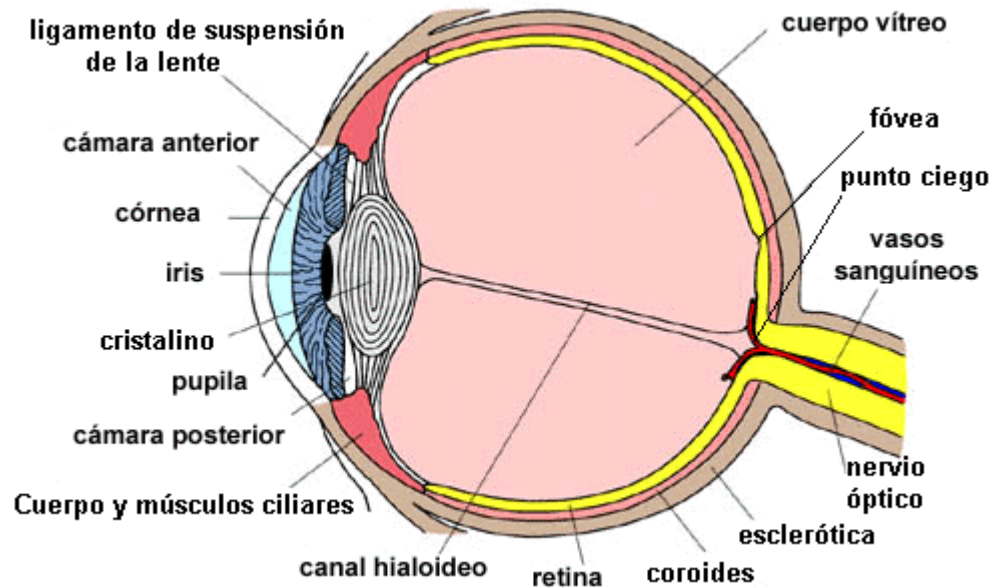


Instrumentos ópticos

Ojo Humano:

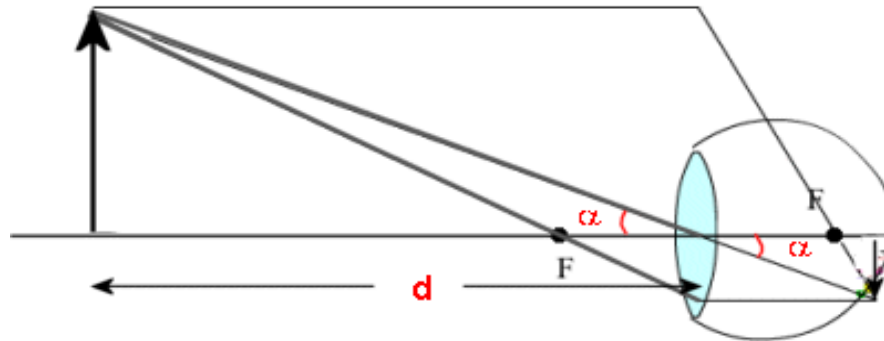
sistema óptico formado por un dióptrico esférico (córnea) y una lente (cristalino) forman la imagen del objeto en la retina.



Punto remoto: la distancia máxima a la que puede estar situado un objeto para que una persona lo distinga claramente

Punto próximo: la distancia mínima a la que puede estar situado un objeto para que una persona lo distinga claramente

Ojo normal: punto remoto en el infinito y punto próximo a 25 cm



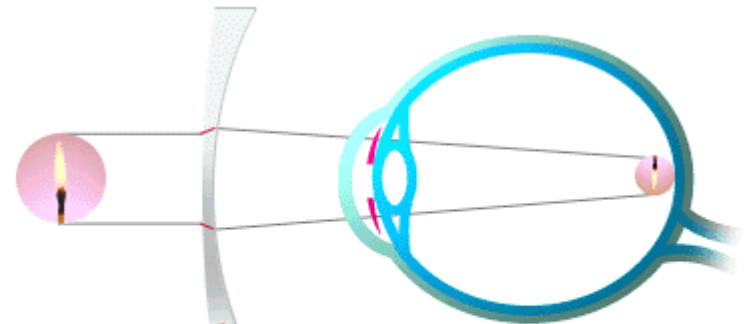
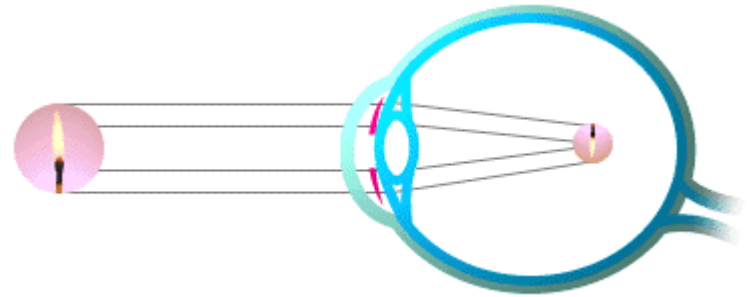
Si un objeto está localizado en el punto próximo se ve del mayor tamaño y bajo el mayor ángulo que es posible a simple vista

Defectos en la visión

Miopía

La persona miope no ve bien de lejos. Al estar el punto focal del ojo más cerca de la córnea que en un ojo normal, los objetos situados en el infinito forman la imagen delante de la retina y se ven borrosos. Empiezan a verse bien cuando están cerca (en el punto remoto).

Para corregir la miopía se necesitan lentes divergentes. **El foco de las lentes divergentes empleadas para corregir la miopía debe estar en el punto remoto para que los rayos que salen de ellas se enfoquen en la retina.**

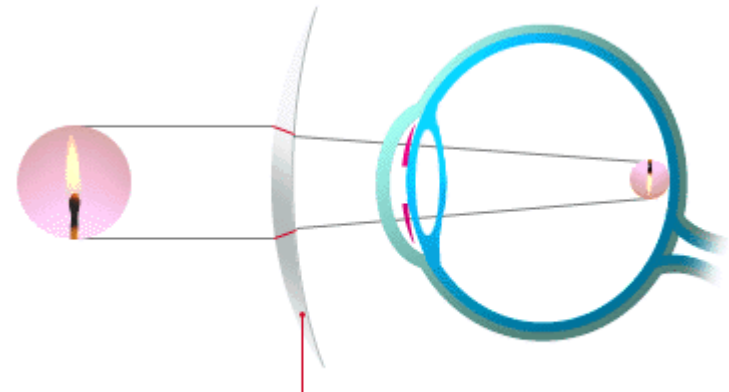
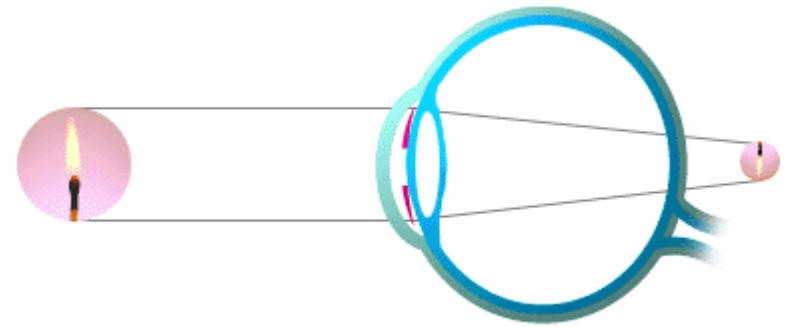


Una lente menisco divergente

Hipermetropía

El foco imagen del ojo está detrás de la retina cuando el ojo está en actitud de descanso sin empezar la acomodación. Tiene el punto próximo más lejos que el ojo normal (más de 25 cm).

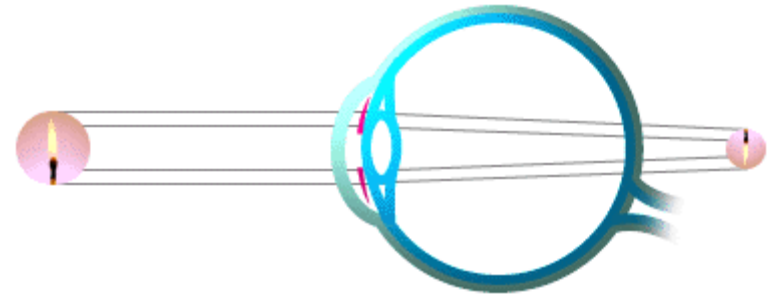
La hipermetropía se corrige con lentes convergentes. En algunos casos se corrige al crecer la persona y agrandarse el globo ocular.



Una lente menisco convergente

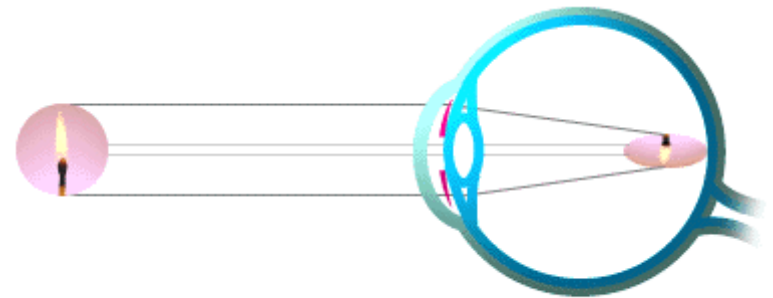
Presbicia

Con el paso de los años se reduce la capacidad de adaptación del cristalino (pierde flexibilidad) y **aumenta la distancia a la que se encuentra el punto próximo**. Se corrige con lentes convergentes.



Astigmatismo

Si el ojo tiene una córnea deformada (como si la córnea fuese esférica con una superficie cilíndrica superpuesta) los objetos puntuales dan como imágenes líneas cortas. Se corrige con una lente cilíndrica compensadora.

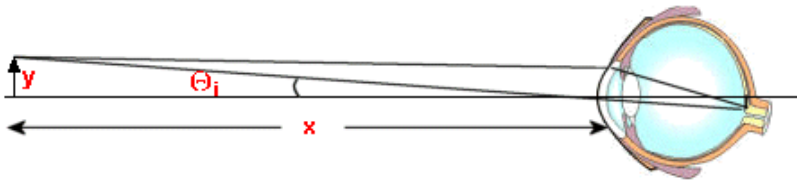


Cataratas

Al envejecer el cristalino puede volverse opaco y no permitir el paso de la luz. Se corrige extirpando el cristalino e instalando en su lugar una lente plástica intraocular que hace su funciones y que no necesita ser sustituida en el resto de la vida.

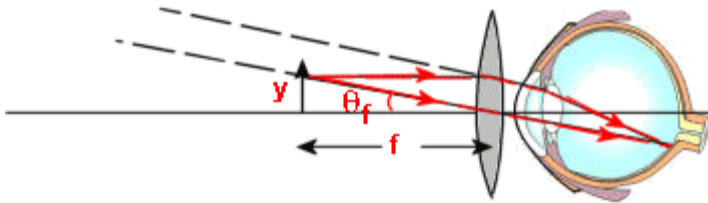
Lupa o microscopio simple

Una lupa es una lente convergente, el máximo aumento en el tamaño del objeto se produce cuando el objeto se sitúa en el foco. Los rayos que atraviesan la lente salen paralelos al que pasa por el centro óptico, la imagen se forma en el infinito pero el sistema óptico del ojo normal, sin esfuerzo de acomodación, concentra en la retina esos rayos que parecen venir del infinito.



$$\operatorname{tg} \theta_i = \theta_i = \frac{y}{x}$$

Máximo ángulo para $x=25\text{cm}$



$$\operatorname{tg} \theta_f = \theta_f = \frac{y}{f}$$

Amplificación angular: cociente entre los ángulos

$$M = \frac{\theta_f}{\theta_i} = \frac{x}{f}$$

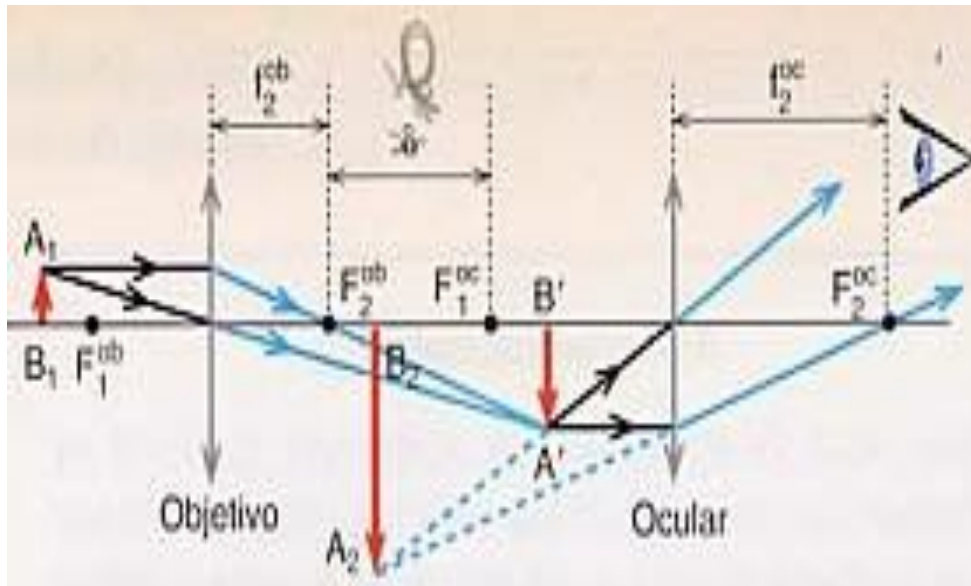
Microscopio compuesto

El microscopio se utiliza para examinar objetos muy pequeños situados a muy corta distancia de la lente objetivo.

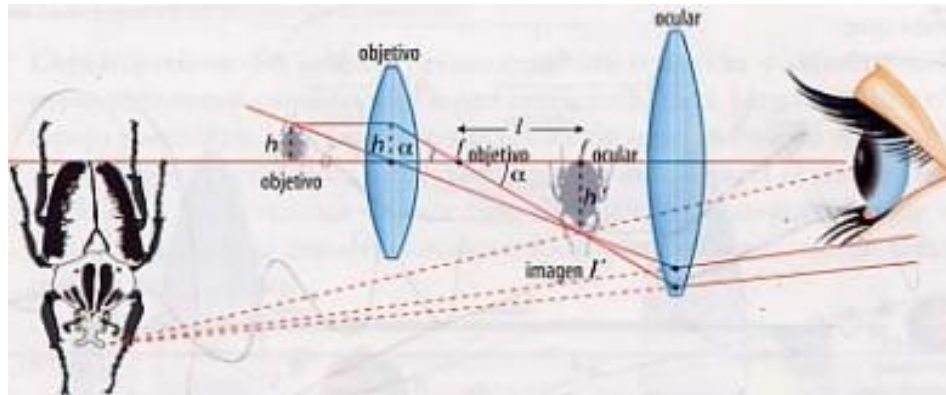
Está formado por dos lentes convergentes:

lente objetivo, situada muy cerca del objeto.

lente ocular, al otro extremo del tubo, está situada más cerca del ojo y hace la función de lupa sobre la imagen que produce la lente objetivo.



La lente objetivo produce una imagen mayor, real e invertida, y la lente ocular, actuando sobre ella, la hace más grande pero la deja invertida y virtual.



Aumento lateral del objetivo

$$M = \frac{h'}{h} \text{ como } \alpha \approx -\frac{h'}{l} \approx -\frac{h}{f_{\text{objetivo}}}$$

$$\text{entonces } \frac{h'}{h} = -\frac{l}{f_{\text{objetivo}}}$$

Aumento angular del ocular

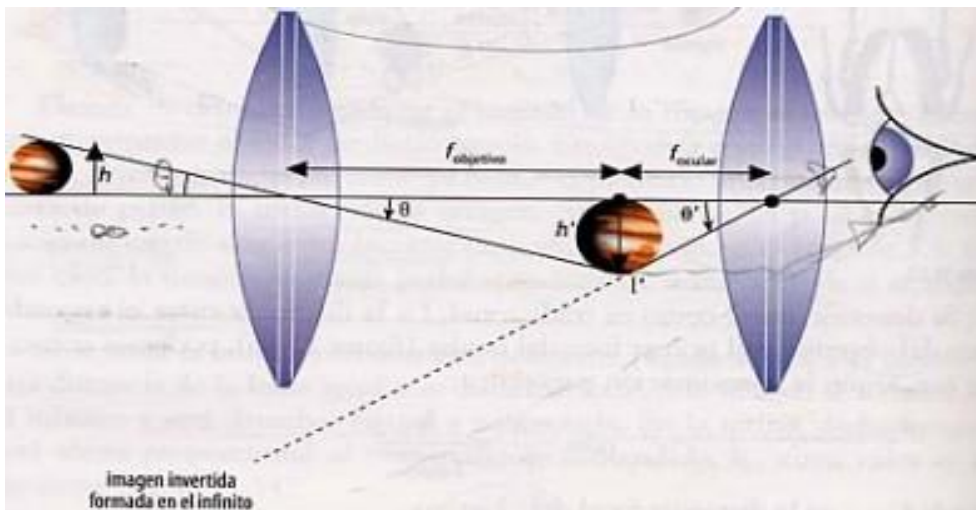
$$M_{oc} = \frac{0.25}{f_{\text{ocular}}}$$

Aumento total

$$M_{\text{total}} = \frac{l}{f_{\text{objetivo}}} \frac{0.25}{f_{\text{ocular}}}$$

Telescopio

Se utiliza para observar objetos lejanos más grandes de lo que podemos verlos a simple vista, pero se ven invertidos. Está compuesto de dos lentes convergentes y tiene como finalidad obtener una imagen del objeto más próxima al ojo que el objeto, de modo que al verla bajo un ángulo mayor, nos parezca mayor.



$$\theta = -\frac{h'}{f_{\text{objetivo}}} \text{ y } \theta' = \frac{h'}{f_{\text{ocular}}}$$
$$\text{entonces } M = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{f_{\text{objetivo}}}{f_{\text{ocular}}}$$

El signo menos indica que la imagen es invertida

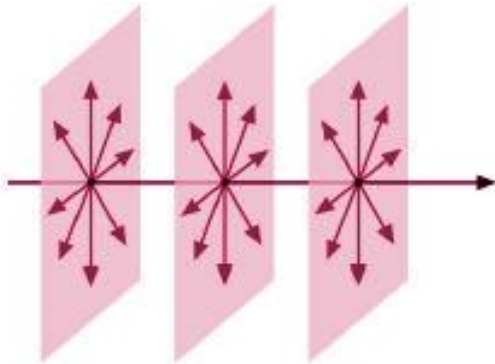
Óptica física: se ocupa de la interacción de luz consigo misma y con la materia.

Aplicaciones: polarización, interferencia, difracción,, y dispersión de la luz.

Polarización

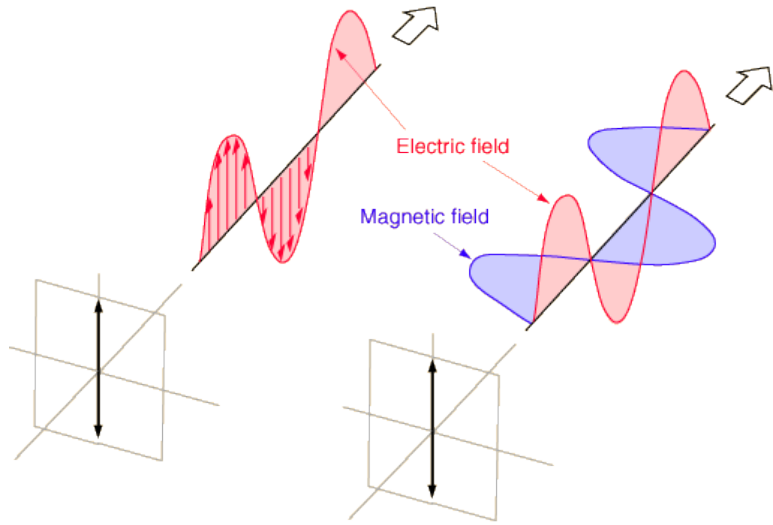
En las **ondas mecánicas**, se llama vector **polarización** al que define el desplazamiento instantáneo de las partículas del medio sometidas a la oscilación ondulatoria. Este vector puede apuntar, en principio, en cualquier dirección para cada partícula.

En las ondas electromagnéticas, la propagación de la onda no se acompaña de la vibración de las partículas del medio. Una onda electromagnética está formada por la propagación de un campo eléctrico y otro magnético que varían con el tiempo en planos mutuamente perpendiculares y normales también a la dirección de propagación. Por convenio, se toma uno cualquiera de los vectores de ambos campos como vector polarización; normalmente se elige el campo eléctrico.

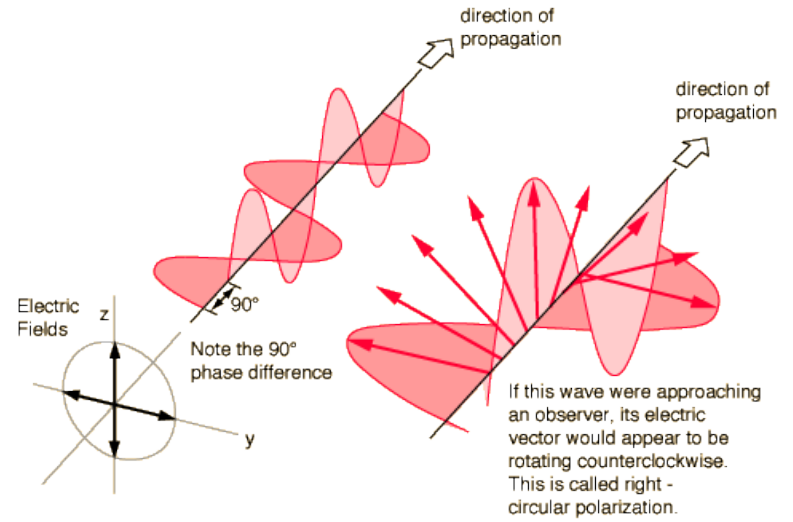


En las ondas electromagnéticas comunes (luz natural) que no están polarizadas el vector polarización no tiene una dirección específica, y el vector campo eléctrico varía su dirección en forma aleatoria en un plano perpendicular a la dirección de propagación.

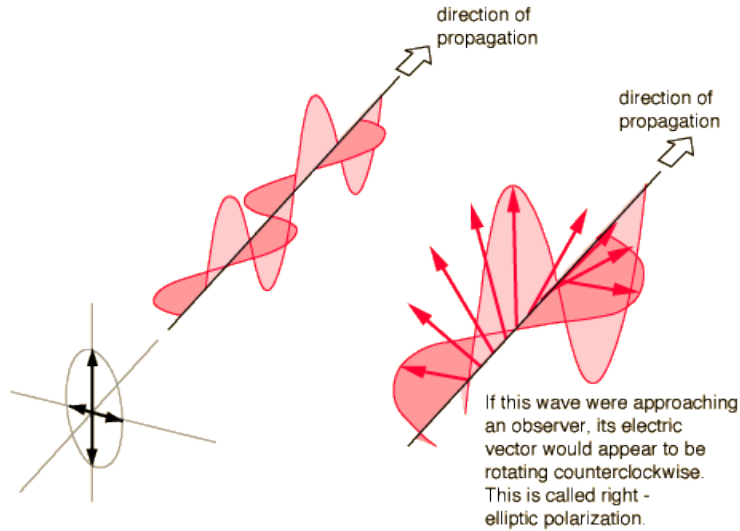
Polarización Lineal



Polarización circular



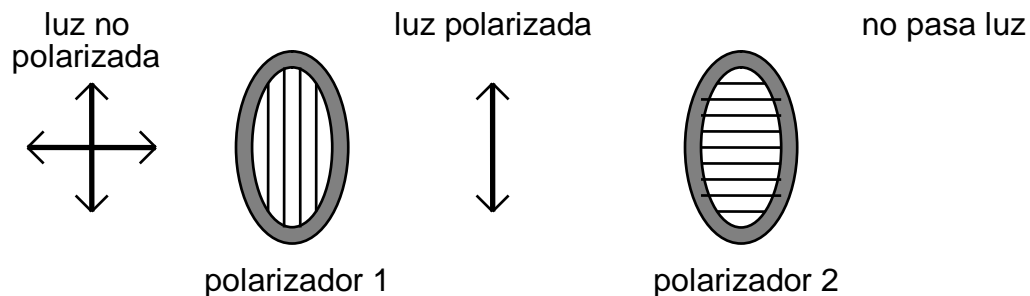
Polarización elíptica



Es posible obtener ondas polarizadas interponiendo en la trayectoria del haz electromagnético un elemento **polarizador**.

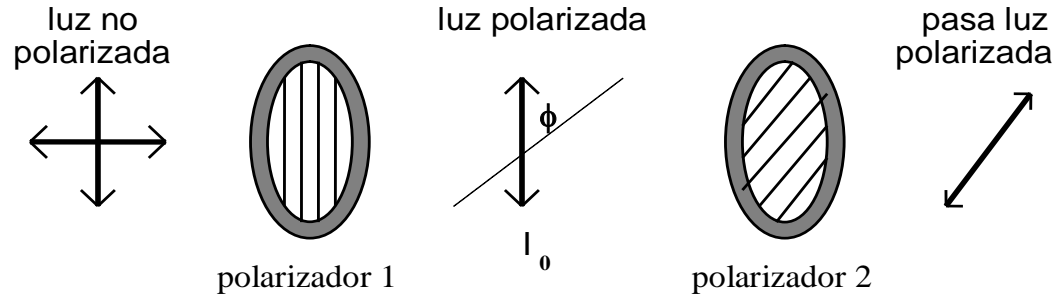
Polarización por absorción.

Los polarizadores más habituales están constituidos por largas cadenas de hidrocarburos que se distinguen porque transmiten la luz de forma que, a la salida de las mismas, queda polarizada en la dirección perpendicular a estas cadenas. La componente del **campo eléctrico** paralela a las cadenas de hidrocarburos induce en ellas **corrientes eléctricas** que provocan la absorción de la energía de esta componente. Como resultado, en la salida sólo se conserva la parte de la energía de la componente perpendicular de dicho campo eléctrico. La dirección perpendicular a las cadenas se llama eje de transmisión.



Polarizadores orientados con sus ejes a 90°

Polarizadores orientados con sus ejes formando un ángulo ϕ



E_0 campo polarizado inicialmente

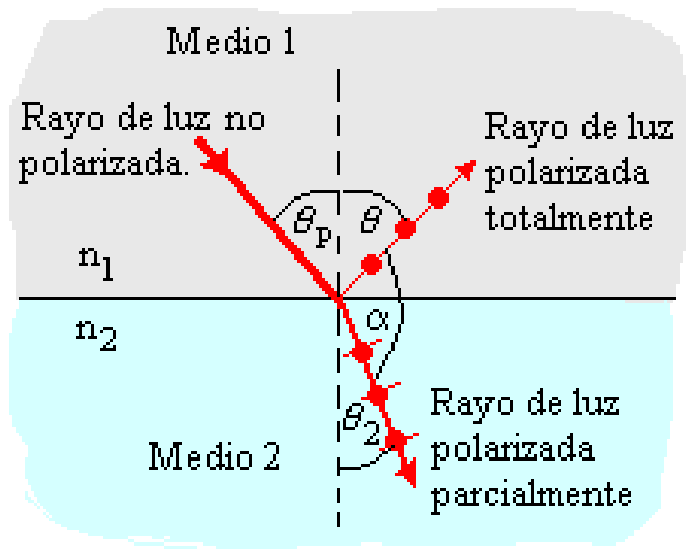
$$E = E_0 \cos \phi$$

La intensidad de la luz transmitida

$$I = I_0 \cos^2 \phi$$

Ley de Malus

Polarización por reflexión



En los casos en que el rayo reflejado y el refractado tengan direcciones perpendiculares entre sí, la luz reflejada se polariza en su totalidad en la dirección perpendicular al plano de incidencia. Teniendo en cuenta la ley de Snell se obtiene que:

$$n_1 \sen \theta_p = n_2 \sen \left(\frac{\pi}{2} - \theta_p \right)$$

De lo que se deduce la **Ley de Brewster**

$$\operatorname{tg} \theta_p = \frac{n_2}{n_1}$$

Interferencia

Debido a la naturaleza ondulatoria de la luz es posible observar que dos haces de luz generan interferencia entre si, la cual ocurre cuando en un mismo punto coinciden dos o mas ondas, siendo su suma constructiva o destructiva. Para observar estas interferencias luminosas es necesario que las ondas individuales mantengan una relación de fase estable, es decir, que las fuentes tengan la misma frecuencia y que sus haces sean casi paralelos. Cuando esta situación predomina se dice que las fuentes son **coherentes**.

Interferencia de ondas coherentes

$$E_1 = E_0 \text{sen}(\omega t)$$

$$E_2 = E_0 \text{sen}(\omega t + \delta)$$

$$E = E_1 + E_2 = E_0 \text{sen}(\omega t) + E_0 \text{sen}(\omega t + \delta)$$

como

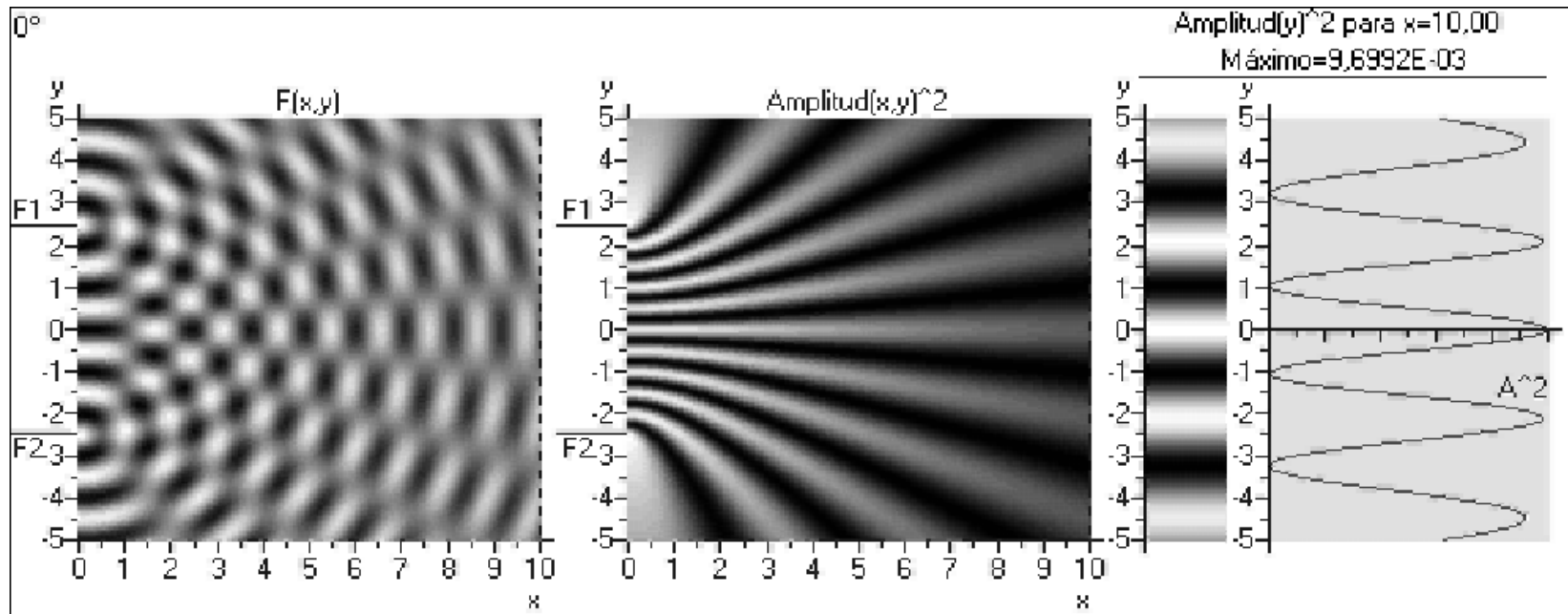
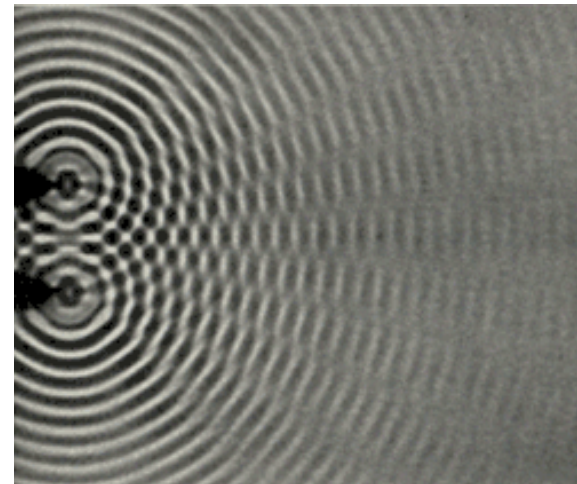
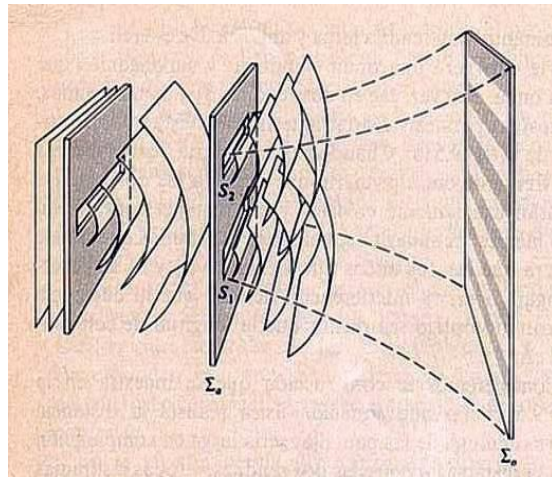
$$\text{sen} \alpha + \text{sen} \beta = 2 \text{sen} \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$E = 2E_0 \cos \frac{\delta}{2} \text{sen}(\omega t + \frac{\delta}{2})$$

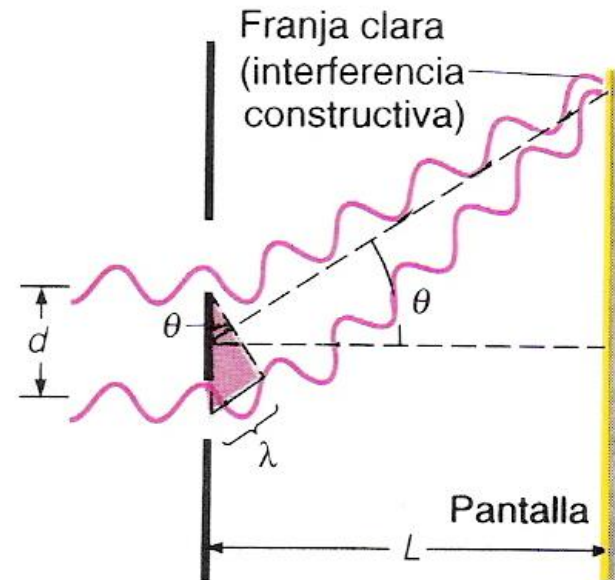
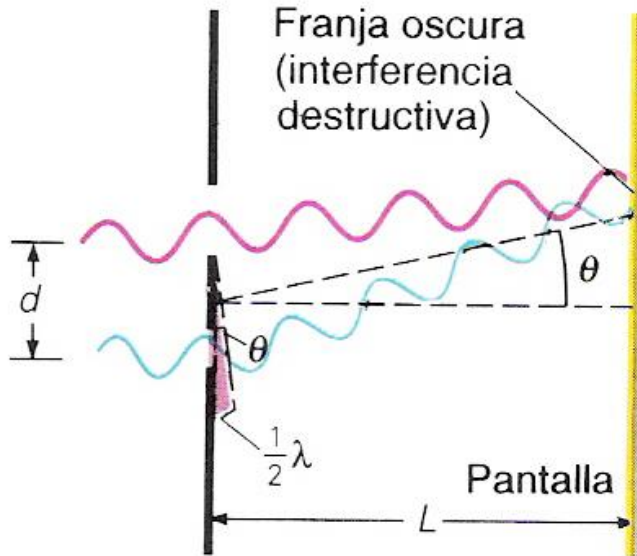
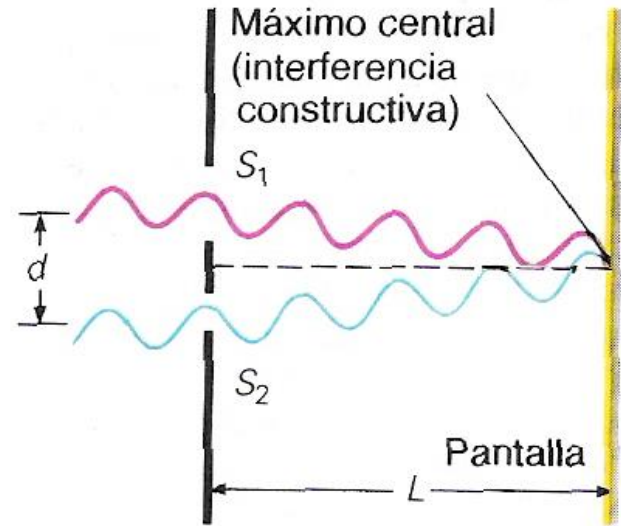
Interferencia constructiva $\delta = 0, 2\pi, \dots, 2m\pi$

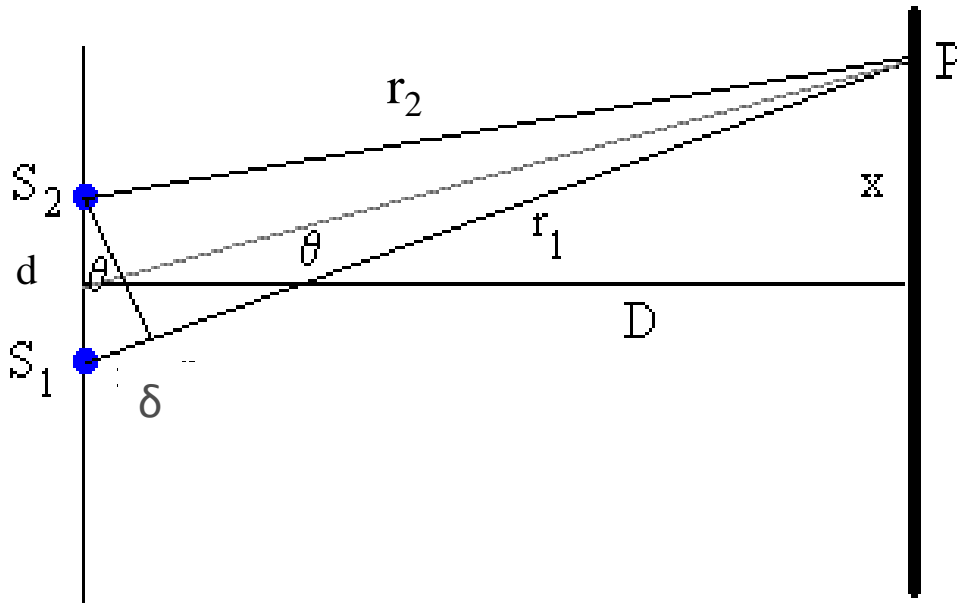
Interferencia destructiva $\delta = \pi, 3\pi, \dots, (2m + 1)\pi$

Experimento de Young: luz coherente incidiendo sobre dos rendijas, se observa la interferencia sobre una pantalla lejana



Dependiendo de la relación de fase que guarden entre sí las radiaciones provenientes de ambas fuentes al alcanzar un punto de la pantalla, la interferencia podrá ser constructiva, destructiva o intermedia.





D : distancia a la pantalla;
 d : separación entre rendijas;
 a : ancho de rendija
 $D \gg a$

Diferencia de camino entre las dos ondas

$$\Delta r = r_1 - r_2 = d \sin \theta' = d \sin \theta$$

Diferencia de fase entre las dos ondas

$$\delta = k \Delta r = k d \sin \theta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

Interferencia constructiva

$$\delta = 2m\pi$$

$$d \sin \theta = m\lambda, m = 0, 1, 2, \dots$$

Interferencia destructiva

$$\delta = (2m + 1)\pi$$

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, m = 0, 1, 2, \dots$$

Posiciones de los máximos sobre la pantalla

$$\operatorname{tg} \theta \approx \operatorname{sen} \theta = \frac{y_m}{D}$$

$$d \operatorname{sen} \theta = d \frac{y_m}{D}$$

$$y_m = \frac{m \lambda D}{d}$$

separadas

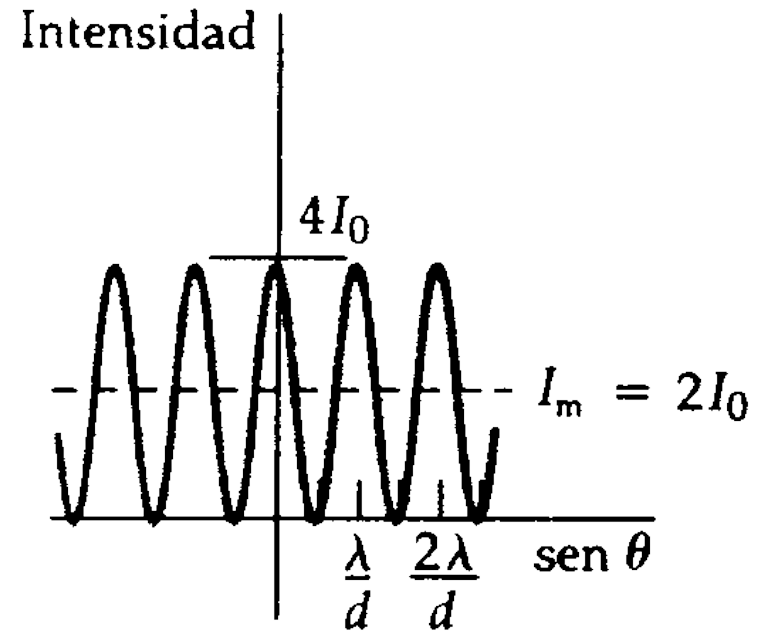
$$\Delta y = \frac{\lambda D}{d}$$

Intensidad sobre la pantalla

$$I = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\delta}{2} \right)$$

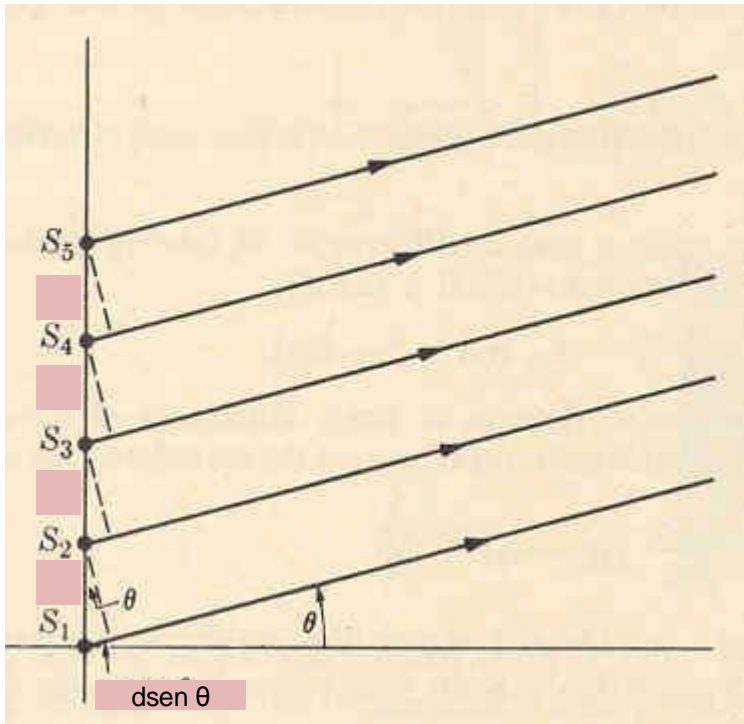


(a)



(b)

Interferencia por múltiples rendijas



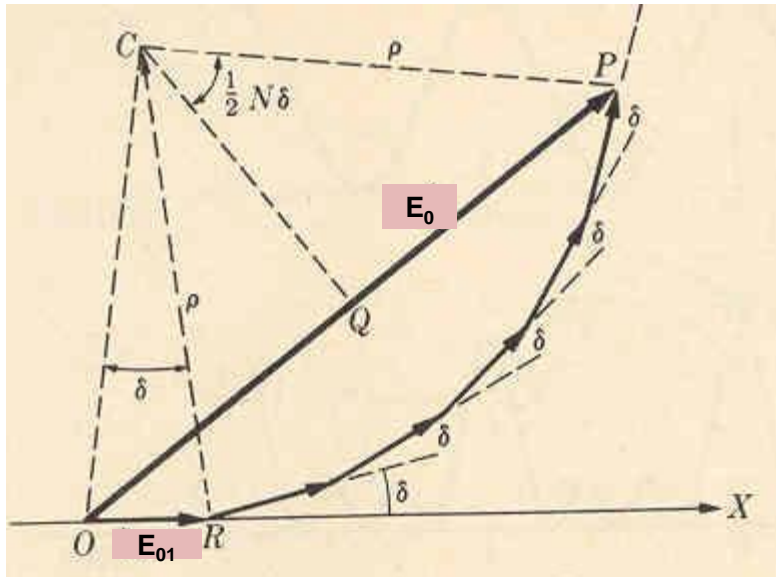
d : separación entre rendijas

Entre rayos sucesivos hay un desfase constante

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

Para obtener la amplitud resultante en la dirección de observación, dada por el ángulo θ , en el punto P de la pantalla debemos evaluar la suma de las ondas

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots = E_{01} \sin(\omega t) + E_{01} \sin(\omega t + \delta) + E_{01} \sin(\omega t + 2\delta) + \dots$$



$$E_0 = OP = 2QP = 2\rho \text{sen} \frac{N\delta}{2}$$

$$E_{01} = 2\rho \text{sen} \frac{\delta}{2}$$

Combinando las ecuaciones

$$E_0 = E_{01} \frac{\text{sen} \frac{N\delta}{2}}{\text{sen} \frac{\delta}{2}}$$

Para $N=2$ $E_0 = 2E_{01} \cos \frac{\delta}{2}$

Intensidad resultante

$$I = I_0 \left(\frac{\text{sen} \frac{N\delta}{2}}{\text{sen} \frac{\delta}{2}} \right)^2 = I_0 \left(\frac{\text{sen} \frac{N\pi d \text{sen} \theta}{\lambda}}{\text{sen} \frac{\pi d \text{sen} \theta}{\lambda}} \right)^2$$

Se obtiene un máximo de intensidad cuando

$$\begin{aligned}\delta &= 2m\pi \\ d\text{sen}\theta &= m\lambda\end{aligned}\quad (1)$$

Recordando que

$$\frac{\text{sen}N\alpha}{\text{sen}\alpha} = \pm N \text{ para } \alpha = m\pi$$

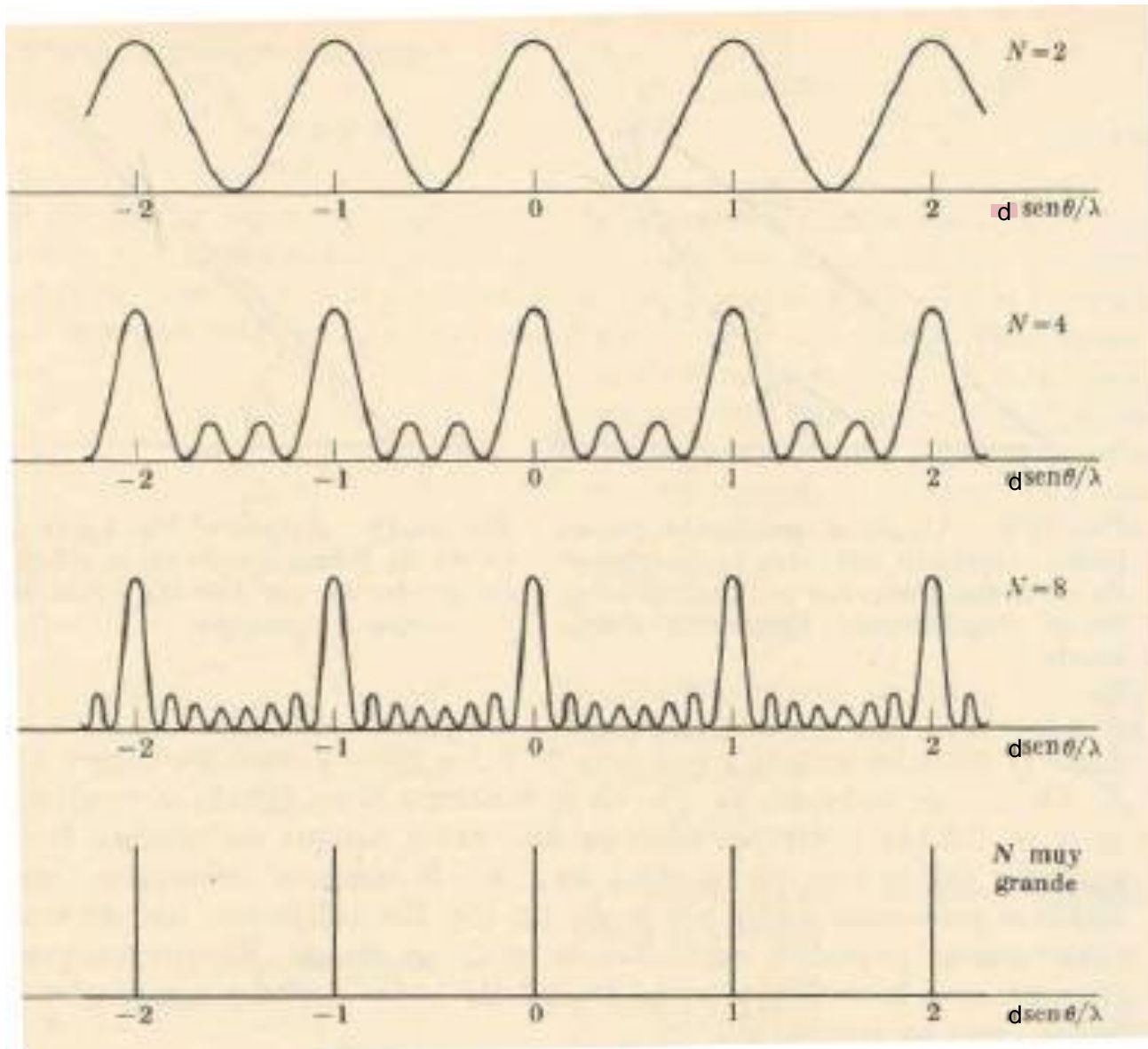
$$I = N^2 I_0$$

Se obtiene un mínimo de intensidad $I=0$ cuando

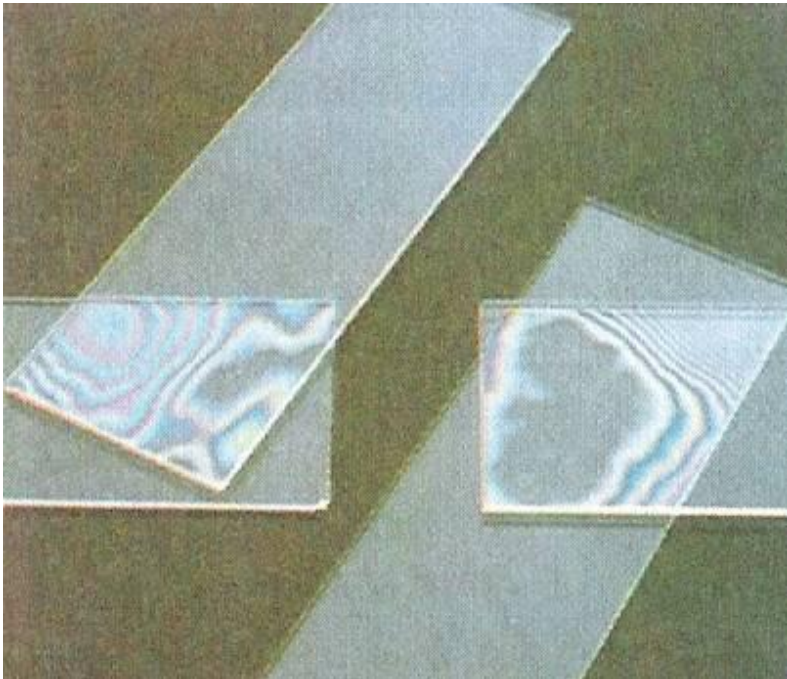
$$\begin{aligned}\frac{1}{2} N\delta &= m\pi \\ d\text{sen}\theta &= \frac{m\lambda}{N}\end{aligned}\quad (2)$$

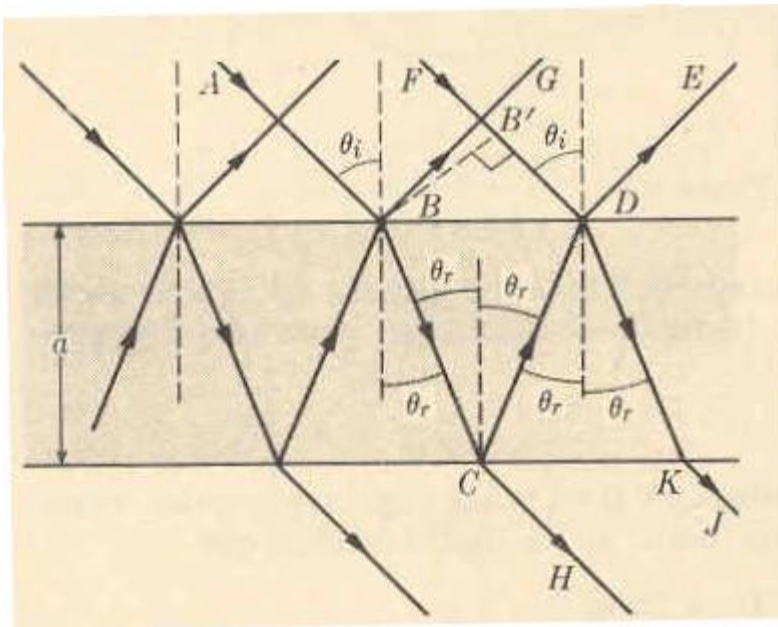
donde $m= 1, \dots, N-1, N+1, \dots, 2N-1$, etc

$m=0, N, 2N, \dots$ se excluyen, ya que de lo contrario la ecuación (1) se convierte en la (2)



La interferencia es también la responsable de la formación de franjas y colores en las “películas delgadas”





Si una onda pasa de un medio con menor índice de refracción a otro con mayor índice de refracción (n) experimenta un desfase de π .

El desfase entre el rayo AB y el FD es

$$\delta = \frac{4\pi a}{\lambda} n \cos \theta_r + \pi$$

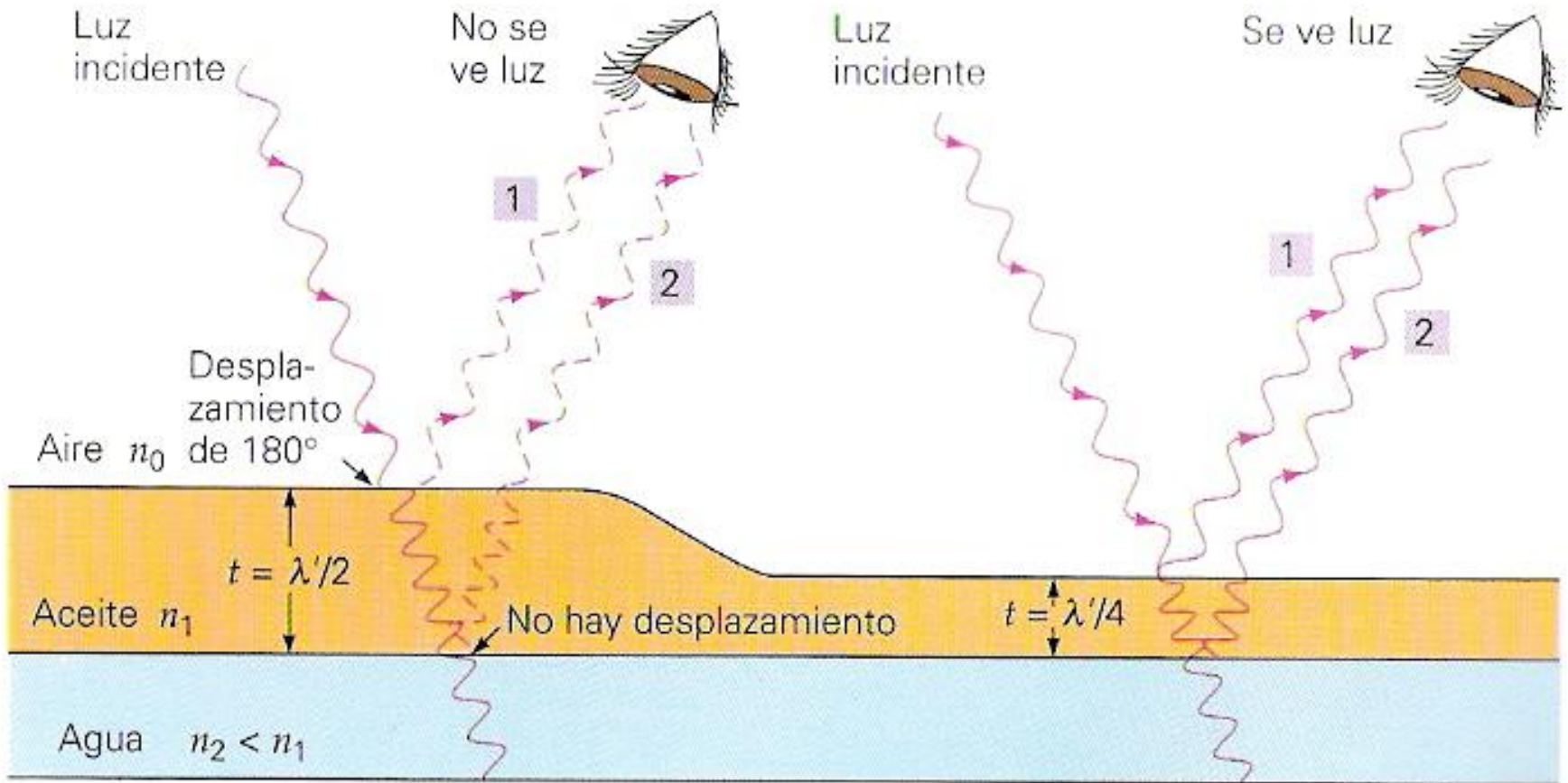
Interferencia constructiva

$$2an \cos \theta_r = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

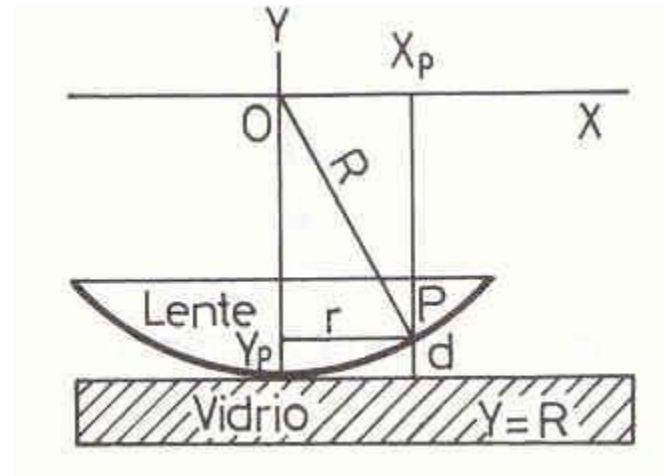
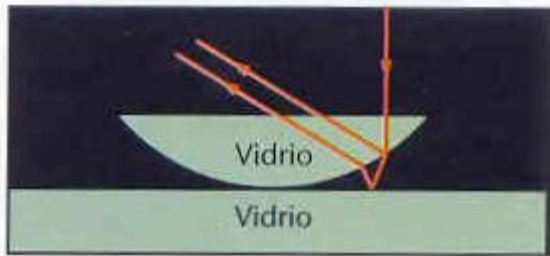
Interferencia destructiva

$$2an \cos \theta_r = m\lambda$$

Interferencia en capas o películas delgadas



Anillos de Newton



$$d = \frac{r^2}{2R}$$

Para una franja brillante $r^2 = (2m - 1)R \frac{\lambda}{2}$

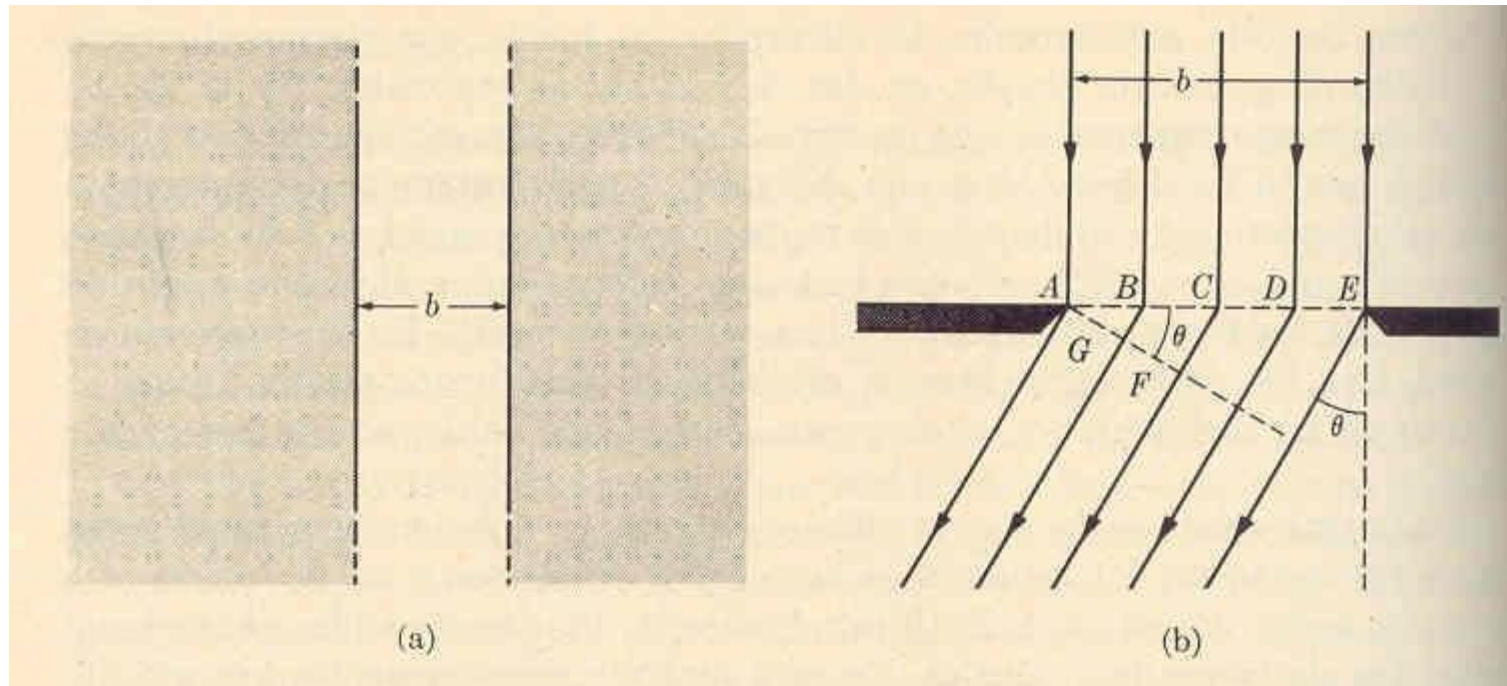
Para una franja oscura

$$r^2 = mR\lambda$$

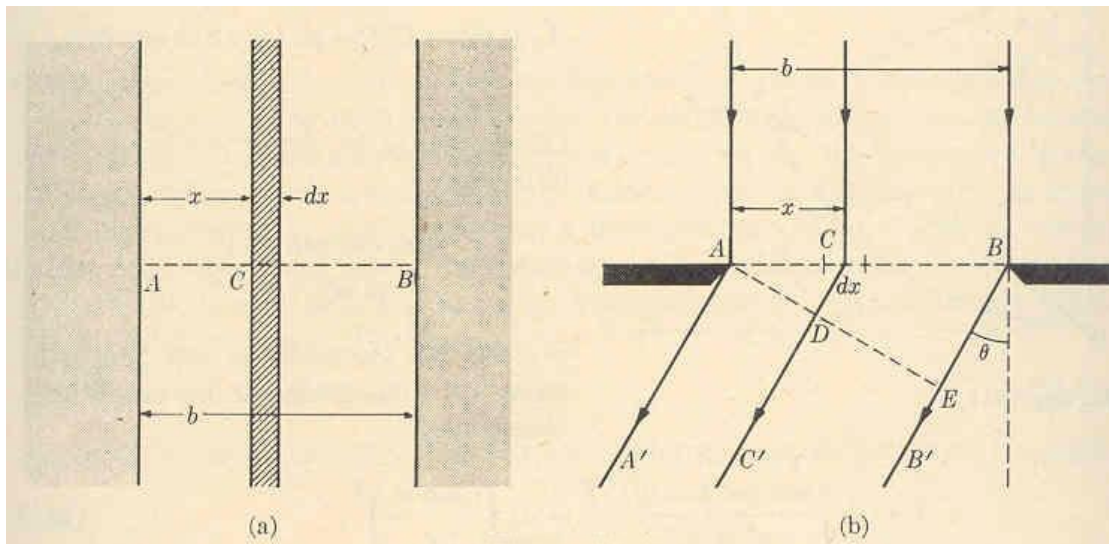
Difracción

La difracción se observa cuando se distorsiona una onda por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda de aquella.

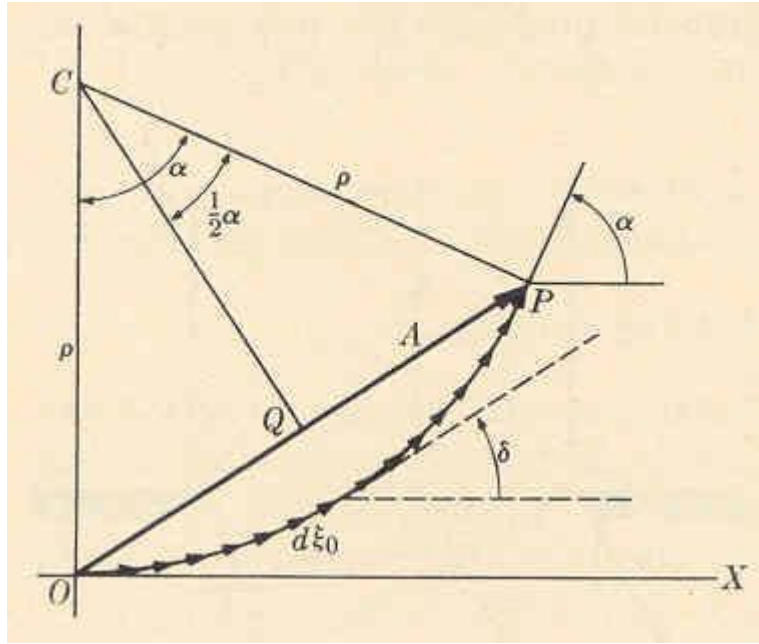
Difracción de Fraunhofer por una rendija rectangular



Para calcular la intensidad sobre la pantalla dividimos la rendija en bandas estrechas de ancho dx , cada banda es una fuente secundaria
El desfase entre dos rayos provenientes de dos fuentes separadas x estará dado por:



$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta$$



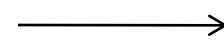
Para obtener la amplitud correspondiente en el ángulo θ , hacemos la representación de la figura. El ángulo de desfase δ aumenta proporcionalmente a x ,

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta$$

$$A = 2QP = 2\rho \sin \frac{1}{2}\alpha = 2\rho \sin \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right)$$

Para observación normal $A_0 = \rho\alpha = \rho \left(\frac{2\pi a \sin \theta}{\lambda} \right)$

entonces $A = A_0 \left[\frac{\sin \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}} \right]$

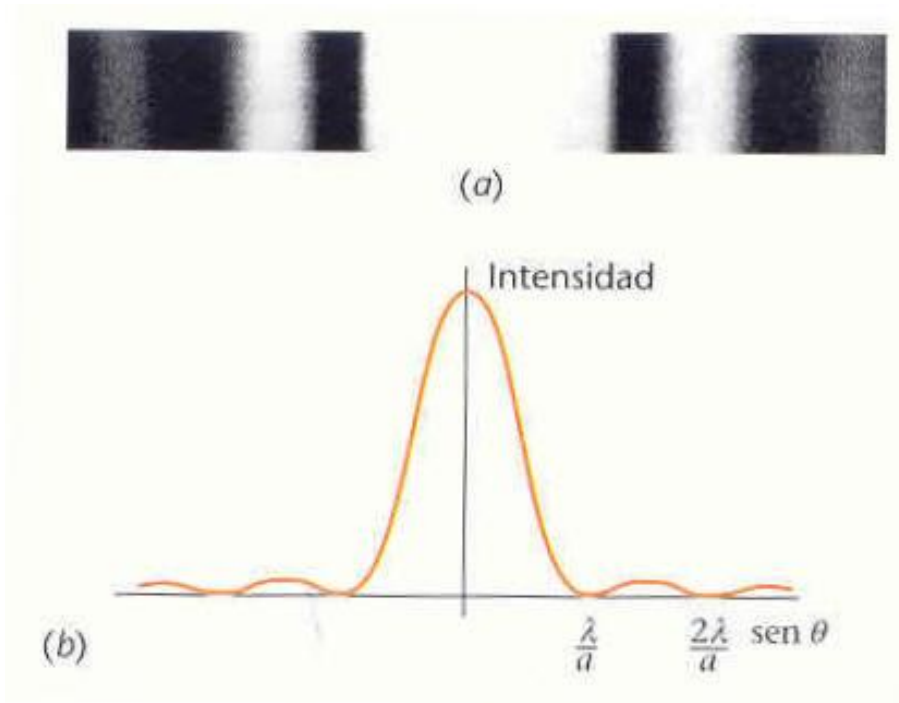


$$I = I_0 \left[\frac{\sin \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right)}{\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}} \right]^2$$

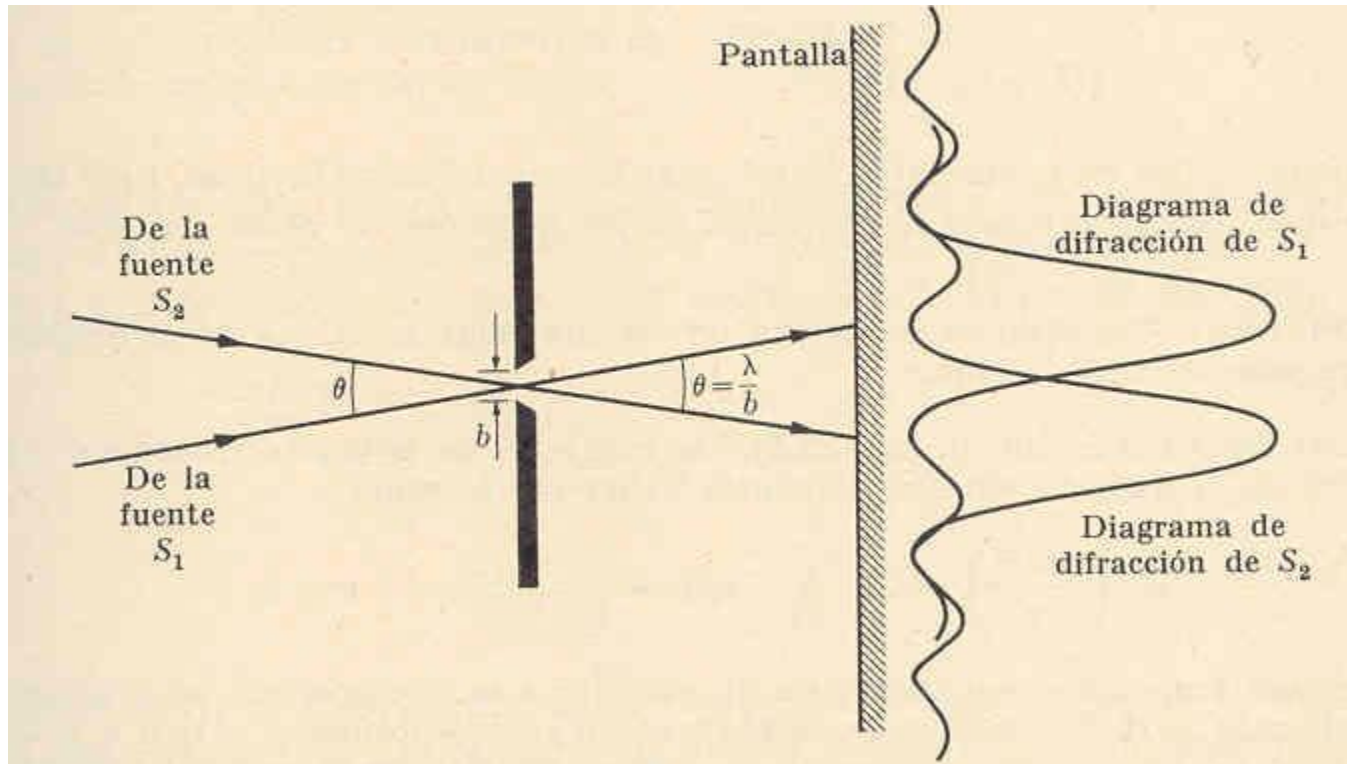
Al observar el patrón de difracción sobre una pantalla

Las direcciones de intensidad nula están dadas por

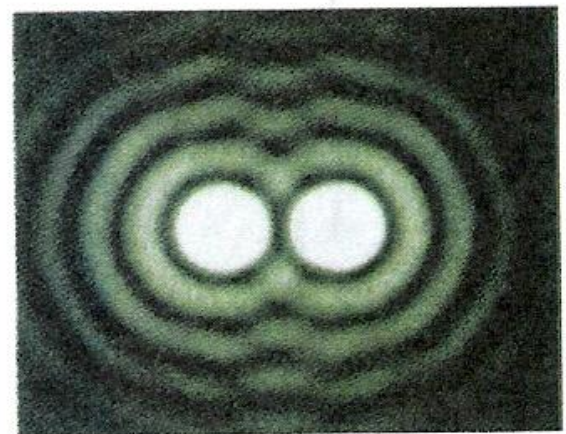
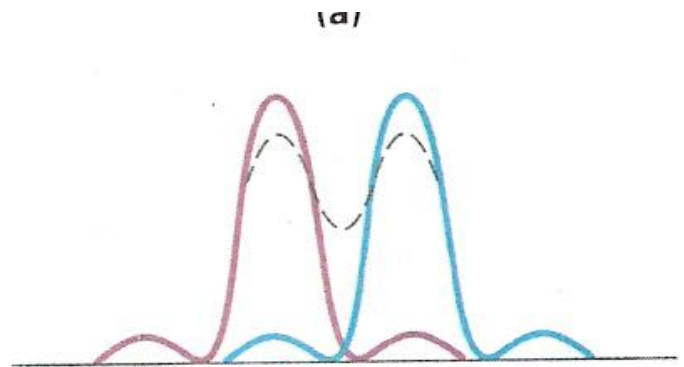
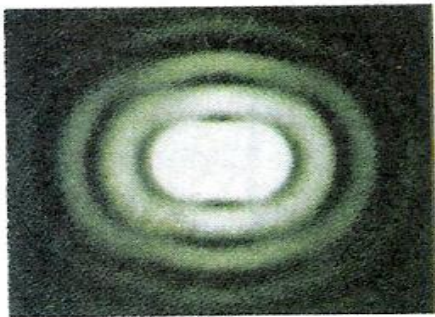
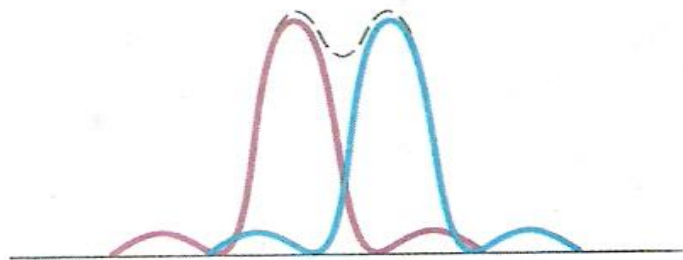
$$a \operatorname{sen} \theta = m \lambda$$



Poder de resolución de una rendija rectangular según el criterio de Rayleigh; dos objetos con una separación angular θ son distinguibles a partir de que el primer cero del diagrama de difracción de uno caiga sobre el máximo central del otro.

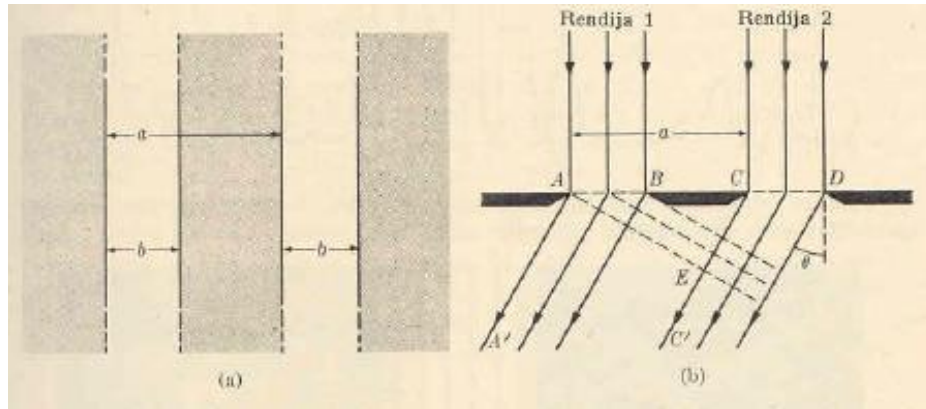


$$\theta \approx \text{sen} \theta = 1.22 \frac{\lambda}{2R} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

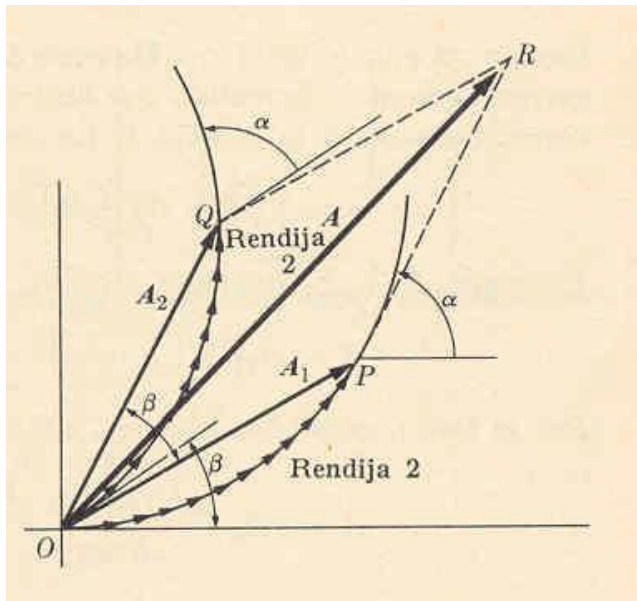


(b)

Difracción de Fraunhofer por dos rendijas paralelas



Para la dirección correspondiente al ángulo θ , ahora hay dos conjuntos de ondas difractadas provenientes de cada rendija, es decir una combinación de difracción e interferencia.



$$A_1 = A_0 \left[\frac{\text{sen}\left(\frac{\pi b \text{sen}\theta}{\lambda}\right)}{\frac{\pi b \text{sen}\theta}{\lambda}} \right]$$

entre los rayos correspondientes de las rendijas 1 y 2 hay una diferencia de fase constante dada por

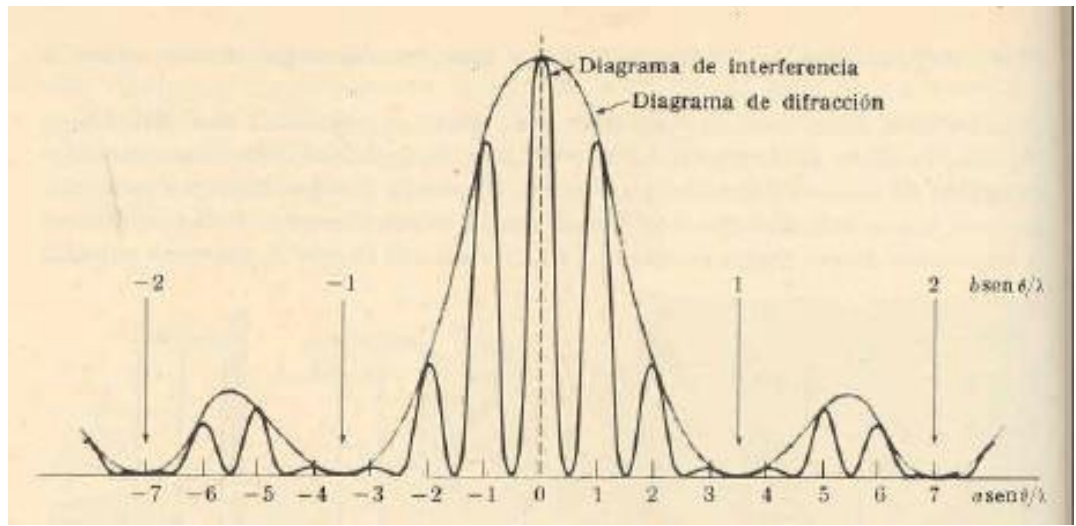
$$\beta = \frac{2\pi a \text{sen}\theta}{\lambda}$$

Amplitud

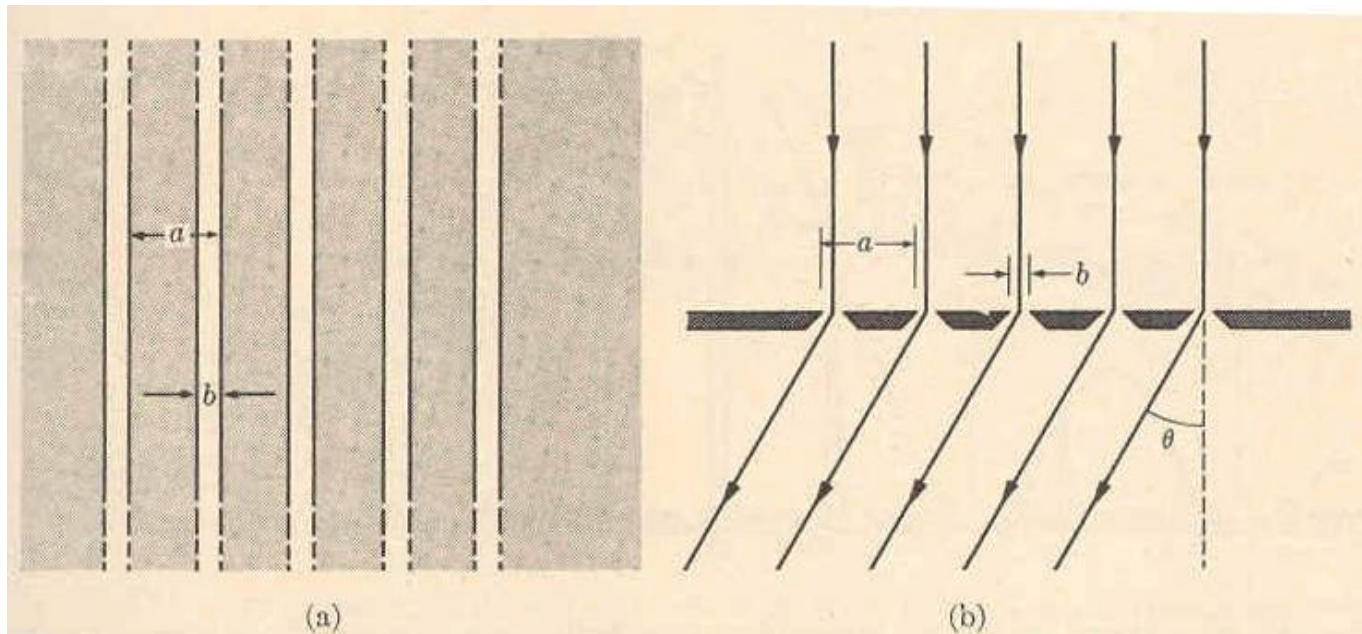
$$A = 2A_0 \left[\frac{\text{sen}\left(\frac{\pi b \text{sen}\theta}{\lambda}\right)}{\frac{\pi b \text{sen}\theta}{\lambda}} \right] \left[\cos\left(\frac{\pi a \text{sen}\theta}{\lambda}\right) \right]$$

Intensidad

$$I = 4I_0 \left[\frac{\text{sen}\left(\frac{\pi b \text{sen}\theta}{\lambda}\right)}{\frac{\pi b \text{sen}\theta}{\lambda}} \right]^2 \left[\cos\left(\frac{\pi a \text{sen}\theta}{\lambda}\right) \right]^2$$



Redes de difracción



N rendijas de ancho **b** separadas una distancia **a**

$$I = I_0 \left[\frac{\text{sen}\left(\frac{\pi b \text{sen}\theta}{\lambda}\right)}{\frac{\pi b \text{sen}\theta}{\lambda}} \right]^2 \left[\frac{\text{sen}\left(\frac{N\pi a \text{sen}\theta}{\lambda}\right)}{\text{sen}\left(\frac{\pi a \text{sen}\theta}{\lambda}\right)} \right]^2$$

Si N es muy grande, el diagrama consistirá en una serie de franjas brillantes angostas correspondientes a los máximos principales del diagrama de interferencia dados por

$$\text{sen } \theta = \frac{m\lambda}{a} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad \text{Poder de resolución} \quad R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$$

Diagrama correspondiente a 8 rendijas

