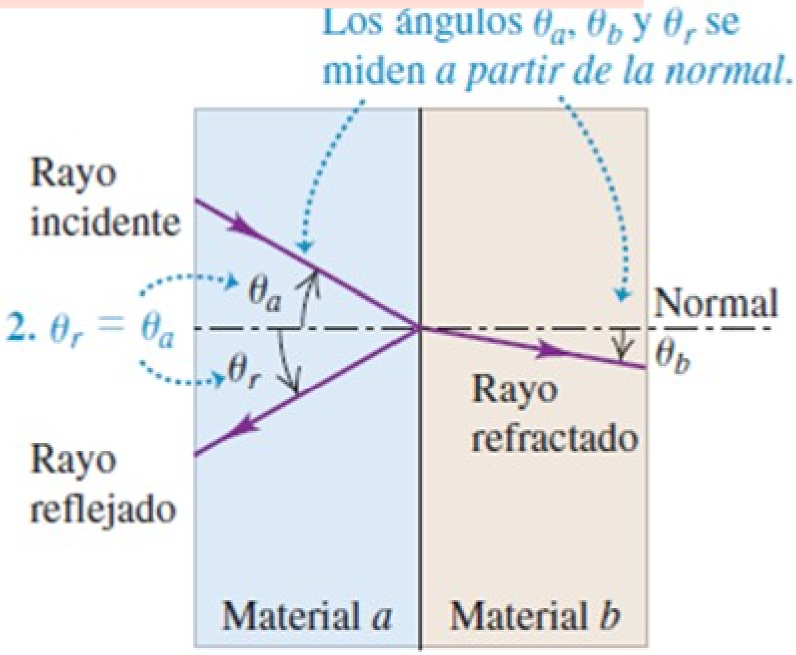
20-ÓPTICA GEOMÉTRICA

REPASO DE CLASE ANTERIOR

Doble naturaleza de la luz: en algunos casos exhibe características de una onda y en otras de una partícula.

$c = 2{,}99792458 \times 10^{8}$ m/s

$$n = \frac{\text{rapidez de la luz en el vacío}}{\text{rapidez de la luz en el medio}} = \frac{c}{v}$$



Los **rayos incidente, reflejado y refractado,** y la **normal** se encuentran todos en el **mismo plano (plano de incidencia)**

Ley de reflexión $\theta_r = \theta_a$

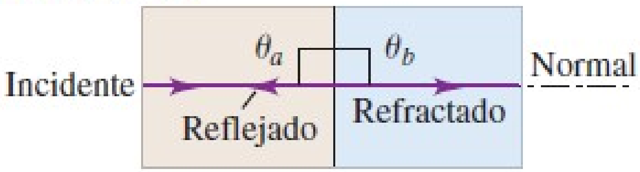
Ley de refracción o de Snell

$$n_a \sin\theta_a = n_b \sin\theta_b$$

Cuando la luz pasa de un medio a otro, su frecuencia no cambia, pero sí lo hace su longitud de onda

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

c) Un rayo orientado a lo largo de la normal no se desvía, sin importar cuáles sean los materiales.



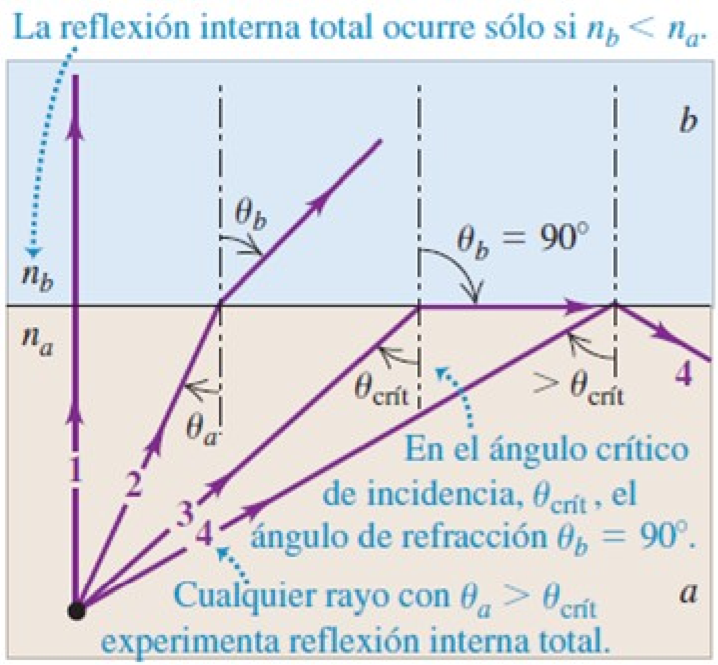
Sin importar cuáles sean los materiales a cada lado de la interfase, en el caso de incidencia *normal a la interfase el rayo transmitido no se desvía en absoluto.*

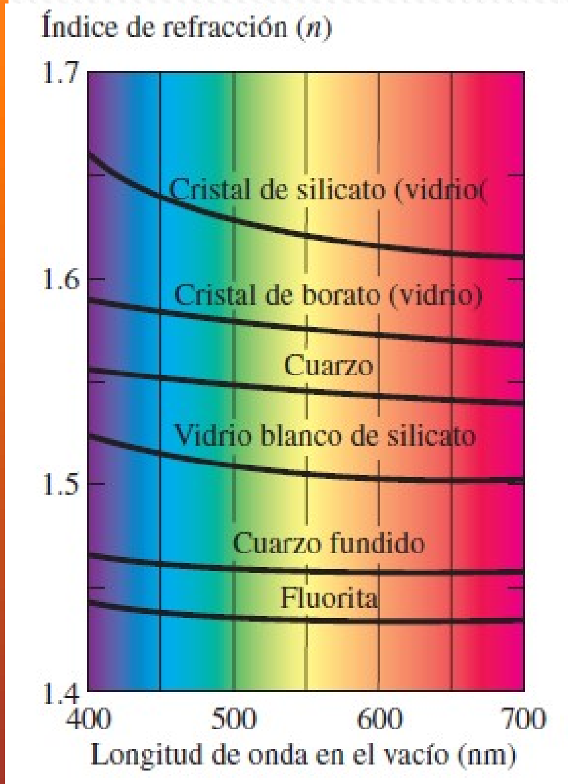
REPASO DE CLASE ANTERIOR

REFLEXIÓN INTERNA TOTAL

$$\sin\theta_{crít.} = \frac{n_b}{n_a}$$

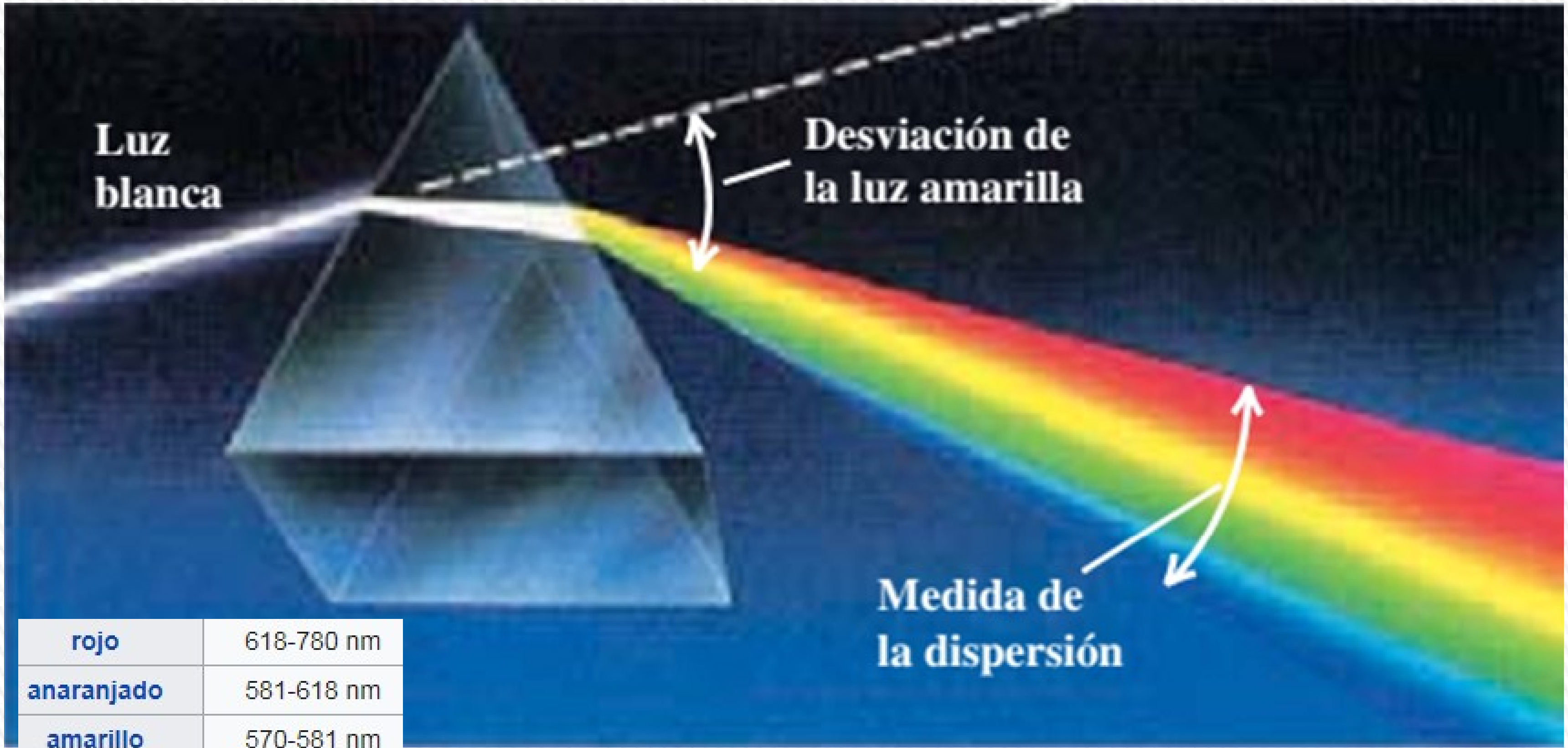
La reflexión interna total ocurrirá si el ángulo de incidencia θ_a *es mayor o igual* que $\theta_{crít.}$.





La rapidez de la luz ***en el vacío es la*** **misma para todas las λ, pero en la materia varía con λ.**
Índice de refracción (n) de un material depende de λ: **dispersión.**
En gral. n disminuye al aumentar λ.
Como *n depende de* λ, por la ley de Snell luces de diferentes λ se refractan a diferentes ángulos cuando inciden sobre un material.

DISPERSIÓN



rojo	618-780 nm
anaranjado	581-618 nm
amarillo	570-581 nm
verde	497-570 nm
cian	476-497 nm
azul	427-476 nm
violeta	380-427 nm

Dispersión de la luz a través de un prisma. La banda de colores se llama espectro.

No hay límites exactos en el espectro visible: un típico ojo humano responderá a longitudes de onda de 390 a 750 nm aunque algunas personas pueden ser capaces de percibir longitudes de onda desde 380 hasta 780 nm.

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.

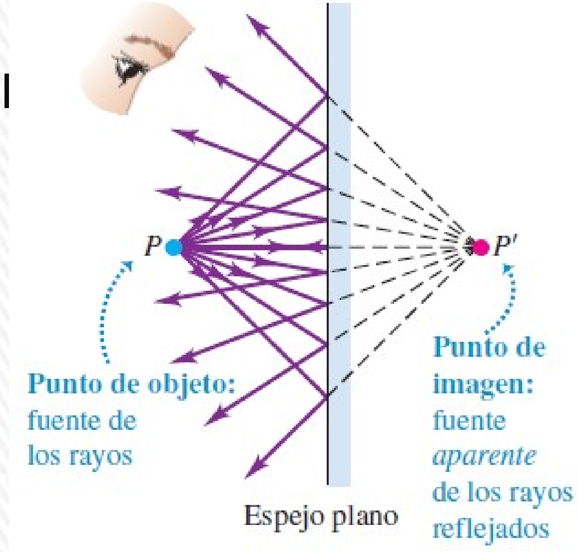
El papel fundamental que desempeña la geometría en nuestro análisis es la razón por la que se da el nombre de **óptica geométrica** al estudio de la formación de imágenes mediante rayos luminosos.

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.

Reflexión en una superficie plana

Reflexión especular en espejo plano: todos los rayos que inciden en la superficie se reflejan a un ángulo igual al ángulo de incidencia.

Una vez que los rayos se han reflejado, su dirección es la misma que si hubieran provenido del punto P'.

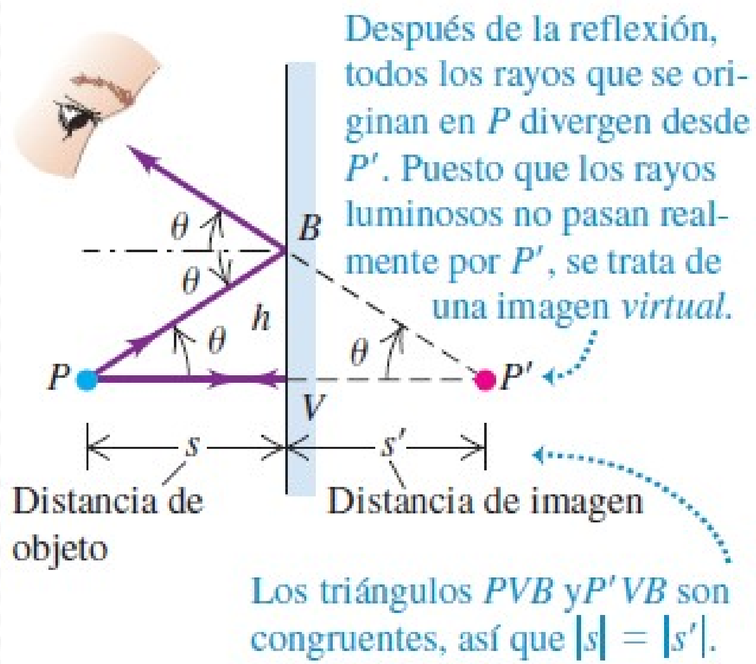


Un observador que ve únicamente los rayos reflejados, y que no sabe que está viendo un reflejo, piensa que el origen de los rayos se encuentra en el punto P' **(punto imagen)**.

Imagen virtual: es la que se ve en un espejo plano, por ella la luz no pasa, no se puede enfocar en una pantalla, para verla se debe mirar en el interior del espejo. Las imágenes virtuales son verticales derechas (no invertidas).

Imagen real- La luz pasa por la imagen. Se puede enfocar sobre una pantalla y siempre está invertida.

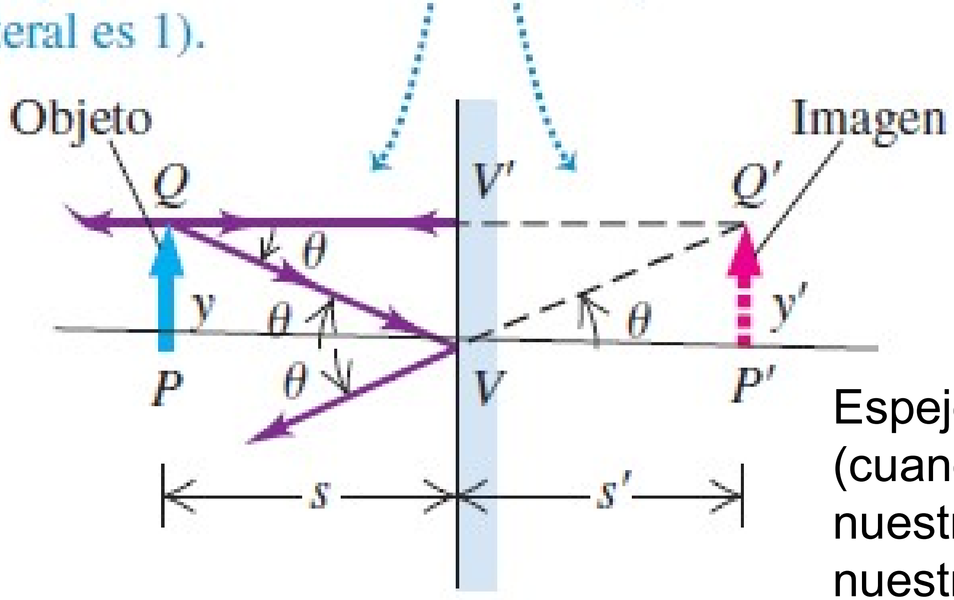
La línea entre P y P' es perpendicular al espejo.
Los dos triángulos PVB y P'VB son congruentes; por lo tanto, P y P' están a la misma distancia del espejo, y s y s' tienen igual magnitud.
El punto de imagen P' está situado exactamente en posición opuesta al punto del objeto P.



Reflexión y refracción en una superficie plana

Imagen de un objeto extenso: espejo plano

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).



Los triángulos QPV y Q’P’V son congruentes, se concluye que: y=y’
Cociente entre altura de imagen (y’) y la altura objeto (y) en cualquier situación de formación de imágenes es el **aumento lateral m**:

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

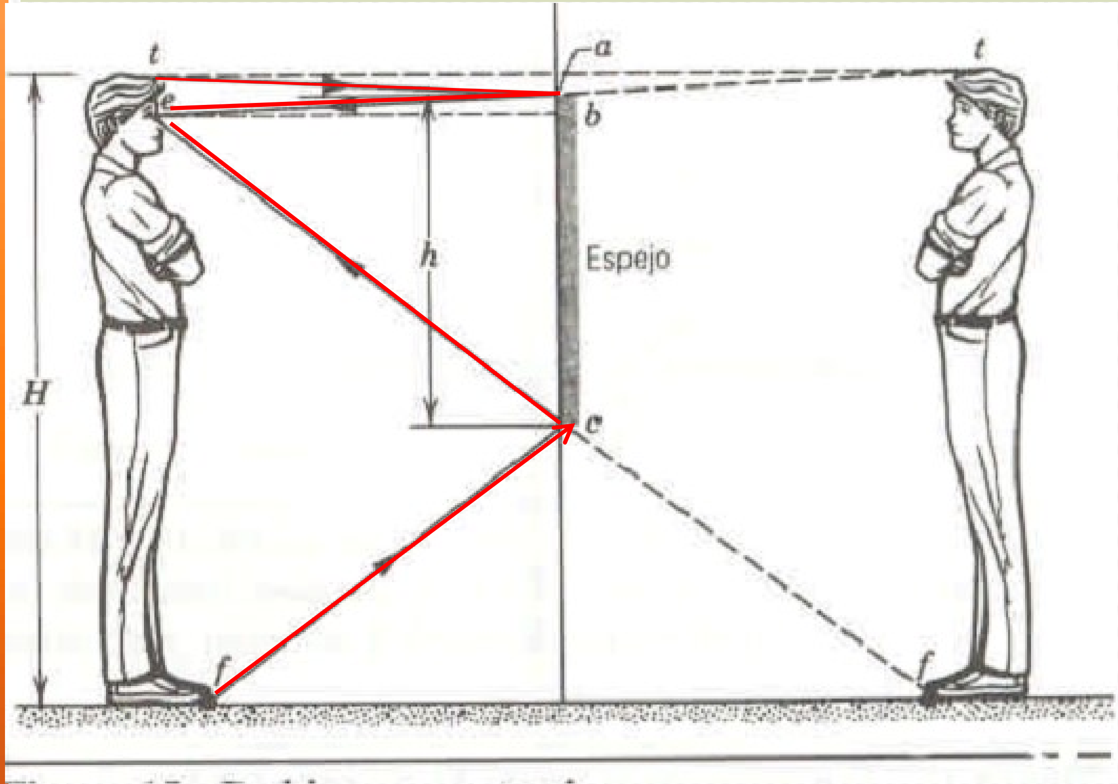
Espejo plano, el aumento lateral m es 1 (cuando nos miramos en un espejo plano, nuestra imagen es del mismo tamaño que nuestro cuerpo)

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.

Un espejo plano invierte las imágenes izquierda y derecha, pero no de arriba y de abajo: es una **inversión de lateralidad.**

EJEMPLO: ejercicio 5.8.b)

¿Qué altura mínima debe tener un espejo para que una persona que mide 1,70 m, pueda verse reflejada de cuerpo entero en el mismo?



Para que se vea toda su altura, un rayo de luz (*tae*) debe salir de la parte superior de su cabeza, reflejarse en *a* y entrar a sus ojos.

Otro rayo (*fce*) debe salir de sus pies, reflejarse en *c* y entrar a sus ojos.

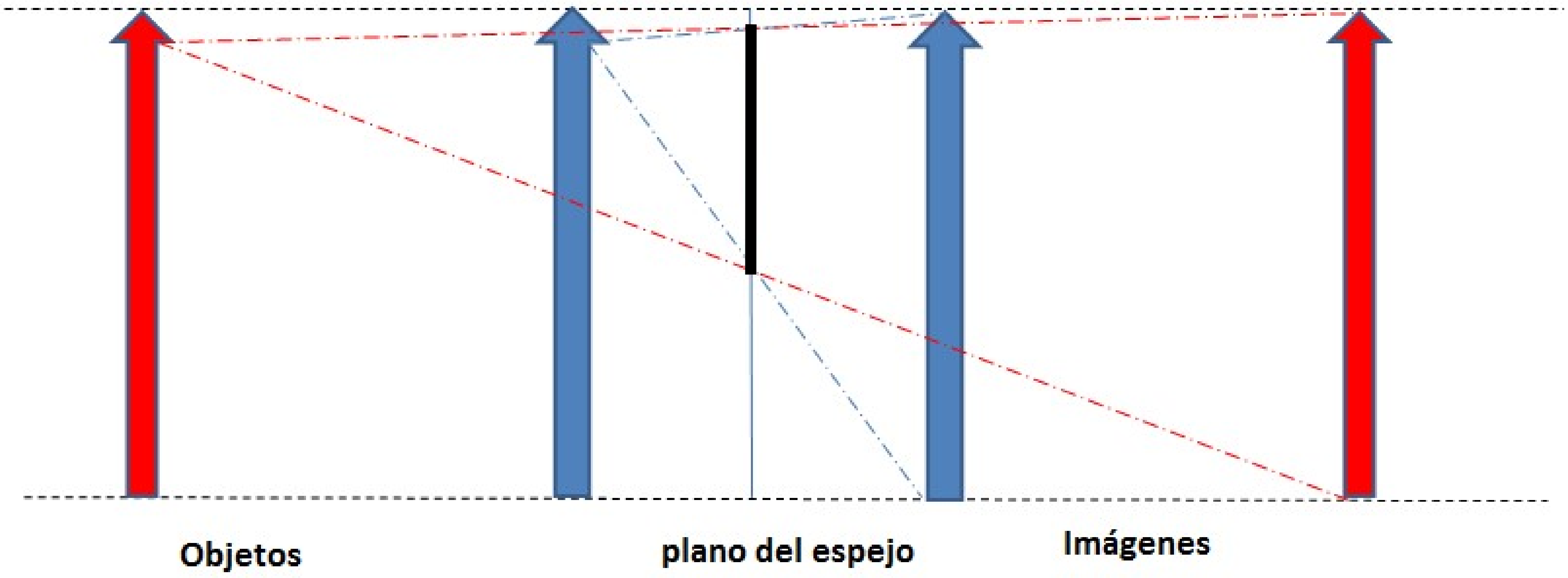
La persona verá una imagen de toda su altura si longitud del espejo es *ac* por lo menos.
De la geometría se ve que:

$$ab = \frac{1}{2}te \qquad bc = \frac{1}{2}ef$$

$$ac = ab + bc = \frac{1}{2}te + \frac{1}{2}ef = \frac{1}{2}(te + ef) = \frac{1}{2}H$$

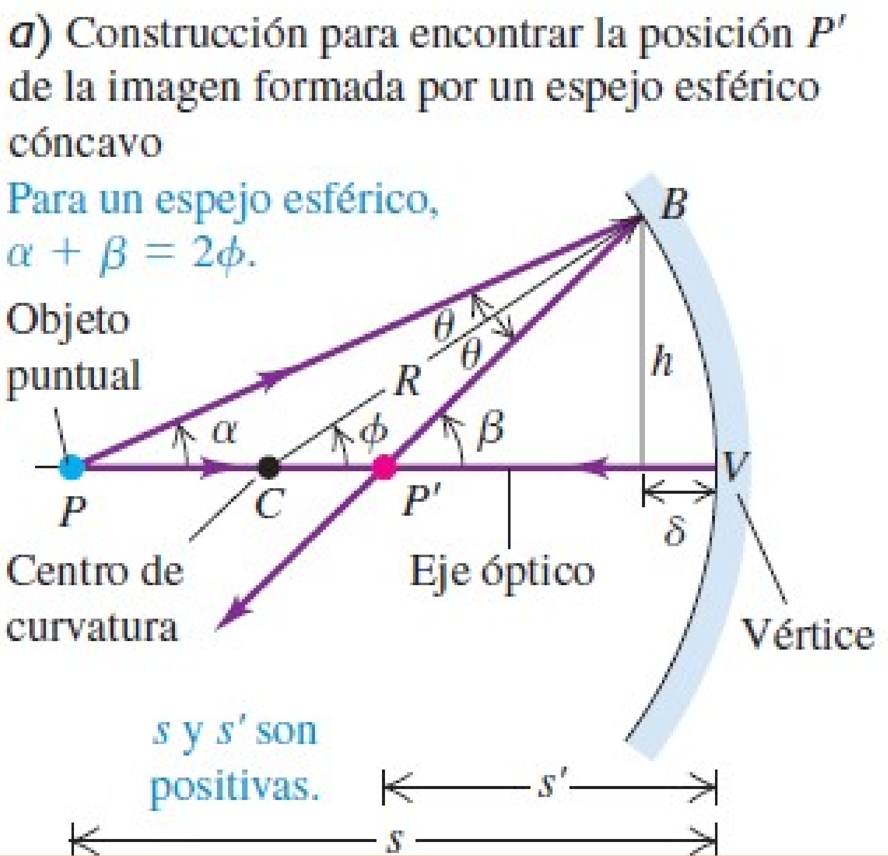
h= H/2= 1,70 /2 = 0,85 m y no depende de la posición!!!!

¿Qué altura mínima debe tener un espejo para que una persona que mide 1,70 m, pueda verse reflejada de cuerpo entero en el mismo?



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

Reglas de signos:

Para todas las superficies reflectantes y refractivas tanto planas como esféricas.

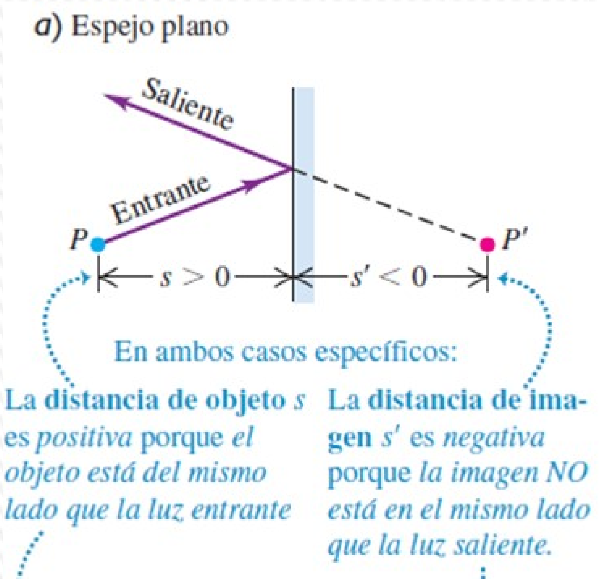
1-Para distancia de objeto (s): s > 0 cuando el objeto está del lado entrante de la luz a la superficie (**objeto real**); s < 0 en caso contrario.

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

3. Radio de curvatura de una superficie esférica (R): 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): m > 0 cuando la imagen es derecha; m < 0 cuando es invertida.

Espejo plano: s = - s'



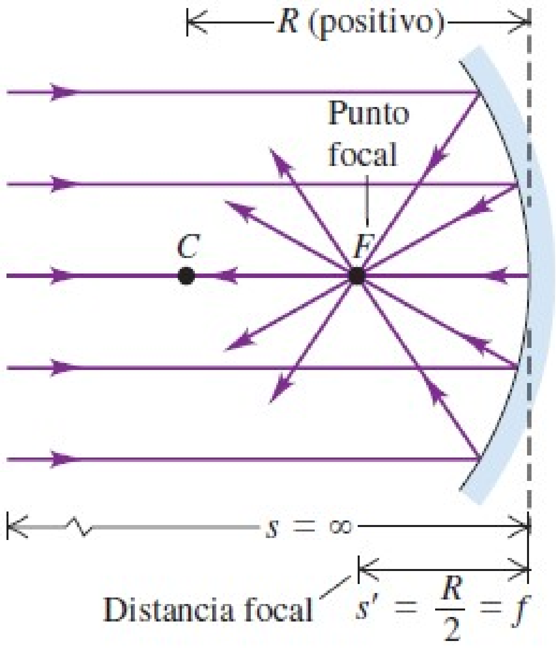
Espejos esféricos: relación entre distancias de objeto (s) y de imagen (s')

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

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

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**:

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

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

Imagen de un objeto extenso: Espejo esférico

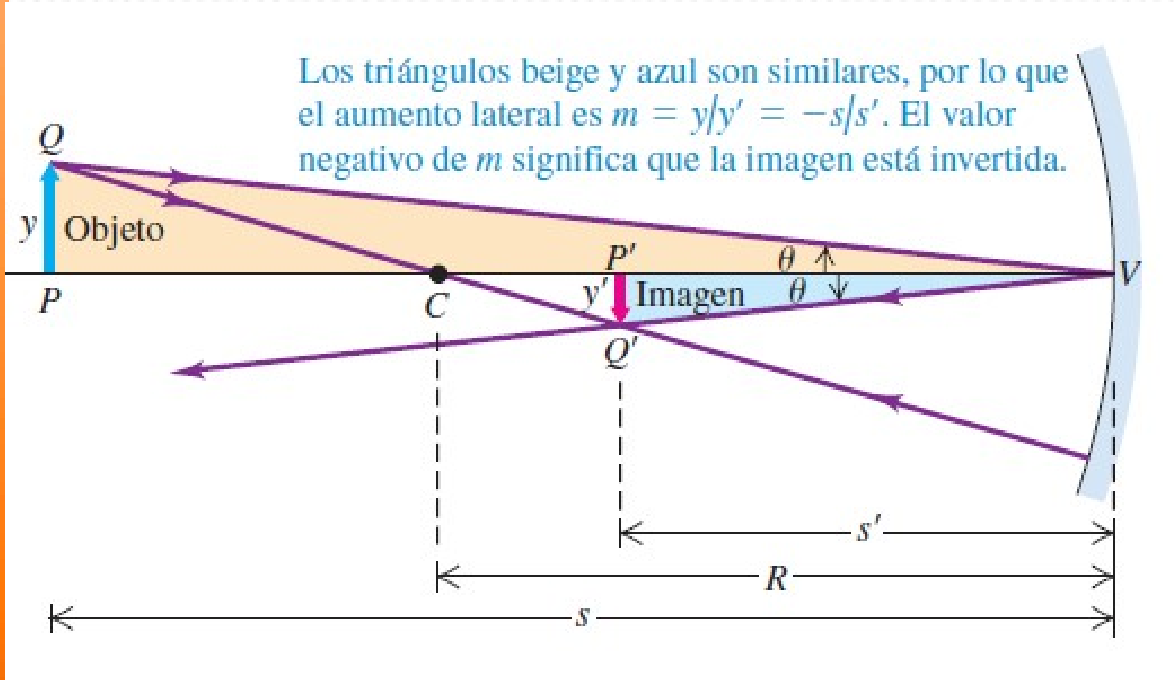


Imagen de P en P'
Imagen y' está invertida.
Triángulos PQV y P'Q´V son semejantes.
Por lo tanto: $m = \dfrac{y'}{y} = -\dfrac{s'}{s}$

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

Hemos analizado el caso en que ***s* ≥ *f*,** y visto que 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:

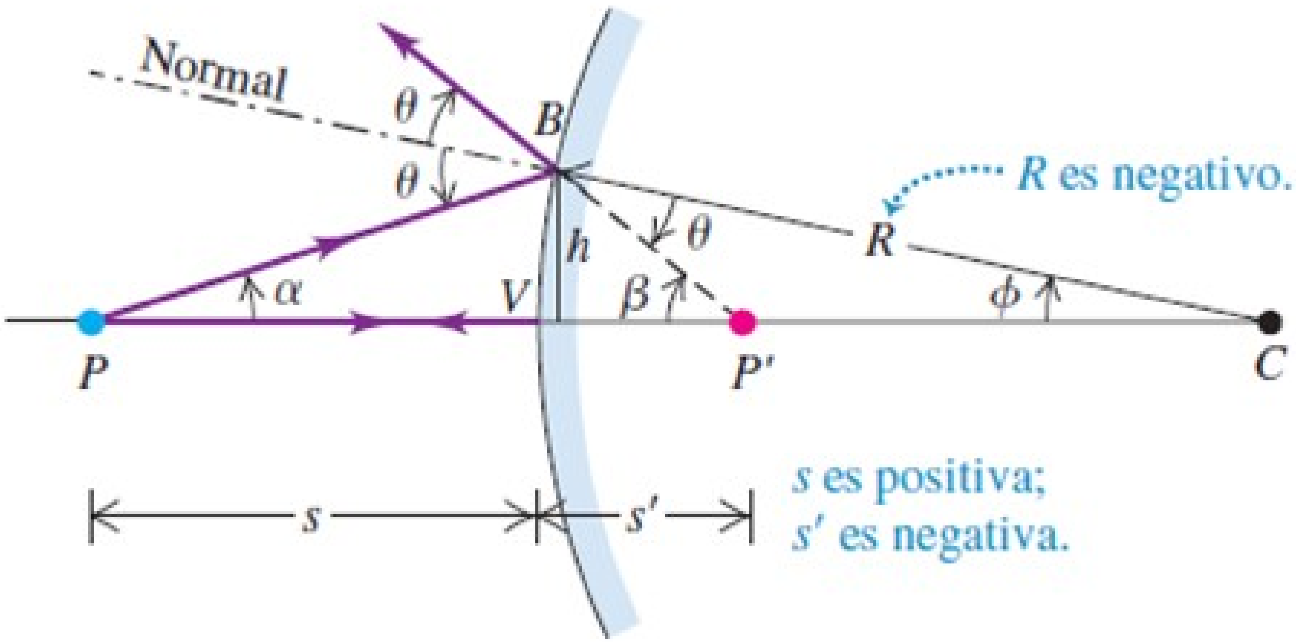
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

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

Reflexión en una superficie esférica

Espejos convexos

a) Construcción para determinar la posición de una imagen formada por un espejo convexo

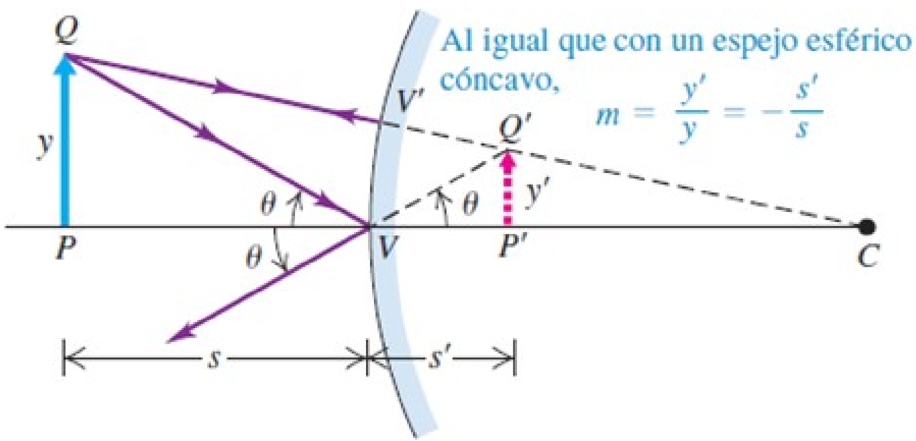


El centro de curvatura está en el lado opuesto a los rayos salientes: por lo que R <0 .
Rayo PB se refleja, con ángulos de incidencia y reflexión iguales a θ.
El rayo reflejado se proyecta hacia atrás y corta al eje en P'.
Como esto pasa para todos los rayos provenientes de P que se reflejan en el espejo,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

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

Espejos convexos

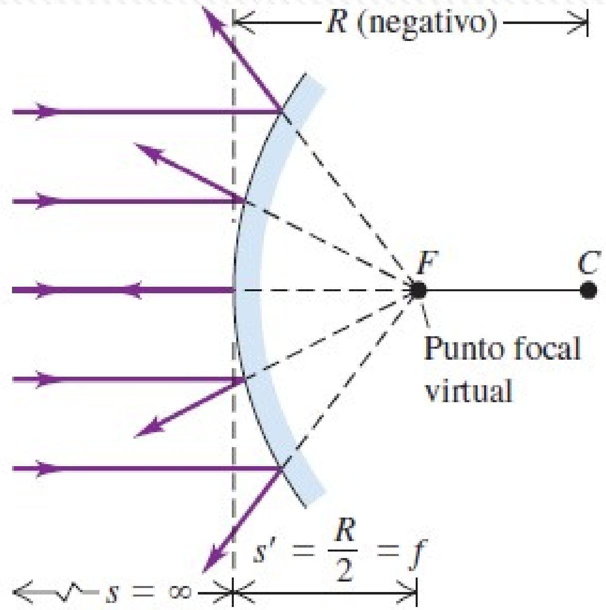
b) Construcción para determinar el aumento de una imagen formada por un espejo convexo



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.

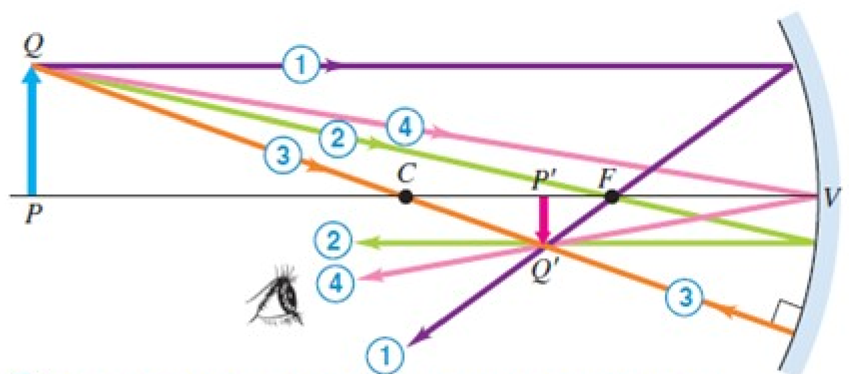


El espejo lateral de los vehículos es **convexo** para producir una imagen derecha menor que el objeto.
Como la imagen es más pequeña que el objeto, significa que el objeto está más cerca que su distancia aparente como se observa en el espejo

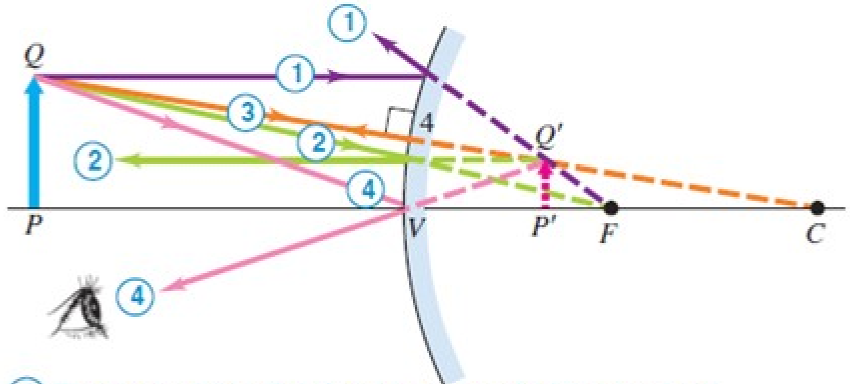
Métodos gráficos para espejos

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.

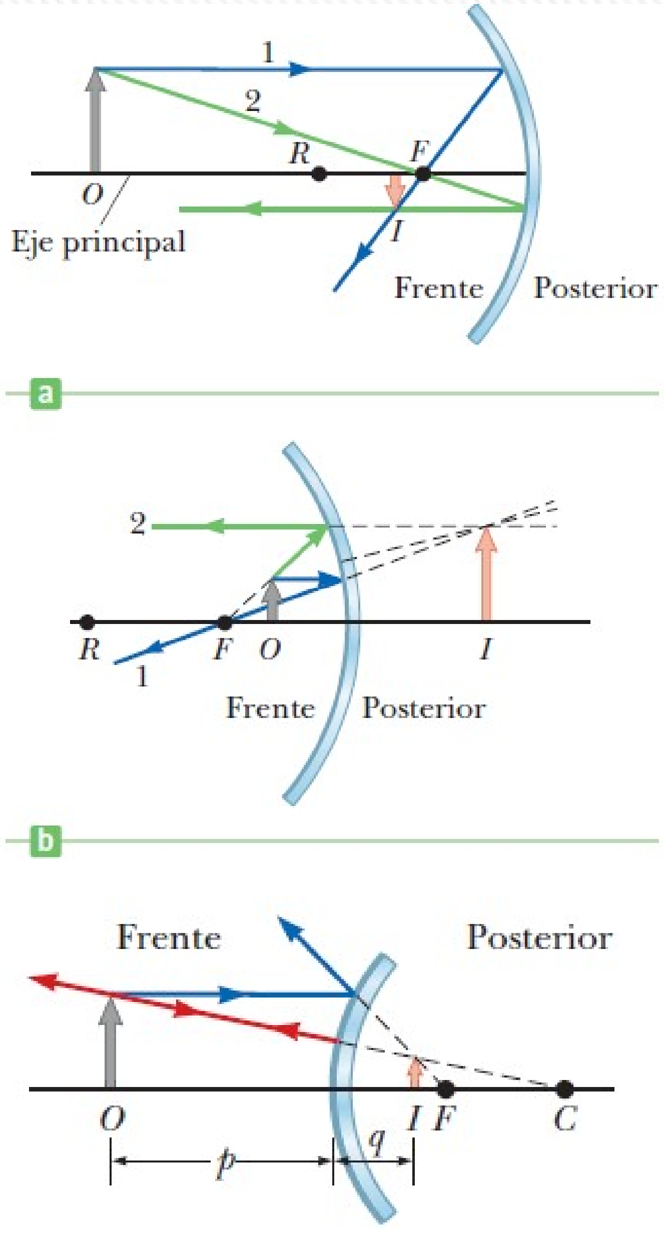


(1) El rayo paralelo al eje se refleja a través del punto focal.
(2) El rayo que pasa por el punto focal se refleja paralelo al eje.
(3) El rayo que pasa por el centro de curvatura interseca la superficie en dirección normal y se refleja a lo largo de su trayectoria original.
(4) El rayo hacia el vértice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

Espejos esféricos: resumen



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

Espejo cóncavo

f > 0; s > 0;

a) La imagen de un espejo cóncavo es real e invertida cuando el objeto está fuera del punto focal, es decir, *s > f. La imagen es más* grande que el objeto cuando *f < s < R, y más pequeña que el* objeto cuando s > *R.* *b) La imagen de un espejo cóncavo es virtual,* derecha y más grande que el objeto cuando *s < f* .

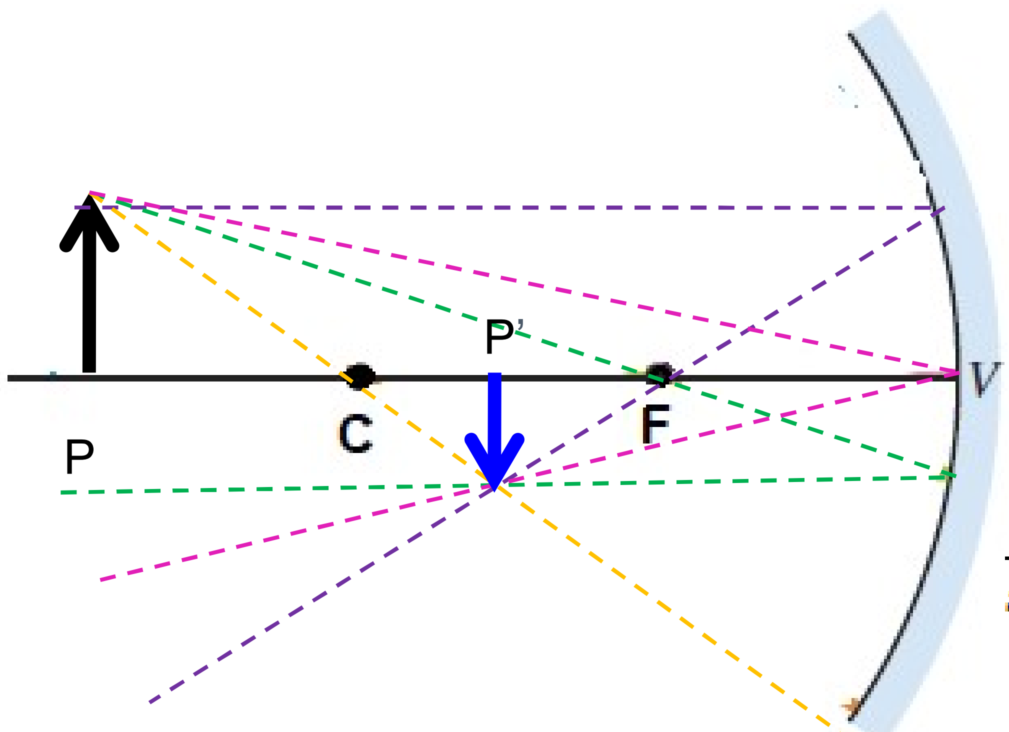
Espejo convexo

f < 0; s > 0;

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

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, b) 10 cm y c) 5,0 cm. Compruebe la construcción calculando el tamaño y el aumento lateral de cada imagen.



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)

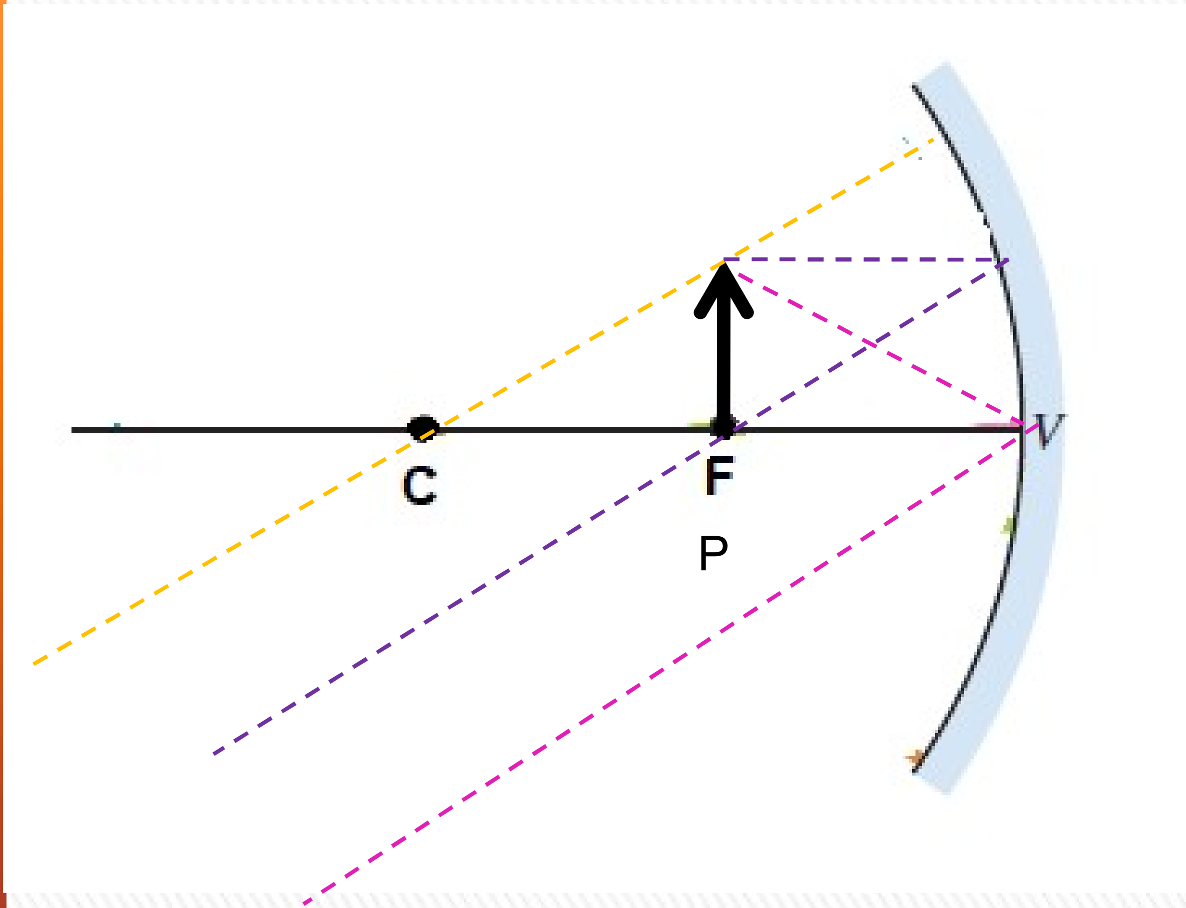
$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s} \qquad m=-\frac{s'}{s}=-\frac{15}{30}=-0{,}50 \qquad y'=my=(-0{,}50)(8{,}0)=-4{,}0\ cm$$

Ejemplo: Espejo cóncavo con diferentes distancias del objeto

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

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f} \qquad \frac{1}{10}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{10} \qquad \frac{1}{s\prime}=0 \qquad \Rightarrow s'=\infty$$

El aumento m es infinito

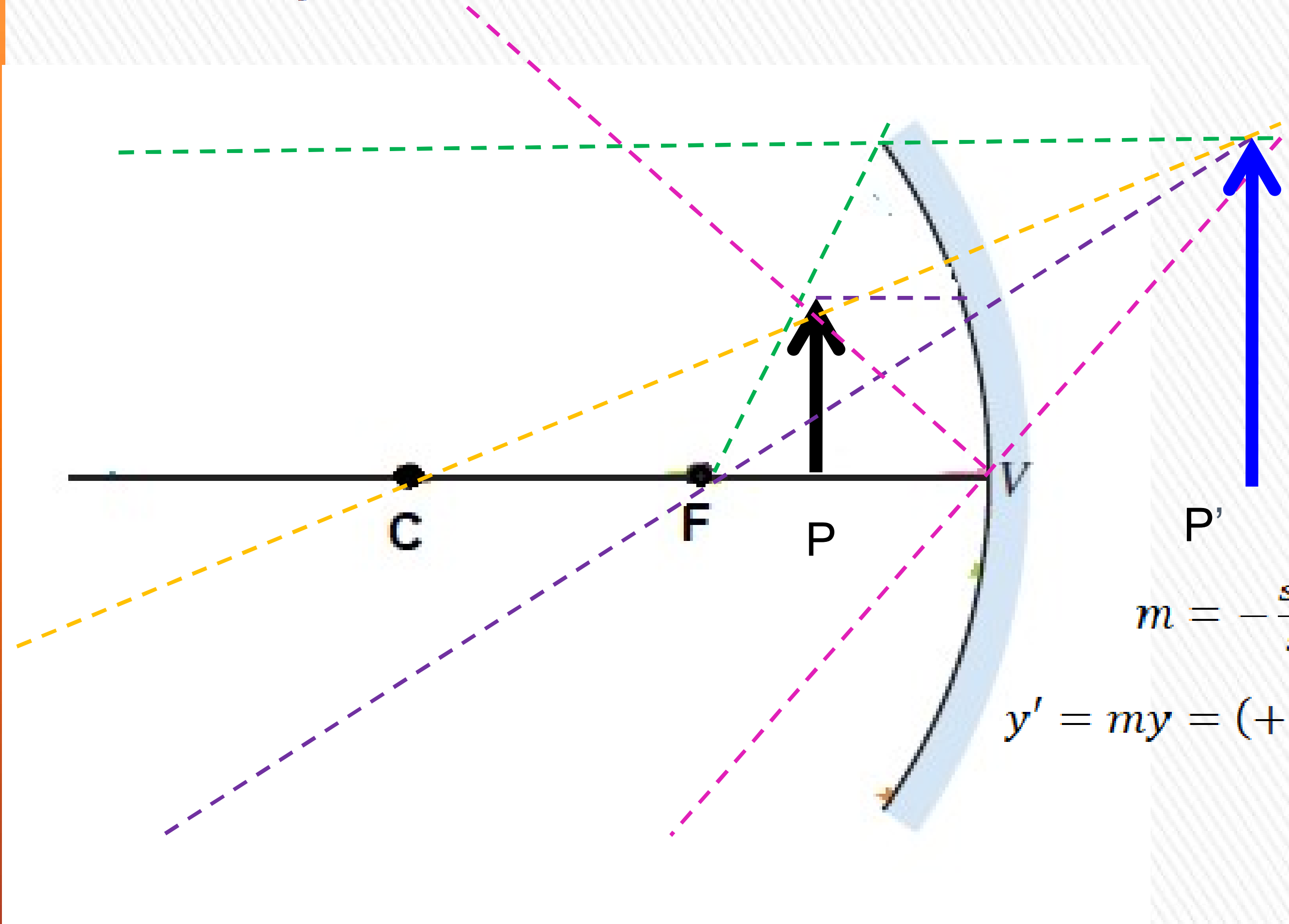


Ejemplo: Espejo cóncavo con diferentes distancias del objeto

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



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

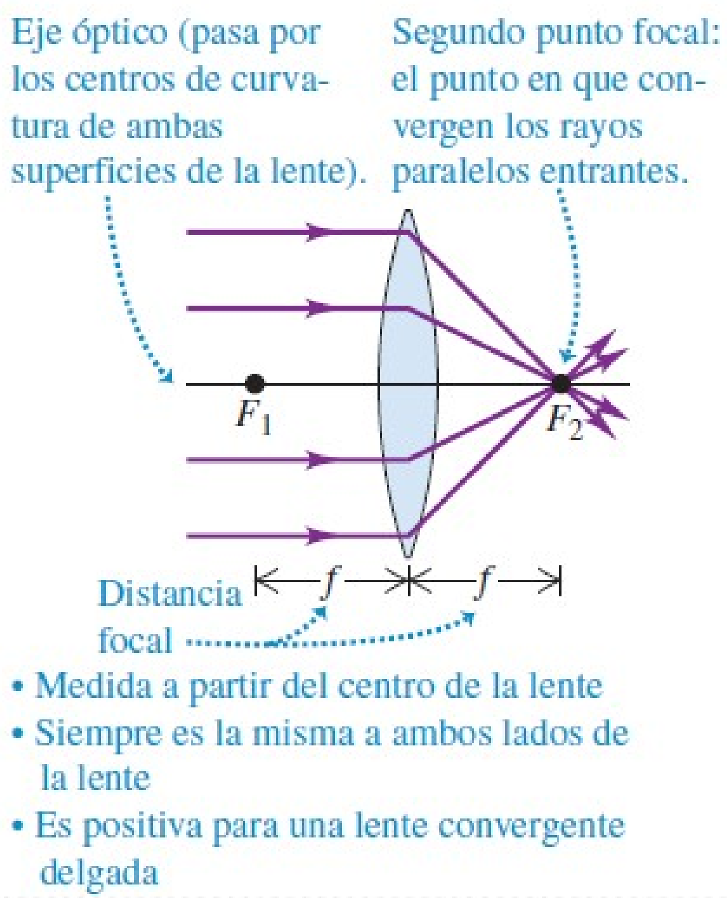
$$y'=my=(+2{,}0)(8{,}0)=+16\ cm$$

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.

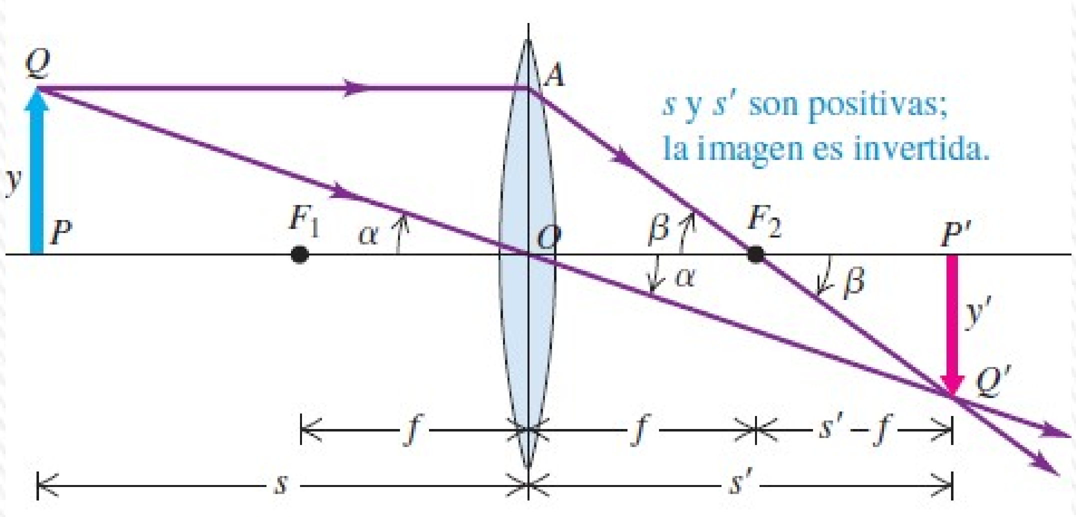
La recta horizontal central de la figura es el **eje óptico**.

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

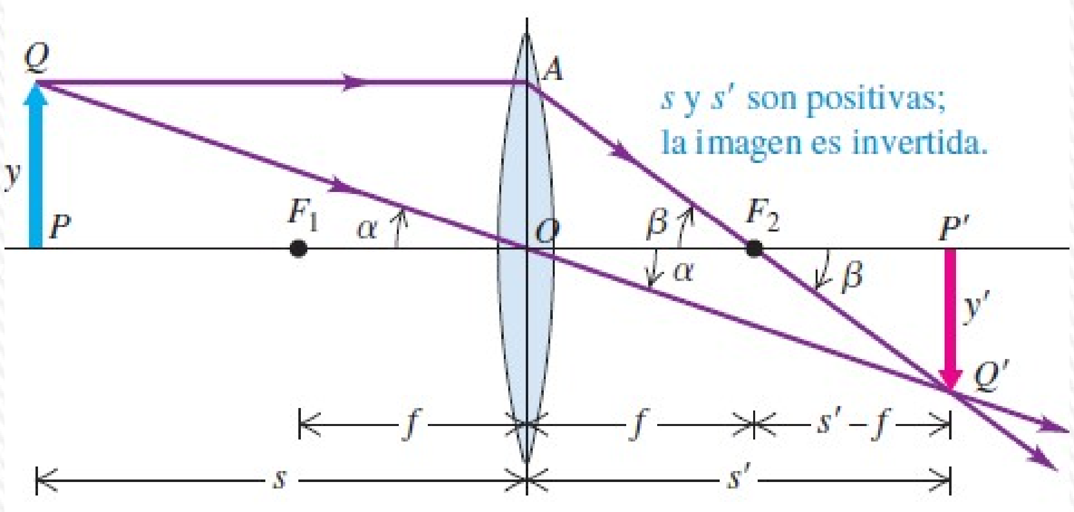
$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}$$

relación objeto-imagen, lente delgada

Aumento lateral:

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

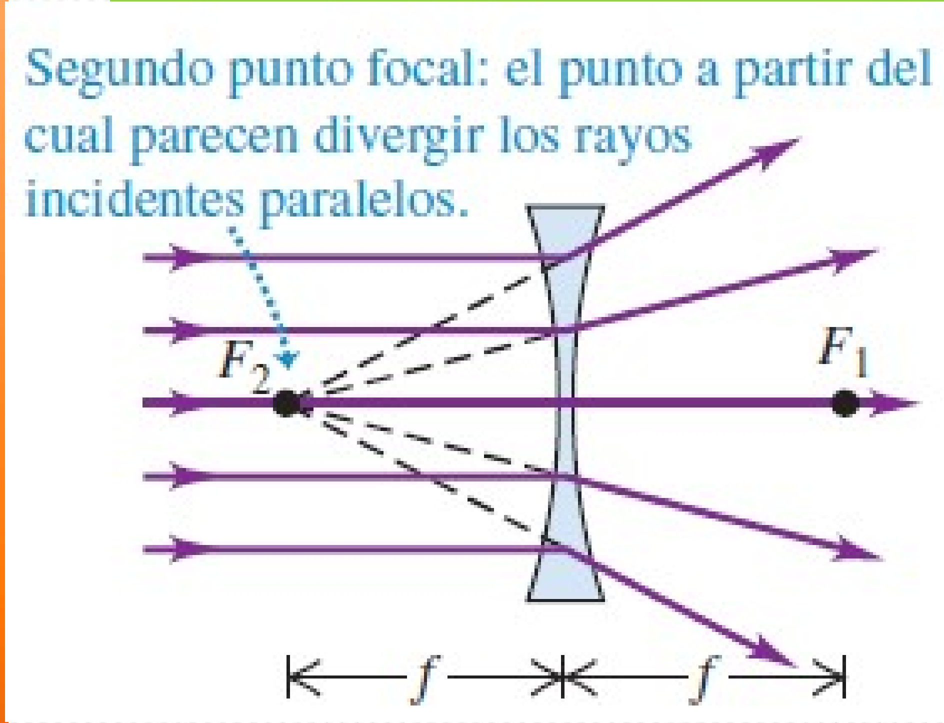
El signo negativo indica que cuando s y s' son positivas, como en la figura, la imagen es invertida, los signos de y e y' son opuestos



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.

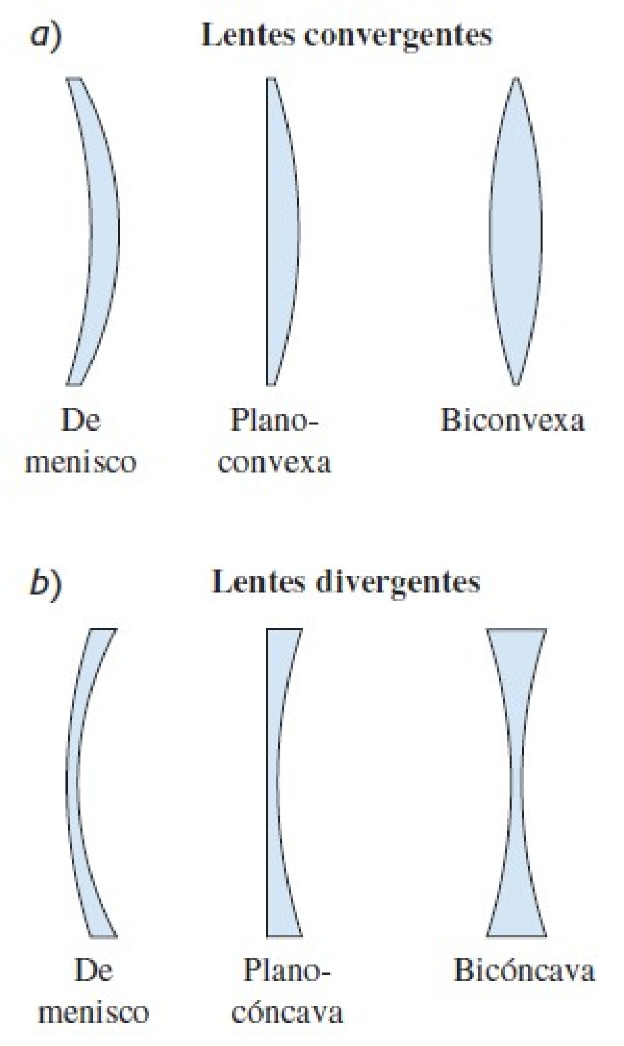
LENTES DELGADAS- Lentes divergentes



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.