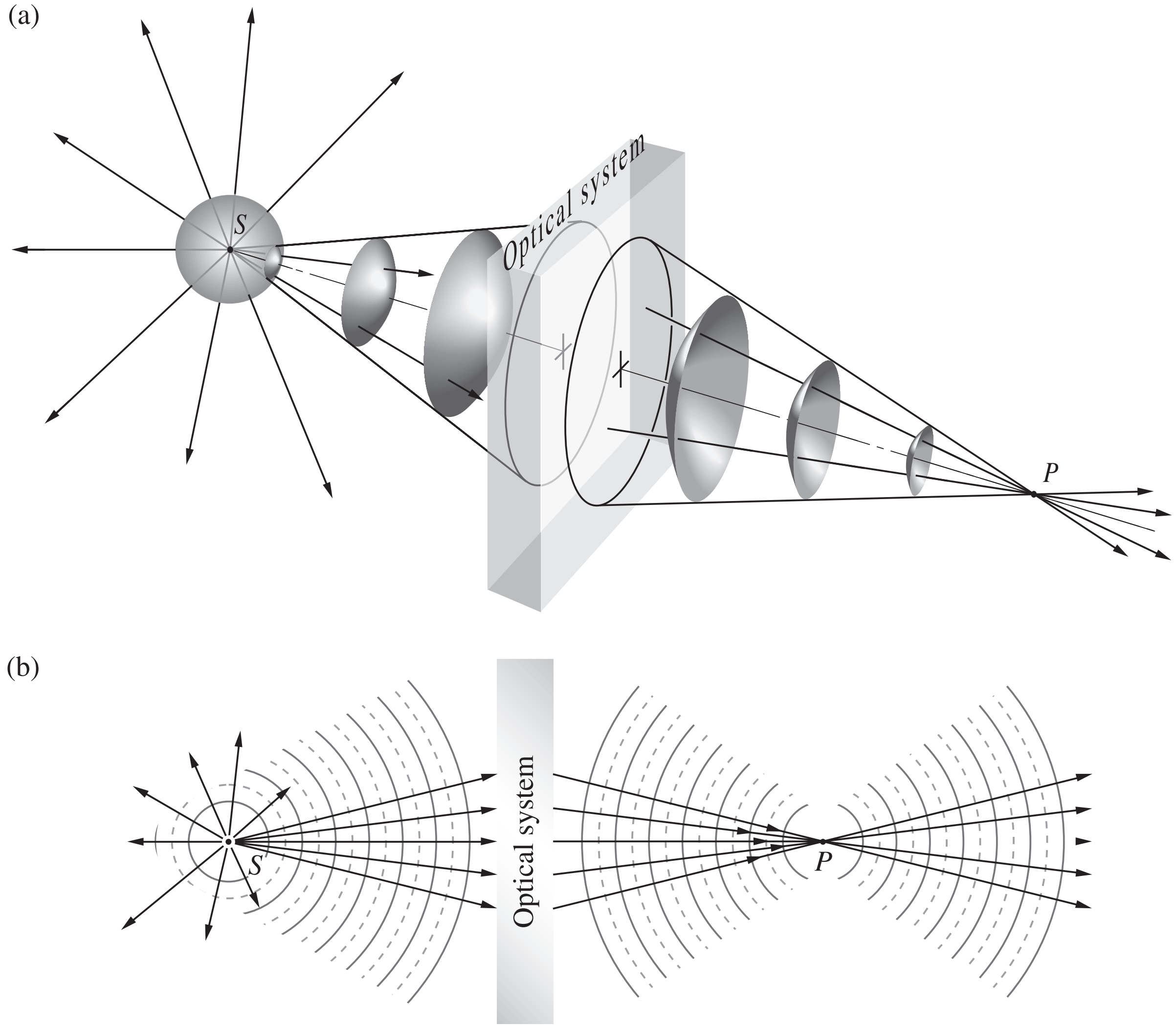
Óptica Geométrica

- Se denomina así al estudio de la propagación de la luz en términos de rayos y no tiene en cuenta aspectos electromagnéticos ni ondulatorios de la luz.
- No incluye fenómenos ondulatorios tales como la difracción, la interferencia o la polarización. En la práctica equivale a trabajar con longitudes de onda muy pequeñas.
- Se trata de un método que simplifica mucho el proceso de hallar la marcha de la luz a través de un sistema de interfases entre medios.

Sistemas ópticos

- Una fuente puntual envía ondas esféricas.
- Eso equivale a rayos radiales.
- Un cono de rayos entra al sistema óptico, el cual hace que los rayos converjan a un punto P.
- Los frentes de ondas se invierten
- Si nada para la luz en P, las ondas o rayos continúan su camino.

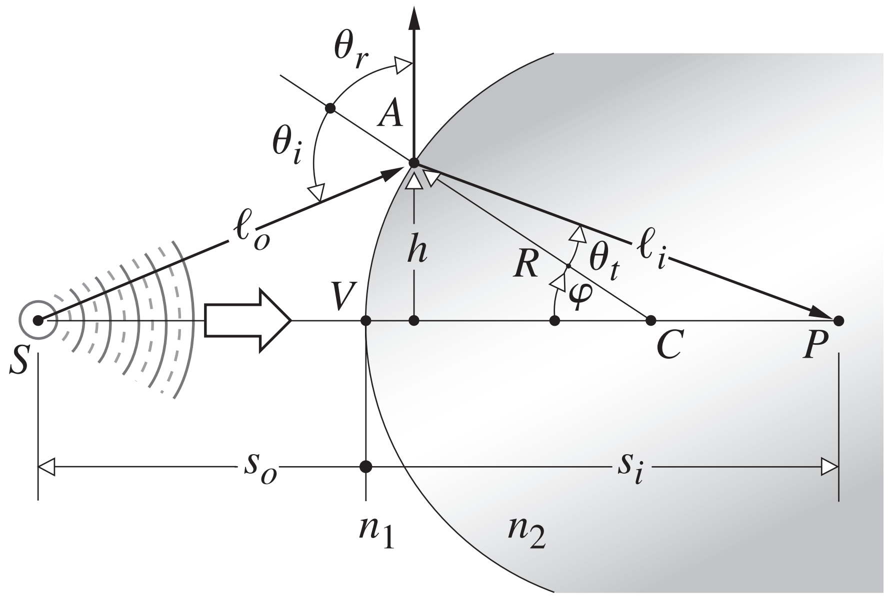


Sistemas ópticos

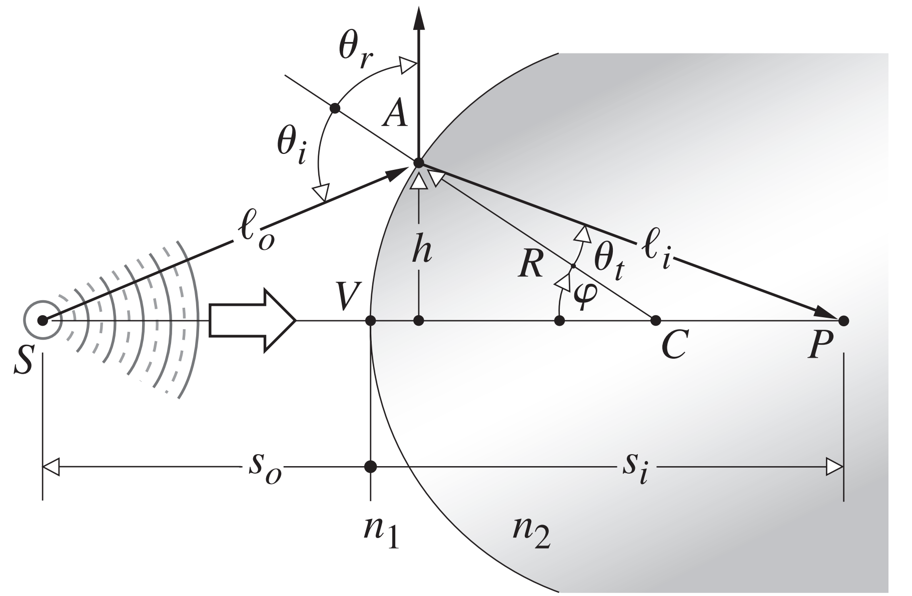
- Dioptras
- Lentes
- Espejos

Superficies esféricas

- Supongamos una fuente de luz que llamamos S desde la que salen rayos de luz.
- S está inmersa en un material de índice n_1.
- Los rayos cruzan una interfase esférica de centro de curvatura C y entran en un medio de índice n_2
- El rayo pasa por el eje de simetría en el punto P.



Superficies esféricas



- La longitud de camino óptico entre S y P es:

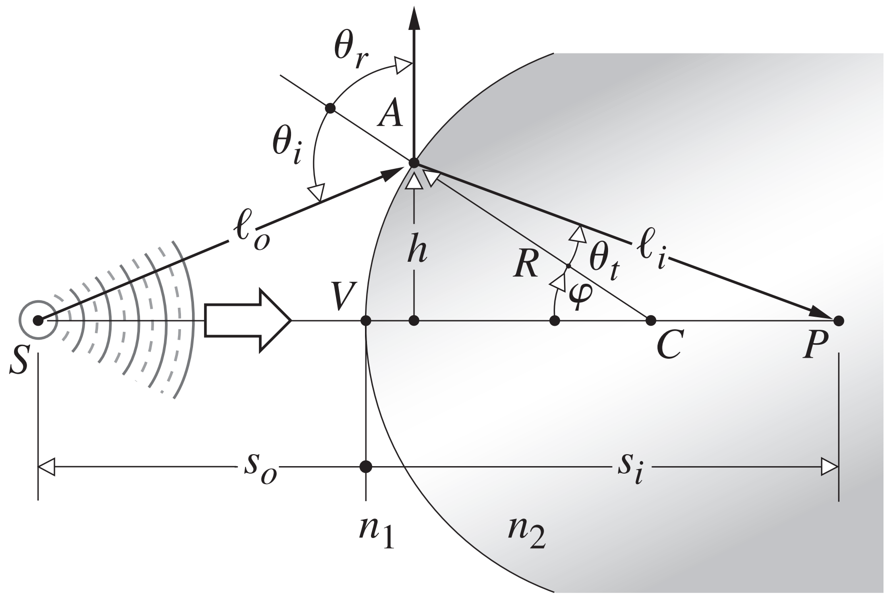
$$OPL = n_1\ell_o + n_2\ell_i$$

- Usando el teorema del coseno en triángulos SAC y APC y recordando que $\cos\varphi = -\cos(180^o - \varphi)$:

$$\ell_o = [R^2 + (s_o + R)^2 - 2R(s_o + R)\cos\varphi]^{1/2}$$

$$\ell_i = [R^2 + (s_i - R)^2 + 2R(s_i - R)\cos\varphi]^{1/2}$$

Superficies esféricas



- Entonces

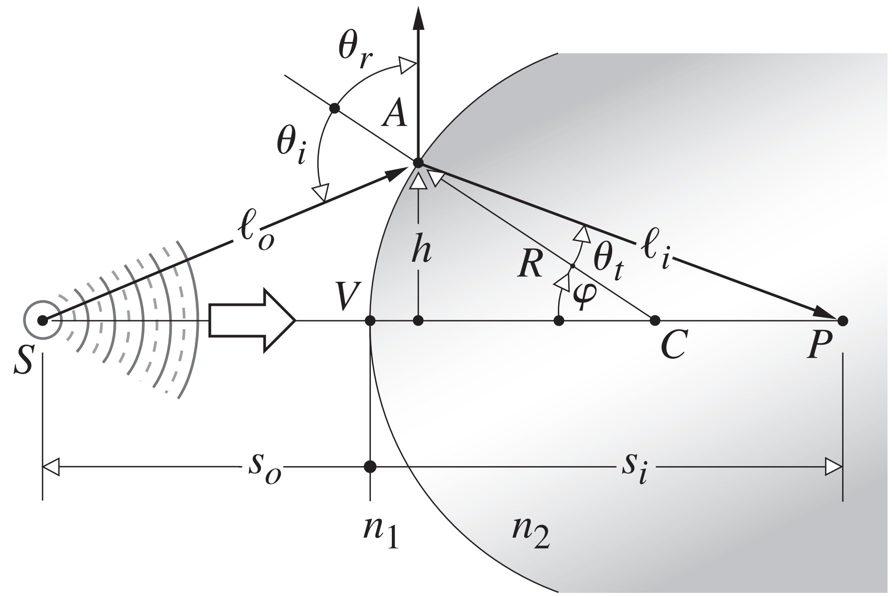
$$OPL = n_1[R^2 + (s_o + R)^2 - 2R(s_o + R)\cos\varphi]^{1/2}$$

$$+ n_2[R^2 + (s_i - R)^2 + 2R(s_i - R)\cos\varphi]^{1/2}$$

- Minimizando el OPL con respecto a φ

$$d(OPL)/d\varphi = 0,$$

Superficies esféricas



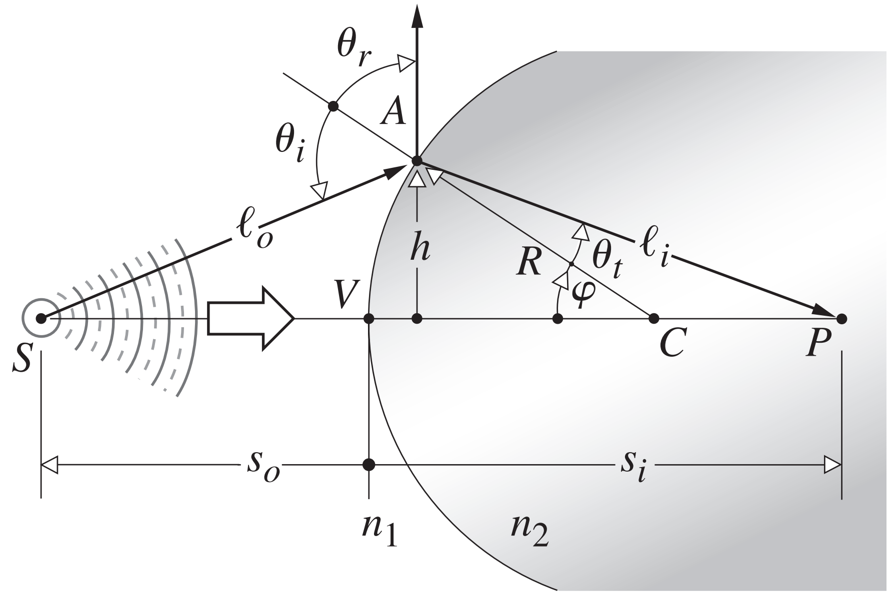
- Tenemos que

$$\frac{n_1 R(s_o + R)\sin\varphi}{2\ell_o} - \frac{n_2 R(s_i - R)\sin\varphi}{2\ell_i} = 0$$

- Con lo cual

$$\frac{n_1}{\ell_o} + \frac{n_2}{\ell_i} = \frac{1}{R}\left(\frac{n_2 s_i}{\ell_i} - \frac{n_1 s_o}{\ell_o}\right)$$

Aproximación paraxial



- Para simplificar las expresiones, vamos a suponer que los rayos son casi paralelos al eje óptico. Esto implica que $\cos\varphi \approx 1$ (φ muy pequeño) y entonces:

$$l_0 \approx s_0 \text{ y } l_i \approx s_i$$

- Con esto, la condición de longitud de camino óptico mínimo nos da:

$$\frac{n_1}{s_o} + \frac{n_2}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Ecuación de la dioptra en aproximación paraxial

Convención de signos para dioptras y lentes delgadas (Hecht)

s_0, f_0	Positivo a la izquierda de V
x_0	Positivo a la izquierda de F_0
s_i, f_i	Positivo a la derecha de V
x_i	Positivo a la derecha de F_i
R	Positivo si C está a la derecha de V
y_0, y_i	Positivo por encima del eje óptico

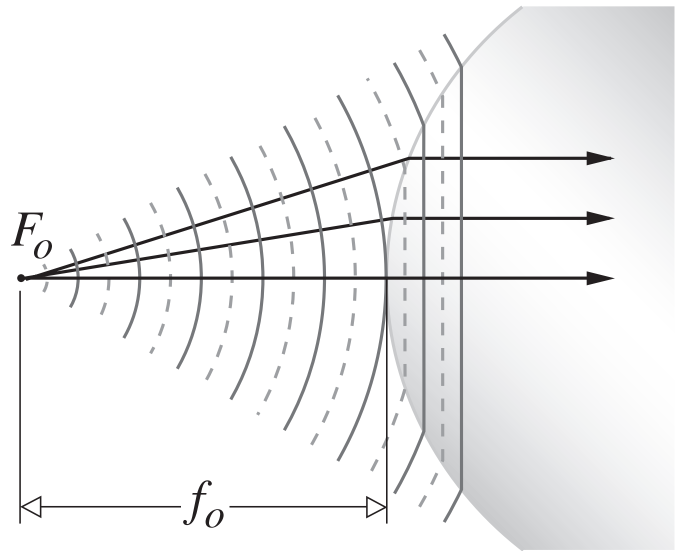
Foco objeto

- Si el punto F_0 tiene imagen en el ∞ tenemos:

$$\frac{n_1}{s_o} + \frac{n_2}{\infty} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

- Entonces f_0 es la distancia focal objeto y se define como:

$$f_o = \frac{n_1}{n_2 - n_1} R$$



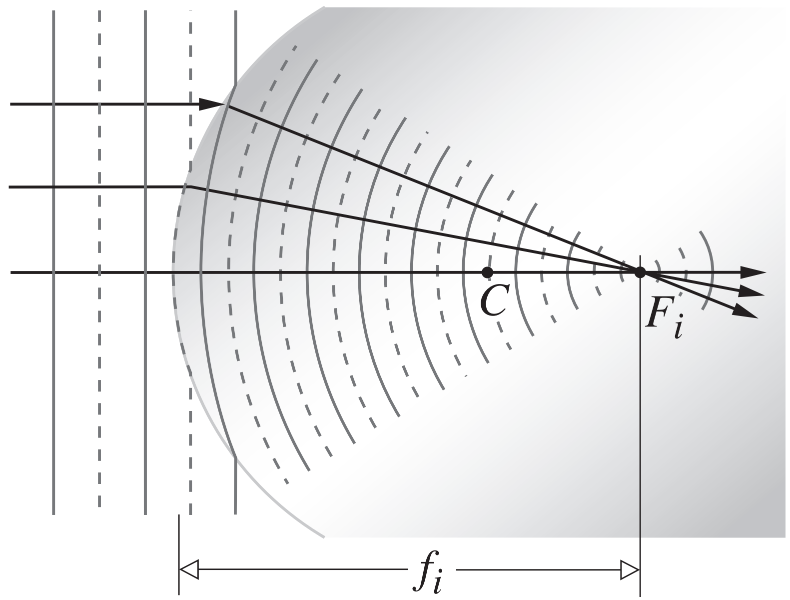
Foco imagen

- Si el punto F_i es la imagen de un un objeto en el ∞ tenemos:

$$\frac{n_1}{\infty} + \frac{n_2}{s_i} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

- Entonces f_i es la distancia focal imagen y se define como:

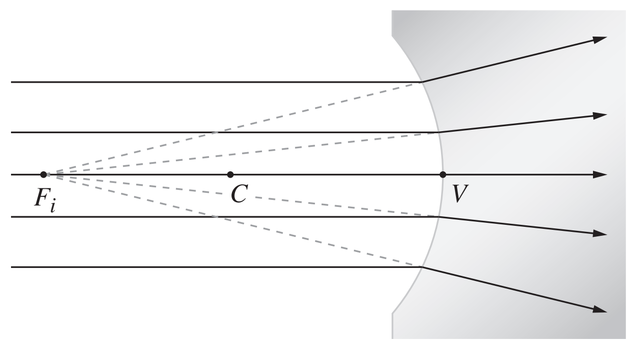
$$f_i = \frac{n_2}{n_2 - n_1} R$$



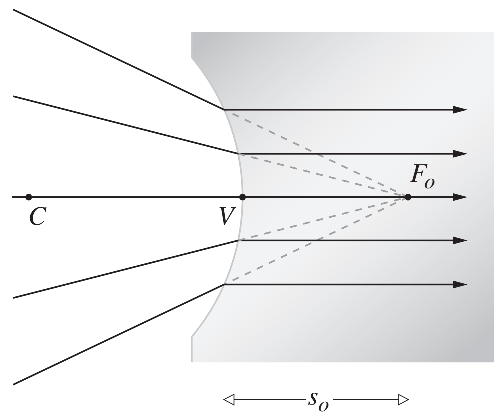
Imágenes y objetos virtuales

- Una imagen es virtual cuando los rayos divergen de ella.
- Análogamente, un objeto es virtual cuando los rayos convergen hacia él.
- Notar que el objeto virtual está en el lado derecho del vértice y por lo tanto va a ser una cantidad negativa

Imagen virtual



Objeto virtual



Lentes delgadas

- Lentes: elementos de al menos dos superficies refractantes en las que al menos una es curva.

- Vamos a concentrarnos en lentes simples (un solo elemento)

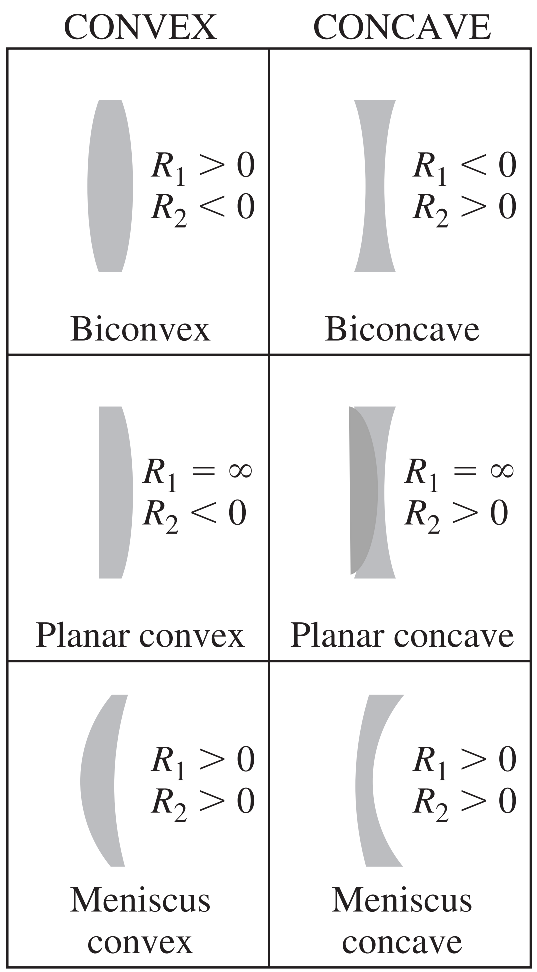
- De espesor despreciable

- Supondremos que el índice de refracción de la lente es mayor que el del medio que la circunda

Tipos de lentes delgadas

Convexa,
Convergente
o
Positiva

Cóncava
Divergente
o
Negativa

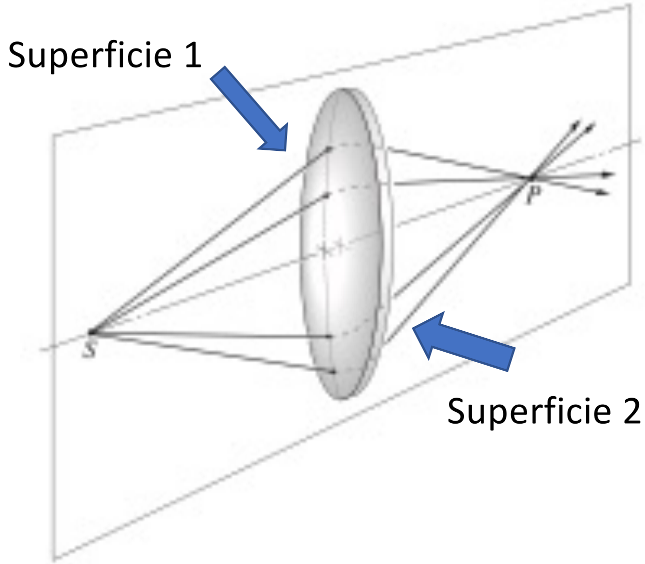


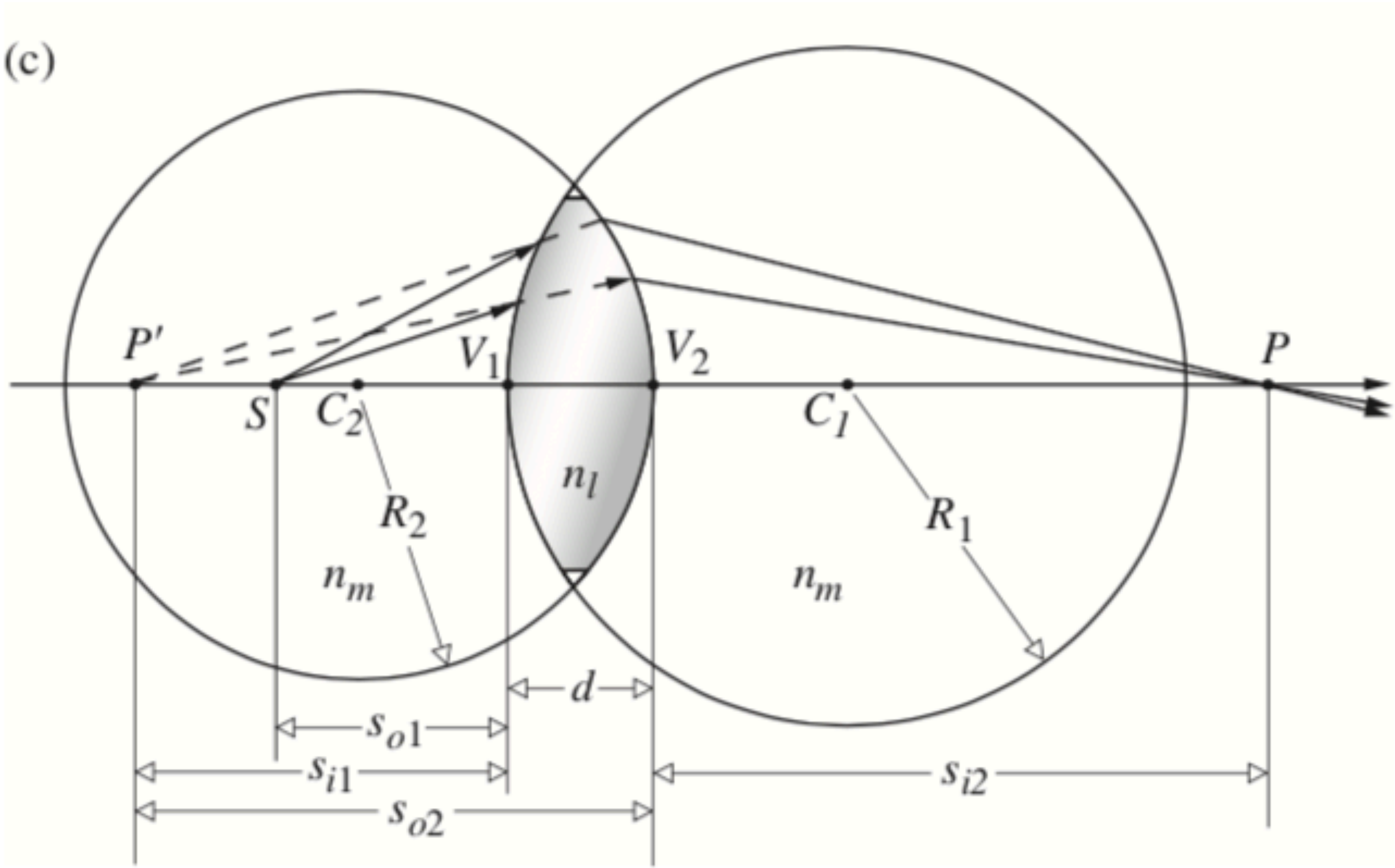
Ecuación de lentes delgadas

- Vamos a pensar una lente como el conjunto de dos dioptras. Para los puntos conjugados S y P del sistema, la superficie 1 estará frente a S y la 2 frente a P.
- Supongamos que el índice de la lente es n_l y que está inmersa en un medio n_m :
- Para la superficie 1 de radio R_1 , la ecuación de la dioptra resulta:

$$\frac{n_m}{s_{o1}} + \frac{n_l}{s_{i1}} = \frac{n_l - n_m}{R_1}$$

Puntos conjugados en una lente



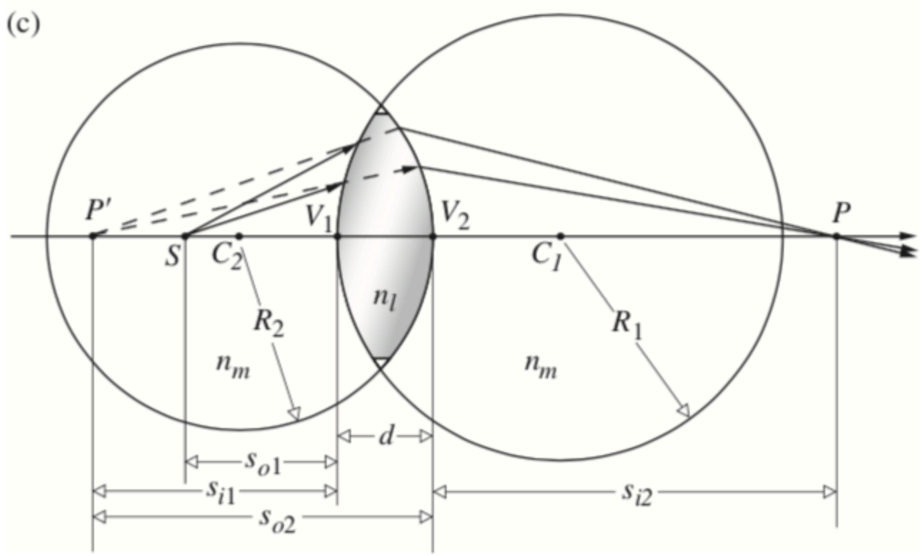


(c)
P′
S
C2
V1
V2
C1
P
R2
R1
n_l
n_m
n_m
d
s_o1
s_i1
s_o2
s_i2

Ecuación de lentes delgadas

- Es claro que la superficie 2 va a 'ver rayos provenientes' de la imagen de la superficie 1.
- Los rayos que llegan a la superficie 2 están en un medio de índice n_l, y viven en el espacio objeto de ella.
- Tomando como d la distancia entre las superficies, colocamos como objeto de la superficie 2 la imagen de la superficie 1. En términos de distancia esto es:

$$|s_{o2}| = |s_{i1}| + d$$



Ecuación de lentes delgadas

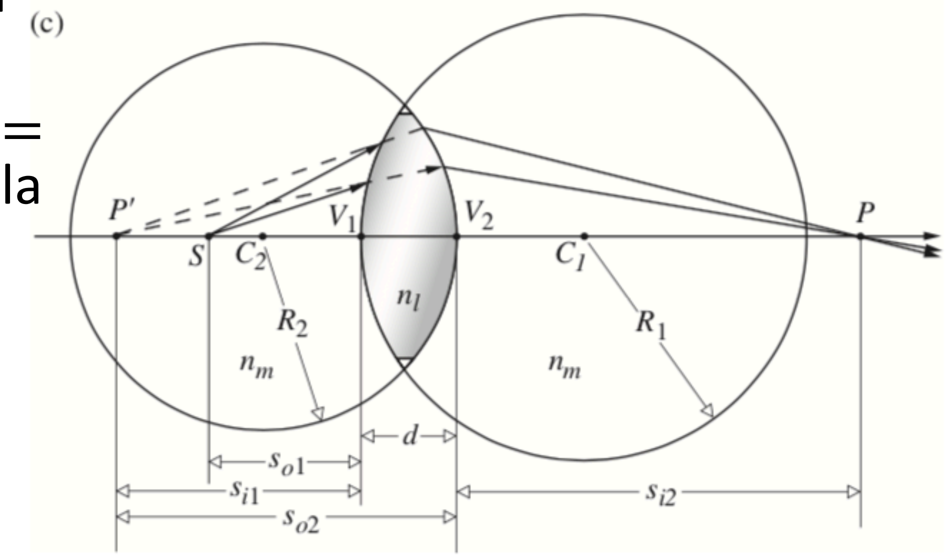
- Sabemos que $|s_{o2}| = s_{o2} > 0$ pues está a la izquierda del vértice de la superficie 2.
- Por otro lado, $s_{i1} < 0$ y por lo tanto $|s_{i1}| = -s_{i1}$ pues está la izquierda del vértice de la superficie 2. Entonces:

$$s_{o2} = -s_{i1} + d$$

- En la superficie 2 entonces:

$$\frac{n_l}{-s_{i1} + d} + \frac{n_m}{s_{i2}} = \frac{n_m - n_l}{R_2}$$

- Aquí $n_l > n_m$ y $R_2 < 0$ y por lo tanto el segundo miembro es positivo



Ecuación de lentes delgadas

- Entonces sumando

$$\frac{n_m}{s_{o1}}+\frac{n_l}{s_{i1}}=\frac{n_l-n_m}{R_1} \quad \text{y} \quad \frac{n_l}{-s_{i1}+d}+\frac{n_m}{s_{i2}}=\frac{n_m-n_l}{R_2}$$

Llegamos a

$$\frac{n_m}{s_{o1}}+\frac{n_m}{s_{i2}}=(n_l-n_m)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)+\frac{n_l d}{(s_{i1}-d)s_{i1}}$$

- Esto se simplifica si consideramos una lente delgada ($d \rightarrow 0$) y si suponemos que el medio en el que está la lente es el aire ($n_m = 1$):

$$\frac{1}{s_{o1}}+\frac{1}{s_{i2}}=(n_l-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

Formula del fabricante de lentes

Ecuación de lentes delgadas

- Como $d = 0$ los vértices coinciden entonces:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = (n_l - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

- Como con la dioptra, tenemos que

$$\lim_{s_o \to \infty} s_i = f_i = \lim_{s_i \to \infty} s_o = f_o = (n_l - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

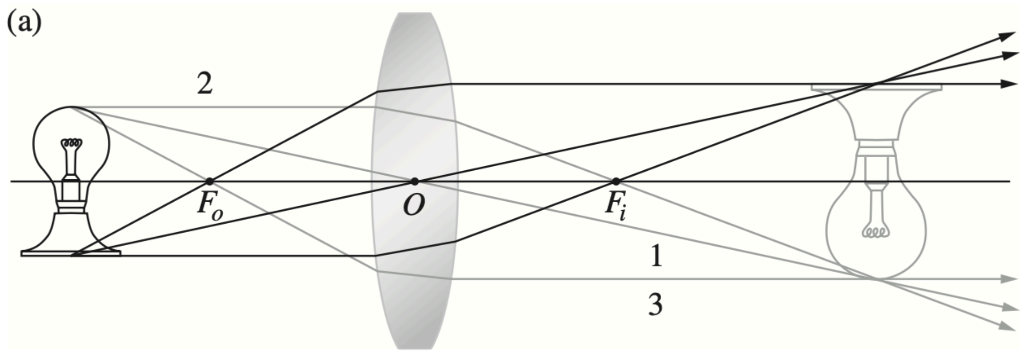
- Es evidente que para una lente delgada $f_i = f_o = f$ entonces:

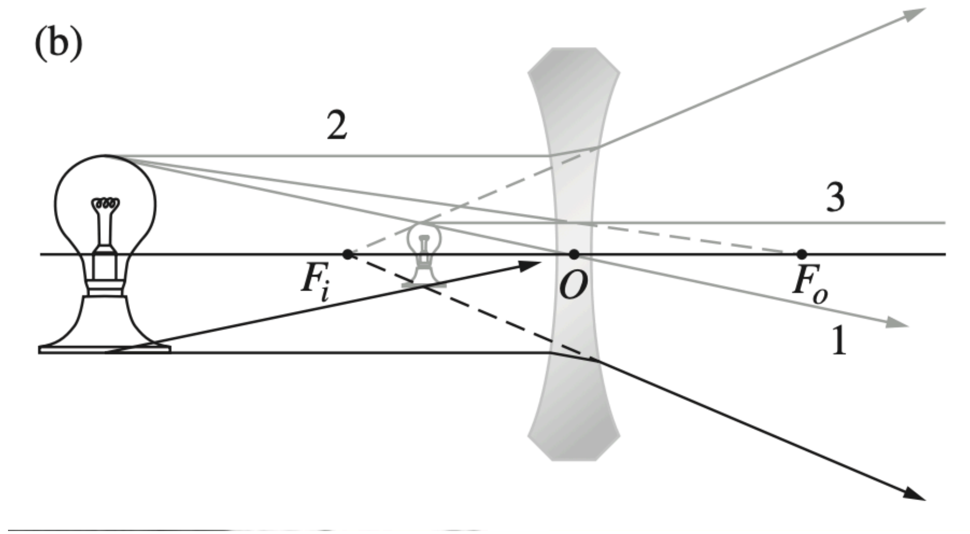
$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}$$

Ecuación de las lentes delgadas

Trazado de rayos

- Para formar la imagen de un objeto extenso se considera que cada punto que lo conforma emite luz.
- Se escogen 3 rayos principales para ubicar la imagen de cada punto del objeto.
  - Rayo 1: pasa por el vértice de la lente sin desviarse
  - Rayo 2: paralelo al eje en el espacio objeto, sale pasando por o viniendo del foco imagen.
  - Rayo 3 : pasa por o va hacia el foco objeto, sale paralelo al eje en el espacio imagen.

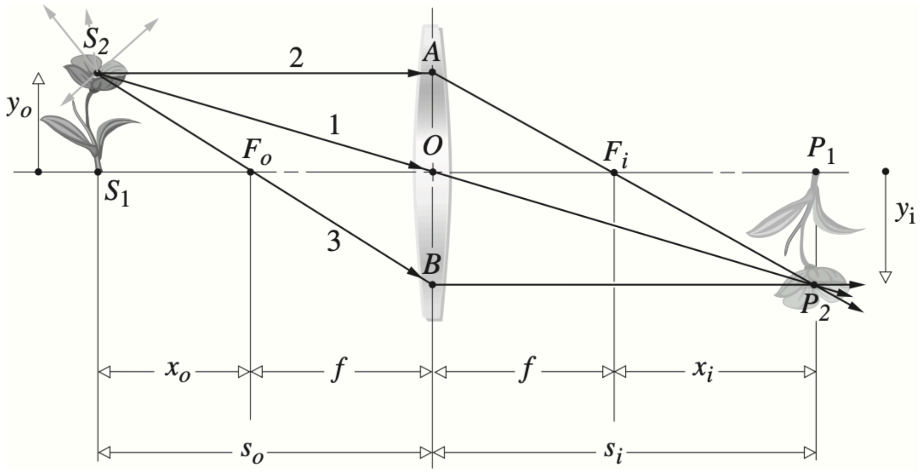




Aumento lateral

- Para medir el tamaño de una imagen respecto a la del objeto.
- Las distancias transversales por encima del eje óptico se toman positivas, y negativas por debajo.
- En la figura $y_o > 0$ y $y_i < 0$ (invertida).
- Los triángulos AOF_i y $P_2P_1F_i$ son similares. Entonces:

$$\frac{y_o}{|y_i|} = \frac{f}{(s_i - f)}$$



Aumento lateral

- De la misma manera S_2S_1O y P_2P_1O también son similares. Entonces:

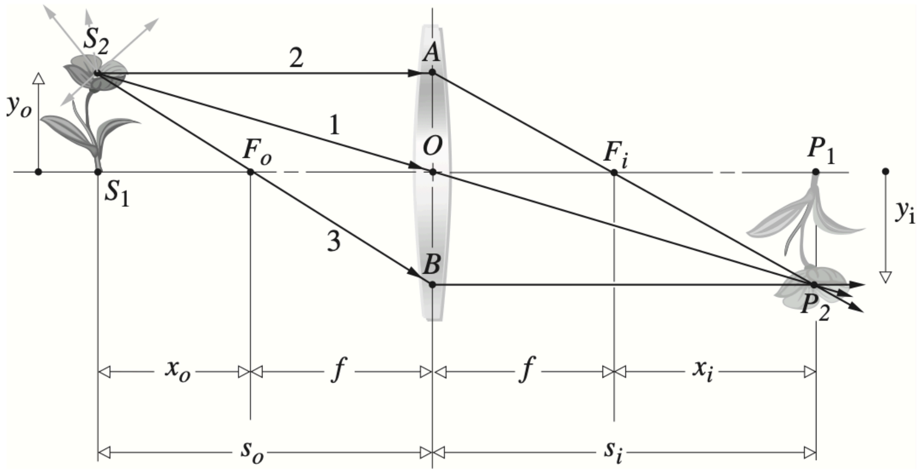
$$\frac{y_o}{|y_i|} = \frac{s_o}{s_i}$$

- Donde todas las cantidades son positiva excepto y_i. Entonces

$$\frac{y_o}{y_i} = -\frac{s_o}{s_i}$$

- El aumento lateral $M_T$se define como:

$$M_T = \frac{y_i}{y_o} = -\frac{s_i}{s_o}$$



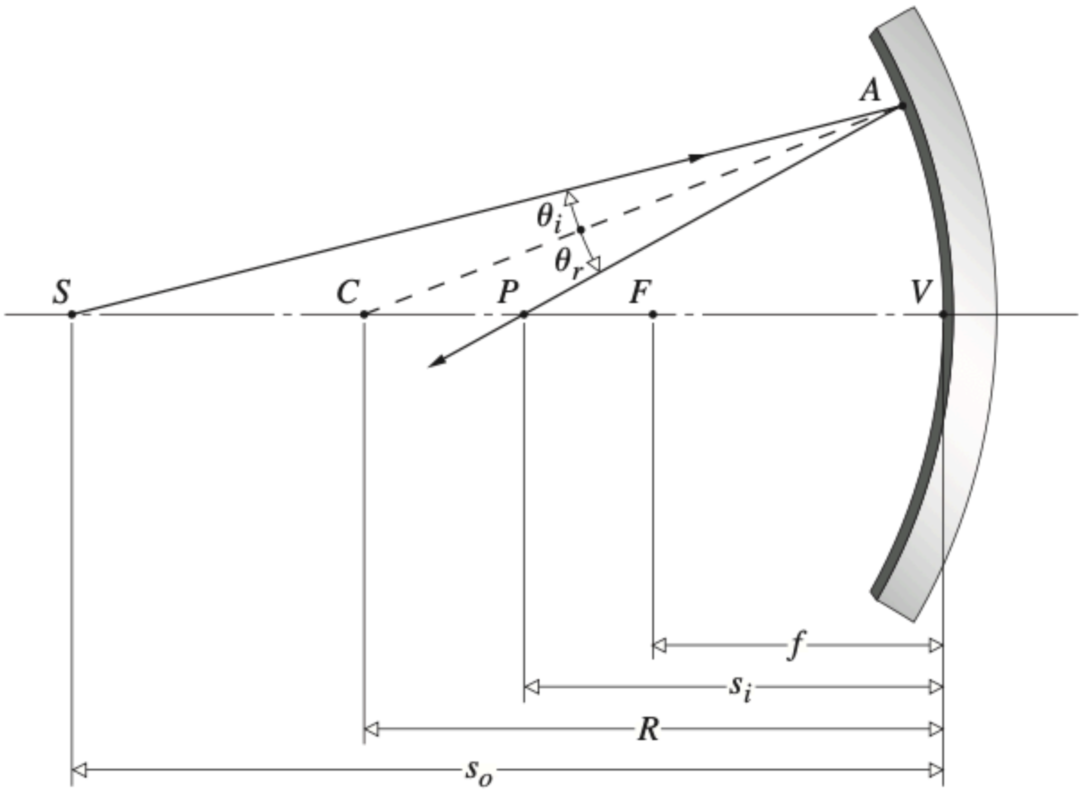
Espejos

- De la figura tenemos

$$\frac{\overline{SC}}{\overline{SA}} = \frac{\overline{CP}}{\overline{PA}}$$

$$\overline{SC} = s_o - |R| \text{ y } \overline{CP} = |R| - s_i$$

$$\overline{SC} = s_o + R \text{ y } \overline{CP} = -(s_i + R\,)$$



Espejos

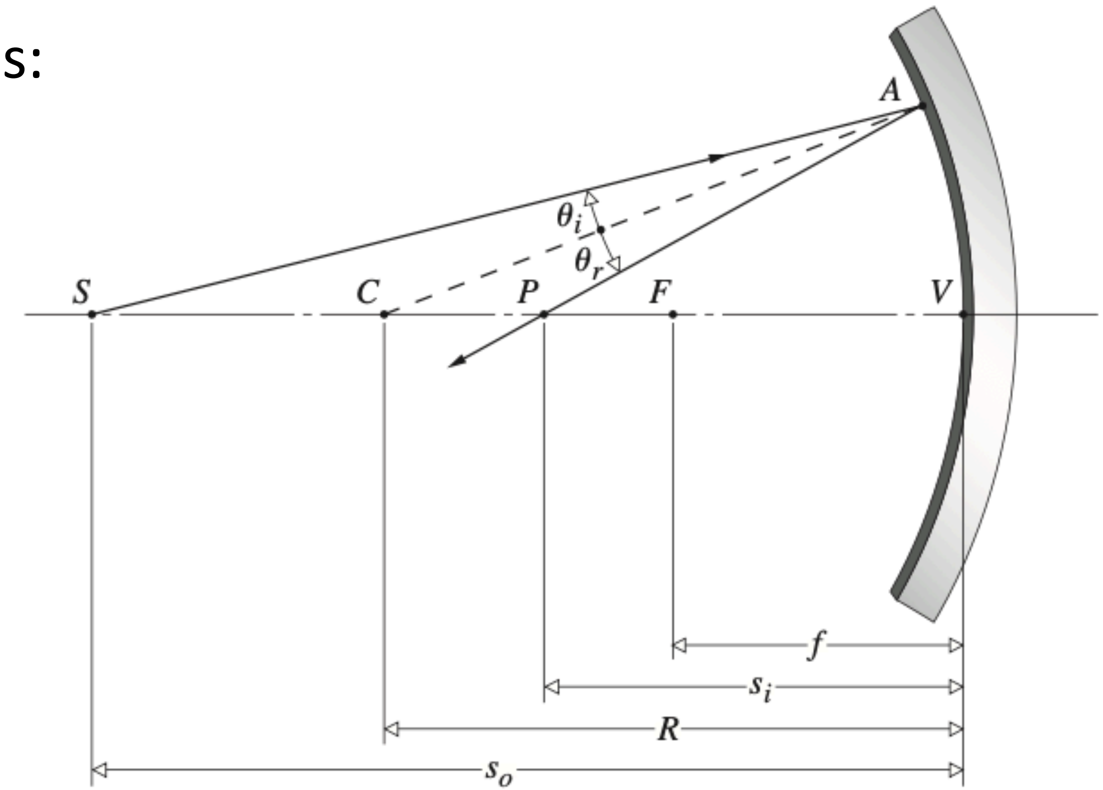
- En aproximación paraxial tenemos:

$$\overline{SC} \approx s_o \, , \overline{PA} \approx s_i$$

- Entonces

$$\frac{s_o + R}{s_o} = -\frac{s_i + R}{s_i}$$

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = -\frac{2}{R}$$



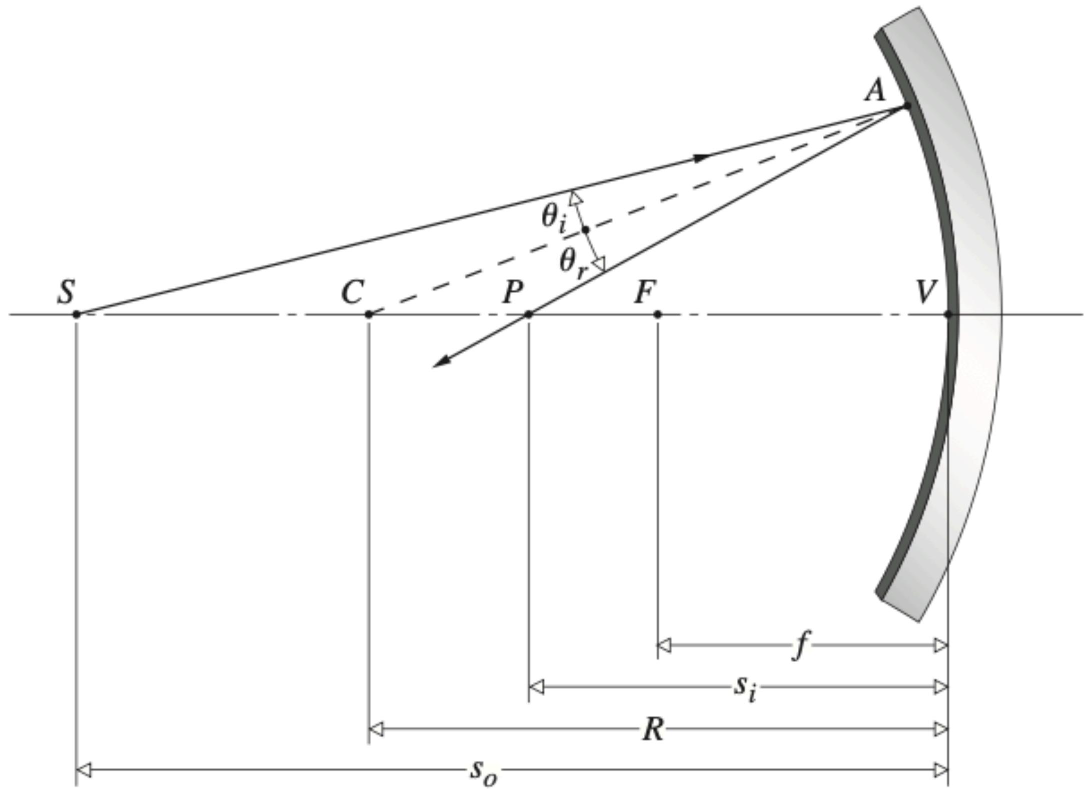
Espejos

- Como:

$$f_o = f_i = -\frac{R}{2}$$

- Entonces:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}$$



Espejos

TABLE 5.4 Sign Convention for Spherical Mirrors

Quantity	Sign +	Sign −
s_o	Left of V, real object	Right of V, virtual object
s_i	Left of V, real image	Right of V, virtual image
f	Concave mirror	Convex mirror
R	C right of V, convex	C left of V, concave
y_o	Above axis, erect object	Below axis, inverted object
y_i	Above axis, erect image	Below axis, inverted image

Espejos

TABLE 5.5 Images of Real Objects Formed by Spherical Mirrors

Concave				
Object	**Image**			
Location	Type	Location	Orientation	Relative Size
$\infty > s_o > 2f$	Real	$f < s_i < 2f$	Inverted	Minified
$s_o = 2f$	Real	$s_i = 2f$	Inverted	Same size
$f < s_o < 2f$	Real	$\infty > s_i > 2f$	Inverted	Magnified
$s_o = f$		$\pm\infty$		
$s_o < f$	Virtual	$\lvert s_i \rvert > s_o$	Erect	Magnified

Convex				
Object	**Image**			
Location	Type	Location	Orientation	Relative Size
Anywhere	Virtual	$\lvert s_i \rvert < \lvert f \rvert$, $s_o > \lvert s_i \rvert$	Erect	Minified