

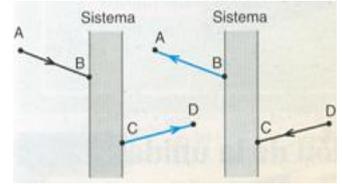
CONCEPTOS DE ÓPTICA GEOMÉTRICA

DEFINICIÓN DE ÓPTICA GEOMÉTRICA

La óptica geométrica es la parte de la óptica que trata, a partir de representaciones geométricas, de los cambios de dirección que experimentan los rayos luminosos en los distintos fenómenos de reflexión y refracción.

LA ÓPTICA GEOMÉTRICA PARTE DE LOS SIGUIENTES SUPUESTOS:

- La luz se propaga rectilíneamente en los medios homogéneos e isótropos.
- Los rayos luminosos son reversibles; el camino seguido por un rayo es independiente de que se produzca en un determinado sentido o en su contrario.
- Se cumplen las leyes de la reflexión y de la refracción.

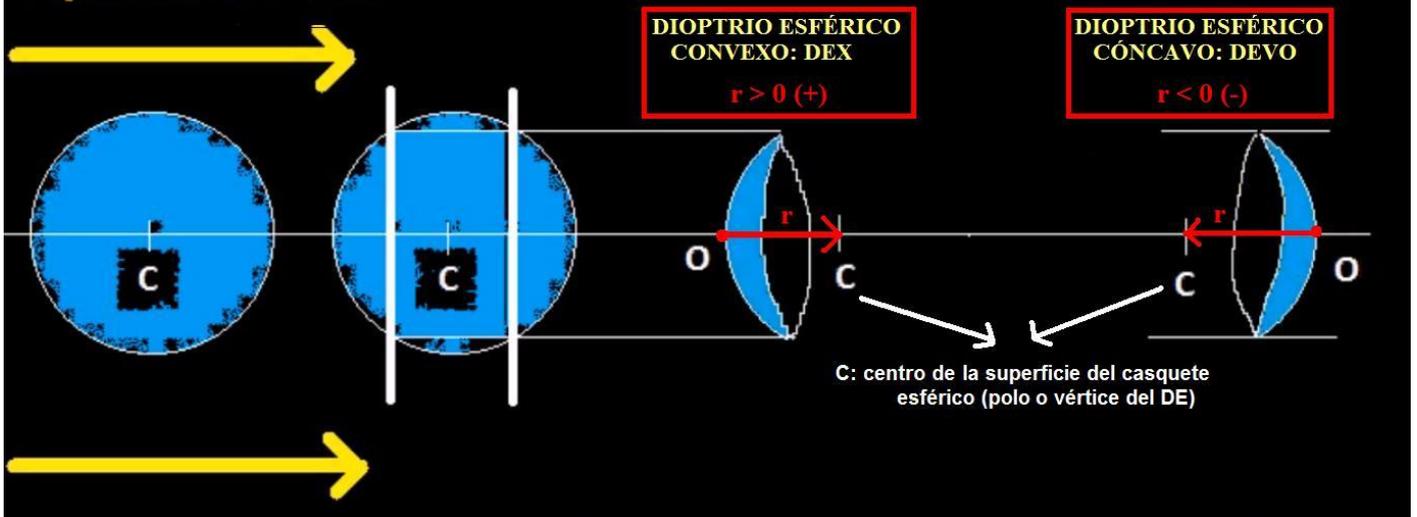


DIOPTRIO: Un dioptrio es el sistema óptico formado por una sola superficie que separa dos medios de distinto índice de refracción. Puede ser *plano* o *esférico* según sea esta superficie.

EL DIOPTRIO ESFÉRICO

Un dioptrio esférico (DE) es una superficie esférica (de un casquete esférico) transparente que separa dos medios ópticos (MO), también transparentes, de distinto índice de refracción (n y n')

CRITERIO 1: en los esquemas ópticos la luz se propagará siempre de izquierda a derecha.



INDICE DE REFRACCIÓN (n) de un medio: Es una magnitud relativa. Es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en ese medio. $n = c/v$

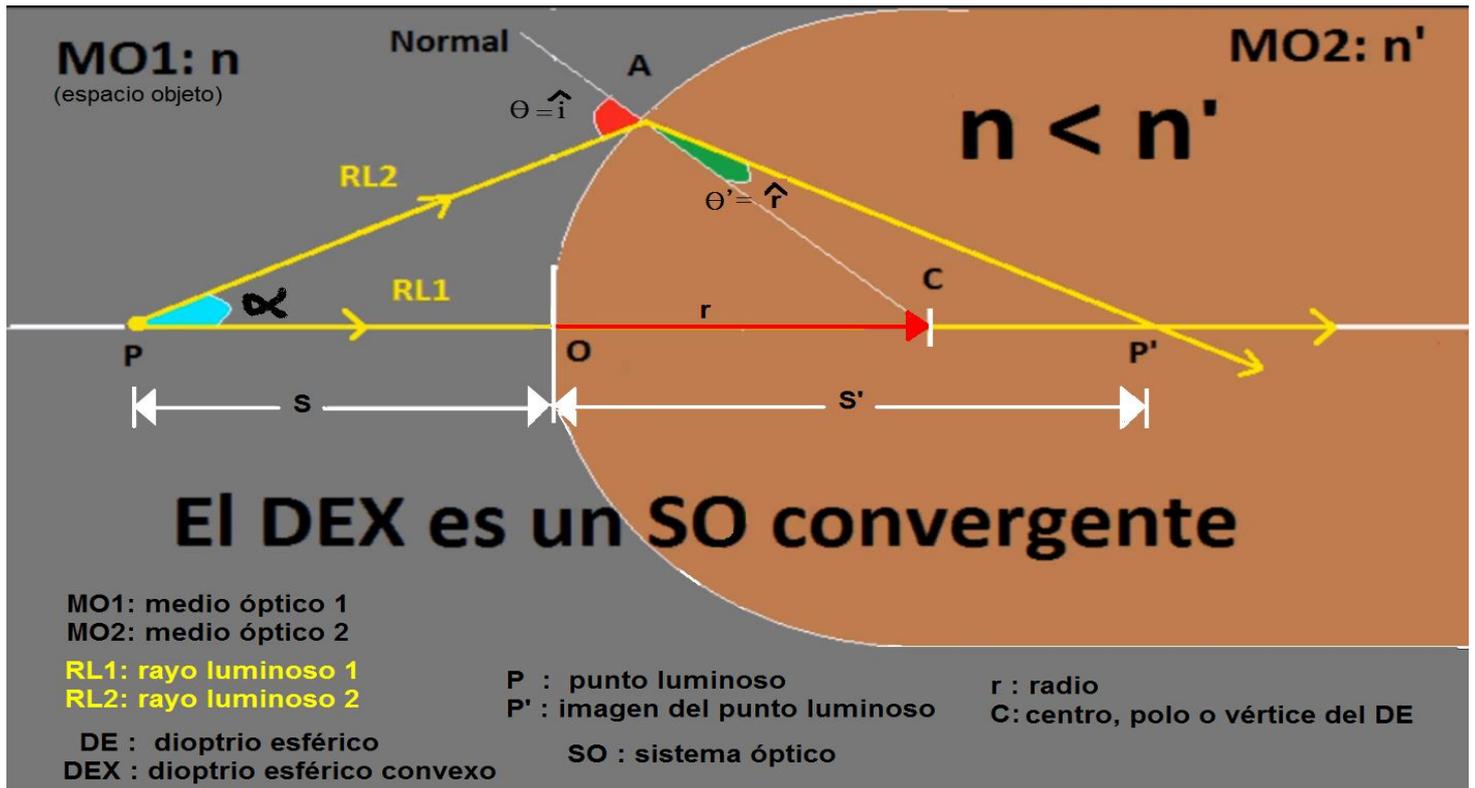
REFRINGENCIA de un medio óptico (MO): Es una manera indirecta de hablar de la velocidad de la luz en ese medio. Viene determinada por n . (Mayor refringencia, mayor n ; menor refringencia, menor n).

SISTEMA ÓPTICO: es un conjunto de superficies, de varios dioptrios que separan medios transparentes, homogéneos e isótropos de distinto índice de refracción.

Un sistema óptico es **estigmático** cuando todos los rayos procedentes de cualquier punto objeto pasan por un punto imagen determinado. En caso contrario, el sistema se denomina **astigmático**.

Medio	Densidad (d) (kg/m ³)	Velocidad (v)x10 ⁸ (m/s)	Índice de refracción (n) refringencia
Vacío	0	3'00	=1
Aire	1'3	3'00	~1
Agua	1.000	2'25	4/3
Vidrio	2.600	1'94	3/2
Oro (opaco)	19.300	0	∞

DIOPTRIOS ESFÉRICOS



Utilizamos la aproximación de Gauss (óptica paraxial del dioptrio esférico): todos los puntos de luz del medio óptico 1 son estigmáticos, es decir, todos los rayos de luz que salen del punto P convergen en el punto P':

- esto sólo se da para valores del ángulo α muy pequeños, donde: **$\text{sen } \theta = \theta$ y $\text{sen } \theta' = \theta'$** .
- según la ley de Snell: $n \cdot \text{sen } \theta = n' \cdot \text{sen } \theta'$ queda: $n \cdot \theta = n' \cdot \theta'$

y resolviendo triángulos PAC Y CAP' obtenemos la ecuación fundamental de la óptica geométrica (escrita de otra forma se llama Invariante de Abbe) que se generaliza para todos los dioptrios, lentes y espejos:

$$\frac{n'}{S'} - \frac{n}{S} = \frac{n' - n}{r} \quad (1)$$

$$n \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{s} \right) = n' \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{s'} \right)$$

Invariante de Abbe

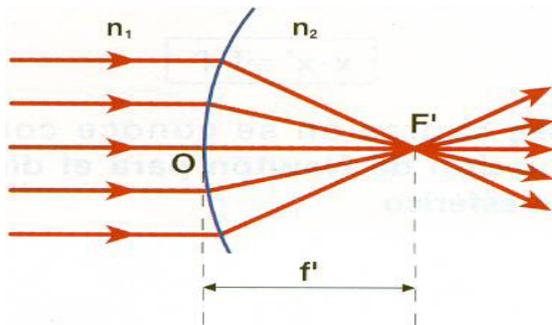
$$\frac{n' - n}{r} = D \quad (2)$$

D= POTENCIA O CONVERGENCIA (C) de un determinado DEX, como $n' - n > 0$ la potencia tiene el signo del radio.
se mide en m⁻¹ y, en óptica, m⁻¹ = 1 dioptría

- El **DEX** (dioptrio esférico convexo) es un sistema óptico centrado convergente, los rayos refractados se aproximan (convergen) cortándose en un punto P', que será la imagen real del punto luminoso situado en P. $r > 0$, así que $D > 0$ ($r(+)$, $D(+)$)
- El **DEVO** (dioptrio esférico cóncavo) es un sistema óptico centrado divergente, los rayos luminosos refractados se separan (divergen) cortándose sus prolongaciones en un punto P', que será la imagen virtual (no existe en la realidad, solo la ve nuestro ojo) del punto luminoso situado en P. $r < 0$, así que $D < 0$ ($r(-)$, $D(-)$)
- El **dioptrio plano** es siempre divergente, se cortan las prolongaciones de los rayos produciéndose una imagen virtual. $r = \infty$, así que $D = 0$.

PUNTOS CARACTERÍSTICOS DEL DEX:

1. **FOCAL IMAGEN:** Colocamos P en el infinito. Foco imagen, F', y distancia focal imagen, f'.



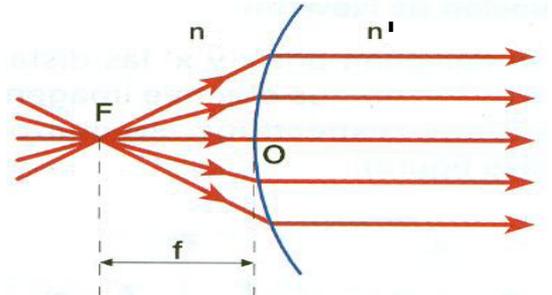
colocamos P en el infinito $P = \infty$ ($S = \infty$), entonces $P' = F'$ ($S' = f'$)

$$\frac{n'}{S'} - \frac{n}{S} = \frac{n' - n}{r} \quad (1) \quad \frac{n'}{f'} - \frac{n}{\infty} = \frac{n' - n}{r}$$

$$\frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{r} \quad \frac{n'}{f'} = D \quad f' = \frac{n'}{D} \quad (3)$$

La ecuación 3 es la ecuación de la distancia focal imagen que nos da la posición de la focal imagen F' o foco imagen. (Cuanto mayor es D menor es f', es decir, cuanto más potente es el dioptrio más cerca de "O" convergen los rayos).

2. **FOCAL OBJETO:** Por el principio de reversibilidad del rayo de luz: $P' = \infty$ ($S' = \infty$) y $P = F$ ($S = f$) Foco objeto, F, y distancia focal objeto, f.



$$\frac{n'}{S'} - \frac{n}{S} = \frac{n' - n}{r} \quad (1) \quad \frac{n'}{\infty} - \frac{n}{f} = \frac{n' - n}{r}$$

$$-\frac{n}{f} = \frac{n' - n}{r} \quad -\frac{n}{f} = D \quad f = -\frac{n}{D} \quad (4)$$

La ecuación 4 es la ecuación de la distancia focal objeto que nos da la posición de la focal objeto F o foco objeto.

Dividiendo la ecuación 3 entre la 4

$$\frac{f' = \frac{n'}{D}}{f = -\frac{n}{D}} \Rightarrow \frac{f'}{f} = \frac{\frac{n'}{D}}{-\frac{n}{D}} \Rightarrow \boxed{\frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n}} \quad (\text{Se emplea poco})$$

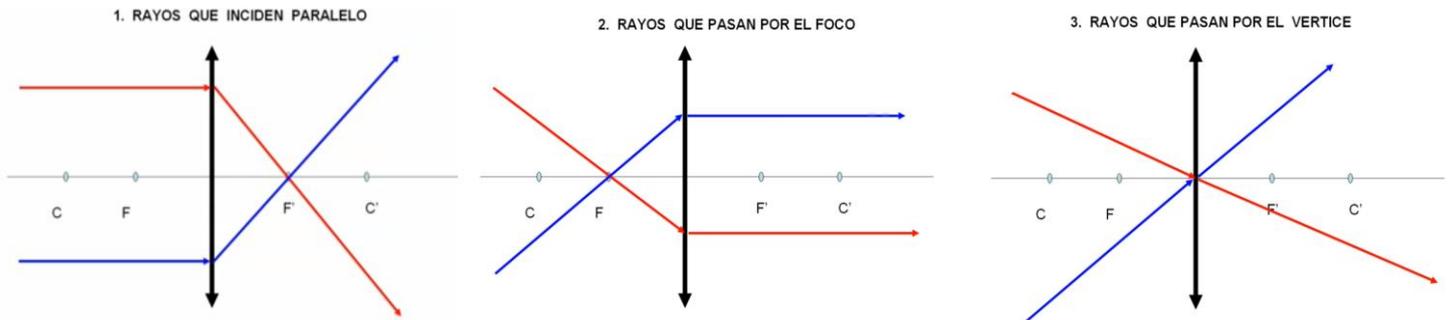
Trabajando con la ecuación 3 y 4 y sustituyendo en la 1:

$$\left. \begin{array}{l} f' = \frac{n'}{D} \Rightarrow n' = f' D \\ f = -\frac{n}{D} \Rightarrow n = -f D \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{sustituimos en 1:} \\ \text{sustituimos la 2 en 1:} \end{array} \left[\frac{f' D}{S'} - \frac{-f D}{S} = \frac{n' - n}{r} \right] \Rightarrow \frac{f' D}{S'} - \frac{-f D}{S} = \frac{n' - n}{r} \Rightarrow \frac{f'}{S'} + \frac{f}{S} = \frac{n' - n}{r D}$$

fórmula general del dioptrio esférico o fórmula de Gauss

$$\boxed{\frac{f'}{S'} + \frac{f}{S} = 1}$$

se utiliza mucho



DIOPTRIO PLANO

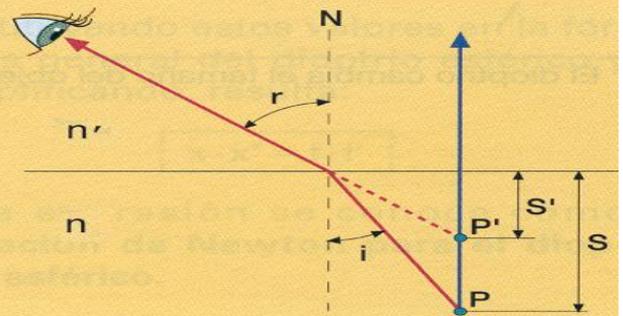
El dioptrio plano puede considerarse como un caso particular del dioptrio esférico con radio infinito. Haciendo la sustitución $r \rightarrow \infty$ en la fórmula general del dioptrio esférico, se obtiene:

$$\frac{n'}{S'} - \frac{n}{S} = \frac{n' - n}{r} \Rightarrow \frac{n'}{S'} - \frac{n}{S} = \frac{n' - n}{\infty} \Rightarrow \boxed{\frac{n'}{S'} = \frac{n}{S}}$$

Profundidad aparente de un objeto sumergido

Como el índice de refracción del agua es mayor que el del aire, la profundidad aparente de un objeto sumergido en agua es menor que la profundidad real, pues el observador aprecia la imagen virtual del objeto, a una distancia s' de la superficie del agua menor que la distancia real s . En efecto, de la expresión correspondiente al dioptrio plano se deduce:

$$\frac{\text{Profundidad aparente}}{\text{Profundidad real}} = \frac{s'}{s} = \frac{n'}{n}$$



La profundidad aparente s' del punto objeto sumergido P es menor que la profundidad real s .

CONVENIO DE SIGNOS:

- En las figuras, la luz incide de izquierda a derecha.
- El origen de coordenadas O es el polo del dioptrio y el eje OX, el eje óptico.
- Las distancias en la horizontal son positivas para los puntos a la derecha de O y negativas para los puntos a su izquierda.
- Las distancias en la vertical son positivas por encima del eje del dioptrio y negativas por debajo de él.
- Los ángulos de incidencia, reflexión y refracción son positivos si, para que el rayo coincida con la normal a la superficie por el camino más corto, ha de girar en sentido horario. Son negativos en caso contrario.
- Los ángulos formados por los rayos o por la normal con el eje óptico son positivos si, para hacerlos coincidir con el eje por el camino más corto, han de girar en sentido antihorario.

AUMENTO LATERAL DEL DIOPTRIO

Aumento lateral del dioptrio, M_L (**A**), es la relación entre el tamaño de la imagen y el del objeto:

$$M_L = \frac{y'}{y}$$

$$M_L = -\frac{f \cdot s'}{f' \cdot s}$$

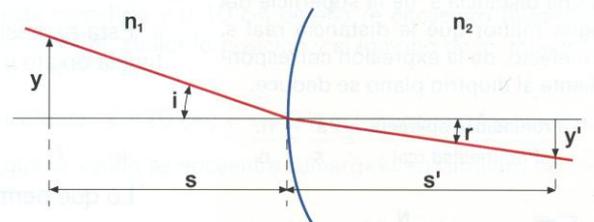


IMAGEN REAL DE UN PUNTO OBJETO: es la imagen formada en un sistema óptico mediante intersección en un punto de los rayos convergentes procedentes del objeto puntual después de atravesar el sistema.

IMAGEN VIRTUAL DE UN PUNTO OBJETO: es la imagen formada mediante intersección en un punto de las prolongaciones de los rayos divergentes formados después de atravesar el sistema óptico.

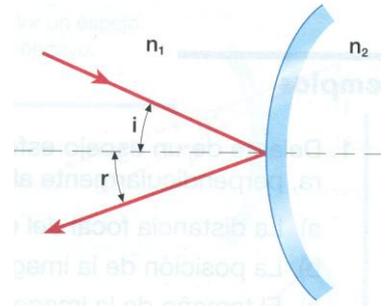
ESPEJOS

Un espejo es toda superficie pulimentada capaz de reflejar la luz. Según la forma de dicha superficie, los espejos pueden ser planos, esféricos, parabólicos, etc.

De acuerdo con el criterio de signos para los ángulos, en el caso de la figura la ley de la reflexión se escribiría de la forma: $i = -r$ y se puede considerar como un caso particular de la refracción y aplicar, por consiguiente, la ley de Snell:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{\text{sen } i}{\text{sen}(-i)} = \frac{\text{sen } i}{-\text{sen } i} = \frac{n'}{n} = -1$$

es decir: $n' = -n$, ya que la luz al reflejarse cambia de sentido, pero no de medio.



Espejos esféricos

La ecuación fundamental del dioptrio esférico es válida para los espejos esféricos teniendo en cuenta que $n' = -n$. Se obtiene así:

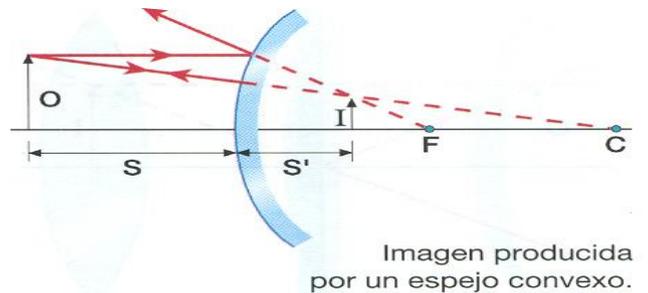
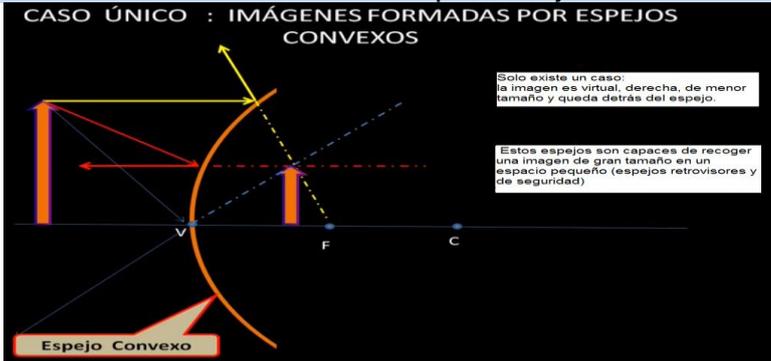
$$\frac{n'}{S'} - \frac{n}{S} = \frac{n' - n}{r} \Rightarrow \frac{-n}{S'} - \frac{n}{S} = \frac{-n - n}{r} \Rightarrow \frac{n}{S'} + \frac{n}{S} = \frac{2n}{r} \Rightarrow \boxed{\frac{1}{S'} + \frac{1}{S} = \frac{2}{r}}$$

De acuerdo con el criterio de signos admitido:

Las distancias focales objeto e imagen (f y f') se obtienen a partir de la expresión anterior haciendo $s' \rightarrow \infty$ y $s \rightarrow \infty$, respectivamente. Resulta:

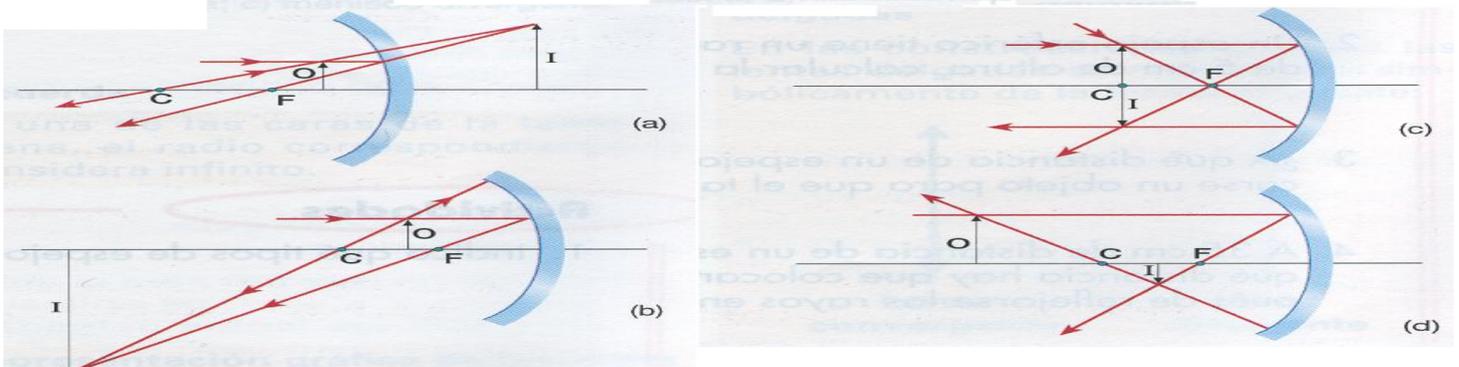
$$\boxed{f = f' = \frac{R}{2}} \quad \text{por lo que} \quad \boxed{\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}} \quad \text{y} \quad \boxed{M_L = -\frac{s'}{s}}$$

Las imágenes producidas por los **ESPEJOS CONVEXOS** son siempre virtuales, derechas y de menor tamaño que el objeto. **Para los espejos convexos: $R > 0$**



Las imágenes producidas por los espejos **CÓNCAVOS** varían según la posición del objeto. **Para los espejos cóncavos: $R < 0$.**

Imágenes producidas por un espejo cóncavo.

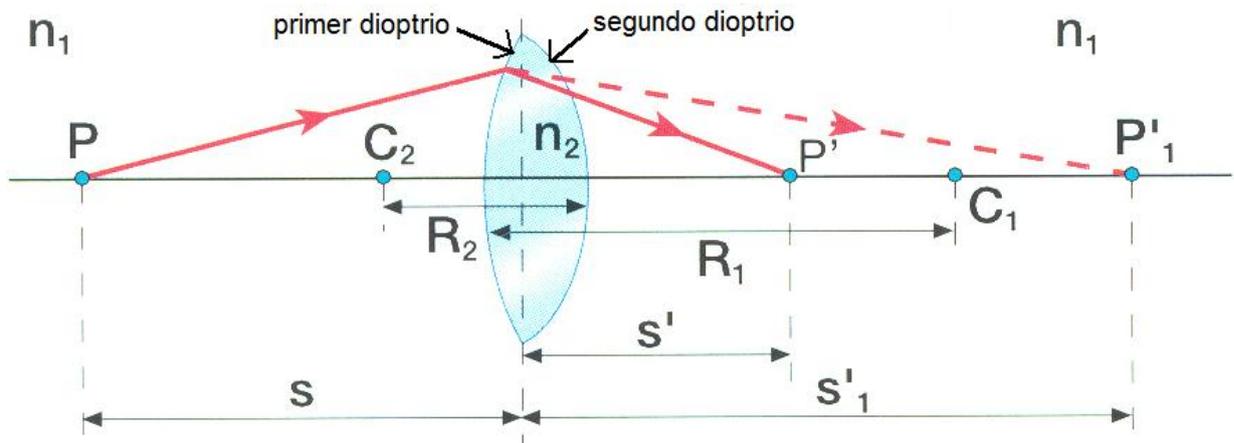


La imagen producida por un **ESPEJO PLANO** es virtual, dista del espejo lo mismo que el objeto, tiene su mismo tamaño y es directa. Los espejos planos pueden considerarse como un caso particular de los espejos esféricos de radio infinito.

$$\frac{1}{S'} + \frac{1}{S} = \frac{2}{r} \Rightarrow \frac{1}{S'} + \frac{1}{S} = \frac{2}{\infty} \Rightarrow \frac{1}{S'} + \frac{1}{S} = 0 \Rightarrow \frac{1}{S'} = -\frac{1}{S} \Rightarrow \boxed{S = -S'}$$

LENTEs

Una lente es un sistema óptico formado por dos dioptros, de los que uno, al menos, suele ser esférico.



El primer dioptrio, de radio R_1 , forma la imagen del punto P en P'_1 y este punto sirve de objeto para el segundo dioptrio, de radio R_2 , que forma su imagen en P' .

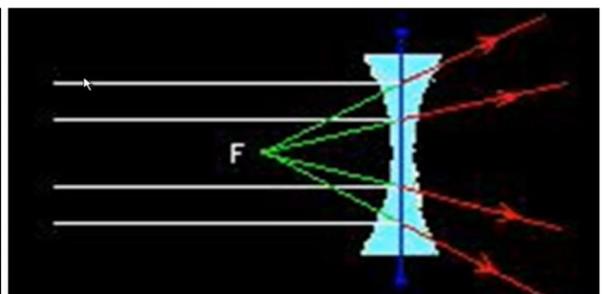
Para deducir la fórmula de las lentes solo tenemos que tener en cuenta que se trata de dos dioptros en el aire:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Dioptro 1: } \begin{cases} n = 1 \\ n' = n \end{cases} \text{ al sustituir en la ecuación del dioptro: } \frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r} \rightarrow \frac{n}{s'_1} - \frac{1}{s} = \frac{n-1}{R_1} \\ \text{Dioptro 2: } \begin{cases} n = n \\ n' = 1 \end{cases} \text{ al sustituir en la ecuación del dioptro: } \frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r} \rightarrow \frac{1}{s'} - \frac{n}{s'_1} = \frac{1-n}{R_2} \end{array} \right\}$$

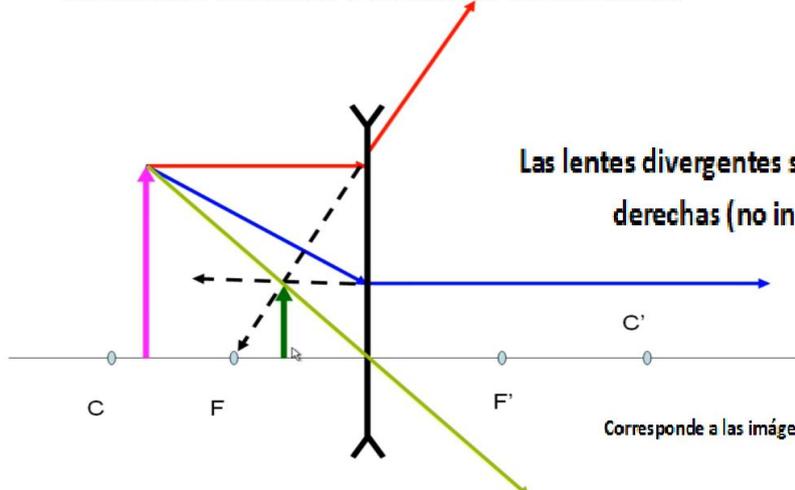
Si sumamos las dos expresiones, tenemos: $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$

LENTEs DIVERGENTES

TRAYECTORIA DE LOS RAYOS EN L. DIVERGENTES



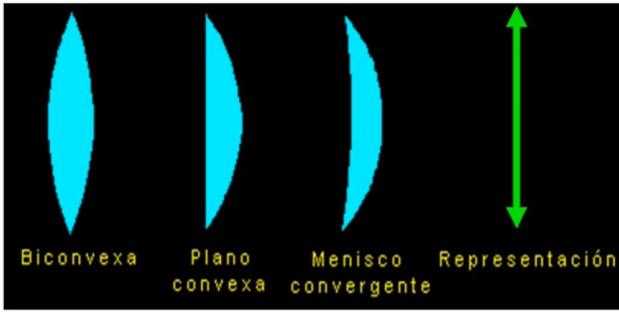
IMÁGENES FORMADAS POR LENTEs DIVERGENTES



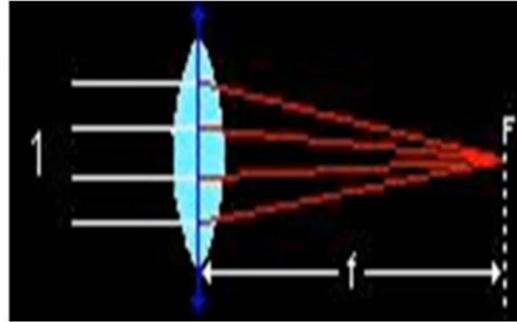
Las lentes divergentes siempre producen imágenes virtuales, derechas (no invertidas) y de menor tamaño.

Corresponde a las imágenes formadas por los espejos convexos.

LENTES CONVERGENTES

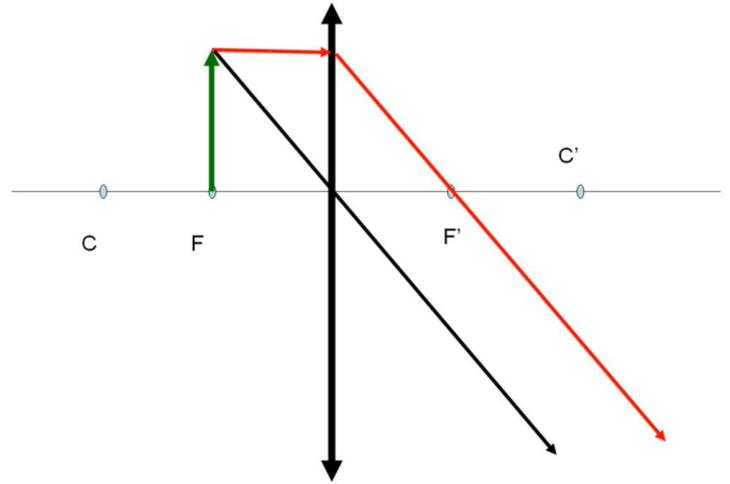
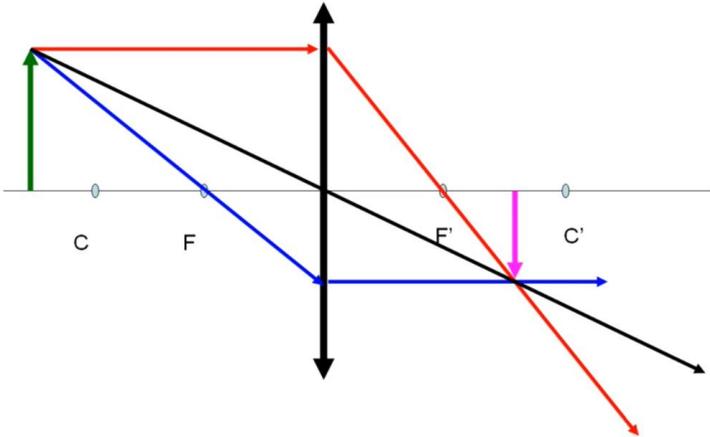


TRAYECTORIA DE LOS RAYOS EN L. CONVERGENTES



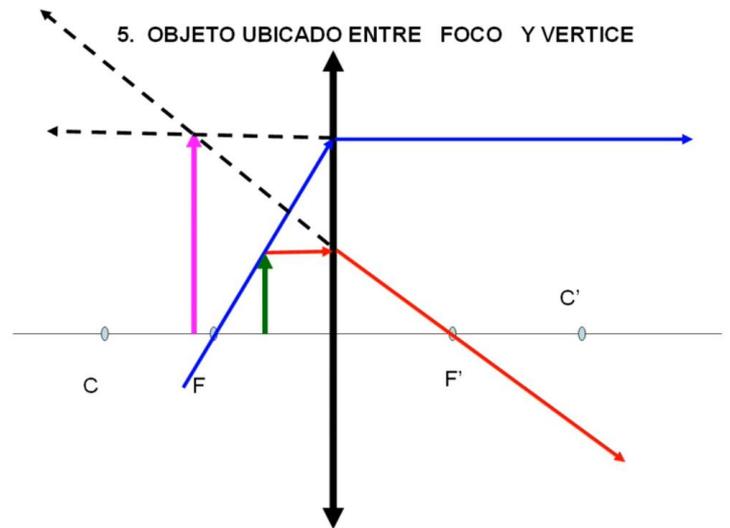
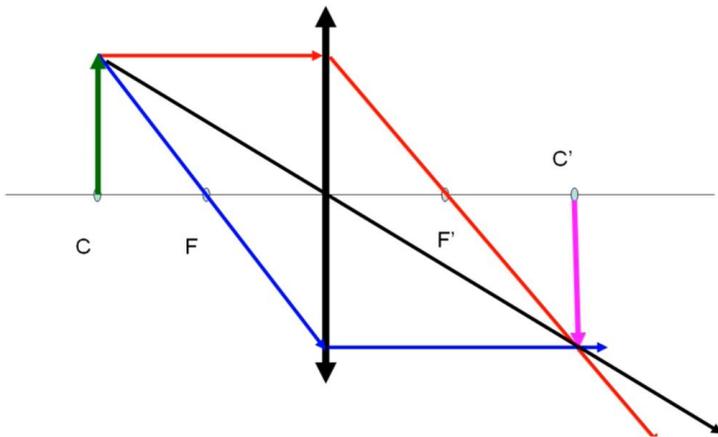
1. OBJETO UBICADO EN EL INFINITO

4. OBJETO UBICADO EN EL FOCO

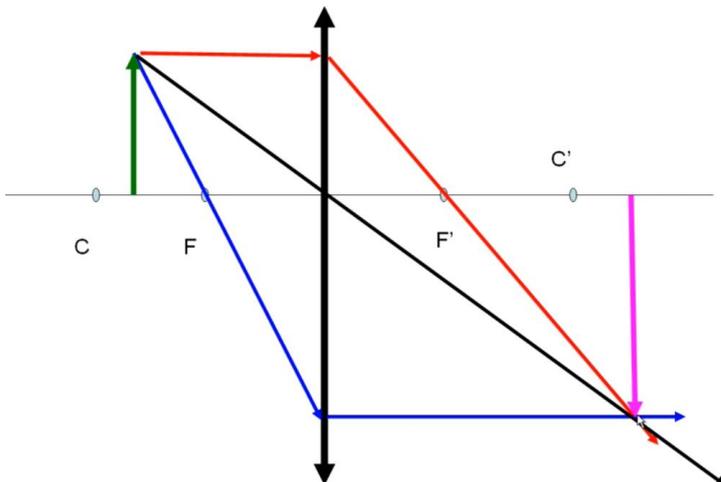


2. OBJETO UBICADO EN EL CENTRO

5. OBJETO UBICADO ENTRE FOCO Y VERTICE



3. OBJETO UBICADO ENTRE CENTRO Y FOCO



RESUMEN DE LAS RELACIONES MÁS IMPORTANTES DE DIOPTRIOS, ESPEJOS Y LENTES

	Fórmula fundamental	Foco objeto	Foco imagen	Fórmula general	Aumento lateral
Dioptrios esféricos	$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{R}$ $\frac{n' - n}{R} = D \quad \boxed{D=C}$	$f = -\frac{n}{n' - n} \cdot R$	$f' = \frac{n'}{n' - n} \cdot R$	$\frac{f'}{s'} + \frac{f}{s} = 1$ <p><small>(dividiendo los dos miembros de la ecuación fundamental entre el segundo y sustituyendo por f y f')</small></p>	$M_L = -\frac{f \cdot s'}{f' \cdot s}$
Dioptrios planos	$\boxed{R = \infty} \quad \frac{n}{s} = \frac{n'}{s'}$	$f \rightarrow \infty$	$f' \rightarrow \infty$		$M_L = 1$
Espejos esféricos	$\boxed{n' = -n} \quad \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R}$	$f = \frac{R}{2}$	$f' = \frac{R}{2}$	$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$	$M_L = -\frac{s'}{s}$
Espejos planos	$\boxed{R = \infty}$ $\boxed{n' = -n} \quad \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = 0$	$f \rightarrow \infty$	$f' \rightarrow \infty$	$s' = -s$	$M_L = 1$
Lentes	$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$	$\frac{1}{f} = (1-n) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$	$\frac{1}{f'} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$	$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f} = -\frac{1}{f'}$	$M_L = \frac{s'}{s}$