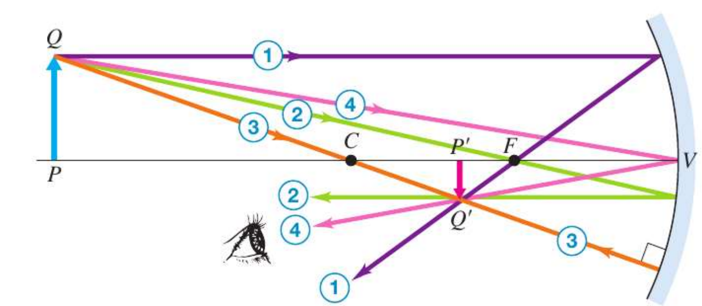
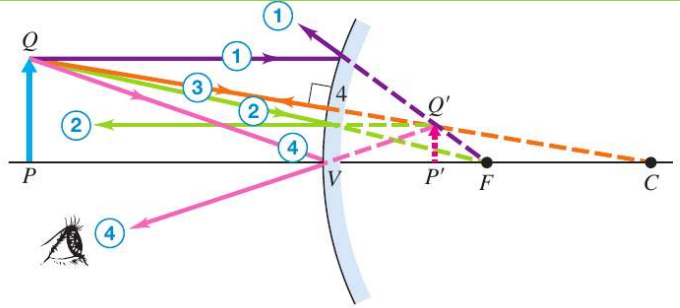
22-FORMACIÓN DE IMÁGENES





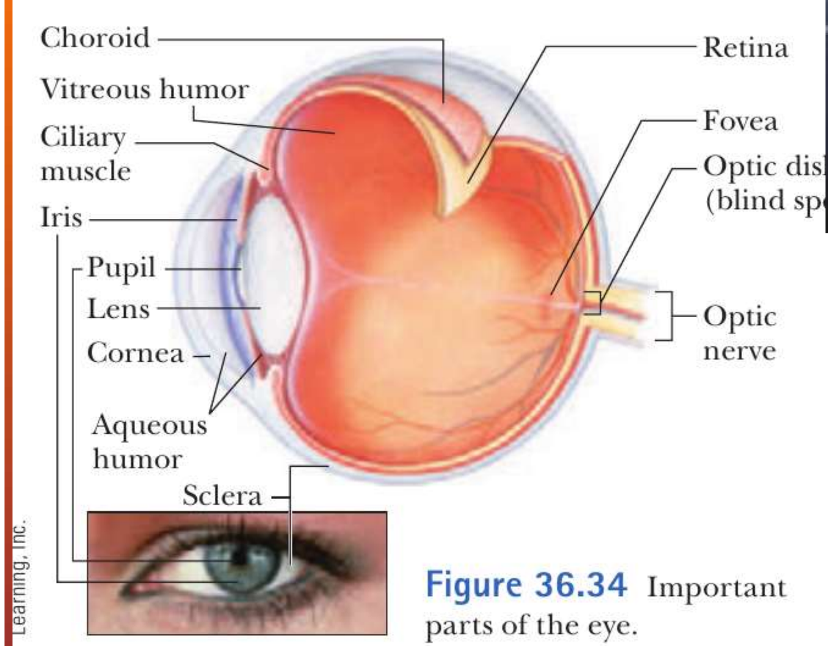


Figure 36.34 Important parts of the eye.

ÓPTICA GEOMÉTRICA

El reflejo en un espejo, o la visión de un objeto a través de lentes son ejemplos de **imágenes.**

En cada caso, el **objeto** que miramos parece estar en un lugar diferente de su posición real, los rayos de luz provenientes de un punto del objeto se desvían por **reflexión o refracción** (o una combinación de ambas), de tal forma que convergen hacia un punto denominado **punto de imagen**, o parecen divergir con respecto a éste.

El papel fundamental que desempeña la geometría en nuestro análisis es la razón por la que se da el nombre de **óptica geométrica** al estudio de la formación de imágenes mediante rayos luminosos.

En óptica **objeto** es todo aquello desde donde radian rayos de luz, ya sea emitida por el objeto que es luminoso, o reflejada de una fuente distinta.

Denominaremos:

s - ***distancia del objeto*** al espejo (o al vértice del mismo o al eje de la lente)

s' - ***distancia de la imagen*** al espejo (o al vértice del mismo o al eje de la lente).

y - altura del objeto e ***y' - altura de la imagen***.

Aumento lateral *m*:

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

La imagen es **derecha,** si y e y' tienen el mismo signo, y m > 0.

Si la imagen estuviera invertida se dice que es una imagen **invertida**, y e y' tienen signos opuestos, y el aumento lateral m es negativo.

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

1-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 **(objeto virtual).**

2. 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 **(imagen virtual)**.

3. 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. Aumento lateral: m > 0 cuando la **imagen es derecha; m < 0** cuando es **invertida**.

Reflexión en una superficie plana

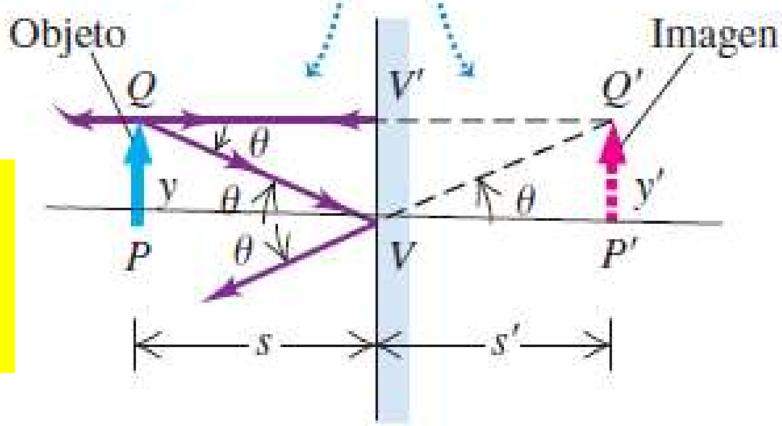
Espejo plano: aplicando la ley de reflexión tenemos que P y P' están a la misma distancia del espejo, y s y s' tienen igual magnitud.

El punto de imagen P' está situado exactamente en posición opuesta al punto del objeto P.

$y = y'$ $m = 1$

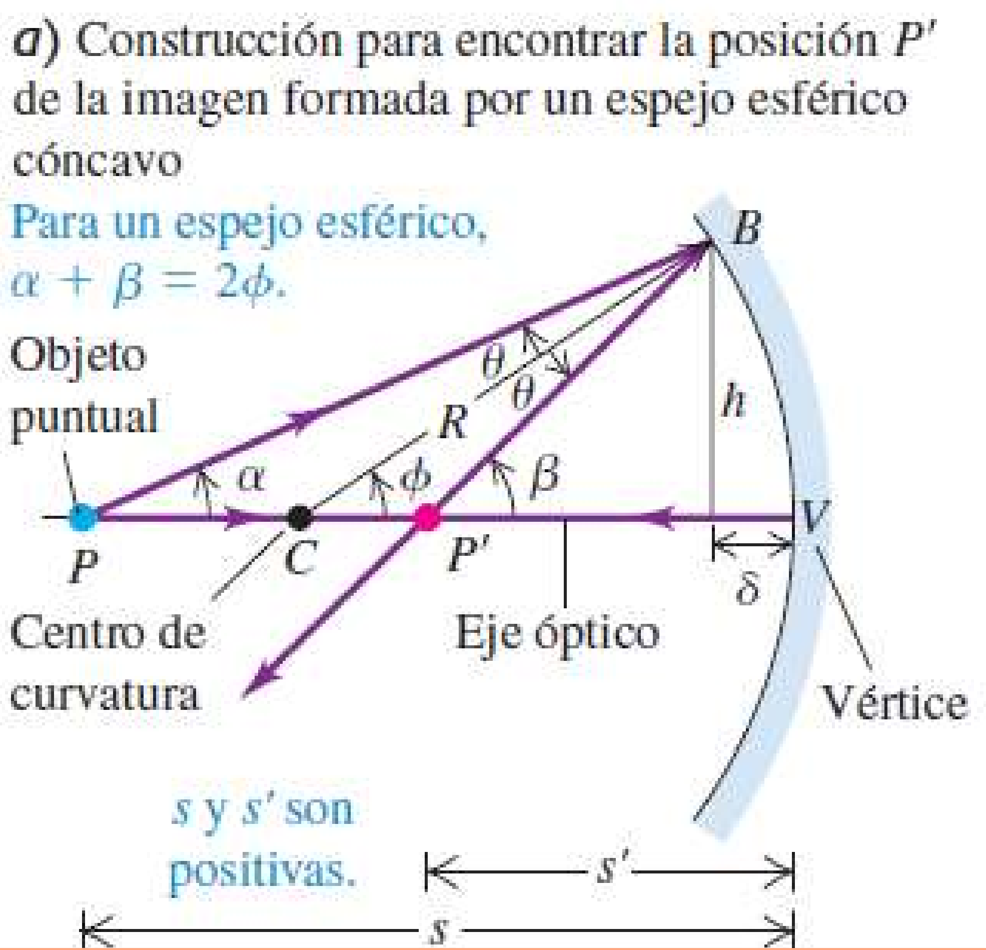
Imagen de un espejo plano siempre es virtual (s'< 0), derecha y del mismo tamaño que el objeto.

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).



Reflexión en una superficie esférica

Imagen de un objeto puntual: Espejo esférico cóncavo

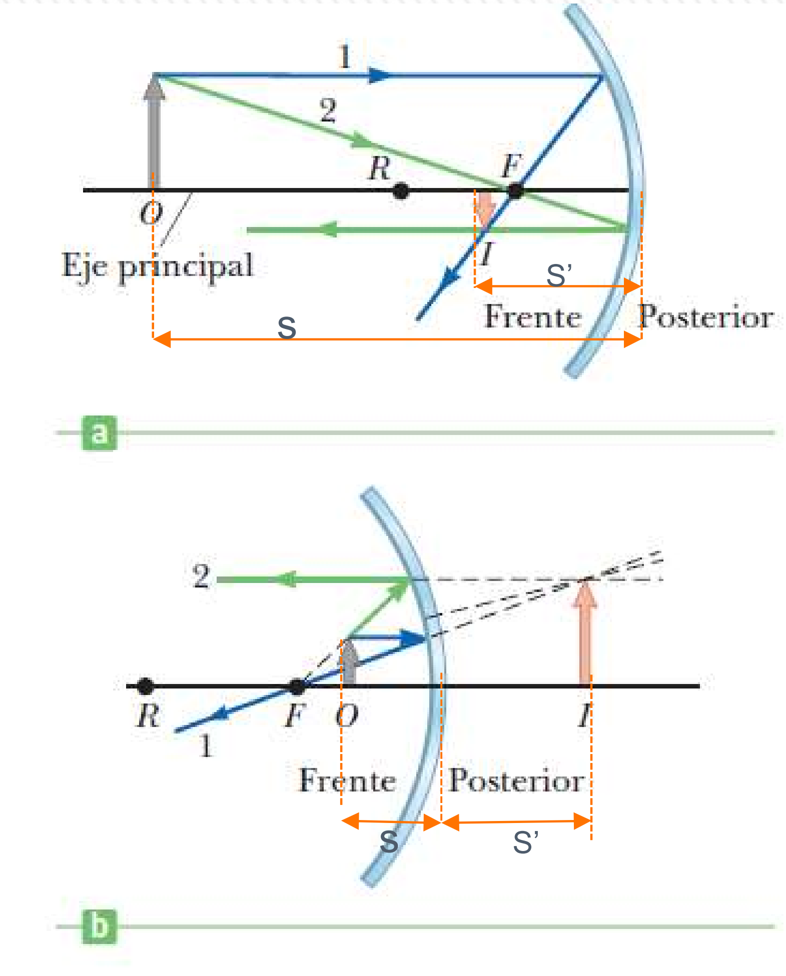


Espejo esférico con radio de curvatura R, con su lado cóncavo hacia luz incidente.
C - centro de curvatura de la superficie
V- vértice del espejo
Recta CV: eje óptico.
P: punto de objeto (sobre eje óptico)
Rayo PV: pasa por C, incide de forma normal en el espejo y se refleja sobre sí mismo.
Rayo PB, a un ángulo *α* con respecto al eje, incide en el espejo en B, donde los ángulos de incidencia y de reflexión son *θ*.

El rayo reflejado interseca el eje en P’, que es, entonces, la imagen de P.
Como los rayos reflejados se intersecan realmente en P’, y luego divergen a partir de P’, como si se hubieran originado en ese punto: **P’ es una imagen real**.
Podría colocar realmente una pantalla o trozo de película y aparecería la imagen…

Reflexión en una superficie esférica

Espejos esféricos: relación entre distancias de objeto (s) y de imagen (s')

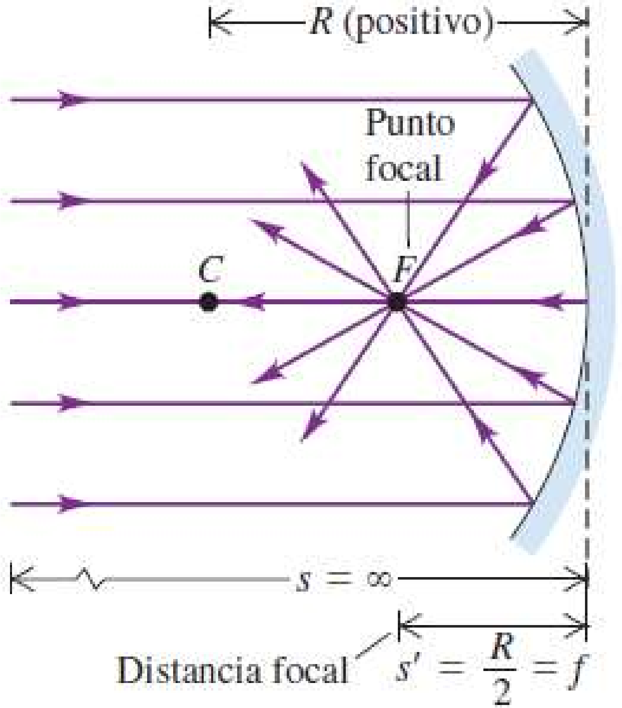


$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

Demostración en presentación 05.2 en Teórico del EVA

Imagen de un objeto: espejo esférico

a) Todos los rayos paralelos incidentes en un espejo esférico se reflejan a través del punto focal.



$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{2}{R}$$

Los rayos que forman ángulos suficientemente pequeños con el eje, casi paralelos al eje y próximos a él, se llaman **rayos paraxiales.**

Debido a que todos estos rayos reflejados convergen en el punto de imagen, los espejos cóncavos también se conocen como **espejos convergentes**.

Si el punto del objeto P está muy lejos del espejo esférico (s = ∞), los rayos entrantes son paralelos. Para este caso:

$$\frac{1}{\infty}+\frac{1}{s'}=\frac{2}{R} \quad \Rightarrow s'=\frac{R}{2}$$

El haz de rayos paralelos incidentes converge, después de reflejarse en el espejo, en un punto F situado a una distancia R/2 del vértice del espejo.

El punto F donde los rayos paralelos incidentes convergen se llama **punto focal** o **foco** y la distancia del vértice al punto focal, que se indica con **f**, recibe el nombre de **distancia focal**:

f se relaciona con el radio de curvatura R: **f = R/2**

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

Imagen de un objeto extenso: Espejo esférico

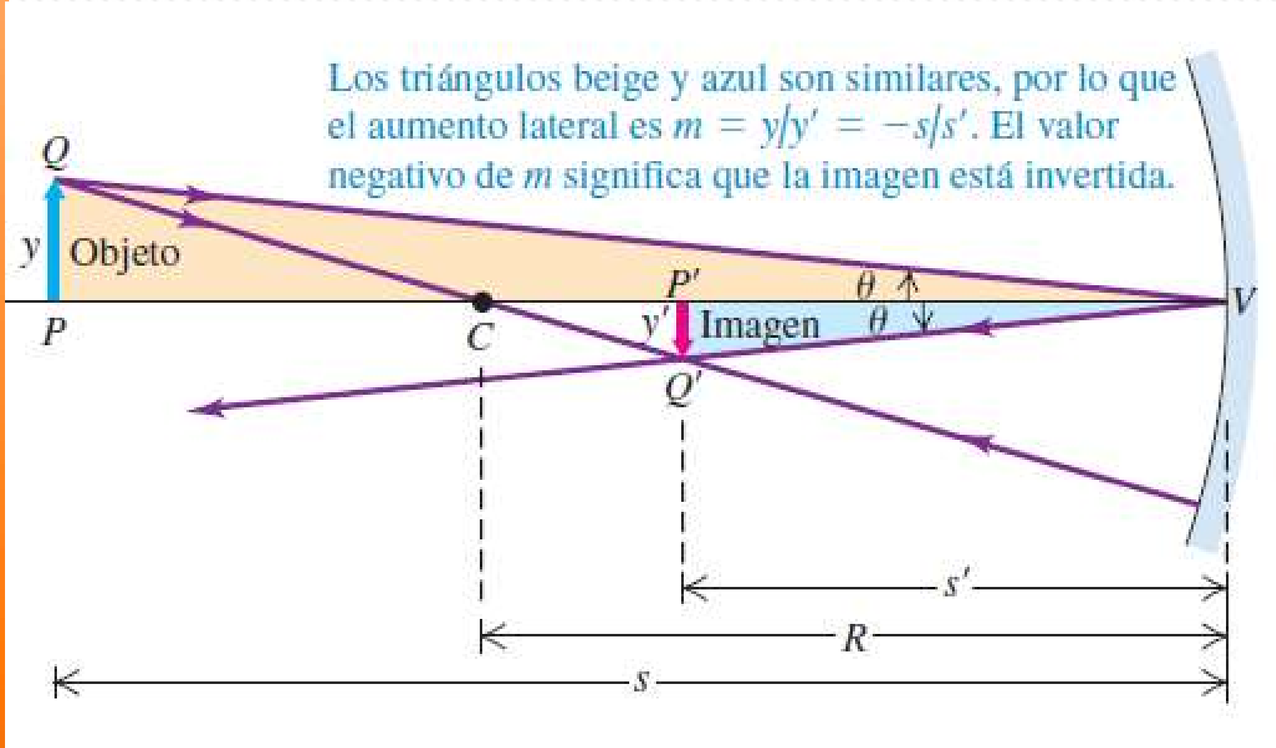


Imagen de P en P'
Imagen y' está invertida.
Triángulos PQV y P'Q´V son semejantes.
Por lo tanto: $m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$

Si m>0, la imagen es derecha en comparación con el objeto; si m<0 la imagen está invertida con respecto al objeto,

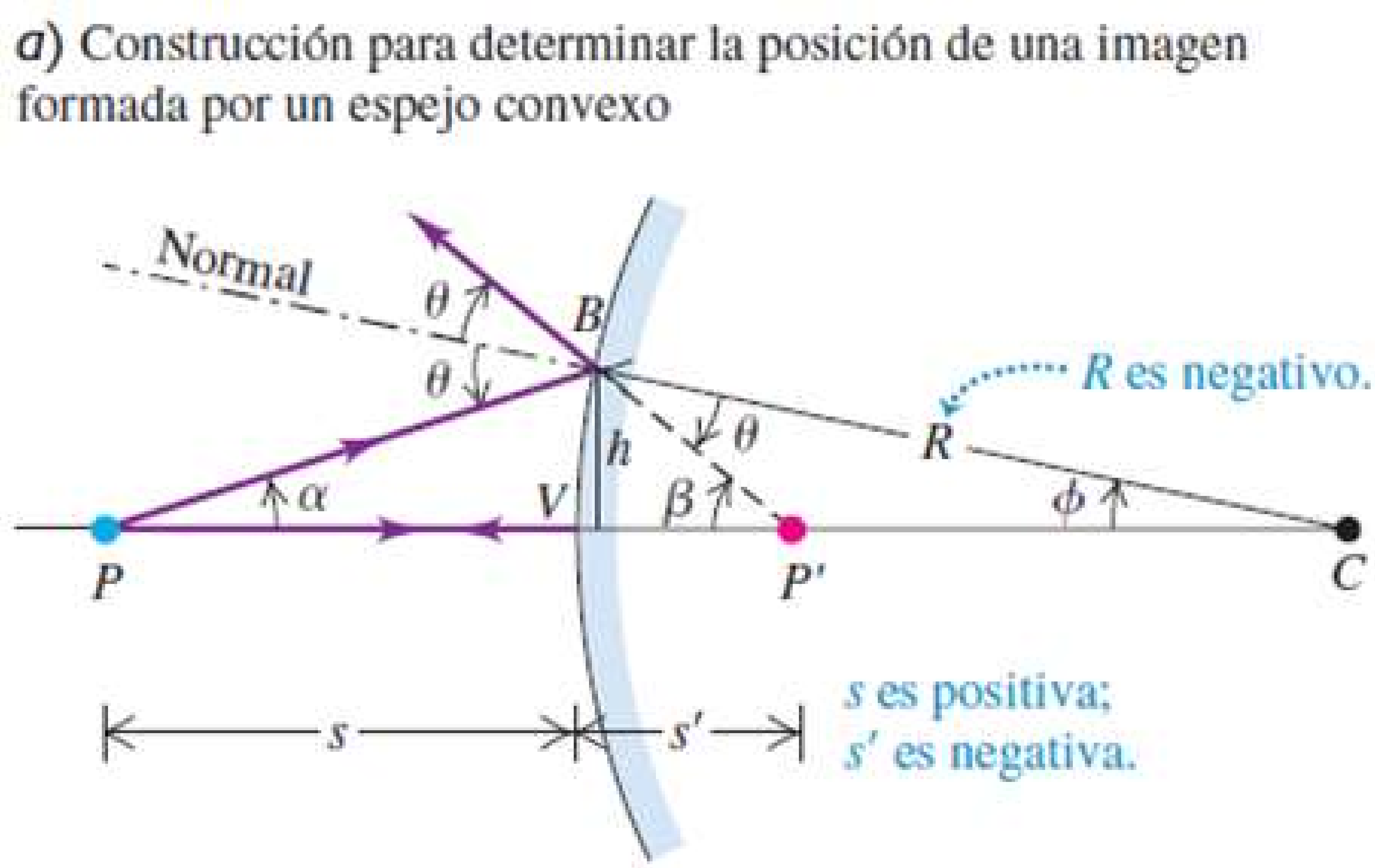
Si ***s* ≥ *f*** la **imagen es real e invertida**.
Si ***s* < *f*** la imagen resultante es **virtual** (la imagen está en el lado opuesto del espejo con respecto al objeto), **derecha y más grande que el objeto**.
Los espejos que se utilizan para aplicar maquillaje son espejos cóncavos; al usarlo, la distancia del rostro al espejo es menor que la distancia focal (s<f), y se observa una imagen derecha ampliada.
Se pueden verificar esto aplicando:

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

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

Reflexión en una superficie esférica

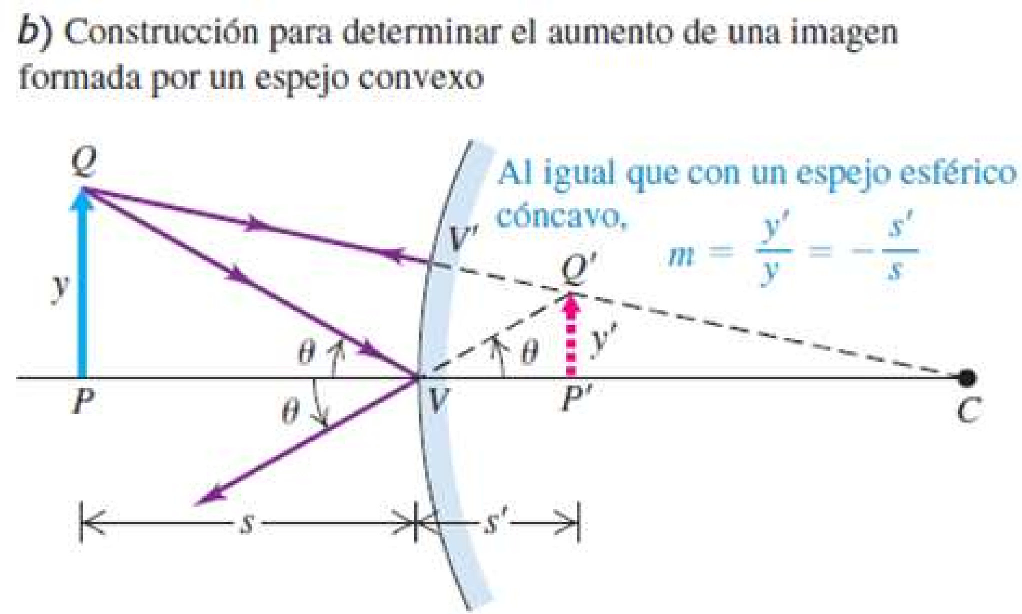
Espejos convexos



El centro de curvatura está en el lado opuesto a los rayos salientes: por lo que R <0 .
Rayo PB se refleja, con ángulos de incidencia y reflexión iguales a θ.
El rayo reflejado se proyecta hacia atrás y corta al eje en P'.
Como esto pasa para todos los rayos provenientes de P que se reflejan en el espejo, mientras los ángulos sean pequeños, P' es la imagen de P.

Para este caso: s >0; s' < 0 y R <0.

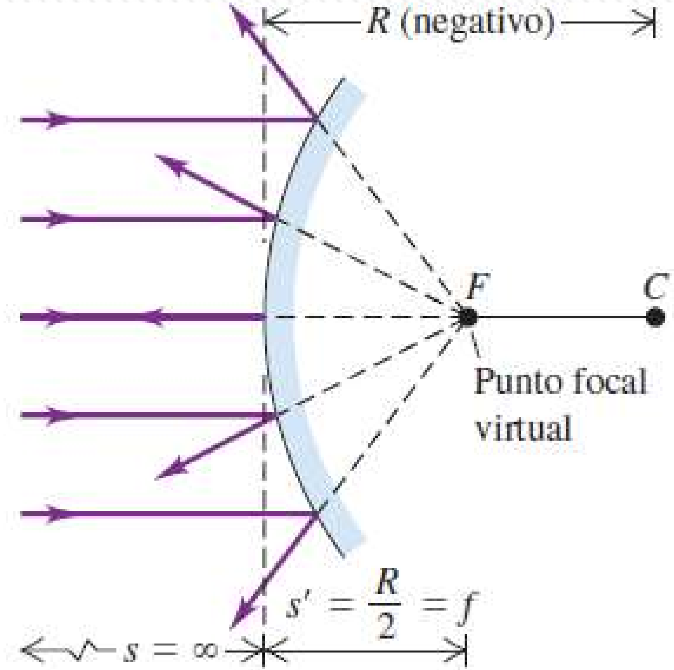
Espejos convexos



Se muestran dos rayos que divergen a partir de la punta de la flecha PQ y de la imagen virtual P'Q' .
Se siguen cumpliendo las ecuaciones:

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \qquad m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

Para este tipo de espejo, R es negativo los rayos entrantes que son paralelos al eje óptico no se reflejan a través del punto focal F, sino que divergen como si provinieran del punto F situado a una distancia f detrás del espejo, como se muestra en la figura.
En este caso, f es la distancia focal, y F recibe el nombre de punto focal virtual.
Tanto s' como f y R son negativos.

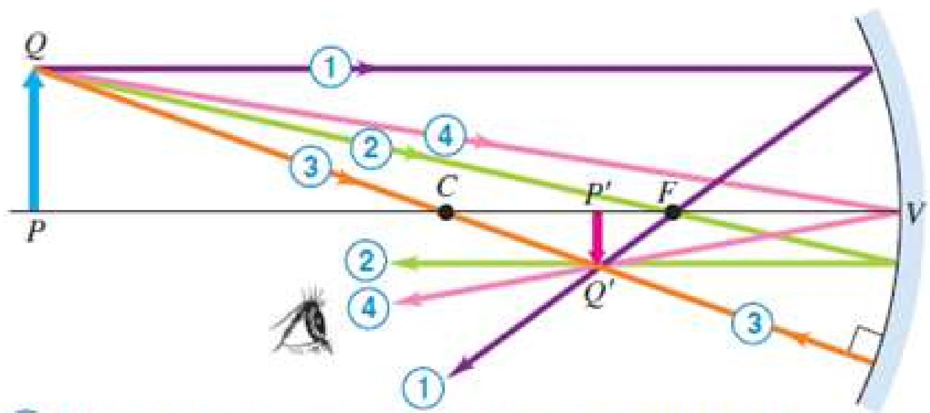


El espejo lateral de los vehículos es **convexo** para producir una imagen derecha menor que el objeto.
Como la imagen es más pequeña que el objeto, significa que el objeto está más cerca que su distancia aparente como se observa en el espejo

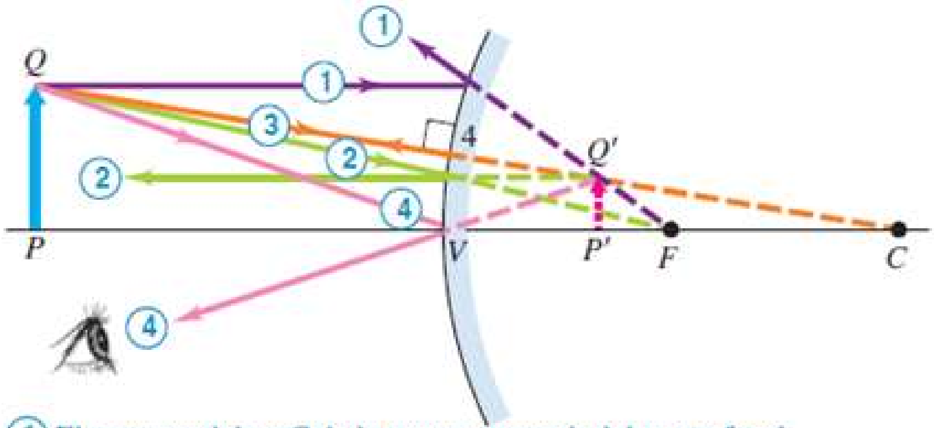
Métodos gráficos para espejos

Se elige un punto del objeto que no esté sobre el eje óptico. Se pueden trazar 4 rayos (**rayos principales**) que por lo general se dibujan con facilidad.

1. Un rayo paralelo al eje, después de reflejarse, pasa por el punto focal F de un espejo cóncavo o parece provenir del punto focal (virtual) de un espejo convexo.
2. Un rayo que pasa por el punto focal F (o que avanza hacia este) se refleja paralelamente al eje.
3. Un rayo a lo largo del radio que pasa por el centro de curvatura C, o se aleja de él, interseca la superficie en dirección normal y se refleja de regreso por su trayectoria original.
4. Un rayo que incide en el vértice V se refleja, formando ángulos iguales con el eje óptico.



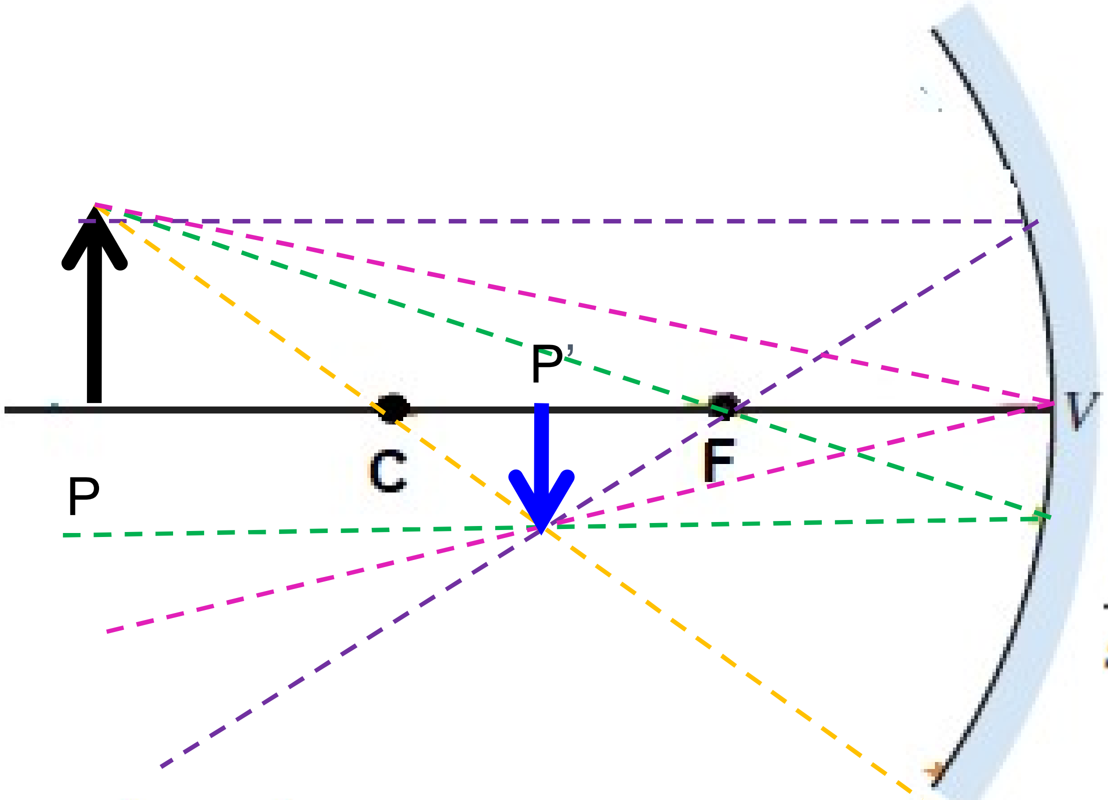
(1) El rayo paralelo al eje se refleja a través del punto focal.
(2) El rayo que pasa por el punto focal se refleja paralelo al eje.
(3) El rayo que pasa por el centro de curvatura interseca la superficie en dirección normal y se refleja a lo largo de su trayectoria original.
(4) El rayo hacia el vértice se refleja simétricamente tomando como base el eje óptico.



(1) El rayo paralelo reflejado parece provenir del punto focal.
(2) El rayo hacia el punto focal se refleja paralelo al eje.
(3) Al igual que con el espejo cóncavo: el rayo radial al centro de curvatura interseca la superficie en dirección normal y se refleja a lo largo de su trayectoria original.
(4) Al igual que con el espejo cóncavo, el rayo hacia el vértice se refleja simétricamente tomando como base el eje óptico.

Ejemplo: Espejo cóncavo con diferentes distancias del objeto

Un espejo cóncavo tiene un radio de curvatura con un valor absoluto de 20 cm. Encuentre por medios gráficos la imagen de un objeto en forma de una flecha perpendicular al eje del espejo a cada una de las siguientes distancias de objeto: a) 30 cm y b) 5,0 cm



R = + 20 cm ; s = + 30 cm

y = 8,0 cm

f = R/2 = +10 cm

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

$$\frac{1}{30}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{s'}=\frac{1}{10}-\frac{1}{30}=\frac{2}{30}=\frac{1}{15}$$

s' = 15 cm (P'V)

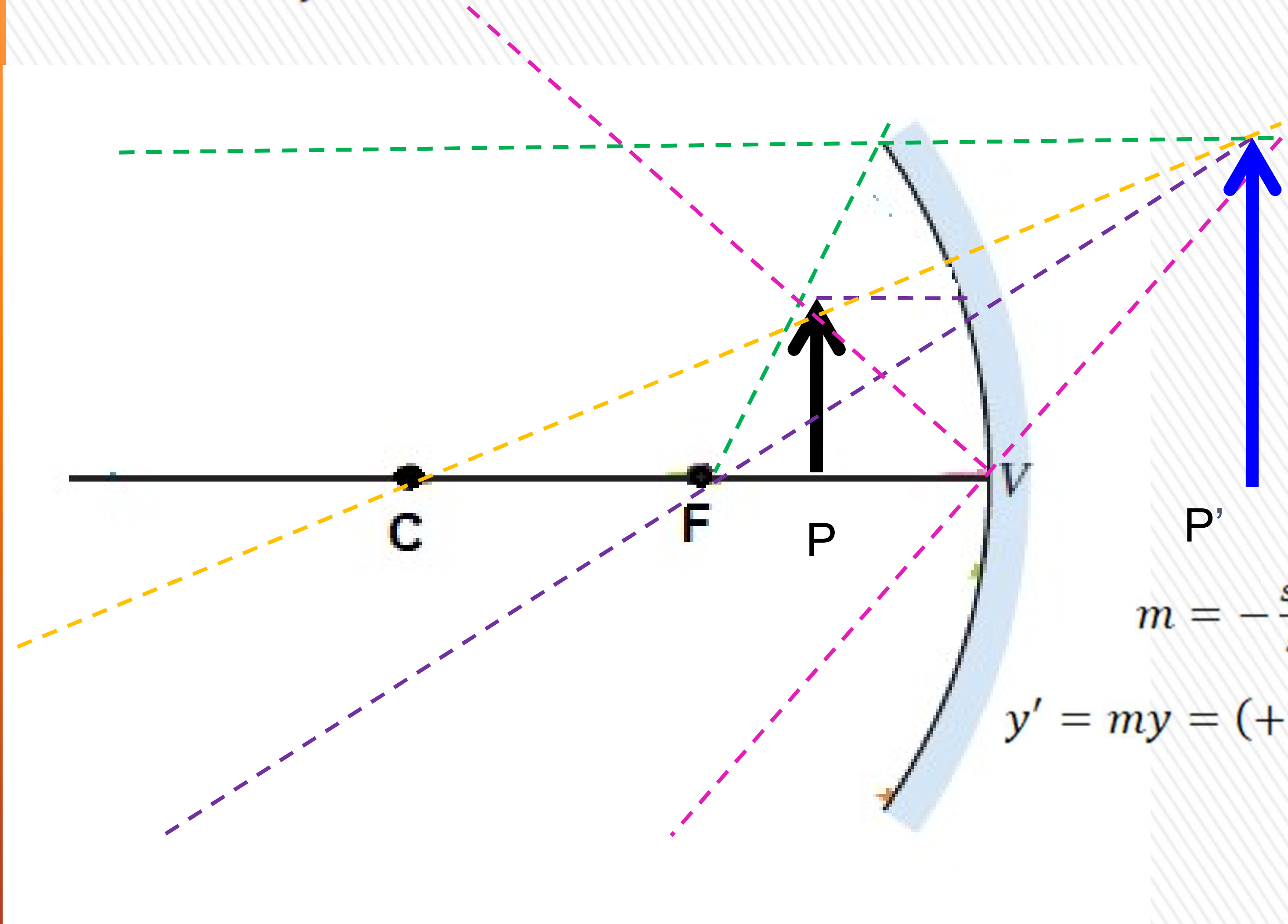
$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s} \qquad m=-\frac{s'}{s}=-\frac{15}{30}=-0{,}50 \qquad y'=my=(-0{,}50)(8{,}0)=-4{,}0\ cm$$

Ejemplo: Espejo cóncavo con diferentes distancias del objeto

R = + 20 cm ; s = + 5,0 cm; y = 8,0 cm; f = R/2 = +10 cm

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f} \qquad \frac{1}{5{,}0}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{10} \qquad \frac{1}{s'}=\frac{1}{10}-\frac{1}{5{,}0}=-\frac{1}{10}$$

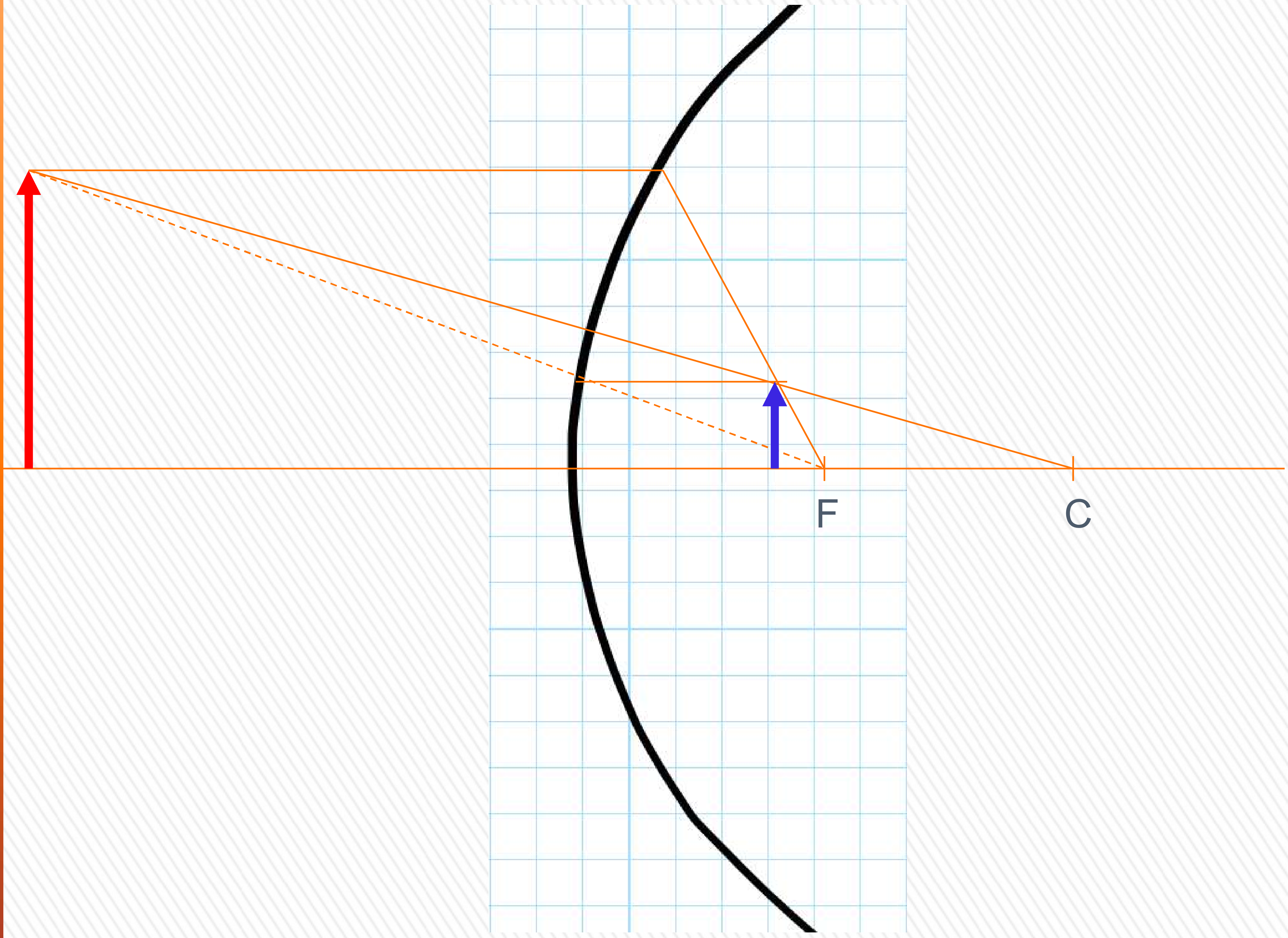
s'= -10 cm



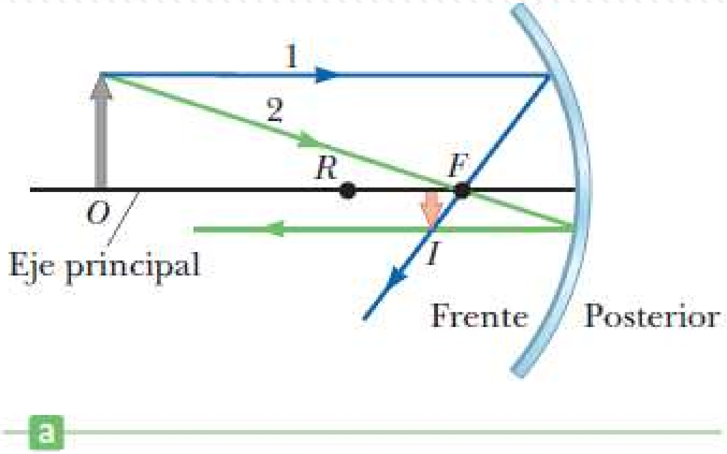
$$m=-\frac{s'}{s}=-\frac{-10}{5{,}0}=+2{,}0$$

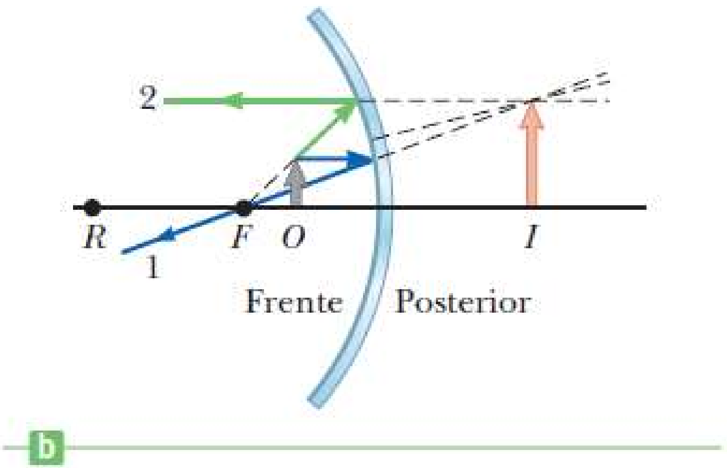
$$y'=my=(+2{,}0)(8{,}0)=+16\ cm$$

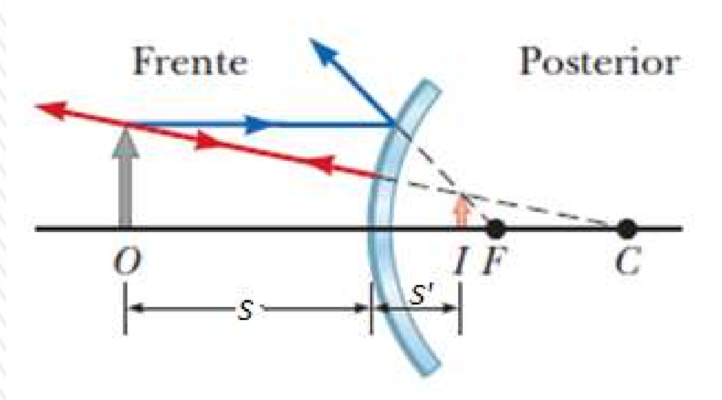
Ejemplo: Formación imagen en espejo convexo



Espejos esféricos: resumen







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

Espejo cóncavo

f > 0; s > 0

a) *s* > *f* (el objeto está fuera del punto focal) la imagen es **real e invertida.**
Si *f* < *s* < *R* *la imagen es más* grande que el objeto cuando,
Si s > *R* *la imagen es más pequeña que el* objeto.

b) s < f la imagen es virtual, derecha y más grande que el objeto.

Espejo convexo

f < 0; s > 0;

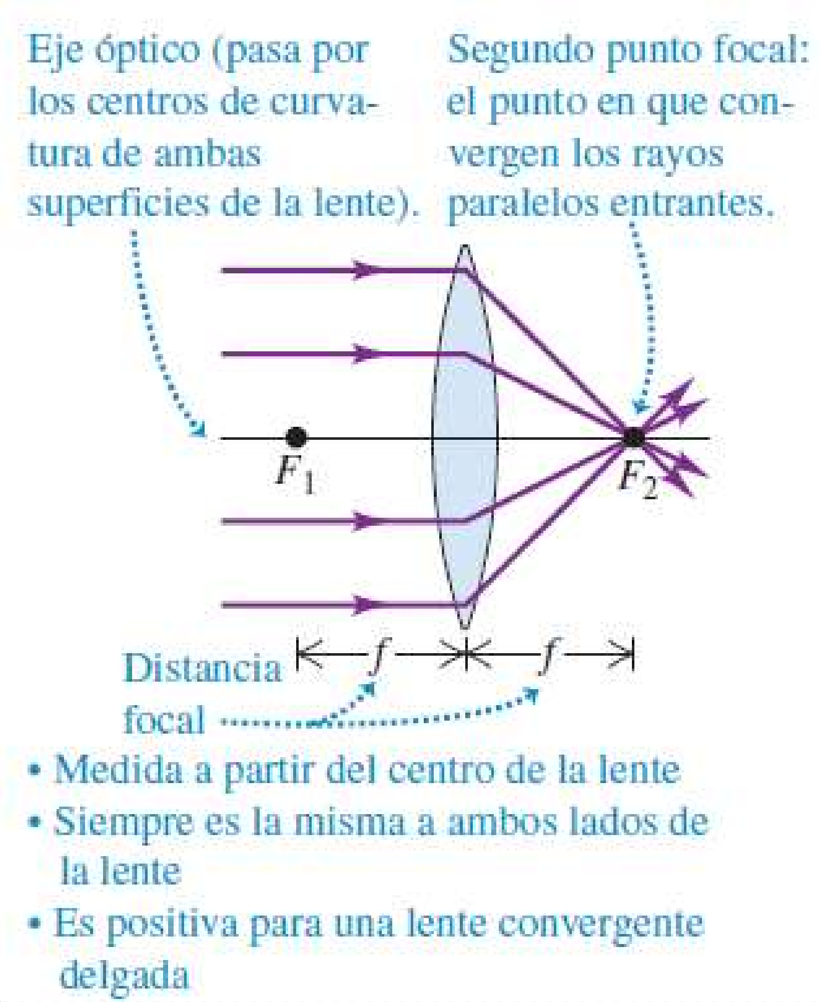
La imagen de un espejo convexo siempre es virtual, derecha, reducida y detrás del espejo.

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.

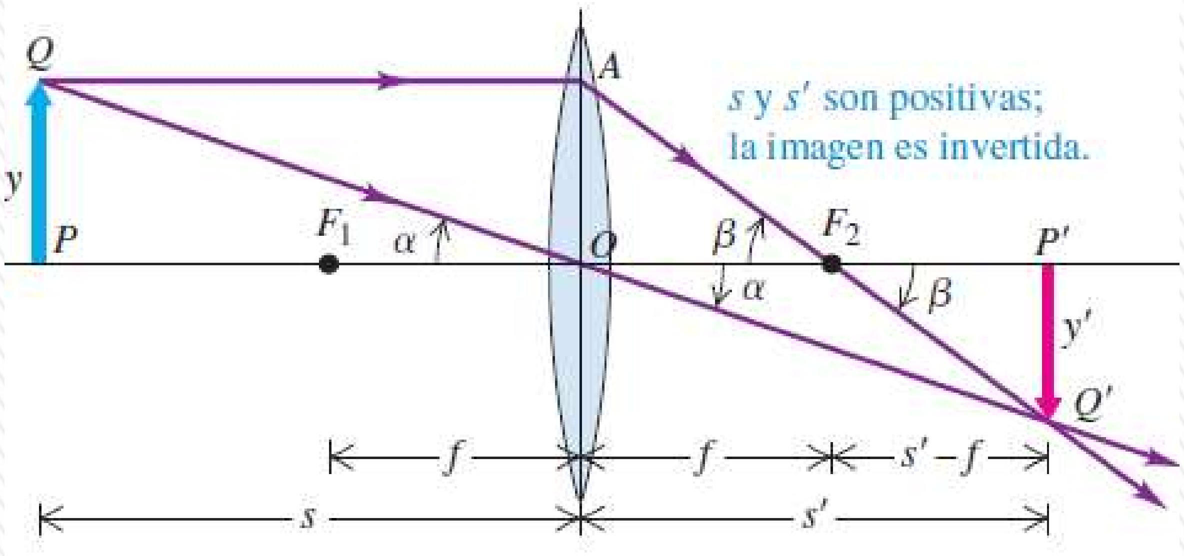
La recta horizontal central de la figura es el **eje óptico**.

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

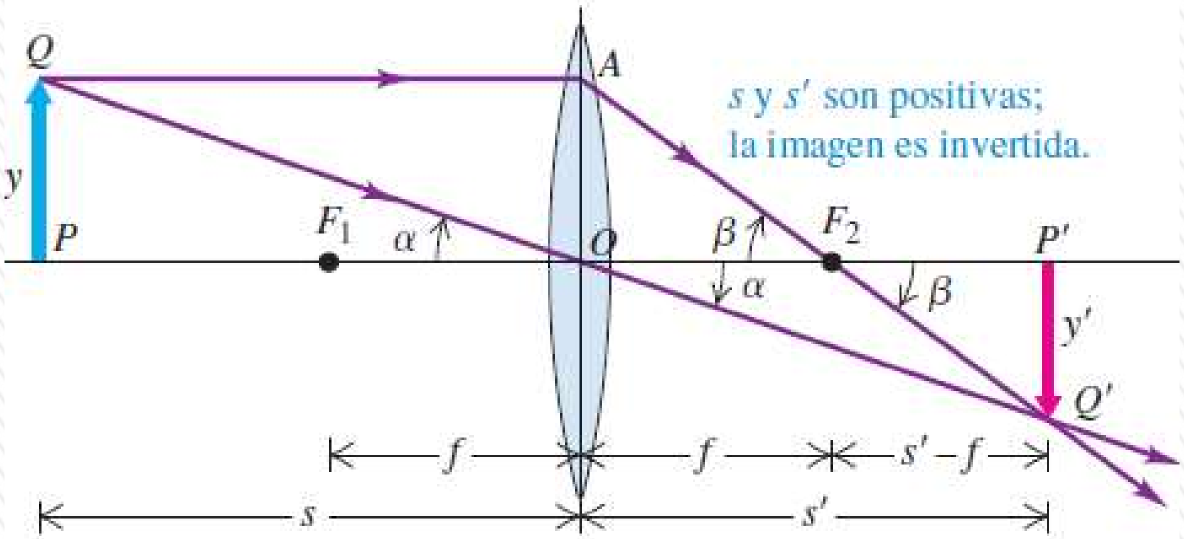
$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$$

relación objeto-imagen, lente delgada

Aumento lateral:

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

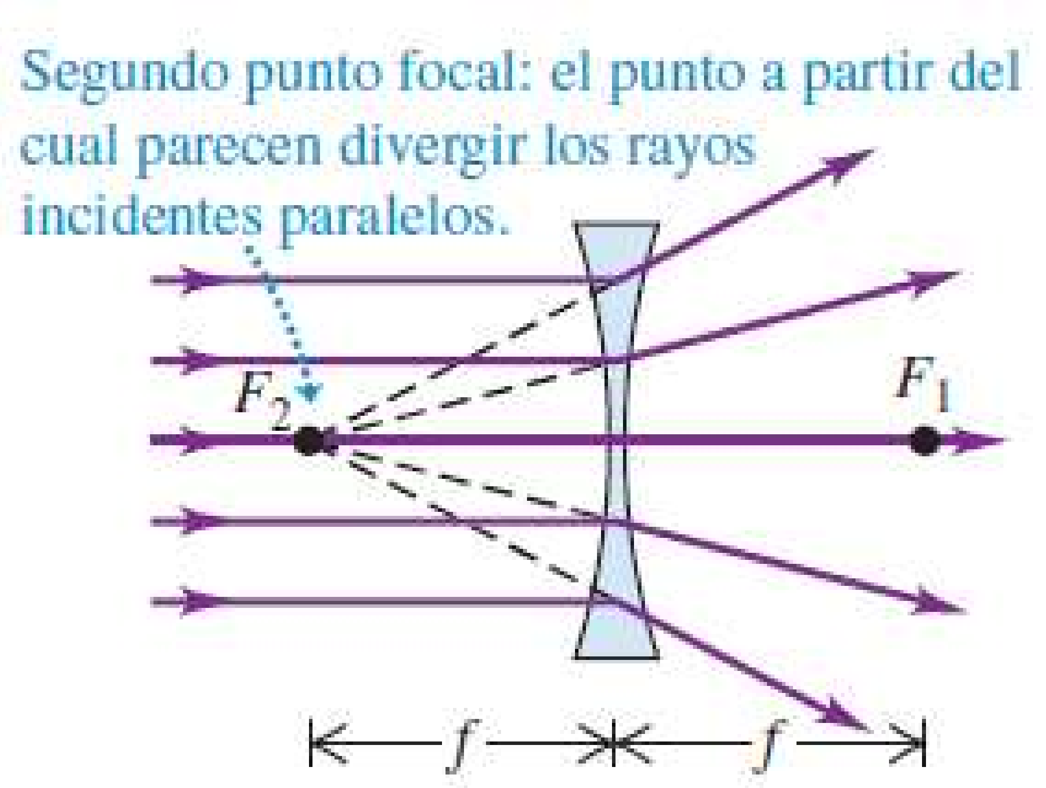
El signo negativo indica que cuando s y s' son positivas, como en la figura, la imagen es invertida, los signos de y e y' son opuestos



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.

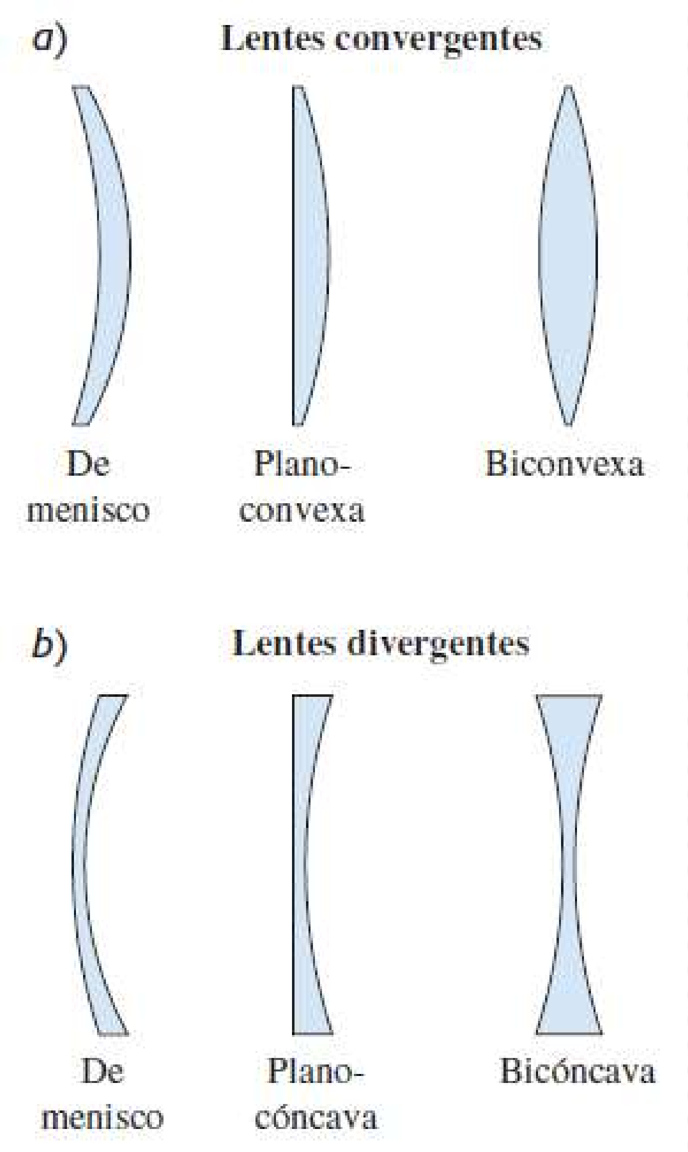
LENTES DELGADAS- Lentes divergentes



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:

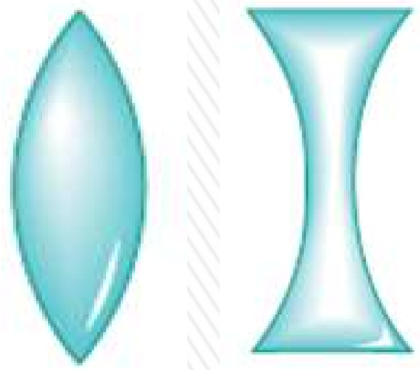
1) Se dibujan los diagramas en los que luz procede siempre desde la izquierda.
2) El radio de curvatura de la superficie de una lente es positivo si su centro de curvatura se halla a la derecha de la lente, y negativo si su centro se halla a la izquierda.
3) R_1 se refiere a la primera superficie o superficie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

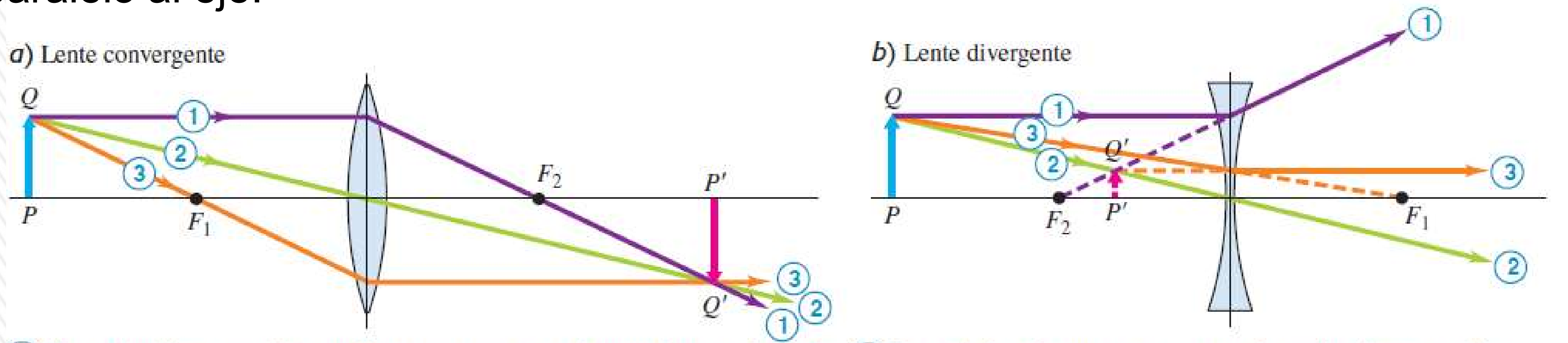
$$\frac{1}{f} = (1.52 - 1)\left(\frac{1}{-10\text{ cm}} - \frac{1}{+10\text{ cm}}\right) \qquad f = -9.6\text{ cm}$$

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.



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:

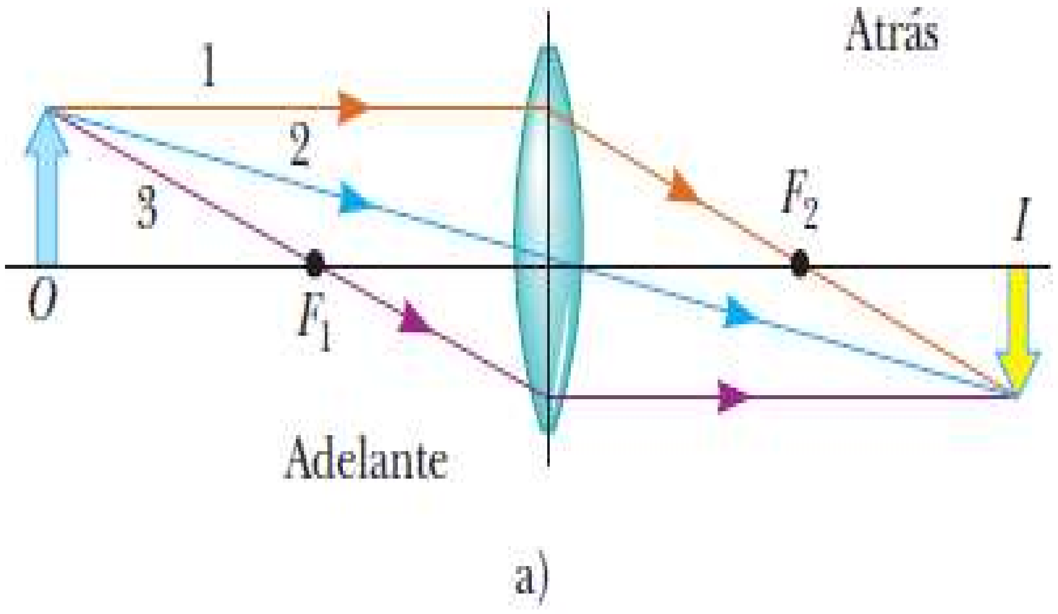
1. s es positiva para un objeto real y negativa para un objeto virtual.
2. s' es positiva para una imagen real y negativa para una imagen virtual.
3. El tamaño del objeto y es positivo si está por arriba del eje y negativo si está por debajo del mismo.

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

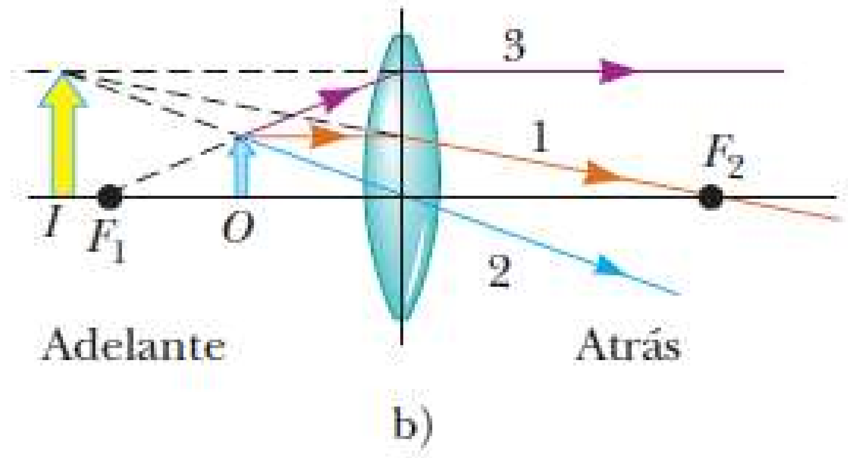
FORMACIÓN DE IMÁGENES

Lente convergente

Objeto 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

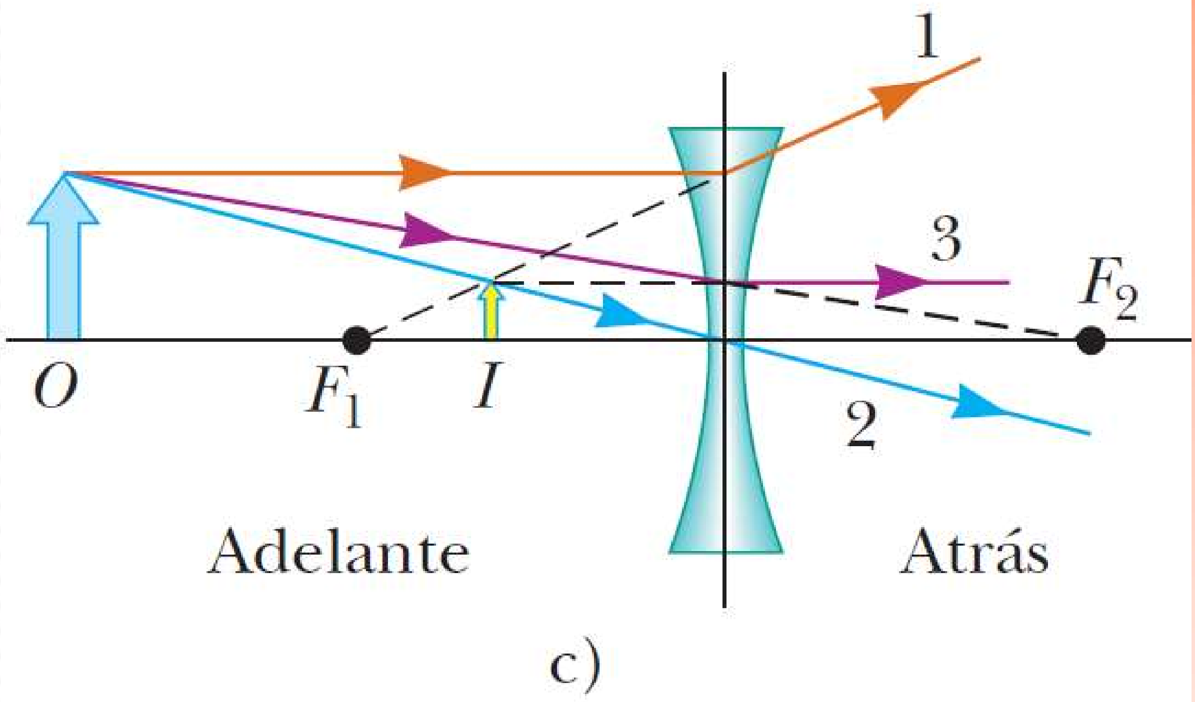
a) Imagen real, invertida y en la cara posterior de la lente.

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

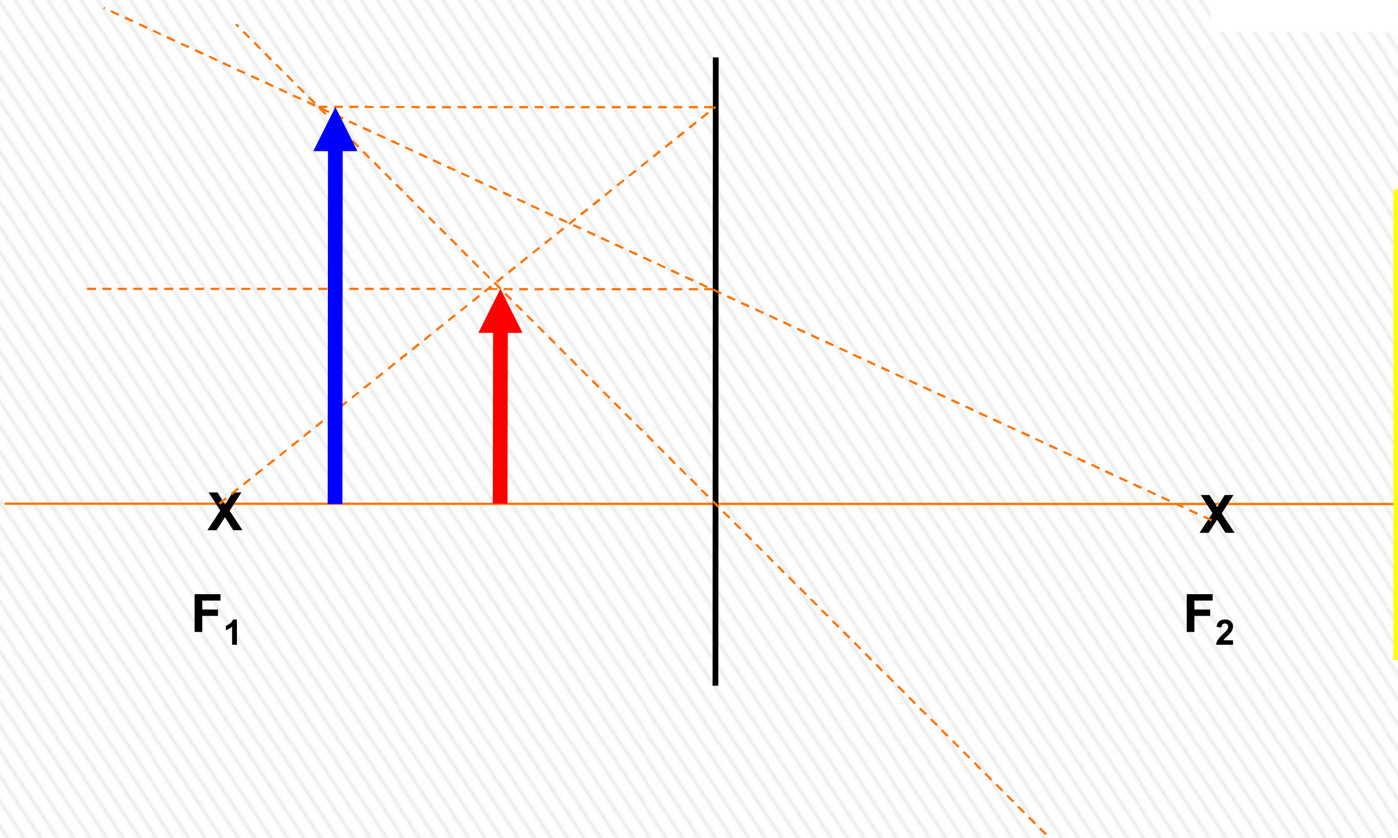
a) La distancia focal de una lente convergente es de 20,0 cm. Un objeto se coloca a 8,00 cm de la lente. ¿Dónde se encuentra la imagen del objeto? ¿Cuál es el aumento?

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

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

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

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



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

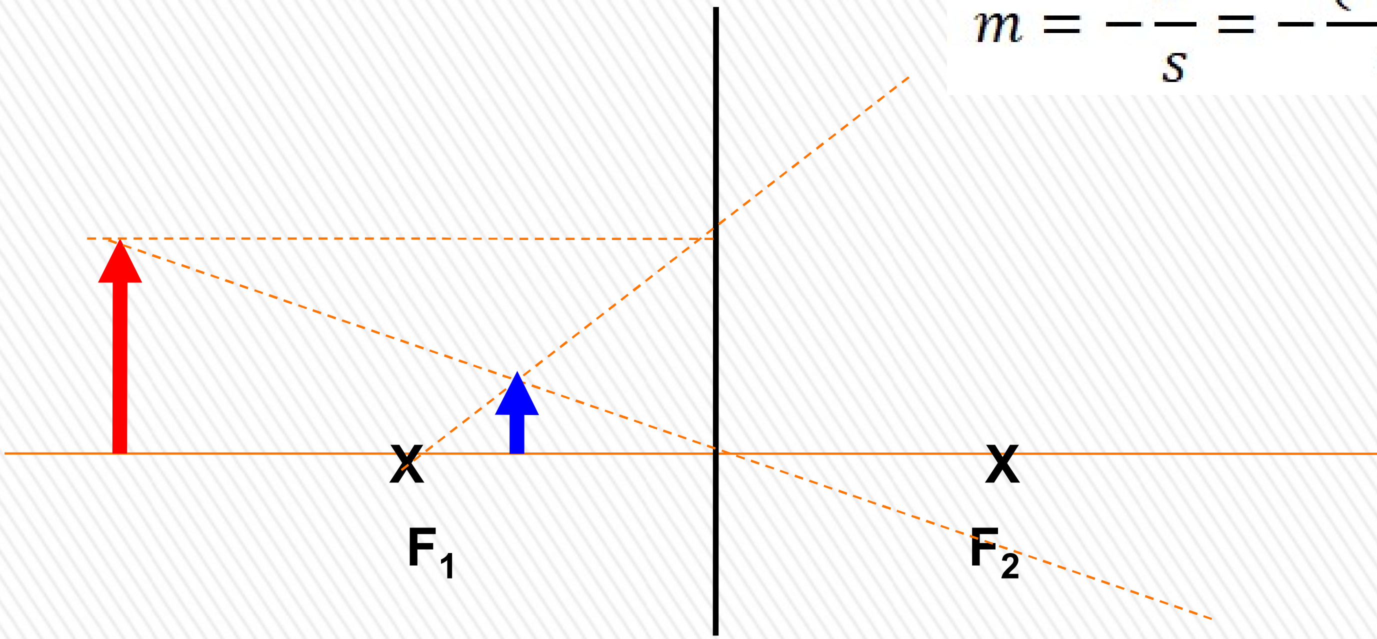
Ejemplo: ejercicio 5.10.b

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

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

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



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).