REPASO DE CLASE PASADA

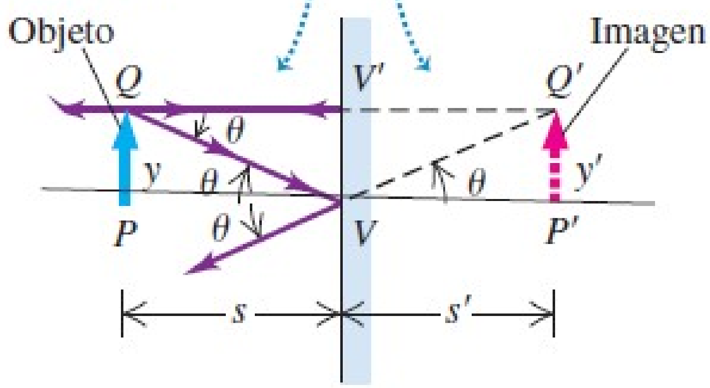
Espejo plano: P y P' están a la misma distancia del espejo, y s y s' tienen igual magnitud.
El punto de imagen P' está situado exactamente en posición opuesta al punto del objeto P.
y = y'.

Aumento lateral m

$$m = \frac{y'}{y} \qquad \text{(aumento lateral)}$$

Imagen de un espejo plano siempre es virtual, derecha y del mismo tamaño que el objeto.

Para un espejo plano, PQV y $P'Q'V$ son congruentes, así que $y = y'$ y el objeto y la imagen tienen el mismo tamaño (el aumento lateral es 1).



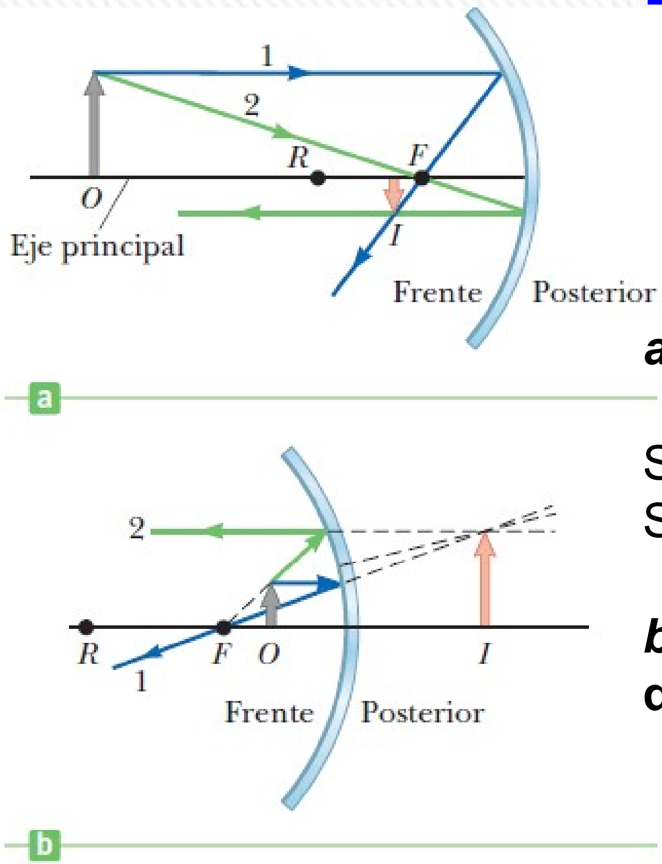
Reglas de signos: Para todas las superficies reflectantes y refractivas tanto planas como esféricas.

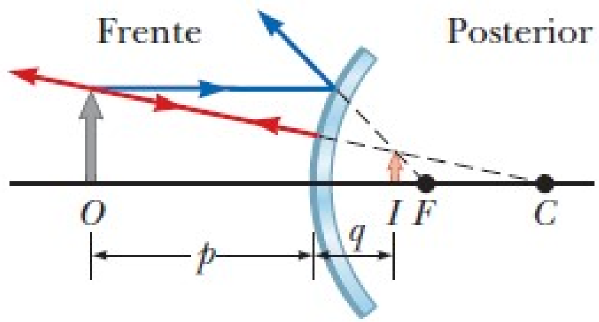
1-Regla de signos para distancia de objeto: s > 0 cuando el objeto está del lado entrante de la luz a la superficie (**objeto real**); s < 0 en caso contrario.

2. Regla de signos para la distancia de imagen: s' > 0 cuando la imagen está del lado que la luz saliente de la superficie (**imagen real**); s' < 0 en caso contrario.

3. Regla de signos para el radio de curvatura de una superficie esférica: R > 0 cuando el centro de curvatura está del lado saliente de la luz de la superficie; R < 0 en caso contrario.

4. Regla del aumento lateral: m > 0 cuando la imagen es derecha; m < 0 cuando es invertida.





Ecuación de formación de imágenes:

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

***f* = *R*/2**

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

Espejo cóncavo

f > 0; s > 0;

a) ***s > f*** **Imagen de un espejo cóncavo es real e invertida .**

Si *f < s < R* *La imagen es más* grande que el objeto

Si s > R la imagen es m*ás pequeña que el* objeto.

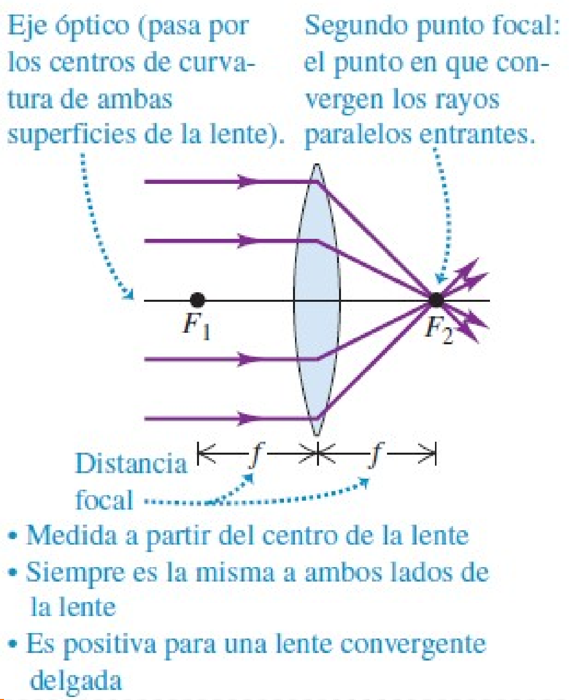
***b) s < f Imagen de un espejo cóncavo es virtual,* derecha y más grande que el objeto .**

Espejo convexo

f < 0; s > 0;

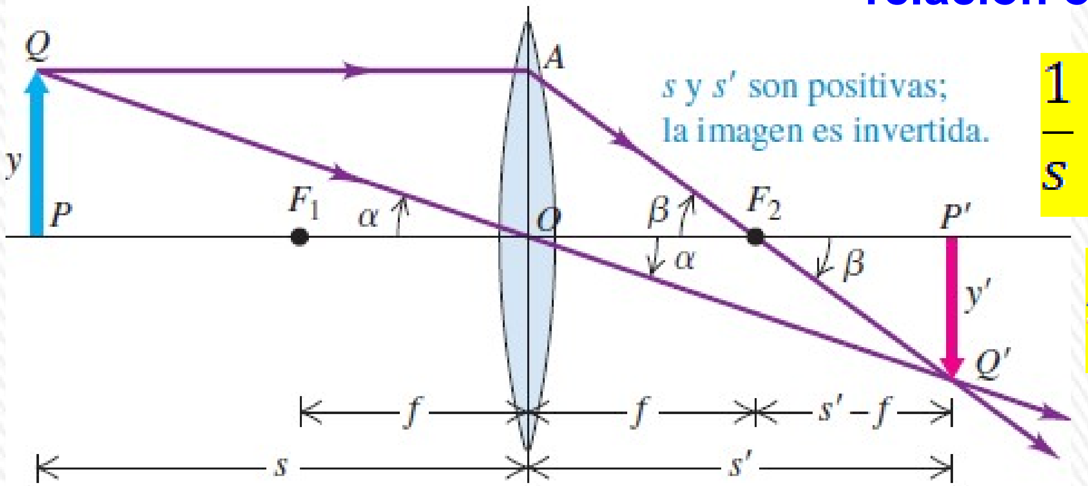
La imagen de un espejo convexo siempre es virtual, derecha y detrás del espejo.

REPASO DE CLASE PASADA



Lente: sistema óptico con dos superficies refractivas.
lente delgada: dos superficies esféricas de espesor despreciable.
lente convergente: un haz de rayos paralelos al eje, converjan en un punto F_2 y forman una imagen real en ese punto, 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 y la distancia f (medida desde el centro de la lente) es la **distancia focal *f*.**
***f* >0** lente convergente.
Centros de curvatura de las dos superficies esféricas se encuentran sobre el eje óptico, las dos distancias focales siempre son iguales.

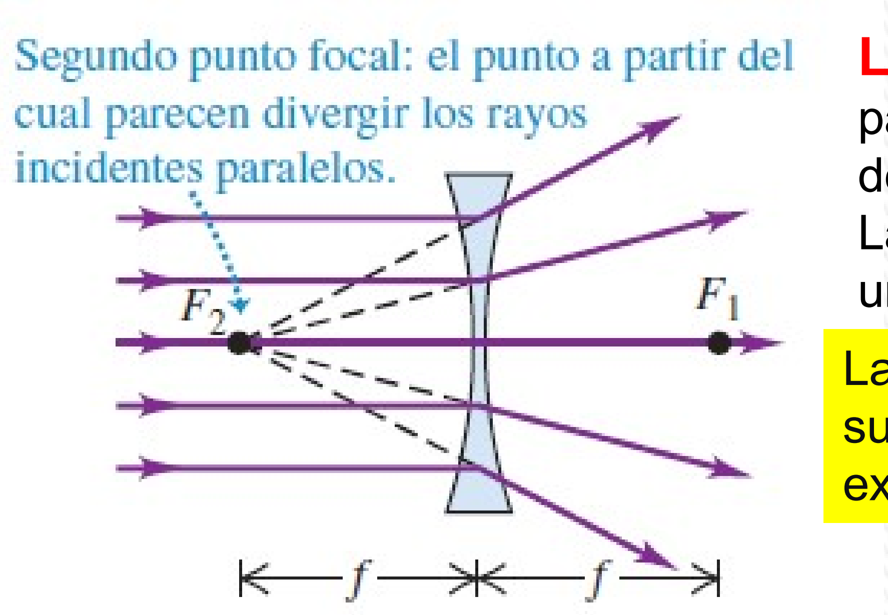
relación objeto-imagen, lente delgada



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

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

REPASO DE CLASE PASADA

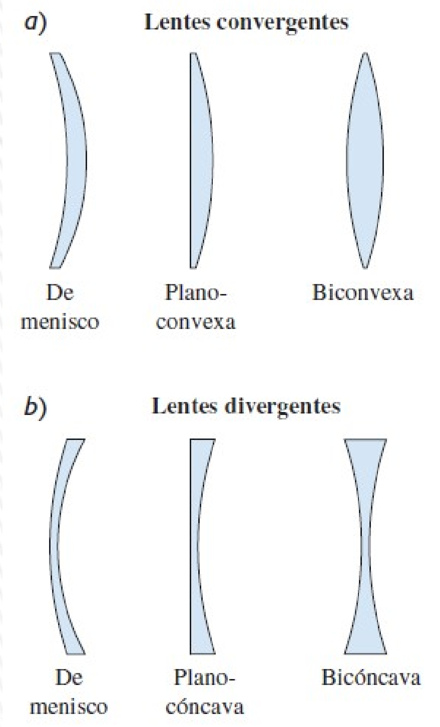


Lente divergente: El haz de rayos paralelos que incide en esta lente diverge después de refractarse.
La distancia focal de una lente divergente es una cantidad negativa.

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

Tipos de lentes convergentes y divergentes.

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**



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:

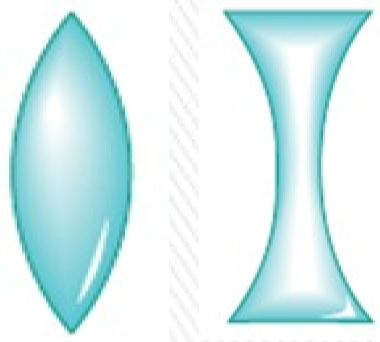
1) Se dibujan los diagramas en los que luz procede siempre desde la izquierda.
2) El radio de curvatura de la superficie de una lente es positivo si su centro de curvatura se halla a la derecha de la lente, y negativo si su centro se halla a la izquierda.
3) R_1 se refiere a la primera superficie o superficie 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 B

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: .

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

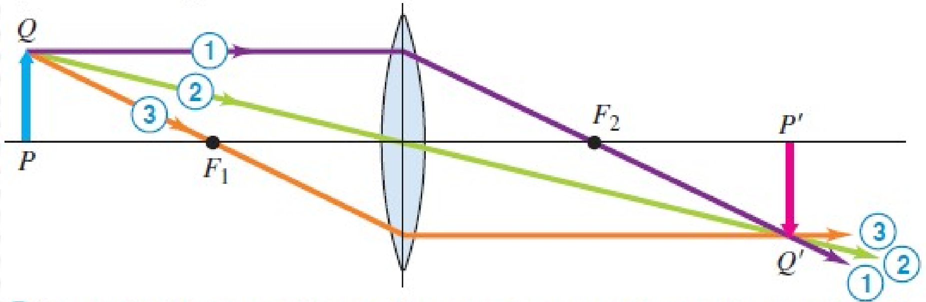
Métodos gráficos para lentes delgadas

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.

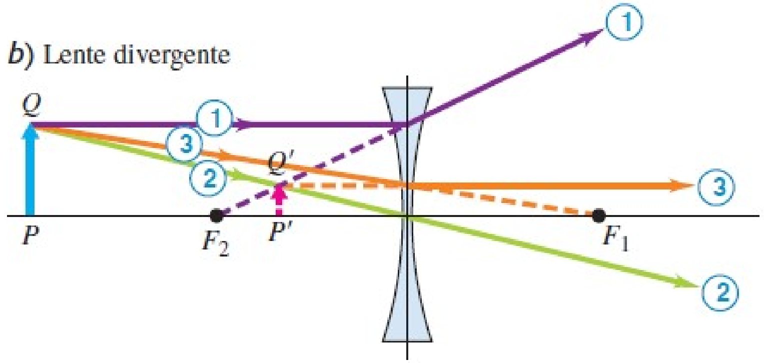
1. Un rayo paralelo al eje emerge de la lente en una dirección que pasa por el segundo foco F_2 de una lente convergente, o que parece provenir del segundo foco de una lente divergente.
2. Un rayo que pasa por el centro de la lente no se desvía en grado apreciable; en el centro de la lente las dos superficies 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.

a) Lente convergente



(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.

b) Lente divergente



(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:

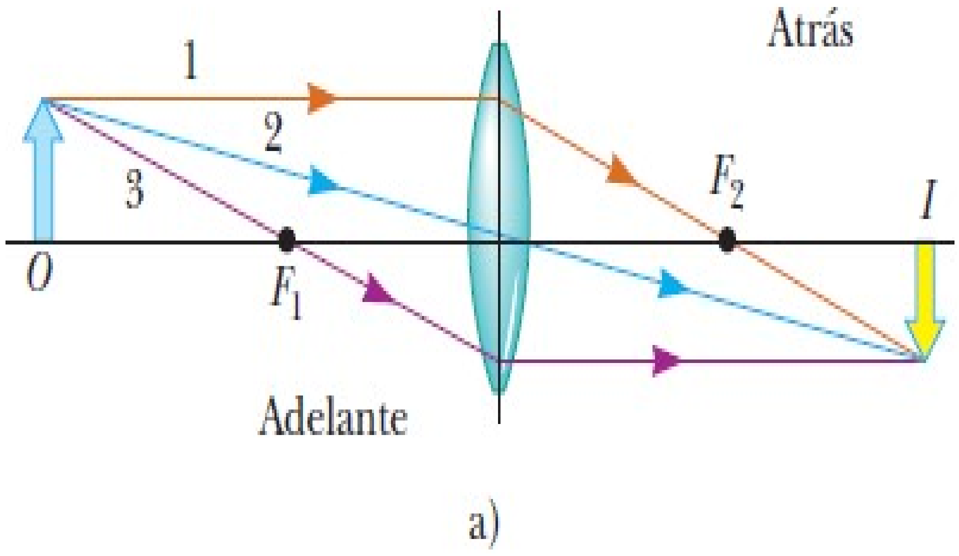
1. s es positiva para un objeto real y negativa para un objeto virtual.
2. s’ es positiva para una imagen real y negativa para una imagen virtual.
3. El tamaño del objeto y es positivo si está por arriba del eje y negativo si está por debajo del mismo.

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

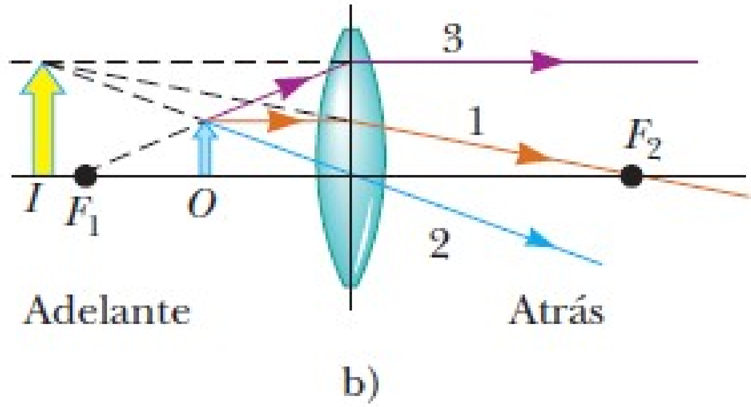
FORMACIÓN DE IMÁGENES

Lente convergente

Objeto delante del foco



Objeto entre foco y lente



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

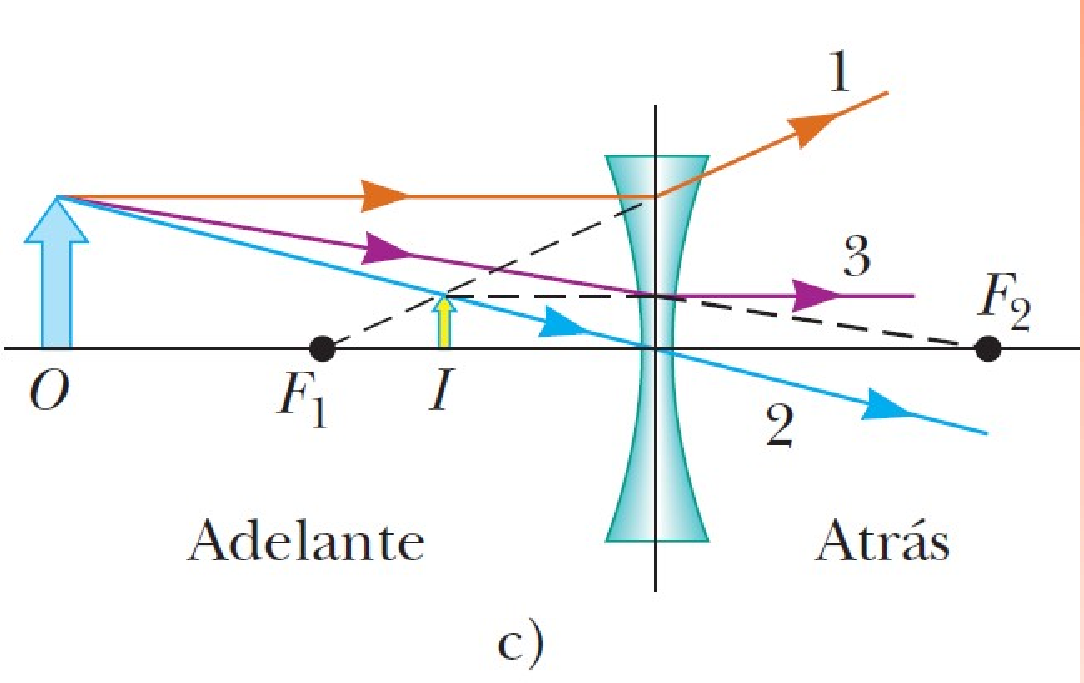
a) Imagen real, invertida y en la cara posterior de la lente.

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



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?

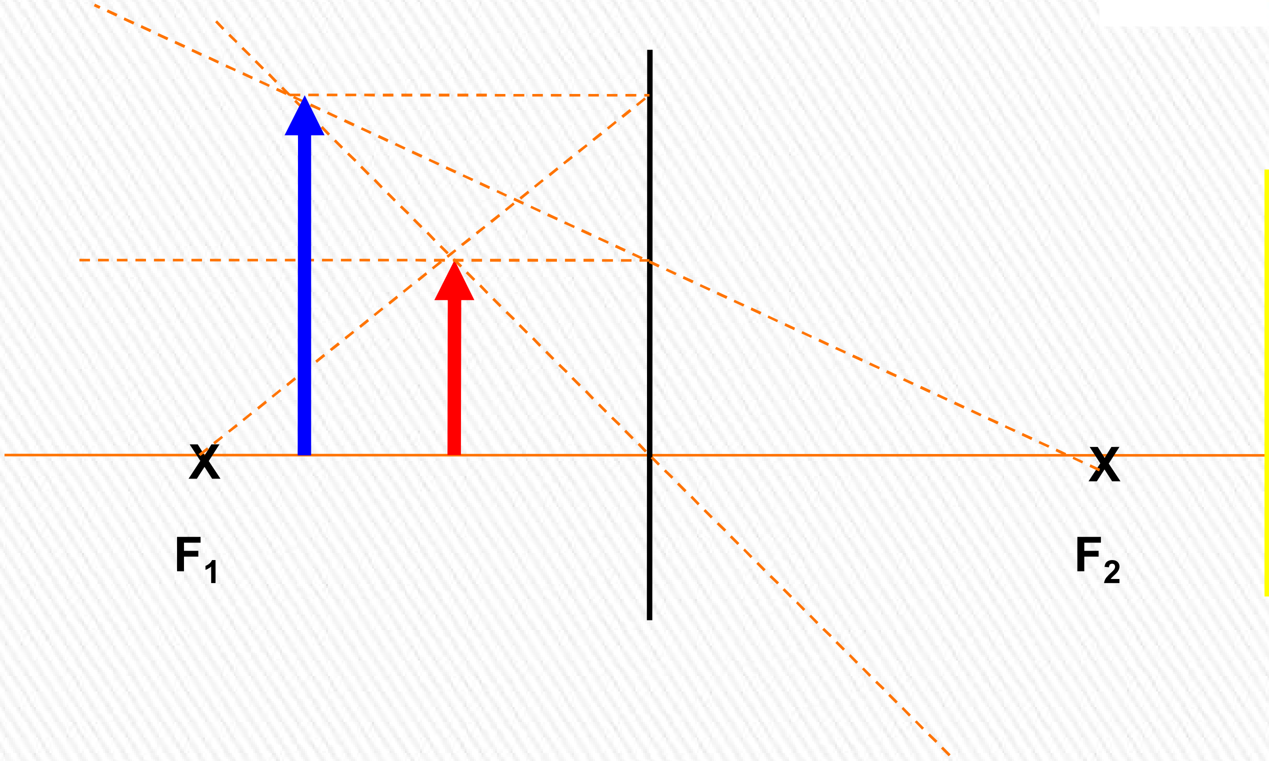
f = 20,0 cm s = 8,00 cm

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

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

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

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



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

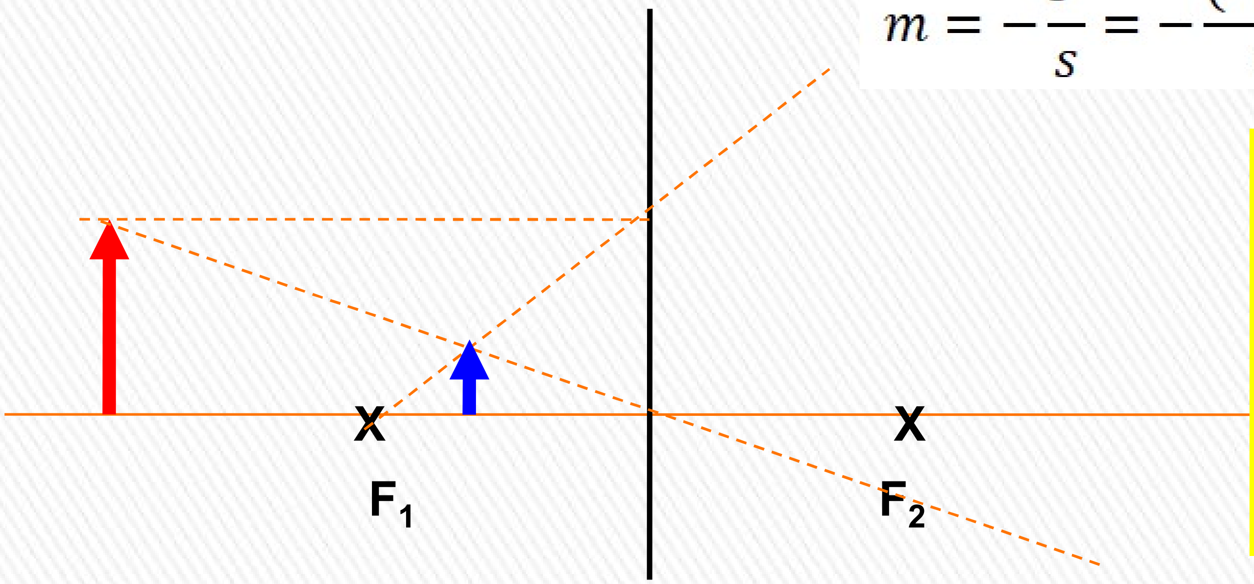
La distancia focal de una lente divergente es de 0,50 m. Un objeto se coloca a 1,0 m de la lente. ¿Dónde se encuentra la imagen del objeto? ¿Cuál es el aumento?

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 $\boldsymbol{\theta_0 \approx 5\times10^{-4}}$ **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).

EL OJO HUMANO

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

Formación de imágenes nítidas de objetos cercanos en la retina: el músculo ciliar que rodea el cristalino se contrae, arquea el cristalino, y se disminuyen los radios de curvatura de sus superficies; reduce la distancia focal (proceso de **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.

La acomodación disminuye gradualmente con la edad, porque el cristalino crece a lo largo de la vida de los seres humanos (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.

Entonces el punto cercano se aleja poco a poco a medida que uno envejece: **presbicia**.

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

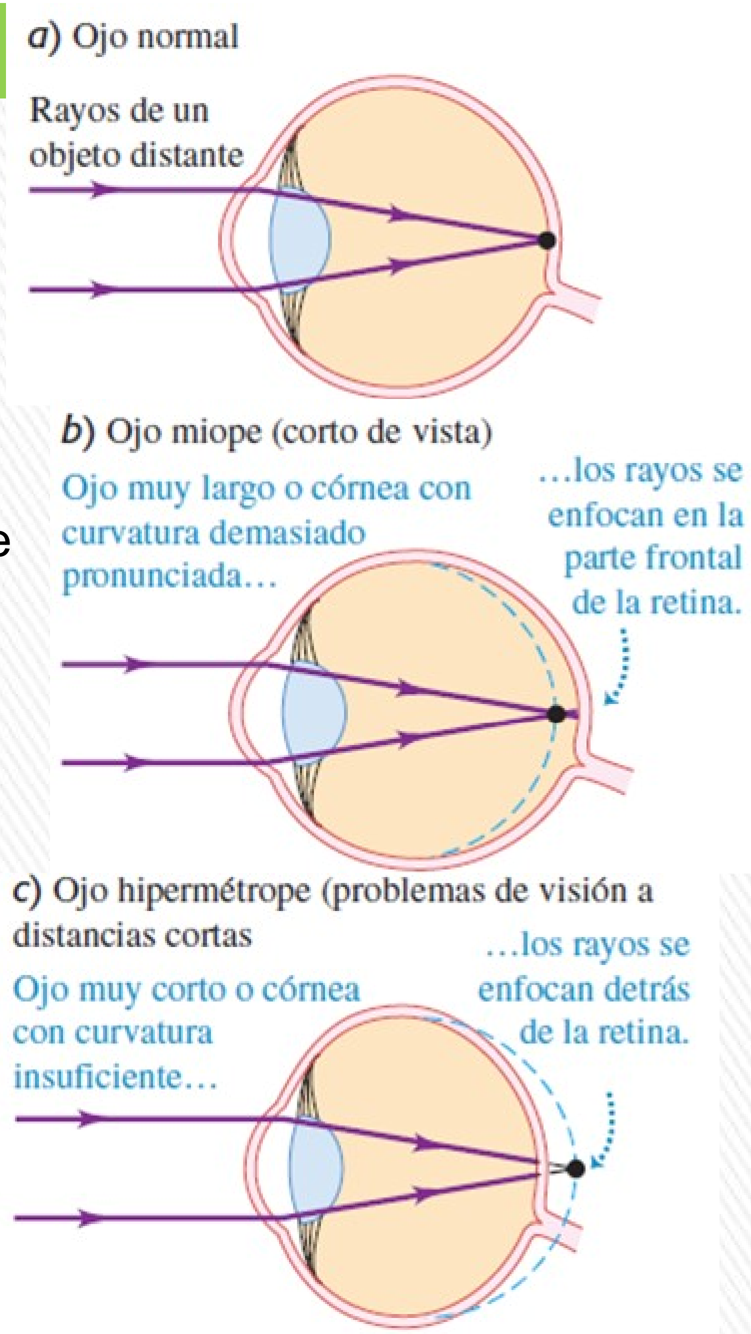
Edad (años)	Punto cercano (cm)
10	7
20	10
30	14
40	22
50	40
60	200

EL OJO – Defectos de la visión

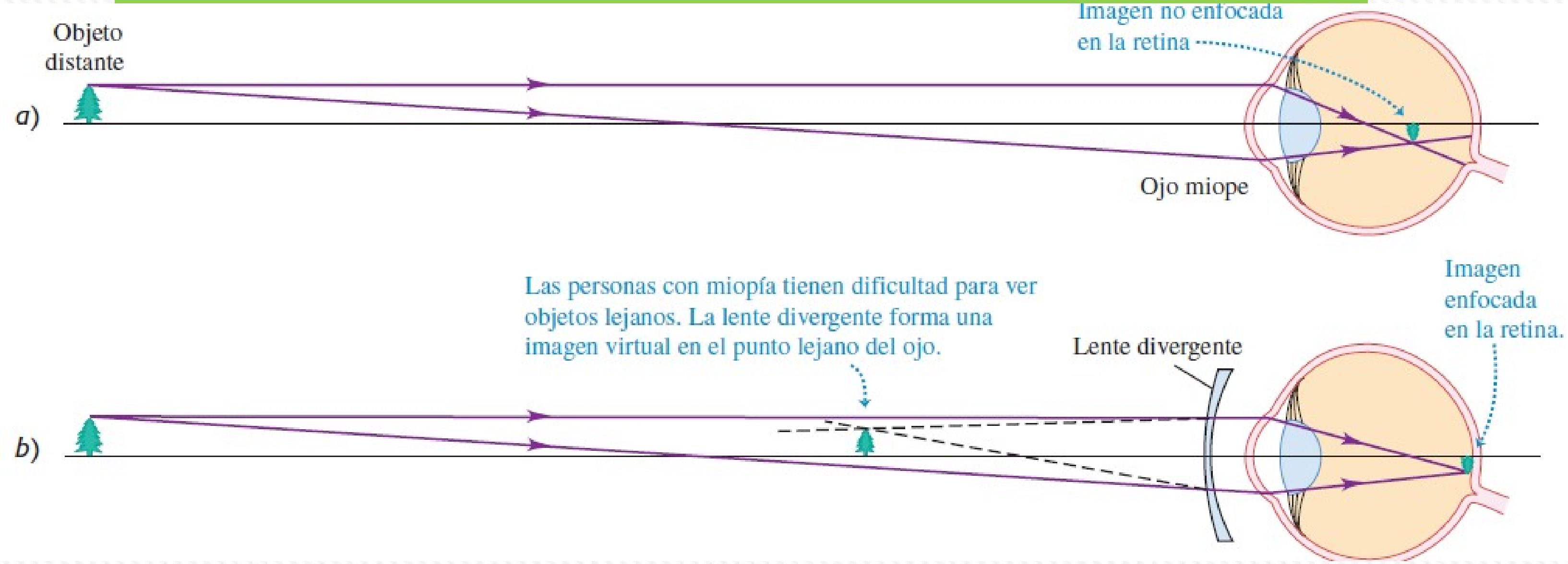
Ojo **normal** forma en la retina una imagen de un objeto situado en el infinito cuando el ojo se encuentra relajado (figura a).

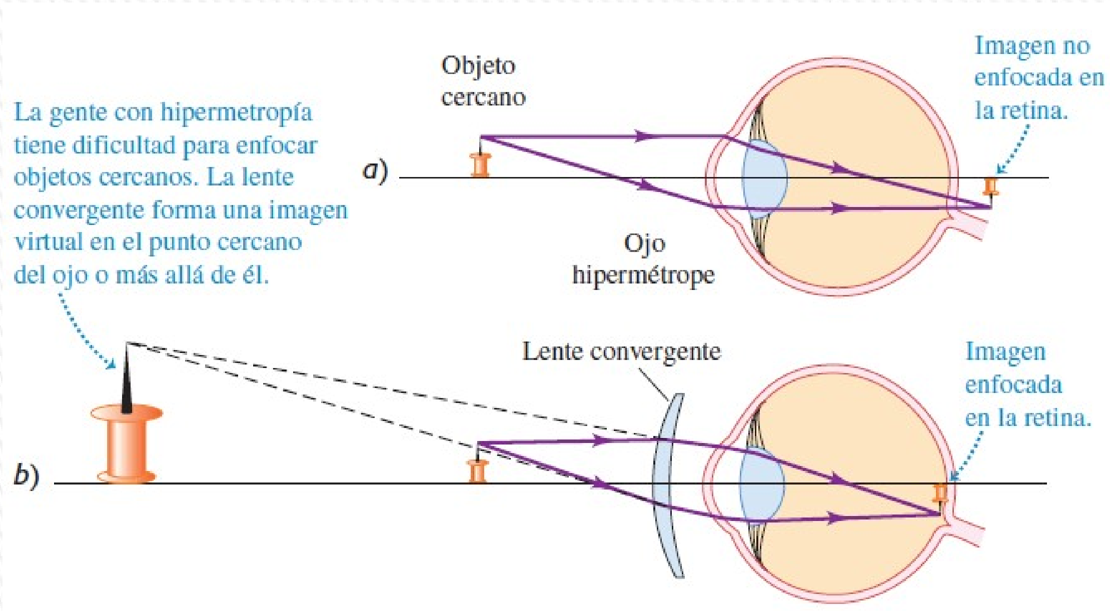
Ojo **miope** (corto de vista) los rayos provenientes de un objeto situado en el infinito se enfocan delante de la retina (figura b). El objeto más distante del cual se puede formar una imagen en la retina está entonces más próximo que el infinito.
Se utiliza una **lente divergente** (negativa) para llevar la imagen más cerca del ojo que el objeto real, como se muestra en la figura.

Ojo **hipermétrope** (problemas de visión a distancias cortas), el globo ocular es demasiado corto o la córnea no tiene la curvatura suficiente, por lo que la imagen de un objeto infinitamente distante se forma detrás de la retina (figura c).
Se corrige con una **lente convergente,**



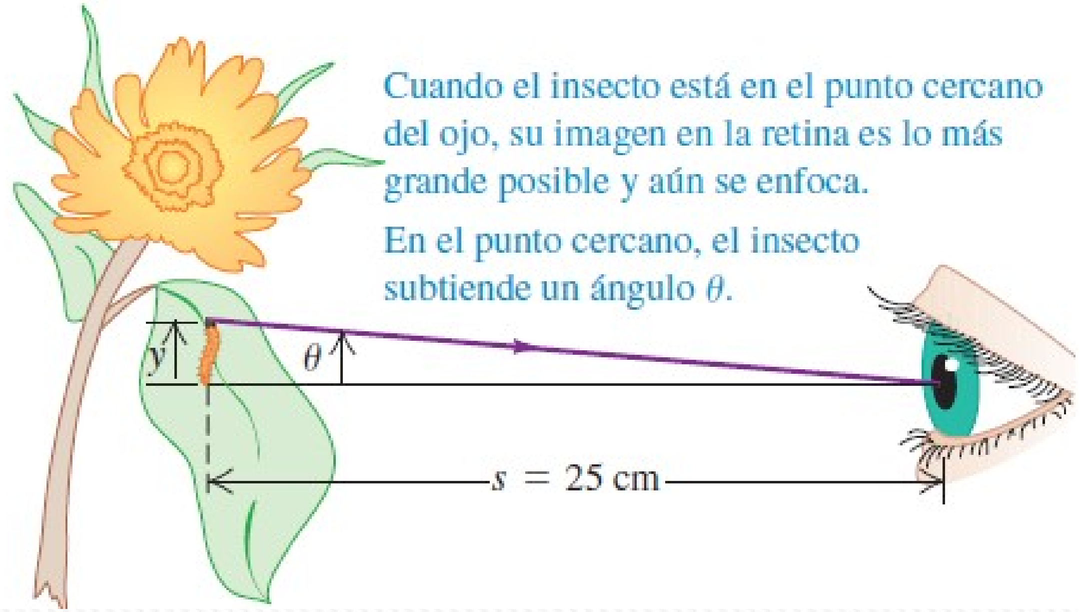
EL OJO – Defectos de la visión





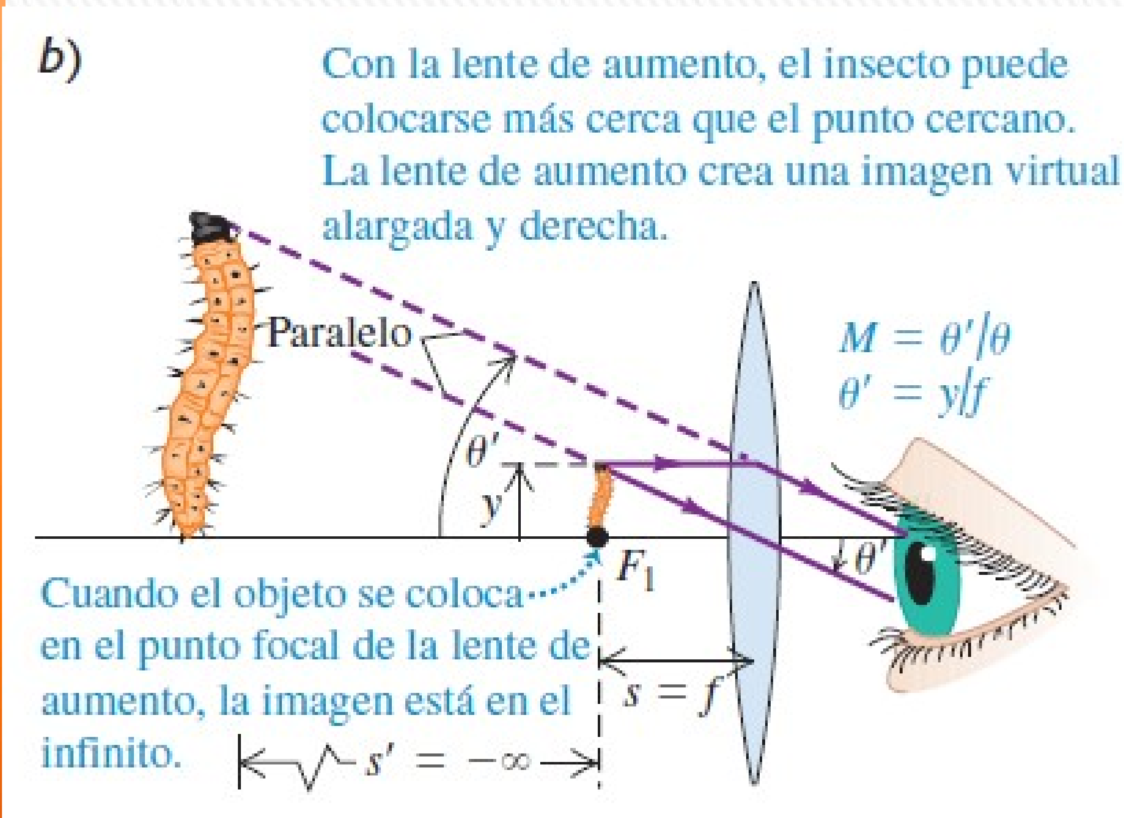
LA LUPA O LENTE DE AUMENTO

Tamaño aparente de un objeto: determinado por tamaño de la imagen en la retina, el cual depende del ángulo θ que subtiende el objeto en el ojo **(tamaño angular)**.



Para observar de cerca un objeto pequeño, lo acercamos al ojo para que el ángulo subtendido y la imagen retiniana 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: $y = \text{tg}(\theta).s = \text{tg}(\theta).(25{,}0 \text{ cm})$

LA LUPA O LENTE DE AUMENTO



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 **vidrio de aumento** o **lupa simple**.
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’: $y = \mathrm{tg}(\theta').f$

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:

$y = \mathrm{tg}(\theta).s = \mathrm{tg}(\theta).(25{,}0\ \mathrm{cm}) \cong \theta.\ 25{,}0\ \mathrm{cm}$ o que: $\theta \cong \dfrac{y}{25{,}0\ cm}$

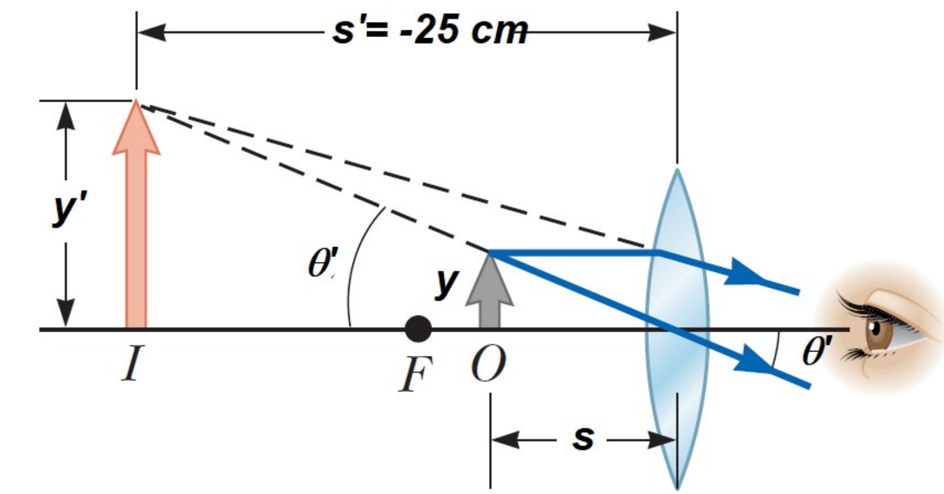
$y = \mathrm{tg}(\theta').f \cong \theta'.f$ *o que:* $\theta' \cong \dfrac{y}{f}$

M_{min} aumento mínimo (objeto colocado en el foco y la imagen en el infinito,
f se debe expresar en cm

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

La amplificación angular es máxima si la imagen formada por la lente está en el punto cercano del ojo (que suponemos igual a 25,0 cm).
Para que la imagen se forme en el punto cercano, se debe imponer que *s'* = - 25,0 cm y se debe hallar el valor de *s* para que esto suceda.

LA LUPA O LENTE DE AUMENTO



Por la ecuación de las lentes delgadas:

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

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

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

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

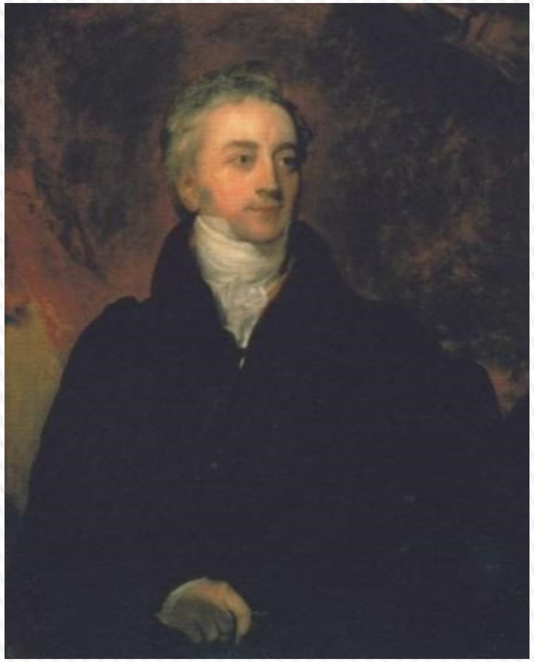
$$M_{max}=\frac{\theta'}{\theta}=\frac{\frac{y}{s}}{\frac{y}{25{,}0}}=\frac{25{,}0}{s}=\frac{25{,}0}{\frac{25{,}0.f}{25{,}0+f}}=\frac{25{,}0+f}{f}=1+\frac{25{,}0}{f}$$

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

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.

PROPIEDADES ONDULATORIAS DE LA LUZ



THOMAS YOUNG
(1773 – 1829)

Un prodigio!!!
A los 2 años leía, a los 4 había leído la Biblia dos veces, a los 14 sabía 8 idiomas!!

Los colores en muchas de las plumas de un colibrí no se deben al pigmento. La *iridiscencia que provoca los colores refulgentes que con* frecuencia aparecen en la garganta y pecho del ave se debe a un efecto de interferencia causado por las estructuras de las plumas. Los colores varían dependiendo del ángulo de vista.

Interferencia y fuentes coherentes

Supondremos dos fuentes que producen ondas de la misma amplitud y la misma longitud de onda λ (**monocromáticas**), y que además tienen **una relación de fase constante**, **es decir son** **coherentes.**
Los átomos en una fuente radian con una relación de fase no sincronizada y aleatoria, por tanto no son coherentes, sin embargo, la luz procedente de una sola fuente se puede dividir de manera que formen dos o más fuentes secundarias, de modo que no haya cambio en sus fases relativas.
Como las ondas electromagnéticas son transversales, se debe agregar que tengan la misma ***polarización*** *(que por ejemplo el campo eléctrico oscilen en el mismo plano y dirección).*
Sean *dos fuentes S_1 y S_2 de igual amplitud, igual longitud de* onda y la misma polarización a lo largo del eje *y*, equidistantes del origen.
Vamos a considerar la superposición de las ondas provenientes de estas dos fuentes, en distintos puntos teniendo en cuenta que el recorrido de la onda que sale de S_1 para llegar a los distintos puntos vale r_1 , mientras que las distancias de S_2 a los distintos puntos es r_2.
Habrá casos en que la diferencia de recorridos Δr sea tal que que las ondas lleguen en fase (porque recorren la misma distancia o que Δr es un número entero de longitudes de onda) por lo que llegan los máximos juntos (**interferencia constructiva**),o también en puntos en los que puedan llegar con una **diferencia de fase de medio ciclo**, por lo que cuando llega un máximo de una onda, llega un mínimo de la otra (**interferencia destructiva**).

Interferencia y fuentes coherentes

CONDICIONES PARA OBSERVACIÓN DE LA INTERFERENCIA:

Las fuentes deben ser:
Coherentes- deben mantener la fase constante respecto de otra.

Monocromáticas, es decir, de una sola longitud de onda.

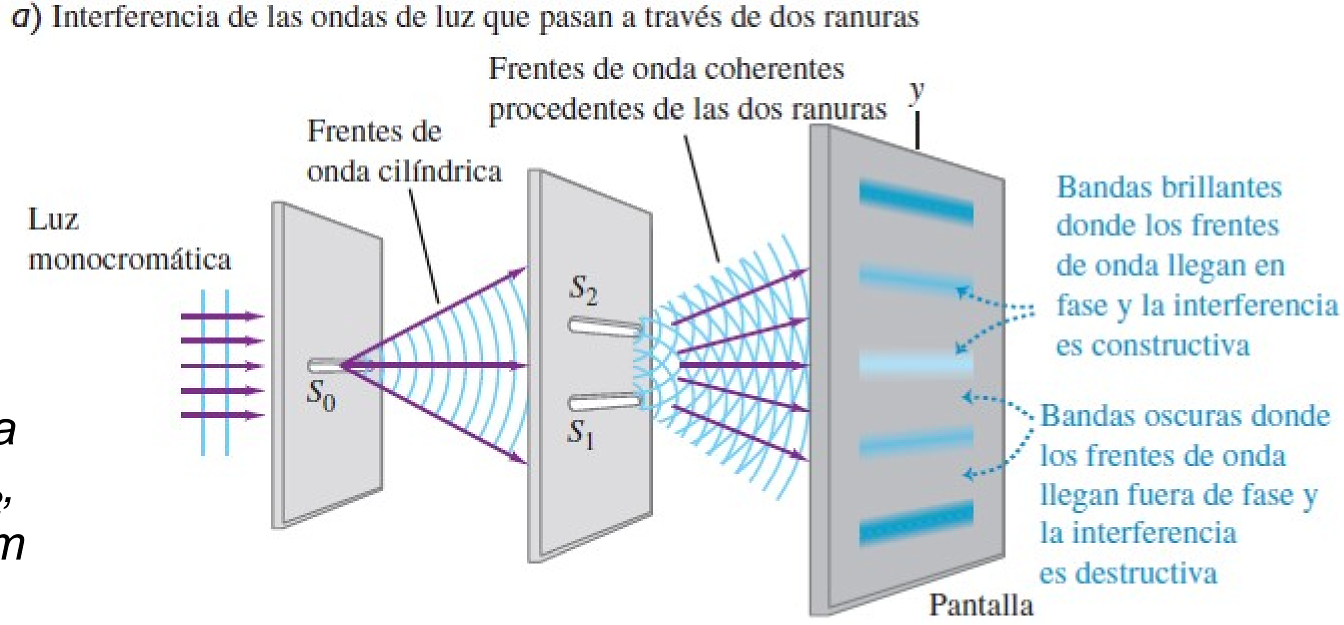
Si las **ondas** emitidas por las dos fuentes coherentes son ***transversales***, como las ondas electromagnéticas, entonces también se debe suponer que las ondas que producen ambas fuentes **tienen la misma** ***polarización lineal*** (se encuentran sobre la misma línea).

Las ondas de sonido de una sola frecuencia emitidas por dos altavoces colocados uno al lado del otro y activados por un solo amplificador pueden interferir entre sí porque los dos altavoces son coherentes, es decir, responden al amplificador de la misma forma en el mismo tiempo.

Interferencia de luz procedente de dos fuentes

Uno de los primeros experimentos para poner de manifiesto la interferencia de la luz de dos fuentes fue realizado por Thomas Young en 1801.

Montaje de Young: fuente emite luz monocromática; que se dirige a pantalla que tiene ranura angosta S_0, *de 1 mm aprox. ancho que ilumina otra pantalla con* dos ranuras S_1 y S_2, *de ancho aprox. de 1 μm*



separadas una distancia del orden del milímetro.
A partir de S_0 *se propagan ondas que llegan a* S_1 *y* S_2 *en fase porque recorren* distancias iguales desde S_0.
Por lo tanto, las ondas que emergen de las ranuras S_1 *y* S_2 *también están en fase siempre, por lo que* S_1 *y* S_2 *son fuentes coherentes.*
La interferencia de las ondas de S_1 *y* S_2 *genera un patrón en el espacio como el que aparece* a la derecha de las fuentes en las figura.

Simulación:
https://ophysics.com/l5.html