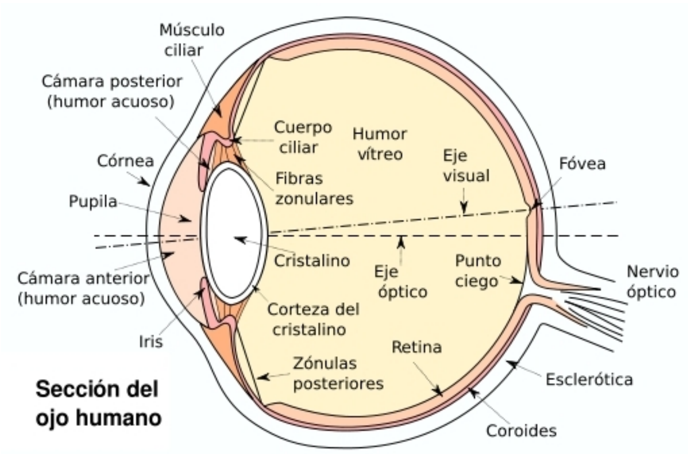
Apoyo para la preparación de los estudios de Ingeniería y Arquitectura

Física (Preparación a la Universidad)



Unidad 24: Óptica geométrica

Universidad Politécnica de Madrid

13 de abril de 2010

Unidad 24: Óptica geométrica

24.1 Planificación de la Unidad

24.1.1 Objetivos

Conocer la finalidad de la óptica geométrica así como los conceptos y leyes en los que se basa su desarrollo.

Deducir y aplicar las expresiones matemáticas que nos permiten conocer la posición tamaño y naturaleza de las imágenes formadas por diferentes sistemas ópticos

Conocer la marcha de los rayos así como su aplicación para la determinación gráfica de las imágenes en cualquier sistema óptico.

Conocer la constitución del ojo humano, comprender los mecanismos de adaptación y acomodación en el proceso de formación de las imágenes en la retina y explicar los defectos del ojo y su corrección.

Explicar cual es la finalidad de los instrumentos ópticos, su clasificación, partes de que constan y características de las imágenes formadas.

Explicar cuál es la causa de las aberraciones en las imágenes y su clasificación

24.1.2 Contenidos

24.2 Definición y conceptos básicos.
24.3 Dioptrio esférico.
24.4 Dioptrio plano.
24.5 Espejo esférico.
24.6 Espejo plano.
24.7 Lentes delgadas.
24.8 Resumen de fórmulas.
24.9 El ojo. Instrumentos ópticos.
24.10 Diafragmas y aberraciones.
24.11 Problemas resueltos.
24.12 Problemas propuestos.

24.1.3 Actividades

Lectura del resumen del tema

Realización del cuestionario de la unidad

Realización de los ejercicios

Poner ejemplos en el entorno real

Redactar una pequeña reseña (máximo 1 página).

24.1.4 Bibliografía

- Libros de primero y segundo de Bachillerato.
- Serway,R.A; Jewett J.W. (2003). *Física Vol. I y II. (3ª edición).* Thomson Editores Spain
- Tipler Mosca. (2005). *Física para la Ciencia y la Tecnología Vol I y II* (5ª edición). Ed. Reverté. Barcelona.
- Burbano de Ercilla, S; Burbano García, E; Gracia Muñoz, C (2003). *Física General* (32edición) Editorial Tébar S.L. Madrid.

- Burbano de Ercilla, S; Burbano García, E; Gracia Muñoz, C (2004). *Problemas de Física*

24.1.5 Enlaces relacionados:

- Banco óptico (Davidson Physics, 1998)

http://club.telepolis.com/hatilax/teleformacion/coole_optica.htm

- Simulación (Dr. Habit Haman,2000)

http://www.mapageweb.umontreal.ca/hamamh/Simul.htm

- Applet trazado de rayos (Universidad de Barcelona)

http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/mod/resource/view.php?id=81742

- Aberración esfericidad (Penn State Schuylkill, 2009)

http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/file.php/885/imagenes/spherical_aberration.avi

- Aberración coma (Penn State Schuylkill, 2009)

http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/mod/resource/view.php?id=85178

- Aberración cromática (Penn State Schuylkill, 2009)

http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/mod/resource/view.php?id=85179

- Defectos del ojo (universidad de Barcelona

http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/mod/resource/view.php?id=118888

- prisma

http://enebro.pntic.mec.es/~fmag0006/index.html#

24.2 Definición y conceptos básicos.

Definición.

La óptica geométrica es la parte de la óptica que estudia las cuestiones relacionadas con la propagación de la luz sin tener en cuenta su naturaleza. El estudio se basa en:

- los conceptos de *rayo luminoso* e *índice de refracción* para caracterizar, respectivamente, a la luz y al medio.
- Las leyes de la óptica geométrica.

Rayo luminoso.

Es la representación de la dirección y el sentido de propagación de la energía luminosa. Al conjunto de rayos procedentes de un punto emisor se le denomina *haz.*

Leyes de la óptica geométrica.

El desarrollo de la óptica geométrica se puede hacer partiendo del Principio de Fermat, pero es más sencillo y podemos llegar a los mismos resultados partiendo de las siguientes leyes empíricas:

- La propagación de la luz es rectilínea en medios homogéneos e isótropos.

- Leyes de Descartes

  1. Ley de la reflexión:
  $$i = i'$$
  2. Ley de la refracción:
  $$\frac{\text{sen i}}{\text{sen r}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

- La trayectoria de la luz es independiente de su sentido de propagación. Es decir los rayos luminosos son reversibles.

- Suponemos el haz luminoso formado por rayos independientes que no pueden interaccionar, es decir prescindimos de la naturaleza ondulatoria de la luz.

Sistema Óptico.

Las superficies en las cuales la luz se refleja son los espejos y en las que se refracta son los dioptrios. Un *sistema óptico* está constituido por un conjunto de medios transparentes separados por espejos y dioptrios. Si el sistema está formado solo por superficies refractantes se denomina *dióptrico*, si únicamente tiene espejos, *catóptrico* y los que tienen ambos *catadióptricos.*
Cuando las superficies son esféricas, de revolución y con los centros alineados, el sistema óptico es *centrado* y la recta que une los centros de curvatura se denomina *eje de colimación ó eje óptico.*
También se pueden utilizar superficies no esféricas, por ejemplo parabólicas, como ocurre en algunos instrumentos ópticos como los telescopios.
Los sistemas ópticos centrados se representan como se muestra en la figura.1

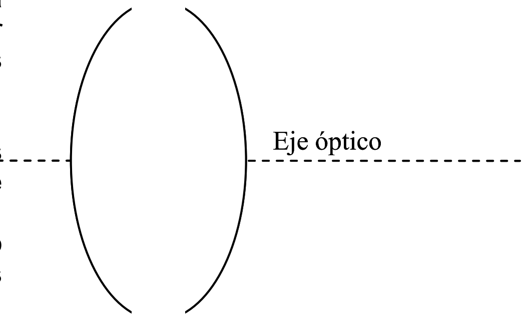


Figura 1

Dominio Paraxial o Zona de Gauss:

Cuando los rayos procedentes de un punto objeto vuelven a reunirse en un único punto imagen se dice que el sistema es *estigmático* y ambos puntos son *conjugados* respecto al sistema óptico.

Para que esto ocurra hay que considerar puntos muy próximos al eje óptico y rayos que formen ángulos muy pequeños con dicho eje de tal modo que se puedan aproximar los senos y las tangentes de los ángulos por los ángulos expresados en radianes.

$$sen\alpha \approx \tan\alpha \approx \alpha$$

En estas condiciones el sistema trabaja en el dominio *Paraxia*l o zona de *Gauss*.
Las propiedades de la zona de Gauss son:

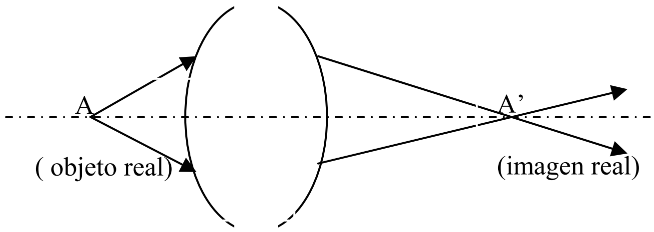
- Condición de estigmatismo: la imagen de un punto es un punto.
- Condición de aplanatismo: si dos puntos se encuentran en una recta perpendicular al eje óptico ocurre lo mismo con sus imágenes respectivas.

En la práctica los sistemas ópticos no se comportan estigmáticamente y para conseguir que su comportamiento lo sea se recurre fundamentalmente a los diafragmas.

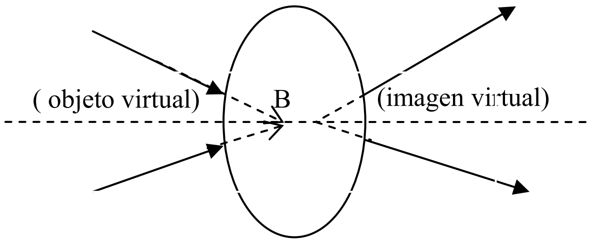
A continuación abordaremos el estudio de los sistemas ópticos estigmáticos, es decir operando en la zona paraxial.

Objeto e imagen.

Objeto real: El punto A es un objeto real, si los rayos que proceden de él, llegan al sistema óptico divergentes.
Imagen real: Un punto A' es una imagen real si los rayos convergen en él después de atravesar el sistema óptico. En A' hay una acumulación de energía que se puede recoger en una pantalla.



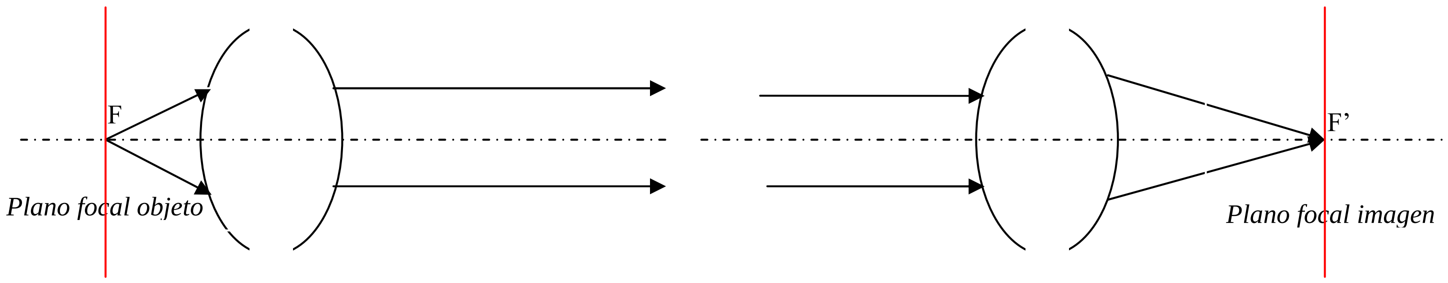
Objeto virtual. Un punto B es un objeto virtual cuando los rayos inciden convergentes en el sistema óptico y sus prolongaciones convergen en él
Imagen virtual. Un punto B' es imagen virtual cuando se forma de la intersección de las prolongaciones de los rayos que emergen del sistema óptico divergentes.



Focos y planos focales.

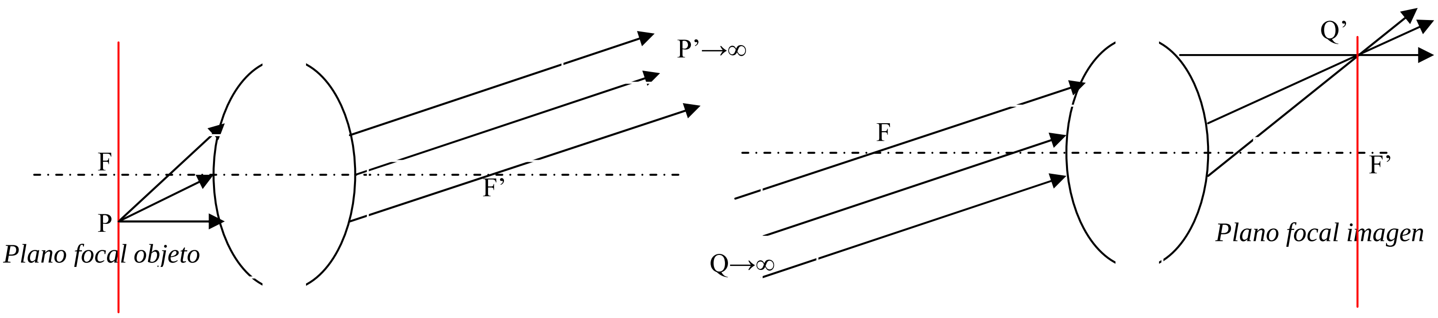
Para el trazado de rayos y construcción de imágenes es de gran utilidad el conocimiento de las posiciones de los focos y de los planos focales.

Foco objeto (F). Es un punto del eje óptico de donde parten los rayos que al emerger del sistema lo hacen paralelos a dicho eje.
Plano focal objeto. Es el plano normal al eje que pasa por *F* .

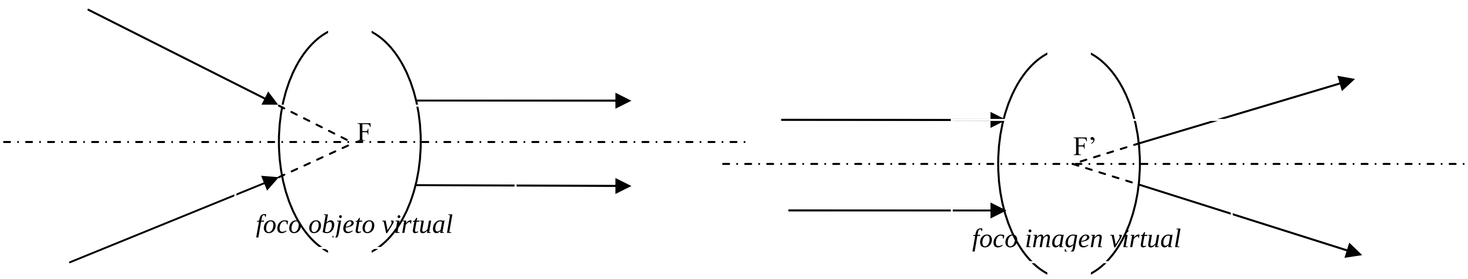


Foco imagen (F'). Es un punto del eje óptico donde convergen los rayos que al incidir en el sistema lo hacen paralelos a dicho eje.
Plano focal imagen. Es el plano normal al eje que pasa por *F'*.

Para puntos fuera del eje óptico:



Los focos F Y F' *no son puntos conjugados*, es decir, no son imagen uno del otro, son conjugados de puntos del infinito del eje.
Tanto el foco objeto como el foco imagen pueden ser reales o virtuales.



24.3 Dioptrio esférico.

El dioptrio esférico es un sistema óptico sencillo formado por dos medios transparentes de distintos índices de refracción, separados por una superficie esférica.

Convenio de signos.

Utilizando el dioptrio esférico como sistema óptico más simple y de mayor interés en óptica, el criterio de signos seguido por la mayoría de los autores es el siguiente:

- Suponemos, mientras no se advierta lo contrario, que la luz se propaga de izquierda a derecha y las distancias serán positivas en el sentido de propagación de la luz.
- Par medir las distancias en el eje óptico se toma como origen el vértice o polo del dioptrio, punto de intersección de dicho eje con la superficie del dioptrio. El radio de curvatura será positivo cuando el centro de curvatura se encuentre a la derecha del polo del dioptrio.
- Las distancias perpendiculares al eje óptico son positivas hacia arriba y negativas hacia abajo.

- Los ángulos de incidencia y de refracción de un rayo serán positivos si al llevar el rayo a coincidir con la normal, por el camino mas corto, se va en sentido horario.
- Los ángulos formados por los rayos con el eje óptico serán positivos si al llevar el rayo a coincidir con el eje, por el camino más corto, se va en sentido contrario a las agujas del reloj.

Ecuación fundamental del dioptrio esférico

Sea una superficie esférica convexa (convexidad hacia la luz que incide), que separa dos medios de índices de refracción n y n', con un radio de curvatura R. El punto de intersección de dicha superficie con el eje óptico se denomina *polo* del dioptrio. Los puntos P y P', son dos puntos conjugados.

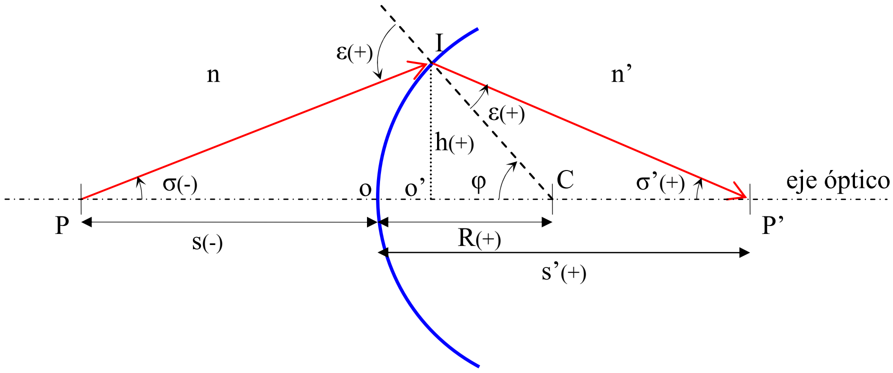
Aplicando la ley de Snell, con la aproximación paraxial, al rayo procedente de P que se refracta en I:

$$n \cdot \operatorname{sen}(\varepsilon) = n' \cdot \operatorname{sen}(\varepsilon)$$

$$n \cdot \varepsilon = n' \cdot \varepsilon'$$

Teniendo en cuenta que la distancia de O a O' es prácticamente nula y que un ángulo exterior a un triángulo es igual a la suma de los dos ángulos de un triángulo no adyacentes a él.

En los triángulos PIC y P'IC



$$\varepsilon = -\sigma + \varphi$$

$$\varphi = \varepsilon' + \sigma' \Rightarrow \varepsilon' = -\sigma + \varphi$$

$$\left.\begin{aligned} tg(-\sigma) &\approx -\sigma = \frac{h}{-s} \\ tg(\sigma') &\approx \sigma' = \frac{h}{s'} \\ tg(\varphi) &\approx \varphi = \frac{h}{R} \end{aligned}\right\} \text{ sustituyendo en las expresiones de } \varepsilon \text{ y } \varphi$$

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{h}{-s} + \frac{h}{R} \\ \varepsilon' &= -\frac{h}{s'} + \frac{h}{R} \end{aligned}\right\} \Rightarrow n\left(\frac{\cancel{h}}{-s} + \frac{\cancel{h}}{R}\right) = n'\left(-\frac{\cancel{h}}{s'} + \frac{\cancel{h}}{R}\right) \Rightarrow n\left(-\frac{1}{s} + \frac{1}{R}\right) = n'\left(-\frac{1}{s'} + \frac{1}{R}\right) \Rightarrow$$

$$n\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{s}\right) = n'\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{s'}\right) = Q$$ *Invariante de Abbe* (expresión que no varía al pasar de un medio al siguiente).

A partir de la cual se obtiene ecuación fundamental del dioptrio esférico.

$$\frac{n}{R} - \frac{n}{s} = \frac{n'}{R} - \frac{n'}{s'} \Rightarrow \quad \boxed{\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{R}}$$

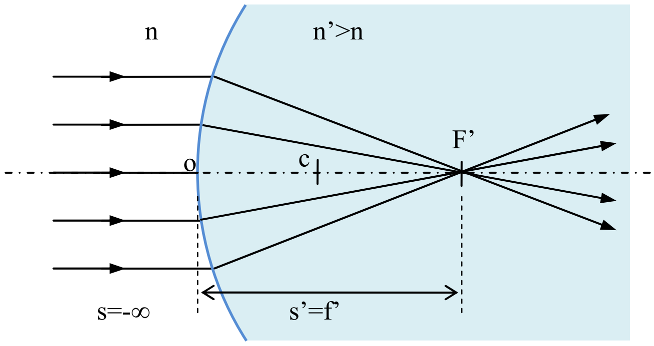
Distancias focales.

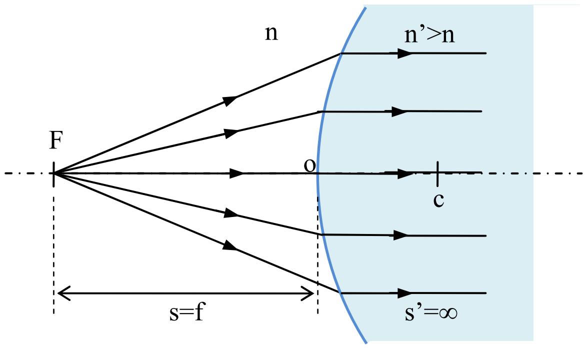
La distancia *f* medida desde el polo del dioptrio al foco objeto se denomina distancia focal objeto y la distancia *f'* medida desde el polo al foco imagen es la distancia focal imagen.

Para obtener las distancias focales basta tener en cuenta que los focos son conjugados del infinito y aplicar la ecuación fundamental del dioptrio esférico.

Distancia focal imagen: $s=-\infty, s'=f' \rightarrow \frac{n'}{f'}-\frac{n}{-\infty}=\frac{n'-n}{R} \Rightarrow \boxed{f'=\frac{n' \cdot R}{n'-n}}$

Distancia focal objeto: $s'=\infty, s=f \rightarrow \frac{n'}{\infty}-\frac{n}{f}=\frac{n'-n}{R} \Rightarrow \boxed{f=\frac{n \cdot R}{n'-n}}$





Relación entre las distancias focales.

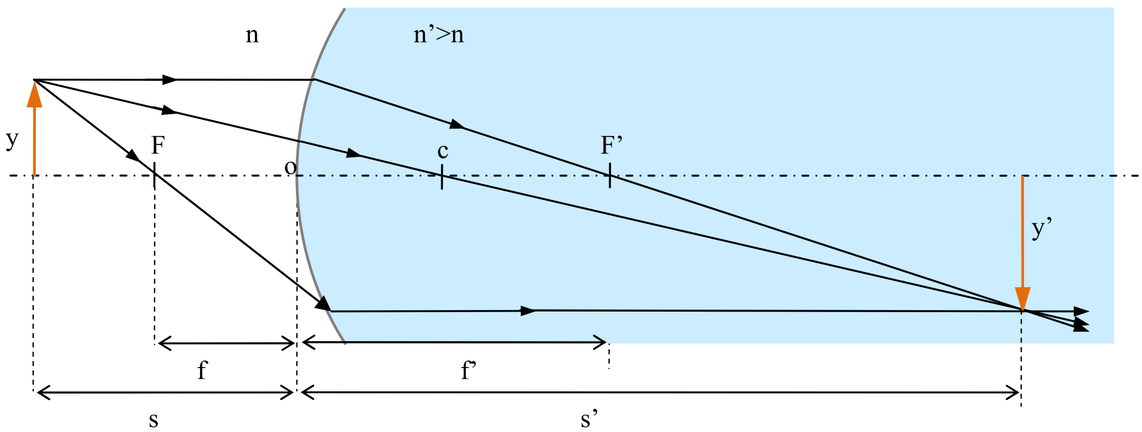
Para obtener la relación entre las distancias focales, dividimos las dos expresiones anteriores

$$\frac{f'}{f}=\frac{\frac{n' \cdot R}{\cancel{n'-n}}}{-\frac{n \cdot R}{\cancel{n'-n}}} \Rightarrow \boxed{\frac{f'}{f}=-\frac{n'}{n}}$$

Construcción de imágenes.

Conocida la posición de los focos podemos abordar gráficamente la construcción de imágenes.
Para ello podemos utilizar los siguientes rayos:

- El rayo que incide paralelo al eje óptico pasa, una vez refractado, por el foco imagen
- El rayo que al incidir pasa por el foco objeto, emerge paralelo al eje óptico.
- El rayo que incide dirigido hacia el centro de curvatura, al refractarse, no se desvía.



Ecuación de Lagrange- Helmholtz. Aumentos.

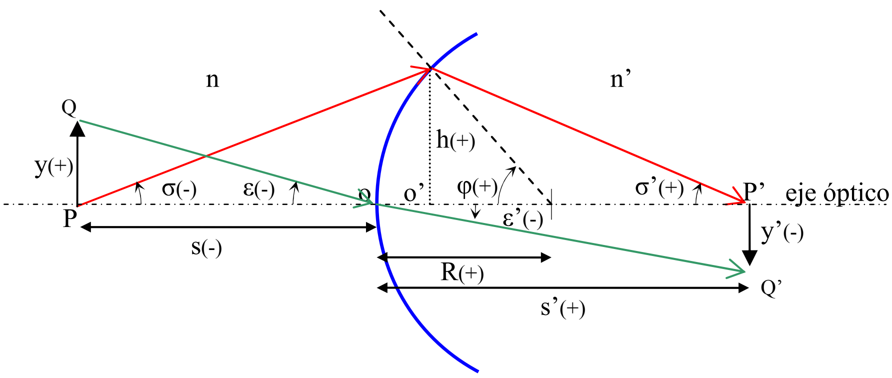
Esta ecuación relaciona el tamaño del objeto(y), el índice de refracción del primer medio(n) y el ángulo que forma el rayo que parte de la base del objeto con el eje óptico(σ) con las mismas magnitudes correspondientes a la imagen formada por el dioptrio.
Consideramos un objeto PQ situado perpendicular al eje óptico y dos rayos que parten del mismo, uno de la base P y otro del extremo Q.
Aplicando la ley de Snell, con la aproximación paraxial, al rayo procedente de Q que se refracta en O:

$$n \cdot sen(-\varepsilon) = n' \cdot sen(-\varepsilon)$$

$$\left.\begin{aligned} & n \cdot \varepsilon = n' \cdot \varepsilon' \\ & tg(\varepsilon) \approx \varepsilon = \frac{y}{-s} \\ & tg(\varepsilon') \approx \varepsilon' = \frac{-y'}{s'} \end{aligned}\right\} \text{ sustituyendo en la ley de Snell : } n \cdot \frac{y}{-s} = n' \cdot \frac{-y'}{s'}$$

Y teniendo en cuenta $-\sigma = \dfrac{h}{-s}$; $\sigma' = \dfrac{h}{s'}$, obtenemos:

$n \cdot y \cdot \sigma = n' \cdot y' \cdot \sigma'$ es la ecuación de Lagrange- Helmholtz y el producto $n \cdot y \cdot \sigma$ se llama invariante de L-H.



Aumentos:

Aumento lateral: Es la relación entre el tamaño de la imagen y el tamaño del objeto.

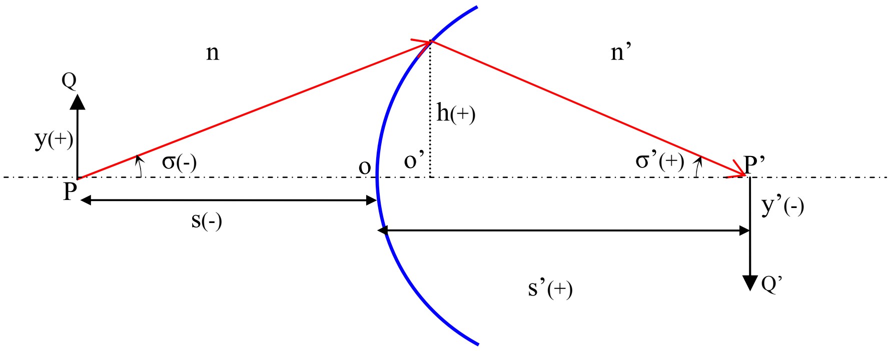
$$\beta = \frac{y'}{y}$$

El signo negativo de β indica que se produce inversión de la imagen respecto del objeto.
En cuanto al valor absoluto:

Si $|\beta|>1$ la imagen es mayor que el objeto

Si $|\beta|<1$ la imagen es menor que el objeto

Si $|\beta|=1$ la imagen es igual que el objeto



Aumento angular:

Si del punto P tomamos un rayo que forma un ángulo σ con el eje óptico y el rayo refractado, que pasa por P’, forma con el eje óptico un ángulo σ, al cociente entre los dos ángulos se le denomina aumento angular.

$$\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma}$$

La relación entre el aumento lateral y el aumento angular se deduce a partir de la ecuación de Lagrange-Helmholtz

$n \cdot y \cdot \sigma = n' \cdot y' \cdot \sigma'$

Dividiendo los dos miembros de la ecuación por $y \cdot \sigma$

Se tiene $\frac{n}{n'} = \frac{y'}{y} \cdot \frac{\sigma'}{\sigma} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\beta \cdot \gamma = \frac{n}{n'}}$

Aumentos lateral y angular en el dioptrio esférico.

Como se puede comprobar gráficamente, el aumento angular se puede expresar: $\boxed{\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{s}{s'}}$

Y el aumento lateral, teniendo en cuenta las relaciones anteriores: $\boxed{\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n}{n'} \cdot \frac{s'}{s}}$

24.4 Dioptrio plano

El dioptrio plano es un sistema óptico formado por dos medios transparentes de distintos índices de refracción, separados por una superficie plana. Puede considerarse como un caso particular de dioptrio esférico cuyo radio de curvatura sea infinito (R =∞)

Ecuación fundamental.

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n'-n}{\infty} \Rightarrow \boxed{\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = 0 \Rightarrow \frac{n'}{s'} = \frac{n}{s}}$$

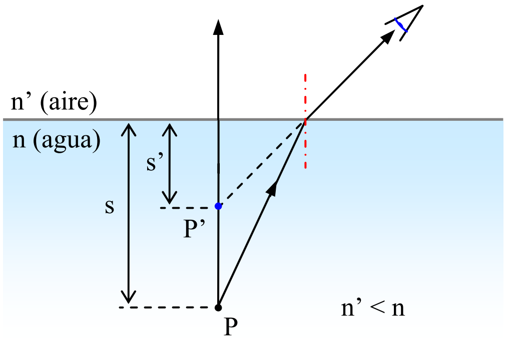
Distancias focales.

$$f' = \frac{n' \cdot \infty}{n'-n}; \ f = -\frac{n \cdot \infty}{n'-n} \Rightarrow \boxed{f = f' = \infty}$$

Aumento lateral $\boxed{\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n}{n'} \cdot \frac{s'}{s} = 1}$

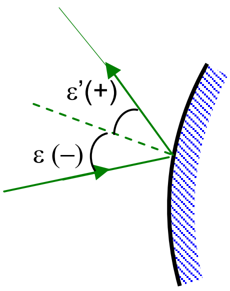
Aumento angular $\boxed{\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{s}{s'} = \frac{n}{n'}}$

Construcción de imágenes



24.5 Espejo esférico

Es un sistema óptico formado por una superficie esférica en la cual la luz se refleja.



Con el convenio de signos establecido, los ángulos de incidencia ε y de reflexión ε' son siempre de signo opuesto, por tanto la ley de la reflexión la podemos expresar:

$$\varepsilon = -\varepsilon'$$

Si comparamos la expresión anterior con la ley de la refracción:

$$n \cdot \varepsilon = n' \cdot \varepsilon'$$

Se puede considerar que, en lo referente a las fórmulas, la reflexión es un caso particular de la refracción sin más que considerar,

$$n = -n'$$

Clasificación de los espejos:

Los espejos esféricos se clasifican en cóncavos (R<0) y convexos (R>0) según el signo positivo o negativo de su radio de curvatura.

Ecuación fundamental:

Partiendo de la ecuación fundamental del dioptrio esférico y haciendo $n = -n'$

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n'-n}{R} \rightarrow \frac{n'}{s'} + \frac{n'}{s} = \frac{n'+n'}{R} = \frac{2n'}{R} \Rightarrow \boxed{\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R}}$$

Distancias focales.

Del mismo, utilizando también las expresiones obtenidas para el dioptrio esférico

$$\left.\begin{array}{l} f' = \frac{n' \cdot R}{n'+n'} \Rightarrow f' = \frac{R}{2} \\ f = -\frac{n \cdot R}{-n-n} \Rightarrow f = \frac{R}{2} \end{array}\right\} \qquad \boxed{f = f' = \frac{R}{2}}$$

Las distancias focales son iguales y por tanto los dos focos coinciden y se hallan en el punto medio entre el centro de curvatura y el polo del espejo.
Teniendo en cuenta los valores obtenidos para las distancias focales, podemos expresar la ecuación fundamental del espejo esférico: $\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}$

Aumento lateral

$$\beta=\frac{y'}{y}=\frac{n}{n'}\cdot\frac{s'}{s}=-\frac{s'}{s}$$

Aumento angular

$$\gamma=\frac{\sigma'}{\sigma}=\frac{s}{s'}$$

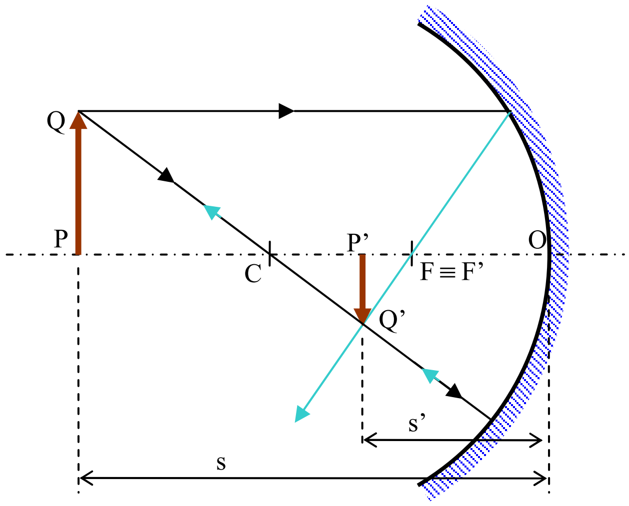
Construcción de imágenes

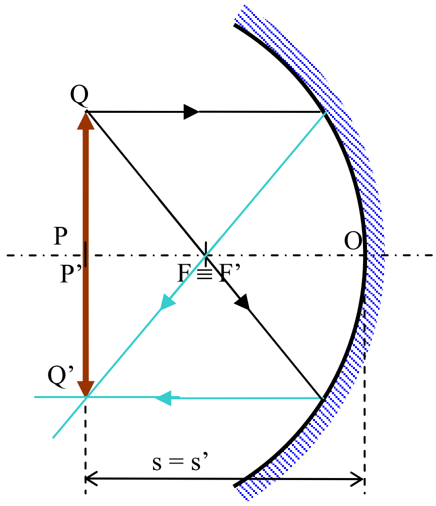
Conocida la posición de los focos podemos abordar gráficamente la construcción de imágenes.
Para ello podemos utilizar los siguientes rayos:

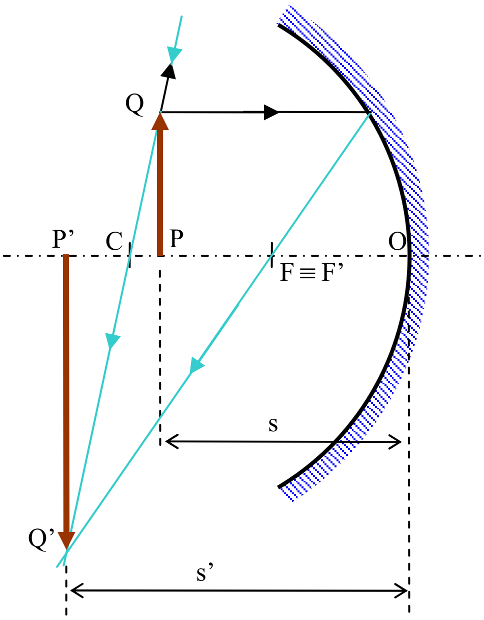
- El rayo que incide paralelo al eje óptico pasa, una vez reflejado, por el foco.
- El rayo que al incidir pasa por el foco, se refleja paralelo al eje óptico.
- El rayo que pasa por el centro de curvatura, al reflejarse, lo hace sobre si mismo.

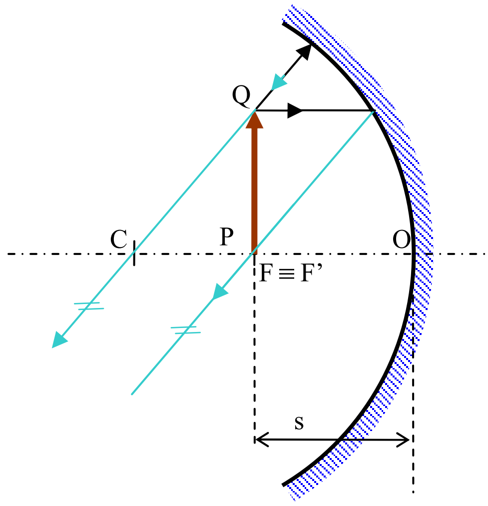
Espejos cóncavos

Si el objeto está a mayor distancia del espejo que el foco, la imagen es siempre real e invertida y el tamaño mayor o menor dependiendo de si se encuentra a la derecha o a la izquierda del centro de curvatura.

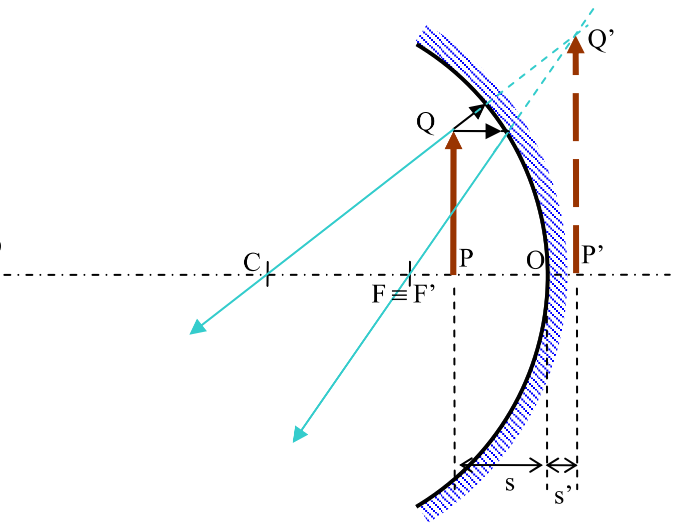






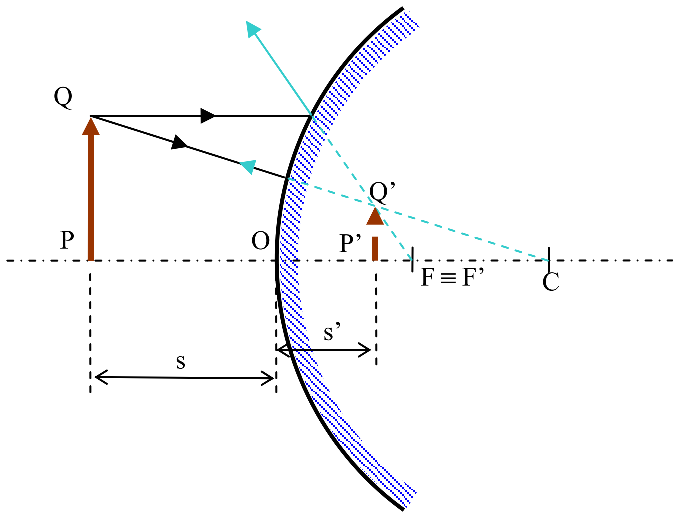


Si el objeto está entre el foco y el polo del espejo, la imagen es virtual, derecha y mayor que el objeto



Espejos convexos

La imagen de un objeto real formado por un espejo convexo es siempre virtual, derecha y menor que el objeto



24.6 Espejo plano

Es un sistema óptico formado por una superficie plana, en donde la luz se refleja.
Puede considerarse como un caso particular de espejo esférico cuyo radio de curvatura sea infinito ($R = \infty$)

Ecuación fundamental:

Partiendo de la ecuación fundamental del espejo esférico,

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

Distancias focales:

Del mismo, utilizando también las expresiones obtenidas para el espejo esférico,

$$\boxed{f = f' = \infty}$$

<u>Aumento lateral</u>

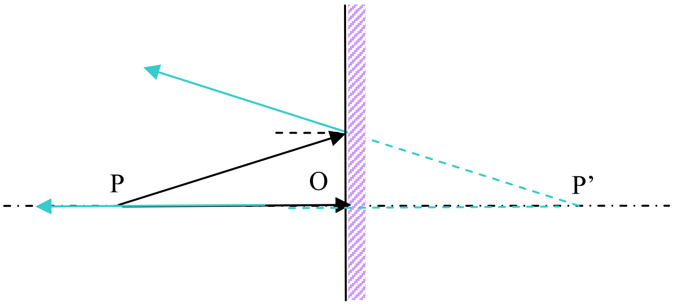
$$\boxed{\beta=\frac{y'}{y}=-\frac{s'}{s}=1}$$

<u>Aumento angular</u>

$$\boxed{\gamma=\frac{\sigma'}{\sigma}=\frac{s}{s'}=-1}$$

Construcción de imágenes

El trazado de los rayos se realiza aplicando la ley de la reflexión



24.7 Lentes delgadas.

Una lente esférica es un medio transparente limitado por dos superficies, al menos una de ellas, esférica.
Es un sistema óptico centrado formado por dos dioptrios.
Una lente esférica queda determinada por:

- El valor y el signo de sus dos radios de curvatura (r_1 y r_2)
- El espesor (e) que es la distancia entre los polos de los dos dioptrios.
- Los valores de los índices de refracción del medio que forma la lente y del medio exterior. En adelante supondremos que las lentes se encuentran en el aire con n ≈ 1

Clasificación de las lentes:

Se pueden clasificar atendiendo al *espesor* y a la *curvatura* de sus caras.

Según el espesor:

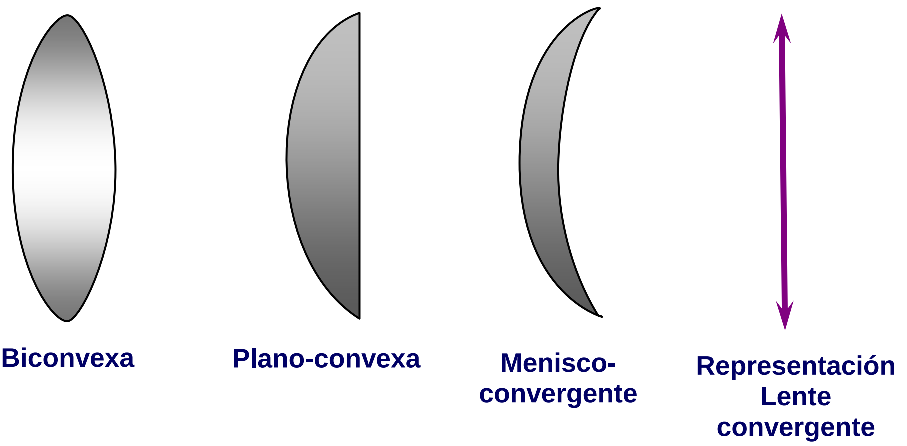
Lentes delgadas: el espesor € es despreciable. Se puede considerar que los polos de los dioptrios coinciden ($O_1 \approx O_2$) en un punto que se llama **centro óptico de la lente**

Lentes gruesas: el espesor e no se pude considerar despreciable.

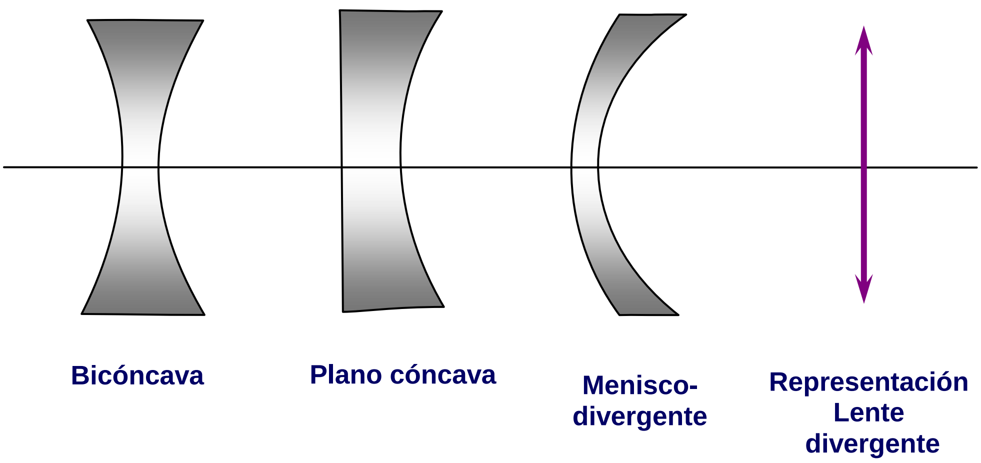
En adelante supondremos que las lentes son delgadas.

Según los radios de curvatura de sus caras:

Lentes convergentes: se caracterizan porque son más gruesas en la parte central que en los bordes.
Pueden ser: Biconvexa, Plano convexa y Menisco de bordes finos o Menisco-convergente.

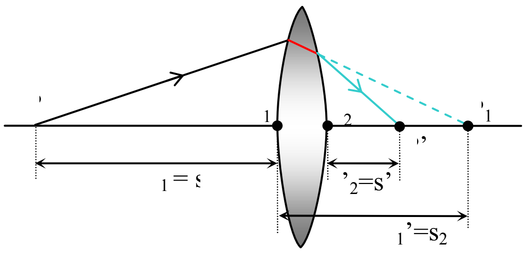


Lentes divergentes: se caracterizan porque son más gruesas en los bordes que en la parte central.
Pueden ser: Bicóncava, Plano cóncava y Menisco de bordes gruesos o Menisco-divergente.



Ecuación fundamental de las lentes delgadas:

Para obtener la ecuación fundamental podemos considerar la lente como un sistema compuesto formado por dos superficies esféricas de radios r_1 y r_2, siendo la distancia entre los polos, por ser lentes delgadas, despreciable. Consideramos también que la lente esta constituida por un medio de índice de refracción n y que se encuentra en el aire.
Aplicando la fórmula fundamental del dioptrio esférico para la primera superficie calculamos la posición de la imagen P_1 de un punto P del eje.
Para el primer dioptrio $n=1$, $n' = n$; $r = r_1$



$$\frac{n}{s_1'} - \frac{1}{s_1} = \frac{n-1}{r_1}$$

Para el segundo dioptrio n=n, n' = 1; r = r_2 además, teniendo en cuenta que $s'_1 = s_2$ ya que P_1 actúa de objeto virtual para el segundo dioptrio

$$\frac{1}{s'_2} - \frac{n'}{s'_1} = \frac{1-n}{r_2}$$

Sumando las dos expresiones anteriores

$$\frac{1}{s'_2} - \frac{1}{s_1} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right), \text{ como } O_1 \approx O_2$$ llamamos $s_1 = s\,;\, s_2' = s'$

Ecuación fundamental $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

Distancias focales

Si en la expresión anterior hacemos $s = -\infty$ su imagen es $s' = f'$

$$\frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

Y análogamente haciendo $s' = \infty$ obtenemos f

$$\frac{1}{f} = -(n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

Las distancias focales son iguales y opuestas.

$f' = -f$

Y la ecuación fundamental se puede expresar: $\frac{1}{f'} = \frac{1}{s'} - \frac{1}{s}$

Aumento lateral

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n}{n'} \cdot \frac{s'}{s} \Rightarrow \text{al ser los medios extremos iguales es n = n'} \Rightarrow \beta = \frac{s'}{s}$$

<u>Aumento angular</u>

$$\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{s}{s'}$$

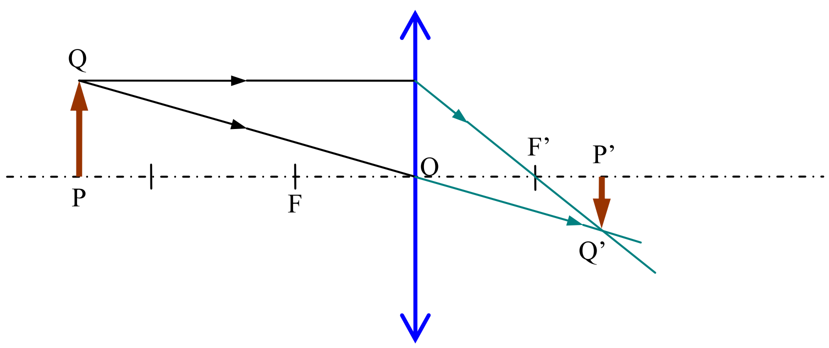
Construcción de imágenes

Conocida la posición de los focos podemos abordar gráficamente la construcción de imágenes.
Para ello podemos utilizar los siguientes rayos:

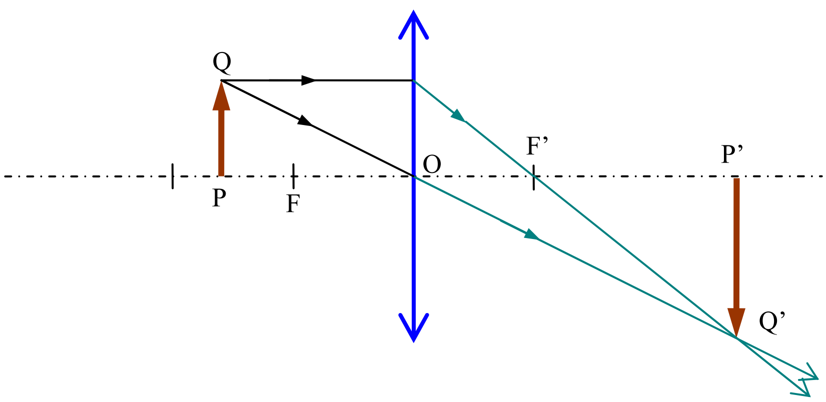
- El rayo que incide paralelo al eje óptico pasa, una vez refractado, por el foco imagen.
- El rayo que al incidir pasa por el foco objeto, se refracta paralelo al eje óptico.
- El rayo que pasa por el centro óptico de la lente, al refractarse, no se desvía.

Lentes convergentes

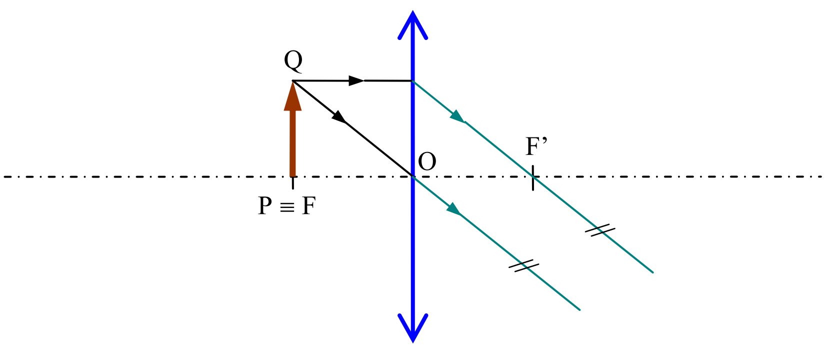
Si el objeto está a una distancia de la lente mayor que el doble de la distancia focal, la imagen es real invertida y de menor tamaño.



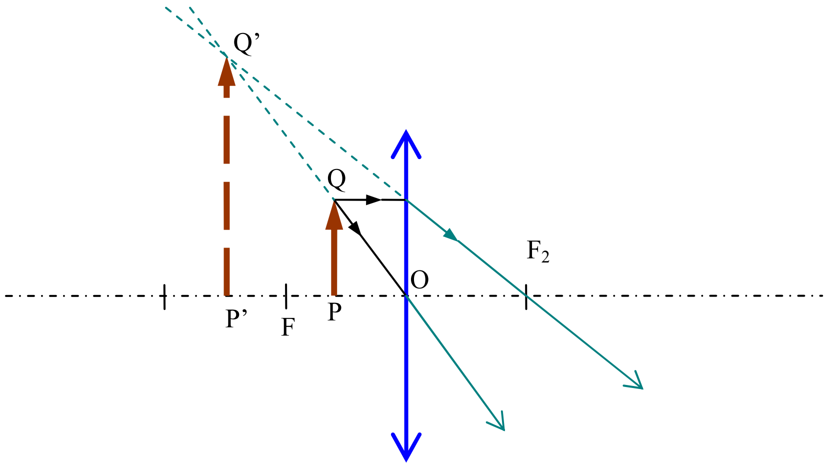
Si el objeto está entre F y 2F la imagen es real invertida y mayor



Si está en el foco la imagen se forma en el infinito

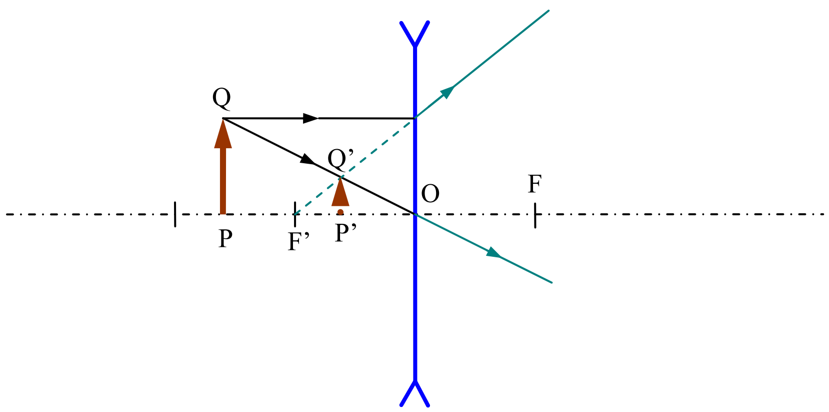


Y si el objeto esta a una distancia de la lente menor que la distancia focal, la imagen es virtual derecha y mayor.



Lentes divergentes

La imagen de objetos reales es siempre, virtual, derecha y menor



Potencia de una lente en el aire.

La potencia de una lente en el aire, es la inversa de su distancia focal imagen expresada en metros.
La unidad de potencia es la dioptría, que se define como la potencia de una lente cuya distancia focal imagen es de un metro.
La potencia es positiva en las lentes convergentes y negativa en las divergentes.

24.8 Resumen de fórmulas

Óptica Geométrica

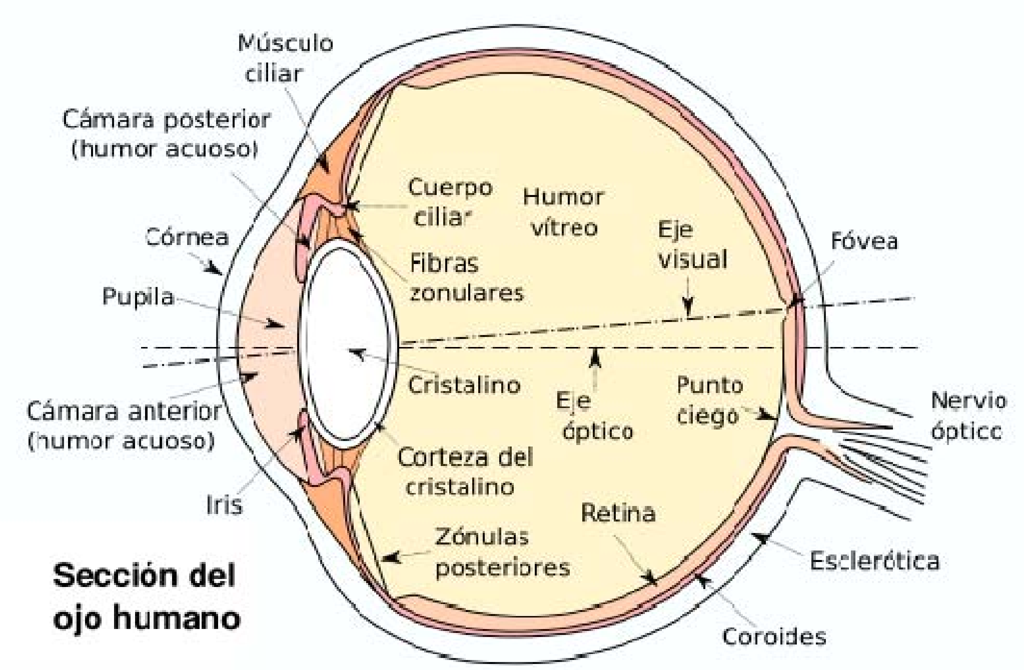
Resumen de fórmulas

	Dioptrio esférico	Dioptrio plano	Espejo esférico	Espejo plano	Lentes
Puntos conjugados	$\frac{n'}{s'}-\frac{n}{s}=\frac{n'-n}{R}$	$R=\infty$; $\frac{n'}{s'}=\frac{n}{s}$	$n=-n'$; $\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}=\frac{2}{R}$	$R=\infty$, $n'=-n$; $s'=-s$	$\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}$
Aumento lateral	$\beta=\frac{y'}{y}=\frac{n}{n'}\cdot\frac{s'}{s}$	$\beta=1$	$\beta=-\frac{s'}{s}$	$\beta=1$	$\beta=\frac{s'}{s}$
Aumento angular	$\gamma=\frac{\sigma'}{\sigma}=\frac{s}{s'}=\frac{n}{n'}.\frac{1}{\beta}$	$\gamma=\frac{s}{s'}=\frac{n}{n'}$	$\gamma=\frac{s}{s'}=-\frac{1}{\beta}$	$\gamma=-1$	$\gamma=\frac{1}{\beta}$
Focos	$f=\frac{-n\cdot R}{n'-n}$; $f'=\frac{n'\cdot R}{n'-n}$	$f, f'\to\infty$	$f=f'=\frac{R}{2}=\frac{n'\cdot R}{2\cdot n'}$	$f, f'\to\infty$	$f=-f'$; $P=\frac{1}{f'(m)}=(n-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$
	$\frac{f}{f'}=-\frac{n}{n'}$				

24.9 El ojo como instrumento óptico: Instrumentos ópticos.

Combinando los espejos y los dioptrios se construyen los instrumentos ópticos cuyo fin es ayudar al ojo a cumplir su misión.
Antes de abordar el estudio de los instrumentos ópticos analizaremos la constitución del ojo y los defectos de la visión.

Constitución del ojo:



- Forma aproximadamente esférica de 2,5 cm de diámetro.
- La **esclerótica** (dura, blanca y opaca) cubre la parte exterior del ojo
- La parte anterior da de la esclerótica, más curva, es la **córnea** n=1.376
- **Humor acuoso**: líquido transparente situado entre la cornea y el cristalino. n=1.336
- **Cristalino**: cápsula elástica que contiene gelatina fibrosa. Formado por capas superpuestas deslizantes. el índice de refracción es menor en el borde y aumenta en la zona central.
- **Músculos ciliares**: ligamentos suspensores del cristalino que le permiten cambiar de forma.
- **Iris**: diafragma situado delante del cristalino y cuya abertura recibe el nombre de pupila. Su diámetro varía entre 2mm y 8mm.
- **Humor vítreo**: gelatina ligera que contiene en su mayor parte agua que ocupa la parte posterior del cristalino. n=1.337
- **Retina**: es un entramado de células fotosensibles prolongación del nervio óptico. Compuesta por conos y bastoncillos que transmiten al cerebro por el nervio óptico.
- **Fovea**: zona de máxima sensibilidad donde la visión es más nítida. El ojo gira hasta que la imagen se forma en la fovea. En la zona central solo hay conos.
- **Punto ciego**: por donde penetra el nervio óptico. No existe células fotosensibles.

Adaptación:

La **adaptación** es la facultad del ojo para modificar el diámetro del iris y controlar el flujo luminoso que penetra en el ojo. Esta variación se produce por un acto reflejo involuntario.

Acomodación:

Se llama **acomodación** a la capacidad del ojo para formar la imagen en la retina de objetos situados a diferentes distancias

Esta función se lleva a cabo en el cristalino que varía su convergencia por la acción del músculo ciliar.

Esta capacidad se va perdiendo con los años debido a la pérdida de elasticidad que sufre; es lo que se conoce como presbicia o vista cansada y hace que aumente la distancia focal y la cantidad de luz mínima necesaria para que se forme una imagen nítida.

El punto más próximo donde podemos ver nítidamente se llama punto próximo y el más alejado punto remoto.

$$A = \frac{1}{\text{Dist. al punto próximo}} - \frac{1}{\text{Dist. al punto remoto}}$$

Se denomina amplitud de acomodación y se expresa en dioptrías cuando las distancias lo hacen en metros.

Defectos de convergencia:

El ojo normal o emétrope forma en la retina, sin acomodación, la imagen de un objeto situado en el infinito.

Cuando esto no se cumple, porque el ojo es excesivamente convergente o menos convergente que el ojo normal, el ojo se denomina amétrope

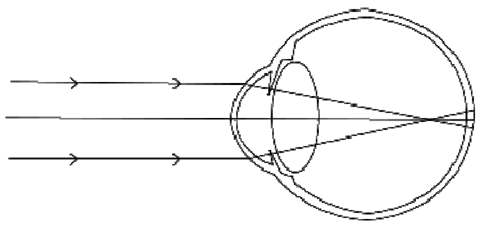
Miopía:

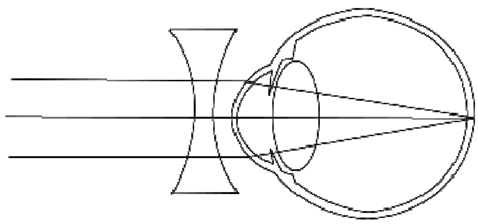
Problema:

- El globo del ojo es demasiado largo o más convergente que un ojo normal.
- La imagen nítida se forma delante de la retina.
- El punto remoto se sitúa a distancia finita.
- El punto próximo está más cerca que el del ojo normal.
- Es como tener una lente convergente delante del ojo.

Corrección:

- Situar una lente divergente cuyo foco imagen esté en el punto remoto del ojo miope.
- Así se logra llevar el punto remoto al infinito.





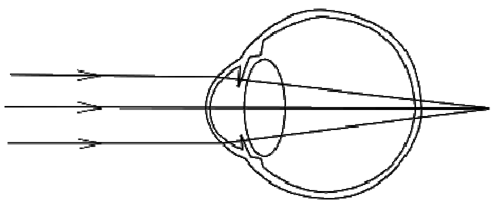
Hipermetropía

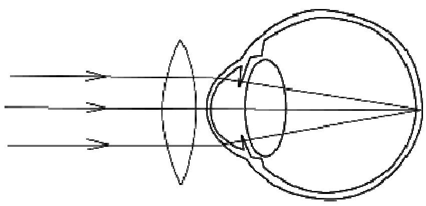
Problema:

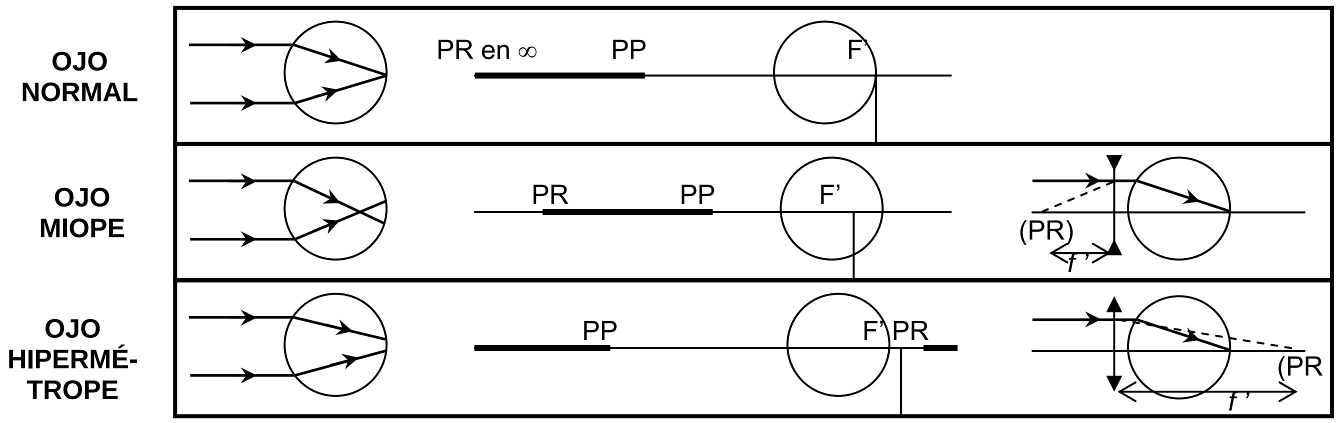
- El globo del ojo es demasiado corto o menos convergente que un ojo normal.
- La imagen nítida se forma detrás de la retina.
- El punto remoto se sitúa detrás de la retina .
- El punto próximo está más alejado que el del ojo normal.
- Es como tener una lente divergente delante del ojo.

Corrección:

- Situar una lente convergente con el foco imagen en el punto remoto del ojo hipermétrope.
- Así se logra llevar el punto remoto al infinito.







Defecto de acomodación:

Presbicia:

Problema:

- El cristalino pierde flexibilidad y capacidad de deformarse para acomodar el ojo.
- Disminuye la amplitud de acomodación, alejándose el punto próximo

Corrección:

- Usar una lente convergente para acercar el punto próximo

Defecto de esfericidad:

Astigmatismo

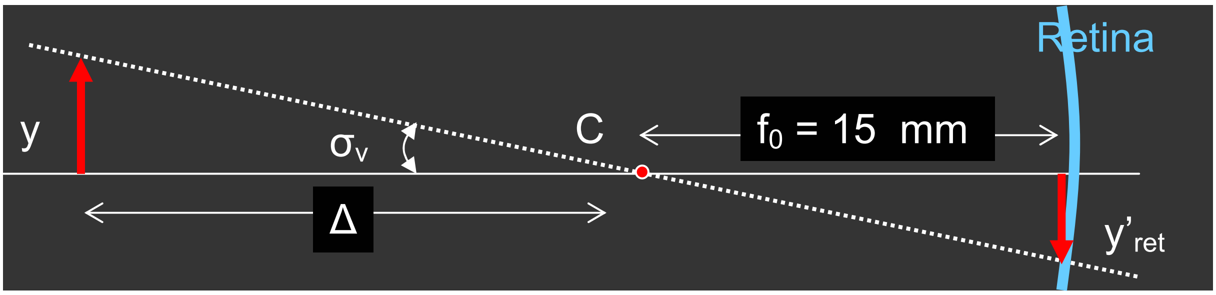
Problema:

- El cristalino y/o la córnea pierden la esfericidad.
- Las distintas secciones meridianas del ojo tienen distinta curvatura.
- A cada sección le corresponde una focal distinta.
- Es como tener una lente cilíndrica delante del ojo.

Corrección:

- Con una lente cilíndrica complementaria.

Tamaño de las imágenes retinianas



Sea C el centro de curvatura del ojo, f_0 = 15 mm la distancia del centro de curvatura a la retina y σv = ángulo visual

El tamaño de la imagen retiniana será:

$y_{ret}' = f_0 \cdot \tan \sigma_v$ al ser σ_v muy pequeño $y_{ret}' = f_0 \cdot \sigma_v$

Si el objeto se encuentra a una distancia Δ:

$\tan \sigma_v = y / \Delta$ $\sigma_v = y / \Delta$ $y_{ret}' = f_0 \cdot y / \Delta$

La imagen retiniana será mayor cuanto mayor sea el ángulo visual, es decir, cuanto más próximo esté el objeto y sea de mayor tamaño

Instrumentos ópticos. Clasificación y calidad.

Son instrumentos construidos con lentes y espejos destinados a obtener la imagen de un objeto.

Clasificación

- Instrumentos ópticos de observación subjetiva o instrumentos oculares: *proporcionan imágenes virtuales, que con la ayuda del ojo se convierten en imágenes reales en la retina*
  - Lupa o microscopio simple
  - Microscopio compuesto
  - Telescopios refractores
    - Anteojo astronómico o de Kepler
    - Anteojo terrestre o catalejo
    - Anteojo de Galileo
  - Telescopio reflectores
    - Newton
    - Cassegrain

- Instrumentos ópticos de observación objetiva o de proyección: *la imagen real se recoge en una pantalla o en una placa sensible*
  - Cámara fotográfica
  - Proyectores

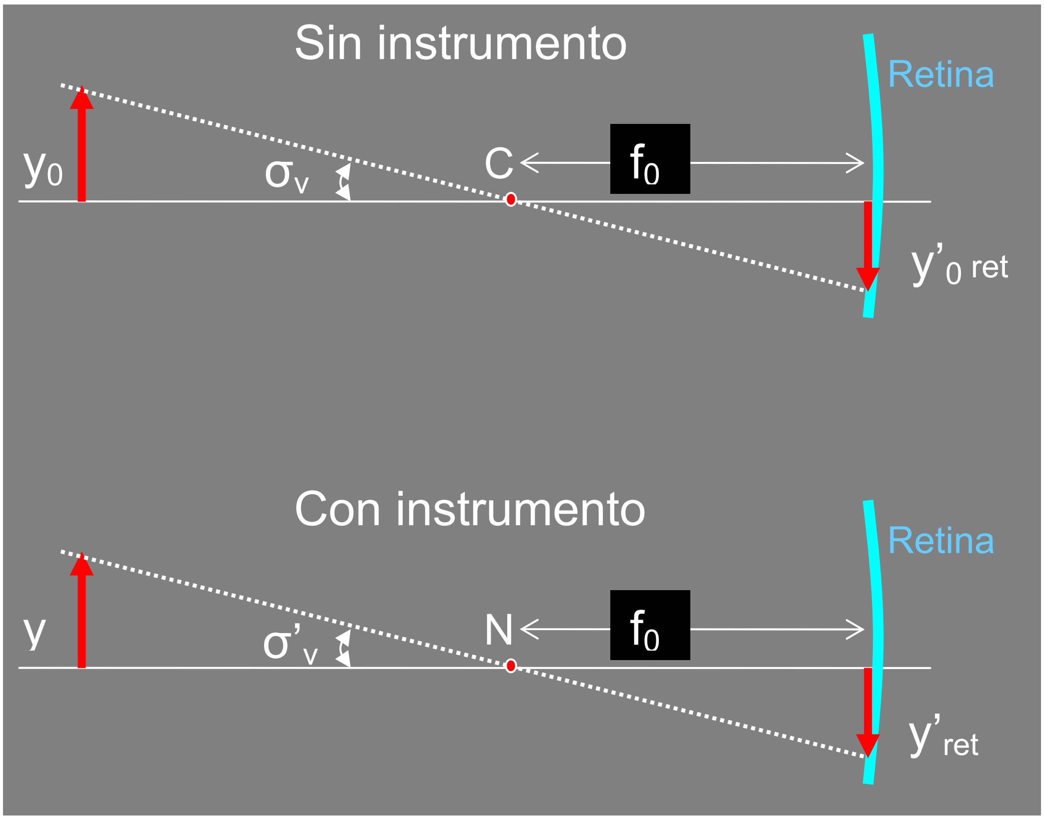
Calidad

La calidad de los instrumentos ópticos depende de:

- El aumento

En los instrumentos de proyección el aumento es el cociente entre tamaño de la imagen y del objeto $\beta = y' / y$

En los instrumentos oculares el aumento es el cociente entre la imagen retiniana con instrumento y la imagen retiniana sin éló lo que es igual, el cociente entre los ángulos visuales con y sin instrumento



$$A = \frac{y'_{ret}}{y_0'_{ret}} = \frac{\sigma_v'}{\sigma_v}$$

- **Campo**

  Es la extensión del plano del objeto de cuyos puntos el instrumento es capaz de dar una imagen. Depende del diafragma de campo

  Medida:
  - Si el objeto se encuentra a distancia finita: diámetro
  - Si el objeto se encuentra en el infinito: ángulo de abertura del cono formado por las direcciones de todos los rayos que llegan al instrumento y forma la imagen

- **Poder separador**

  Es la capacidad del instrumento óptico de poder formar imágenes separadas de dos puntos muy próximos

  Medida:
  - Si el objeto se encuentra a distancia finita: distancia mínima entre dos puntos que no se confunden
  - Si el objeto se encuentra en el infinito: ángulo visual mínimo que separa los dos puntos que no se confunden

  La existencia de aberraciones y fenómenos de difracción limitan el poder separador de un instrumento

- **Luminosidad**

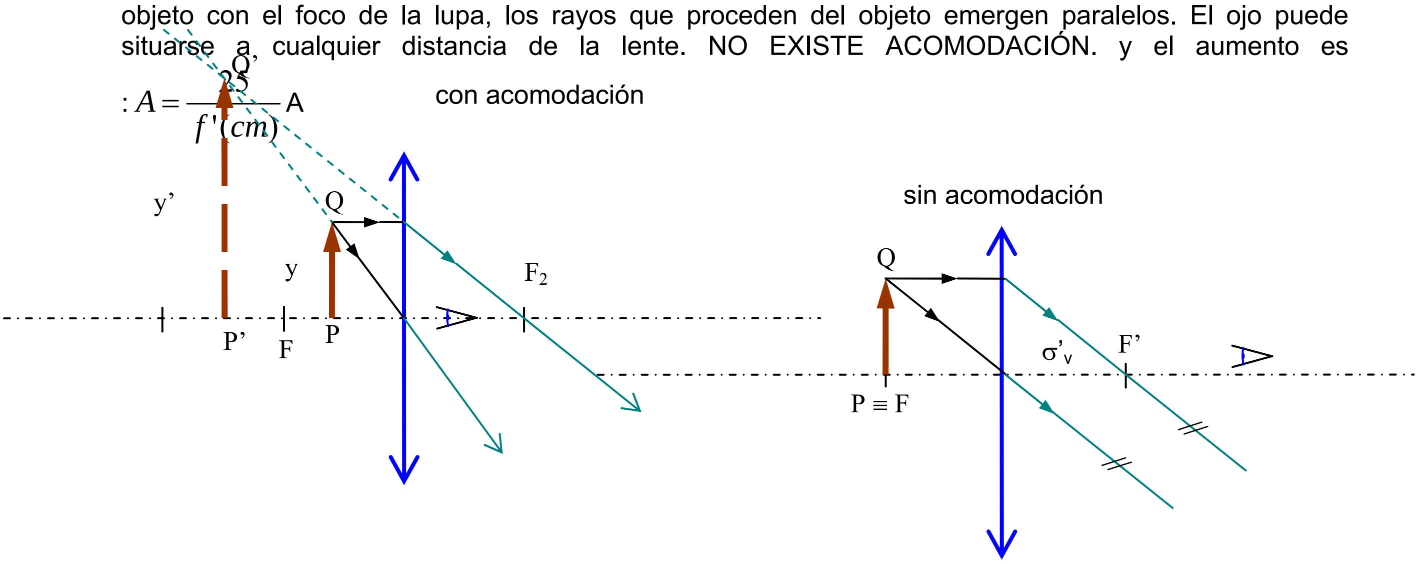
  Es una medida del brillo de la imagen. Depende del diafragma de abertura

  Medida:
  - Dependerá de la cantidad de rayos luminosos que un instrumento admita
  - Es proporcional al cuadrado del radio de la pupila de entrada del diafragma de abertura

Microscopio simple o lupa

- Lente convergente que aumenta el poder separador del ojo y proporciona una imagen virtual que se ve con mayor ángulo visual que se vería sin la lupa.
- Para que la imagen sea **virtual** y **derecha** el objeto se colocará entre el foco y la lente
- El aumento es el cociente entre el ángulo visual con la lupa y el ángulo visual sin ella, con el objeto situado a la distancia mínima de visión neta (aproximadamente 25 cm)

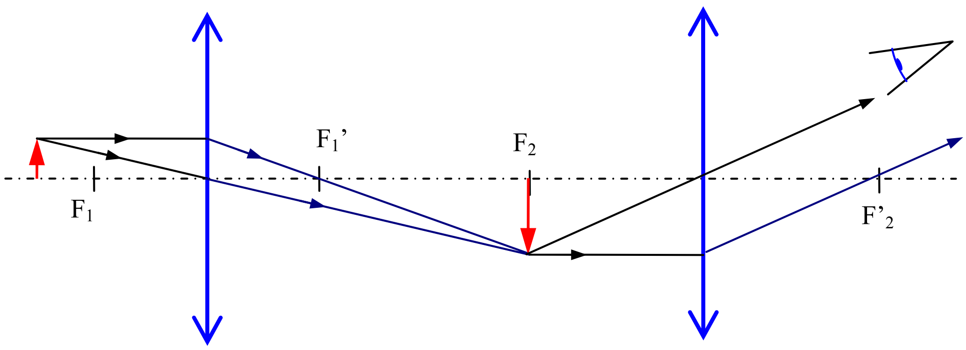
- $$A=\frac{y'_{ret}}{y_0'_{ret}}=\frac{\sigma_v'}{\sigma_v}$$
- El aumento depende de las posiciones del objeto y del ojo con relación a la lenteSi hacemos coincidir el objeto con el foco de la lupa, los rayos que proceden del objeto emergen paralelos. El ojo puede situarse a cualquier distancia de la lente. NO EXISTE ACOMODACIÓN. y el aumento es : $A=\frac{25}{f'(cm)}$ A



Microscopio compuesto. Aumento

Cuando se utilizan las lupas con fines científicos y se necesitan más aumentos se combinan con otras lentes (objetivo) y se denominan oculares.

- Fue des cubierto por Galileo en 1610.
- Consta de un objetivo y un ocular (lentes convergentes)
- El objetivo tiene focal pequeña
- Para evitar la acomodación, el objetivo tiene que formar su imagen real e invertida en el foco del ocular.
- El ocular actúa como una lupa



Anteojo astronómico o de Kepler

Son instrumentos destinados a observar objetos muy alejados.

- Constan de un ocular y un objetivo.
- La focal del objetivo es mayor que la del ocular.
- El objetivo produce una imagen real que se contempla con el ocular que actúa como una lupa.
- Si el objeto se encuentra en el infinito, la imagen se forma en F'_1. Al enfocar el ocular hacemos coincidir F'_1 y F_2 y la imagen se observa sin necesidad de acomodar.
- Cuanto mayor es la focal del objetivo mayor es el aumento

Anteojo terrestre o catalejo

El anteojo astronómico proporciona imágenes invertidas para ello se recurre a

- Anteojo de Galileo
- Ocular terrestre
- Prismáticos

Telescopios reflectores

- Si sustituimos el objetivo por un espejo cóncavo conseguimos recoger más luz, con lo que podemos conseguir mayor aumento
- La imagen real se forma en el foco del espejo y se contempla con un ocular
- Un espejo puede tener mayor dimensión que una lente, además evitamos aberraciones
- Para poder observar la imagen formada por el espejo se recurre montajes especiales como:
  - Newton
  - Cassegrain

24.10 Diafragmas. Aberraciones en los sistemas ópticos.

Definición y tipos de diafragmas

Son pantallas o discos, generalmente con abertura circular centrada, que se introducen en el sistema óptico para limitar los haces de los rayos de luz que lo atraviesan.
Tipos:

- Diafragma de abertura: limita la sección del haz y disminuye el brillo de la imagen.
- Diafragma de campo: limita el ángulo de incidencia de los haces. Limita la extensión del objeto que puede verse.

Causas generales de las aberraciones. Clasificación.

Causas:
Se definen las aberraciones como las diferencias entre la imagen real y la predicha por la teoría (dominio paraxial)
No son producidas por defectos de las lentes o espejos. Son consecuencia de:

- Las leyes de la reflexión y de la refracción
- El carácter dispersivo de los materiales ópticos en los cuales el índice de refracción es función de la longitud de onda de la radiación y esto hace que la distancia a la que se forma la imagen varíe con la longitud de onda de la radiación incidente. Si incide luz policromática se formarán varias imágenes de distinto color a distancias distintas.

Una imagen es perfecta si su contemplación produce el mismo efecto que si viésemos el objeto agrandado o disminuido, pero sin deformación ni alteraciones cromáticas.
Los requisitos para la formación de una imagen perfecta a través de un sistema óptico centrado solo se cumplen en el dominio paraxial y con lentes construidas con materiales no dispersivos.

Clasificación:
Las aberraciones se clasifican en geométricas y cromáticas.
Las aberraciones geométricas producen deformación y pérdida de nitidez en la imagen y existen aunque se utilicen haces de luz monocromática.
Son:

- Esfericidad
- Coma
- Astigmatismo
- Curvatura de campo
- Distorsión

Las aberraciones cromáticas aparecen cuando se utiliza luz policromática en lentes construidas con materiales dispersivos.

24.11 Problemas resueltos.

Problema 1

Un dioptrio esférico está constituido por dos medios transparentes limitados por una superficie de discontinuidad esférica de radio de curvatura R=+15 cm. Los valores de los índices de refracción son n=1 (medio anterior) y n´=4/3 (medio posterior). Determinar:

a) Los valores de las distancias focales del dioptrio.
b) La posición en la que hay que colocar un objeto real para que el aumento lateral sea β_1 = +2. ¿En qué posición se forma la imagen?
c) La posición en la que hay que colocar un objeto real para que el aumento lateral se β_2 = -2. ¿En qué posición se forma la imagen?
d) La posición, tamaño y naturaleza de la imagen formada por el sistema, de un objeto de 2 mm de altura, situado en el eje óptico 5 cm delante de la superficie del dioptrio.
e) Si la superficie de discontinuidad que separa los dos medios anteriores fuese plana ¿qué posición y qué tamaño relativo tendría la imagen si el objeto real estuviese situado 30 cm delante de la discontinuidad?

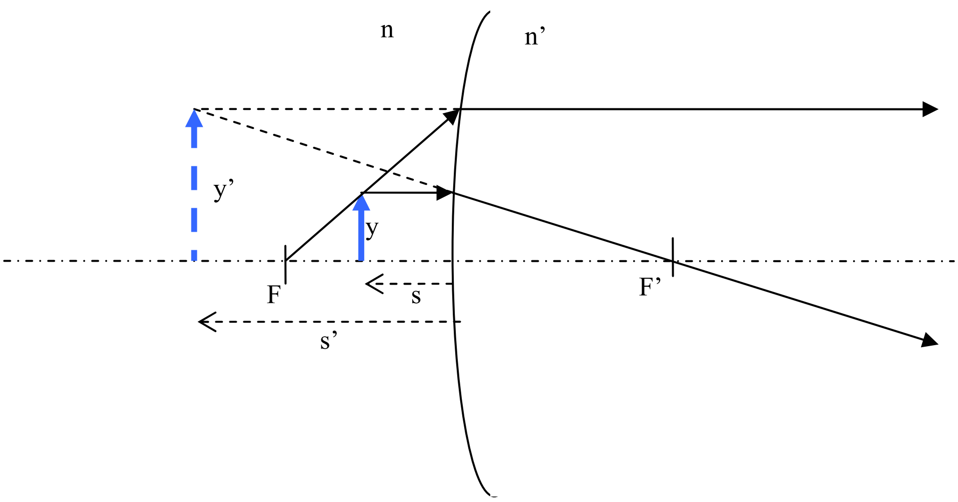
a) distancias focales

$$f = -\frac{n.R}{n'-n} = -45\,\text{cm}$$

$$f\,' = \frac{n'.R}{n'-n} = 60\,\text{cm}$$

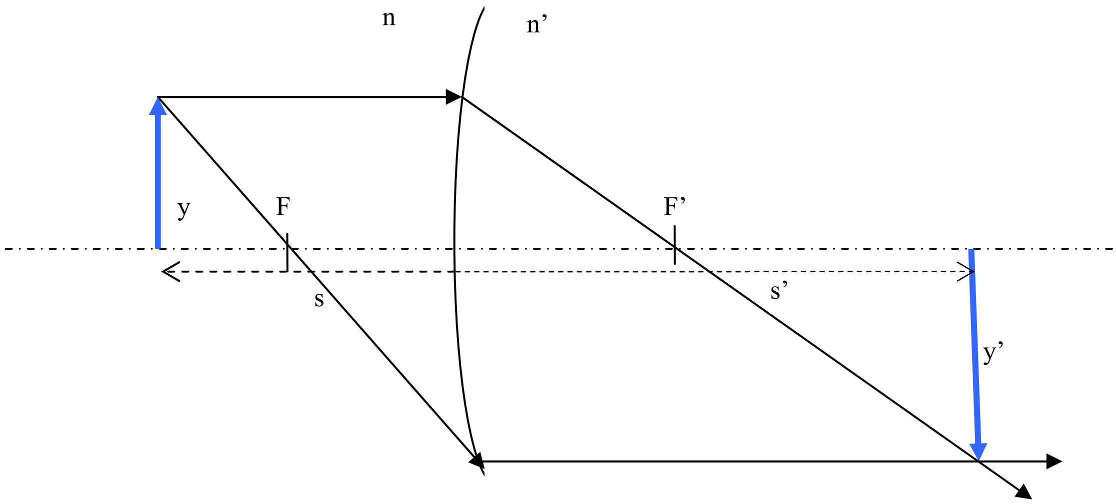
b) posición del objeto para que el aumento lateral β_1 =2

$$\left.\begin{array}{l} \beta_1 = \dfrac{n}{n'}\dfrac{s_1'}{s_1} = +2 \Rightarrow \dfrac{1}{4/3}\dfrac{s_1'}{s_1} = 2 \Rightarrow s_1' = \dfrac{8}{3}s_1 \\ \dfrac{n'}{s_1'} - \dfrac{n}{s_1} = \dfrac{n'-n}{R} \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \dfrac{4/3}{\frac{8}{3}s_1} - \dfrac{1}{s_1} = \dfrac{1/3}{15} \Rightarrow \\ s_1 = -22{,}5\,\text{cm};\ s_1' = -60\,\text{cm};\ \textit{imagen virtual} \end{array}$$



c) posición del objeto para que el aumento lateral $\beta_2 = -2$

$$\left.\begin{array}{l} \beta_2 = \dfrac{n}{n'}\dfrac{s_2'}{s_2} = -2 \Rightarrow \dfrac{1}{4/3}\dfrac{s_2'}{s_2} = -2 \Rightarrow s_2' = -\dfrac{8}{3}s_2 \\ \dfrac{n'}{s_2'} - \dfrac{n}{s_2} = \dfrac{n'-n}{R} \end{array}\right\} \begin{array}{l} \Rightarrow -\dfrac{4/3}{\frac{8}{3}s'_2} - \dfrac{1}{s_2} = \dfrac{1/3}{15} \Rightarrow \\ s_1 = -67,5,5cm; s_1' = 180cm; imagen\ real \end{array}$$

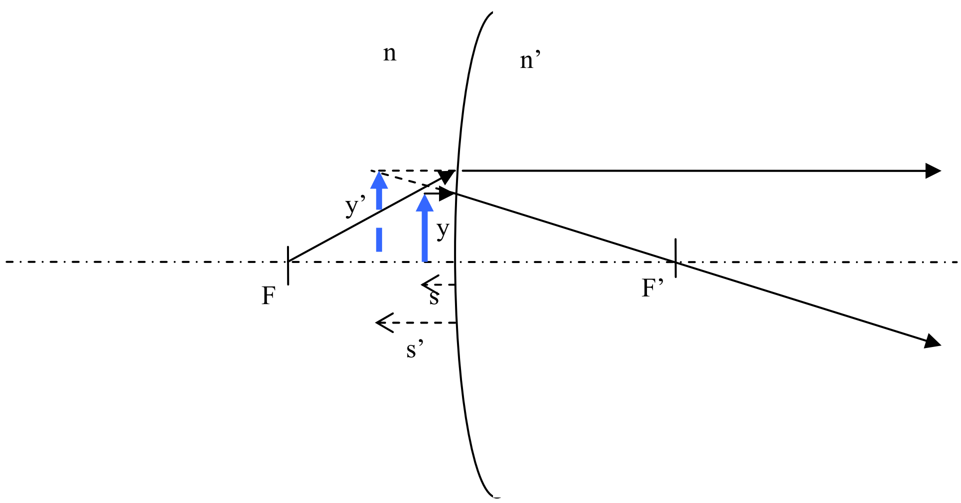


d) posición tamaño y naturaleza de un objeto (y = 2 mm) situado en s_3 =-5 cm.

$$\frac{n'}{s_3'} - \frac{n}{s_3} = \frac{n'-n}{R} \Rightarrow -\frac{4/3}{s'_3} - \frac{1}{-5} = \frac{1/3}{15} \Rightarrow s'_3 = -7,5\,\text{cm}; \quad \text{imagen virtual}$$

;

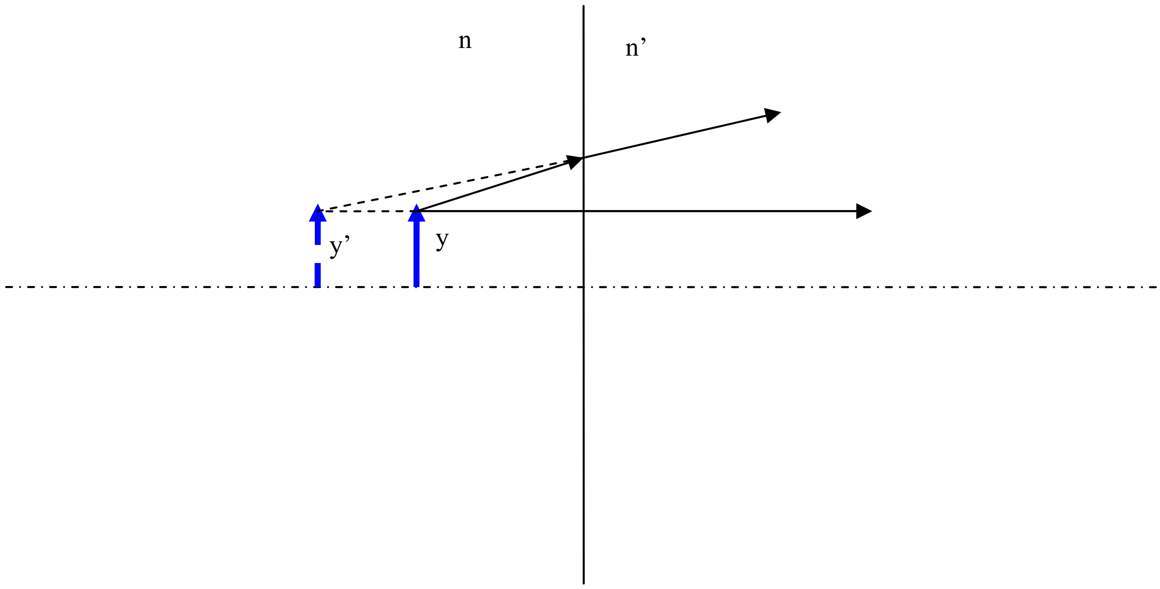
$$\beta_3 = \frac{1}{4/3}\frac{-7,5}{-5} = 1,125 \Rightarrow y' = 1,125y = 2,25\,\text{mm};\text{imagen derecha y mayor}$$



e) superficie plana y objeto situado a s=-30 cm

Fórmula del dióptrio plano para puntos conjugados $\frac{n'}{s'}=\frac{n}{s} \Rightarrow \frac{4/3}{s'}=\frac{1}{-30} \Rightarrow s'=-40\,\text{cm}$

$\beta = 1; \text{igual tamaño}$



Problema 2

I) Un espejo esférico cóncavo tiene 15 cm de distancia focal. Determinar la posición naturaleza y tamaño de la imagen en los dos casos siguientes:

a) El objeto es real y se encuentra 30 cm delante del espejo.
b) El objeto es virtual y se encuentra 30 cm detrás del espejo.

II) Se forma un nuevo sistema óptico situando, delante del espejo cóncavo anterior, otro espejo convexo de igual radio de curvatura. Si la separación entre los espejos es de 45 cm, determinar:

c) En qué posición entre los dos espejos habría que situar un objeto, para que la imagen final dada por los rayos que se reflejan primero en el espejo cóncavo y luego en el convexo se forme en el infinito.

III) Se sustituye el espejo convexo por uno plano, manteniendo la separación de 45 cm con el espejo cóncavo. Si el objeto se encuentra situado en la posición determinada en el apartado anterior (c), determinar:

d) La posición final dada por los rayos que se reflejan primero en el espejo cóncavo y luego en el plano.

Efectuar las construcciones geométricas en todos los apartados.

a)

posición de la imagen:

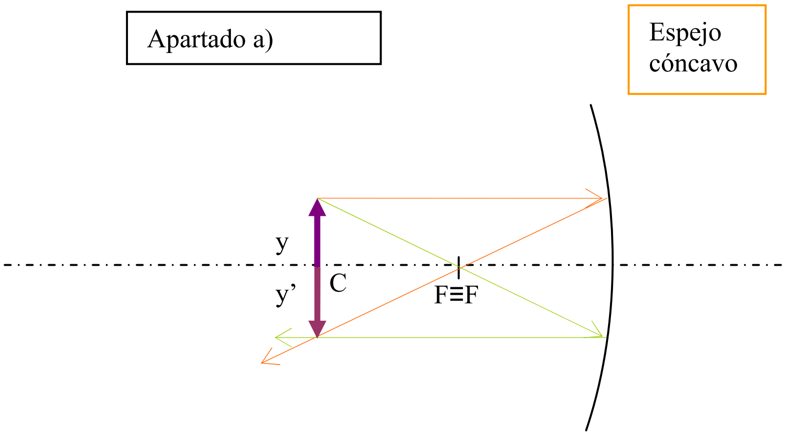
s= -30 cm, f' =-15 cm

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\Rightarrow$$

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{-30}=\frac{1}{-15}\Rightarrow s'=-30\,\text{cm}$$

tamaño:

$$\beta=-\frac{s'}{s}=-\frac{-30}{-30}=-1$$



b)

posición de la imagen:

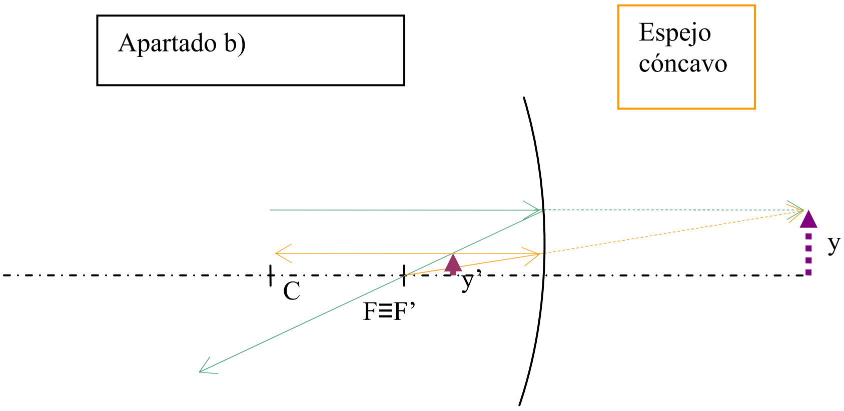
s= 30 cm, f' =-15 cm

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{1}{f'}\Rightarrow$$

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{30}=\frac{1}{-15}\Rightarrow s'=-10\,\text{cm}$$

tamaño

$$\beta=-\frac{s'}{s}=-\frac{-10}{30}=\frac{1}{3}$$



c)

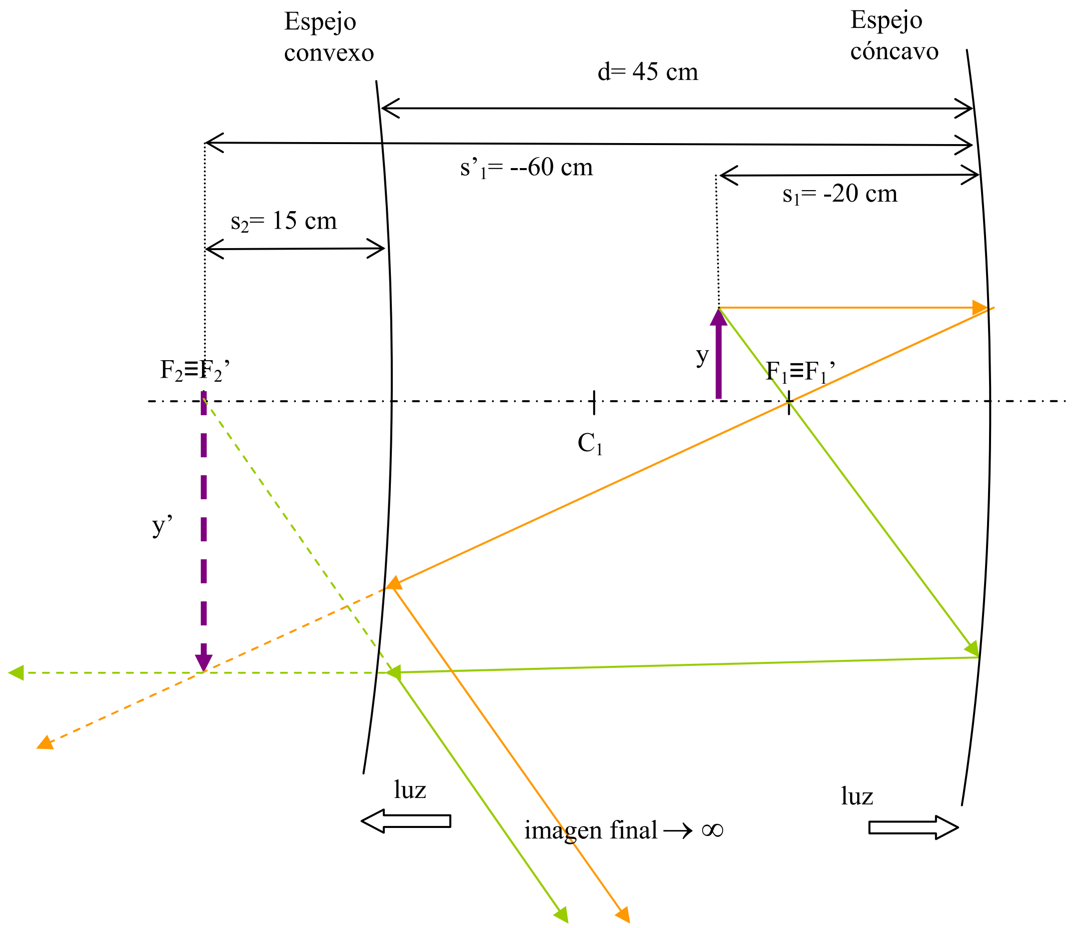
La imagen del espejo cóncavo se tiene que formar en el foco del convexo par que la imagen final se forme en el infinito.

Como la separación entre los espejos es 45 y la distancia focal del espejo convexo 15 cm, habrá que colocar el objeto de forma que su imagen se forme a s_1' =-60 cm

espejo cóncavo $\quad \frac{1}{-60}+\frac{1}{s_1}=\frac{1}{-15}\Rightarrow s_1=-20\,\text{cm}$

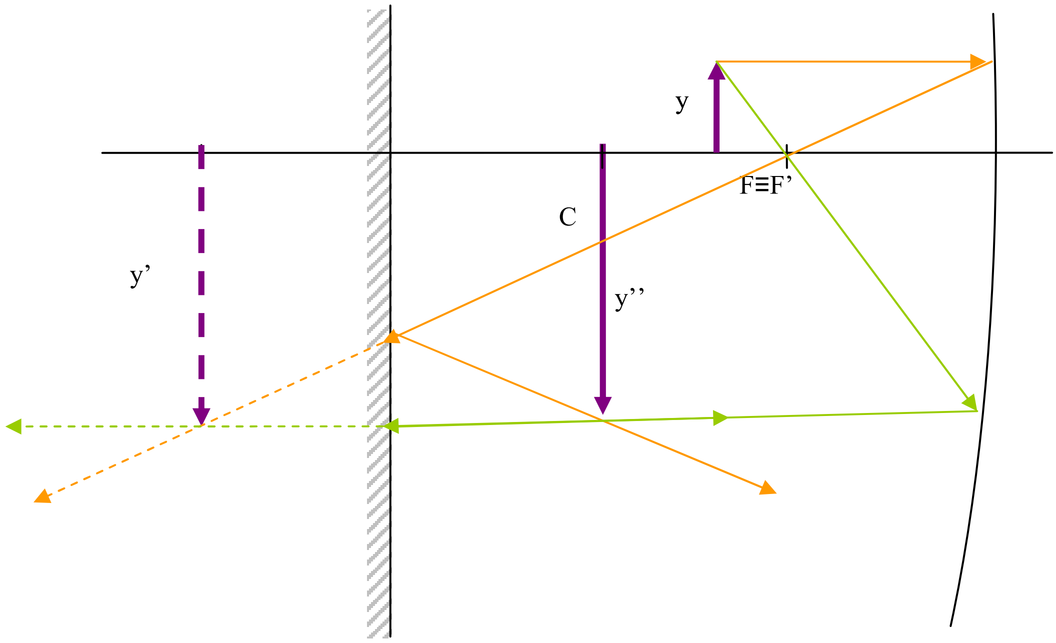
Teniendo en cuenta que la incidencia de la luz es de derecha a izquierda:

espejo convexo $\quad \frac{1}{s'_2}+\frac{1}{15}=\frac{1}{15}\Rightarrow s'_2=\infty$



d) la imagen se forma simétrica respecto al espejo plano, es decir 15 cm a la derecha de dicho espejo y que coincide con el centro de curvatura del espejo cóncavo.

Apartado d)



Problema 3

I)Una lente delgada plano-convexa L_1 (radio de curvatura de la cara convexa 12,5 cm), está construida con un vidrio de índice de refracción n=1,5.

a) Calcular el valor de la distancia focal imagen y la potencia de la lente L_1.

Sabiendo que la lente L_1 forma de un objeto real situado delante de ella, una imagen también real y de igual tamaño que el objeto, determinar:

b) Las distancias objeto e imagen.

II) Asociada a la lente L_1, se coloca yuxtapuesta otra lente delgada L_2 de 6 dioptrías de potencia. Si el objeto ocupa la posición calculada en el apartado anterior (b), determinar:

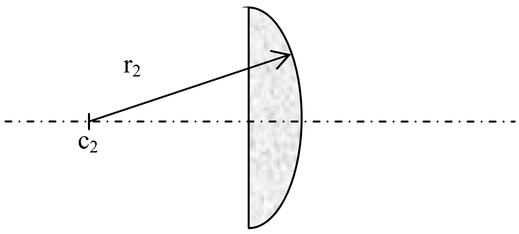
c) ¿Cuánto y hacia dónde se desplazará la imagen formada por el sistema constituido por las dos lentes yuxtapuestas?

d) El tamaño y la naturaleza de la imagen.

e) El valor de la distancia focal imagen y la potencia del sistema.

I)

a) $$\frac{1}{f'_1} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

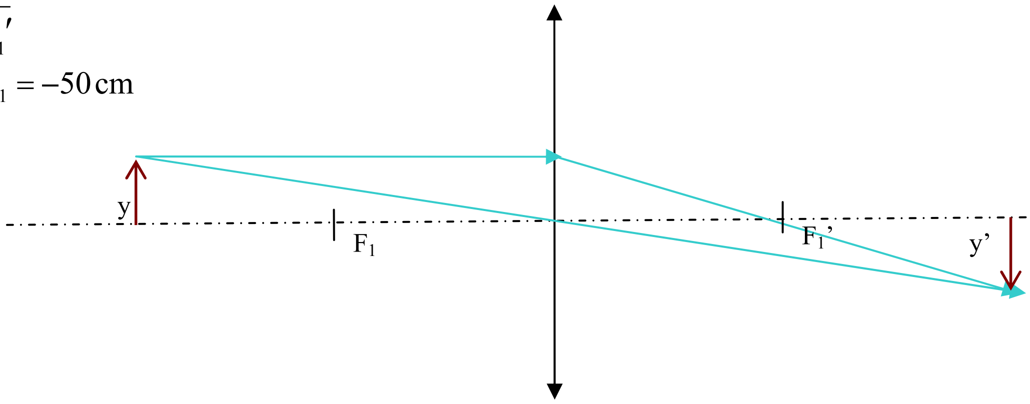


sustituyendo n=1,5; r_1=∞; r_2=-12,5 cm

f_1' = 25 cm; P = 1/0,25 = 4 dioptrías

b) $\beta_1 = \dfrac{s_1'}{s_1} = -1 \Rightarrow s_1' = -s_1$

$$\frac{1}{-s_1} - \frac{1}{s_1} = \frac{1}{f_1'}$$
$$\Rightarrow s_1' = 50\,\text{cm}, s_1 = -50\,\text{cm}$$



II)

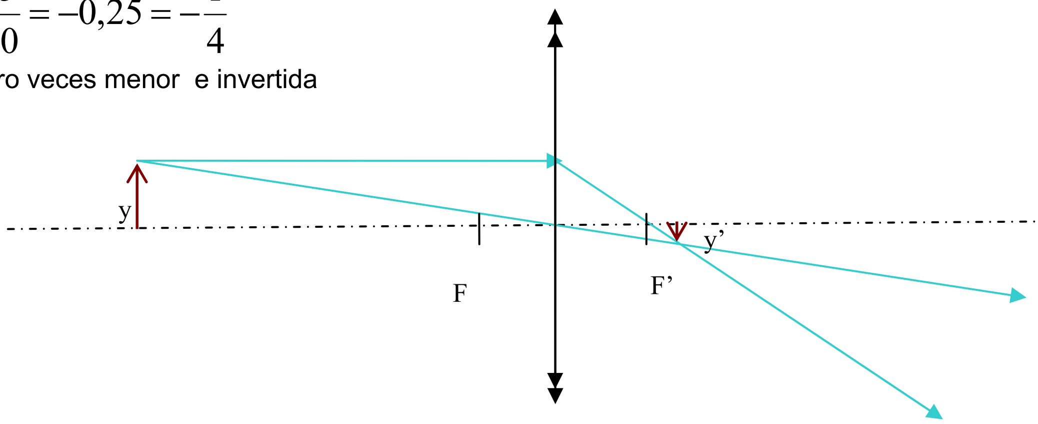
e) P=P$_1$+P$_2$= 4+6=10 dioptrías $\dfrac{1}{f_1'} + \dfrac{1}{f_2'} = \dfrac{1}{f'} \Rightarrow$ f'= 1/10 = 0,1 m= 10 cm

c) s= -50 cm, f' = 10 cm$\Rightarrow \dfrac{1}{s'} - \dfrac{1}{s} = \dfrac{1}{f'} \Rightarrow \dfrac{1}{s'} - \dfrac{1}{-50} = \dfrac{1}{10} \Rightarrow$ s'=12,5cm

se acerca a la lente 37,5 cm

d) $\beta = \dfrac{12{,}5}{-50} = -0{,}25 = -\dfrac{1}{4}$

imagen cuatro veces menor e invertida



24.12 Problemas propuestos.

Problema 1

I) Un dioptrio esférico está constituido por dos medios transparentes separados por una superficie esférica convexa de radio de curvatura |r| = 6 cm.
Los valores de los índices de refracción son: n=1,3 (medio anterior) y n' =1,7 (medio posterior). Determinar:

a) La posición, tamaño y naturaleza de la imagen formada por el sistema, de un objeto de 2 mm de altura, situado en el eje óptico 5 cm delante de la superficie del dioptrio.
b) Las posiciones del objeto y de la imagen en el caso de que el aumento lateral sea β = -2.
c) Las distancias focales del sistema.

Problema 2

Un espejo esférico forma de un objeto real situado delante de él, una imagen real de doble tamaño. Al acercar el objeto 20 cm hacia el espejo, se observa que la imagen formada es virtual y también de doble tamaño que el objeto.

Determinar:

a) Las distancias objeto e imagen correspondientes a las dos posiciones del objeto.
b) La distancia focal y el radio de curvatura del espejo.

Problema 3

Un espejo esférico tiene 12 cm de radio de curvatura. Determinar:

a) La posición en la que hay que colocar un objeto real para que el aumento lateral sea β_2 = +1/2. ¿En qué posición se forma la imagen? ¿Qué tipo de espejo es?
b) Si el espejo fuese plano ¿qué posición y qué tamaño relativo tendría la imagen si el objeto real estuviese situado 20 cm delante de la discontinuidad?

Efectuar las construcciones geométricas en ambos casos.

Problema 4

Hallar la distancia focal de las distintas lentes que pueden obtenerse combinando dos superficies esféricas cuyos radios de curvatura son, en valor absoluto, 6 cm y 12 cm respectivamente. Las superficies están talladas en vidrio de índice de refracción n = 1,6 y el medio exterior es aire.

Problema 5

Una lente delgada forma de un objeto real una imagen también real aumentada 5 veces. Al desplazar el objeto 4 cm hacia la lente la imagen que se obtiene es virtual y con el mismo aumento en valor absoluto. Calcular la potencia y la distancia focal de la lente.

Problema 6

Una lente delgada, de distancia focal $|f'| = 10cm$, forma de un objeto real una imagen real aumentada dos veces, determinar las posiciones del objeto y de la imagen.