

TEMA 11

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

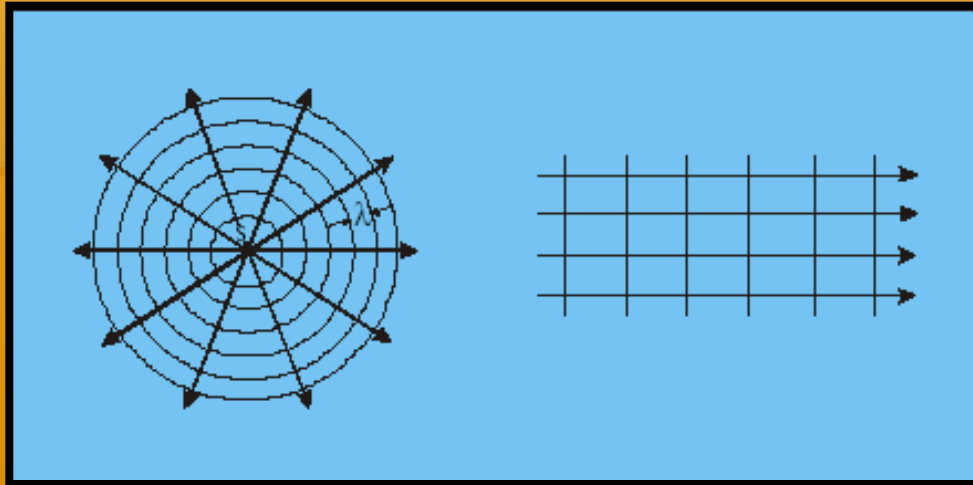
Objetivos específicos

Que el alumno logre:

- **Diferenciar los fenómenos de reflexión y refracción.**
- **Aplicar correctamente las leyes que regulan estos fenómenos.**
- **Reconocer la utilidad de los distintos tipos de dioptras.**
- **Obtener gráfica y analíticamente la imagen de un objeto formada por una dioptra.**
- **Describir correctamente la naturaleza de una imagen obtenida.**

El rayo

- El concepto fundamental de la óptica geométrica es el **rayo**, el cual puede ser definido como la trayectoria a lo largo de la cual se propaga la onda de luz.



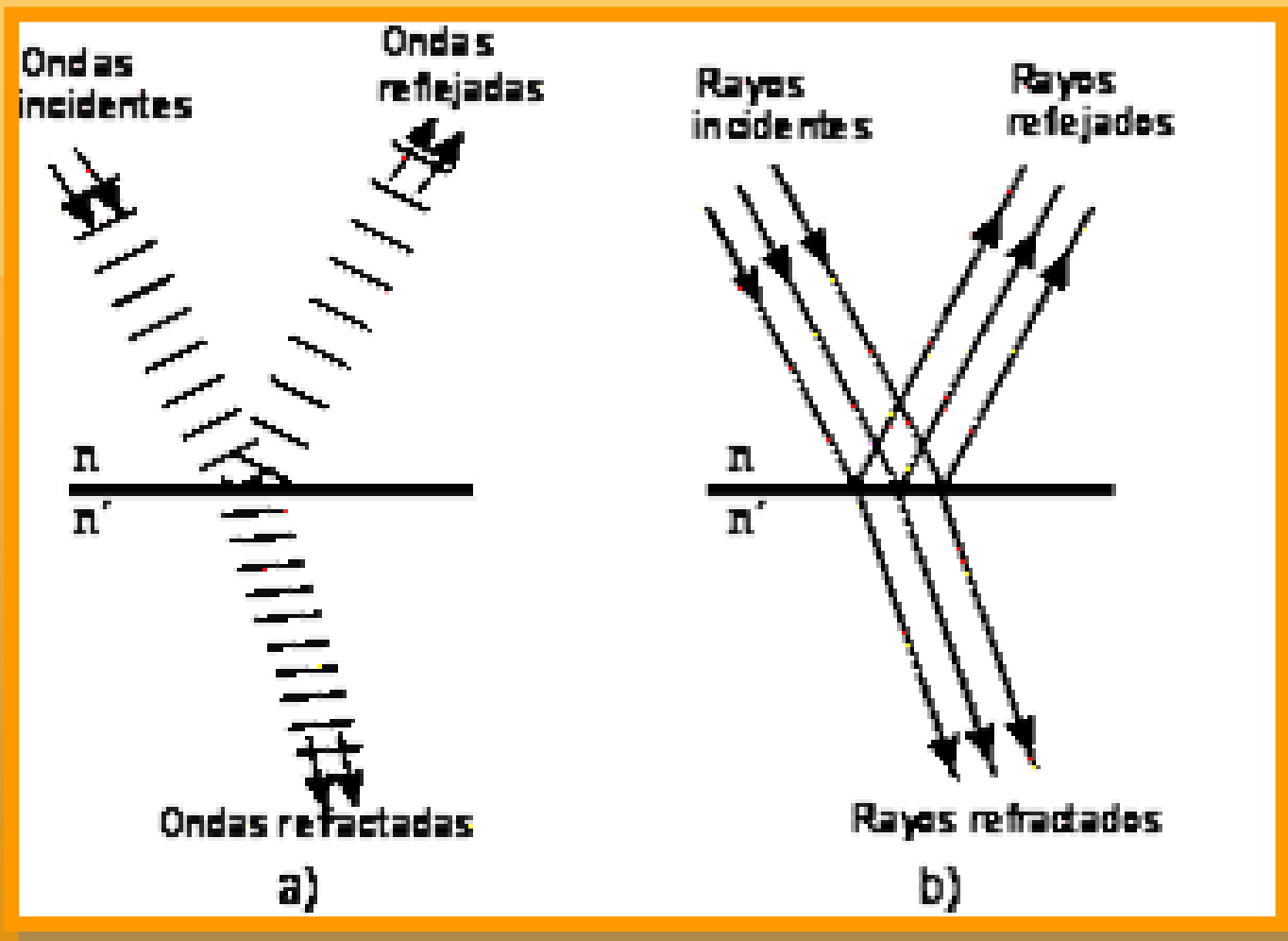
Leyes de la Óptica Geométrica

- **En un medio homogéneo e isótropo las trayectorias de la luz son rectilíneas.**
- **Reversibilidad de las trayectorias luminosas.**
- **La trayectoria de un rayo luminoso de un punto a otro es la correspondiente al tiempo mínimo.(Principio de Fermat)**
- **La ley de reflexión**
- **La ley de refracción.**

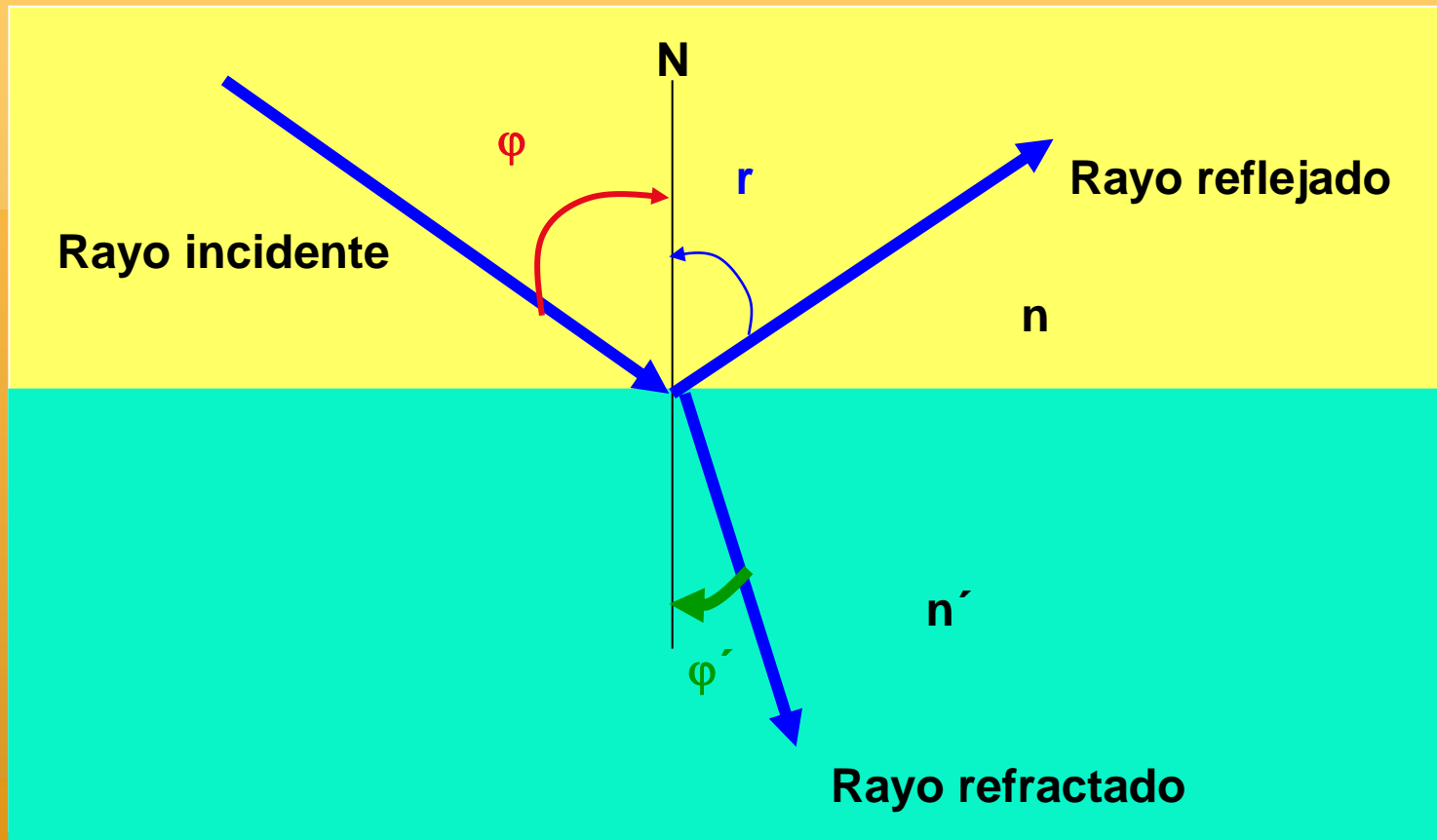
Principio de Huygens

- Todos los puntos de un frente de onda se pueden considerar como centros emisores de ondas esféricas secundarias
- Después de un tiempo t la nueva posición del frente de ondas será la superficie tangente a esas ondas secundarias.

Reflexión y refracción de la luz en superficies planas



http://colos.fcu.um.es/LVE/experimentos_virtuales/optica/HUYGENS/Huygens.htm



$$n < n'$$

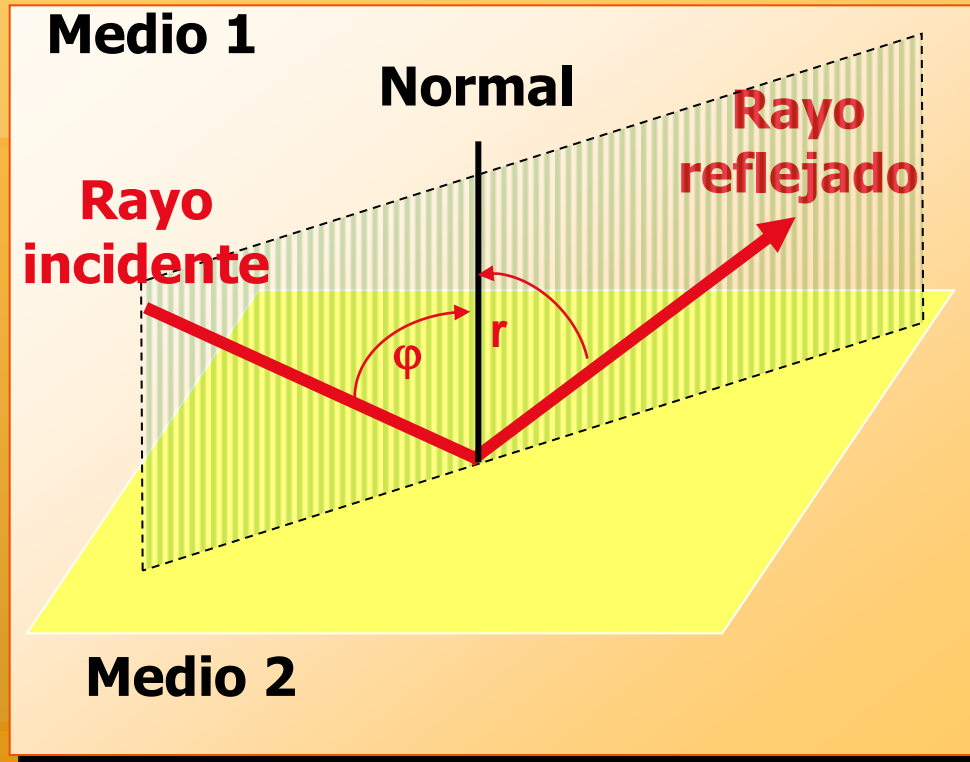
Reflexión en superficies planas

Ondas incidentes



www.todo-argentina.net (c)

1ª Ley de la Reflexión



La normal a la superficie de incidencia, el rayo incidente y el rayo reflejado están en el mismo plano

2ª Ley de la reflexión

2ª Lei da Reflexão

- El ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son iguales.

Espejos planos

Espelho Plano

A vertical black line is drawn on the white background, representing a plane mirror. It is positioned to the left of the text 'Espelho Plano'.



Formación de imagen puntual en espejo plano

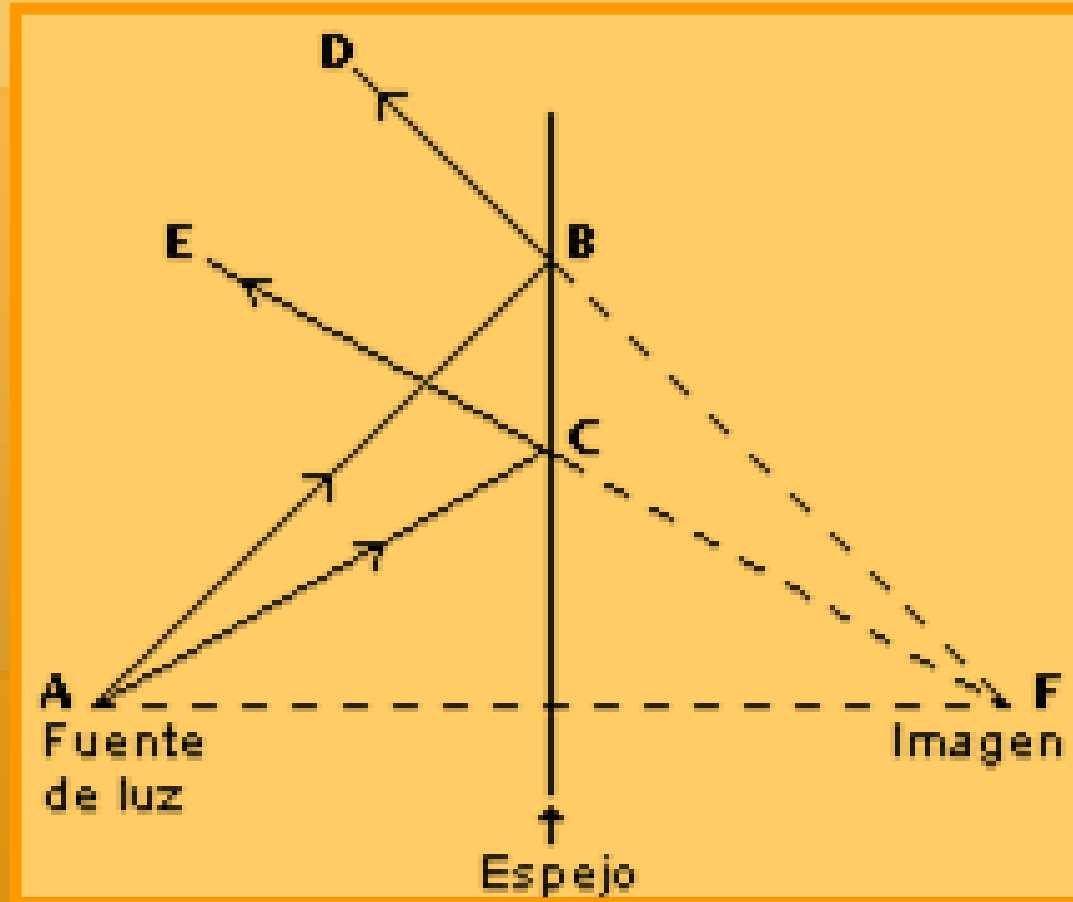
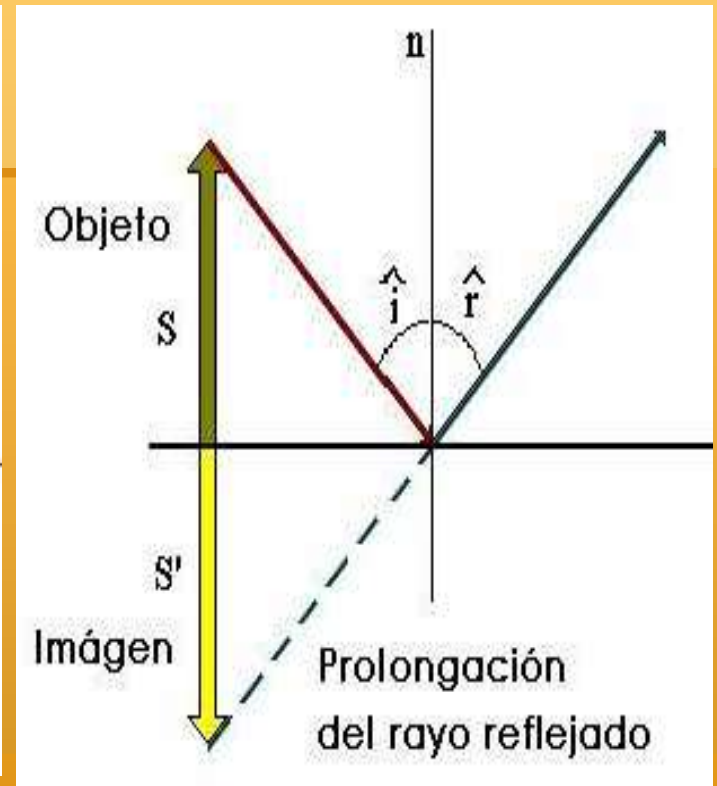
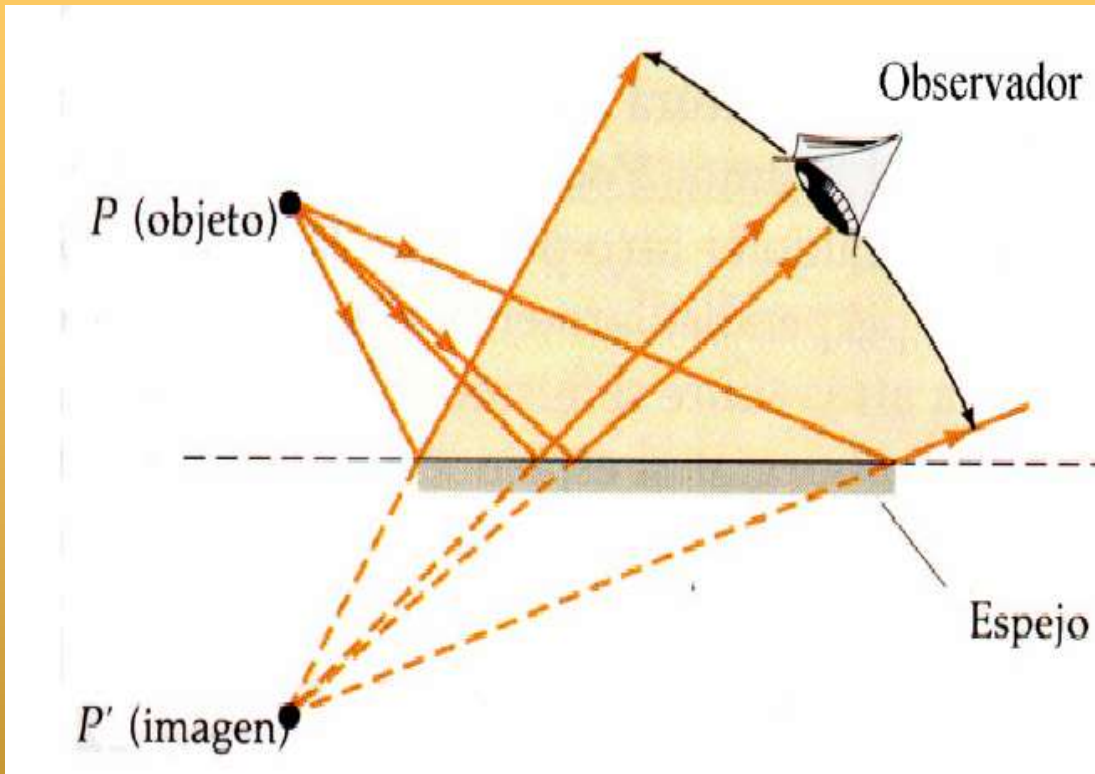


Imagen puntual en el espejo plano:



- **Virtual**
- **Simétrica**

Formación de imagen de un objeto en espejo plano

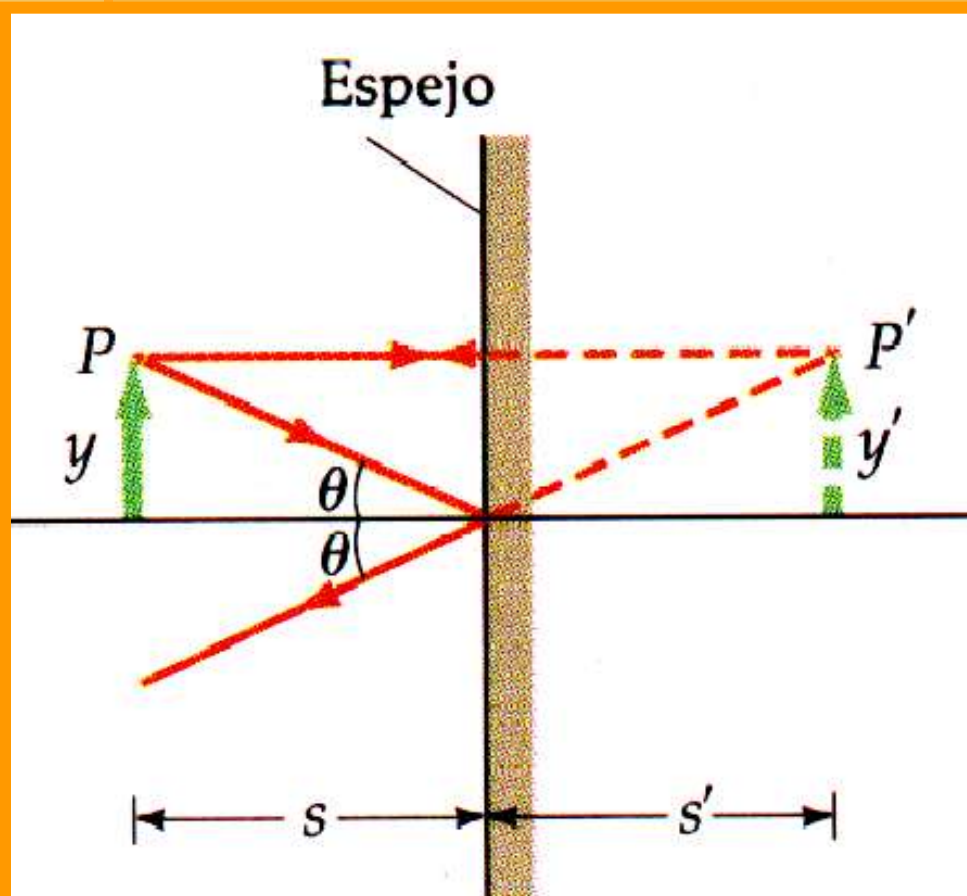
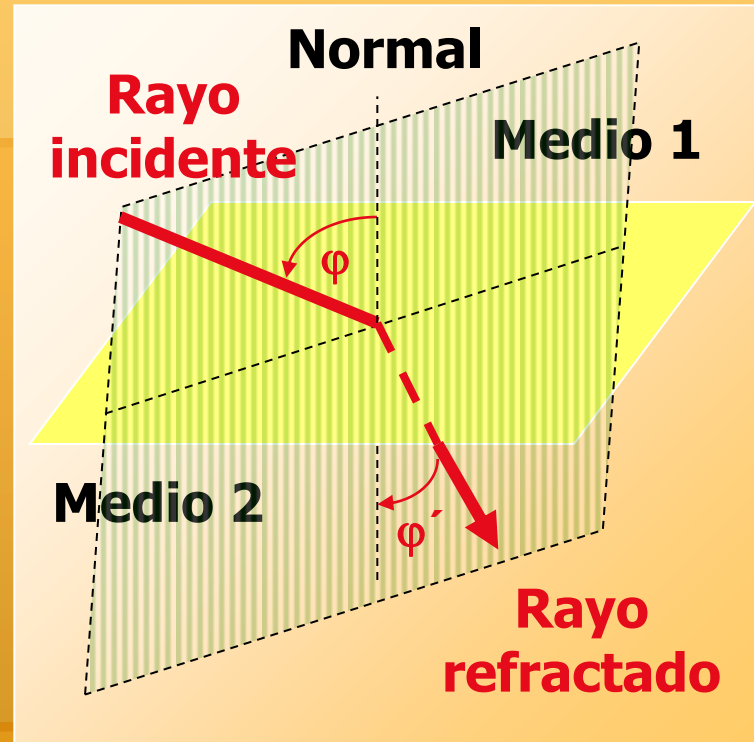


Imagen obtenida:

- Virtual
- Simétrica
- Derecha
- De igual tamaño que el objeto

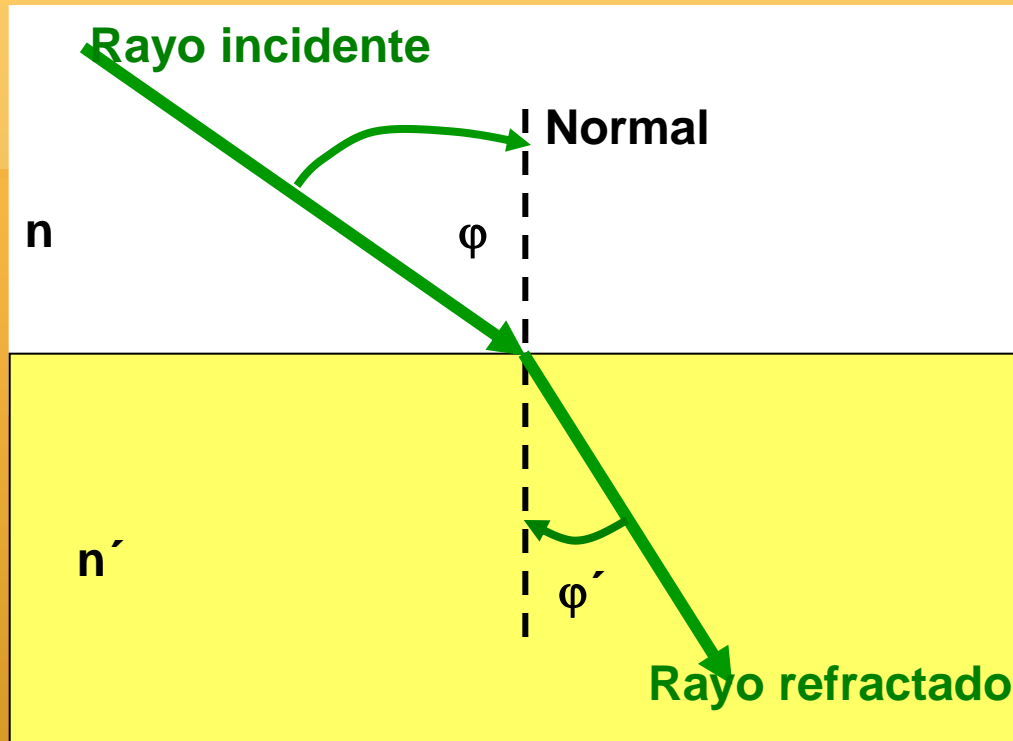
Refracción en superficies planas

1ª Ley de la refracción de la luz



El rayo incidente, la normal y el rayo refractado están en el mismo plano.

2ª Ley de la refracción



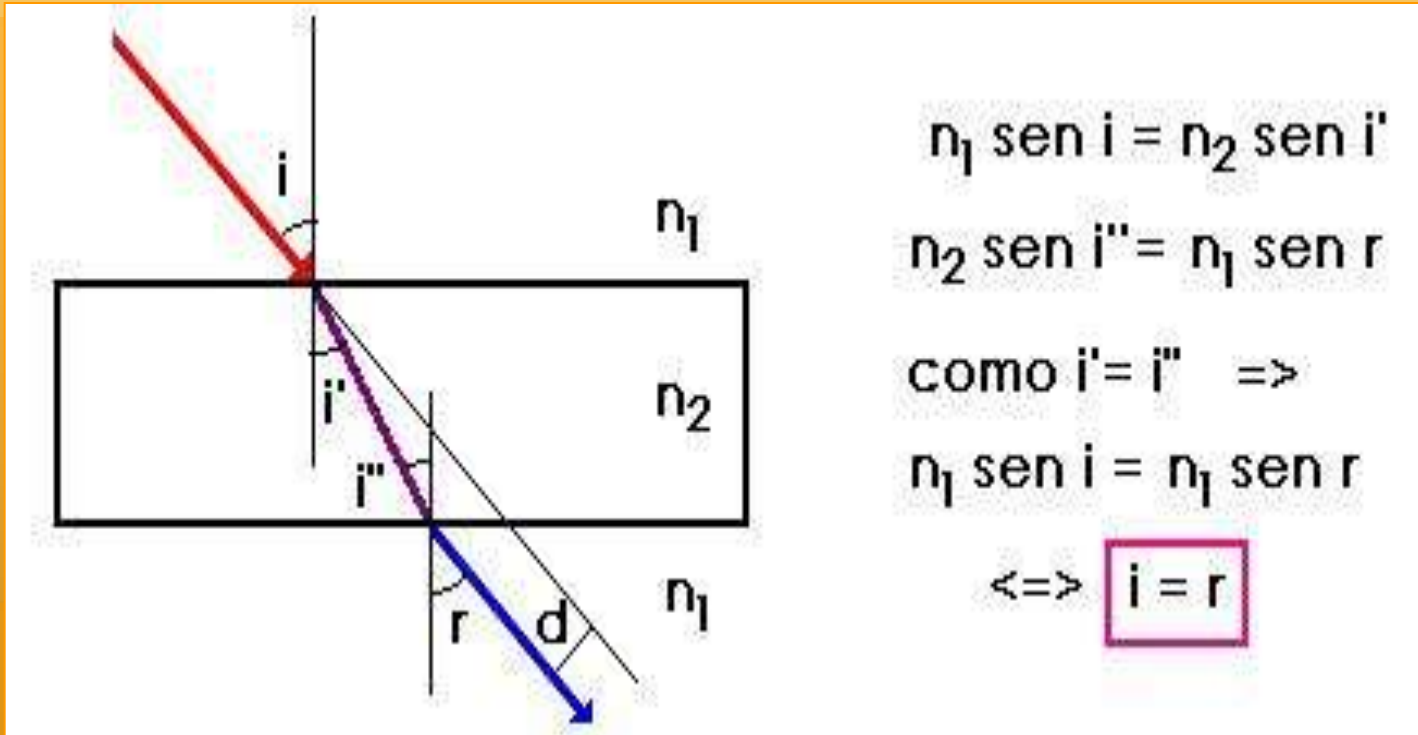
El ángulo de incidencia y el de refracción cumplen con la ley de Snell:

$$n \cdot \text{sen } \varphi = n' \cdot \text{sen } \varphi'$$

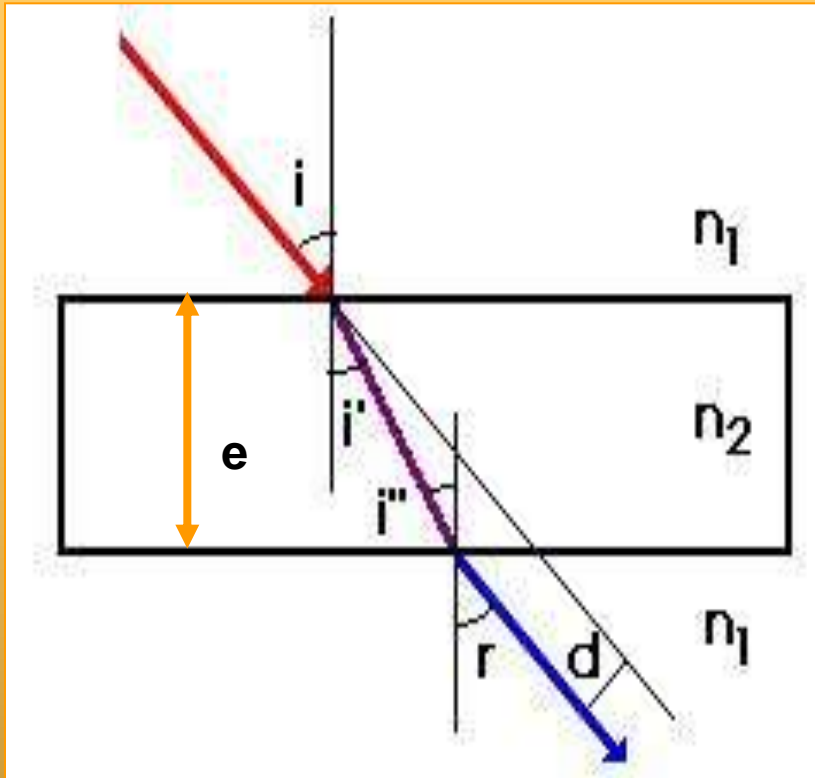
DIOPTRAS

- Se denomina dioptra a la superficie de separación de dos medios con diferente índice de refracción.
- Pueden ser planas como la lámina de caras paralelas y los prismas o esféricas como las lentes.

Refracción a través de una lámina de caras paralelas



- No se produce desviación del rayo



$$d = e \cdot \sin i \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i}{n^2 - \sin^2 i}} \right)$$

- **Se produce un desplazamiento del rayo**

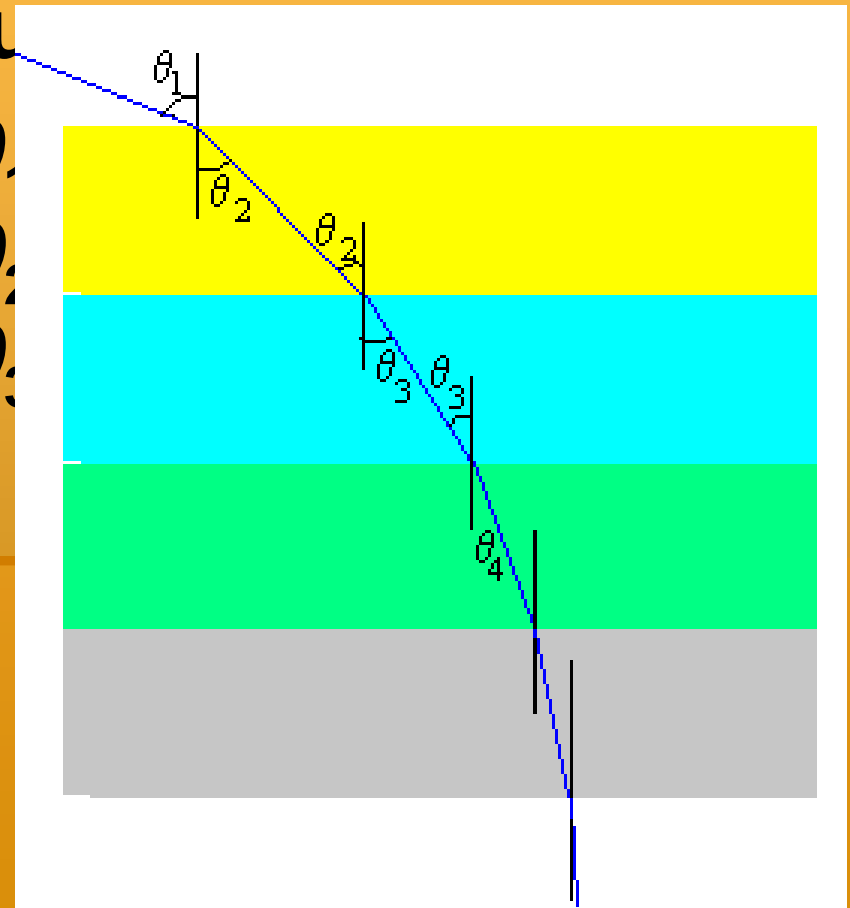
- Cuando un rayo de luz atraviesa un medio estratificado consistente en capas de índices de refracción n_1 , n_2 , n_3 se cumple que

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$$

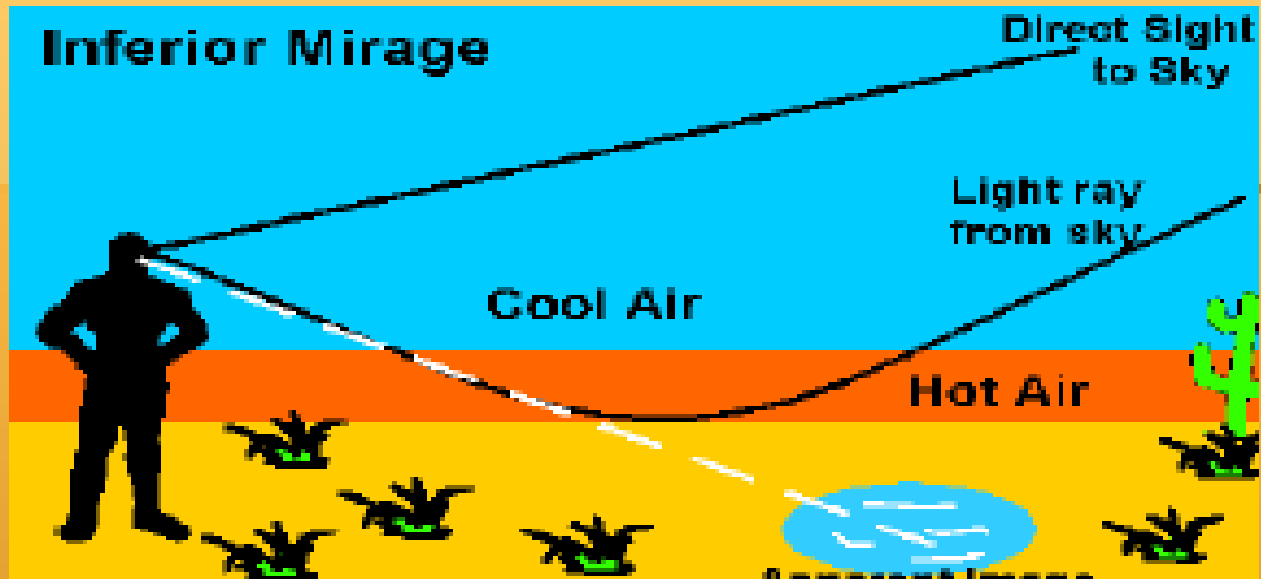
$$n_2 \cdot \sin \theta_2 = n_3 \cdot \sin \theta_3$$

$$n_3 \cdot \sin \theta_3 = n_4 \cdot \sin \theta_4$$

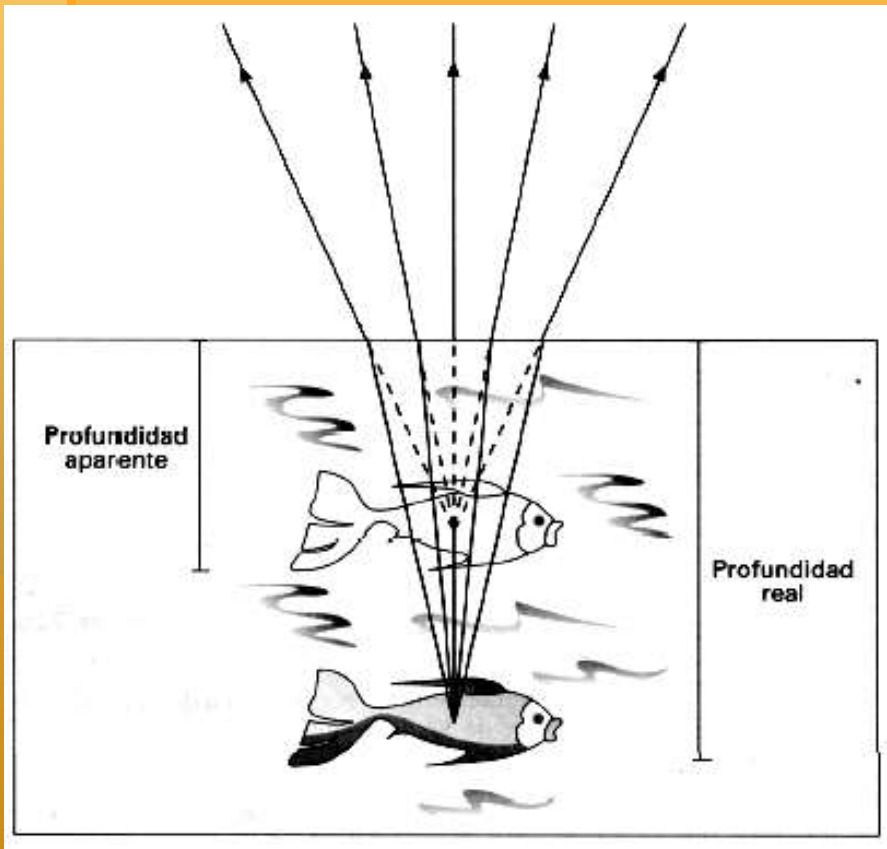
.....



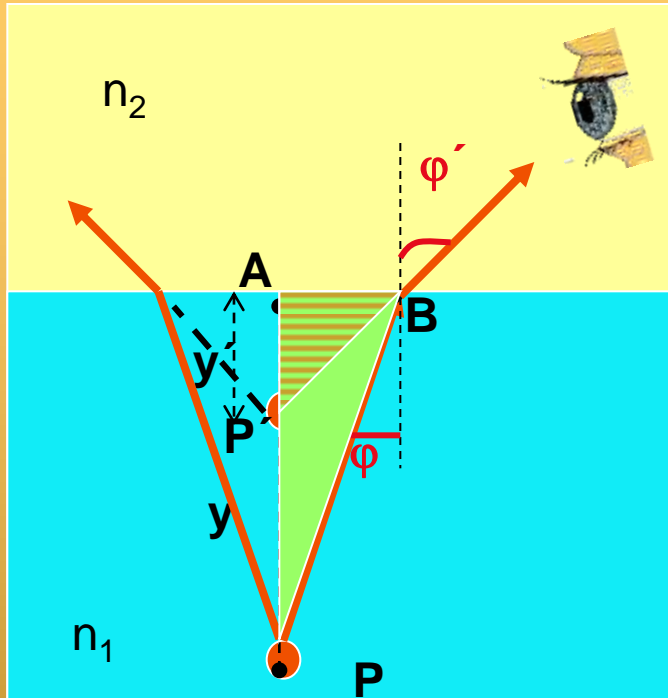
Espejismos



Profundidad aparente



$$n_1 > n_2$$



En el ABP y ABP'

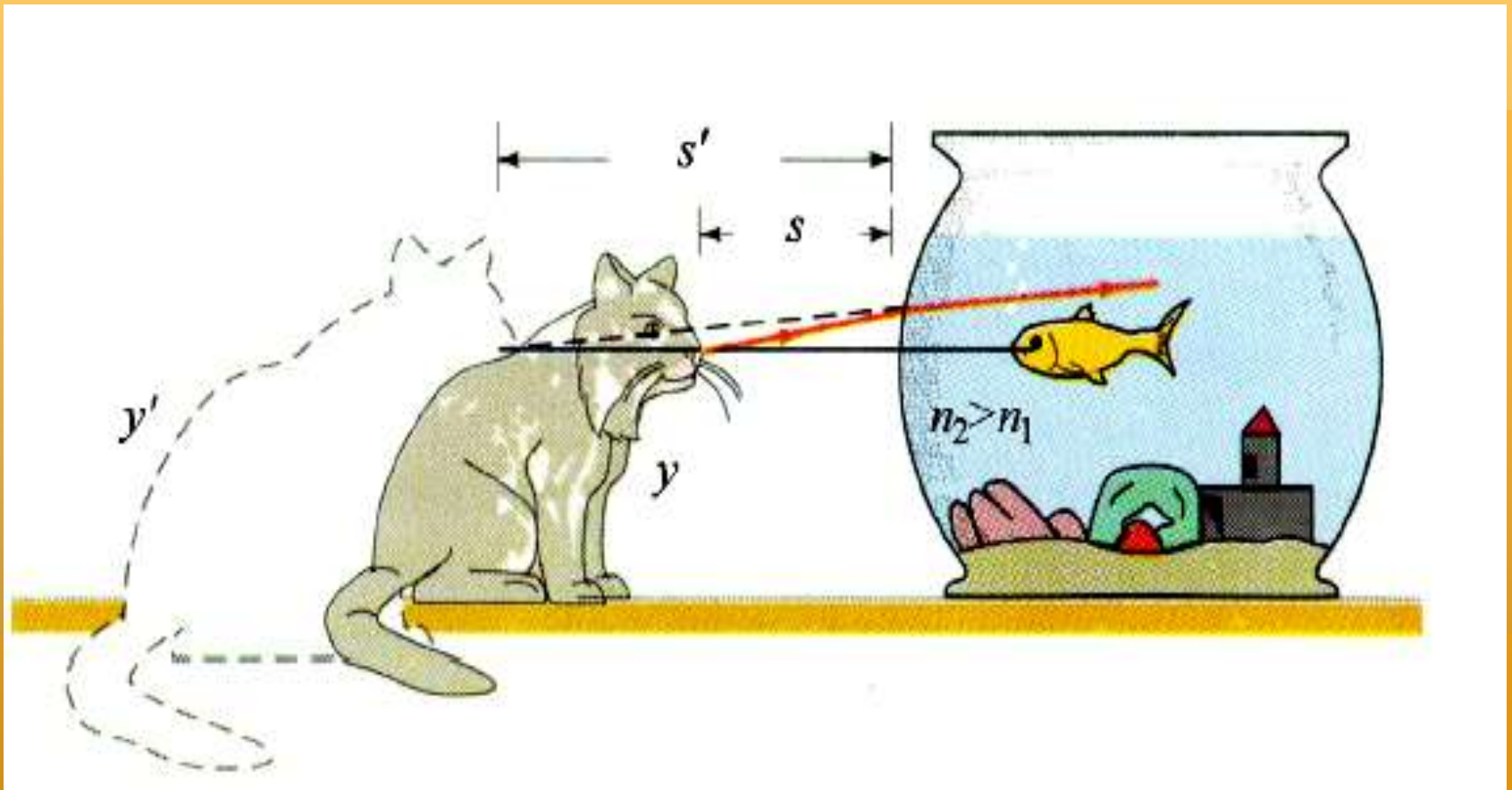
$$y \cdot \operatorname{tg} \varphi = y' \cdot \operatorname{tg} \varphi'$$

$$n \cdot \operatorname{sen} \varphi = n' \cdot \operatorname{sen} \varphi'$$

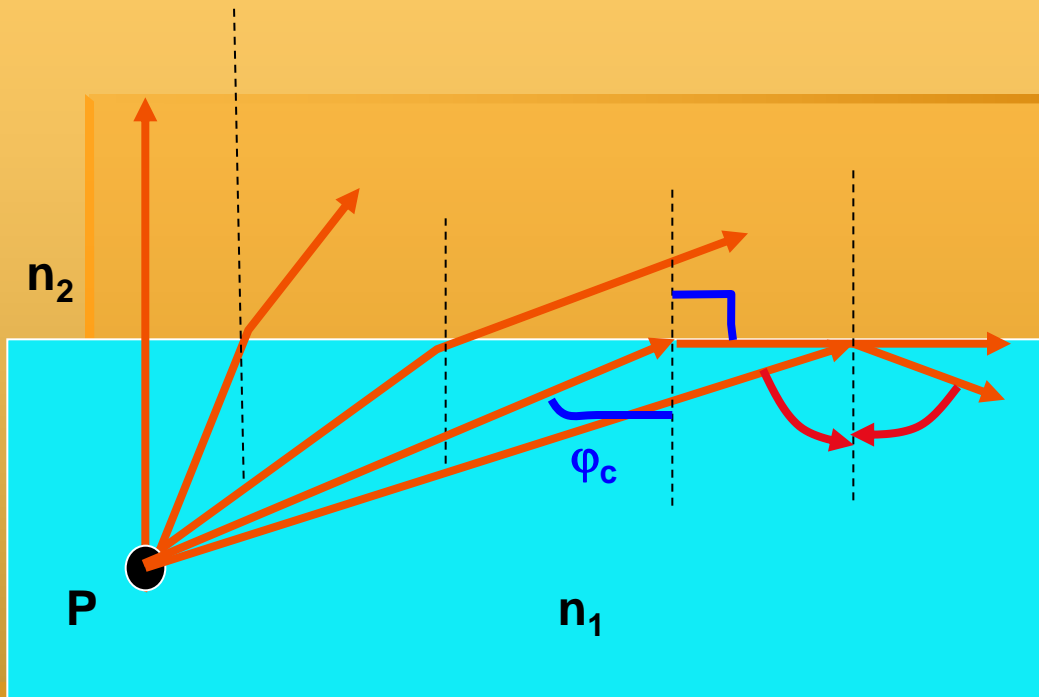
$$y' = y \cdot \frac{n'}{n} \cdot \frac{\cos \varphi'}{\cos \varphi}$$

Para ángulos pequeños
($< 2^\circ$)

$$y' = y \cdot \frac{n'}{n}$$



Reflexión total



$$n_1 > n_2$$

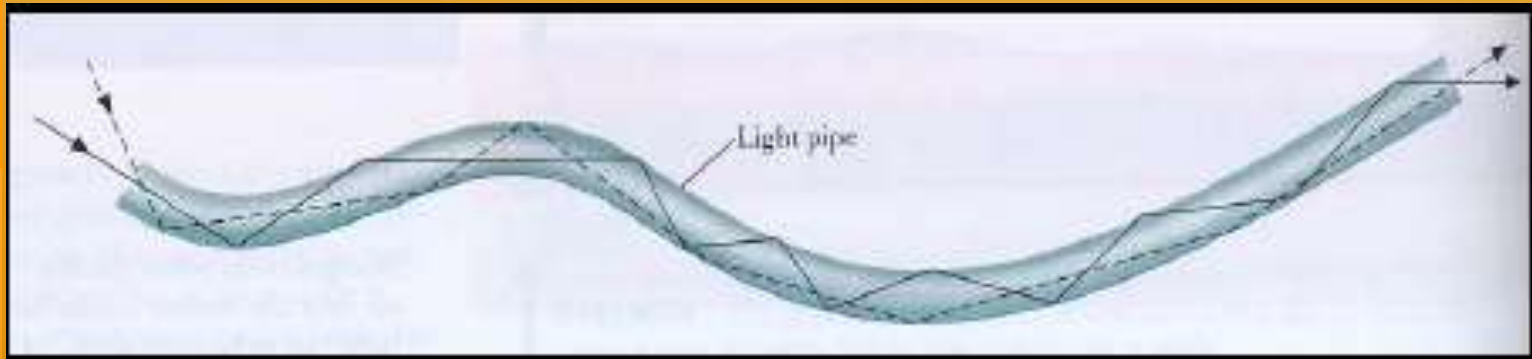
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

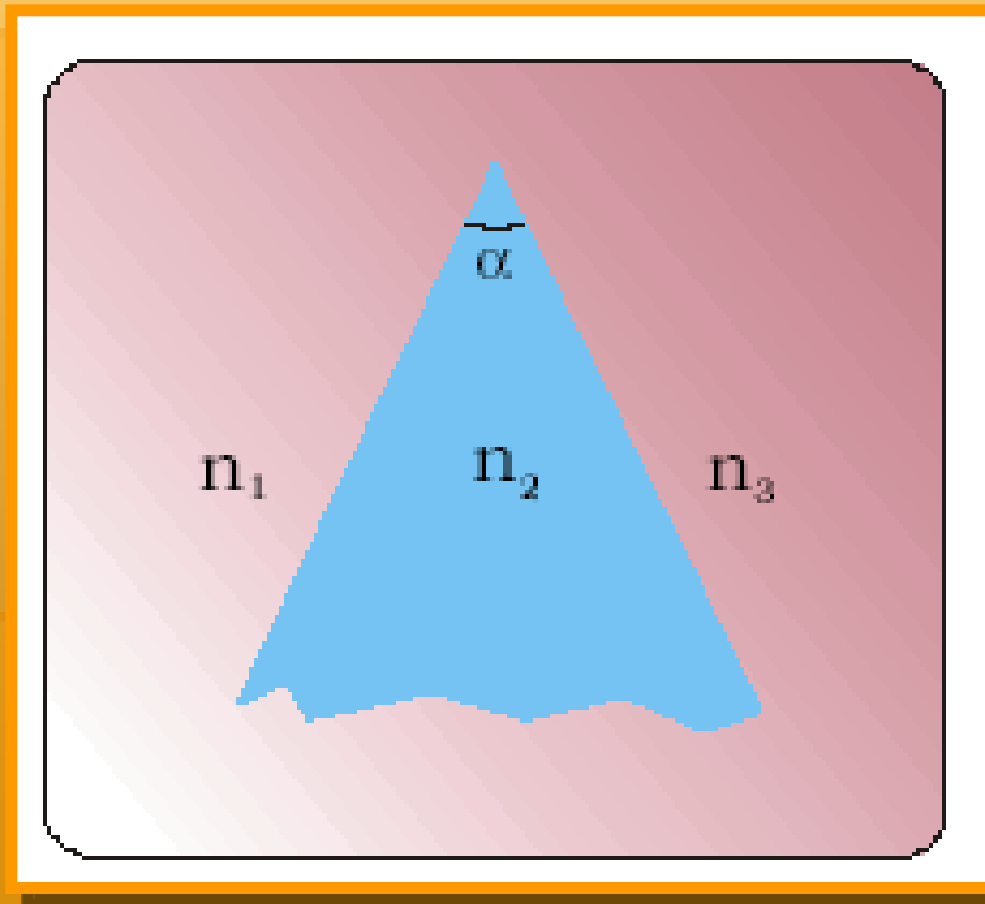
$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Algunos valores de ángulos límites

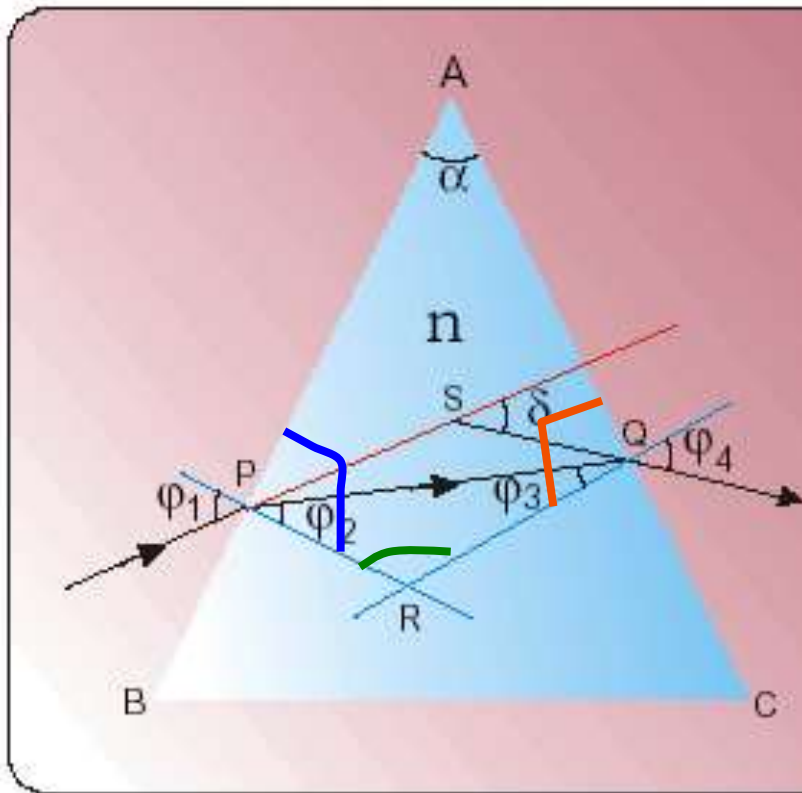
- **Agua-aire: 48°**
- **Vidrio-agua: 62°**
- **Diamante-aire: 36°**
- **Cristal-aire: 24°**



Prismas



Refracción a través de un prisma



$$SP\hat{Q} = \varphi_1 - \varphi_2 \quad S\hat{Q}P = \varphi_4 - \varphi_3$$

$$\delta = \varphi_1 + \varphi_4 - \varphi_2 - \varphi_3$$

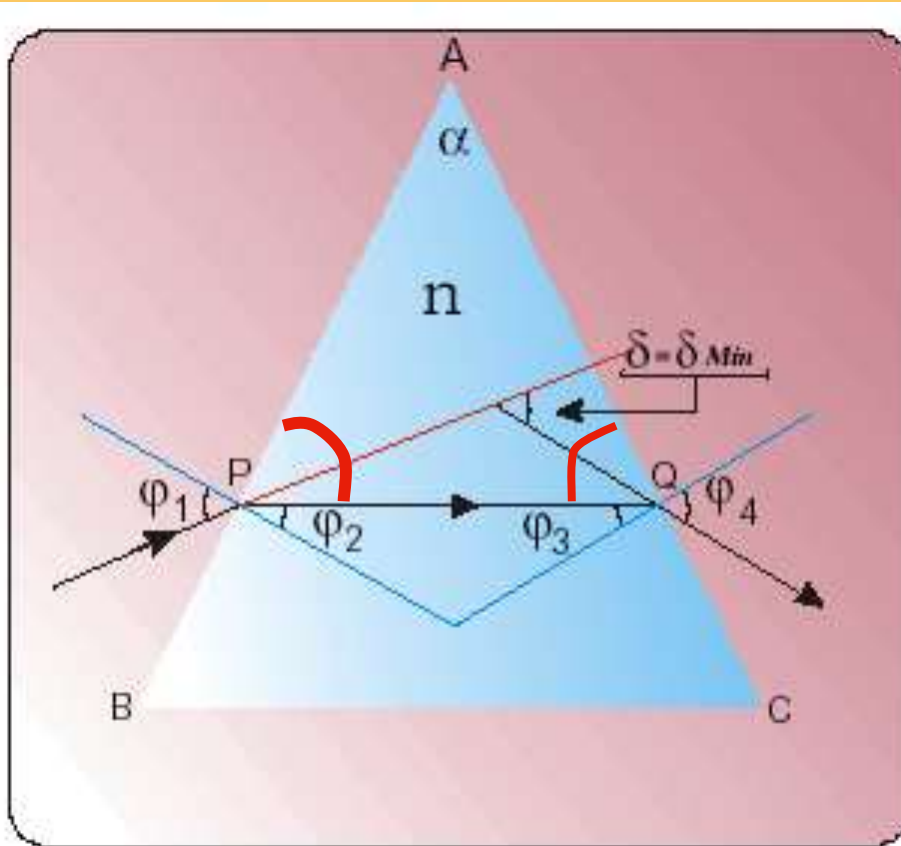
En el $\triangle AQRSP$

$$\alpha + \frac{\pi}{2} + (\pi - \varphi_2 - \varphi_3) + \frac{\pi}{2} = 2\pi$$

$$\alpha = \varphi_2 + \varphi_3$$

$$\delta = \varphi_1 + \varphi_4 - \alpha$$

Ángulo de mínima desviación



$$\varphi_1 = \varphi_4$$

$$\varphi_2 = \varphi_3$$

$$\overline{PQ} \parallel \overline{BC}$$

$$\widehat{APQ} = \widehat{AQP} = \frac{\pi}{2} - \varphi_2 = \frac{\pi}{2} - \varphi_3$$

$$\alpha = \varphi_2 + \varphi_3$$

$$\alpha = 2\varphi_2$$

$$\varphi_2 = \frac{\alpha}{2}$$

$$\delta = \varphi_1 + \varphi_4 - \alpha$$

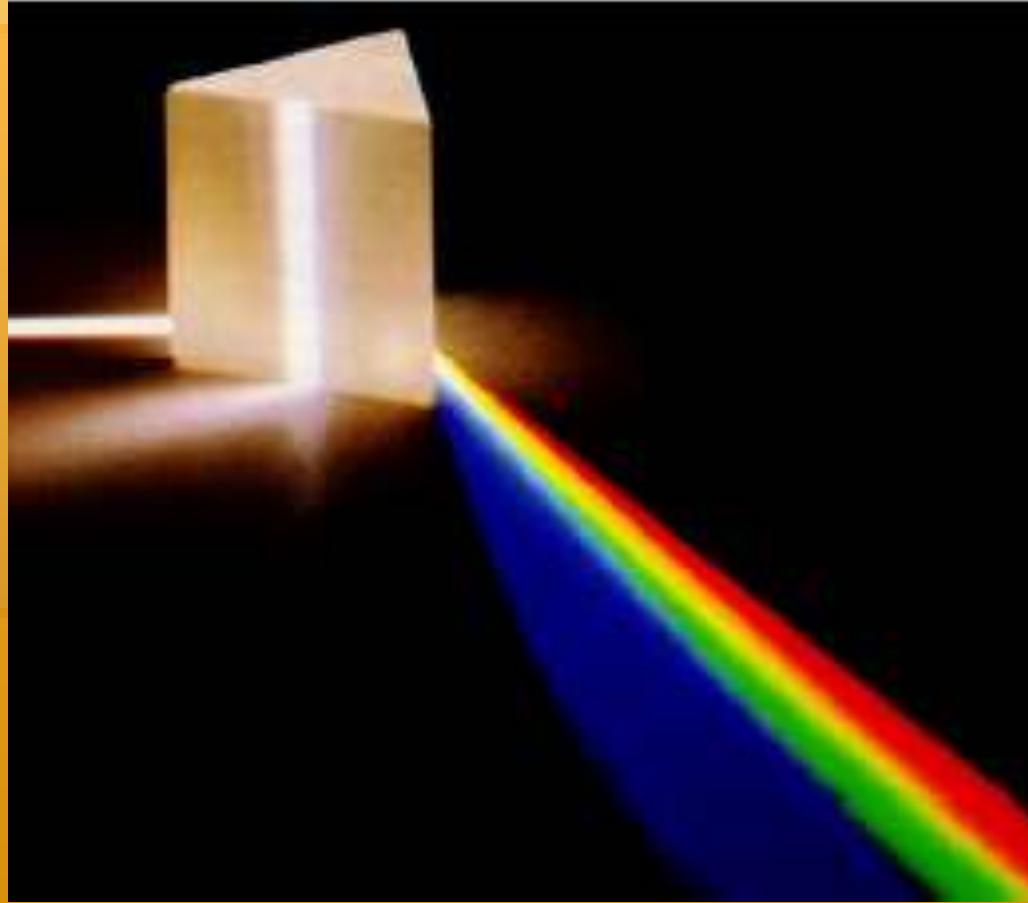
$$\delta = \delta_{\min} = 2\varphi_1 - \alpha \rightarrow \varphi_1 = \frac{\delta_{\min} + \alpha}{2}$$

$$n = \frac{\text{sen } \varphi_1}{\text{sen } \varphi_2}$$

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

$$\delta_{\min} = (n' - n) \cdot A$$

Dispersión en el prisma



n aumenta al disminuir λ .

$$\lambda_{\text{azul}} < \lambda_{\text{rojo}} \Rightarrow n_{\text{azul}} > n_{\text{rojo}}$$

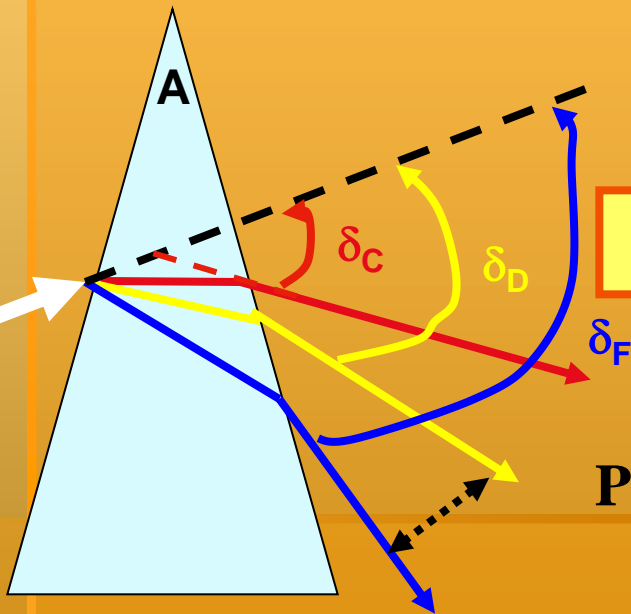
$$\delta_{\text{min}} = (n' - n) \cdot A$$



$$\delta_C = (n_C - 1) \cdot A$$

$$\delta_D = (n_D - 1) \cdot A$$

$$\delta_F = (n_F - 1) \cdot A$$



$$\delta_F - \delta_C = [(n_F - 1) - (n_C - 1)] \cdot A = (n_F - n_C) \cdot A$$

Dispersión del espectro

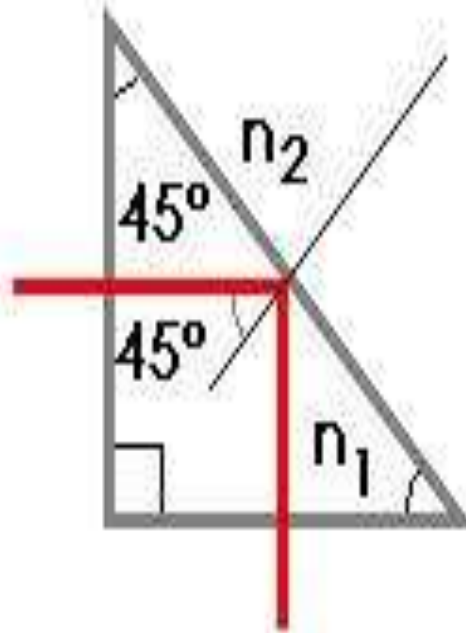
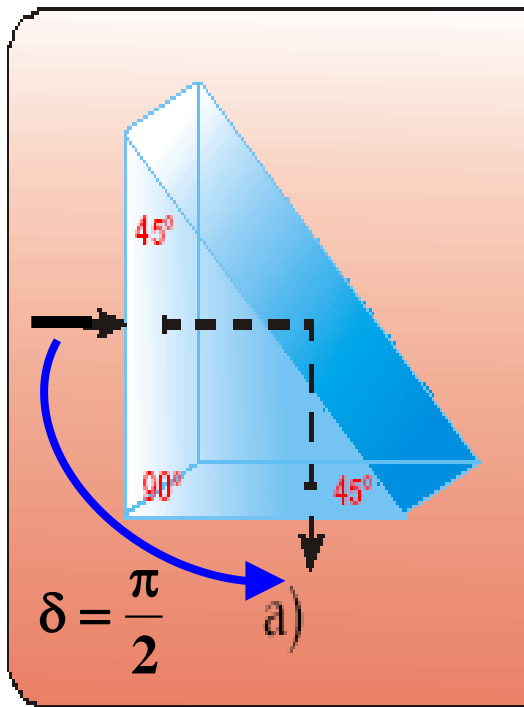
$$\text{Poder - Dispersivo} = \frac{\text{Dispersión del espectro}}{\text{Desviación media}}$$

$$W = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$$

A pequeño

$$n_{\text{aire}} = 1$$

Prismas de reflexión total



$$\theta_i = 45^\circ > 42^\circ = \theta_l$$

$$n_1 \cdot \sin \theta_i = n_2 \cdot \sin \theta_r$$

$$1,5 \cdot \sin 45 = 1 \cdot \sin \theta_r$$

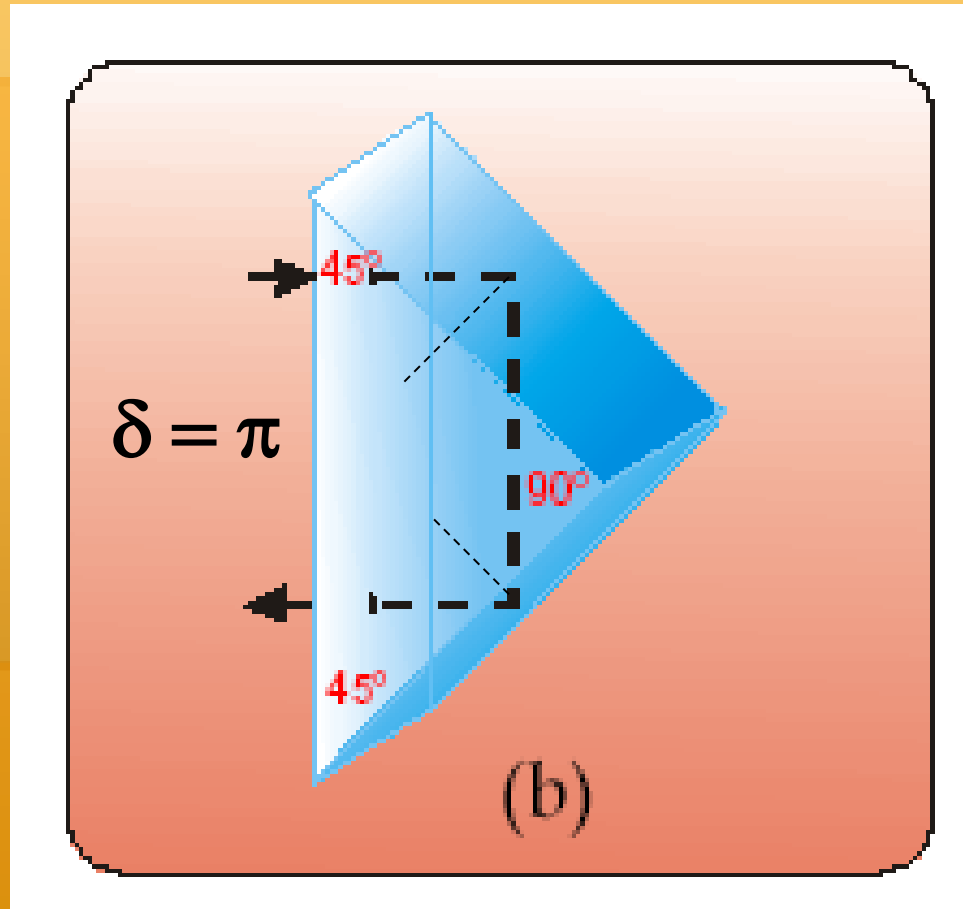
$$1,08 = \sin \theta_r$$

$$\theta_r = \arcsin 1,08 = \cancel{A}$$

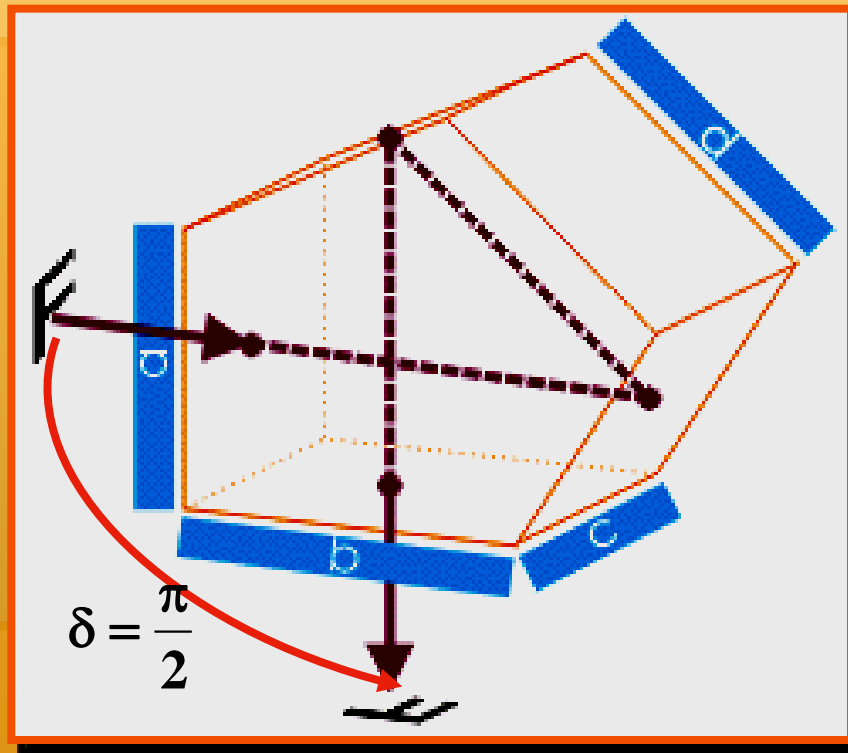
=> no hay refracción

=> reflexión total

Prisma de Porro



Prisma penta



Reflexión y refracción en superficies esféricas

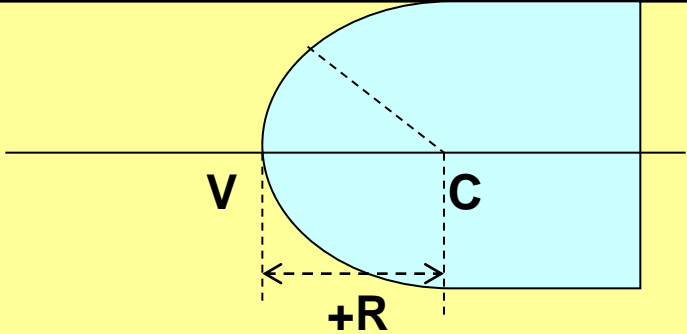
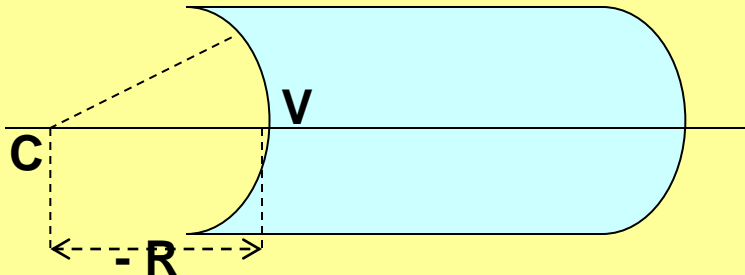
Convenio de signos:

- La luz procede desde la izquierda

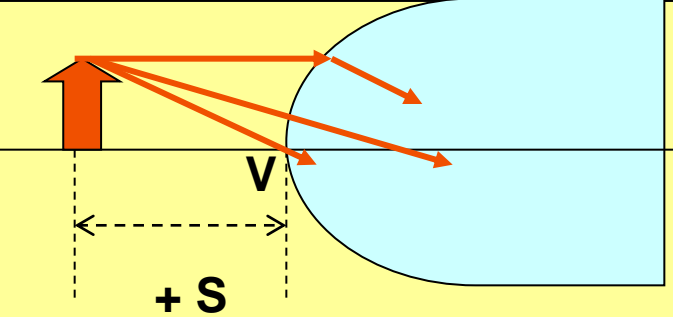
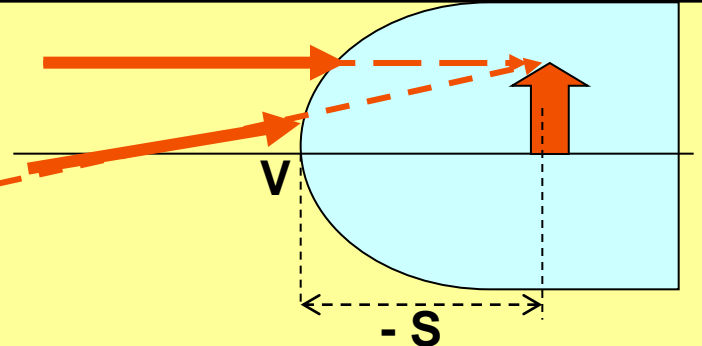
Se considera positiva

- La distancia objeto (S): Cuando el objeto esta a la izquierda del vértice.
- La distancia imagen (S'): Cuando la imagen esta a la derecha del vértice.
- El radio de curvatura (R): Cuando C esta a la derecha del vértice V
- Los ángulos : Cuando la pendiente del rayo con al eje principal es positiva.
- Las dimensiones transversales: Cuando éstas se miden hacia arriba del eje principal.

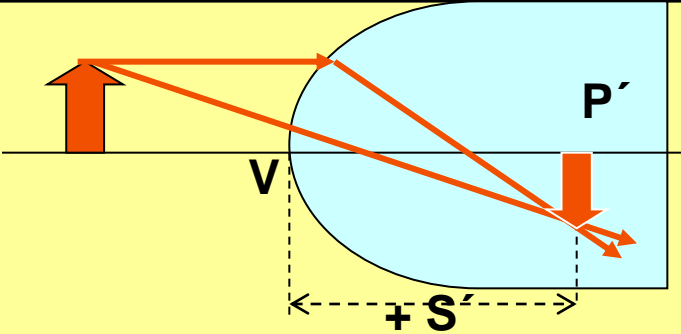
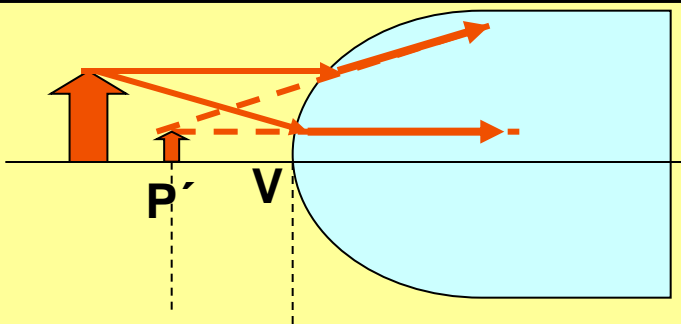
Radio de curvatura

	Signo	Naturaleza
	+	Superficie convexa
	-	Superficie Cóncava

Distancias objeto

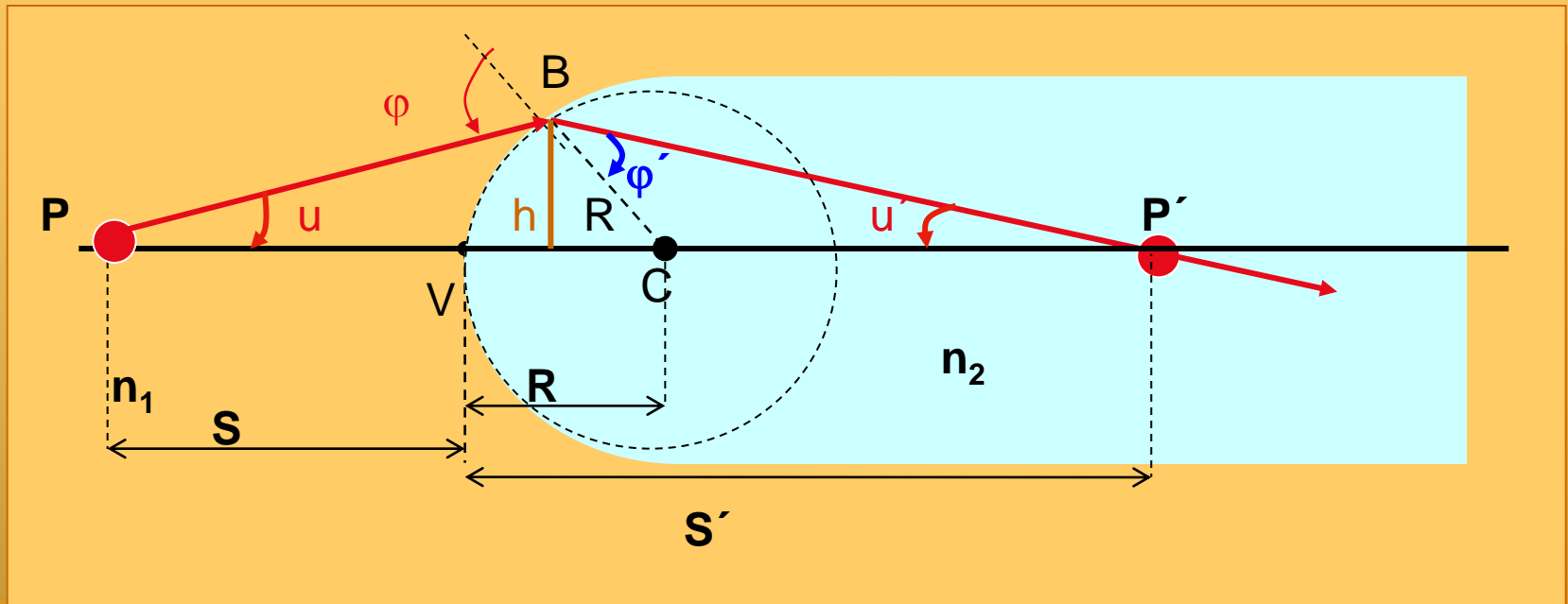
	Signo	Naturaleza
	+	Objeto real
	-	Objeto virtual

Distancias Imagen

Ejemplo	Signo	Naturaleza
	+	Imagen real
	-	Imagen virtual

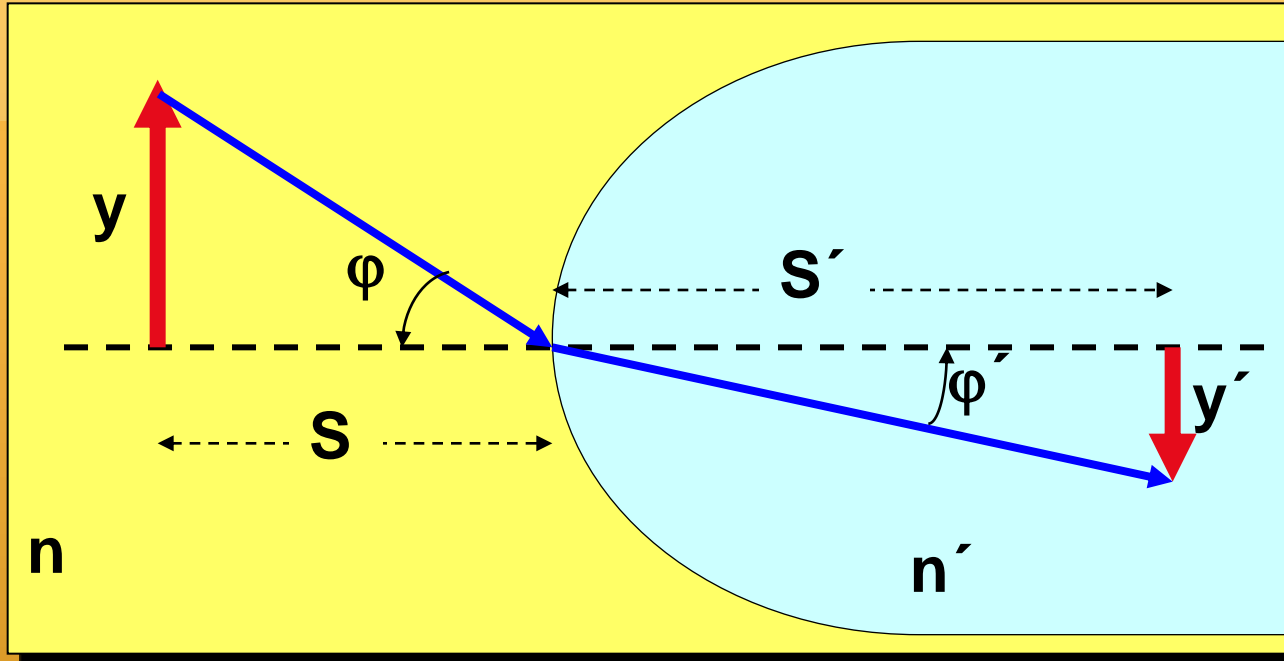
Refracción en superficies esféricas

Ecuación general de las dioptras



$$\frac{n}{S} + \frac{n'}{S'} = \frac{n' - n}{R}$$

Aumento lateral



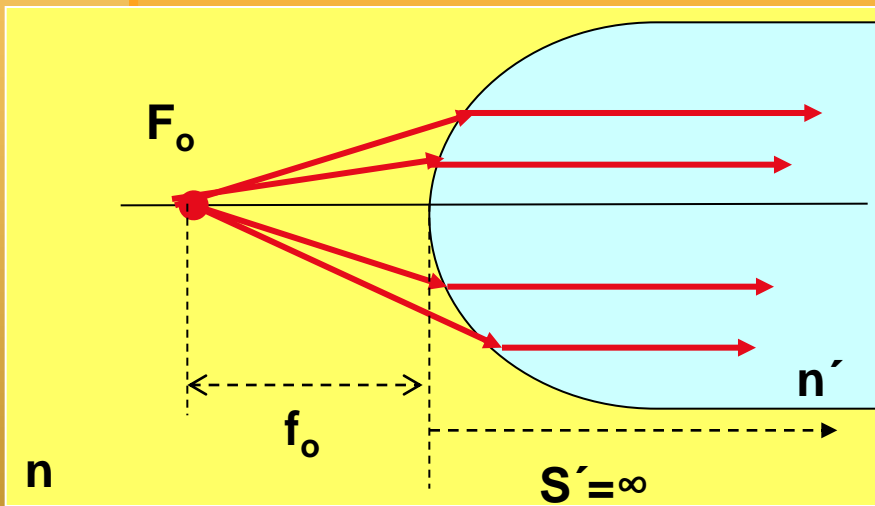
$$\mathbf{m} = \frac{y'}{y} = -\frac{n \cdot S'}{n' \cdot S}$$

Aumento lateral

I M A G E N	$m > 0$	$m < 0$	$m > 1$	$m < 1$	$m = 1$
	Virtual Derecha	Real Invertida	Mayor tamaño que el objeto	Menor tamaño que el objeto	Igual tamaño que el objeto

Foco Objeto y Distancia focal Objeto

- **Foco objeto:** Es el punto sobre el eje principal, cuya imagen se forma en el infinito



$$\frac{n}{S} + \frac{n'}{S'} = \frac{n' - n}{R}$$

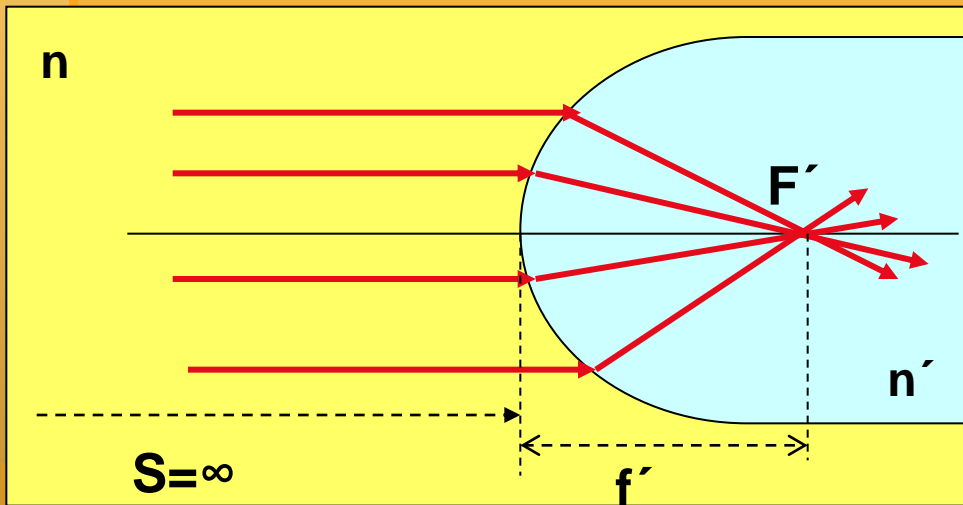
$$S' = \infty \therefore \frac{n}{f} + \frac{n'}{\infty} = \frac{n' - n}{R}$$

$$f = \frac{n}{n' - n} R$$

- **Distancia focal objeto:** Es la distancia entre Foco Objeto y el vértice de la superficie.

Foco Imagen y Distancia focal Imagen

Foco Imagen: Es el punto sobre el eje principal, que es imagen de un objeto infinitamente alejado.

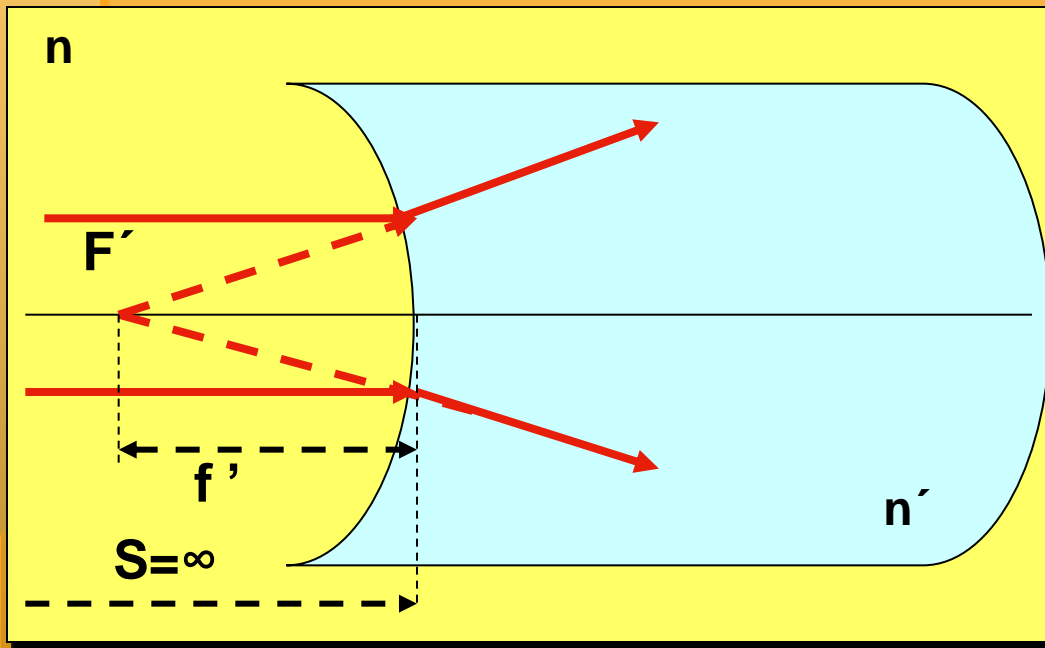


$$\frac{n}{S} + \frac{n'}{S'} = \frac{n' - n}{R}$$

$$S = \infty \therefore \frac{n}{\infty} + \frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{R}$$

$$f' = \frac{n'}{n' - n} R$$

Distancia focal objeto: Es la distancia entre el Foco Imagen y el vértice de la superficie.



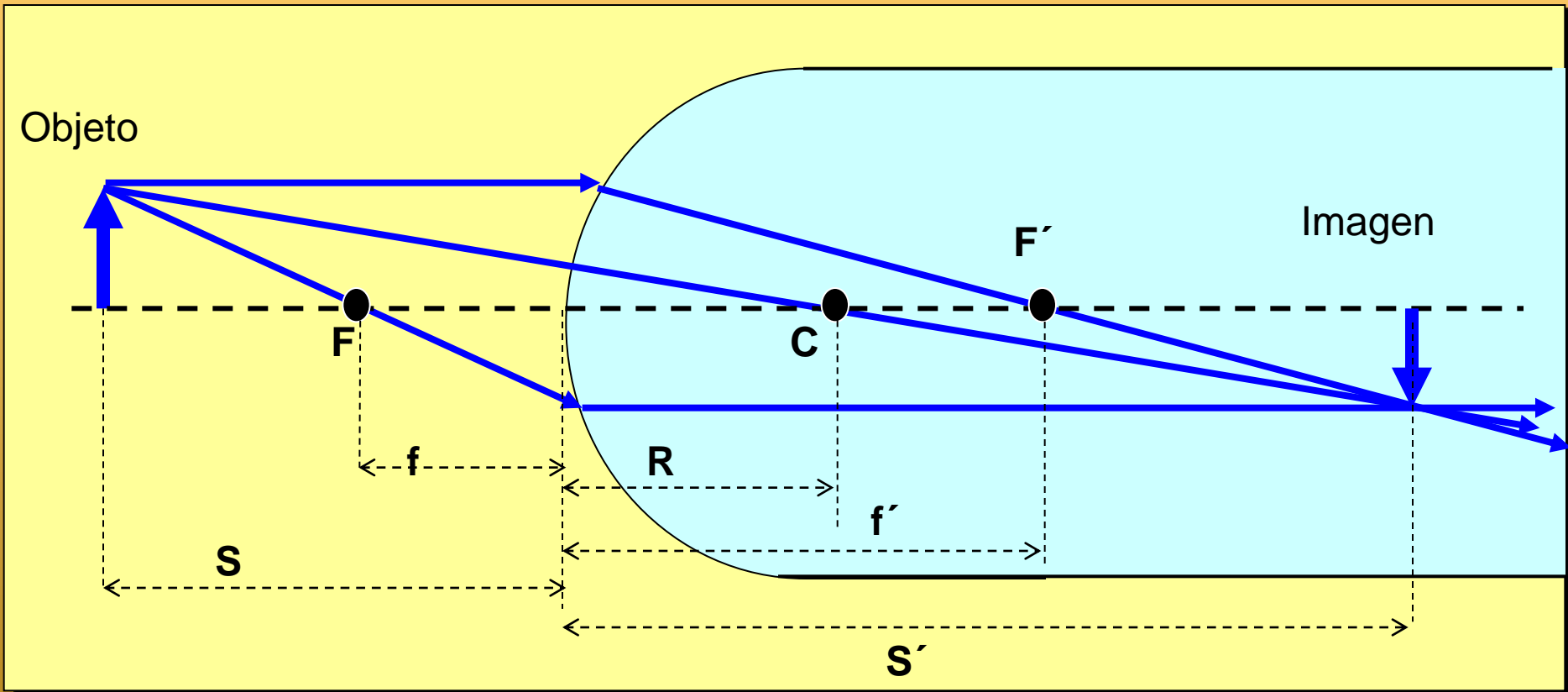
$$\frac{n}{S} + \frac{n'}{S'} = \frac{n' - n}{R}$$

$$S = \infty \therefore \frac{n}{\infty} + \frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{-R}$$

$$f' = -\frac{n'}{n' - n} R$$

	Signo	Naturaleza
Distancia focal f	+	Sistema convergente
	-	Sistema divergente

Marcha de rayos y formación de imágenes



Reflexión en superficies esféricas

Formula general para los espejos

Considerando que en la reflexión $n' = -n$
Reemplazando y considerando que $n = 1$

$$\frac{n}{S} + \frac{n'}{S'} = \frac{n' - n}{R}$$

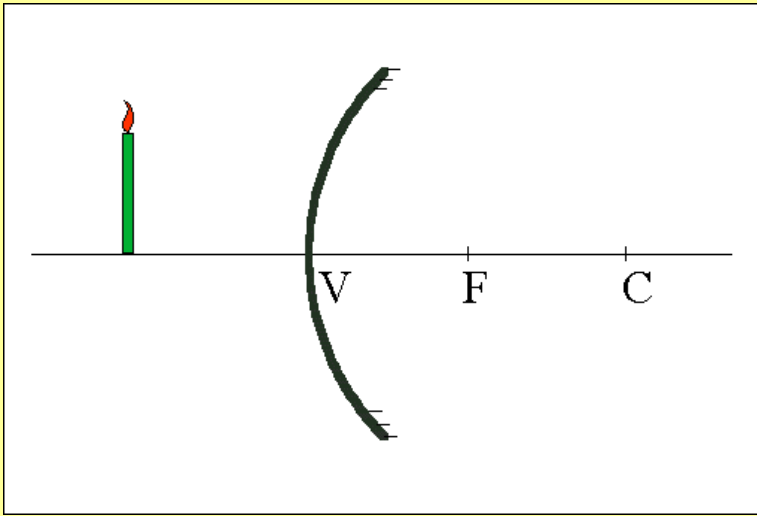
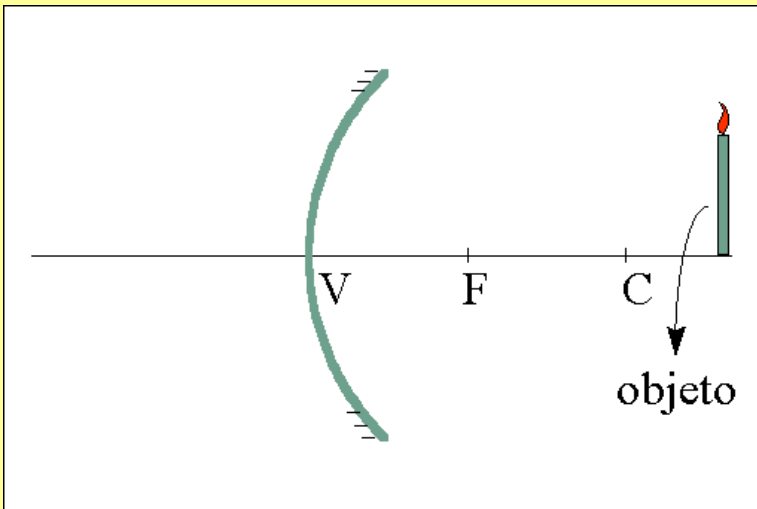


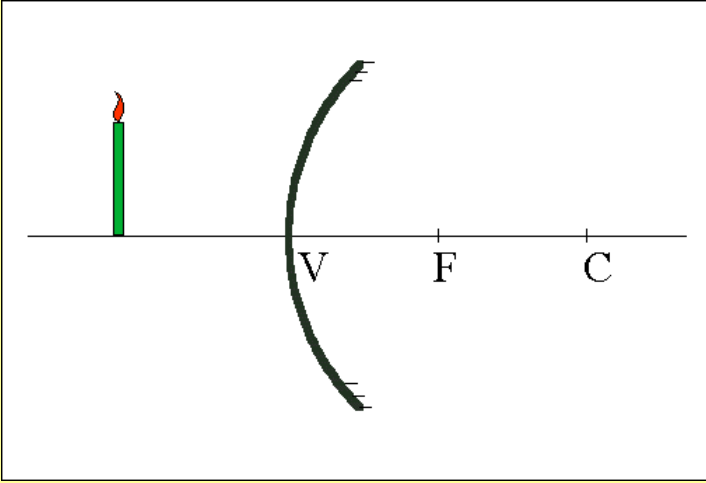
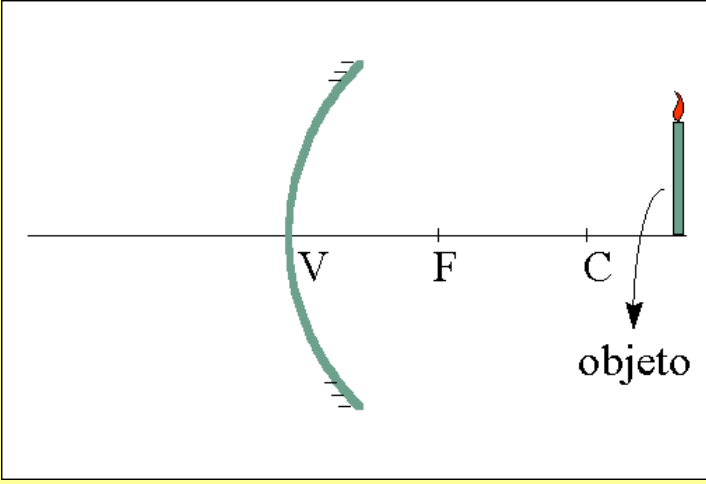
$$\frac{1}{S} - \frac{1}{S'} = -\frac{2}{R}$$

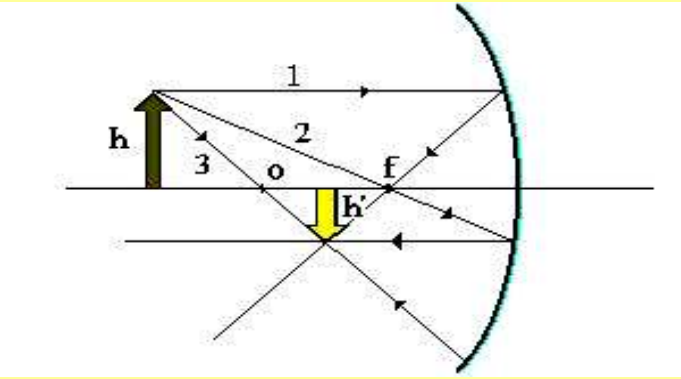
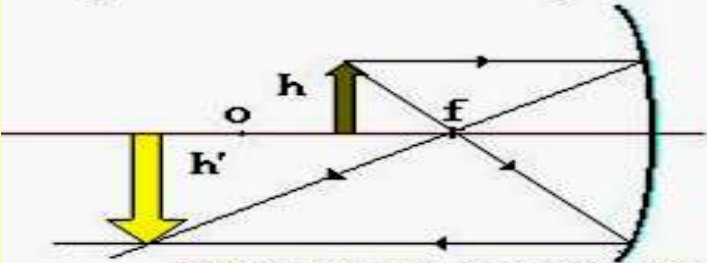
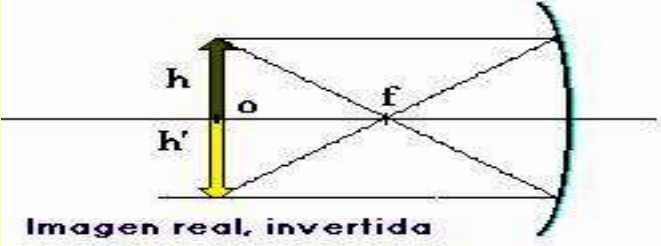
Aumento lateral para espejos

- Procediendo de igual manera en

$$\mathbf{m} = \frac{y'}{y} = -\frac{n.S'}{n'.S} \Rightarrow \mathbf{m} = \frac{S'}{S}$$

S'	Signo	Naturaleza	Ejemplo
D I S T A N C I A	+	Imagen Virtual	
	-	Imagen Real	

m	Signo	Naturaleza	Ejemplo
A U M E N T O L A T E R A L	+	Imagen Virtual Derecha	 <p>The diagram shows a horizontal principal axis with a vertical line representing the mirror surface. The center of curvature is labeled 'C', the focal point is 'F', and the vertex is 'V'. A green candle (object) is placed to the left of the mirror. A larger, upright, and virtual image of the candle is formed behind the mirror.</p>
	-	Imagen Real Invertida	 <p>The diagram shows a horizontal principal axis with a vertical line representing the mirror surface. The center of curvature is labeled 'C', the focal point is 'F', and the vertex is 'V'. A green candle (object) is placed to the right of the mirror, between the focal point and the center of curvature. A larger, inverted, and real image of the candle is formed to the left of the mirror. An arrow points to the candle with the label 'objeto'.</p>

m	Valor	imagen	Ejemplo
A L U M E N T A L	< 1	Menor que el objeto	
	> 1	Mayor que el objeto	<p data-bbox="942 644 1676 675">Objeto entre el centro y el foco</p>  <p data-bbox="1097 939 1619 1001">Imagen real, invertida y de mayor tamaño</p>
	$= 1$	Igual que el objeto	<p data-bbox="911 1043 1657 1075">Objeto sobre el centro de curvatura</p>  <p data-bbox="923 1296 1348 1358">Imagen real, invertida y de igual tamaño</p>

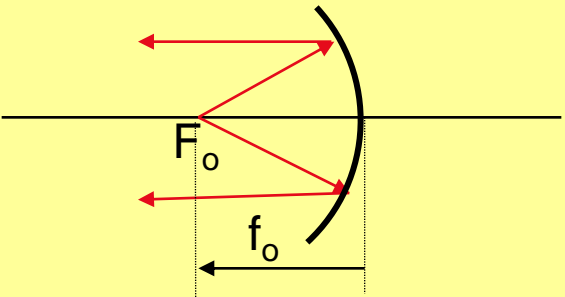
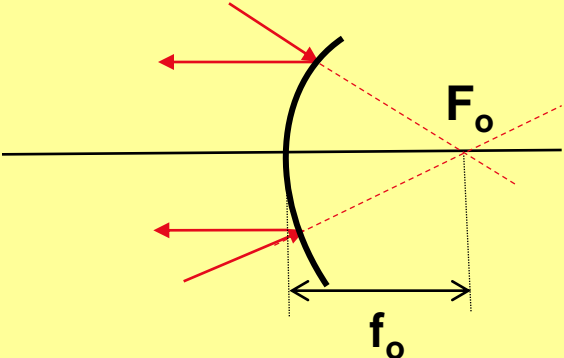
Foco y Distancia focal objeto en Espejos

Para el foco objeto se hace $s' = \infty$ y $n' = -n = -1$

$$f_o = \frac{n}{n' - n} R$$



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

+	Foco objeto real Espejo cóncavo	
-	Foco objeto virtual Espejo convexo	

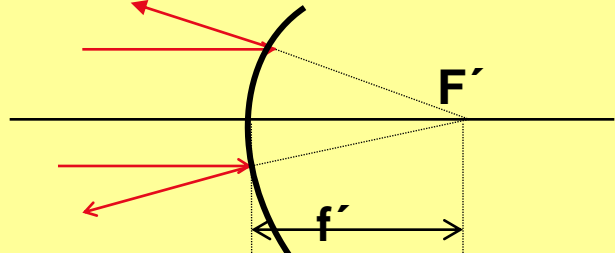
Foco y Distancia focal imagen en Espejos

• Para el foco imagen se hace $s = \infty$ y $n' = -n = -1$

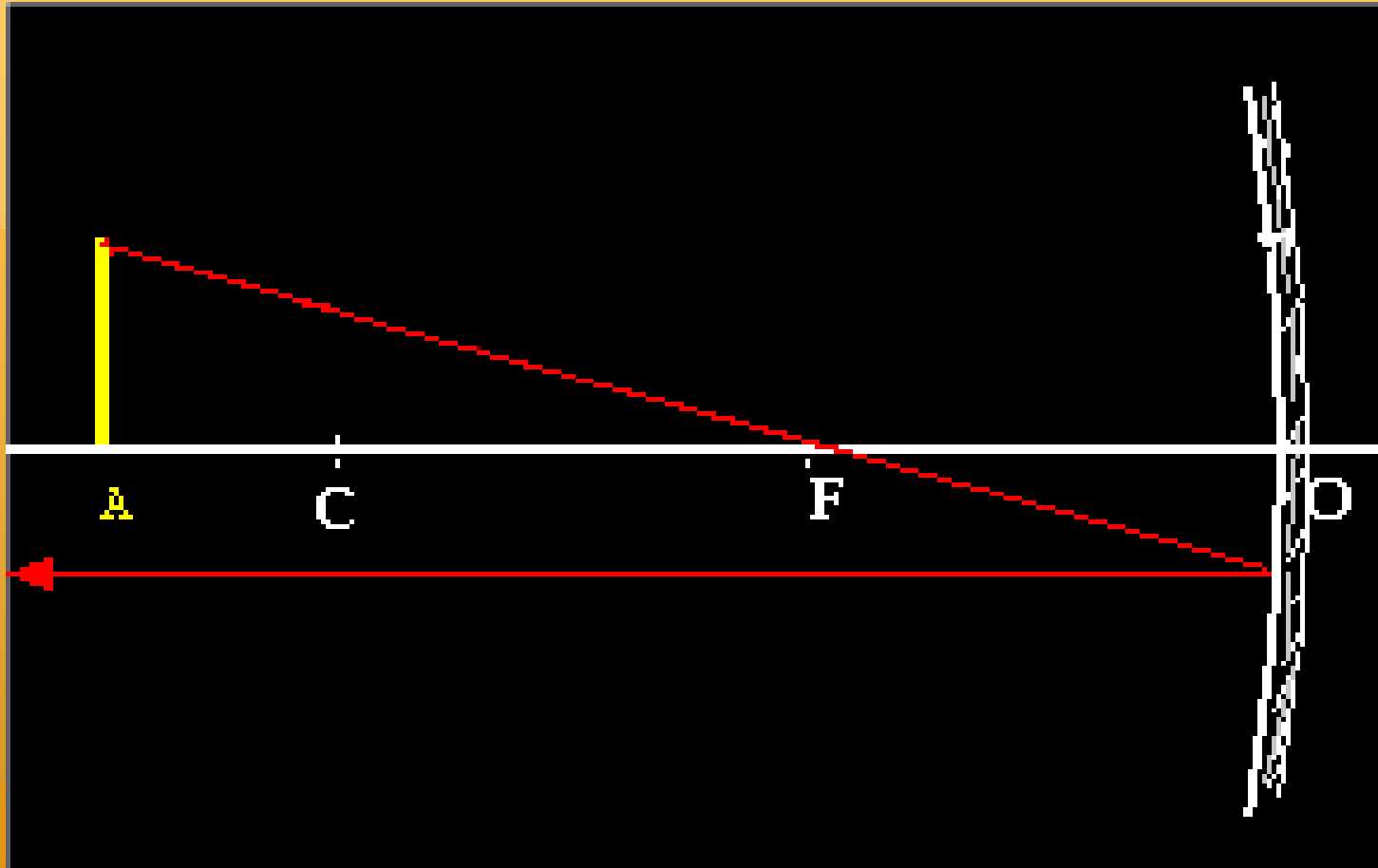
$$f' = \frac{n'}{n' - n} R$$



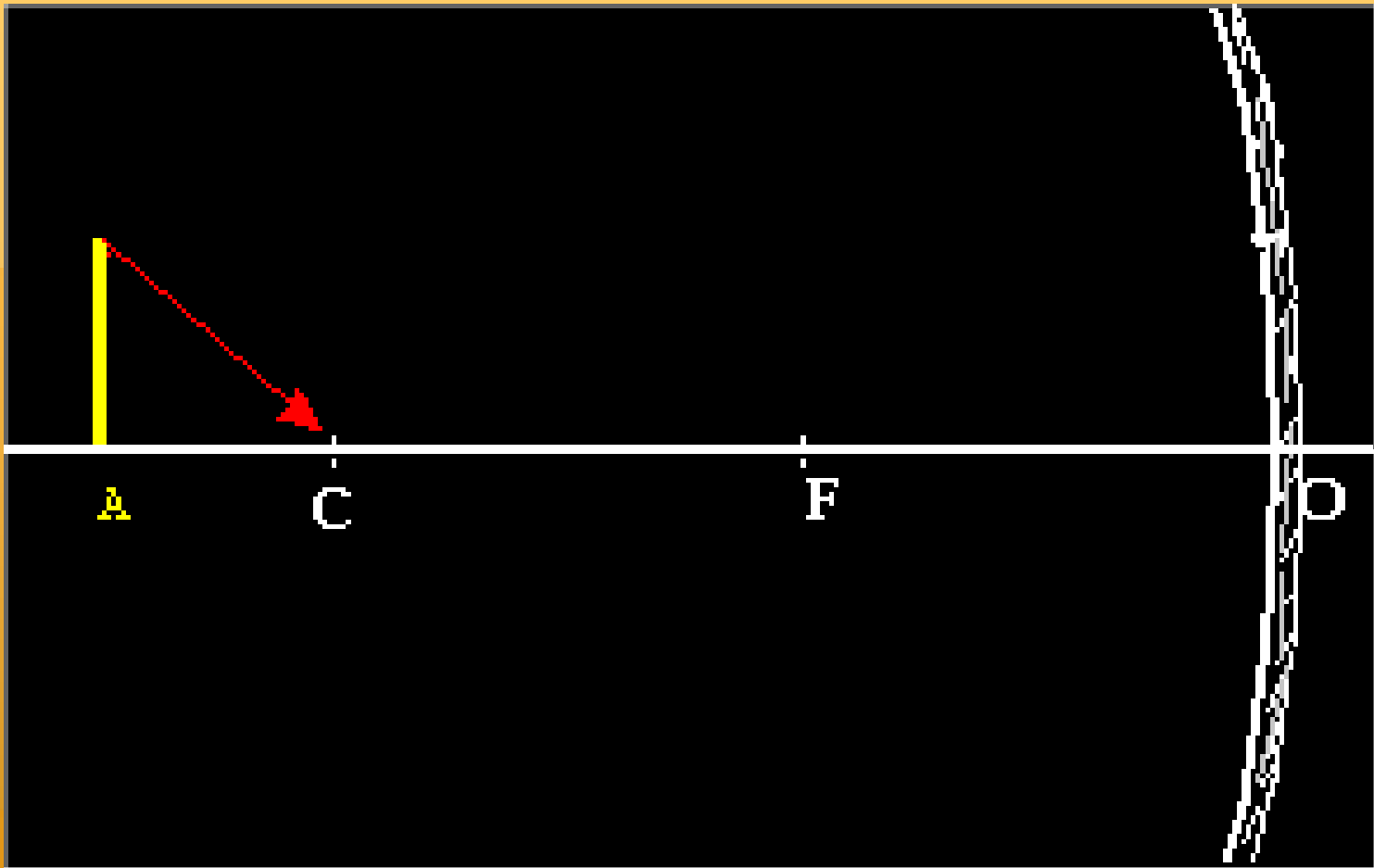
$$f' = \frac{R}{2}$$

+	Foco imagen virtual Espejo convexo	
-	Foco imagen real Espejo cóncavo	

Marcha de rayos en espejos esféricos

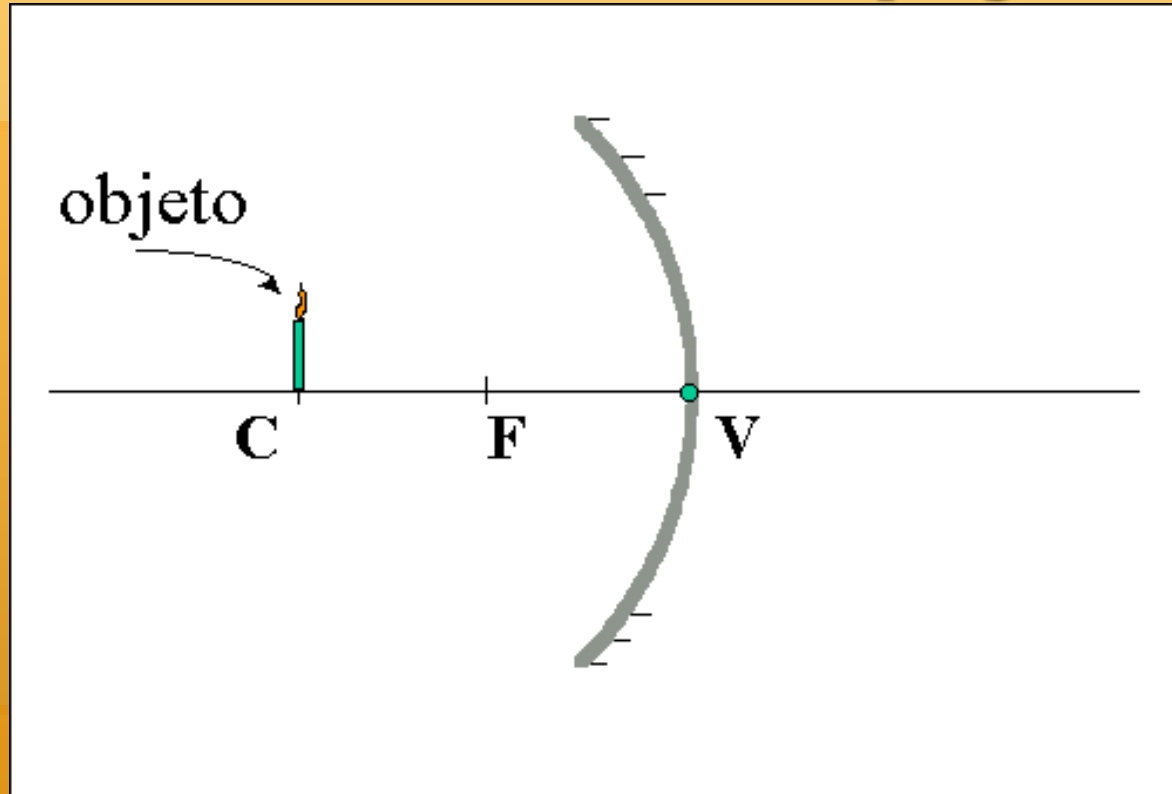


El rayo que pasa por el foco se refleja paralelo al eje principal.



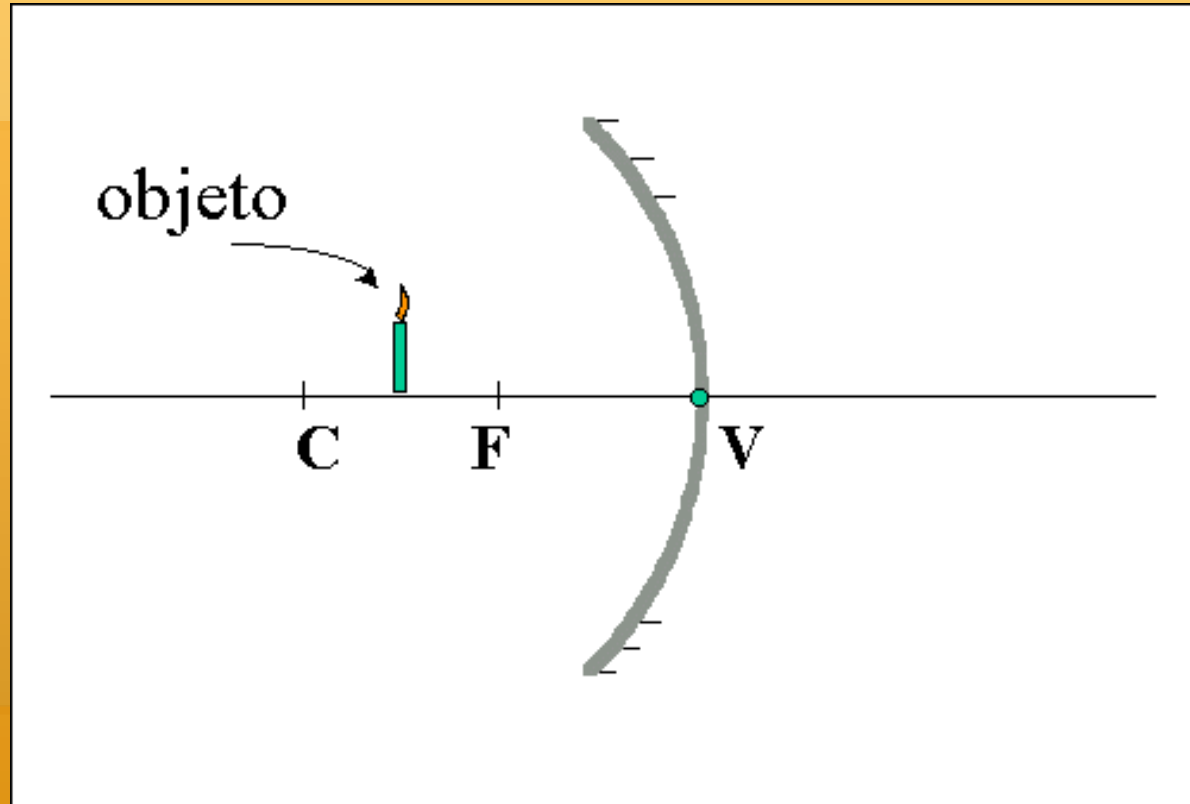
El rayo que pasa por el centro de curvatura se refleja sobre si mismo

Si el objeto está en el centro de curvatura del espejo



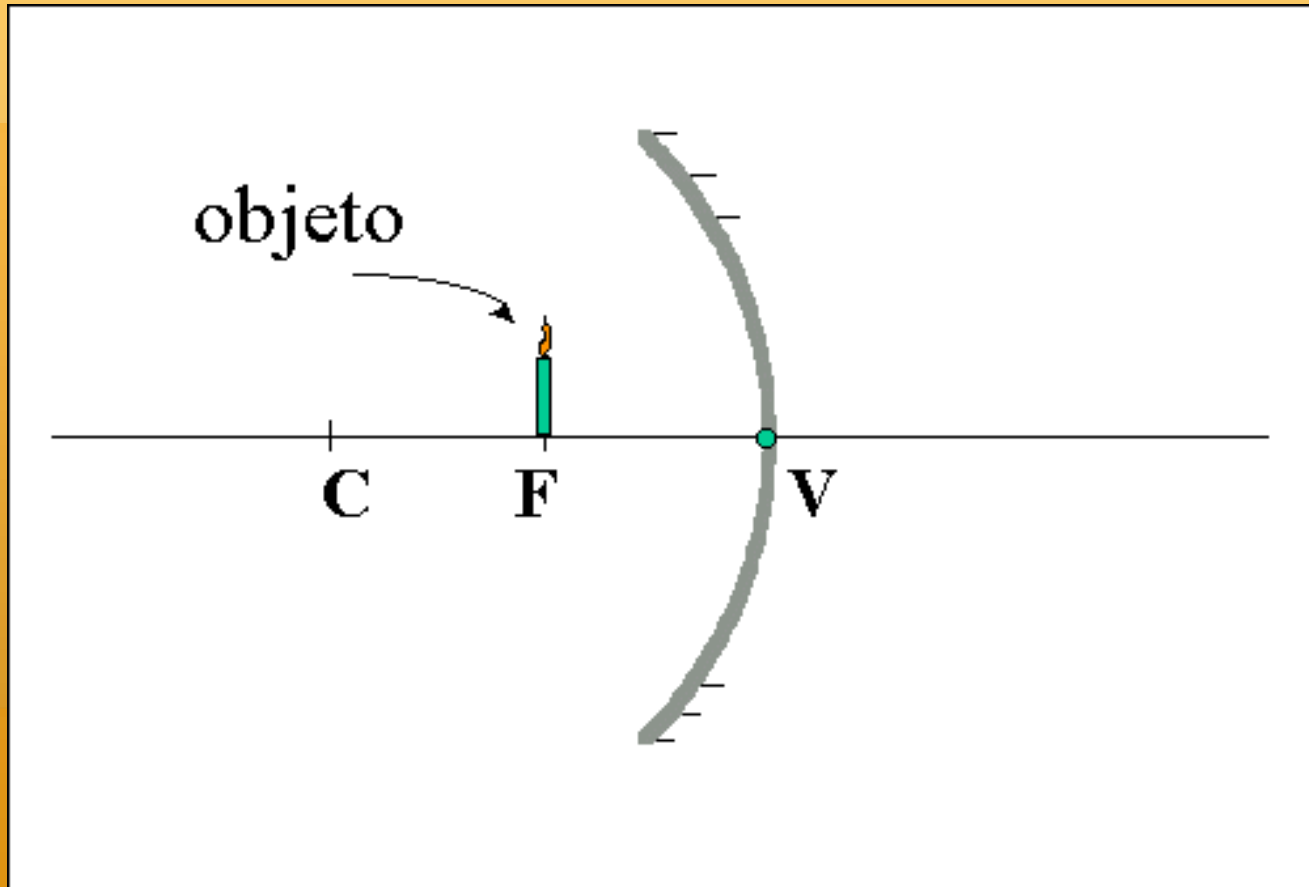
La imagen es real, invertida y de igual tamaño que el objeto

Si el objeto está entre el centro de curvatura y el foco del espejo



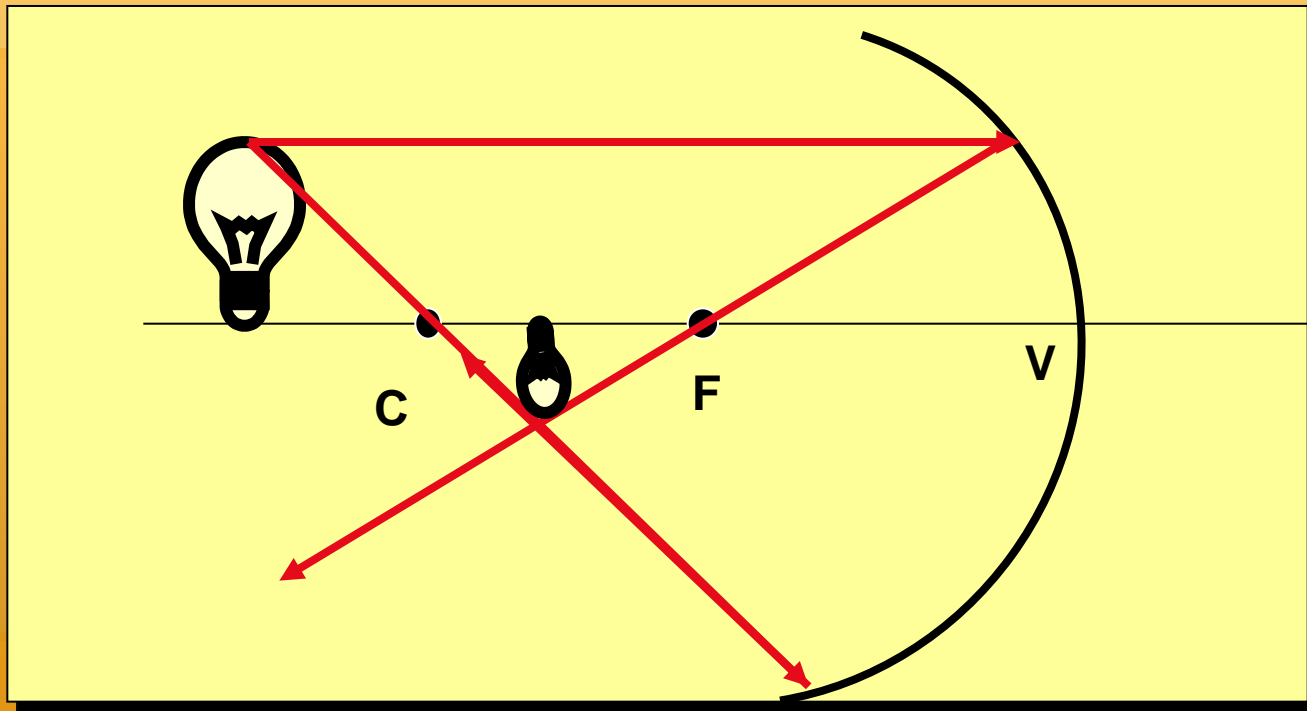
La imagen obtenida es real, invertida y mayor que el objeto

Si el objeto está en el foco del espejo



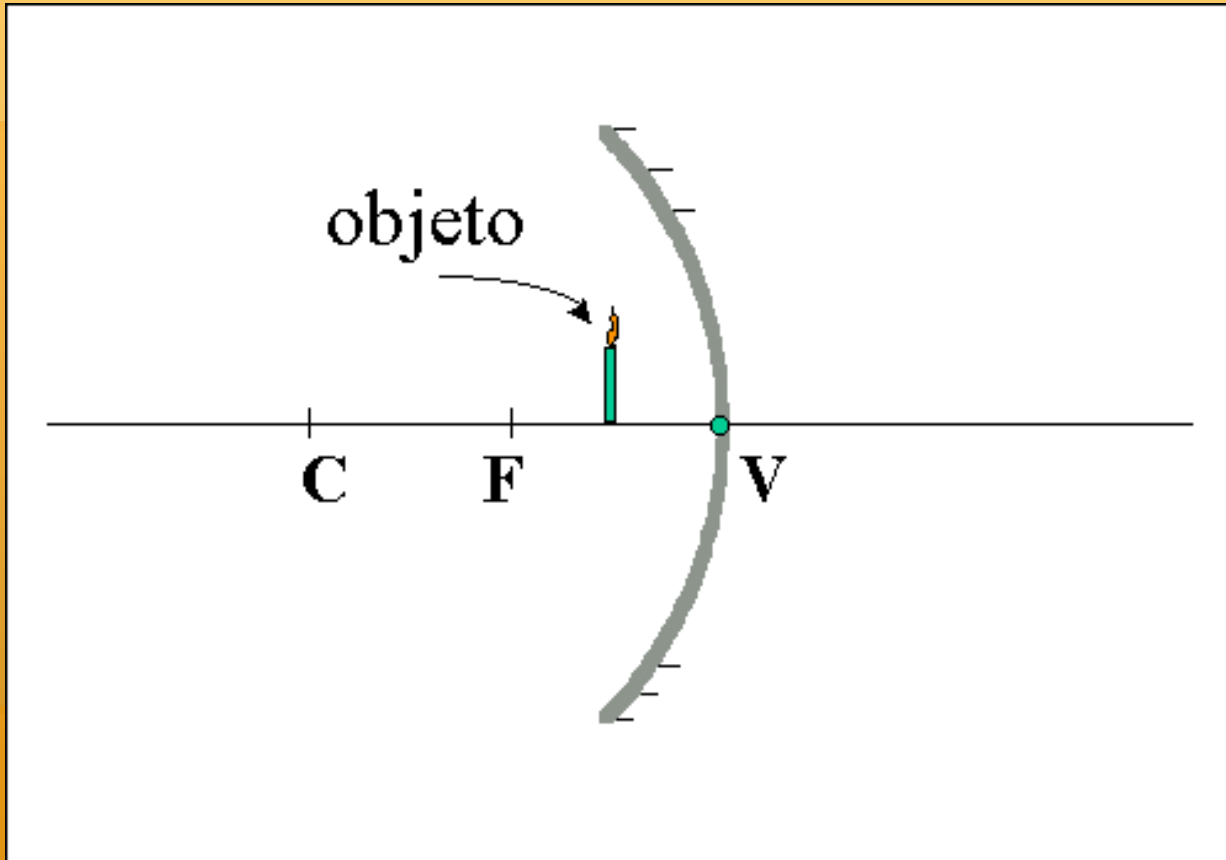
La imagen se forma en el infinito.

Si el objeto está antes del centro de curvatura del espejo



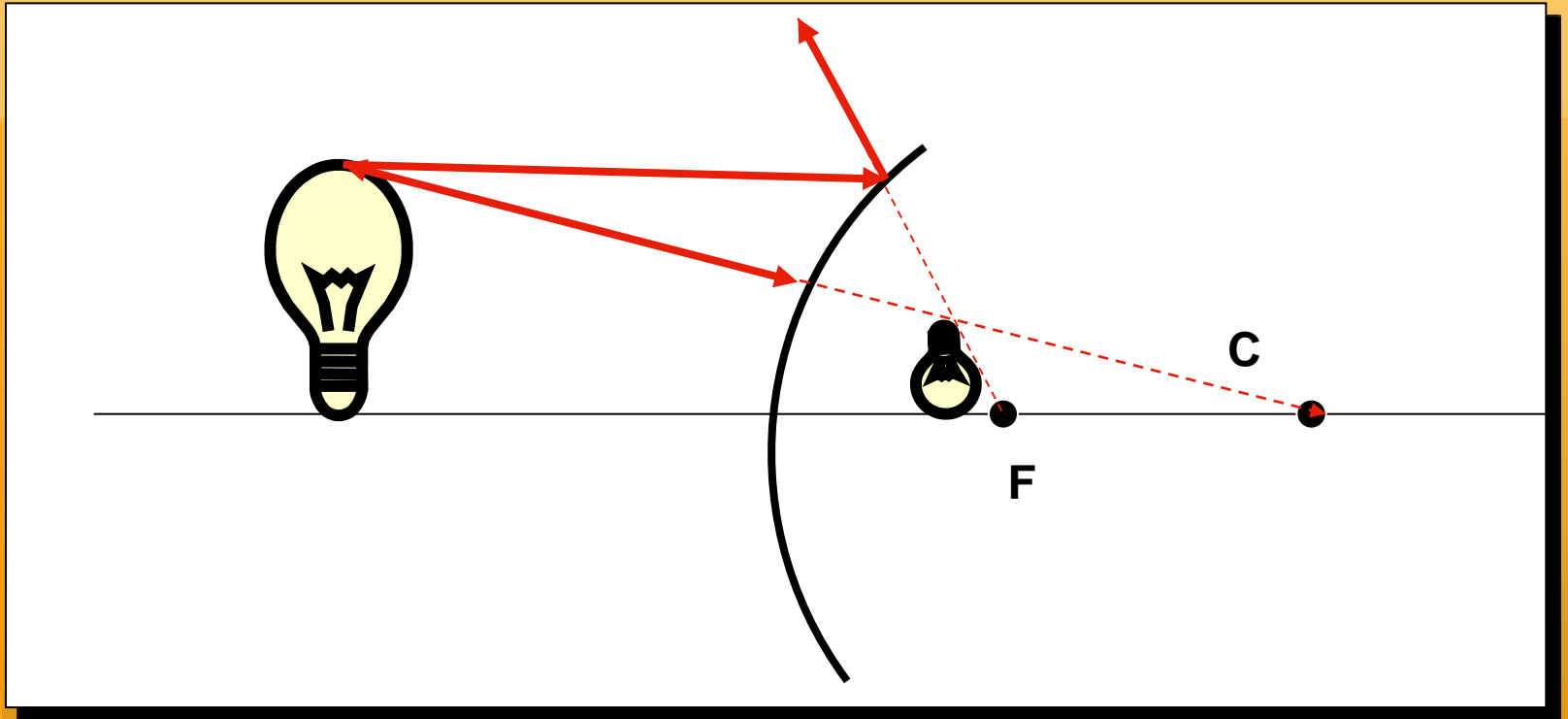
La imagen es real invertida y menor que el objeto

Si el objeto está entre el foco y el vértice del espejo



La imagen es virtual, derecha y mayor que el objeto

Espejos convexos



La imagen es virtual, invertida y menor