| | | |
|---|---|---|
| | **ÓPTICA**<br>**ÓPTICA GEOMÉTRICA** | **IES La Magdalena. Avilés. Asturias** |

En la óptica geométrica se estudian los cambios de dirección experimentados por los rayos de luz cuando son reflejados o refractados mediante representaciones geométricas. Para trazar el camino de los rayos se tiene en cuenta lo siguiente:

- La luz cuando se propaga en un medio homogéneo lo hace en línea recta.
- Se supone que el tamaño de los obstáculos que la luz encuentra en su camino son muy grandes en comparación con su longitud de onda. Por tanto, no tienen lugar procesos de difracción.
- El trazado de los rayos se realiza siguiendo las leyes estudiadas para la reflexión y la refracción.
- Los rayos luminosos son reversibles.
- ***La imagen de un punto se forma en la intersección de los rayos***. Si divergen después de la reflexión o la refracción, la imagen se forma en la intersección de su prolongación (en sentido opuesto al de propagación)

## Reflexión en espejos planos

- Los rayos que llegan a un espejo se reflejan siguiendo las leyes de la reflexión.
- Un rayo que incida perpendicularmente al espejo se refleja sobre si mismo.
- La imagen se forma en la intersección de los rayos. Aparentemente está "en el interior del espejo", al otro lado de la superficie reflectante es derecha (no está invertida) ,del mismo tamaño, y a una distancia (s') igual a la que se sitúa el objeto del espejo (s). ***Las imágenes que se forman al prolongar los rayos se denominan virtuales,*** ya que no pueden ser recogidas por una pantalla

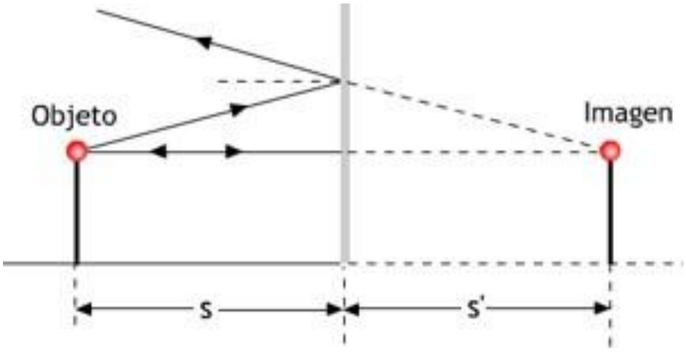
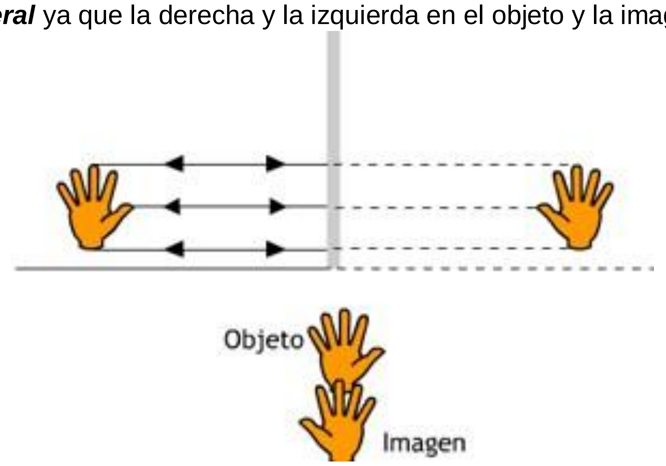
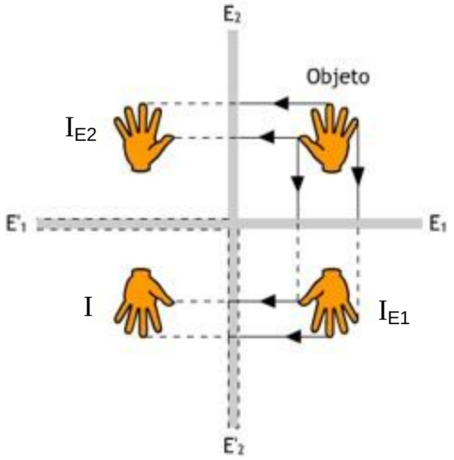



Imagen:
- Virtual
- Derecha
- Del mismo tamaño
- Distancia imagen=distancia objeto

- Las imágenes formadas por reflexión en un espejo plano presentan lo que se conoce con el nombre de ***inversión lateral*** ya que la derecha y la izquierda en el objeto y la imagen están invertidas.

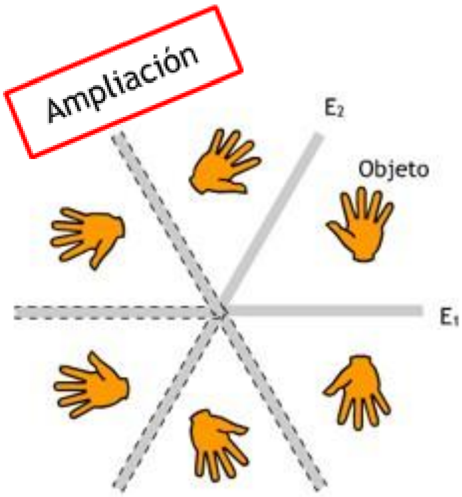


S situamos dos espejos planos uno junto al otro, la imagen de uno se puede reflejar en el otro produciendo una repetición del objeto inicial. ***El número de imágenes formadas dependerá del ángulo entre los espejos.***




En la imagen (izquierda) puede verse como dos espejos que forman un ángulo de $90^0$ ($E_1$ y $E_2$) se reflejan mutuamente dando las correspondiente imágenes ($E'_1$ y $E'_2$). El objeto inicial situado entre ambos se refleja en $E_1$ obteniéndose la correspondiente imagen $I_{E1}$, y en $E_2$ obteniéndose $I_{E2}$. Tanto $I_{E1}$ cono $I_{E2}$ sirven a su vez de objetos para la reflexión en los espejos $E'_2$ y $E'_1$ dando la imagen común I.

Como resultado de las reflexiones s***e obtienen tres imágenes***.




Se muestra ahora (derecha) un esquema de la reflexión de un objeto en dos espejos que forman un ángulo de $60^0$ ($E_1$ y $E_2$). Los espejos se reflejan dando imágenes situadas en idéntica posición que los originales (ángulo de $60^0$). De manera similar al caso anterior las imágenes formadas sirven como objeto para el siguiente espejo. ***Se obtienen cinco imágenes.***

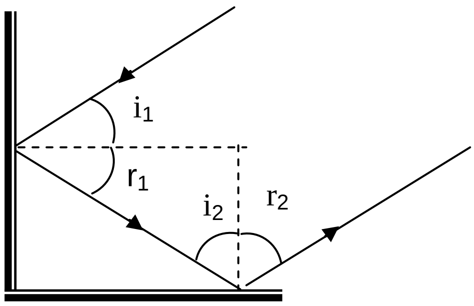
De forma general el número de imágenes formadas (N) depende del ángulo formado por los espejos :

$$\boxed{N = \frac{360}{\alpha} - 1}$$

**Ejemplo 1**

Dos espejos planos están colocados perpendicularmente entre sí. Un rayo que se desplaza en un plano perpenduicular a ambos es reflejado primero en uno y luego en el otro. ¿CUál es la dirección final del rayo respecto a su dirección original?

**Solución:**




Como se puede observar en la figura el rayo se refleja en dirección paralela al incidente, aunque en sentido contrario.

El ángulo de refracción final (segunda refracción) puede calcularse fácilmente considerando el triángulo rectángulo formado por la intersección de las normales a ambas caras (líneas discontinuas):

$r_1 + i_2 = 90^0$

Como: $i_1 = r_1$ e $i_2 = r_2$

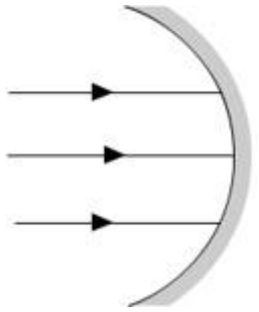
$r_1 + r_2 = 90^0$ ; $i_1 + r_2 = 90^0$ ; $\boxed{r_2 = 90^0 - i_1}$

Por ejemplo para un ángulo de incidencia de $30^0$ : $r_2 = 90^0 - 30^0 = 60^0$

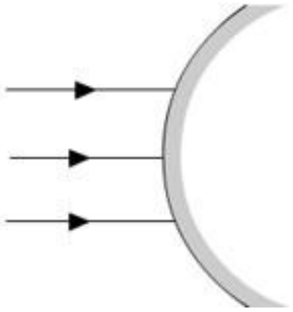
## Reflexión en espejos esféricos

Los espejos curvos, como su nombre indica, presentan cierta curvatura en la superficie reflectante. Dependiendo del tipo de curvatura tendremos espejos hiperbólicos, parabólicos, elípticos o esféricos. Aquí se considerarán únicamente estos últimos

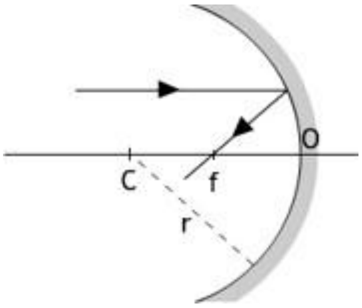
Los espejos esféricos pueden ser ***cóncavos o convexos (ver figura).***



Espejo esférico cóncavo



Espejo esférico convexo




Los elementos básicos de un espejo esférico son (ver figura):

- ***Eje del espejo*** (línea central).
- ***Centro óptico*** (O).
- ***Radio de curvatura*** (r). ***Centro de curvatura*** (C).
- ***Foco del espejo*** (f) o punto en el que se reflejan los rayos que inciden paralelamente al eje del espejo. El foco del espejo se sitúa sobre el eje óptico y a una distancia del centro óptico igual a la mitad del radio.

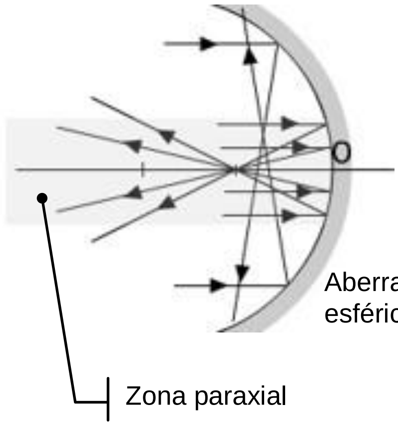
La obtención de las imágenes por reflexión en espejos esféricos se realiza teniendo en cuenta la trayectoria de algunos rayos característicos:

- ***La imagen se formará en el punto en que se corten los rayos (imagen real) o sus prolongaciones (imagen virtual)***
- ***Cualquier rayo paralelo al eje del espejo se refleja pasando por el foco (el foco es la imagen de un punto situado en el infinito).***
- Aplicando el principio de reversibilidad de los rayos podremos afirmar que ***todo rayo que incida pasando por el foco se reflejará paralelamente al eje del espejo (la imagen del foco está en el infinito).***
- ***Cualquier rayo que incida pasando por el centro de curvatura se refleja sobre si mismo*** (ya que incide perpendicularmente al espejo).

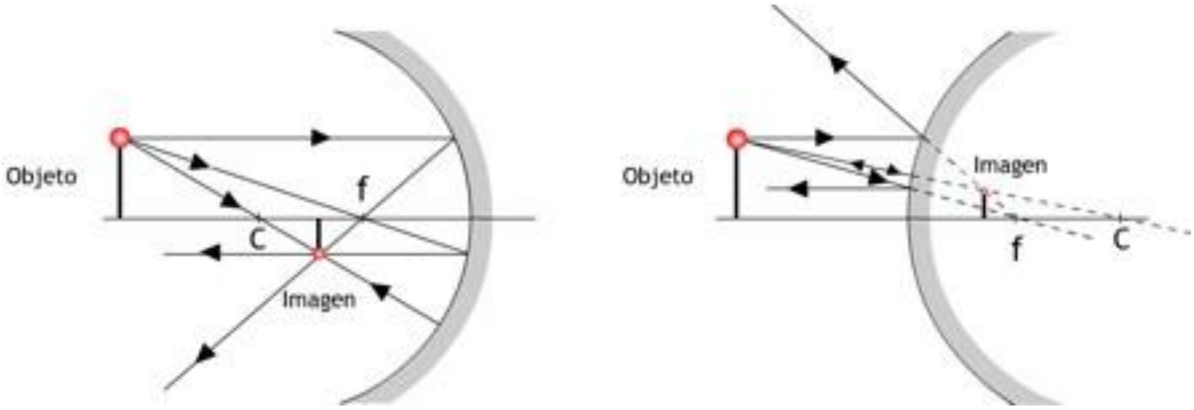
Lo anterior se aplica rigurosamente a rayos que incidan en el espejo en la zona próxima al eje óptico *(rayos paraxiales*). Si la zona de incidencia está alejada de la zona central del espejo los rayos que inciden paralelamente al eje óptico no se reflejan pasando exactamente por el foco. La imagen entonces no es nítida, sino algo borrosa, efecto conocido con el nombre de ***aberración esférica.***

La aberración de los espejos esféricos se puede evitar diafragmando los rayos para eliminar los que inciden lejos de la zona paraxial. El problema es que haciendo esto se disminuye la luminosidad de la imagen.

Si en lugar de un espejo esférico se utiliza un espejo parabólico se evita este tipo de aberración.



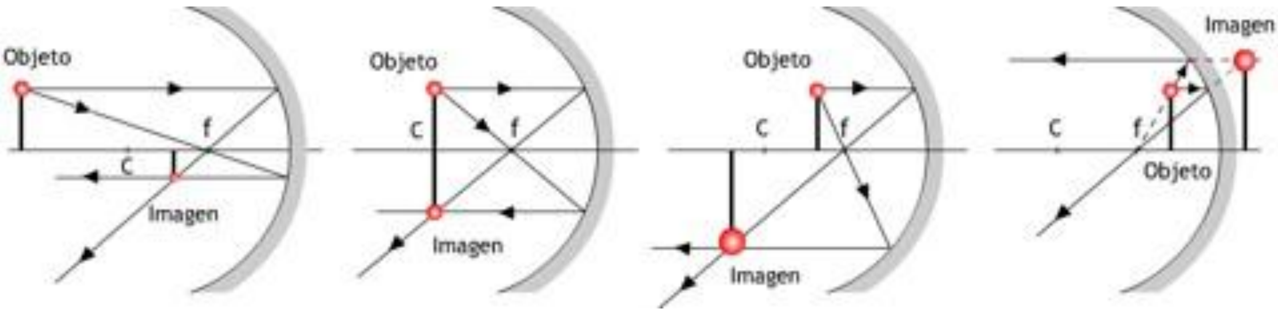

Aberración esférica




Obtención de imágenes en espejos trazando los rayos característicos.
Espejo cóncavo: ***imagen real, más pequeña e invertida.***
Espejo convexo: i***magen virtual, más pequeña y derecha.***

***En los espejos cóncavos la imagen es real e invertida si el objeto se sitúa más allá del foco y virtual y derecha si el objeto se sitúa entre el foco y el espejo.***

Si el objeto se sitúa más allá del centro de curvatura, la imagen es más pequeña que el objeto. A medida que acercamos el objeto la imagen (invertida) aumenta su tamaño hasta que se hace igual al del objeto cuando éste está situado justo en el centro de curvatura. A partir de ahí la imagen (aún invertida) se hace cada vez mayor. Cuando situamos el objeto en el foco la imagen se forma en el infinito (no se observa la imagen) y cuando el objeto se sitúa entre el foco y el espejo la imagen es virtual, derecha y mayor.

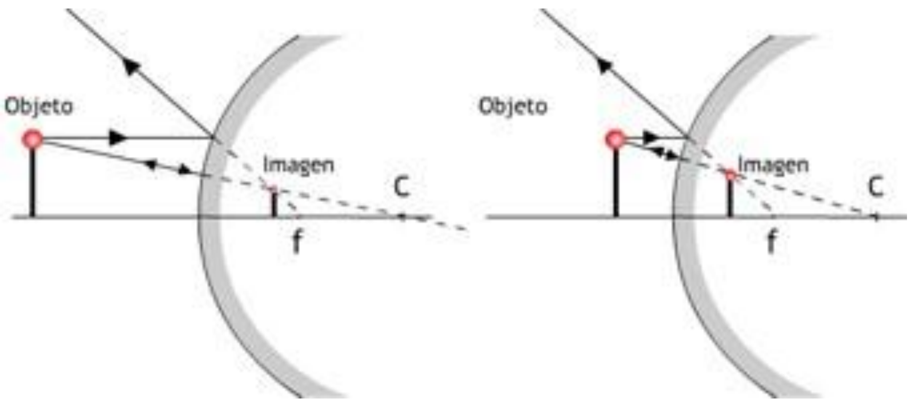



**Imágenes en un espejo cóncavo**

- Esquema 1. Objeto más lejos del centro de curvatura. Imagen real, invertida y más pequeña.
- Esquema 2. Objeto en el centro de curvatura. Imagen real, invertida y de igual tamaño.
- Esquema 3. Objeto entre el centro de curvatura y el foco. Imagen real, invertida y mayor.
- Esquema 4. Objeto entre el foco y el espejo. Imagen virtual, derecha y mayor.

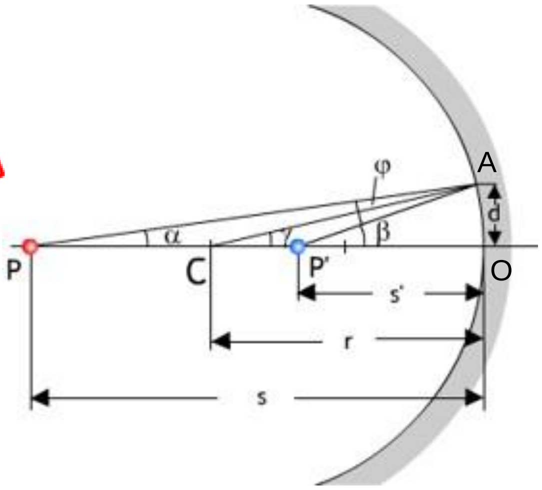
***En los espejos convexos la imagen es siempre virtual, derecha y más pequeña que el objeto***.

Su tamaño disminuye a medida que el objeto se aleja del espejo y aumenta si nos acercamos.



Ampliación

A partir de la figura que se muestra a la derecha se puede deducir una ecuación que nos permite realizar cálculos en espejos esféricos:




P: objeto (un punto)
P': imagen
s : distancia objeto
s': distancia imagen
r: radio de curvatura

Para los triángulos rectángulos con vértices en P, C y P' se cumple:

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{d}{s}\ ;\ \text{tg}\,\beta = \frac{d}{s'}\ ;\ \text{tg}\,\gamma = \frac{d}{r}$$

Si suponemos ángulos pequeños (zona paraxial) podemos suponer que la tangente es aproximadamente igual al ángulo (en radianes). Luego:

$$\alpha \approx \frac{d}{s}\ ;\ \ \beta \approx \frac{d}{s'}\ ;\ \ \gamma \approx \frac{d}{r}$$

En el triángulo PAP' se cumple:

$$\beta = \alpha + 2\,\varphi$$

En el triángulo PAC se cumple:

$$\gamma = \varphi + \alpha$$

Por tanto:

$$\alpha + \beta = 2\gamma \quad\Rightarrow\quad \frac{d}{s} + \frac{d}{s'} = \frac{2d}{r}\qquad \boxed{\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{r}}$$

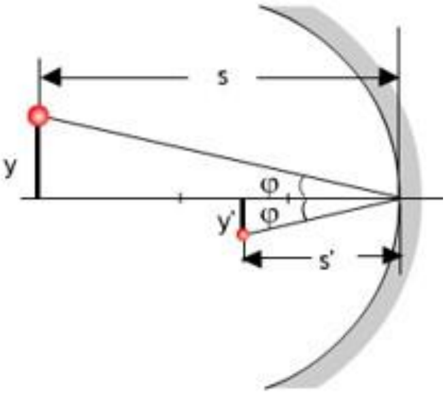
Cuando el objeto se sitúa en el foco (s = f) la imagen estará situada en el infinito (s' = ∞). Por tanto:

$$\frac{1}{f} + 0 = \frac{2}{r}\ ;\ \boxed{f = \frac{r}{2}}\ \Rightarrow\ \boxed{\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}}$$

Para aplicar la fórmula es necesario utilizar un conjunto de normas:

- ***En los esquemas la luz se propaga de izquierda a derecha.***
- ***Los distancias tienen signo positivo si se miden hacia la derecha del centro óptico y negativo cuando se miden hacia la izquierda.***
- ***Las distancia medidas en vertical (altura del objeto y de la imagen) se consideran positivas si se miden hacia arriba del eje óptico y negativas cuando se miden hacia abajo.***

El aumento lateral (m) de la imagen puede obtenerse a partir del esquema que se muestra a la derecha:




$$\text{tg}\,\varphi = \frac{y'}{s'}$$

$$\text{tg}\,(-\varphi) = -\,\text{tg}\,\varphi = \frac{y}{s}$$

$$\boxed{m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}}$$

- Un aumento negativo (s y s' negativas) indica que la imagen está invertida.
- Un aumento positivo (s positiva y s'negativa) indica que la imagen está derecha.
- Si el aumento es mayor que 1, la imagen es mayor que el objeto (y ' >y).
- Si el aumento es menor que 1, la imagen es menor que el objeto (y ' <y).

Tanto la posición de la imagen como el aumento puede obtenerse realizando el correspondiente dibujo a escala.

**Ejemplo 2**

Un espejo esférico, plateado por ambos lados, tiene un radio de curvatura de 8 cm. Determinar de forma gráfica y analítica la posición y el tamaño de la imagen de un objeto de 1,0 cm de altura situado a 13,0 , 8,0 y 2,0 cm del espejo:

a) Cuando la reflexión se produce por la parte cóncava.

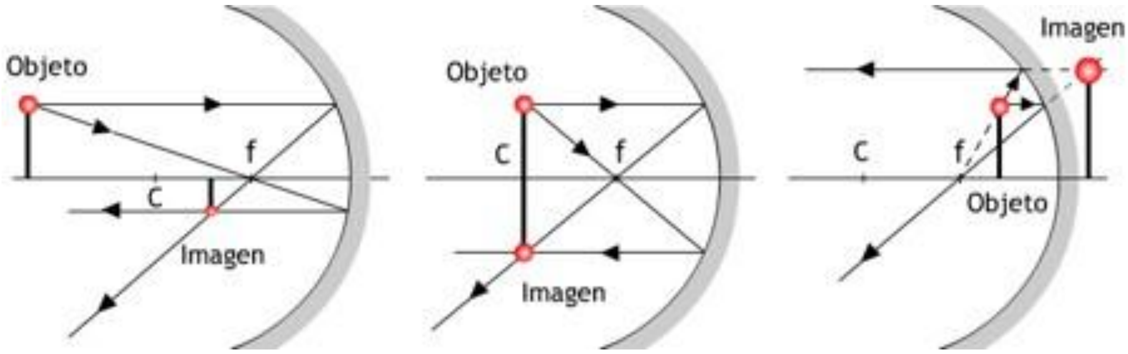
b) Cuando la reflexión se produce por la parte convexa.

**Solución:**

***a)*** Espejo ***cóncavo*** (el dibujo no está hecho a escala)

La resolución gráfica del problema (teniendo en cuenta que el foco está a una distancia igual a la mitad del radio de curvatura) nos indica que en los dos primeros casos (s = 10,0 y 8,0 cm) la imagen es real e invertida, más pequeña cuando el objeto se sitúa más allá del centro de curvatura y del mismo tamaño que éste cuando se sitúa justo en el centro de curvatura.

Si el objeto se sitúa entre el foco y el espejo (s = 3,0 cm) la imagen será virtual, derecha y más grande que el objeto




Para la resolución analítica hacemos uso de la ecuación general para los espejos esféricos y la fórmula del aumento. Los criterios de signo son los que se recogen en la página anterior.

***Cálculo de la distancia imagen y el aumento:***

- s = 10,0 cm

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}\;;\;\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s}=\frac{1}{(-4)}-\frac{1}{(-10)}=-\frac{6}{40}=-\frac{3}{20}\quad\boxed{s'=-\frac{20}{3}=-6,7\text{ cm}}$$

$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}=-\frac{(-6,7\ \cancel{cm})}{(-10,0\ \cancel{cm})}=-0,67\;;\;y'=m\,y=-0,67 \cdot 1,0\text{ cm}=-0,67\text{ cm}$$

***Imagen situada a la izquierda (s' negativa), real, invertida (y' negativa) y más pequeña.***

- s = 8,0 cm

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}\;;\;\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s}=\frac{1}{(-4)}-\frac{1}{(-8)}=-\frac{4}{32}=-8\quad\boxed{s'=-8,0\text{ cm}}$$

$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}=-\frac{(-8,0\ \cancel{cm})}{(-8,0\ \cancel{cm})}=-1,0\;;\;y'=m\,y=-1,0 \cdot 1,0\text{ cm}=-1,0\text{ cm}$$

***Imagen situada en el centro de curvatura (s' negativa), real, invertida (y' negativa) e igual.***

- s = 2,0 cm

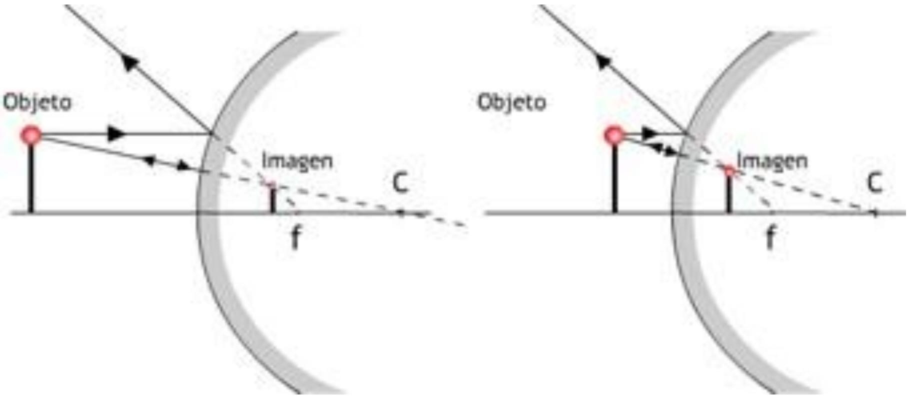
$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}\;;\;\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s}=\frac{1}{(-4)}-\frac{1}{(-2)}=\frac{1}{4}=\quad\boxed{s'=4,0\text{ cm}}$$

$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}=-\frac{(4,0\ \cancel{cm})}{(-2,0\ \cancel{cm})}=2,0\;;\;y'=m\,y=2,0 \cdot 1,0\text{ cm}=2,0\text{ cm}$$

***Imagen situada a la derecha (s' positiva), virtual, derecha (y' positiva) y mayor.***

***b)*** Espejo ***cónvexo*** (el dibujo no está a escala)

La resolución gráfica nos indica ahora que la imagen es siempre virtual, derecha y más pequeña y su tamaño crece a medida que nos aproximamos al espejo.




***Cálculo de la distancia imagen y el aumento:***

- s = 10,0 cm

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}\ ;\ \frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s}=\frac{1}{4}-\frac{1}{(-10)}\qquad \boxed{s'=2,9\ cm}$$

$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}=-\frac{(2,9\ \cancel{cm})}{(-10,0\ \cancel{cm})}=0,29\ ;\ y'=m\ y=0,29\ .\ 1,0\ cm=0,29\ cm$$

***Imagen situada a la derecha (s' positiva), virtual, derecha (y' positiva) y más pequeña.***

- s = 8,0 cm

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}\ ;\ \frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s}=\frac{1}{4}-\frac{1}{(-8)}\qquad \boxed{s'=2,7\ cm}$$

$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}=-\frac{(2,7\ \cancel{cm})}{(-8,0\ \cancel{cm})}=0,34\ ;\ y'=m\ y=0,34.\ 1,0\ cm=0,34\ cm$$

***Imagen situada a la derecha (s' positiva), virtual, derecha (y' positiva) y más pequeña.***

- s = 2,0 cm

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}\ ;\ \frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s}=\frac{1}{4}-\frac{1}{(-2)}\qquad \boxed{s'=0,75\ cm}$$

$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}=-\frac{(0,75\ \cancel{cm})}{(-2,0\ \cancel{cm})}=0,38\ ;\ y'=m\ y=0,38.\ 1,0\ cm=0,38\ cm$$

***Imagen situada a la derecha (s' positiva), virtual, derecha (y' positiva) y más pequeña.***

**Ejemplo 3** (Oviedo 2008 - 2009)

Se utiliza un pequeño espejo cóncavo de 50 cm de distancia focal para ampliar las imágenes de nuestra cara. Determine la posición (respecto del centro del espejo) y tamaño de la imagen de nuestra boca de 5,0 cm cuando la situamos a una distancia de 25 cm del centro del espejo (suponga que la boca está centrada respecto del espejo)

**Solución:**

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}\ ;\ \frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s}=\frac{1}{(-50)}-\frac{1}{(-25)}=\frac{1}{50}\qquad \boxed{s'=50,0\ cm}$$

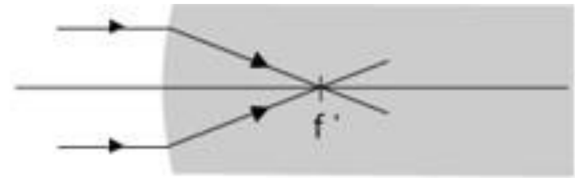
$$m=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}=-\frac{50}{(-25)}=2\ ;\ \boxed{y'=m\ y=2\ .5,0\ cm=10,0\ cm}$$

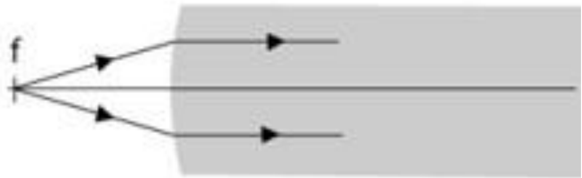
***La imagen será virtual (s' positiva), derecha (y' positiva) y de tamaño doble que el objeto.***

## Refracción en lentes delgadas

En óptica recibe el nombre de ***dioptrio*** cualquier superficie que separe dos medios con distinto índice de refracción.

La superficie del agua o del vidrio es un dioptrio plano. Además del plano, el dioptrio más común (debido a su facilidad de fabricación) es el ***dioptrio esférico,*** la mayor parte de las lentes están limitadas por superficies esféricas.



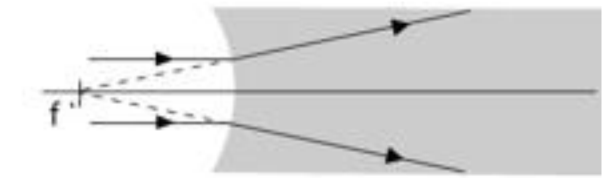




Los dioptrios esféricos tienen dos focos:

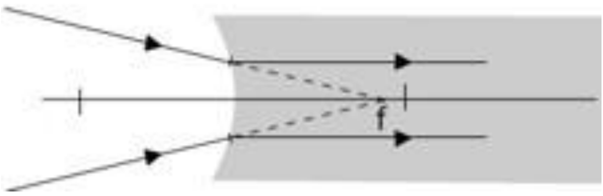
***El foco imagen*** es el punto en el que, tras refractarse, coinciden los rayos que llegan el dioptrio en dirección paralela al eje óptico. Es la imagen correspondiente a un punto situado en el infinito.

***El foco objeto*** es el punto que tras pasar los rayos por él se refractan paralelos al eje óptico. La imagen del foco objeto está situada en el infinito.

En un ***diopotrio convexo*** el foco imagen está situado a la derecha y el foco objeto a la izquierda.




En un ***dioptrio cóncavo*** los focos objeto e imagen están situados al revés que en uno convexo: el foco imagen se sitúa a la izquierda y el foco objeto a la derecha.



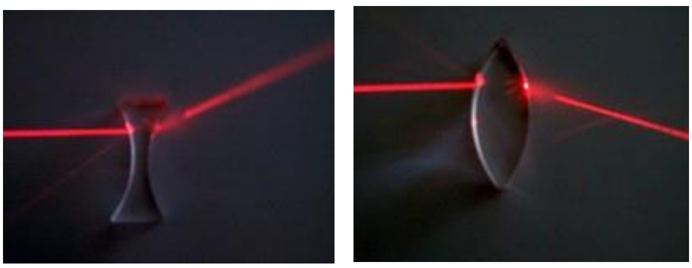

***Una lente*** es un sistema óptico limitado por dos dioptrios de los cuales uno, al menos, es esférico.

La desviación del rayo es consecuencia de la refracción en ambos dioptrios, aunque en las ***lentes delgadas*** se considera que la desviación del rayo tiene lugar en el centro de la lente.

En las lentes convergentes los rayos se refractan y emergen aproximándose al eje de la lente.

En las divergentes el rayo emerge alejándose del eje de la lente.

El que una lente sea convergente o divergente depende de su geometría.

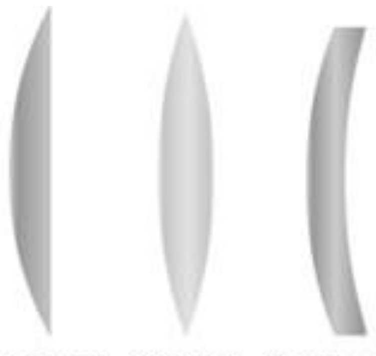


Izquierda: lente divergente (bicóncava)
Derecha: lente convergente (biconvexa)

Lentes divergentes

Planocóncava Bicóncava Concavaconvexa

Lentes convergentes

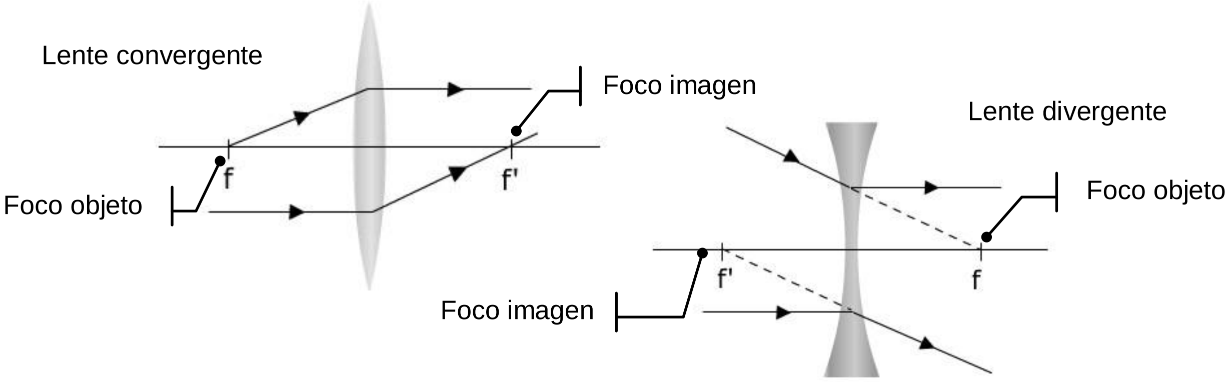


Planoconvexa Biconvexa Convexacóncava

***Los focos de una lente*** son puntos característicos de las mismas, que están situados simétricamente respecto del centro de la lente.

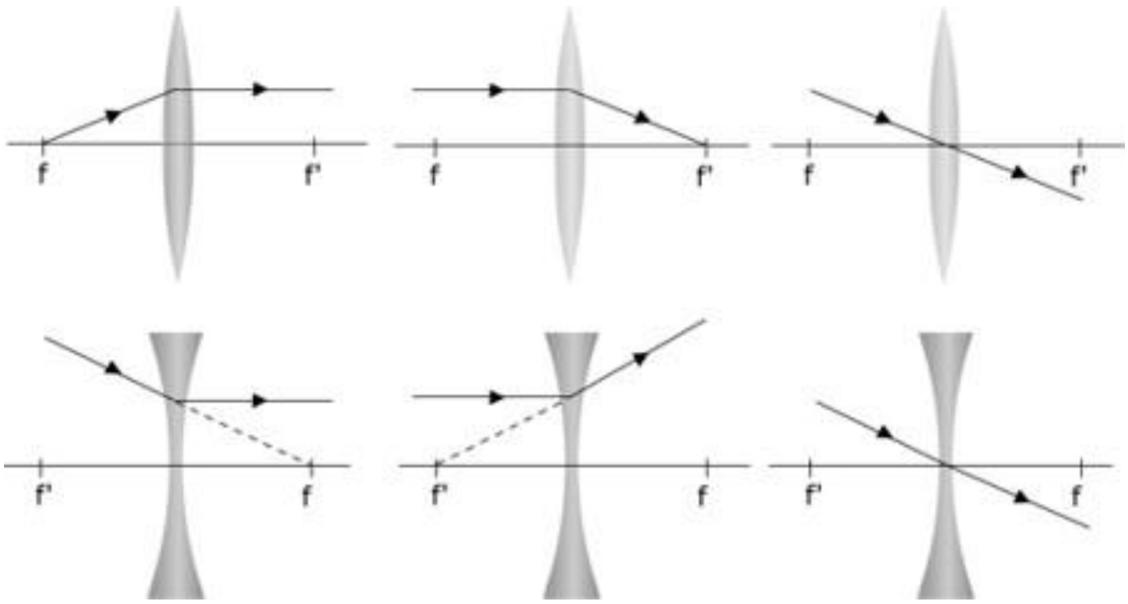
Una lente tiene dos focos: el ***foco objeto*** y el ***foco imagen*** (ver figura).

- ***El foco objeto (f) es un punto del eje óptico tal que todo rayo que incide en la lente pasando por él se refracta paralelamente al eje de la lente (imagen en el infinito)***
- ***El foco imagen (f') es el punto del eje óptico por el que pasa todo rayo refractado resultado de una incidencia paralela al eje de la lente.***
- En una lente convergente el foco objeto se sitúa a la izquierda y el foco imagen a la derecha.
- En una lente divergente el foco objeto se sitúa a la derecha y el foco imagen a la izquierda.




Si suponemos que el espesor de la lente es pequeño (lentes delgadas) se pueden considerar los siguientes rayos característicos:

- ***Cualquier rayo paralelo al eje de la lente se refracta pasando por el foco imagen.***
- T***odo rayo que incida pasando por el foco objeto se refracta paralelamente al eje de la lente.***
- ***Cualquier rayo que incida pasando por el centro de la lente no sufre refracción alguna.***.




La distancia focal de una lente delgada situada en el aire depende del índice de refracción de la lente y de los radios de curvatura de sus superficies:

$$\boxed{\frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}$$

Ampliación

La ecuación que relaciona distancia objeto (s), distancia imagen (s') y distancia focal imagen (f'), para las lentes delgadas es:

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

Los criterios de signos son análogos a los fijados para los espejos: ***positivo*** hacia la derecha y hacia arriba, ***negativo*** a la izquierda y hacia abajo

***Se define la potencia de una lente como la inversa de su distancia focal imagen.***

La potencia de una lente está relacionada con su capacidad para hacer converger o divergir los rayos de luz. A mayor potencia mayor capacidad de convergencia o divergencia de los rayos. Las lentes con mayor potencia tienen una distancia focal corta.

La unidad en el Sistema Internacional es la ***dioptría (D) que se define como la potencia de una lente que tenga un metro de distancia focal***

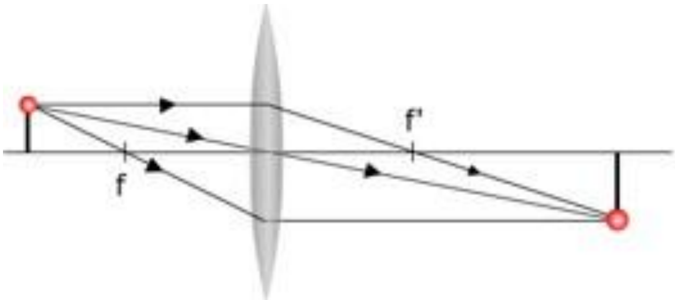
$$\boxed{P = \frac{1}{f'}}$$

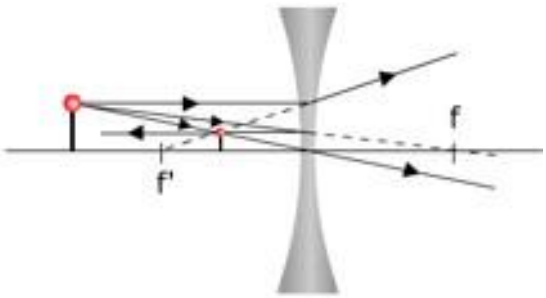
Para sistemas formados por varias lentes la potencia se obtiene sumando la potencia de las lentes que integran el sistema.

Para calcular el ***aumento lateral*** de la imagen formada por una lente:

$$\boxed{m = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}}$$

Las imágenes en las lentes delgadas se obtienen a partir del trazado de los rayos característicos. La imagen se formará en el punto en el que se corten los rayos (imagen real) o sus prolongaciones (imagen virtual)




**Rayos característicos en lentes**

- Rayo paralelo al eje se refracta pasando por el foco imagen (f').
- Rayo que pasa por el centro óptico de la lente, no se refracta.
- Rayo que pasa por el foco objeto (f) se refracta paralelo al eje.

**Ejemplo 4** (Oviedo 2010 - 2011)

Usando una lente convergente con distancias focales f = f ' = 4,0 cm, mediante un diagrama de rayos, determine la posición y el aumento lateral de la imagen que produce dicha lente de un objeto de 1,5 cm de altura situado perpendicularmente al eje óptico a 6,0 cm de la lente y expónganse las características de dicha imagen.

**Solución:**

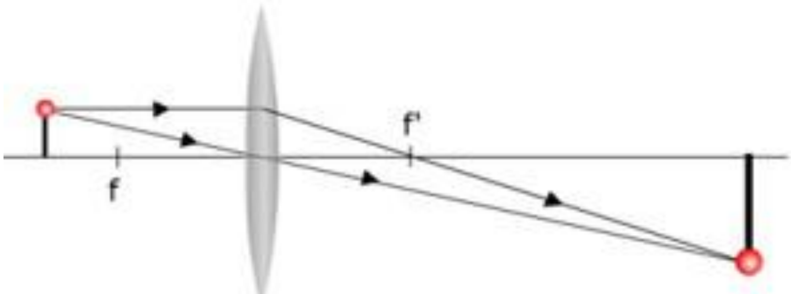


***Imagen real, invertida y mayor que el objeto***

Los datos cuantitativos solicitados pueden obtenerse a partir de un dibujo a escala. A continuación se obtienen de forma analítica:

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\ ;\ \frac{1}{s'}=\frac{1}{f'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{4}+\frac{1}{(-6)}=\frac{1}{12}\ ;\ \boxed{s'=12,0\ \text{cm}}$$

$$m=\frac{y'}{y}=\frac{s'}{s}=\frac{12}{(-6)}=-2\ ;\ \boxed{y'=m\,y=-2\,.\,1,5\ \text{cm}=-3,0\ \text{cm}}$$

Los datos obtenidos coinciden con los obtenidos a partir del diagrama de rayos:

***Imagen situada a la derecha, real (s ' positiva), invertida (y' negativa), mayor que el objeto.***

**Ejemplo 5** (Oviedo 2009 - 2010)

Usando una lente divergente con distancias focales f = f ' = 5,0 cm, mediante un diagrama de rayos, determine la posición y el aumento lateral de la imagen que produce dicha lente de un objeto de 1,5 cm de altura situado perpendicularmente al eje óptico a 8,0 cm de la lente y expónganse las características de dicha imagen.

**Solución:**

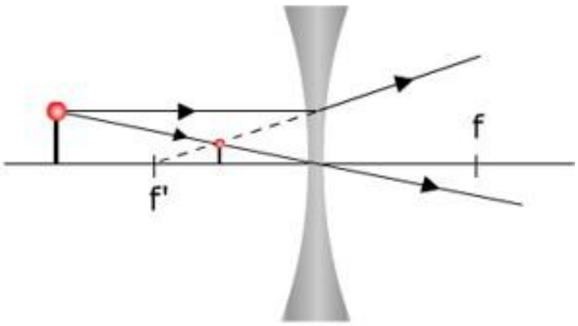



***Imagen virtual, derecha y más pequeña que el objeto***

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\ ;\ \frac{1}{s'}=\frac{1}{f'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{(-5)}+\frac{1}{(-8)}=-\frac{13}{40}\ ;\ \boxed{s'=-3,1\,\text{cm}}$$

$$m=\frac{y'}{y}=\frac{s'}{s}=\frac{(-3,1)}{(-8)}=0,39\ ;\ \boxed{y'=m\,y=0,39\,.\,1,5\ \text{cm}=0,59\ \text{cm}}$$

***Imagen situada a la izquierda, virtual (s ' negativa), derecha (y' positiva), más pequeña que el objeto.***

**Ejemplo 6** (Oviedo 2009 - 2010)

¿Qué es la dipotría? Calcule el número de dioptrías de una lente de distancia focal 25 cm

**Solución:**

La dioptría (D) es la unidad (S.I.) de medida de la potencia de una lente, que se define como el inverso de la distancia focal. Una dioptría es la potencia de una lente que tenga una distancia focal de 1,0 m. Dimensionalmente:

$$P=\frac{1}{f}\ ;\ \left[P\right]=\left[L^{-1}\right]$$

$$1\,D=1\,m^{-1}$$

Para una lente de distancia focal 25 cm: $P=\frac{1}{f}\ ;P=\frac{1}{0,25\ m}=4\ m^{-1}=4\ D$

**Ejemplo 7** (Oviedo 2007 - 2008)

Encontrar mediante un diagrama de rayos la imagen creada por:

a) Una lente convergente de 2,0 cm de distancia focal de un objeto situado a 4,0 cm.
b) Un espejo plano de un objeto situado a 2,0 cm.

Describir en ambos casos las características más importantes de la imagen

**Solución:**

a)

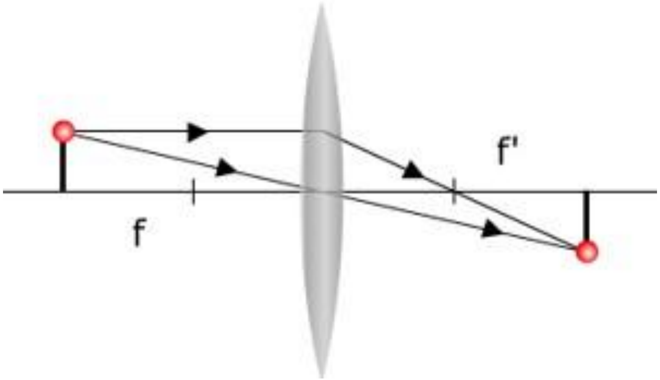



***Imagen real, invertida e igual que el objeto***

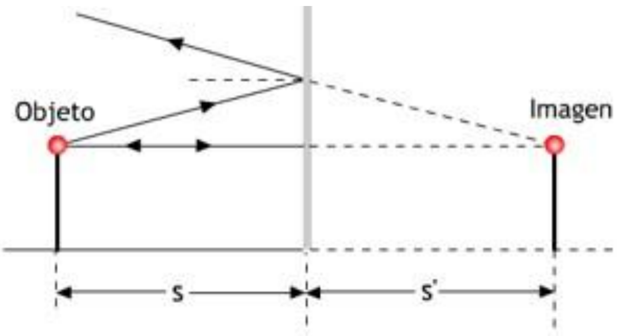
Analíticamente (como no se conoce el tamaño del objeto, el aumento se calcula para comprobar - únicamente que la imagen es invertida y del mismo tamaño que el objeto):

$$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\ ;\ \frac{1}{s'}=\frac{1}{f'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{2}+\frac{1}{(-4)}=\frac{1}{4}\ ;\ \boxed{s'=4{,}0\ \text{cm}}$$

$$m=\frac{y'}{y}=\frac{s'}{s}=\frac{4}{(-4)}=-1\ ;\ \boxed{y'=m\,y=-1.\,x\ \text{cm}=-\,x\ \text{cm}}$$

***Imagen situada a la derecha, real (s ' positiva), invertida (y' negativa), e igual que el objeto.***

b) Un espejo plano forma siempre una ***imagen virtual, derecha y del mismo tamaño que el objeto*** que se encuentra situada a la misma distancia del espejo. La imagen presentará inversión lateral: la izquierda y la derecha está invertidas respecto del objeto.



## Sistemas (instrumentos) ópticos

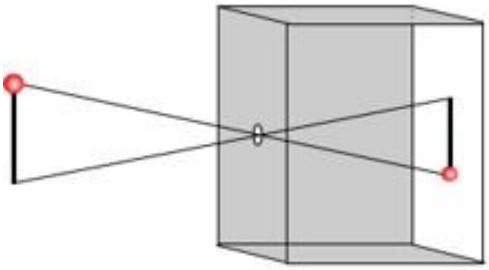
Combinando dos o más elementos ópticos (lentes, espejos... etc) podemos construir ***sistemas ópticos.*** En esto sistemas, o instrumentos ópticos**,** en muchas ocasiones, la imagen formada por uno de los elementos sirve de objeto para el otro.

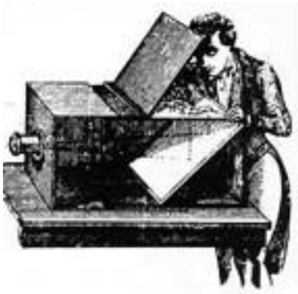
### *1. Cámara oscura. Cámara fotográfica.*

El instrumento óptico más simple es la cámara oscura, donde no existe ningún elemento óptico, sólo un pequeño orificio que, debido a la propagación rectilínea de la luz, forma una imagen invertida de la imagen.

La primera cámara oscura de la que se tiene noticia fue construida por ***Aristótele***s (384 a.C.- 322 a.C.). Esta es su propia descripción del invento:

*"Se hace pasar la luz a través de un pequeño agujero hecho en un cuarto cerrado por todos sus lados. En la pared opuesta al agujero, se formará la imagen de lo que se encuentre enfrente".*





***Leonardo da Vinci*** (en la segunda mitad del s XV) redescubre la cámara oscura que fue muy utilizada posteriormente para dibujar objetos.

En el s. XVI ***Giovanni Battista della Porta*** dotó a la cámara oscura de una lente biconvexa que mejoraba notablemente la nitidez de la imagen.

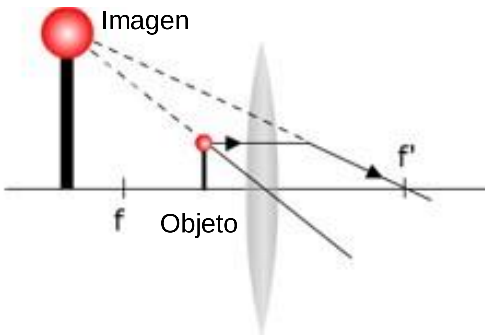
La cámara oscura evolucionó con el tiempo hacia la cámara fotográfica, en la que la imagen se forma sobre una película fotosensible.

### *2. Lupa*

Un simple lente convergente nos permite ver los objetos aumentados si los situamos entre el foco y la lente.

Se obtiene una imagen virtual, derecha y de mayor tamaño, situada detrás del objeto.

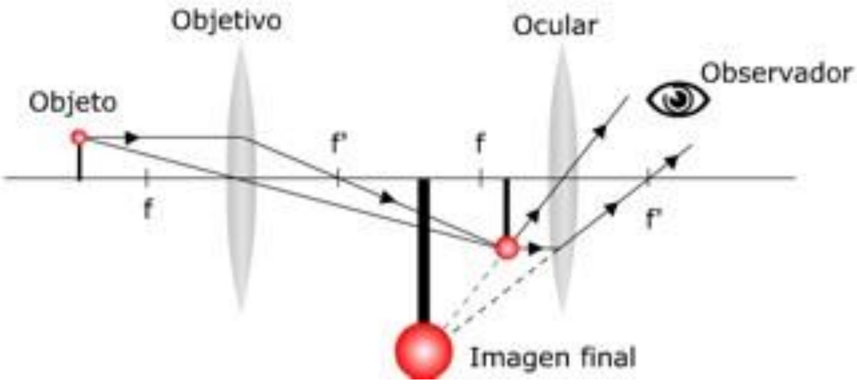
La potencia de la lupa depende de su distancia focal. Las lupas más potentes tienen una distancia focal corta, lo que se consigue dando un radio de curvatura pequeño a la lente (lente muy curvada).




### *3. Microscopio*

El microscopio ya es un verdadero sistema óptico. Se utiliza para ver objetos muy próximos y de pequeño tamaño. Consta de dos lentes convergentes. La que se sitúa más próxima al ojo se denomina ***ocular*** y la que está próxima al objeto, ***objetivo.***

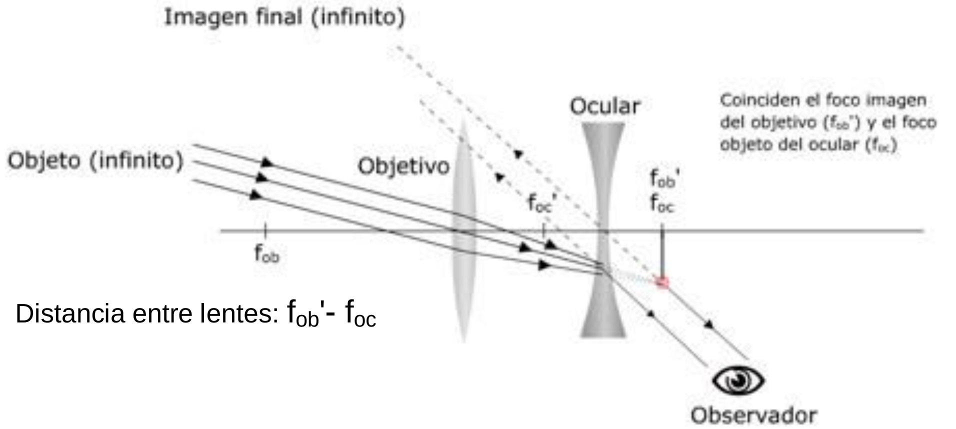
El objeto se coloca a una distancia mayor que la distancia focal del objetivo y su imagen (real) ampliada, sirve de objeto para la segunda lente. Si la imagen de la primera lente se coloca entre el foco y la segunda lente, ésta proporcionará una imagen nuevamente ampliada.



4. ***Anteojo de Galileo***

   El objetivo es una lente convergente con una gran distancia focal y el ocular una lente divergente.

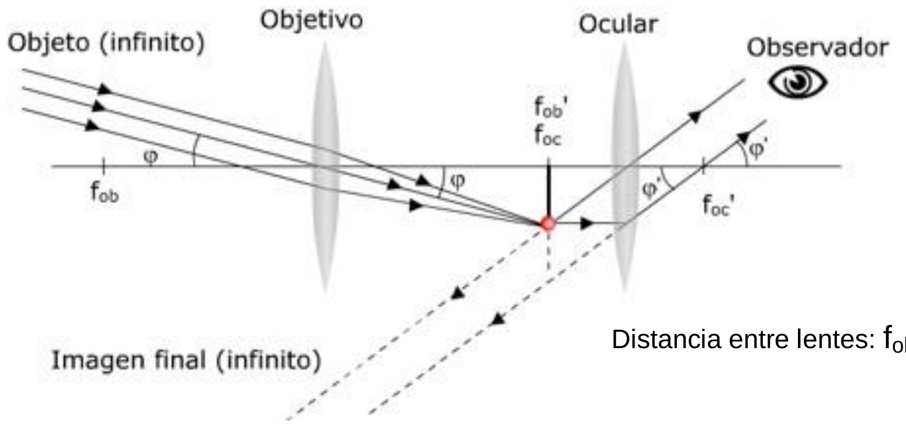
   Los rayos, al proceder de un objeto lejano inciden prácticamente paralelos formando la imagen en el plano focal imagen del objetivo. Antes de formarse esta imagen se encuentran con el ocular (lente divergente), cuyo foco objeto coincide con el imagen del objetivo, de forma que los rayos se refractan paralelos, y la imagen final (virtual) se forma en el infinito (el ojo forma en la retina las imágenes situadas en el infinito sin acomodación alguna). La imagen formada en la retina es mayor y derecha.




5. ***Telescopio astronómico (o de Kepler)***

   Se utiliza para ver objetos grandes situados a mucha distancia. Consta de dos lentes convergentes, objetivo y ocular.

   Como el objeto está a una distancia muy grande los rayos procedentes de él llegan paralelos, con lo que se refractan en el objetivo formando una imagen en el plano focal imagen (plano que contiene al foco imagen). El foco imagen del objetivo y el foco objeto del ocular coinciden, por tanto la imagen formada por el ocular (virtual) se encuentra en el infinito. Es invertida y mayor.




En los sistemas telescópicos (que forman la imagen en el infinito) se define el ***aumento angular (M)*** como el cociente entre el ángulo subtendido por la imagen final y el objeto:

$$\left.\begin{array}{l} \mathrm{tg}\,(\varphi') \approx \varphi' = \dfrac{y}{f_{oc}'} \\[2ex] \mathrm{tg}\,(\varphi) \approx -\mathrm{tg}\,(\varphi) \approx -\varphi = \dfrac{y}{f_{ob}'} \end{array}\right\} M = \frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{\dfrac{y}{f_{oc}'}}{-\dfrac{y}{f_{ob}'}} = -\frac{f_{ob}'}{f_{oc}'} \;;\quad \boxed{M = -\frac{f_{ob}'}{f_{oc}'}}$$

$$M = \frac{\varphi'}{\varphi}$$