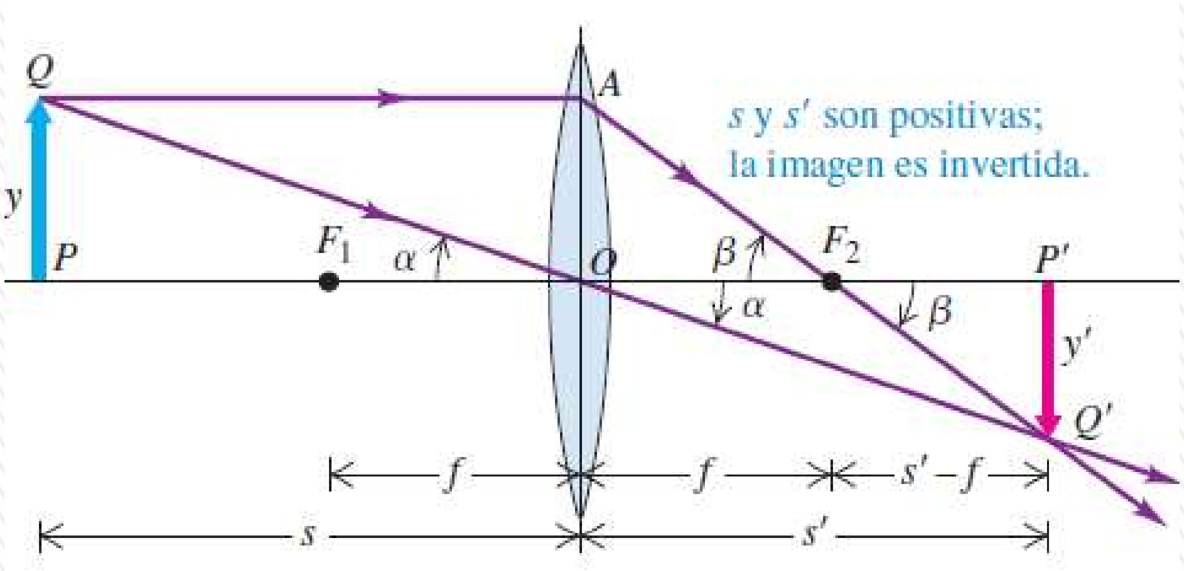
$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$$

relación objeto-imagen, lente delgada

Aumento lateral:

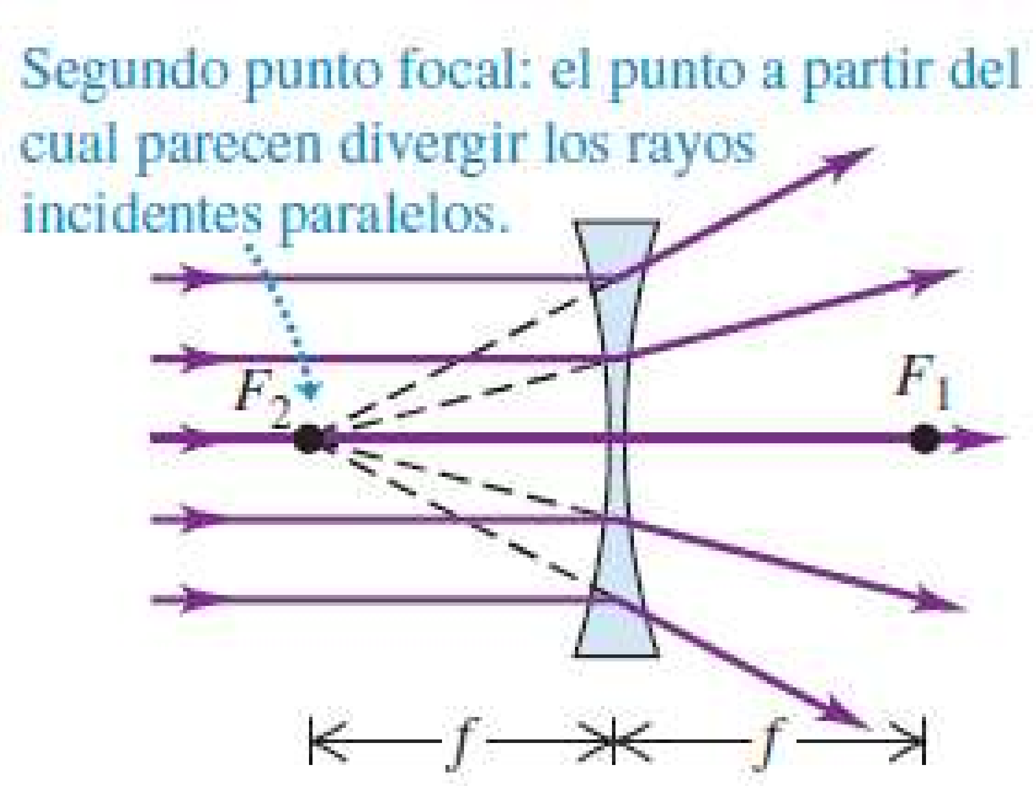
$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}$$

El signo negativo indica que cuando s y s' son positivas, como en la figura, la imagen es invertida, los signos de y e y' son opuestos



Cuando s > f (objeto por fuera del primer punto focal F_1) s' > 0 (la imagen está del mismo lado que los rayos salientes) y la imagen es real e invertida, como se muestra en la figura.
Si s < f se forma una imagen con un valor negativo de s' < 0; esta imagen se encuentra del mismo lado de la lente que el objeto, y es virtual, derecha y más grande que este.

LENTES DELGADAS- Lentes divergentes

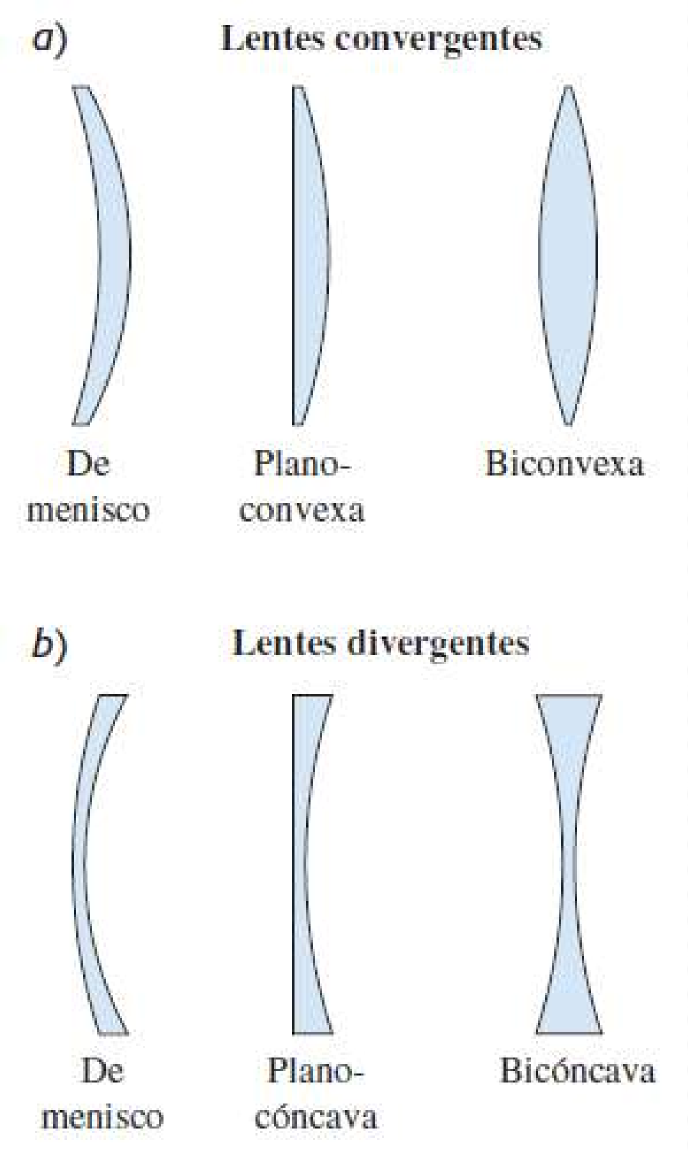


El haz de rayos paralelos que incide en esta lente diverge después de refractarse.
La distancia focal de una lente divergente es una cantidad negativa.
Los puntos focales de una lente negativa están invertidos en relación con los de una lente positiva.
El segundo punto focal, F_2, de una lente negativa es el punto a partir del cual los rayos que originalmente son paralelos al eje parecen divergir después de refractarse.

Los rayos incidentes que convergen hacia el primer punto focal F_1,emergen de la lente paralelos a su eje.

Las ecuaciones anteriores vistas para lentes convergentes son aplicables también a lentes divergentes, teniendo en cuenta que para una divergente la distancia focal es negativa..

LENTES DELGADAS



En la figura se muestran los diversos tipos de lentes, tanto convergentes como divergentes.

Observación importante:

toda lente que sea más gruesa en su centro que en sus bordes es una lente convergente con f positiva;

y toda lente que sea más gruesa en sus bordes que en su centro es una lente divergente con f negativa (siempre y cuando la lente tenga un índice de refracción mayor que el material circundante).

Se puede probar esto mediante la ecuación del fabricante de lentes.

LENTES

La distancia focal de una lente se relaciona con su índice de refracción *n* y con los radios de curvatura R_1 y R_2 de sus superficies en un medio de índice de refracción 1 (n_{aire}) es la denomina **ecuación del constructor de lentes**:

Se puede ver con esta ecuación cuando una lente es convergente (distancias focales positivas) o divergente (distancias focales negativas).

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Convenios de signos:

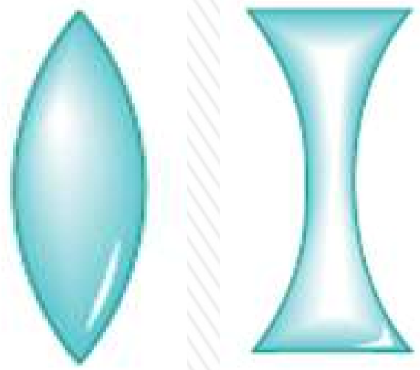
1) Se dibujan los diagramas en los que luz procede siempre desde la izquierda.
2) El radio de curvatura de la superficie de una lente es positivo si su centro de curvatura se halla a la derecha de la lente, y negativo si su centro se halla a la izquierda.
3) R_1 se refiere a la primera superficie o superficie de la izquierda y R_2 a la segunda o superficie de la derecha.
4) Una superficie plana puede considerarse como parte de una esfera de radio infinito.

Si la lente está sumergida en algo diferente del aire, puede utilizar esta misma ecuación, interpretando *n como la relación del índice de refracción del material de la* lente con el fluido que la rodea.
Por ejemplo, para una lente sumergida en agua:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{vidrio}}{n_{agua}} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Ejemplo: Determinación de la distancia focal de una lente

a) Suponga que el valor absoluto de los radios de curvatura de las superficies de lente de la figura A es igual en ambos casos a 10 cm, y que el índice de refracción es n = 1,52. ¿Cuál es la distancia focal f de la lente?
b) Suponga que la lente de la figura B también tiene n = 1,52 y que los valores absolutos de los radios de curvatura de sus superficies de lente también son iguales a 10 cm. ¿Cuál es la distancia focal de esta lente?



a) La lente de la figura A es biconvexa. El centro de curvatura de la primera superficie (C1) está en el lado saliente de la lente, por lo que R1 es positivo, y el centro de curvatura de la segunda superficie (C2) está en el lado entrante, por lo que R2 es negativo. Por lo tanto, R1 = +10 cm, R2 = -10 cm. Entonces:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad \frac{1}{f} = (1.52 - 1)\left(\frac{1}{+10\ \text{cm}} - \frac{1}{-10\ \text{cm}}\right) \qquad f = 9.6\ \text{cm}$$

b) La lente de la figura B es una lente bicóncava. El centro de curvatura de la primera superficie está del lado entrante de la lente, por lo tanto, R1 es negativo, y el centro de curvatura de la segunda superficie está del lado saliente, así que R2 es positivo. Por lo tanto, en este caso R1 = -10 cm, R2 = +10 cm: .

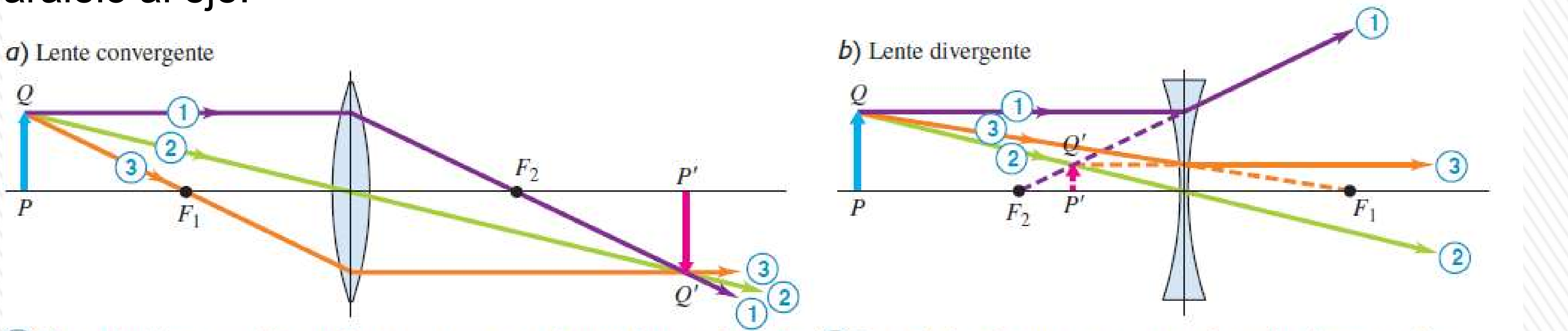
$$\frac{1}{f} = (1.52 - 1)\left(\frac{1}{-10\ \text{cm}} - \frac{1}{+10\ \text{cm}}\right) \qquad f = -9.6\ \text{cm}$$

Métodos gráficos para lentes delgadas

La posición y tamaño de una imagen formada por una lente delgada se puede encontrar usando un método gráfico mediantes tres rayos principales.

Al utilizar este método gráfico, consideraremos que la desviación de cada rayo ocurre en su totalidad en el plano medio de la lente.

1. Un rayo paralelo al eje emerge de la lente en una dirección que pasa por el segundo foco F_2 de una lente convergente, o que parece provenir del segundo foco de una lente divergente.
2. Un rayo que pasa por el centro de la lente no se desvía en grado apreciable; en el centro de la lente las dos superficies son paralelas; por lo tanto, este rayo emerge prácticamente con el mismo ángulo que tenía al entrar y a lo largo de la misma recta.
3. Un rayo que pasa por el primer punto focal F_1 (o avanza hacia este) emerge paralelo al eje.



(1) El rayo incidente paralelo se refracta para pasar por el segundo punto focal F_2.
(2) El rayo que pasa por el centro de la lente no se desvía considerablemente.
(3) El rayo que pasa por el primer punto focal F_1 emerge paralelo al eje.

(1) Después de refractarse, parece que el rayo incidente paralelo proviene del segundo punto focal F_2.
(2) El rayo que pasa por el centro de la lente no se desvía considerablemente.
(3) El rayo que apunta al primer punto focal F_1 emerge paralelo al eje.

Métodos gráficos para lentes delgadas

Cuando la imagen es real, la imagen está determinada por la intersección de dos cualesquiera de los rayos 1, 2 y 3, cuando la imagen es virtual, se prolongan hacia atrás los rayos salientes divergentes, hasta su punto de intersección para encontrar el punto de imagen.

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

Convención: lo rayos de luz vienen desde la izquierda

OBJETOS REALES están a la izquierda de la lente e IMÁGENES REALES a su derecha,

IMÁGENES VIRTUALES están a la izquierda de la lente y OBJETOS VIRTUALES a su derecha.

Para aplicar las expresiones algebraicas hay que seguir el siguiente convenio de signos:

1. s es positiva para un objeto real y negativa para un objeto virtual.
2. s’ es positiva para una imagen real y negativa para una imagen virtual.
3. El tamaño del objeto y es positivo si está por arriba del eje y negativo si está por debajo del mismo.

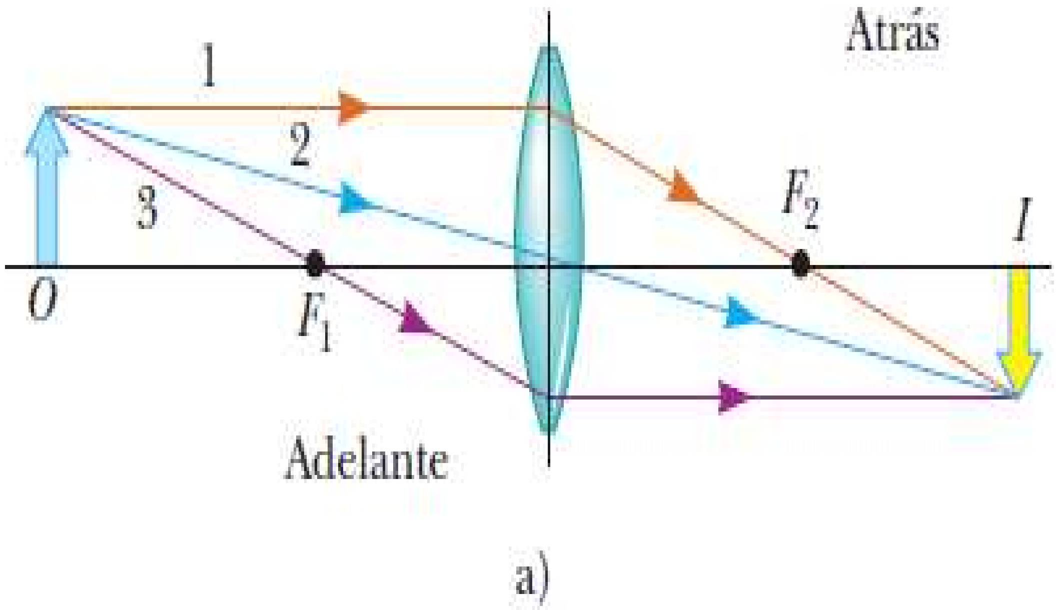
4. El tamaño de la imagen y’ es positivo si está por arriba del eje y negativo si está por debajo del mismo.

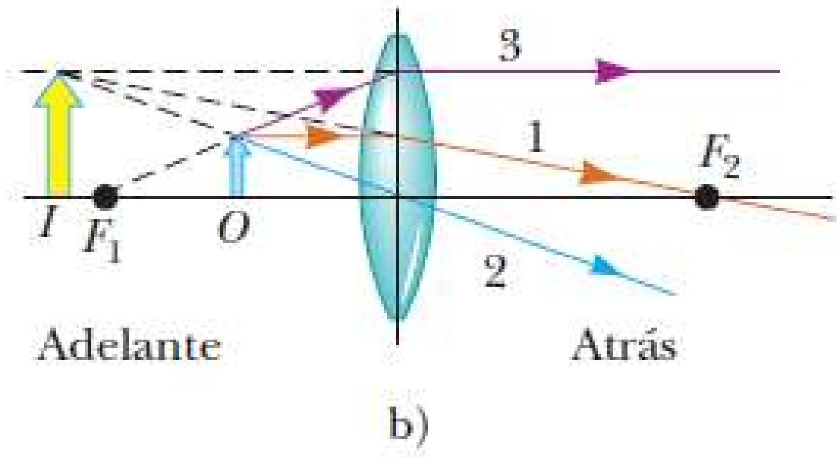
FORMACIÓN DE IMÁGENES

Lente convergente

Objeto entre foco y lente

Objeto delante del foco





b) Imagen virtual, vertical y mayor que el objeto y aparece en la cara frontal de la lente

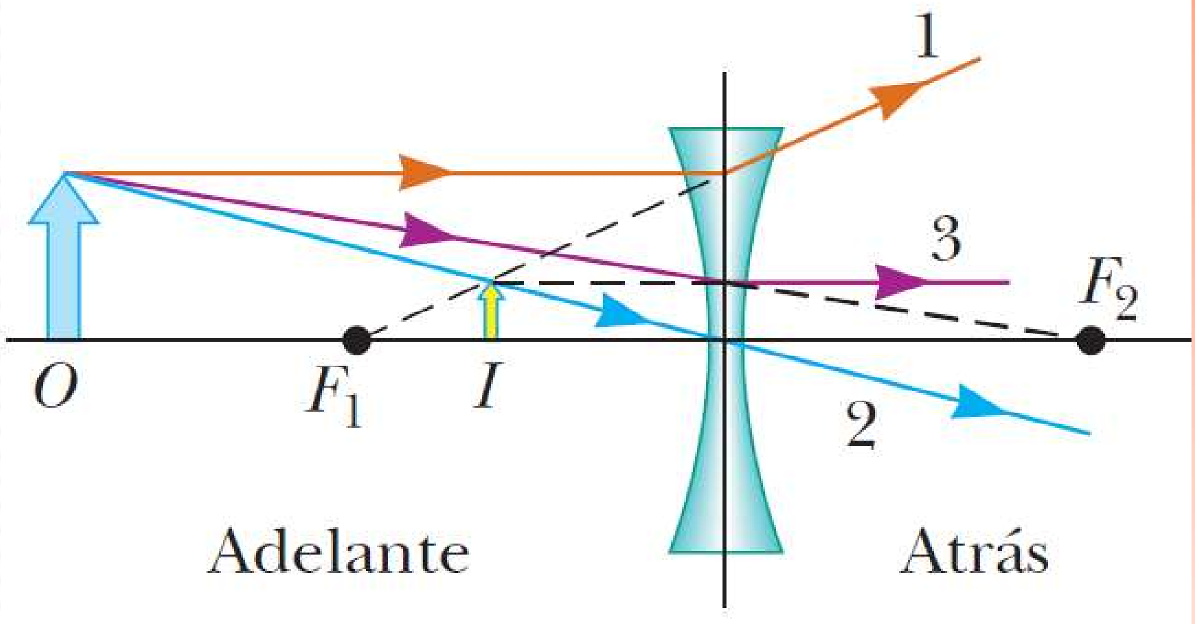
a) Imagen real, invertida y en la cara posterior de la lente.

El rayo 1, se dibuja paralelo al eje principal. Una vez refractado por la lente, este rayo pasa a través del foco en la cara posterior de la lente.

El rayo 2, se dibuja a través del centro de la lente y sigue en línea recta.

El rayo 3, se dibuja a través del foco en la cara frontal de la lente (o como si saliera del foco en el caso de que $p < f$) y emerge de esta paralelo al eje principal.

FORMACIÓN DE IMÁGENES



c)

Rayo 1: se dibuja paralelo al eje principal. Después de ser refractado por la lente, emerge alejándose desde el foco F_1 en la cara frontal de la lente.

Rayo 2: se dibuja a través del centro de la lente y continúa en línea recta.

Rayo 3: se dibuja en la dirección hacia el foco en la cara posterior de la lente y emerge de ésta paralelo al eje principal.

c) Cuando un objeto está en cualquier sitio por delante de una lente divergente, la imagen es virtual, vertical y menor que el objeto y en la cara frontal de la lente.

Para las tres posiciones del objeto (delante, en el foco o atrás), la posición de imagen es negativa y el aumento es un número positivo menor que 1, lo que confirma que: imagen es virtual, menor que el objeto y vertical

Ejemplo: ejercicio 5.10.a

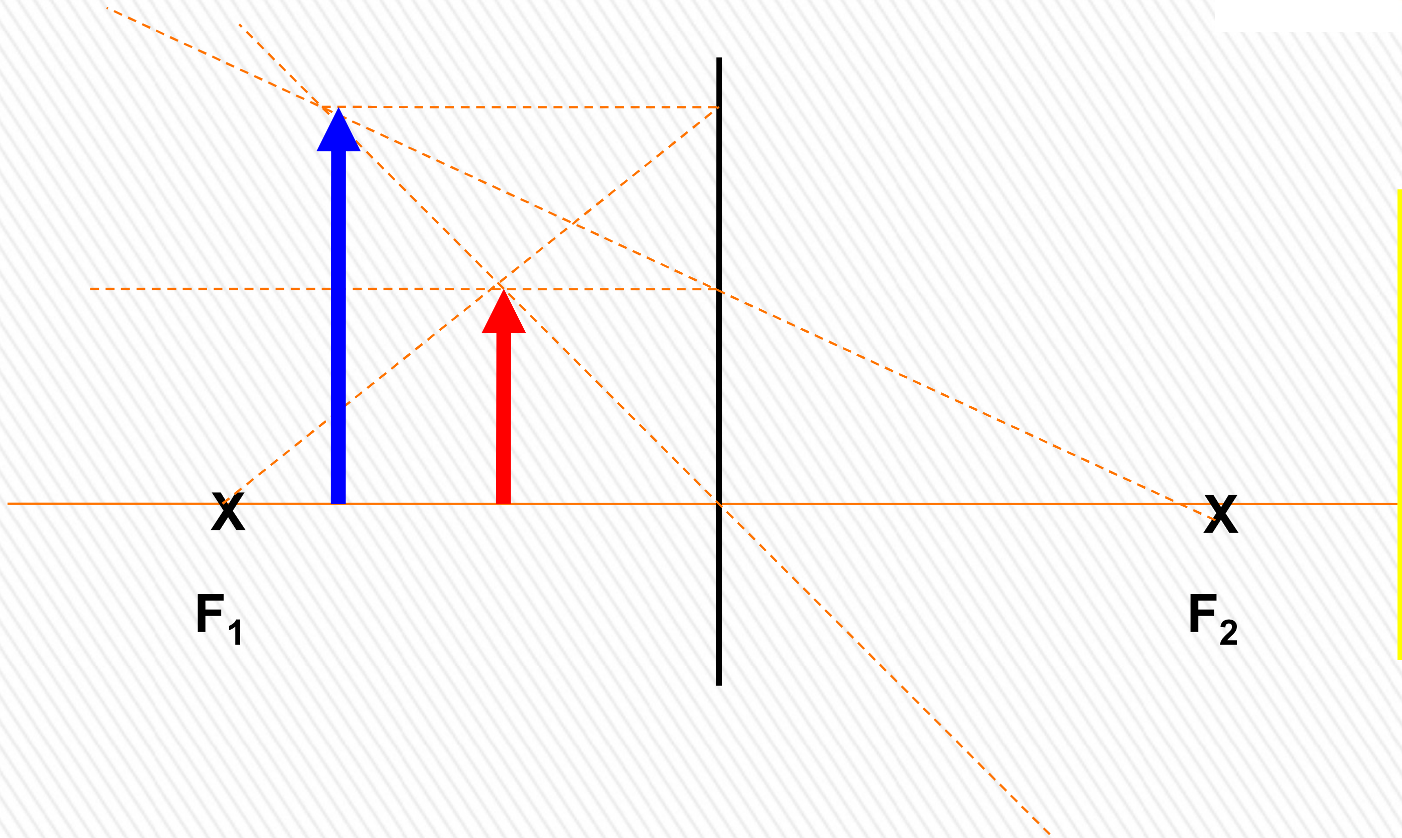
a) La distancia focal de una lente convergente es de 20,0 cm. Un objeto se coloca a 8,00 cm de la lente. ¿Dónde se encuentra la imagen del objeto? ¿Cuál es el aumento?

f = 20,0 cm   s = 8,00 cm

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f} \qquad \frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s}=\frac{s-f}{s.f}$$

$$s'=\frac{s.f}{s-f}=\frac{(8{,}00)\times(20{,}0)}{(8{,}00)-(20{,}0)}=-\frac{160}{12{,}0}=-13{,}3\ cm$$

$$m=-\frac{s'}{s}=-\frac{(-13{,}3)}{8{,}00}=1{,}67$$



La imagen es virtual, derecha y aumentanda en un factor de 1,67.
Se encuentra en s’=-13,3 cm (delante de la lente)
El aumento es de 1,67

Ejemplo: ejercicio 5.10.b

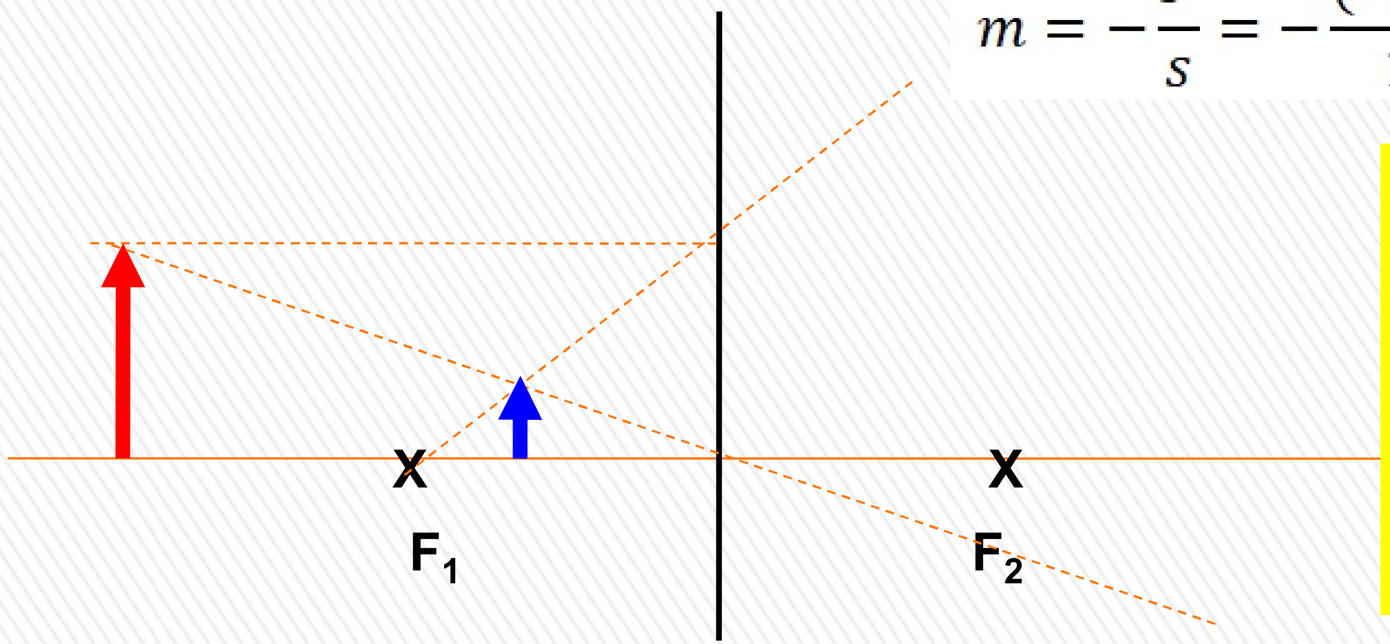
La distancia focal de una lente divergente es de 0,50 m. Un objeto se coloca a 1,0 m de la lente. ¿Dónde se encuentra la imagen del objeto? ¿Cuál es el aumento?

f = -50,0 cm s = 100 cm

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f} \qquad \frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s}=\frac{s-f}{s.f}$$

$$s'=\frac{s.f}{s-f}=\frac{(100)\times(-50{,}0)}{(100)-(-50{,}0)}=-\frac{5000}{150}=-33{,}3\ cm$$

$$m=-\frac{s'}{s}=-\frac{(-33{,}3)}{100}=0{,}333$$



La imagen es virtual, derecha y reducida en un factor de 0,333.
Se encuentra en s'=-33,3 cm (delante de la lente)
El aumento es de 0,333

AGUDEZA VISUAL

Ojo humano normal distingue apenas dos objetos puntiformes bien iluminados con una separación angular de **$\theta_0 \approx 5\times10^{-4}$ rad≈ 0,03º**, representa la **separación angular mínima**, denominada **agudeza visual.**

Para observar detalles finos, una persona mantiene un objeto tan cerca de sus ojos como le es posible, o hasta el **punto próximo o cercano**: el **punto más próximo en el que el ojo se puede enfocar confortablemente**.

Para un adulto joven normal, la **distancia x_n** al punto próximo es de unos **0,25 m**.

En el punto próximo, dos puntos con una pequeña separación *y* entre ambos tienen una separación angular suficientemente pequeña para que $\theta \approx \tan(\theta) \approx y/x_n$ sea una buena aproximación.

Si $\theta \approx \theta_0 = 5\times10^{-4}$ rad, entonces:

$y = x_n\theta_0 = (0,25 \text{ m})\, 5\times10^{-4} \text{ rad} = 1,25\times10^{-4} \text{ m} = 0,125 \text{ mm}$

(representa el tamaño más pequeño de un objeto que puede observarse a simple vista).