12-ÓPTICA GEOMÉTRICA

NATURALEZA DE LA LUZ

Teorías sobre naturaleza de luz:
teoría corpuscular (Newton, Descartes)
teoría ondulatoria (Huygens, Hooke)
Actualmente: naturaleza dual, tanto propiedades ondulatorias (fenómenos de difracción, polarización) **como corpusculares**.(fenómenos de emisión y absorción).

Velocidad de la luz en el vacío: $c = 2{,}99792458 \times 10^8$ m/s (valor adoptado como exacto, define el metro) en el vacío para cualquier frecuencia.

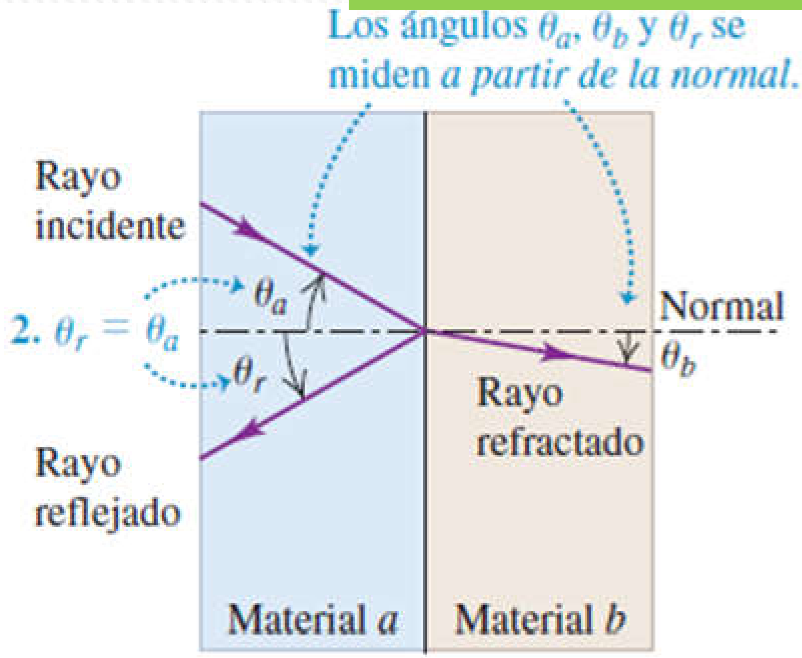
Óptica geométrica: propagación de la luz se desplaza en una dirección fija y en línea recta cuando pasa por un medio uniforme.
Aproximación del rayo válida bajo suposición de que $\lambda \ll d$ (tamaño de objetos con que interactúa)

Índice de refracción de un material óptico (también llamado índice refractivo), denotado con ***n***, *es la* razón entre la rapidez *c de la luz en el vacío y la rapidez v de la luz en el material:*

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

La rapidez de la luz en cualquier material es *menor que en el vacío y depende de la frecuencia... disminuye en gral. con la frecuencia*
La luz se desplaza a su máxima rapidez en el vacío (c) y no depende de la frecuencia.

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN



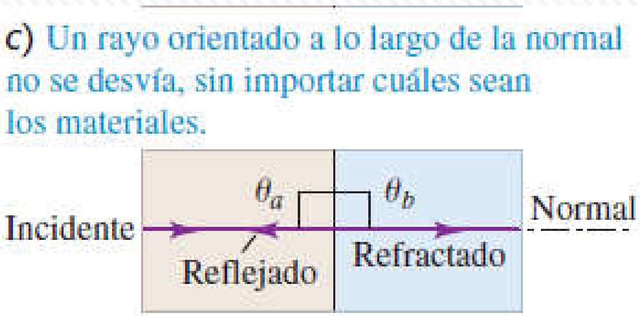
Direcciones de todos los rayos en interfase lisa entre dos materiales ópticos se describen a través de los ángulos que forman con la *normal (perpendicular) a la superficie en el punto de incidencia.*

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

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



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.*

Cuando un rayo pasa de un material *a* hacia otro material *b que tiene un mayor índice de refracción ($n_b > n_a$) y, por lo tanto,* una menor rapidez de onda, el ángulo θ_b *que forma con la normal es más pequeño en* el segundo material que el ángulo θ_a *en el primero; por consiguiente, el rayo se desvía hacia la normal.*

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

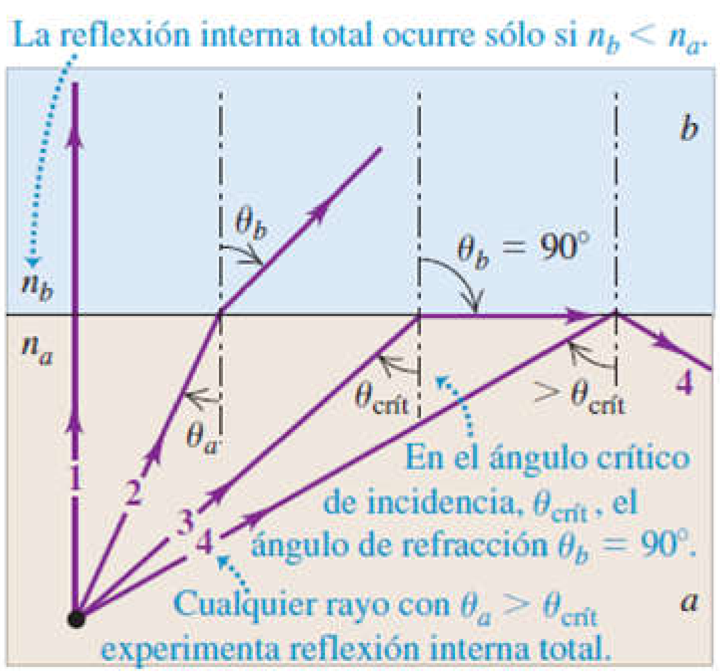
Cuando la luz pasa de un medio a otro, su frecuencia no cambia, pero sí lo hace su longitud de onda

REFLEXIÓN INTERNA TOTAL

La luz es parcialmente reflejada y parcialmente transmitida en una interfase entre dos materiales con distintos índices de refracción, sin embargo en ciertas circunstancias, *toda la luz se puede reflejar en la interfase, sin que se* transmita nada de ella, aun si el segundo material es transparente.

Los rayos inciden en la superficie del segundo material *b con índice* n_b*, donde* $n_a > n_b$
Los materiales a y b podrían ser agua y aire, respectivamente:

$$\sin\theta_b = \frac{n_a}{n_b}\sin\theta_a$$



Hay un valor de θ_a *menor que 90° para el* cual sen θ_b = *1 y* θ_b *= 90°.*
este ángulo de incidencia para el cual el rayo refractado emerge en forma tangencial a la superficie se llama **ángulo crítico ($\theta_{crít.}$).**
La intensidad transmitida tiende a cero.
Más allá del ángulo crítico, el rayo *no puede pasar hacia el material ubicado en la* parte superior y se refleja por completo en la frontera de la superficie: reflexión interna total.

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

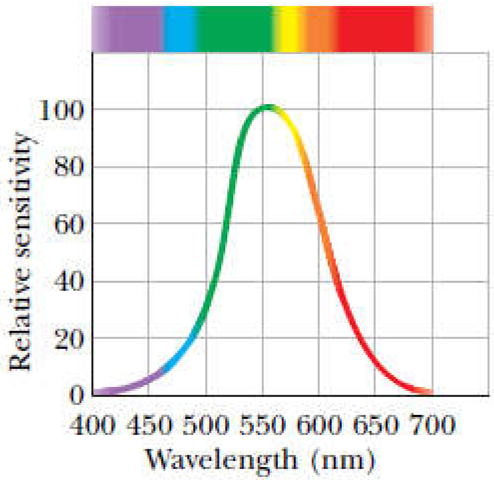
Solo ocurre si la incidencia del rayo es desde un material con mayor índice de refracción: $n_b < n_a$ *(por ejemplo del agua al aire, pero nunca al revés).*

DISPERSIÓN

Luz blanca superposición de ondas con λ que se extienden a través de todo el espectro visible (400 a 700 nm) (ó incluso 380-780 nm).

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**.

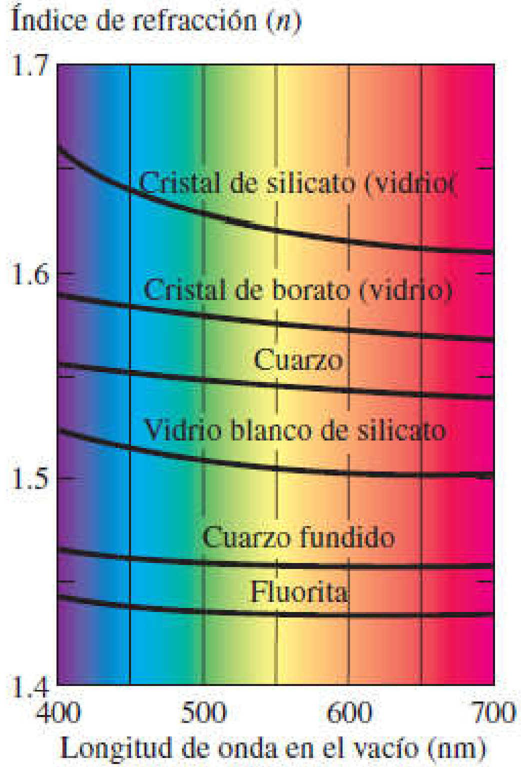


Variación del índice de refracción *n con* λ.

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.

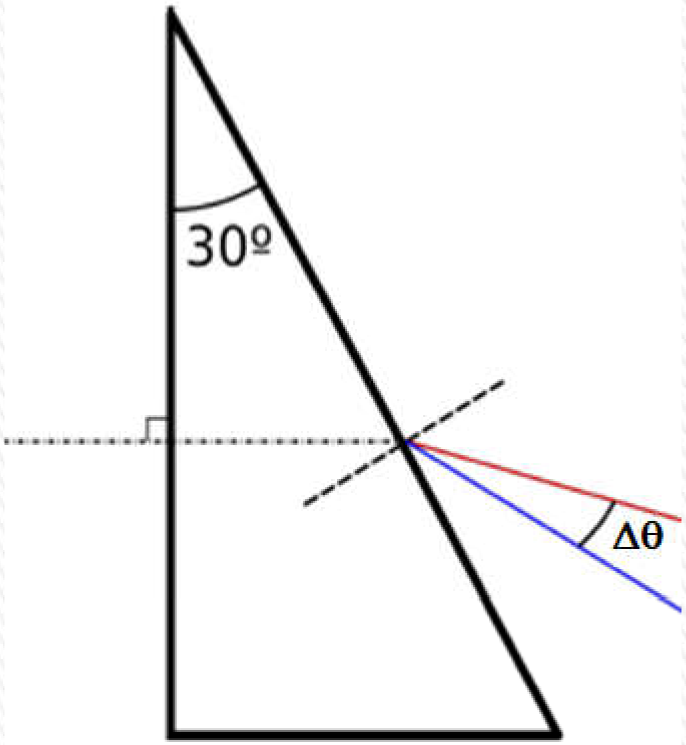
Cuando un haz de *luz blanca (combinación de todas las longitudes de onda* visibles) incide en un prisma los rayos que emergen se dispersan en una serie de colores conocida como **espectro visible.**



Estos colores, en orden de longitud de onda decreciente son rojo, naranja, amarillo, verde, cian, azul y violeta.

EJEMPLO: Ejercicio 5.7.a

<u>Prismas</u> a) Luz blanca entra en un prisma de vidrio de sección triangular. Incide perpendicularmente a la cara delantera y es refractada en la cara trasera. El ángulo entre las caras es de 30,0°. Si el índice de refracción del vidrio es n_A = 1,525 para la luz azul (λ = 450 nm) y n_R = 1,512 para luz roja (λ = 650 nm) ¿cuál es el ángulo entre la luz roja y la luz azul después de pasar por el prisma?



Por la ley de Snell: $n_{vidrio}\,\mathrm{sen}\,\theta_1 = n_{aire}\,\mathrm{sen}\,\theta_2 = \mathrm{sen}\,\theta_2$

Para todos los colores, el ángulo de incidencia desde el vidrio vale θ_1= 30,0°

Para c/u de los colores se cumple:

$$\theta_{rojo} = \sin^{-1}(n_{rojo}\sin\theta_1) = \sin^{-1}(n_{rojo}\sin 30{,}0^\circ) = \sin^{-1}(0{,}500 \times n_{rojo})$$

$$\theta_{rojo} = \sin^{-1}(0{,}500 \times n_{rojo}) = \sin^{-1}(0{,}500 \times 1{,}512) = 49{,}1128\,^\circ$$

$$\theta_{azul} = \sin^{-1}(0{,}500 \times n_{azul}) = \sin^{-1}(0{,}500 \times 1{,}525) = 49{,}6851\,^\circ$$

Δθ= 0,572°

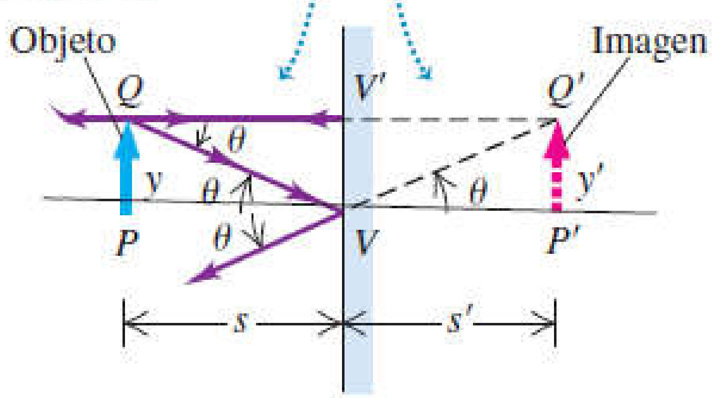
Reflexión en una superficie plana

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.**

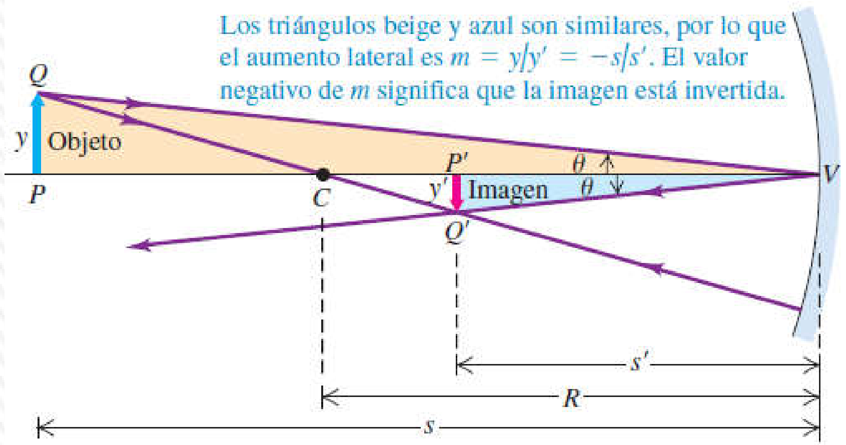
1-Regla de signos para distancia de objeto: s > 0 cuando el objeto está del lado entrante de la luz a la superficie (**objeto real**); s < 0 en caso contrario (objeto virtual).

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 (imagen virtual).

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.

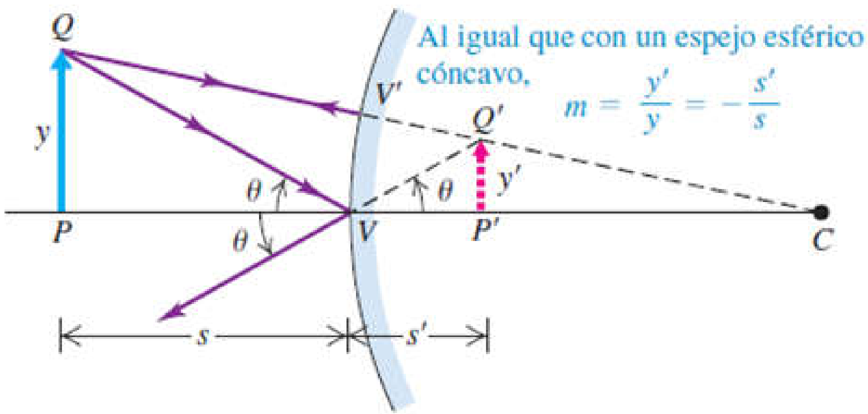
Reflexión en superficies esféricas



Espejo 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.

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



El punto F donde los rayos paralelos incidentes convergen (en los cóncavos) 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

Espejo convexo

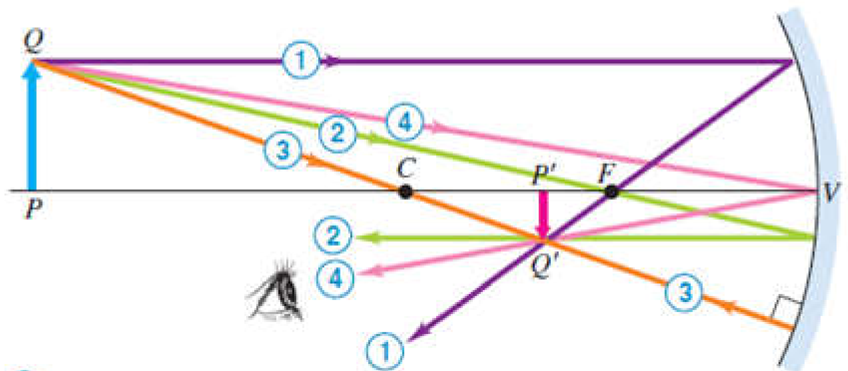
Espejos esféricos: relación entre distancias de objeto (s) y de imagen (s')

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

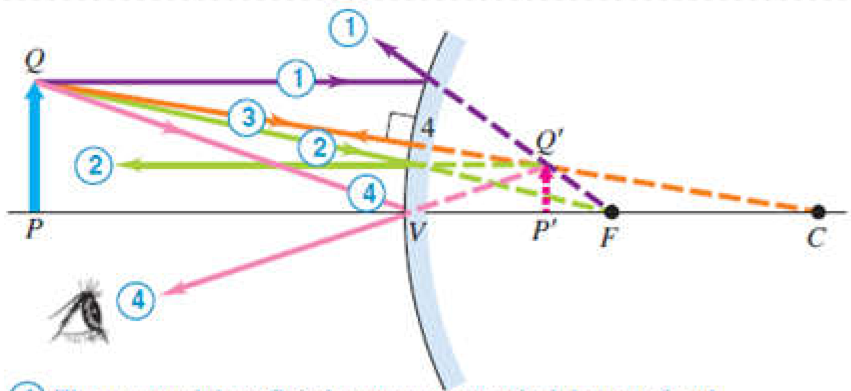
Métodos gráficos para espejos esféricos

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.

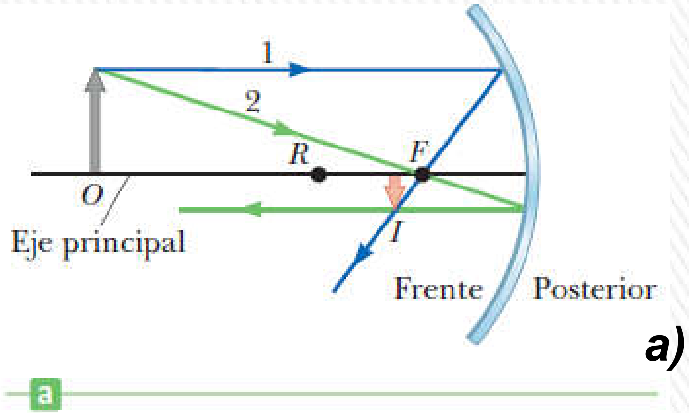
Espejos esféricos

Ecuación de formación de imágenes:

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

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

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

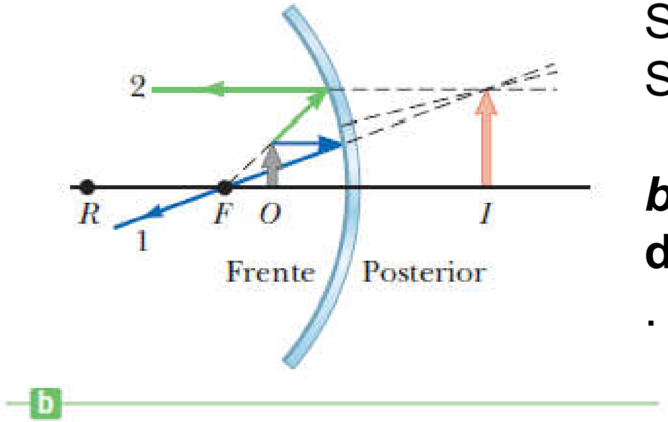


Espejo cóncavo

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.

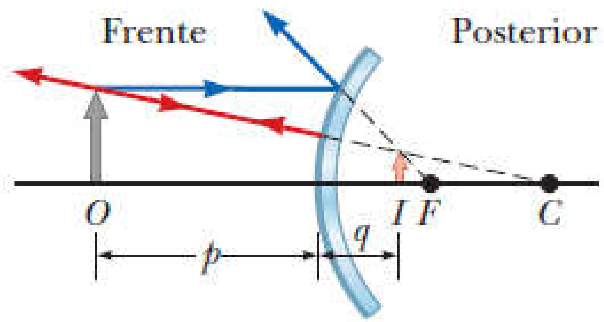


***b) s < f Imagen de un espejo cóncavo es virtual,* derecha y más grande que el objeto cuando**

.

Espejo convexo

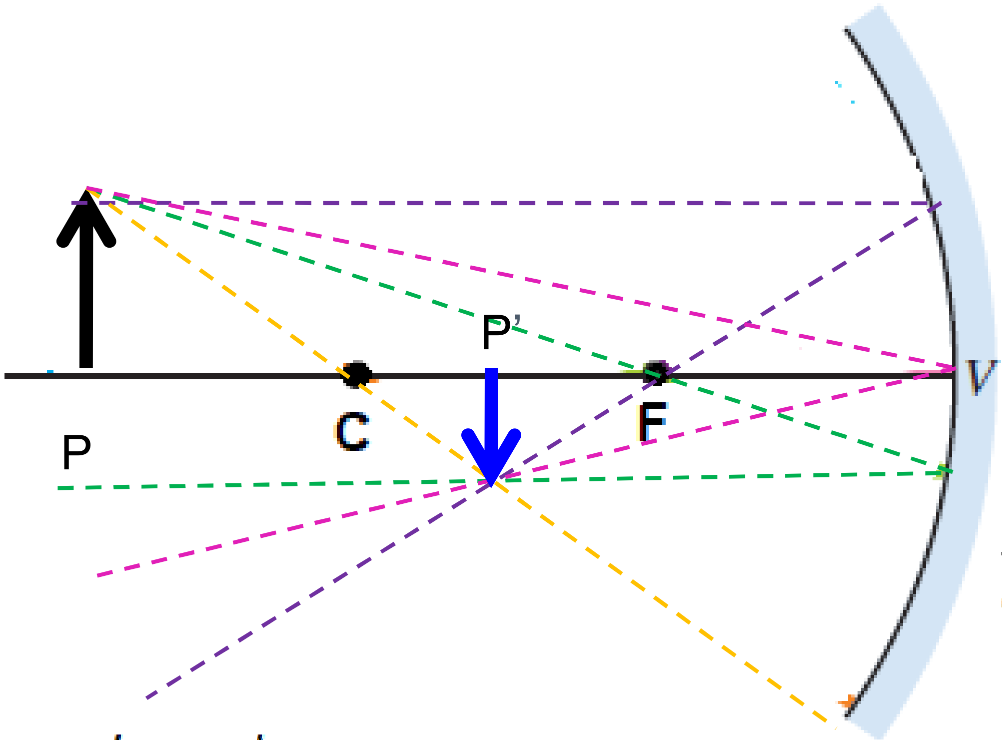
f < 0; s > 0;



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: 30 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

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

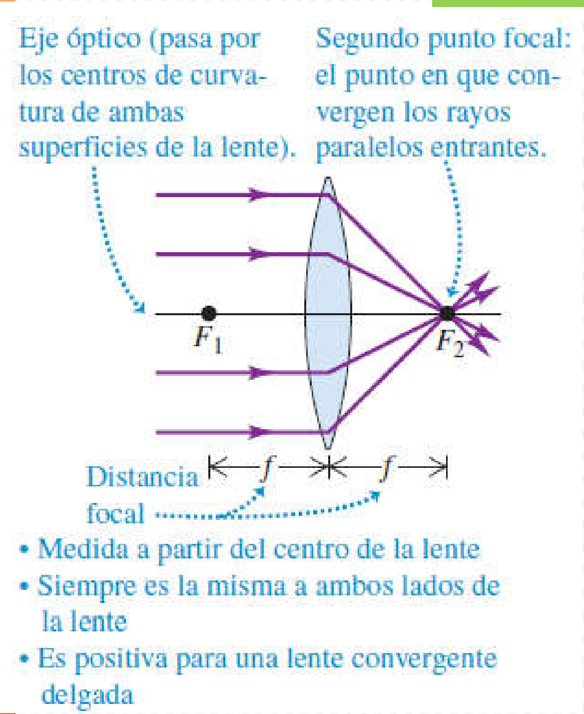
$$\frac{1}{30}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{10}$$

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

s' = 15 cm (P'V)

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

LENTES DELGADAS



Lente: sistema óptico con dos superficies refractivas.

lente delgada: dos superficies esféricas de espesor despreciable.

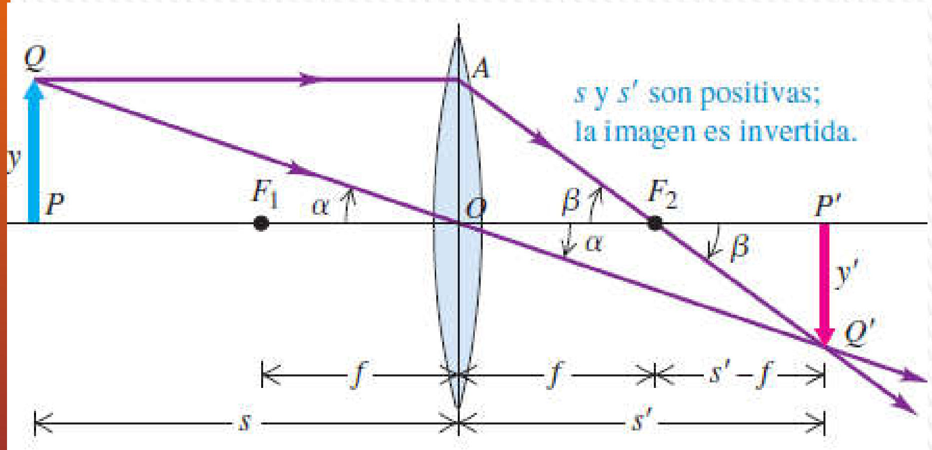
lente convergente: un haz de rayos paralelos al eje, converjan en un punto F_2 y forman una imagen real en ese punto, los rayos que pasan por el punto F_1 emergen de la lente en forma de un haz de rayos paralelos.

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.

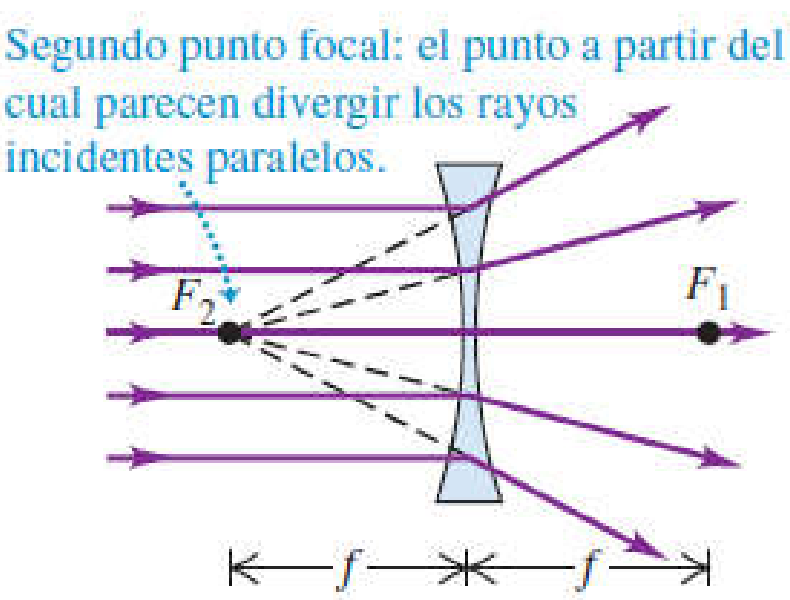
relación objeto-imagen, lente delgada



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

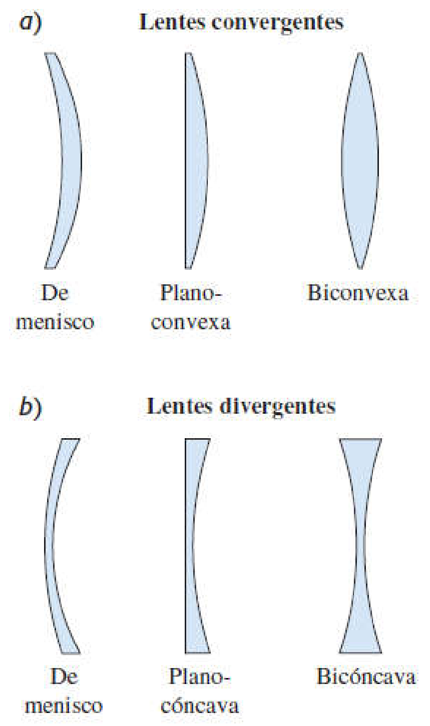
$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}$$

LENTES DELGADAS



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:

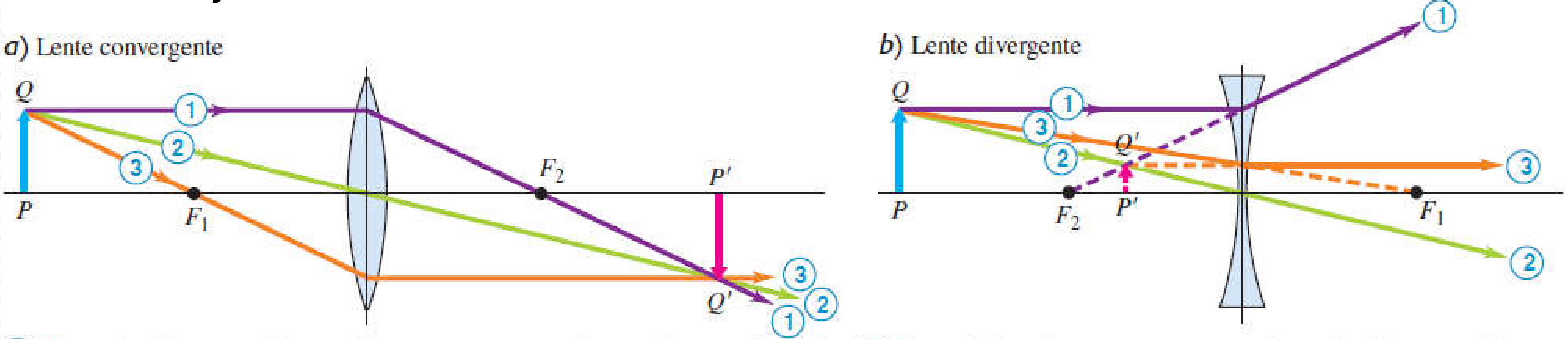
$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{vidrio}}{n_{agua}} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

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 **la 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:

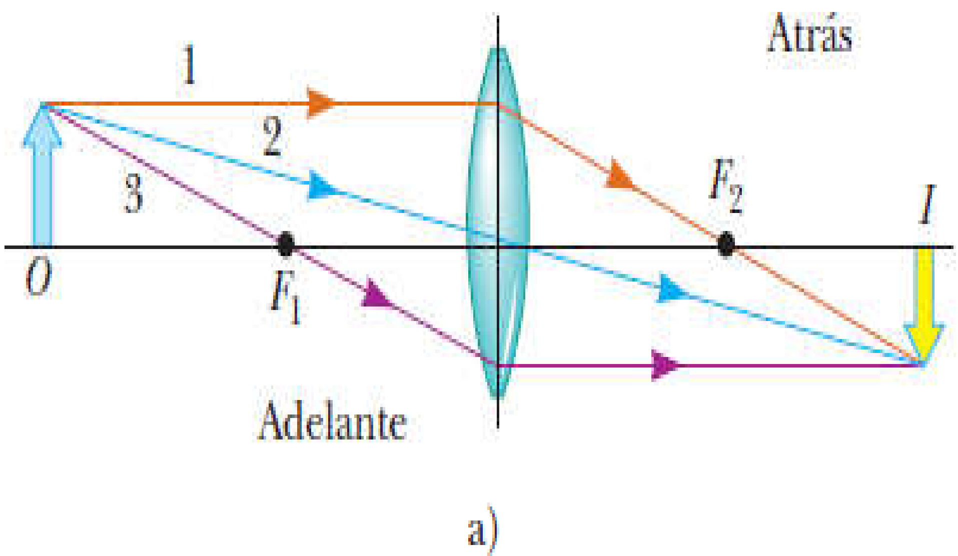
1. **s** es **positiva** para un **objeto real** y negativa para un objeto virtual.
2. **s'** es **positiva** para una **imagen real** y negativa para una imagen virtual.
3. El **tamaño del objeto y** es **positivo** si está por **arriba del eje** y negativo si está por debajo del mismo.

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

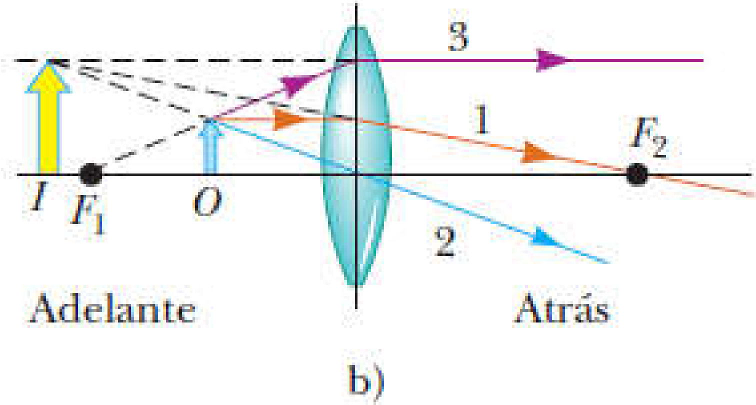
FORMACIÓN DE IMÁGENES

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

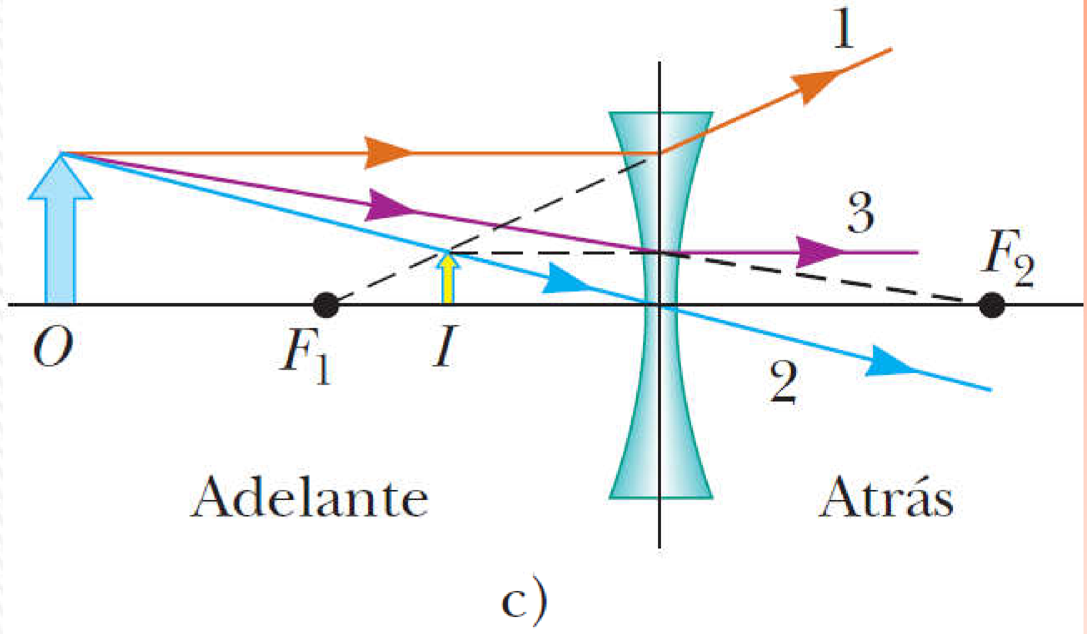
a) Imagen real, invertida y en la cara posterior de la lente.

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?

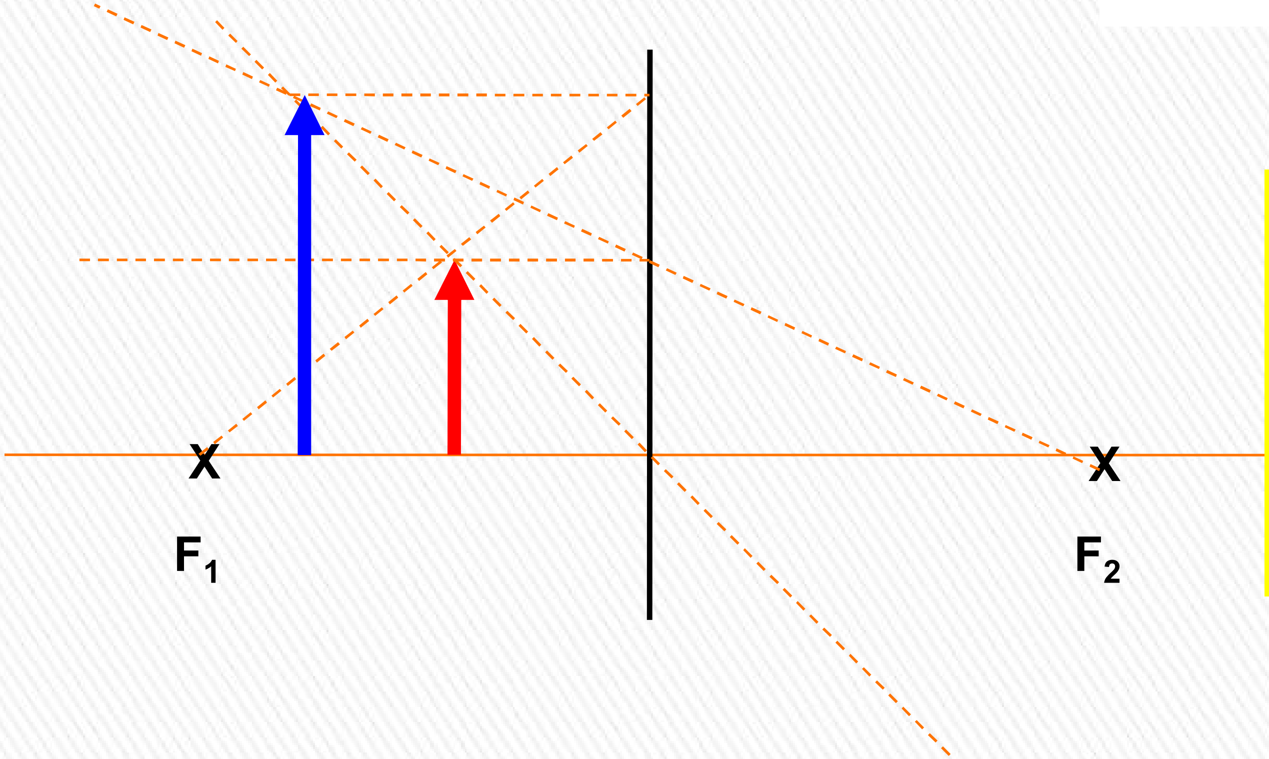
f = 20,0 cm   s = 8,00 cm

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

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

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

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



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

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:

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

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

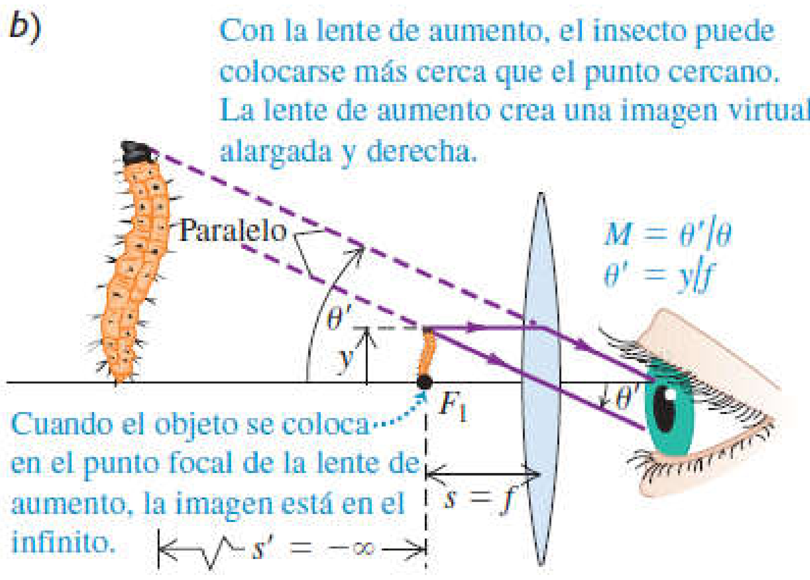
El tamaño aparente de un objeto está determinado por el tamaño de su imagen en la retina, que depende del ángulo θ que subtiende el objeto en el ojo **(tamaño angular)**.

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.

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.
Cuando el objeto está colocado en el punto cercano subtiende un ángulo θ en el ojo dado por: $y = \mathrm{tg}(\theta).s = \mathrm{tg}(\theta).(25{,}0\ \mathrm{cm})$
Pero 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, para esto el objeto debe estar en el punto focal F_1 de la lente de aumento.
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 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**:

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

LA LUPA O LENTE DE AUMENTO

Se usa la aproximación 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 = tg(θ).s= tg(θ).(25,0 cm) ≅ θ. 25,0 cm o que: $\theta \cong \frac{y}{25{,}0\ cm}$ $\theta' \cong \frac{y}{f}$

y = tg(θ').f ≅ θ'.f *o que:*

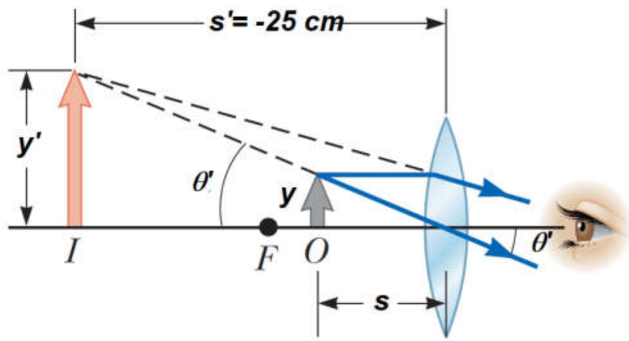
$$M_{min} = \frac{25{,}0\ cm}{f}$$

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

Para el caso donde la lente se sostiene cerca del ojo, la amplificación angular es máxima cuando la imagen formada por la lente está en el punto cercano del ojo, que como dijimos estamos suponiendo que es igual a 25,0 cm, por lo que se impone que s' = - 25,0 cm y debemos hallar el valor de s para que esto suceda (ya que el objeto no lo colocamos en el foco)

En este caso se obtiene que:

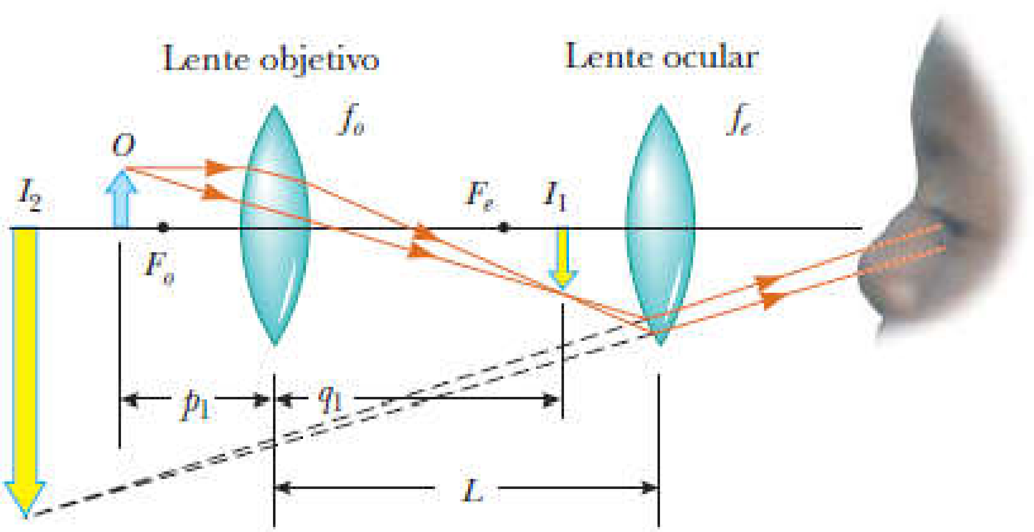
$$M_{max} = 1 + \frac{25{,}0\ cm}{f}$$



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)

MICROSCOPIO ÓPTICO

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



a)

b)

El microscopio compuesto está constituido por una lente, el ***objetivo****, que tiene* una distancia focal muy corta, menor a 1 *cm, y una segunda lente, el* ***ocular,*** *que tiene una* distancia focal *de unos cuantos centímetros.*
Las dos lentes están separadas una distancia *L que es mucho mayor que las distancias focales de las lentes.*
El objeto que se coloca justo por fuera del foco del objetivo forma una imagen real, invertida I_1, que *queda localizada en,* o cerca, del foco del ocular.
El ocular, que sirve como una lente de aumento simple, produce una *imagen virtual amplificada de la imagen formado por el objetivo (I_2).*

MICROSCOPIO ÓPTICO

El aumento angular total del microscopio compuesto es el producto de dos factores: el aumento lateral m_1 del objetivo, que determina el tamaño lineal de la imagen real I_1; y el aumento angular M_2 del ocular, que relaciona el tamaño angular de la imagen virtual vista a través del ocular con el tamaño angular que la imagen real I_1 tendría si se la viera sin el ocular.

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

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

En condiciones ordinarias el objeto está muy cerca del punto focal, y la distancia de imagen resultante s'_1 es muy grande en comparación con la distancia focal f_1 de la lente objetivo, con lo que s_1 es aproximadamente igual a f_1, con lo que $m_1 = -s'_1 / f_1$, *incluso podemos aproximar:* $s'_1 \cong L$

La imagen real I_1 está cerca del punto focal F_2 del ocular; por lo tanto, para obtener el aumento angular del ocular vale: $M_2 = (25\text{ cm})/ f_2$, donde f_2 es la distancia focal del ocular (considerado como lente simple).

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

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

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

La imagen final es invertida con respecto al objeto.

MICROSCOPIO ÓPTICO

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

Una pregunta frecuente en relación con los microscopios es:

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

La respuesta es no, siempre que se utilice luz para iluminar el objeto.
La explicación es que, para que se vea un objeto bajo un microscopio óptico (que utiliza luz visible), debe ser por lo menos tan grande como la longitud de onda de la luz.
Como el diámetro de cualquier átomo es muchas veces menor que las longitudes de onda de la luz visible, los átomo deberán ser “vistos” mediante otro tipo de “microscopios”.