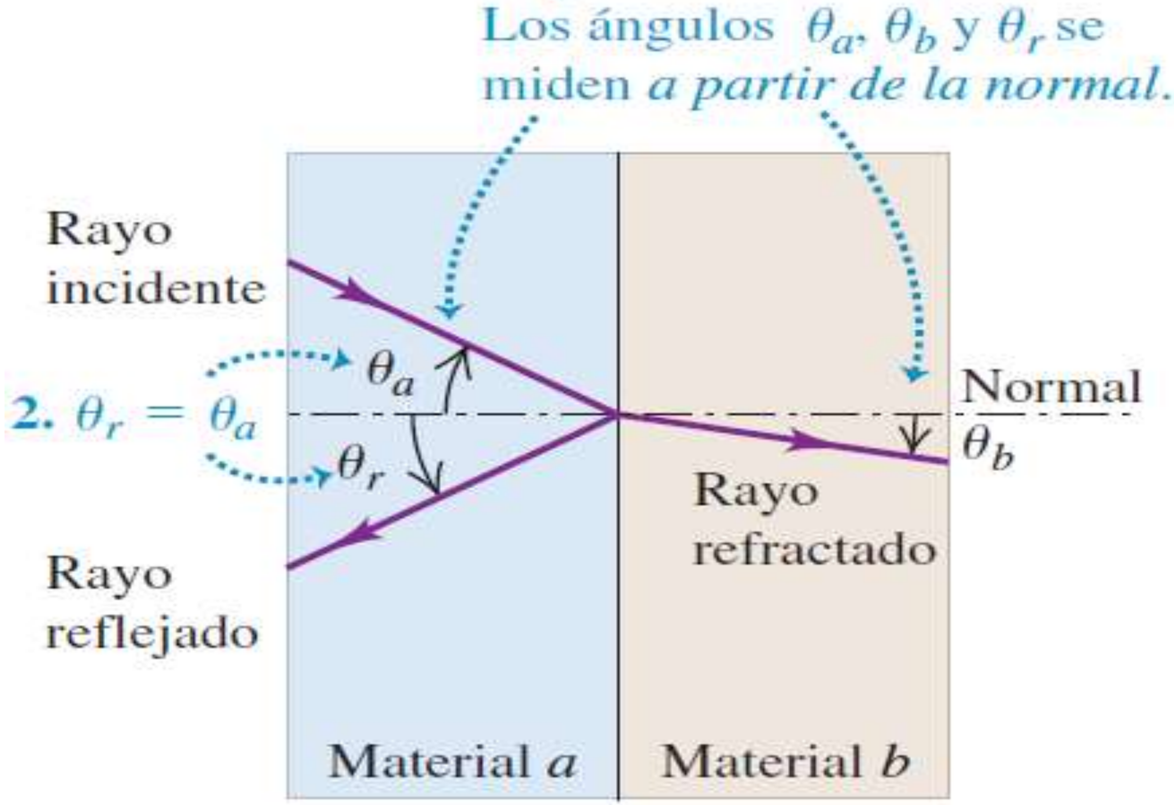
departamento de física
universidad de buenos aires - exactas
Juan José Giambiagi

Reflexión y refracción de la luz

Cátedra: Diego Arbó

Reflexión y refracción

1. Los rayos incidente, reflejado y refractado, así como la normal a la superficie, yacen todos en el mismo plano.



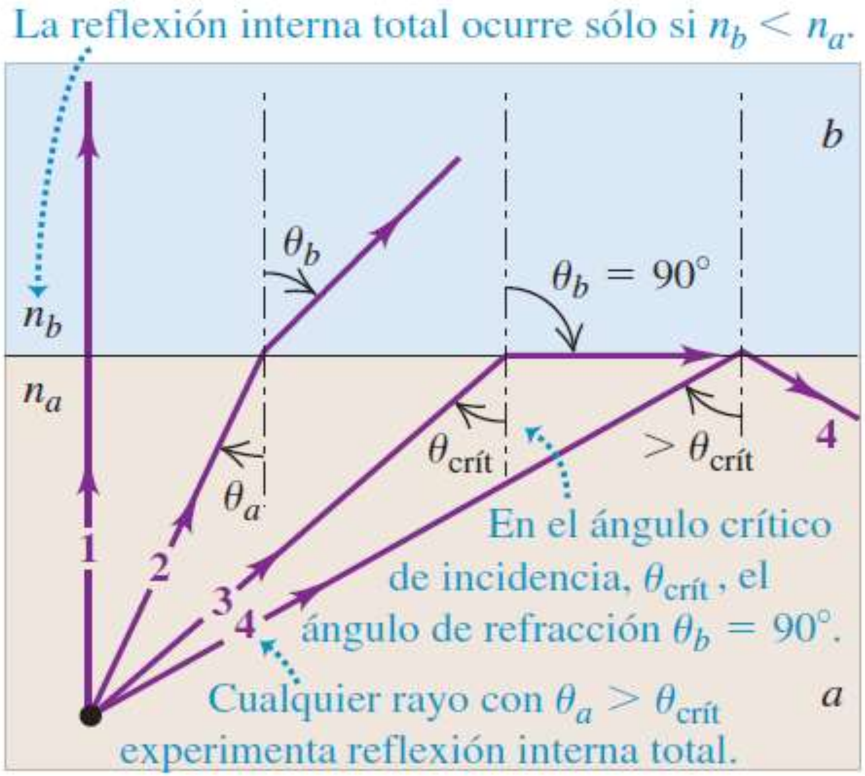
3. Cuando un rayo de luz monocromática cruza la interfaz entre dos materiales dados a y b, los ángulos θ_a y θ_b se relacionan con los índices de refracción de a y b por medio de

$$\frac{\operatorname{sen}\theta_a}{\operatorname{sen}\theta_b} = \frac{n_b}{n_a}$$

Supongamos que la luz incide desde un medio de mayor índice de refracción n_a a uno de menor índice n_b

$$\operatorname{sen}\theta_b = \frac{n_a}{n_b}\operatorname{sen}\theta_a$$

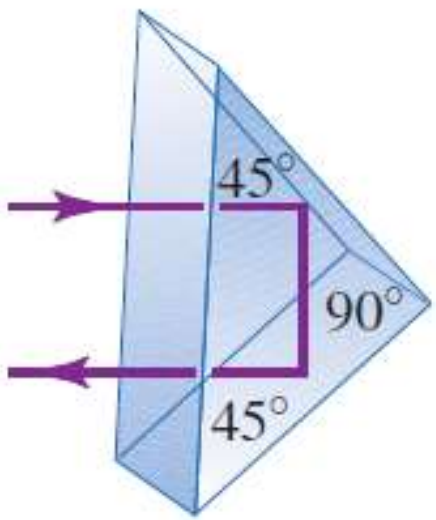
$$\operatorname{sen}\theta_{\text{crít}} = \frac{n_b}{n_a} \qquad \text{(ángulo crítico para la reflexión interna total)}$$



Interfaz aire-vidrio: $\operatorname{sen}\theta_{\text{crít}} = \dfrac{1}{1.52} = 0.658 \qquad \theta_{\text{crít}} = 41.1°$

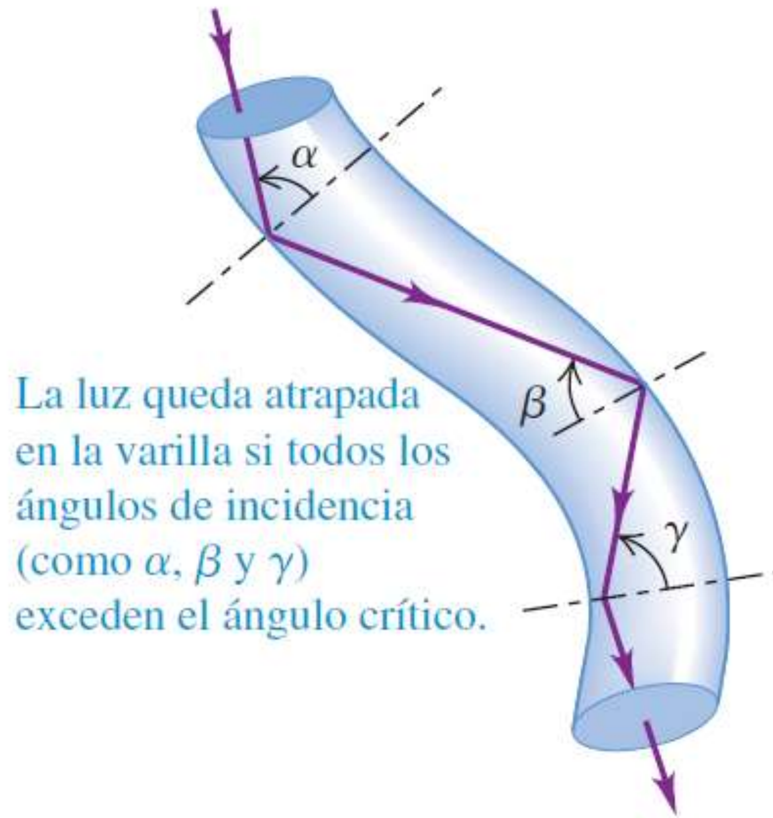
Aplicaciones de reflexión total interna

a) Reflexión interna total en un prisma de Porro



Si el rayo incidente está orientado como se ilustra, la reflexión interna total ocurre en las caras a 45° (porque para una interfaz vidrio-aire, $\theta_{\text{crít}} = 41.1°$).

Varilla transparente con índice de refracción mayor que el del material circundante.

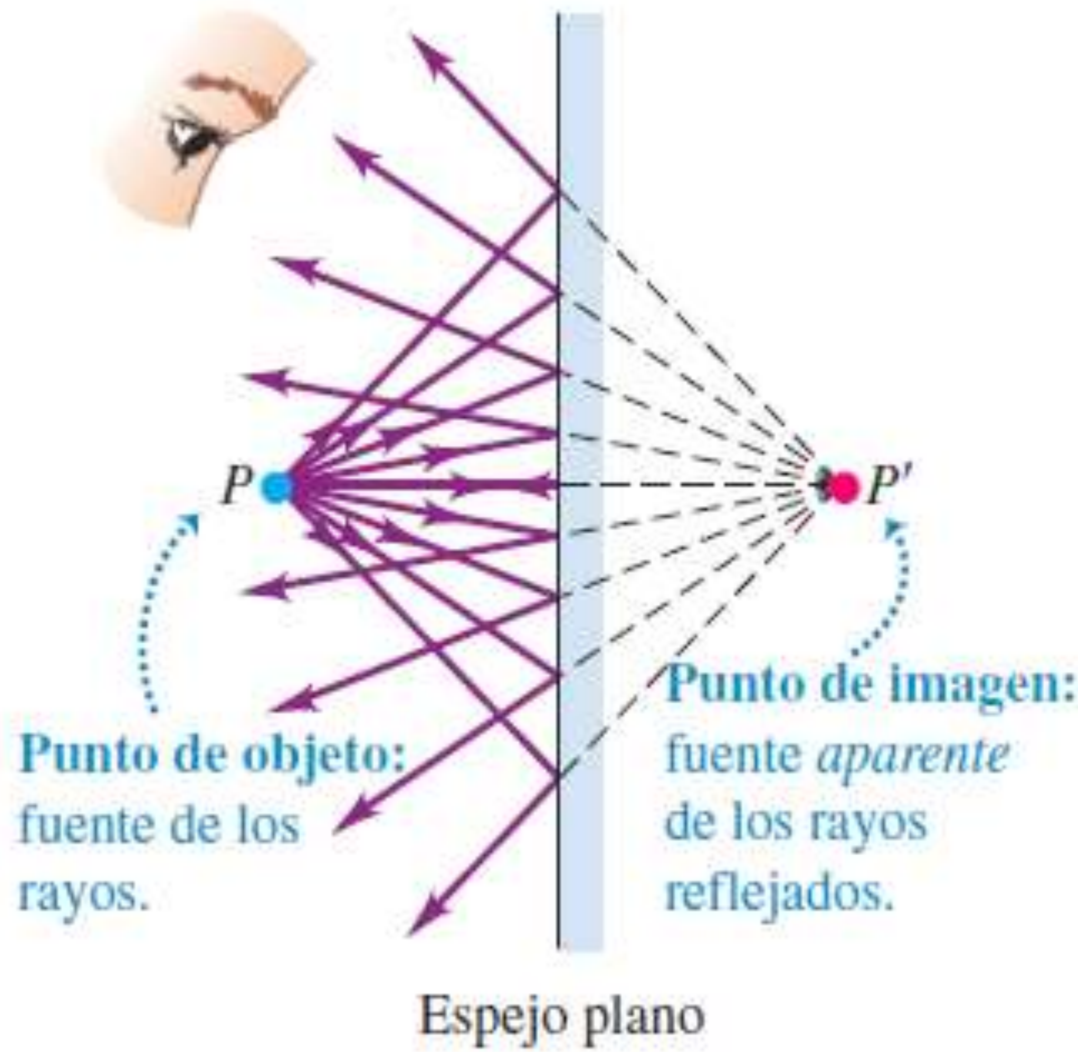


Principio básico de la fibra óptica

Formación de imágenes

Los rayos luminosos provenientes del objeto situado en el punto *P* se reflejan en un espejo plano.

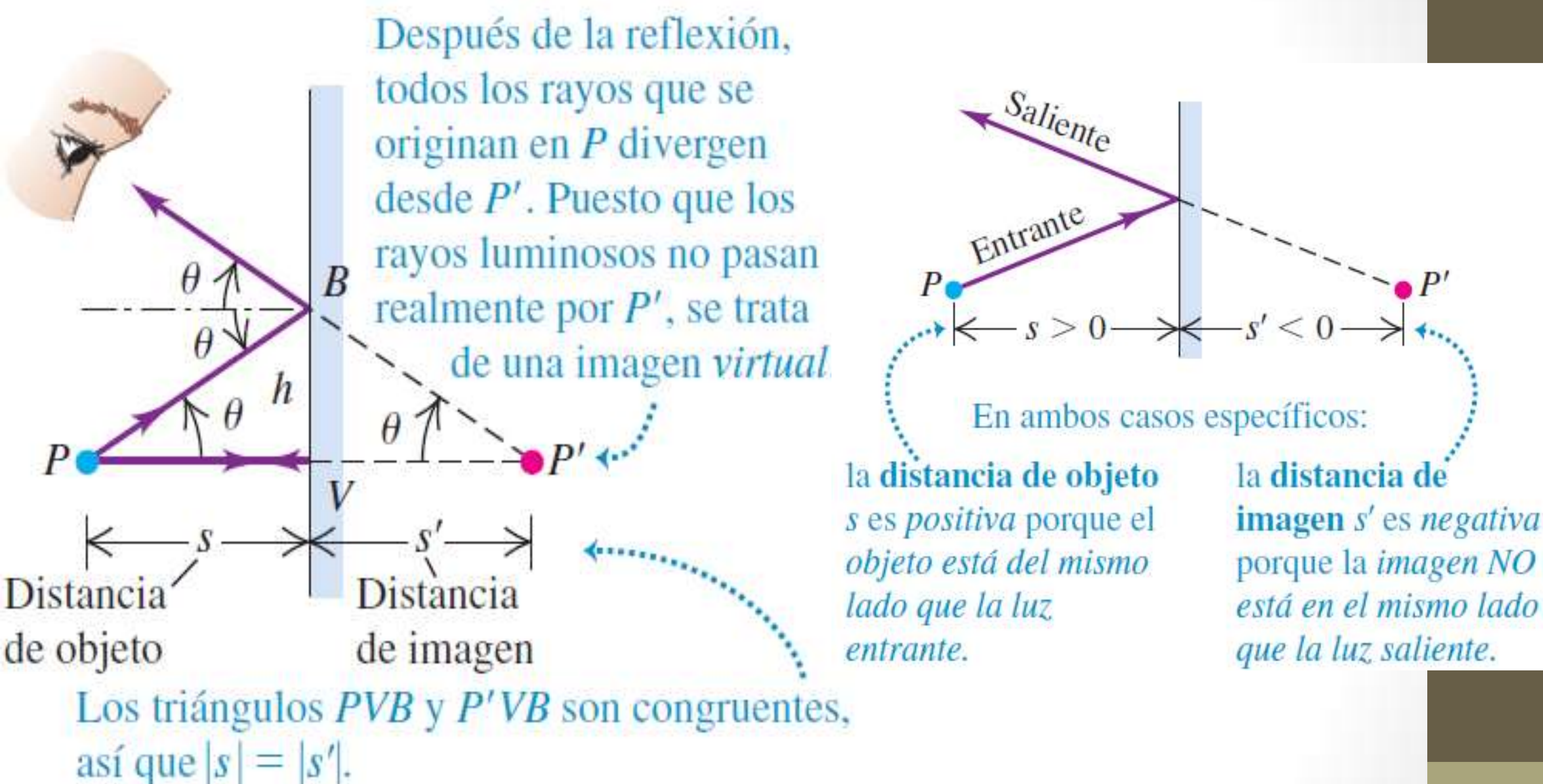
Los rayos reflejados que penetran en el ojo se ven como si proviniesen del punto de imagen *P'*.



Regla de los signos de formación de imágenes

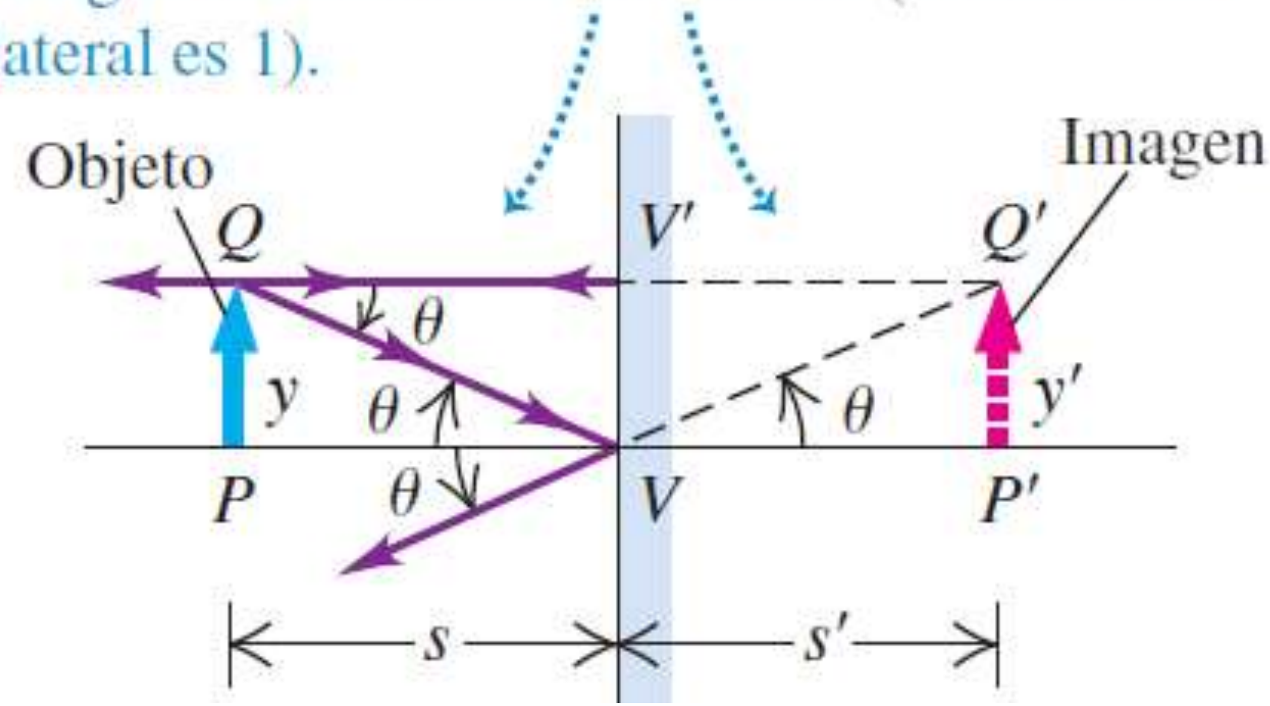
1. **Regla de signos para la distancia de objeto:** cuando el objeto está del mismo lado de la superficie reflectante o refractiva que la luz entrante, la distancia de objeto s es positiva; en caso contrario, es negativa.
2. **Regla de signos para la distancia de imagen:** cuando la imagen está del mismo lado de la superficie reflectante o refractiva que la luz saliente, la distancia de imagen s' es positiva; en caso contrario, es negativa.
3. **Regla de signos para el radio de curvatura de una superficie esférica:** cuando el centro de curvatura C está del mismo lado que la luz saliente, el radio de curvatura es positivo; en caso contrario, es negativo.

Espejo plano



$$s = -s' \qquad \text{(espejo plano)}$$

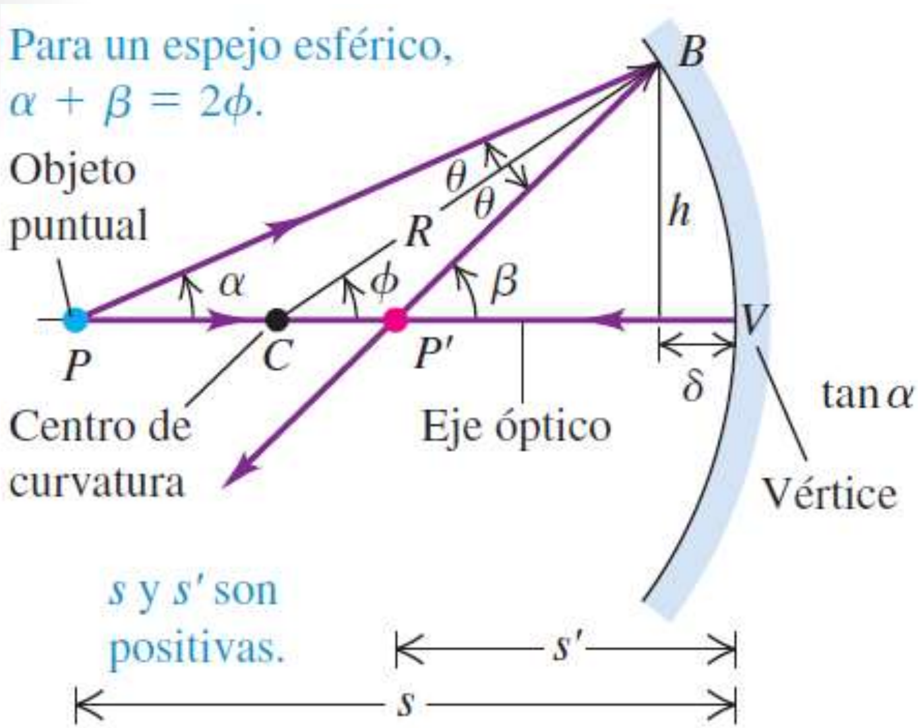
Para un espejo plano, PQV y $P'Q'V$ son congruentes, así que $y = y'$ y el objeto y la imagen tienen el mismo tamaño (el aumento lateral es 1).



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

$$m = +1$$

Espejo esférico (cóncavo)



$$\phi = \alpha + \theta \qquad \beta = \phi + \theta$$

$$\alpha + \beta = 2\phi$$

$$\tan\alpha = \frac{h}{s - \delta} \qquad \tan\beta = \frac{h}{s' - \delta} \qquad \tan\phi = \frac{h}{R - \delta}$$

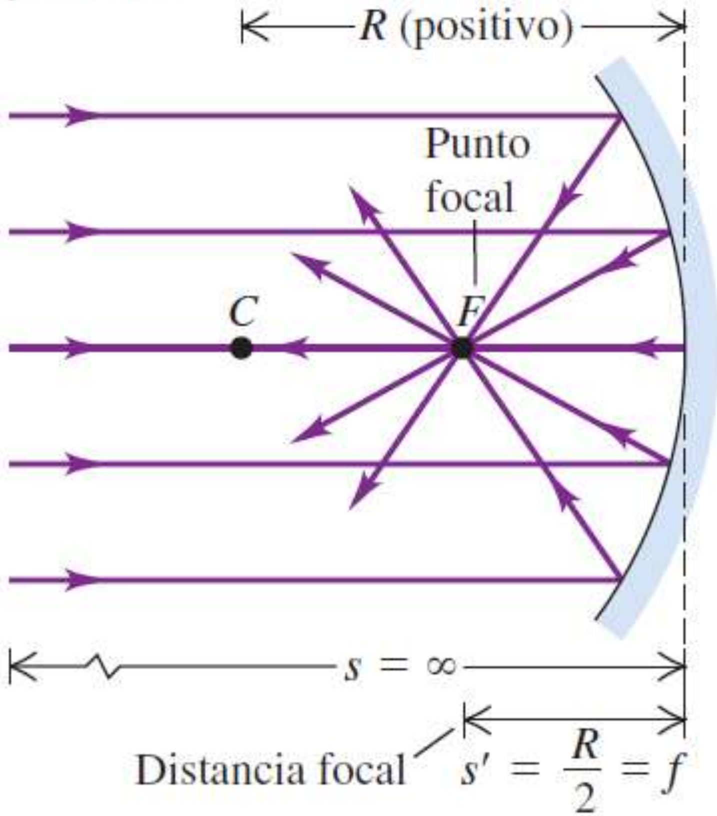
Aproximación paraxial: ángulos pequeños

$$\alpha = \frac{h}{s} \qquad \beta = \frac{h}{s'} \qquad \phi = \frac{h}{R}$$

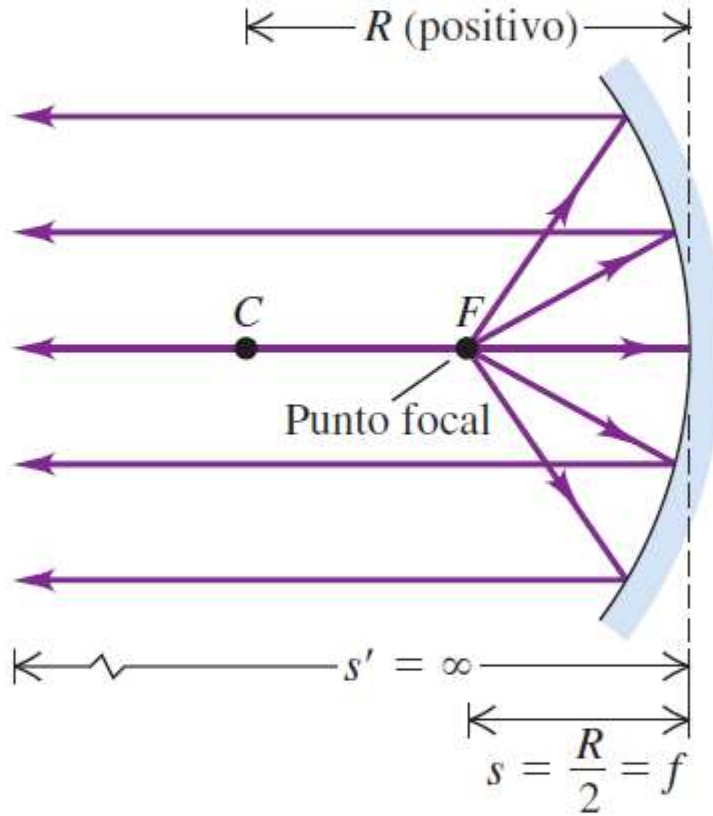
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$$

Si $R \to \infty$, entonces el espejo se vuelve plano y recobramos $s = -s'$

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



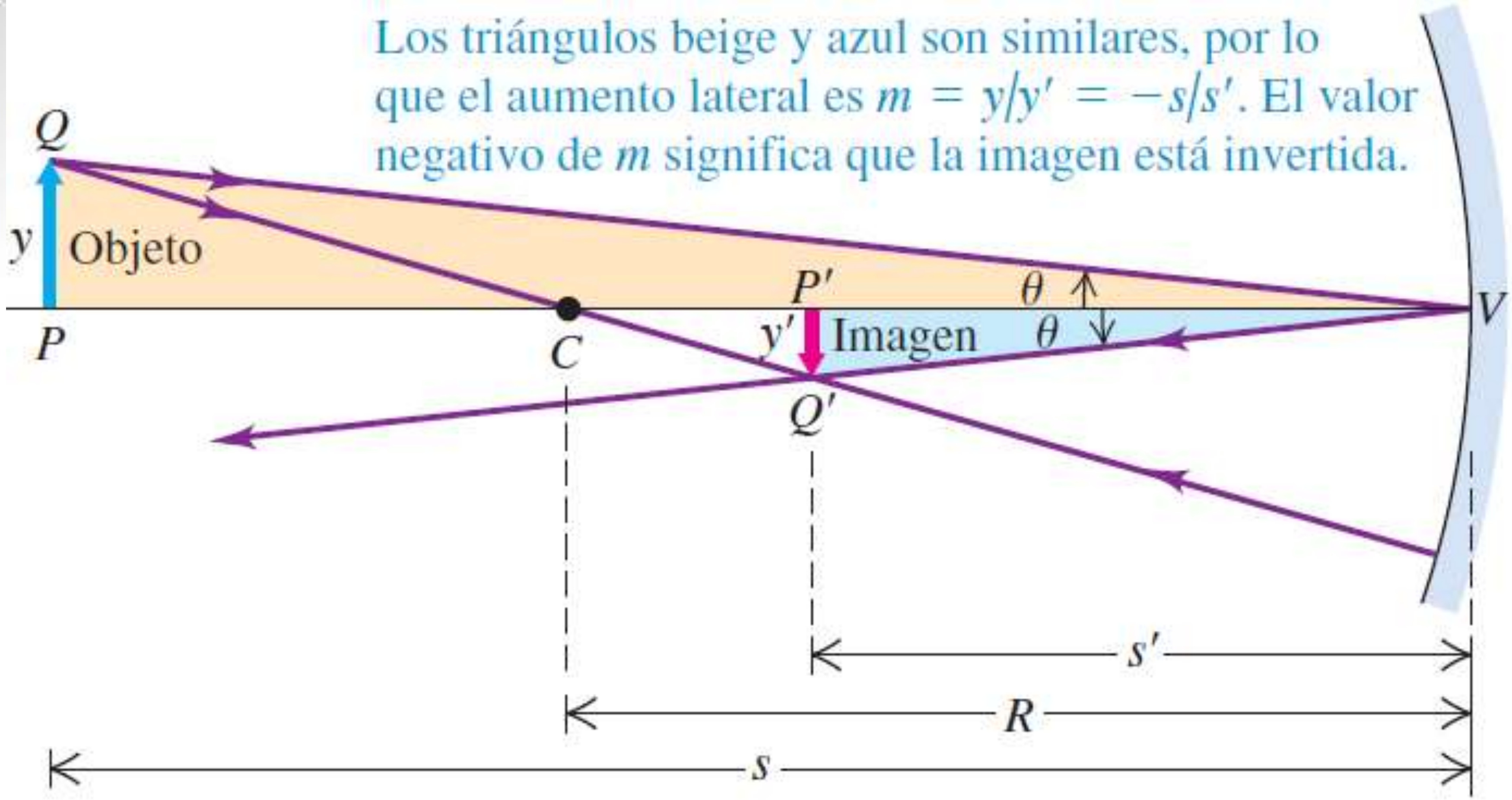
b) Los rayos divergentes del punto focal se reflejan para formar rayos paralelos salientes



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

$$\frac{2}{R} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \qquad \frac{1}{s'} = 0 \qquad s' = \infty$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \qquad \text{(relación objeto-imagen, espejo esférico)}$$



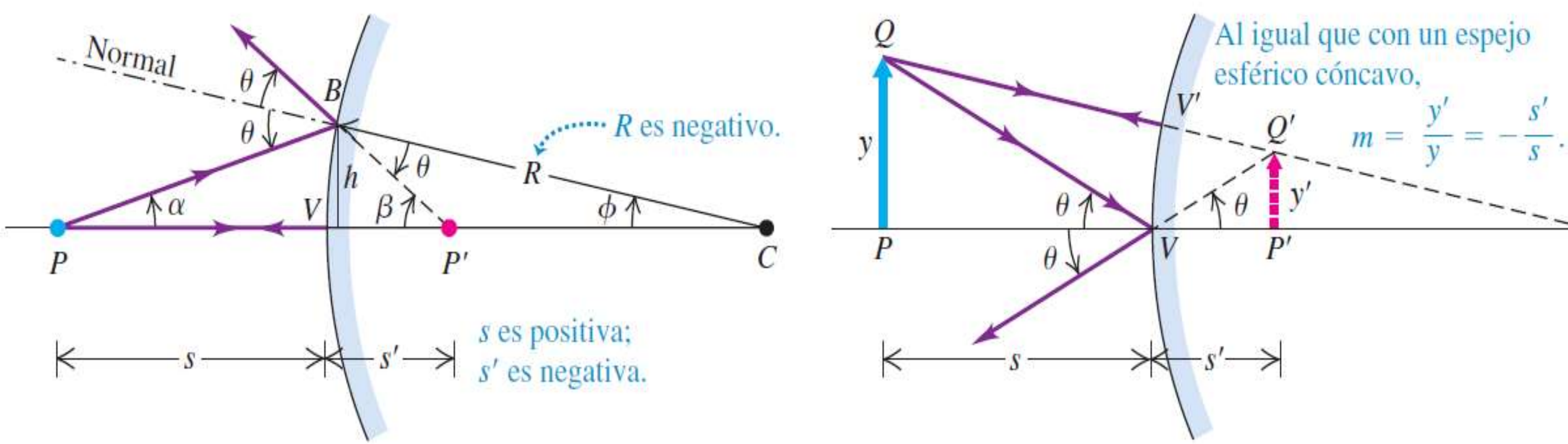
$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s} \qquad \text{(aumento lateral, espejo esférico)}$$

Espejo esférico (convexo)

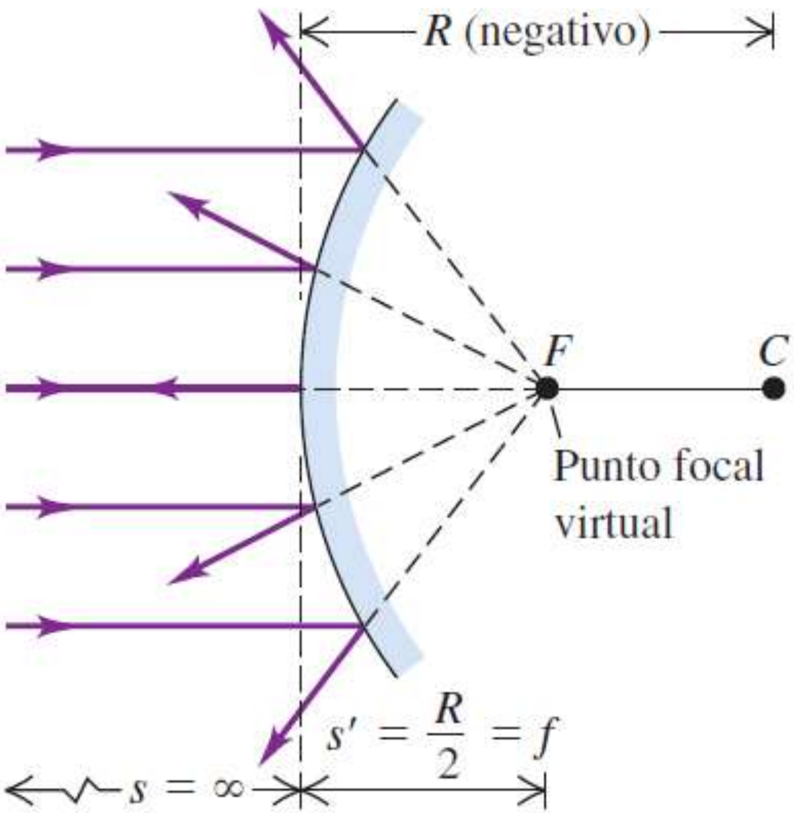
Se puede demostrar que siguen valiendo las mismas ecuaciones que para espejos cóncavos con la correspondiente convención de signos

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

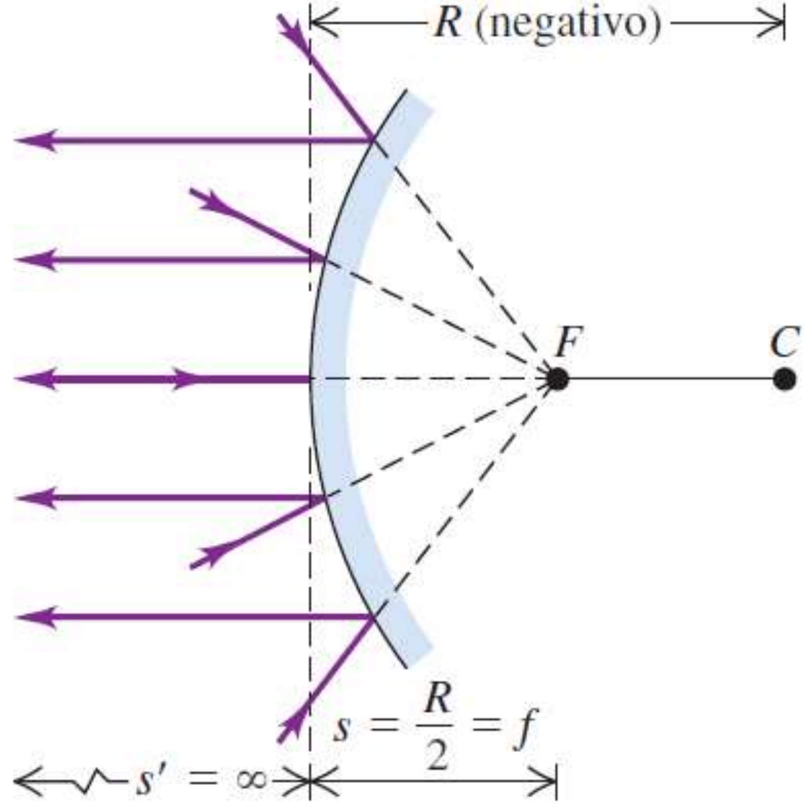
b) Construcción para determinar el aumento de una imagen formada por un espejo convexo



a) Rayos paraxiales que inciden en un espejo esférico convexo divergen a partir de un punto focal virtual

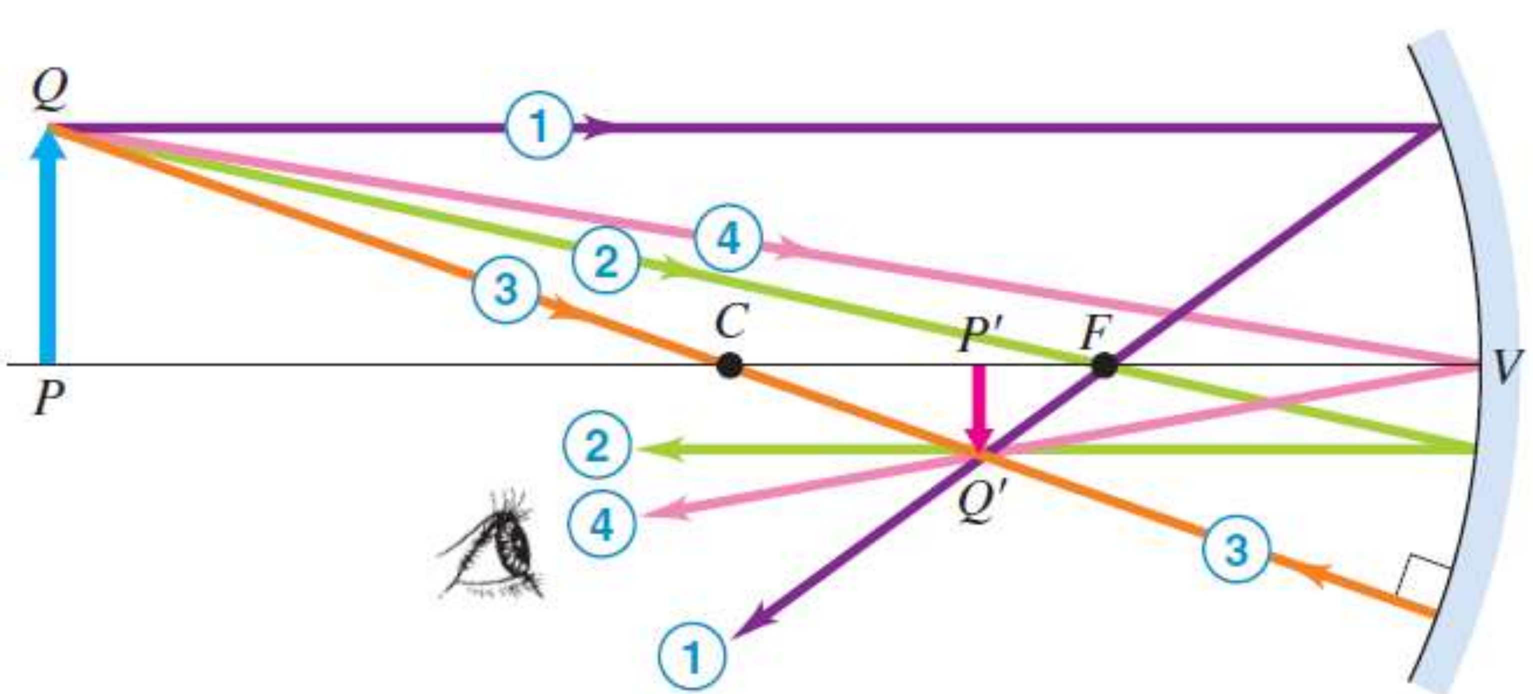


b) Los rayos dirigidos hacia el punto focal virtual son paralelos al eje después de la reflexión



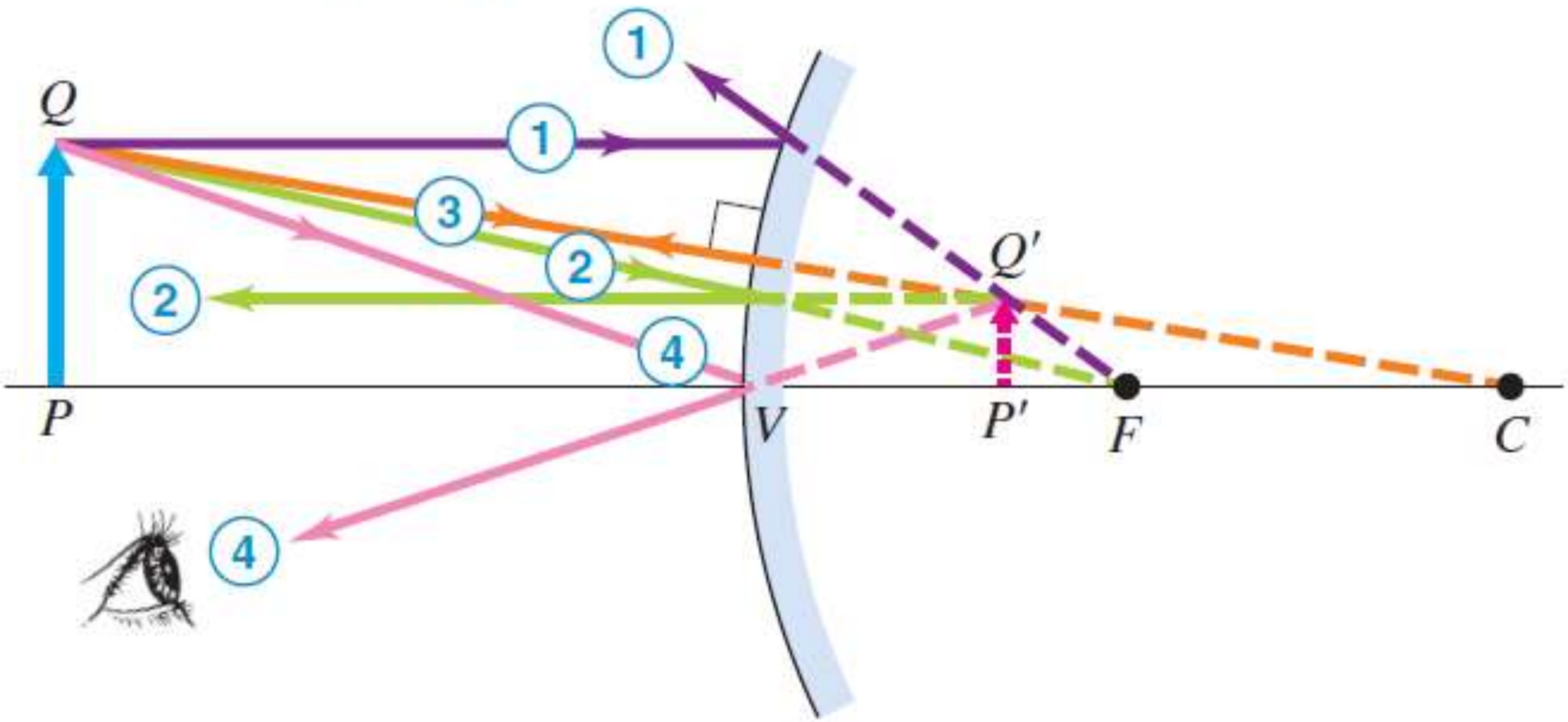
Método gráfico para espejos

a) Rayos principales para un espejo cóncavo



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 normalmente y se refleja por su trayectoria original.
4. El rayo hacia el vértice se refleja simétricamente a través del eje óptico.

b) Rayos principales para un espejo convexo



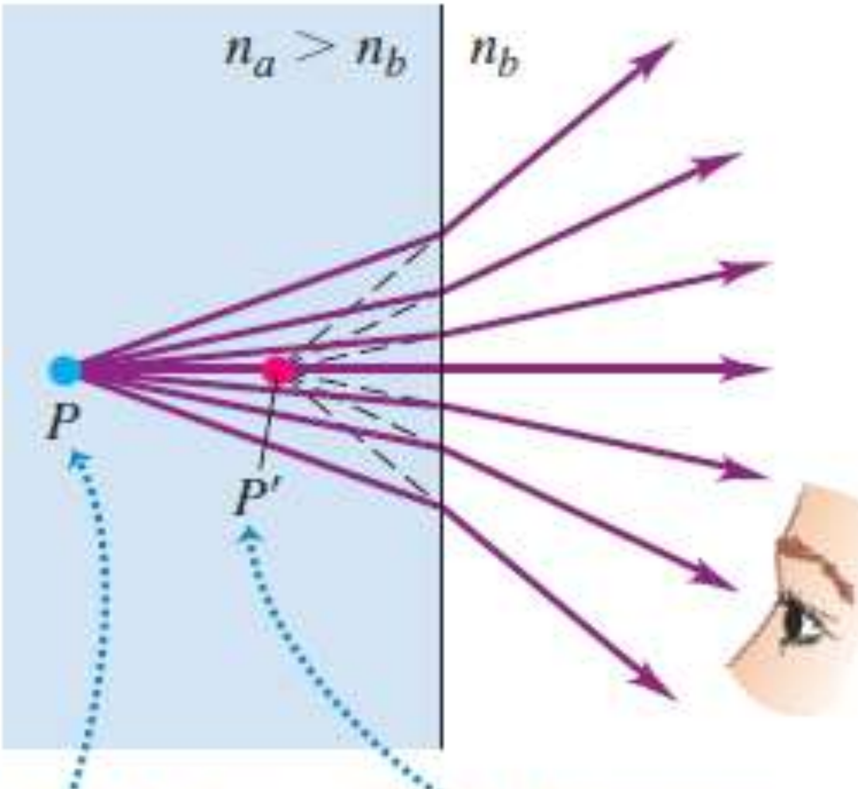
1) El rayo paralelo reflejado parece provenir del punto focal.

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 normalmente y se refleja por su trayectoria original.

4) Como con el espejo cóncavo, el rayo hacia el vértice se refleja simétricamente con el eje óptico.

Cuando $n_a > n_b$, P' está más próximo a la superficie que P; para $n_a < n_b$, se cumple lo opuesto.



Punto de objeto: fuente de los rayos.

Punto de imagen: fuente aparente de los rayos refractados.

Los rayos luminosos provenientes
del objeto situado en el punto *P* se refractan en la interfaz plana.

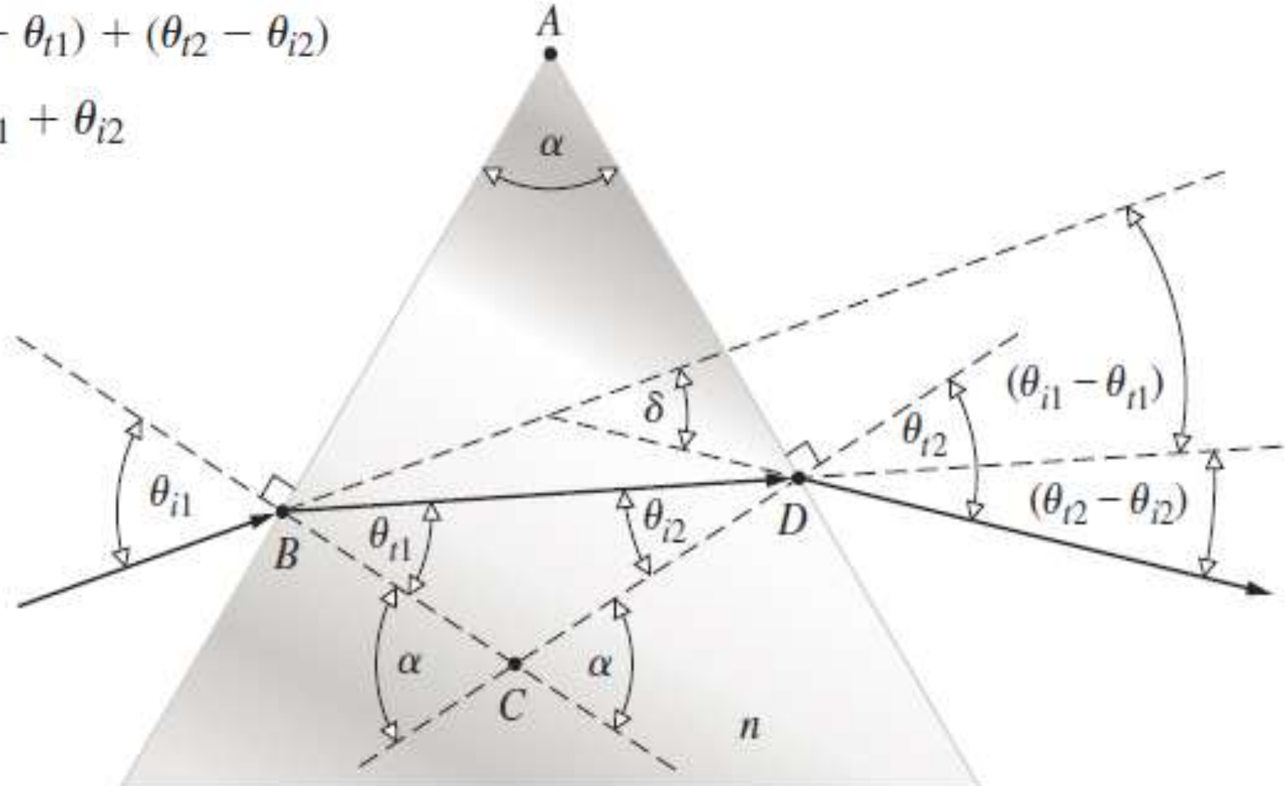
Los rayos refractados que penetran en el ojo se ven como si provinieran del punto de imagen *P*’.

PRISMAS

Desviación total: $\delta = (\theta_{i1} - \theta_{t1}) + (\theta_{t2} - \theta_{i2})$

Del triángulo BCD: $\alpha = \theta_{t1} + \theta_{i2}$

$$\delta = \theta_{i1} + \theta_{t2} - \alpha$$



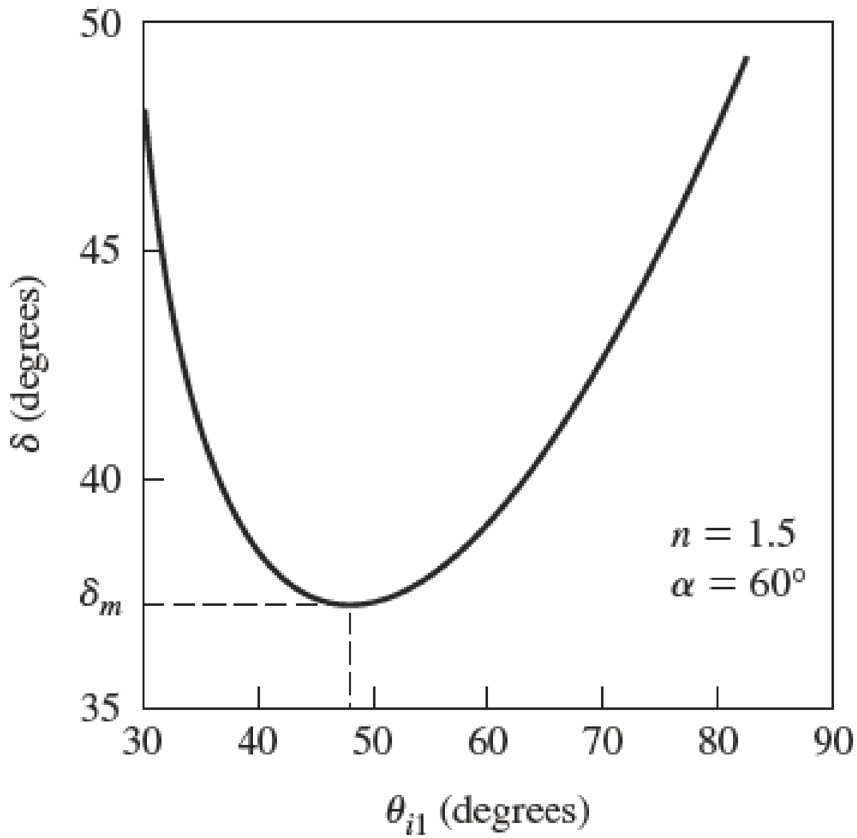
De la ley de Snell

$$\theta_{t2} = \sin^{-1}(n \sin\theta_{i2}) = \sin^{-1}[n \sin(\alpha - \theta_{t1})]$$

$$\theta_{t2} = \sin^{-1}[(\sin\alpha)(n^2 - \sin^2\theta_{i1})^{1/2} - \sin\theta_{i1}\cos\alpha]$$

$$\boxed{\delta = \theta_{i1} + \sin^{-1}[(\sin\alpha)(n^2 - \sin^2\theta_{i1})^{1/2} - \sin\theta_{i1}\cos\alpha] - \alpha}$$

$$\boxed{\delta = \theta_{i1} + \sin^{-1}\left[(\sin\alpha)\left(n^2 - \sin^2\theta_{i1}\right)^{1/2} - \sin\theta_{i1}\cos\alpha\right] - \alpha}$$



Para calcular δ_m usaré deducción por el absurdo: Supongo $\theta_{i1} \neq \theta_{t2}$ y hago el camino reverso por lo que $\delta = \delta_m$; entonces hay dos mínimos. Absurdo:

$$\theta_{i1} = \theta_{t2}$$

$$\alpha = \theta_{t1} + \theta_{i2} \Rightarrow \theta_{t1} = \alpha/2$$

$$\delta = \theta_{i1} + \theta_{t2} - \alpha \Rightarrow \theta_{i1} = (\delta_m + \alpha)/2$$

Y aplicando la Ley de Snell para la superficie de la izquierda

$$\boxed{n = \frac{\sin[(\delta_m + \alpha)/2]}{\sin\alpha/2}}$$

ángulos pequeños

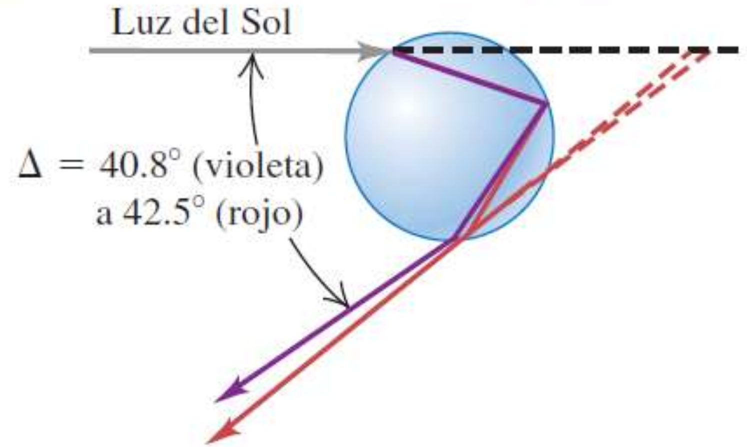
$$\boxed{\delta_m = (n-1)\alpha}$$

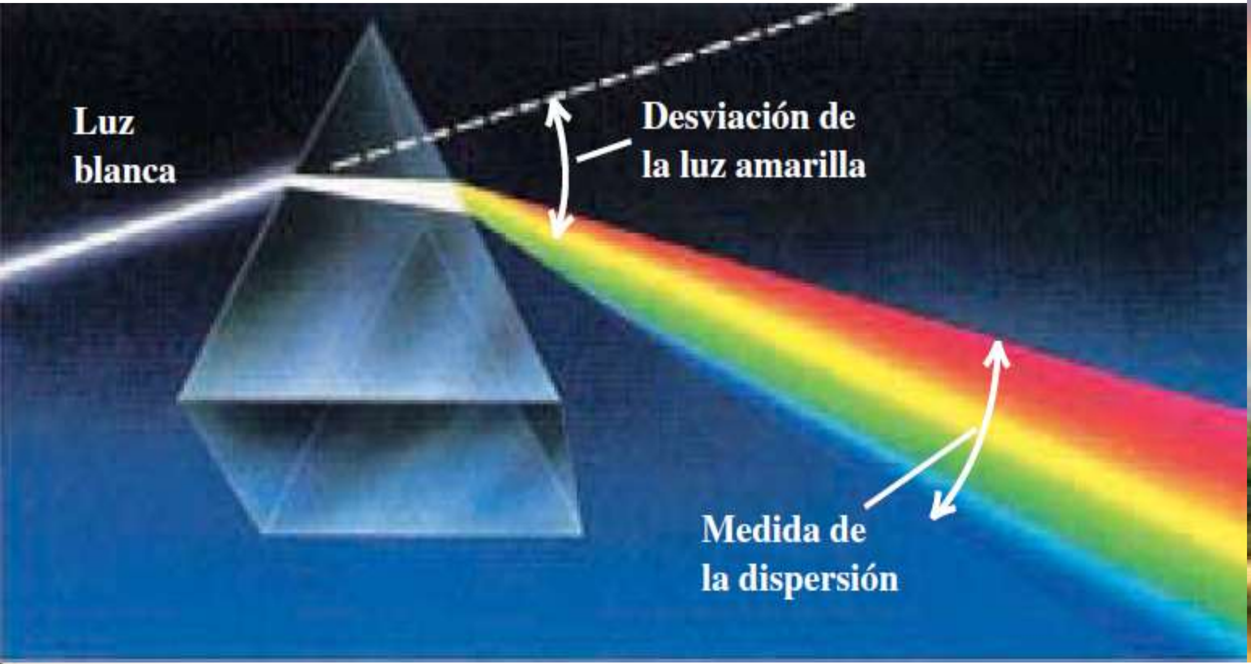
Dispersión

La luz blanca ordinaria es una superposición de ondas con longitudes que se extienden a través de todo el espectro visible.

La rapidez de la luz en una sustancia material es diferente para distintas longitudes de onda. En consecuencia, el índice de refracción de un material depende de la longitud de onda: $n(\lambda)$.

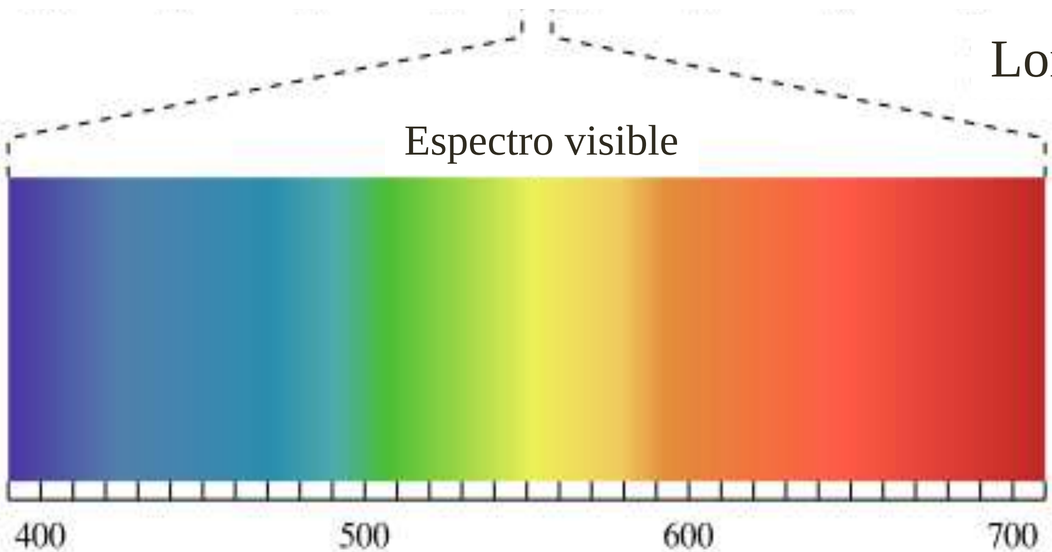
d) Un arco iris primario se forma por los rayos que experimentan dos refracciones y una reflexión interna. El ángulo Δ es mayor para la luz roja que para la violeta.





Espectro electromagnético

Longitud de onda $(\lambda) \rightarrow$



nm

1 nm = 10^{-9} m = 0.000000001 m

$$c = 2.99792458 \times 10^{8}\ \mathrm{m/s}$$