

ÓPTICA GEOMÉTRICA

En la óptica geométrica nos concentraremos en las imágenes que los sistemas ópticos forman de los objetos. La óptica geométrica parte de las leyes de Snell para la reflexión y la refracción.

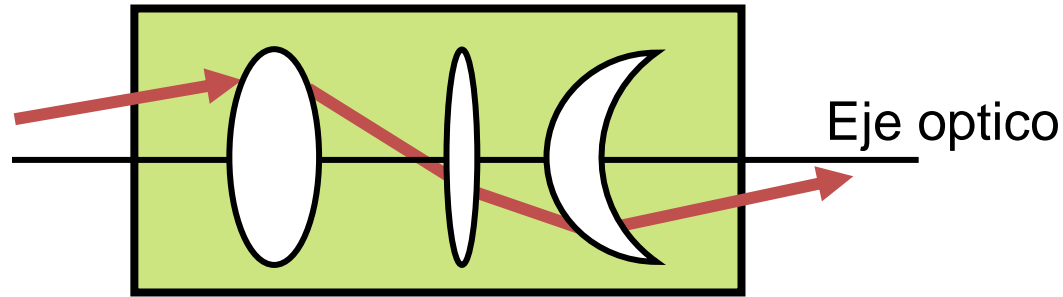
A partir de las **leyes Snell** y con consideraciones geométricas sobre los rayos luminosos es posible obtener las fórmulas que gobiernan el funcionamiento de los espejos, dióptricos y lentes (o sus combinaciones y en consecuencia de cualquier instrumento óptico)

LEY DE LA REFRACCIÓN

$$n_i \sin(\theta_i) = n_t \sin(\theta_t)$$

LEY DE LA REFLECCIÓN

$$\theta_i = \theta_r$$



Llamaremos sistema óptico al conjunto de superficies que separan medios de distinto índice de refracción.

Los sistemas ópticos centrados están formados por superficies cuyos centros están alineados sobre un mismo eje. La recta que une los centros se llama eje óptico.

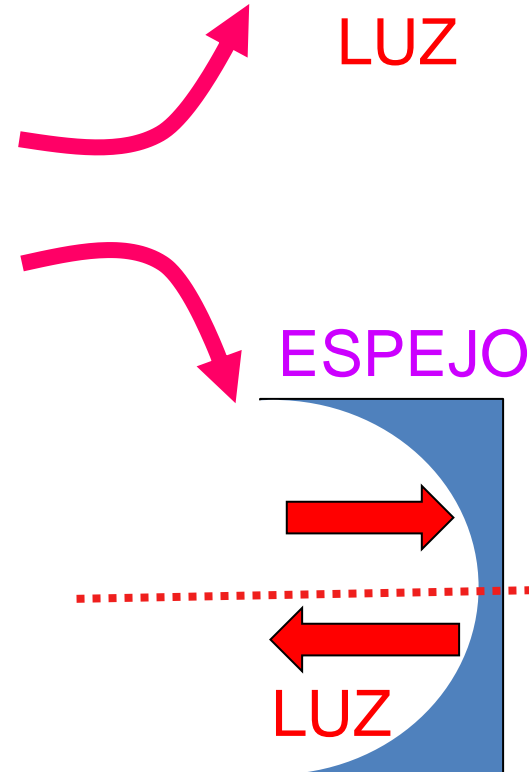
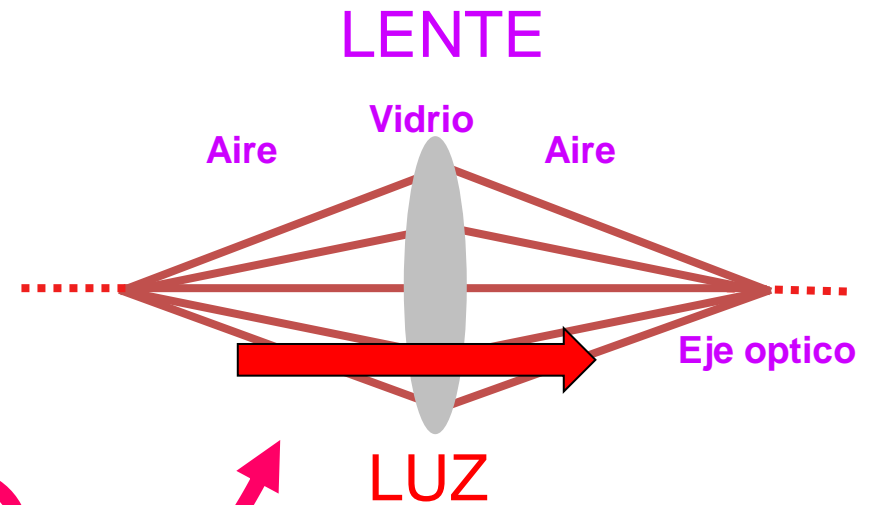
En nuestro análisis, se asumirá que todos los rayos se propagan en pequeños ángulos alrededor de el eje óptico.

ESTO ES LLAMADO APROXIMACIÓN PARAXIAL

Los sistemas formados por superficies refractantes se llaman **dióptricos** (ej. lentes).

En lo que sigue se presentarán las ecuaciones válidas para elementos ópticos con superficies esféricas

Si sus superficies son reflectantes se llaman **catóptricos** (ej. espejos).



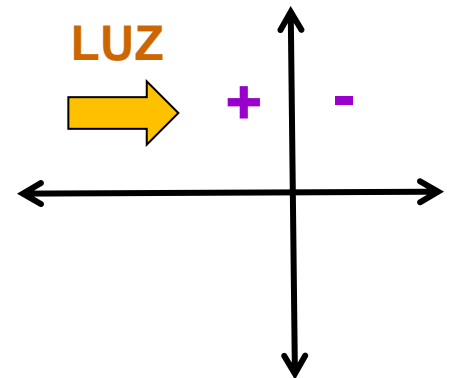
OPTICA GEOMÉTRICA

Las ecuaciones, los sistemas de referencia para los cuales fueron deducidas y las convenciones de signos empleadas, no pueden aislarse, forman un conjunto inseparable.

Ese conjunto no es único, se pueden encontrar tantos como libros se consulte.

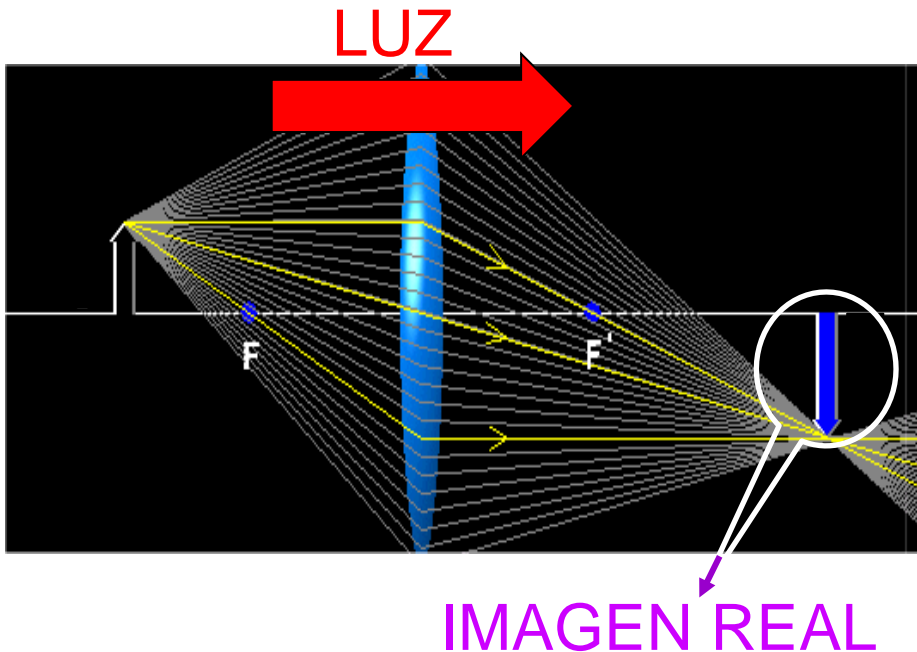
LA CONVENCION DE SIGNOS QUE USAREMOS ES LA SIGUIENTE (normas DIN 1335):

Luz desde izquierda,
signo + a izquierda, signo – a derecha.
signo + arriba, signo – abajo.

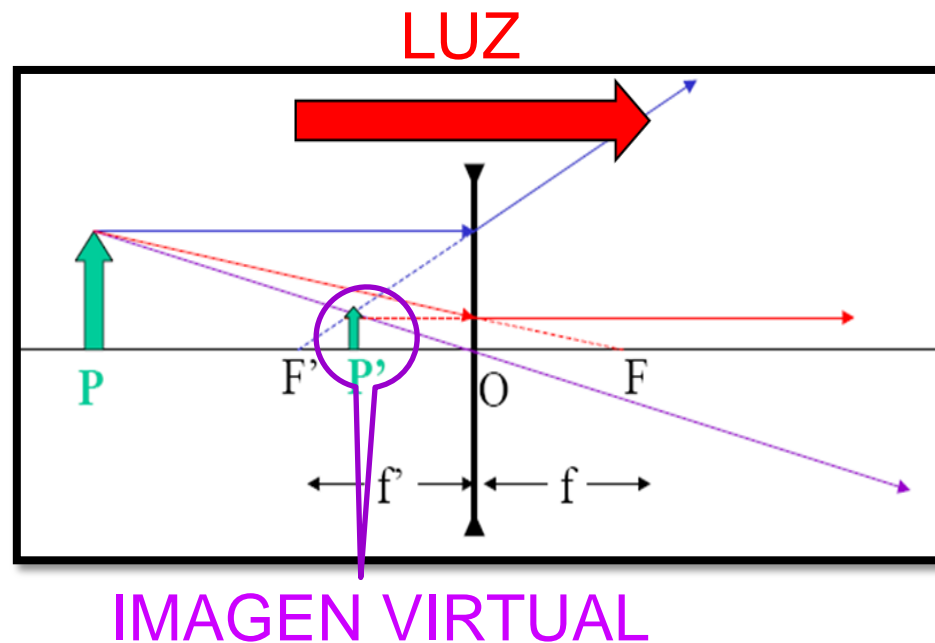


NATURALEZA DE LAS IMÁGENES

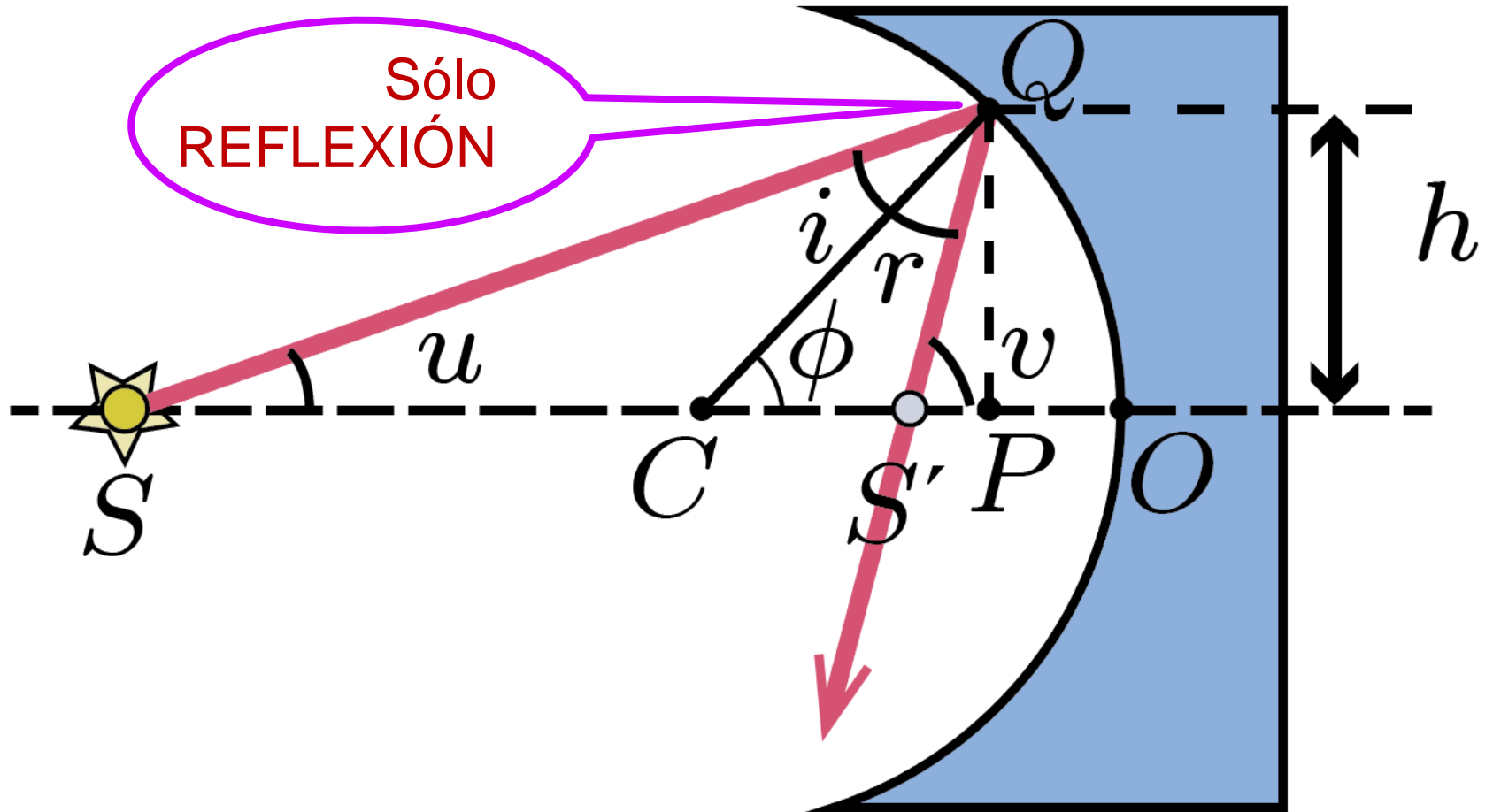
Los rayos emitidos desde un punto objeto luego de reflejarse o refractarse en distintas superficies vuelven a cortarse en un punto imagen: **imagen real**.



Cuando los rayos a la salida de un sistema no convergen, pero si se cortan sus prolongaciones en sentido contrario al de la propagación de la luz, entonces se tiene una **imagen virtual**.



ESPEJOS ESFÉRICOS



La distancia $OC \equiv R$ es el radio de curvatura del espejo.

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x'} = \frac{2}{R} \equiv \frac{1}{f}$$

f y f' son coincidentes en espejos esféricos.

$x \equiv$ distancia objeto

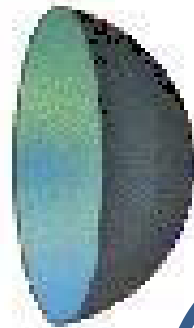
$x' \equiv$ distancia imagen

f es la distancia focal en los espejos esféricos f se encuentra en el punto medio entre el centro de curvatura y el vértice.

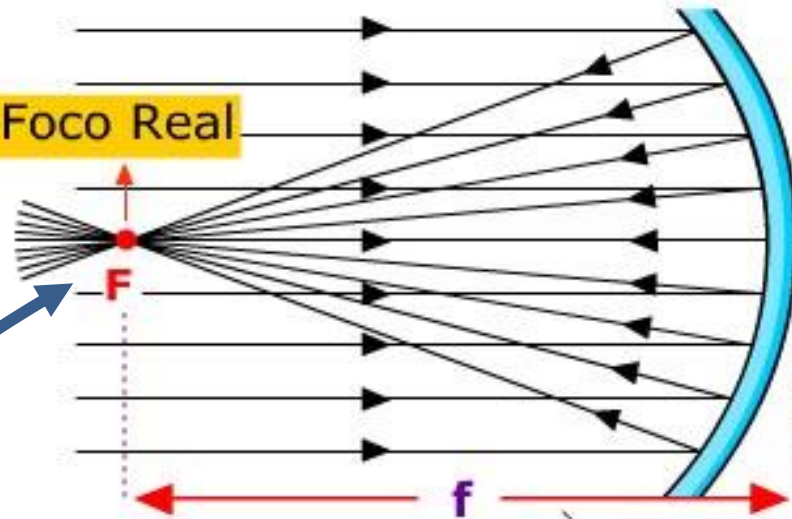
FOCO OBJETO: Lugar donde debe estar el objeto para que la imagen se forme en el infinito ($x' \rightarrow \infty$) $x = R/2 = f_{\text{objeto}} = f$. Los rayos que inciden pasando por el foco objeto salen paralelos al eje óptico.

FOCO IMAGEN: Si el objeto está muy lejos ($x \rightarrow \infty$) la imagen se forma en el foco imagen, $x' = R/2 = f_{\text{imagen}} = f'$. Los rayos que inciden paralelos pasan por el foco imagen.

Espejo
Cóncavo



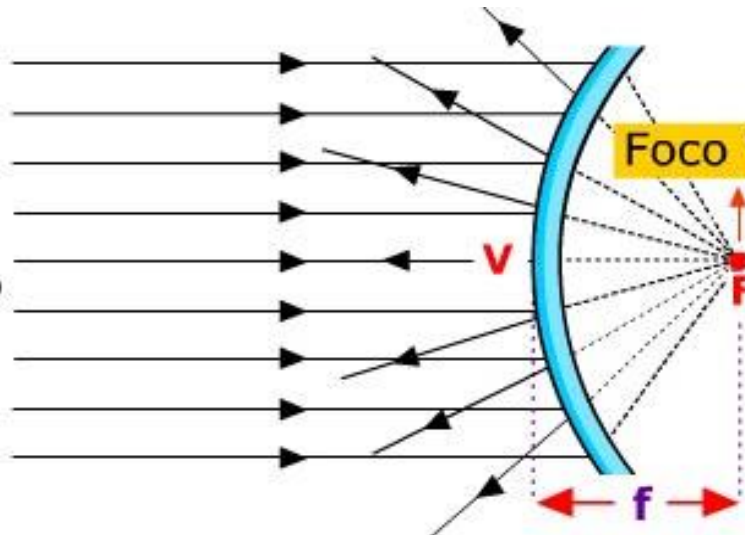
Foco Real



Eje
óptico

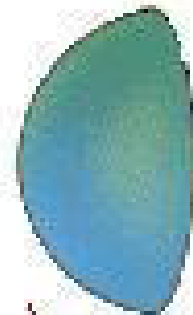
$$f_{\text{obj}} = f_{\text{imagen}}$$

Eje
óptico



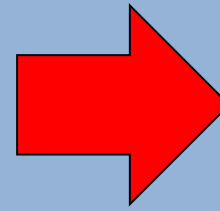
Foco Virtual

Espejo
Convexo



Dos posiciones de objeto relevantes

- Si $x \rightarrow \infty$, entonces $x' \rightarrow f$.
- Si $x \rightarrow f$, entonces $x' \rightarrow \infty$.



**IMPORTANTE
PARA EL
TRAZADO DE
RAYOS**

-

Cuando un rayo incide paralelamente al eje, el rayo reflejado pasa por el foco, y, si el rayo incidente pasa por el foco el reflejado marcha paralelamente al eje.

Cuando un rayo incidente pasa por el centro de curvatura, el rayo reflejado recorre el mismo camino, pero en sentido inverso debido a que la incidencia es normal o perpendicular.

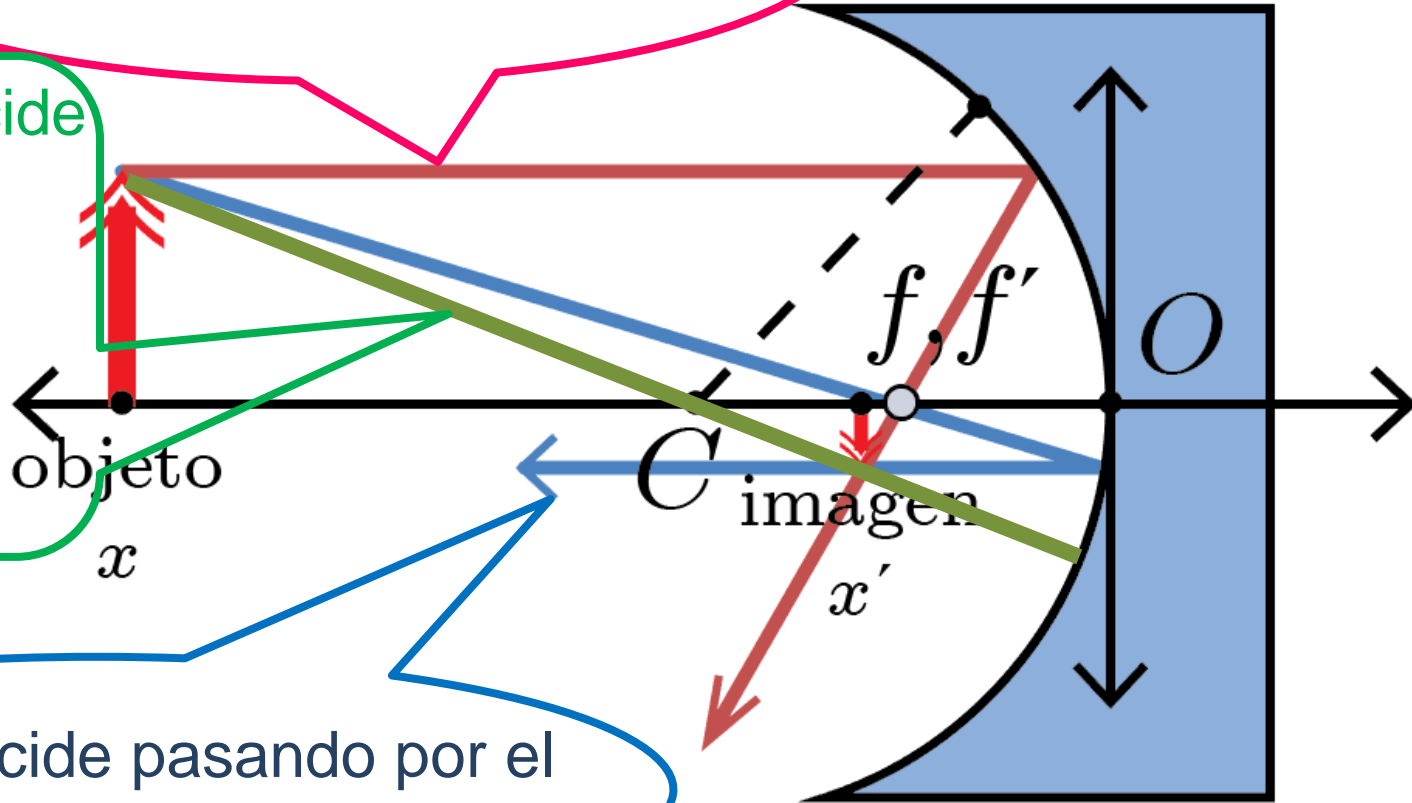
Con estas reglas, que son consecuencia inmediata de las leyes de la reflexión, es posible construir la imagen de un objeto situado sobre el eje principal cualquiera que sea su posición.

TRAZADO DE RAYOS

El rayo que incide paralelo al eje, pasa por el foco imagen.

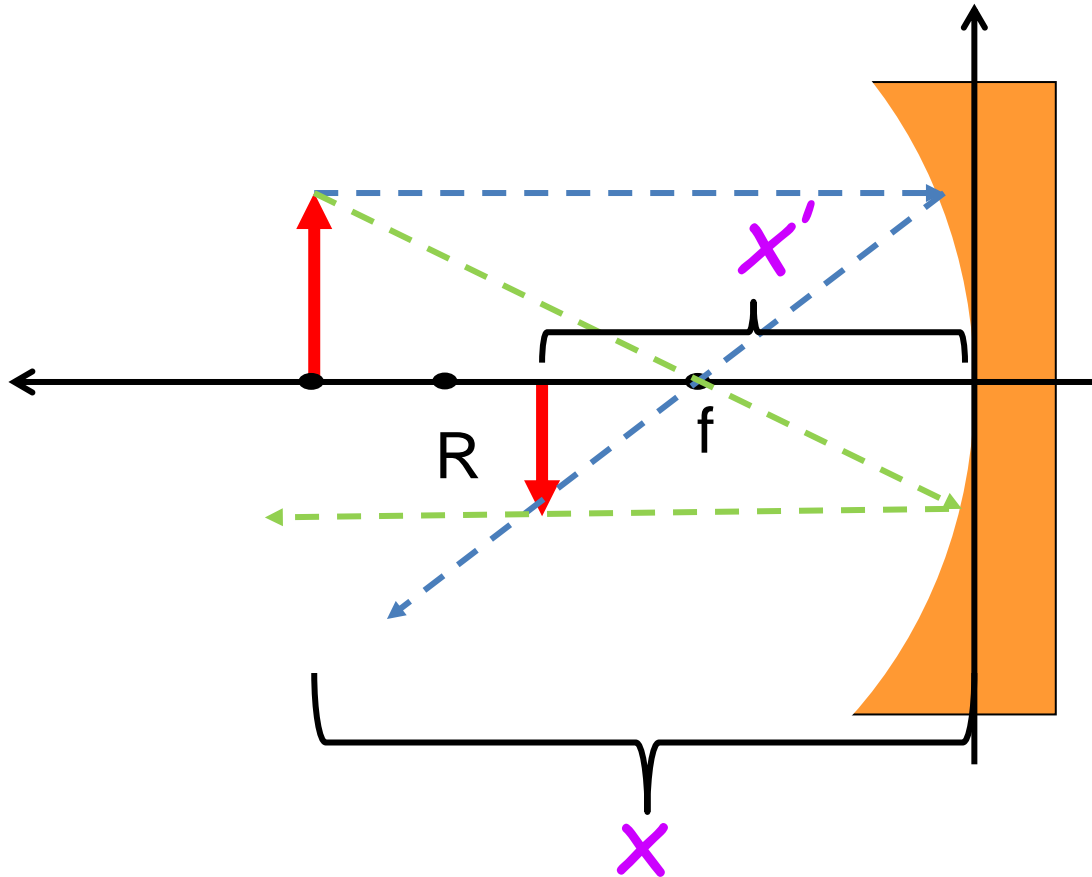
El rayo que incide pasando por el centro de curvatura, se refleja sin desviarse.

El rayo que incide pasando por el foco objeto, emerge paralelo al eje.



El aumento lateral o transversal es la relación de alturas entre el objeto y la imagen. El signo indica la orientación relativa

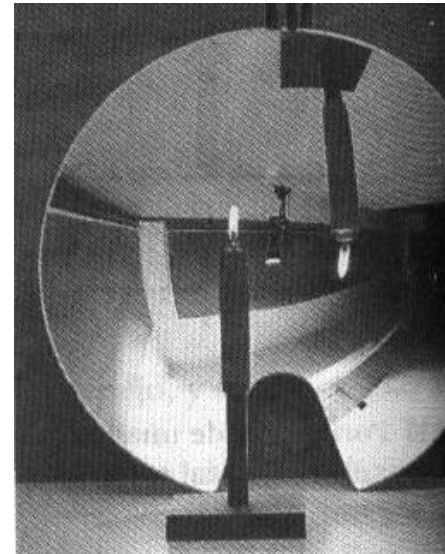
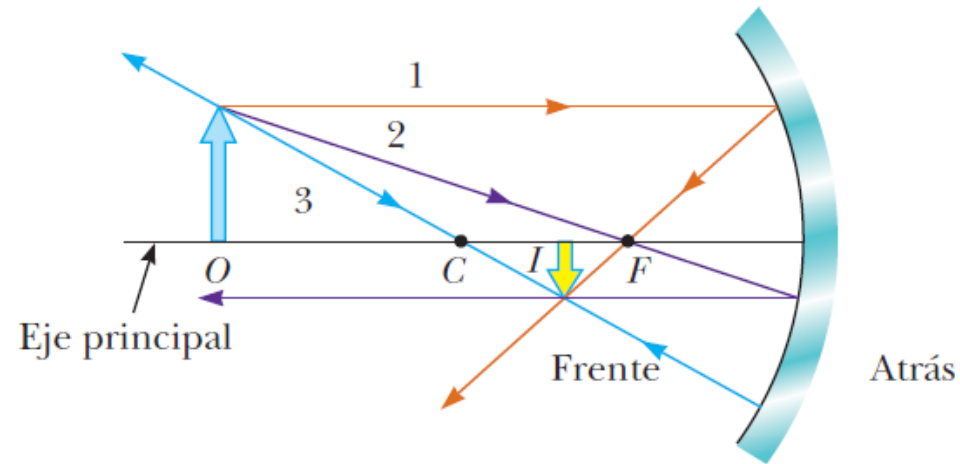
$$m = -x' / x$$



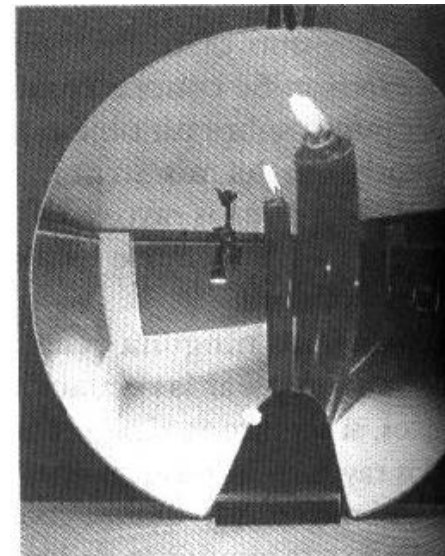
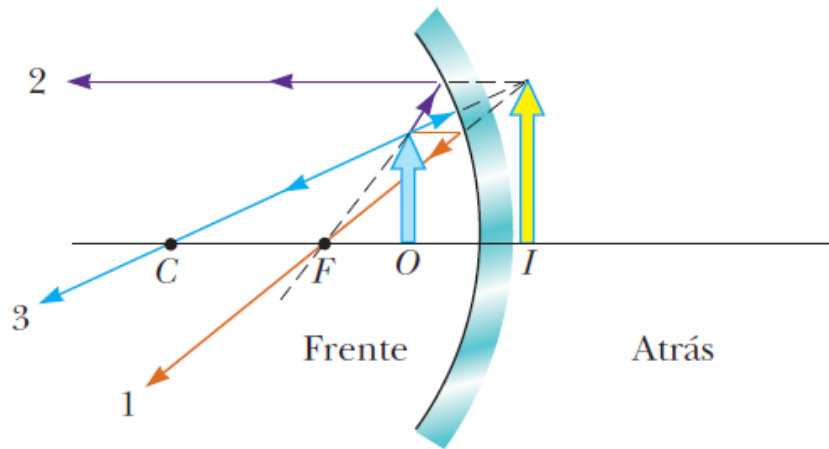
Aumento axial ó longitudinal nos dice como crece la imagen en la dirección longitudinal.

$$l = -m^2$$

ESPEJOS CÓNCAVOS

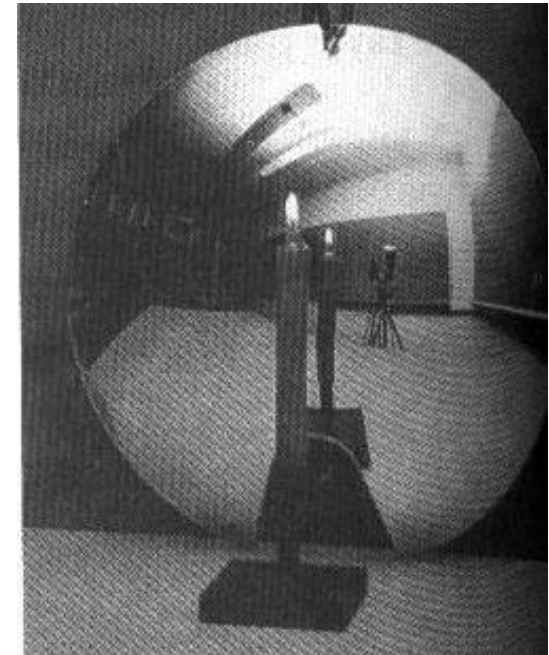
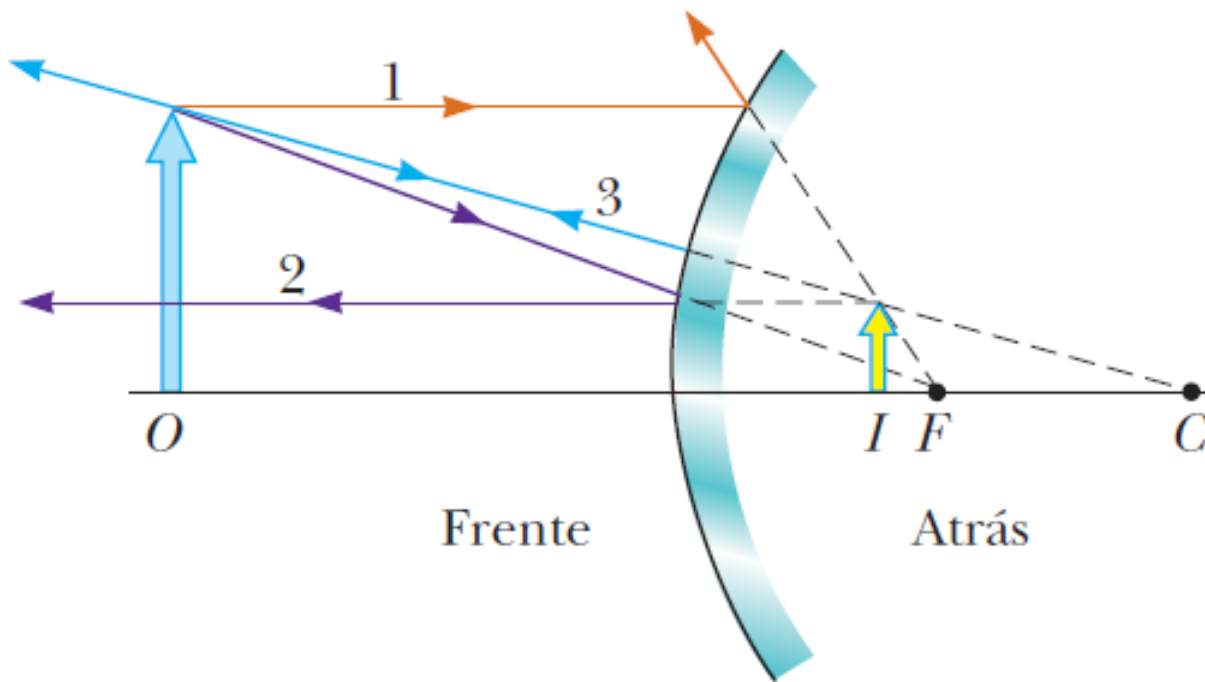


Espejo cóncavo
con el objeto antes
del foco
Imagen real e
invertida



Espejo
cóncavo con el
objeto entre el
foco y el vértice
Imagen virtual,
derecha y
mayor

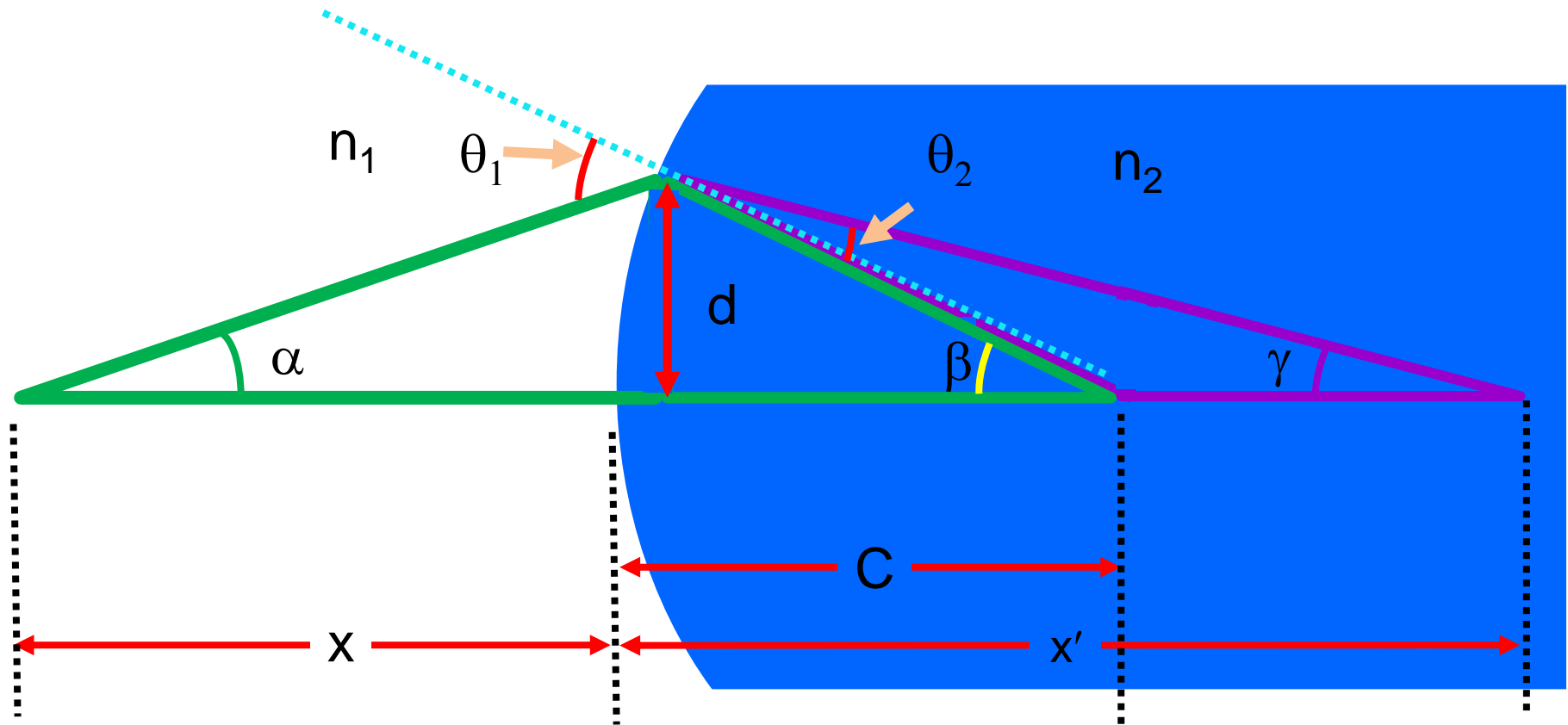
ESPEJOS CONVEXOS



Espejo convexos

Imagen virtual, derecha y menor

DIÓPTRICOS : FORMACIÓN IMÁGENES POR REFRACCIÓN



Ecuación
dióptricos

$$\frac{n_1}{x} - \frac{n_2}{x'} = \frac{(n_1 - n_2)}{R}$$

$$\frac{n_1}{x} - \frac{n_2}{x'} = \frac{(n_1 - n_2)}{\textcircled{R}}$$

Ecuación
dióptricos

$$x' \equiv f' = \frac{-\textcircled{R} n_2}{(n_1 - n_2)}$$

Foco imagen: posición imagen para objeto localizado en infinito

$$x \equiv f = \frac{\textcircled{R} n_1}{(n_1 - n_2)}$$

Foco objeto: posición objeto para formar imagen en infinito.

$$m = \frac{x' / n_2}{x / n_1}$$

Aumento ó magnificación lateral en un dióptrico

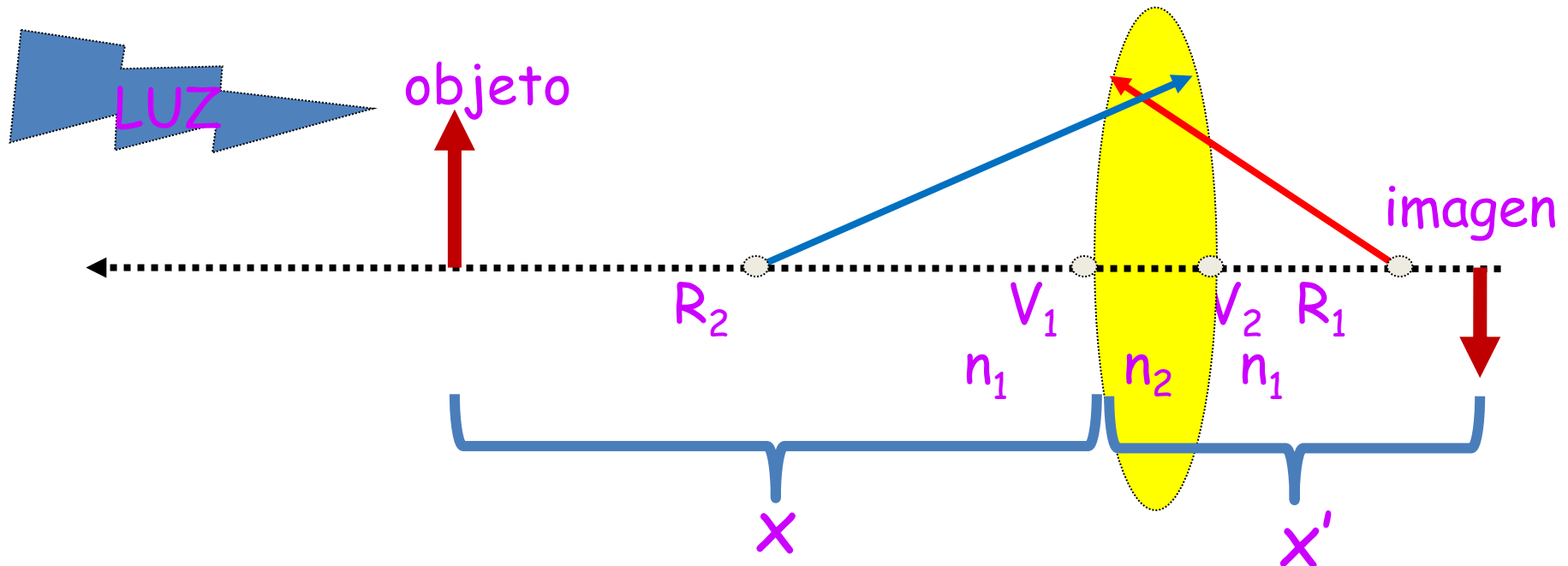
$$L = - (f' / f) m^2 = (n_2 / n_1) m^2$$

Aumento ó magnificación longitudinal en un dióptrico

Ⓡ : el radio va con el signo que le corresponda por la convención de signos

Ecuación lentes delgadas (espesor $\rightarrow 0$)

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{x'} = \frac{(n_2 - n_1)}{n_1} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right)$$



OJO: asignar signos a R_1 y R_2 según la convención de signos

FOCOS

Foco Imagen: Si el objeto está muy lejos ($x \rightarrow \infty$), la imagen se forma en el foco imagen;

$$x = \infty \quad \frac{1}{x'} = \frac{1}{f'} = -\left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)$$

Los rayos que inciden paralelos al eje pasan por el foco imagen.

$$f = -f'$$

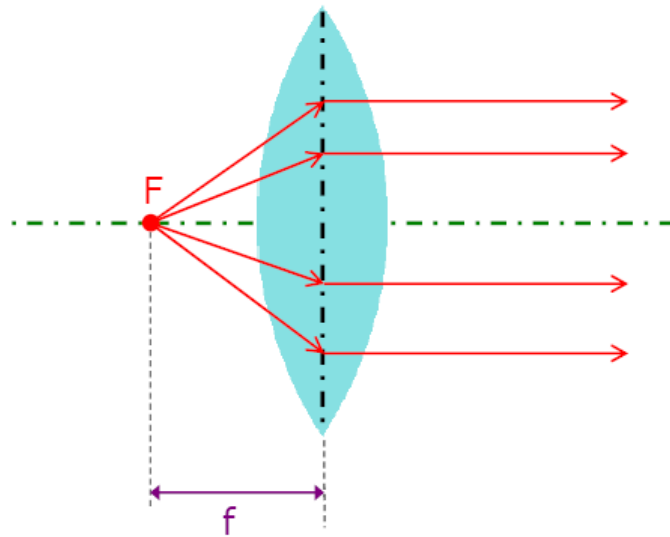
$$\text{Si } n_2 > n_1 \rightarrow \text{signo } f = \text{signo} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right)$$

Foco Objeto: lugar donde debe estar el objeto para que la imagen se forme en el infinito ($x' \rightarrow \infty$);

$$x' = \infty \quad \frac{1}{x} = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)$$

Los rayos que inciden pasando por el foco objeto salen paralelos al eje óptico.

Foco imagen del lado opuesto del foco objeto



Foco objeto

$$x' \rightarrow \infty$$

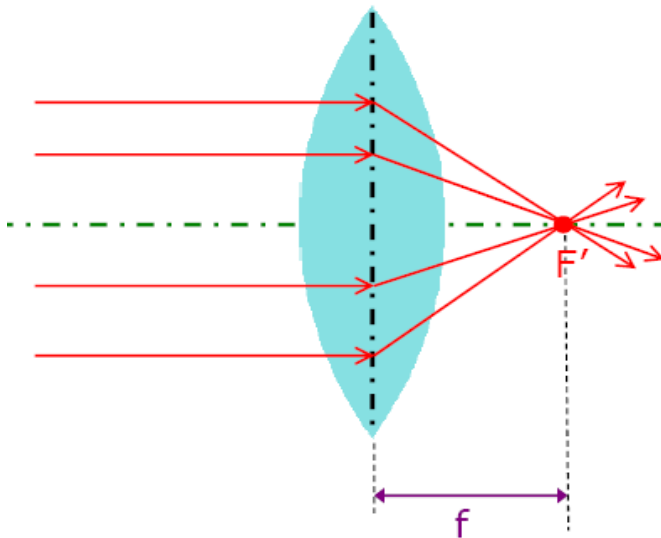
$$\frac{1}{x} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) = \frac{1}{f}$$

+

Si $n_2 > n_1$

+

$R_2 + // R_1 -$



Foco imagen

$$x \rightarrow \infty$$

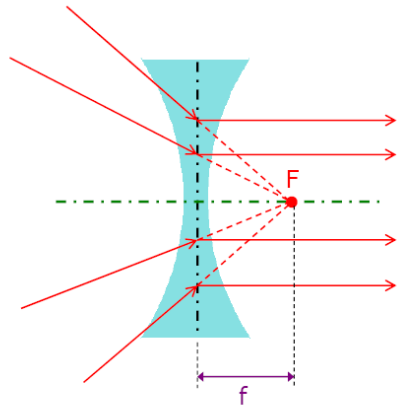
$$-\frac{1}{x'} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) = -\frac{1}{f'}$$

$$f = -f'$$

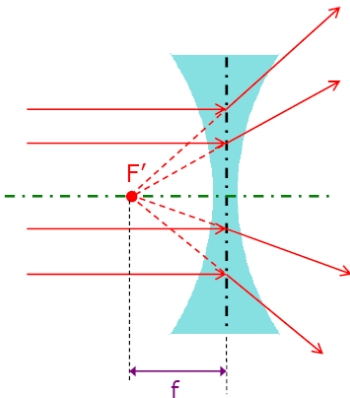
$$\boxed{\frac{1}{x} - \frac{1}{x'} = \frac{1}{f}}$$

En una lente divergente,
el foco objeto es negativo

Lentes delgadas: lente divergente



Lentes delgadas: lente divergente



Foco Objeto

$$x' \rightarrow \infty$$

$$\frac{1}{x} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) = \frac{1}{f}$$

Si $n_2 > n_1$ $\overset{+}{R_2 -} // R_1 \overset{-}{+}$

$$x \rightarrow \infty$$

Foco imagen

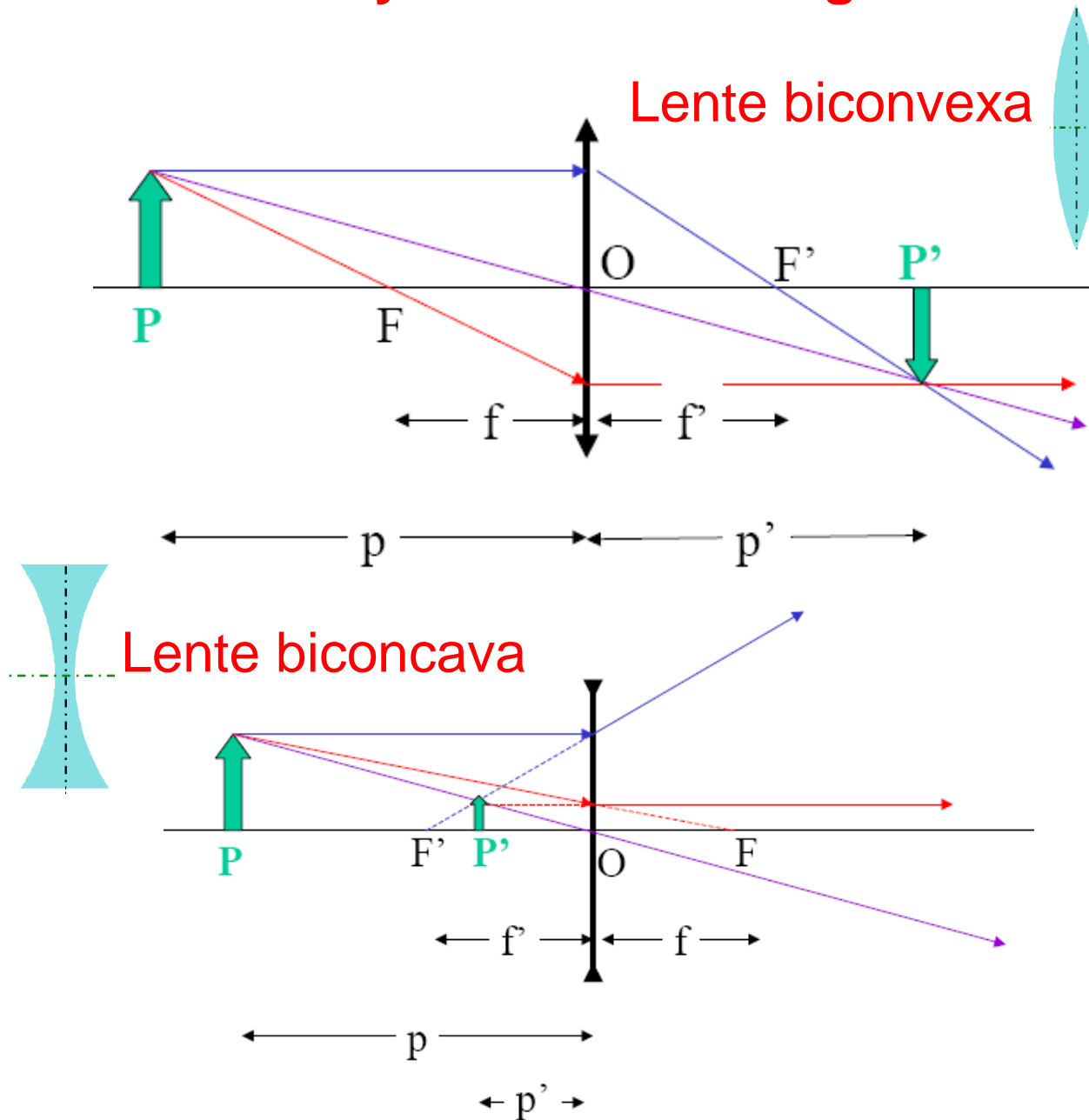
$$-\frac{1}{x'} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) = -\frac{1}{f'}$$

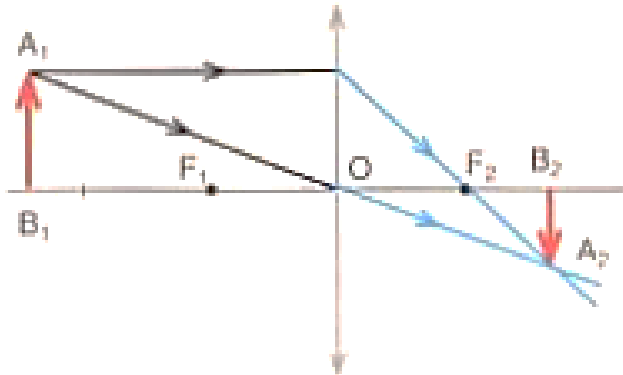
Si $n_2 > n_1$ $\overset{+}{R_2 +} // R_1 \overset{+}{-}$

$$f = -f'$$

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{x'} = \frac{1}{f}$$

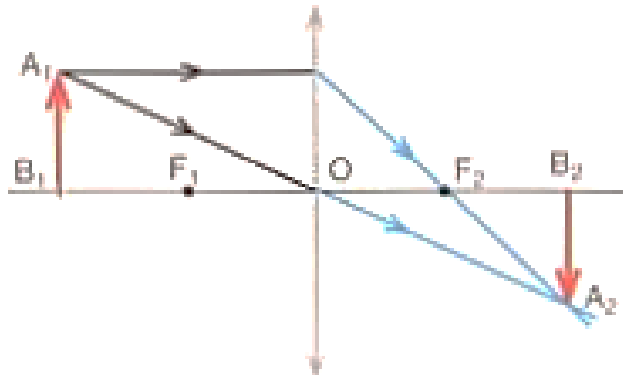
Trazado de rayos en lentes delgadas





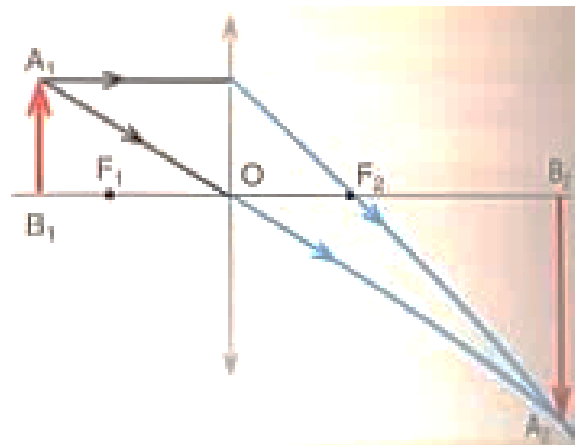
Posición del objeto entre el infinito y $2f$

Imagen real, invertida y menor



Posición del objeto a una distancia $2f$

Imagen real, invertida e igual



Posición del objeto entre f y $2f$

Imagen real, invertida y aumentada

Aumento transversal y longitudinal en lentes

Aumento transversal o lateral

$$m = y' / y = x' / x$$

A partir de la ecuación de las lentes

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{x'} = \frac{1}{f}$$

resulta

$$m = \frac{x'}{x} = \frac{f}{f - x}$$

Aumento axial ó longitudinal: $L \equiv dx'/dx$

$$L = \frac{dx'}{dx} = \frac{f(f - x) + xf}{[f - x]^2} = \left[\frac{f}{[f - x]} \right]^2 = m^2$$

L = m² SIEMPRE POSITIVA

$$L = m^2$$

Magnificación longitudinal debemos tener cuidado al considerar objetos tridimensionales

TRAZADO DE RAYOS LENTES DELGADAS

La posición y tamaño de la imagen pueden determinarse gráficamente a partir de la trayectoria de los rayos de luz saliendo del extremo del objeto pasan de forma real o virtual por alguno de los puntos axiales característicos de la lente (puntos focales y centro óptico). Estos rayos son:

- * el rayo que incide paralelo al eje
- * el rayo que pasa por el foco objeto
- * el rayo que pasa por el centro óptico

El rayo que incide paralelo al eje pasa por el foco imagen o diverge desde él

El rayo que pasa o se dirige al foco objeto sale paralelo

El rayo que pasa por el centro óptico no se desvía. Se debe a que en ese punto la lente se comporta como lamina plano paralela de grosor despreciable.