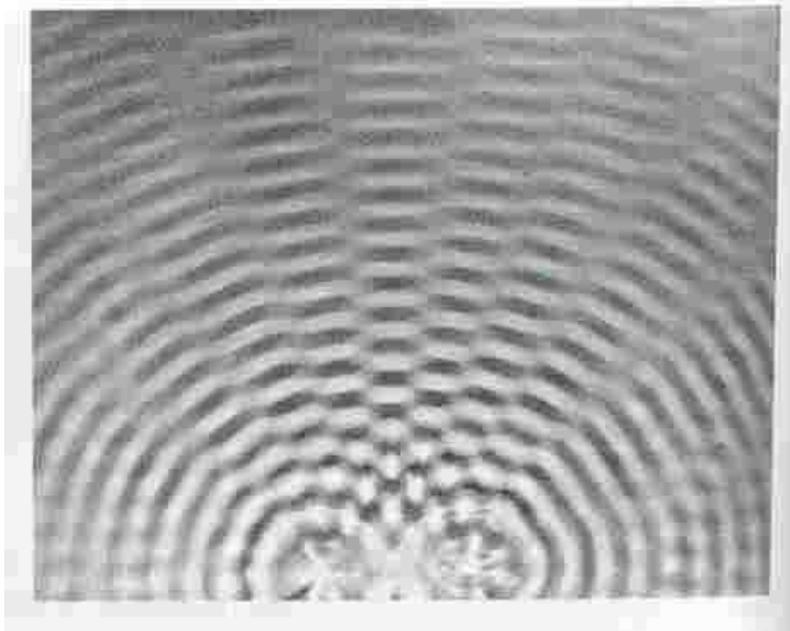


Física II- Curso de Verano 2021

Clase 8

Interferencia

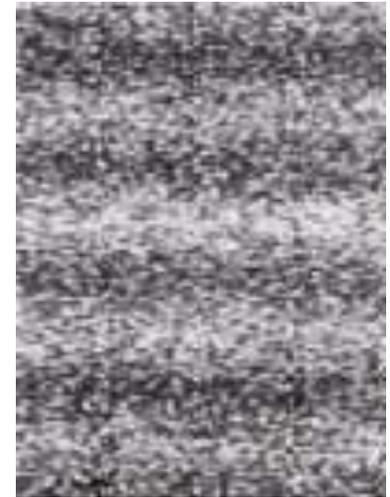
Interferencia es un fenómeno característico del movimiento ondulatorio



agua



luz



electrones

¿De qué depende este patrón observado?

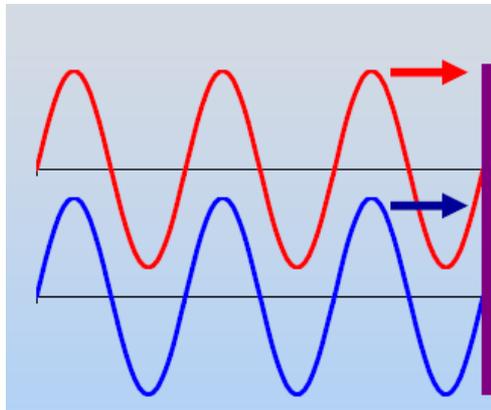
Depende de

- la longitud de onda
- la distancia entre las fuentes
- la distancia entre fuente y punto de observación

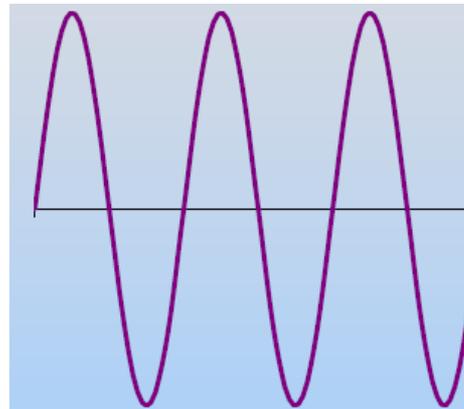
Luz es una onda electromagnética

Ondas se superponen: vale el principio de superposición

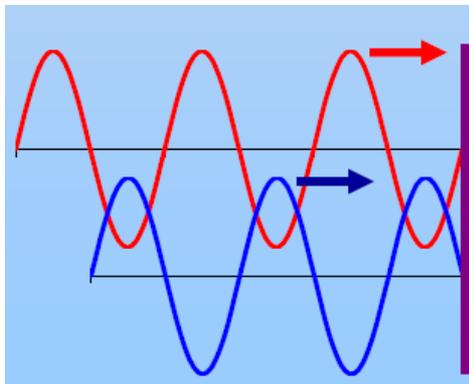
$$A(x,t) = A_1(x,t) + A_2(x,t) + \dots + A_n(x,t) = \sum_{i=1}^n A_i(x,t)$$



en
fase



**Interferencia
constructiva**

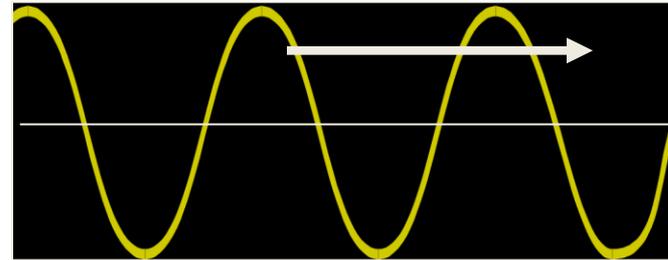
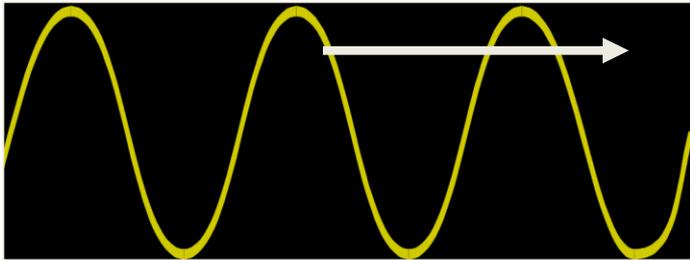


desfasadas
en π



**Interferencia
destructiva**

Consideremos, ondas armónicas, que se mueven en igual dirección, con igual frecuencia ω , longitud de onda λ y amplitud A_0 , desfasadas en δ .



$$A(x, t) = A_1 + A_2 = A_0 \text{sen}(kx - \omega t) + A_0 \text{sen}(kx - \omega t + \delta)$$

$$\Rightarrow A(x, t) = 2A_0 \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \text{sen}\left(kx - \omega t + \frac{\delta}{2}\right)$$



Amplitud



Onda viajera desfasada en $\delta/2$ en relación a las ondas originales

Caso de Ondas Electromagnéticas:

Coinciden en el mismo punto del espacio, dos ondas una con campo eléctrico E_1 y otra con E_2

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

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

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

como

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

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

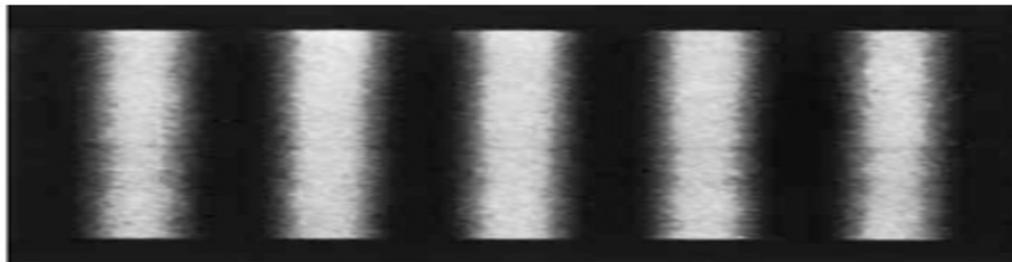
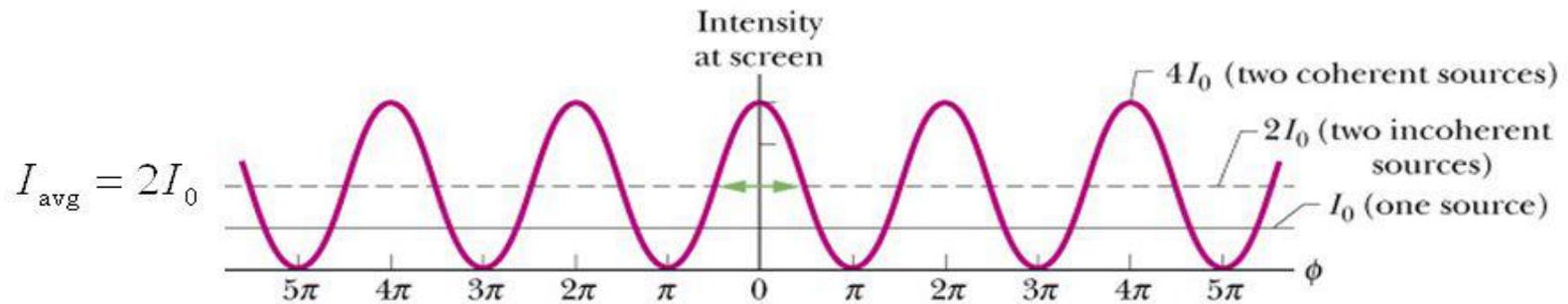
$$\text{Interferencia constructiva} \quad \delta = 0, 2\pi, \dots, 2m\pi$$

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

Intensidad $\langle \mathbf{S} \rangle$: $I = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\delta}{2}\right)$

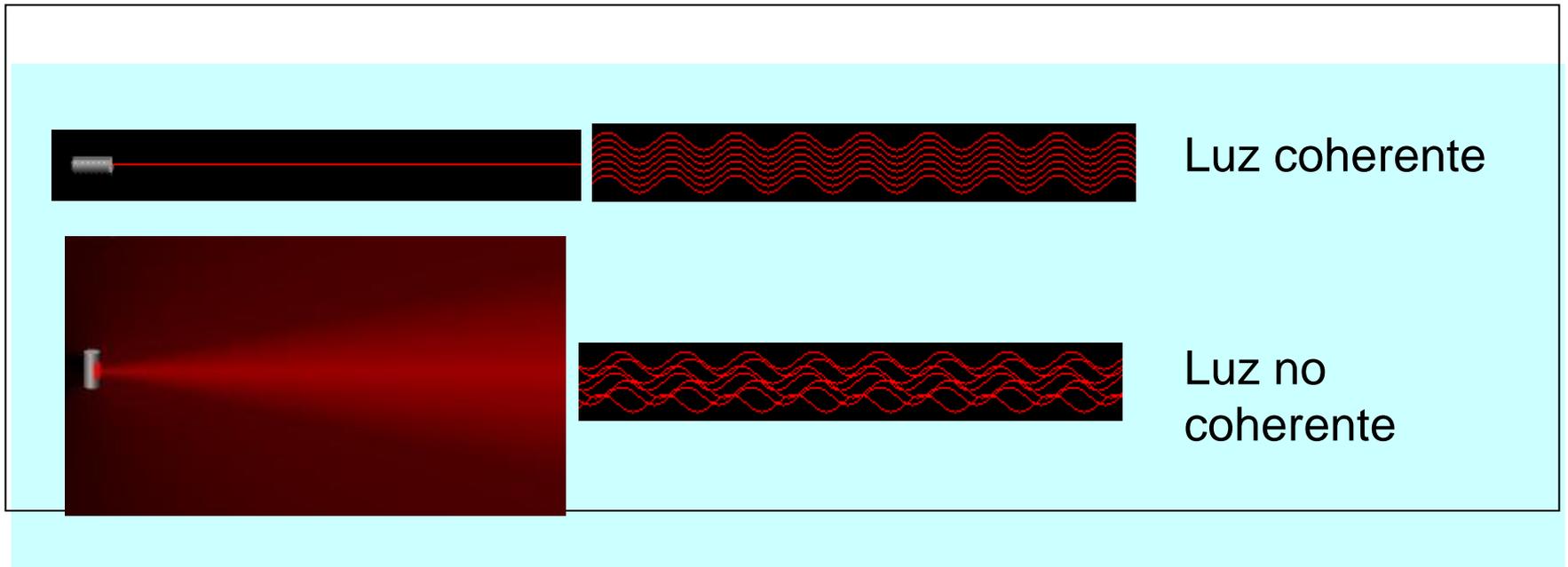
Interferencia constructiva $\delta = 0, 2\pi, \dots, 2m\pi$ Intensidad máxima (luz)

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



Para producir interferencia

- Las fuentes de onda deben ser coherentes (producir ondas con diferencia de fase constante).

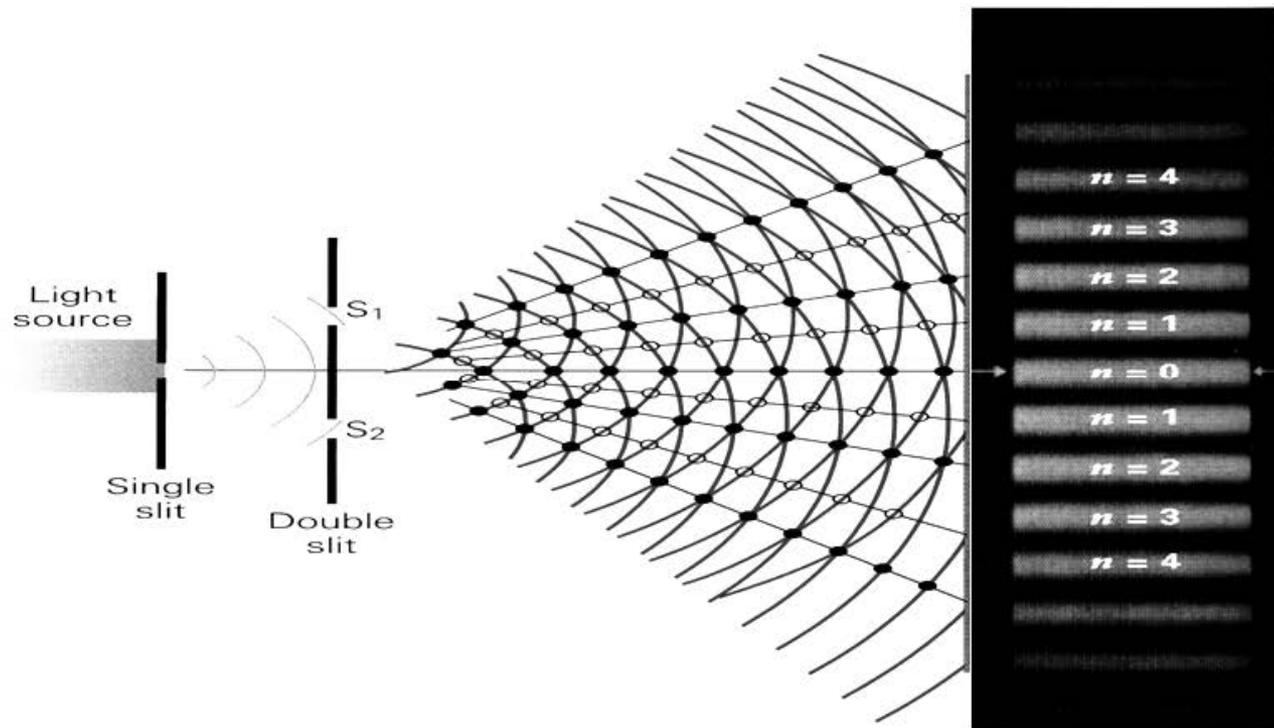


Dos fuentes monocromáticas se dicen coherentes cuando emiten luz con la misma frecuencia y longitud de onda. Deben tener una relación de fase definida y constante.

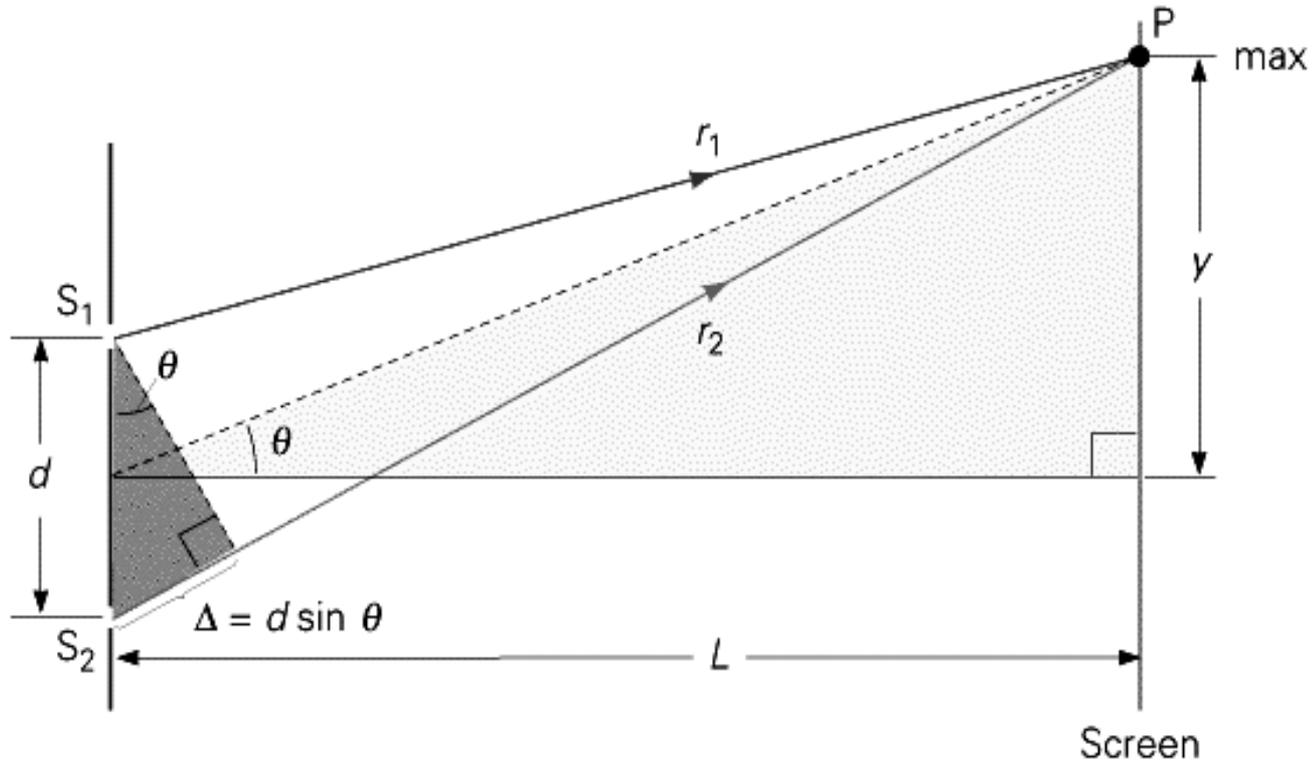
LASER

Interferencia de la Luz

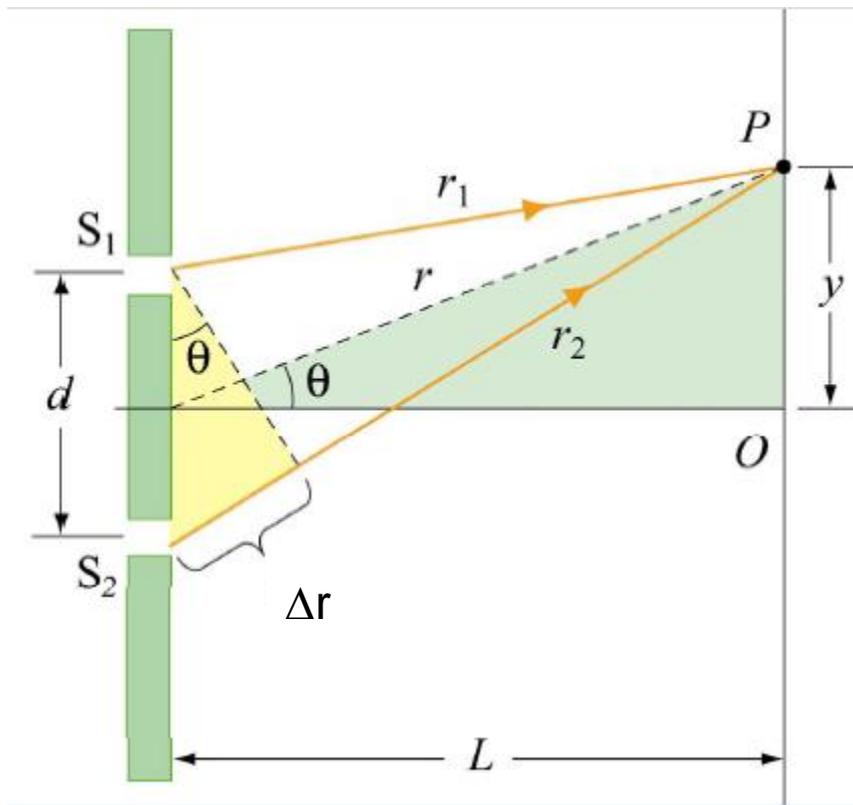
1800 Thomas Young, experimento de interferencia, dedujo que la luz es un fenómeno ondulatorio! Observó la imagen que producía la luz al pasar primero a través de una rendija y luego a través de otras dos rendijas muy cercanas entre sí, una paralela a la otra.



Interferencia de la Luz, experimento de Young:



Δ es la diferencia de caminos ópticos entre los rayos procedentes de las dos fuentes lo cual causa un desfase entre las ondas.



DIFERENCIA DE CAMINOS (DC)

$$\Delta r = d \operatorname{sen} \theta$$

**DIFERENCIA DE FASE
(producida por esta DC)**

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

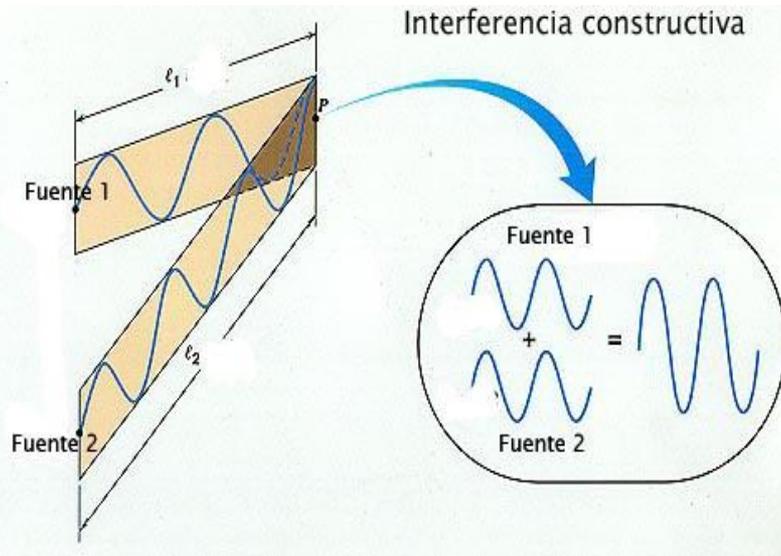
Interferencias de dos fuentes

- **Constructivas**

$$\cos \delta = 1 \Rightarrow E_0 = E_{01} + E_{02}$$

$$\delta = 2m\pi \Rightarrow \Delta r = m\lambda$$

- Se refuerza el la intensidad de la onda.

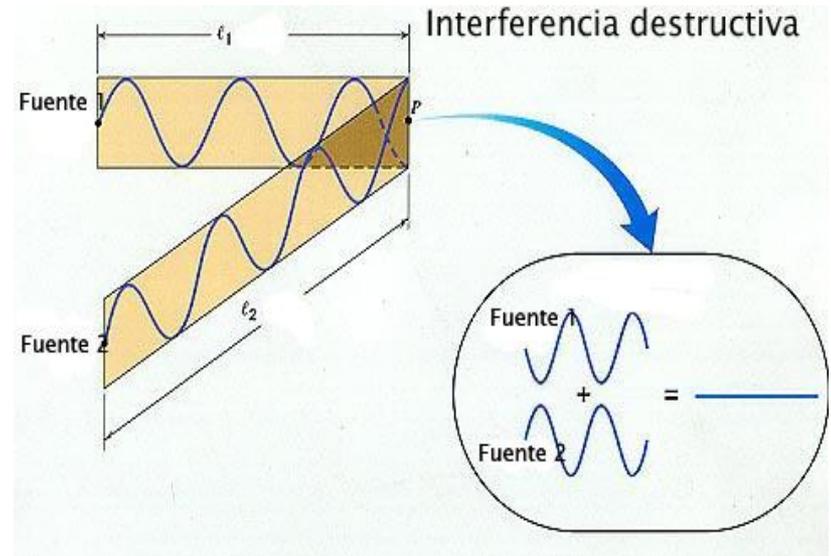


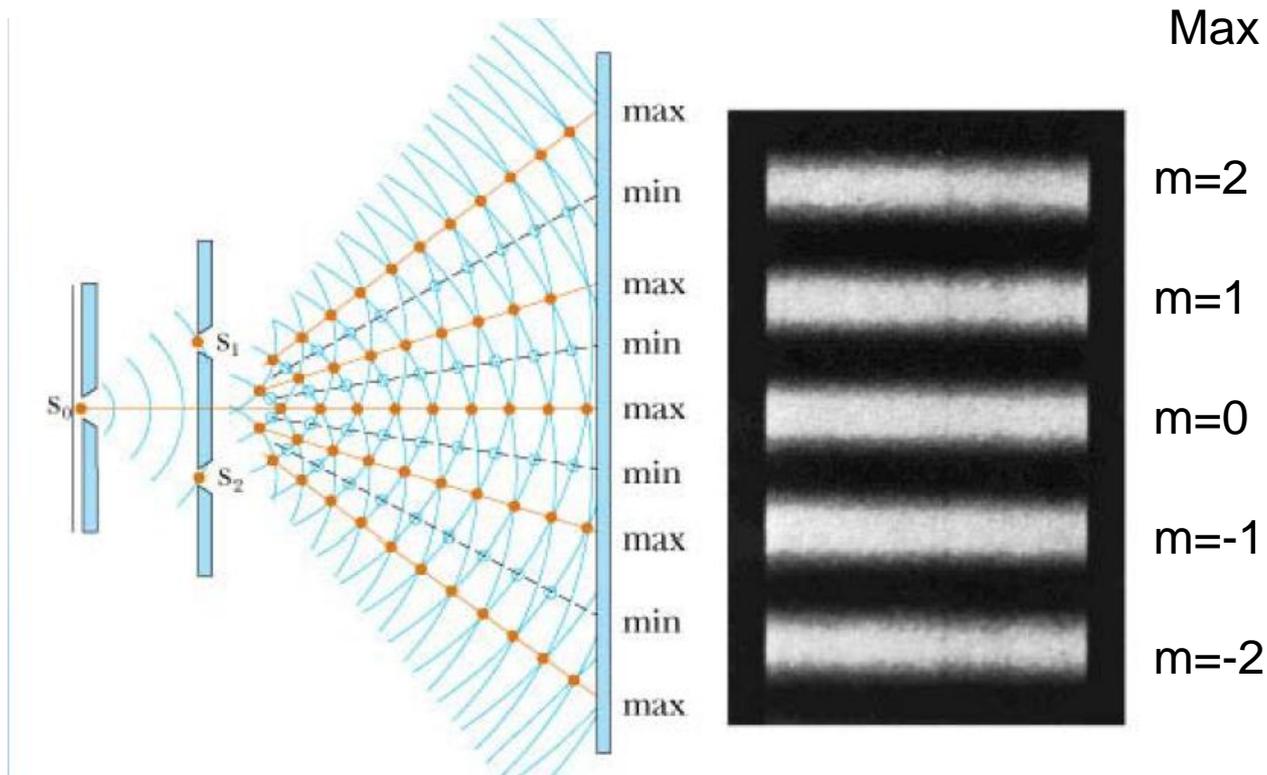
- **Destructivas**

$$\cos \delta = -1 \Rightarrow E_0 = E_{01} - E_{02}$$

$$\delta = (2m+1)\pi \Rightarrow \Delta r = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$$

- Se atenúa la intensidad de la onda.





- Patrones de interferencia en la pantalla (para pequeños ángulos)

– Máximos

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

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

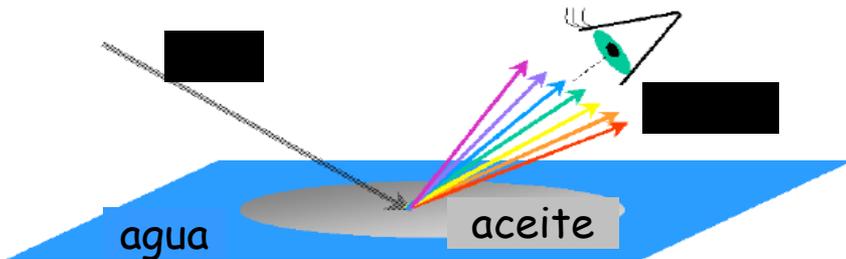
– Mínimos

$$y_m = (2m + 1) \frac{L}{d} \frac{\lambda}{2}$$

INTERFERENCIA EN LÁMINAS DELGADAS

- Pompas de jabón
- Manchas de aceite, etc.

¿Dónde tiene origen esta interferencia?



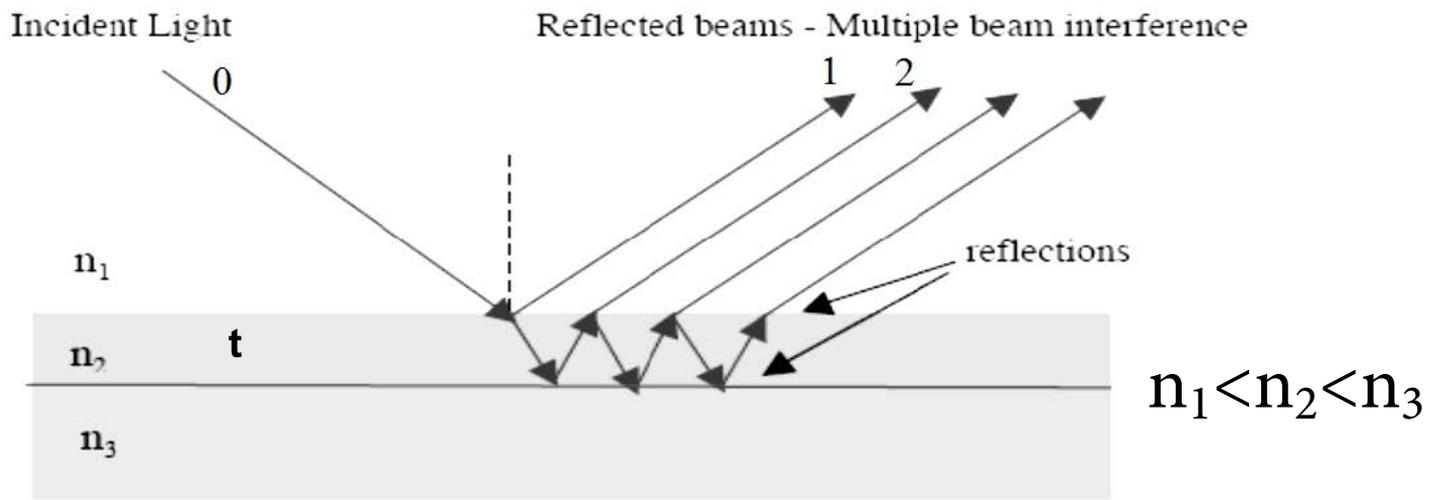
Cambio de medio,
Reflexión y
Transmisión + reflexión



Reflexión: puede haber un cambio de fase de la onda reflejada:
si $n_1 < n_2$ la onda reflejada cambia de fase.
si $n_1 > n_2$ la onda reflejada NO cambia de fase.

Transmisión: la onda transmitida nunca cambia de fase por pasar de un medio a otro. El único cambio de fase en esta onda proviene de recorrer un camino distinto que la onda reflejada.

INTERFERENCIA EN LÁMINAS DELGADAS



δ = debido a la DC + reflexión

$$\delta_1 = 0 + \pi$$

$$\delta_2 = 2\pi/\lambda_n \cdot 2t + \pi$$

long. de onda en un medio de índice n

$$\lambda_n = \lambda_0/n$$

$$\Delta\delta_{12} = 2\pi/\lambda_n \cdot 2\tau = \begin{cases} 2\pi m & \text{Constructiva} \\ (2m+1)\pi & \text{Destructiva} \end{cases}$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2,$$

Cuidado, $\Delta\delta_{12}$ depende de cada caso en particular!

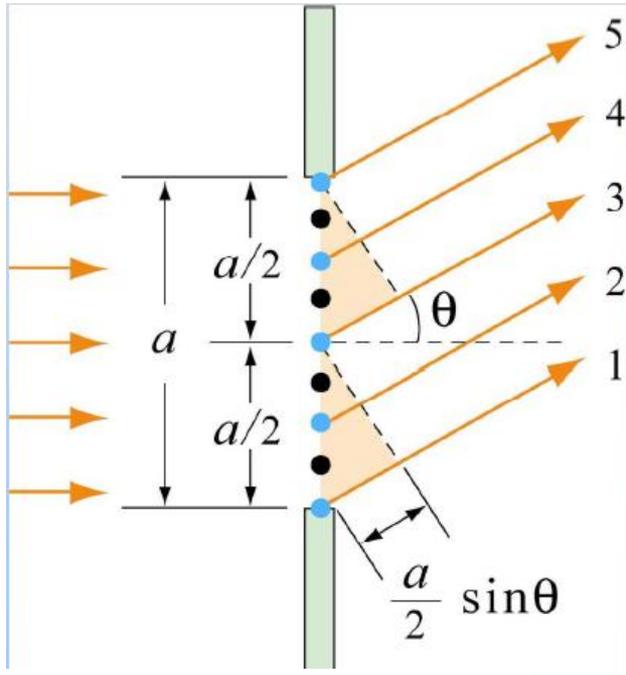
DIFRACCIÓN

La luz se desvía en vez de seguir en línea recta después que pasa por obstáculo.

Es apreciable cuando la dimensión de los obstáculos es del orden de la longitud de onda de la luz.

Es un fenómeno similar a la interferencia en cuanto a su descripción matemática pero el origen del fenómeno es completamente distinto.

Difracción debido a una rendija simple



- 1) Dividimos la fuente en N sectores de ancho a/N
- 2) Calculamos la interferencia de las N fuentes desfasadas δ entre ellas ($N\delta = \theta'$)

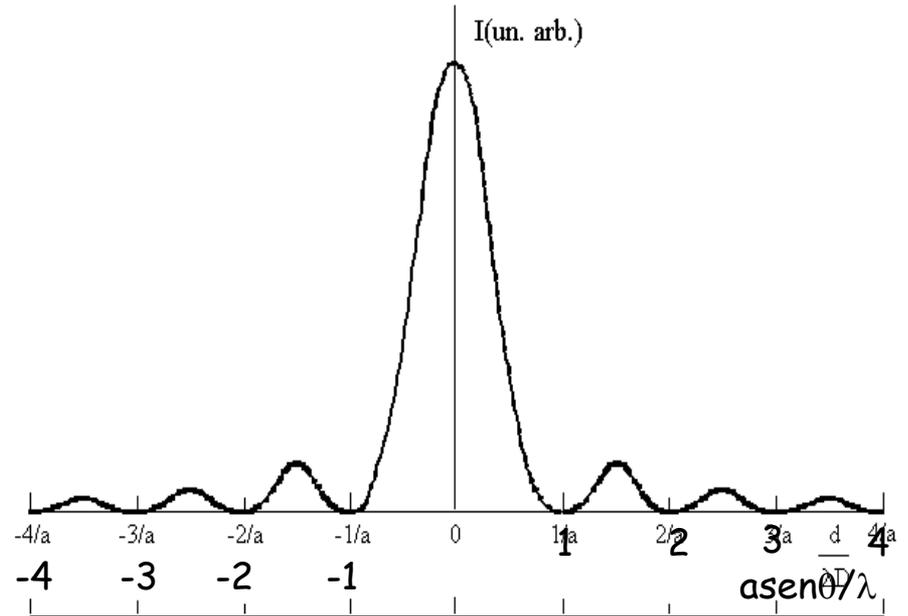
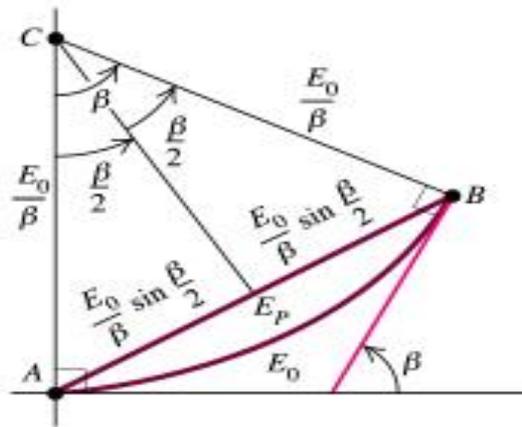
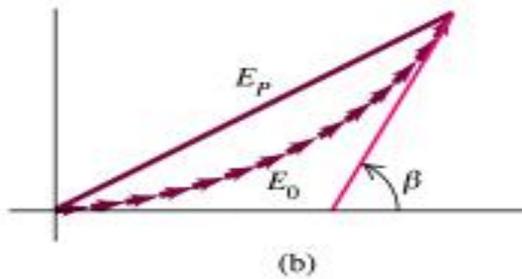
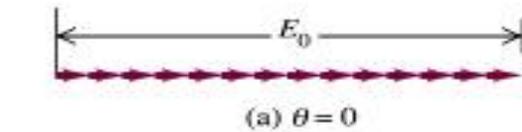
Encontramos:

$$E = E_0 \left[\frac{\text{sen}\left(\frac{\pi a \text{sen}\theta}{\lambda}\right)}{\frac{\pi a \text{sen}\theta}{\lambda}} \right]$$

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

Ranura: Incidencia normal

Usando el método fasorial



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

Ancho del lóbulo central: $2\lambda/a$

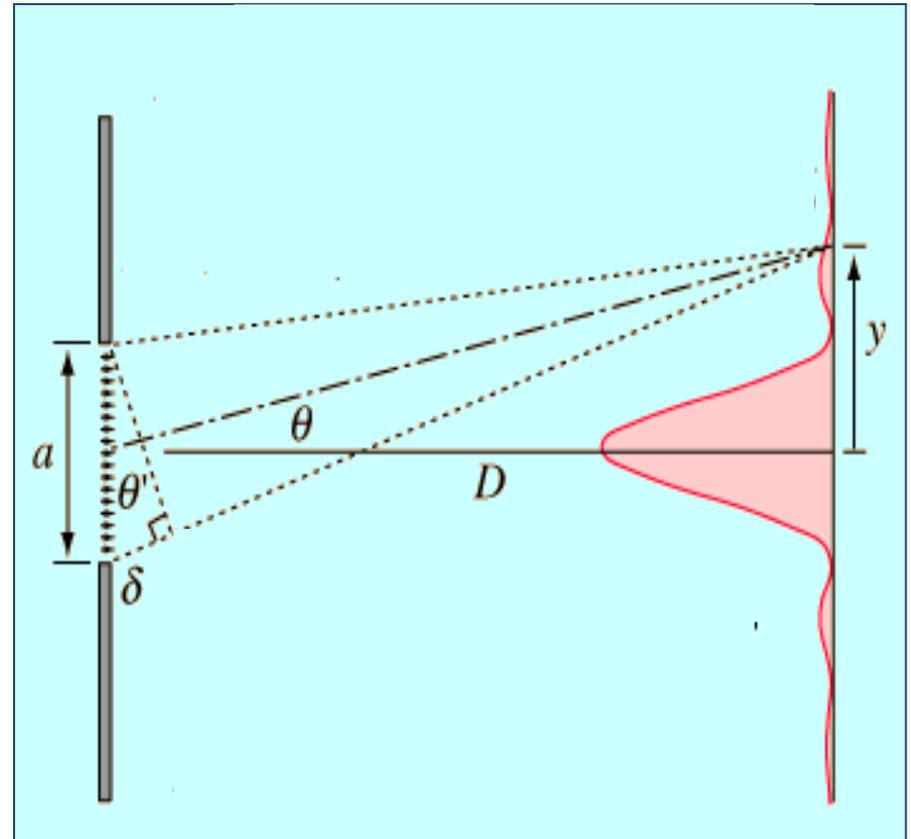
mínimos:
 $a \operatorname{sen} \theta = m\lambda, m \neq 0$

máximos (aproximación):
 $a \operatorname{sen} \theta = (2m+1)\lambda/2, m=0, 1$

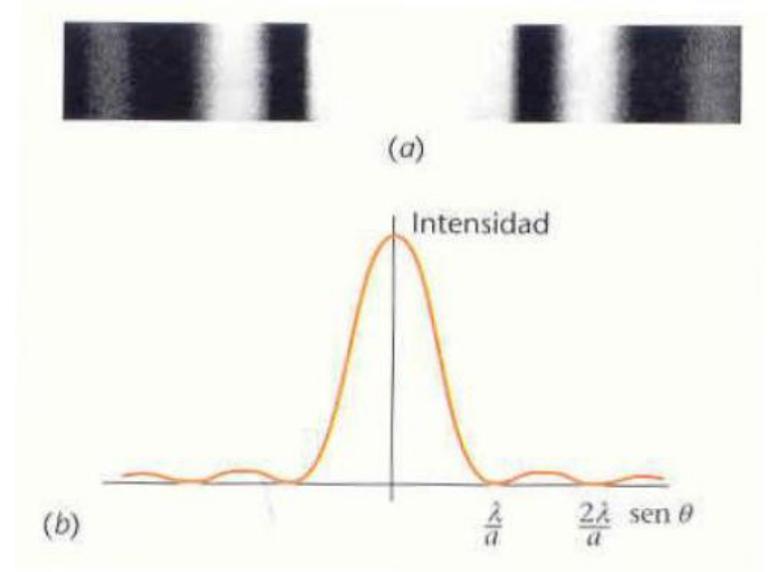
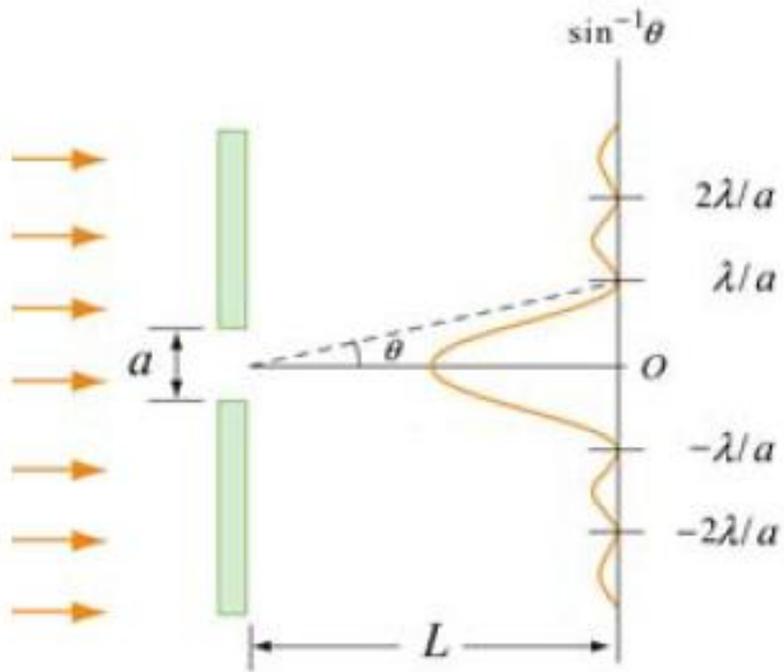
**Posición de los mínimos
sobre la pantalla:**

$$y_k = \frac{k\lambda D}{a}$$

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

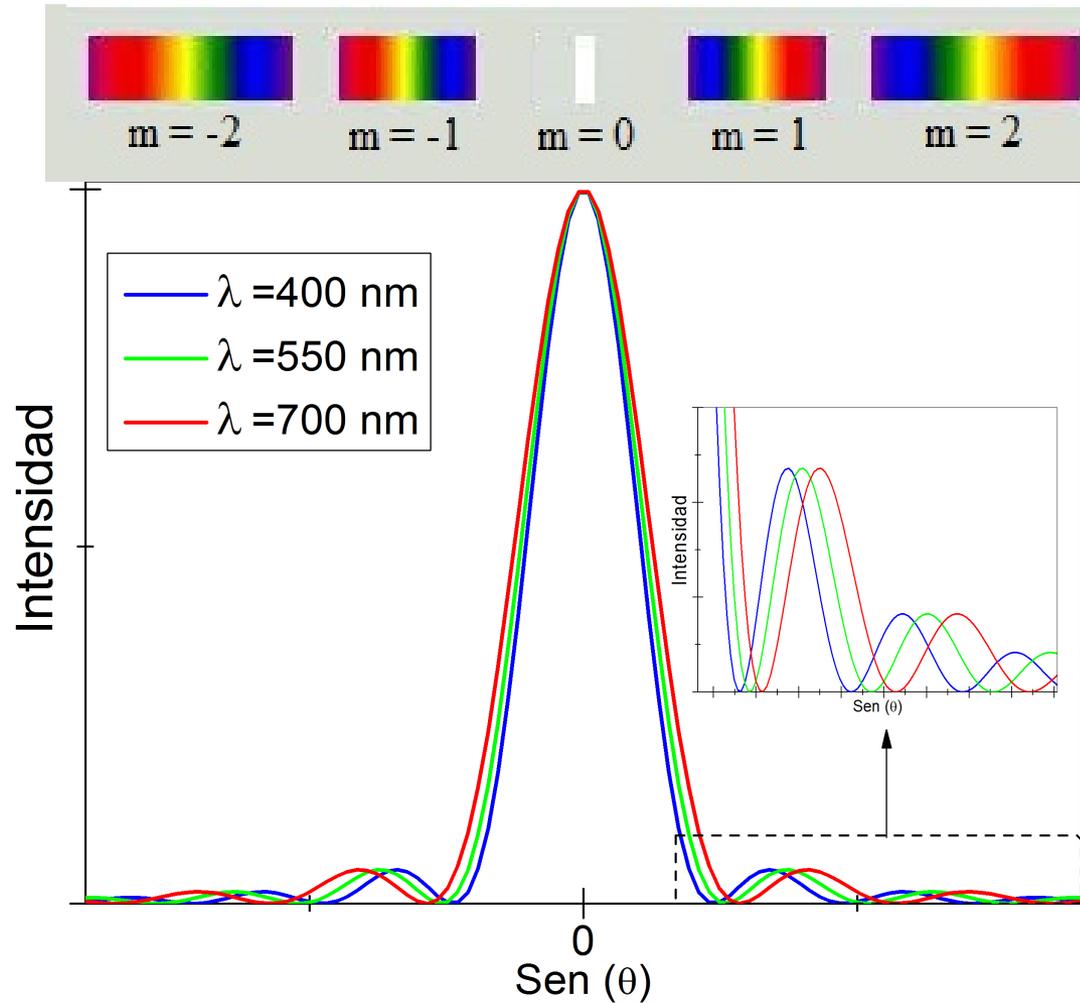


Luz monocromática

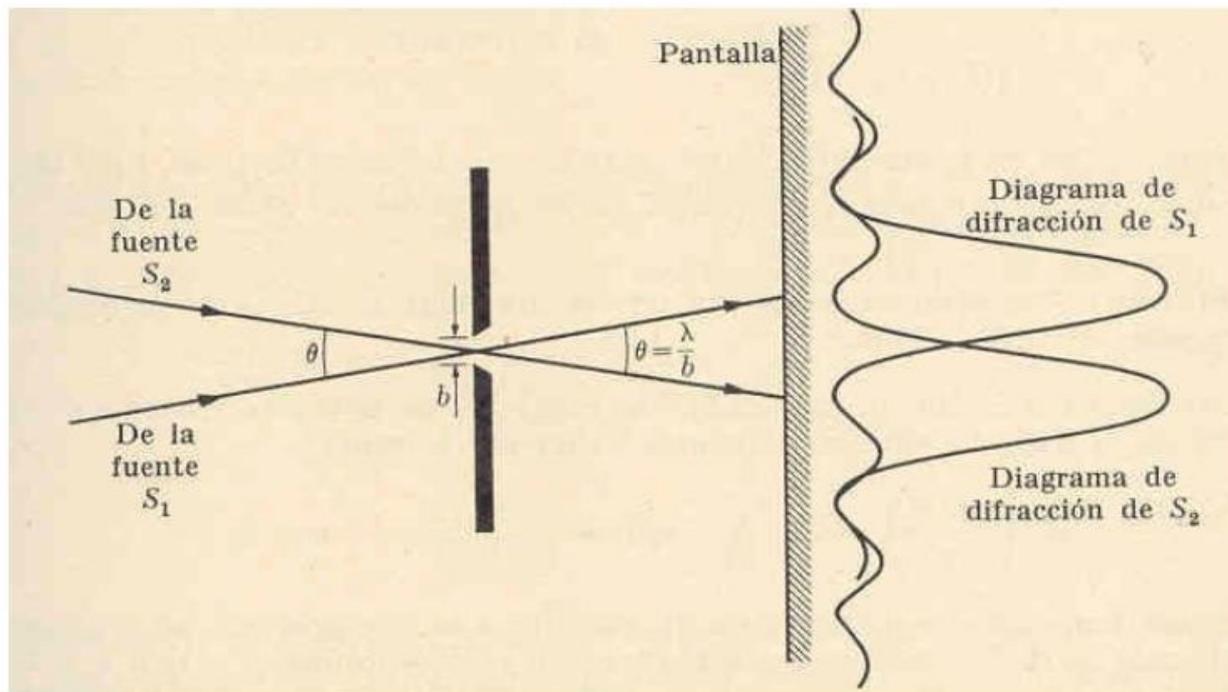


Luz policromática

máximos (aproximación):
 $\text{sen } \theta = (2m+1)\lambda/2a, m=0, 1, \dots$

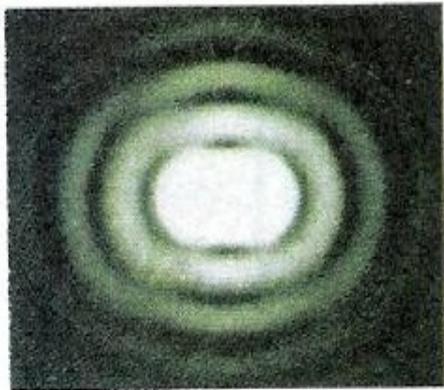
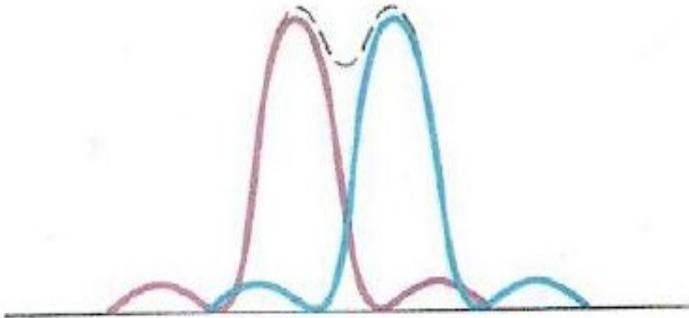


Poder de resolución de una rendija rectangular según el criterio de Rayleigh; dos objetos con una separación angular q son distinguibles a partir de que el primer cero del diagrama de difracción de uno caiga sobre el máximo central del otro.



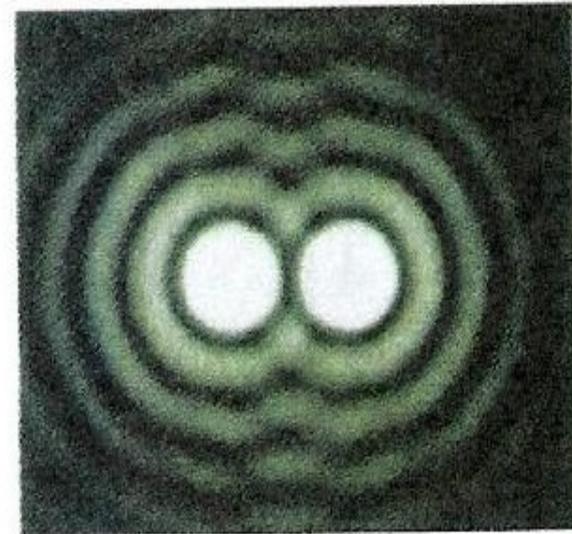
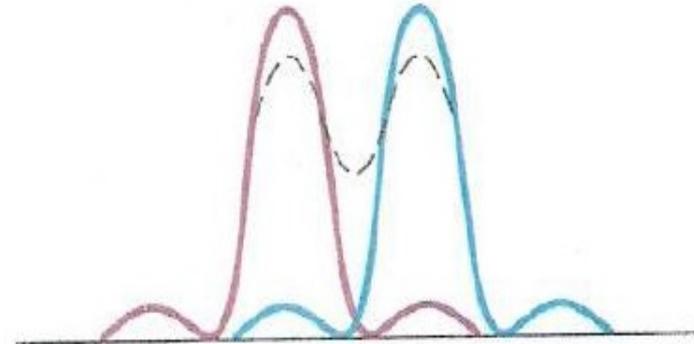
Para una abertura circular de radio R $\theta \approx \text{sen } \theta = 1.22 \frac{\lambda}{2R} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$

2 objetos no resueltos



$$\text{sen } (\theta) < 1.22 \lambda/D$$

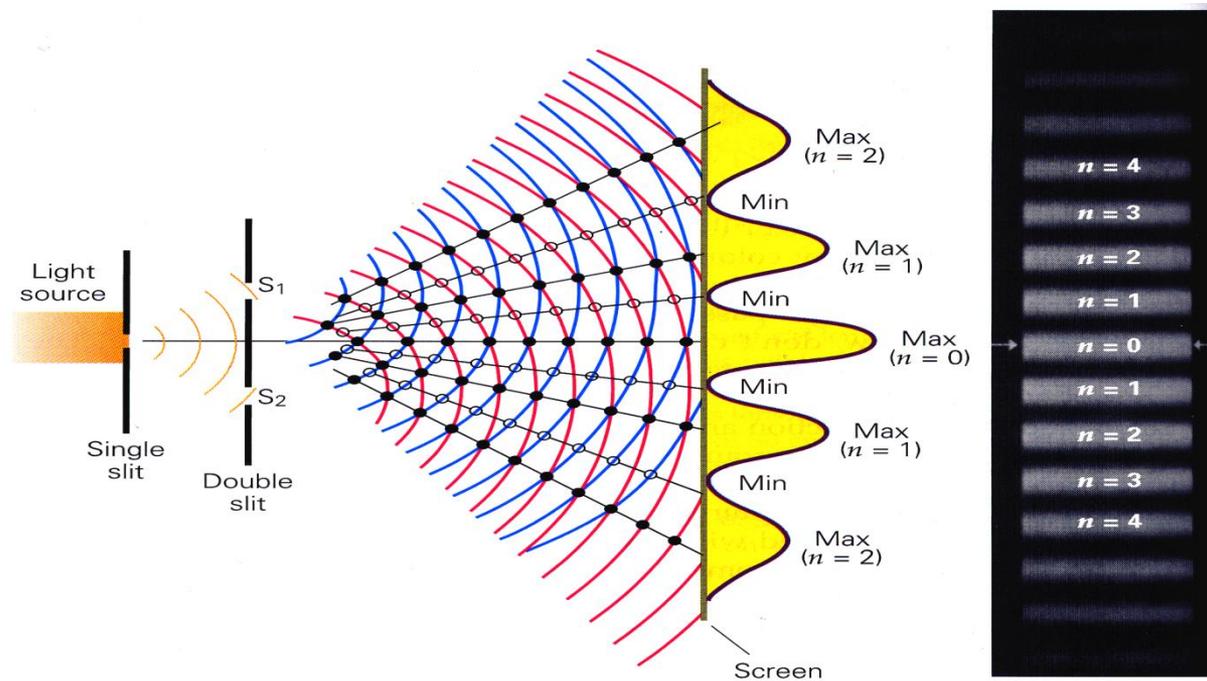
2 objetos resueltos



$$\text{sen } (\theta) > 1.22 \lambda/D$$

Interferencia + Difracción

(dos rendijas de ancho a separadas una distancia d)

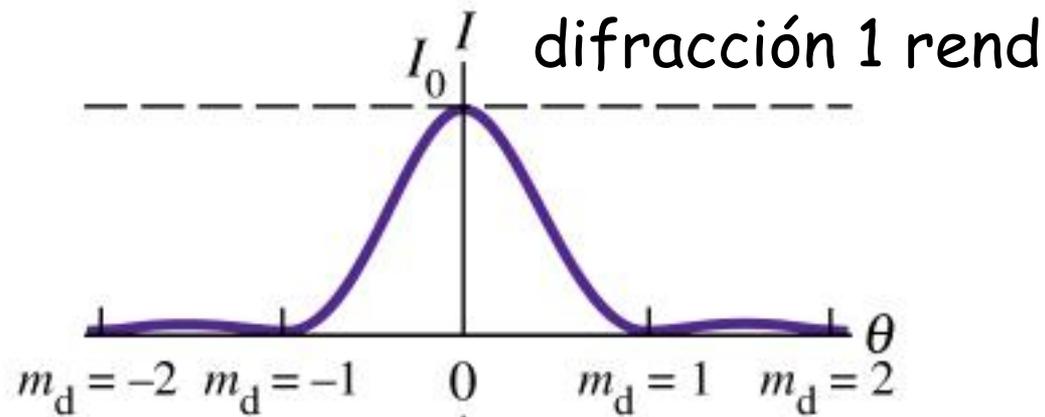


$$I = I_0 \left[\frac{\text{sen}(\pi a \text{sen}\theta / \lambda)}{\pi a \text{sen}\theta / \lambda} \right]^2 \cos^2 \left[\frac{\pi d \text{sen}\theta}{\lambda} \right]$$

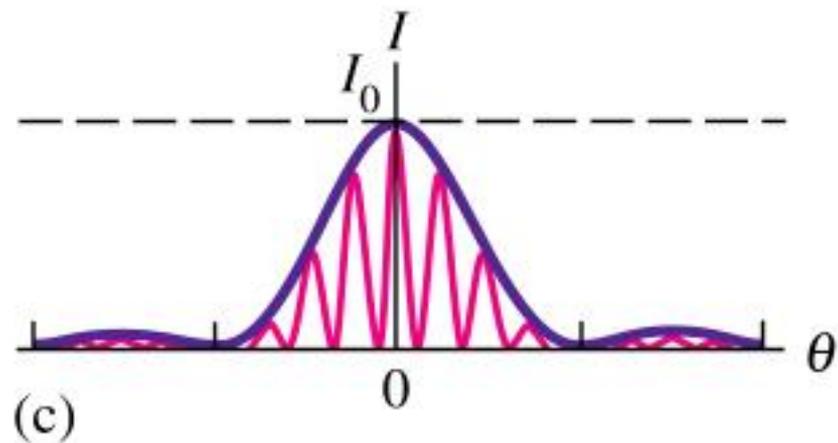
donde

a = ancho de la rendija

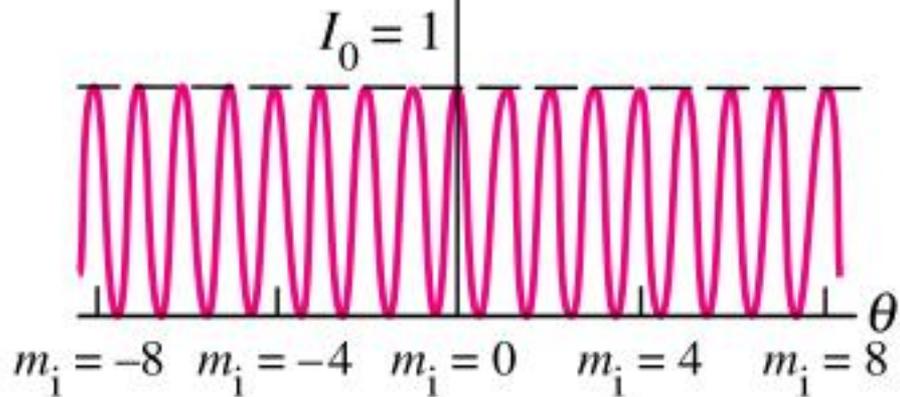
d = separación entre rendijas



dif + int por 2 rend



interferencia
2 rend.



(a)

(c)

(b)

Interferencia

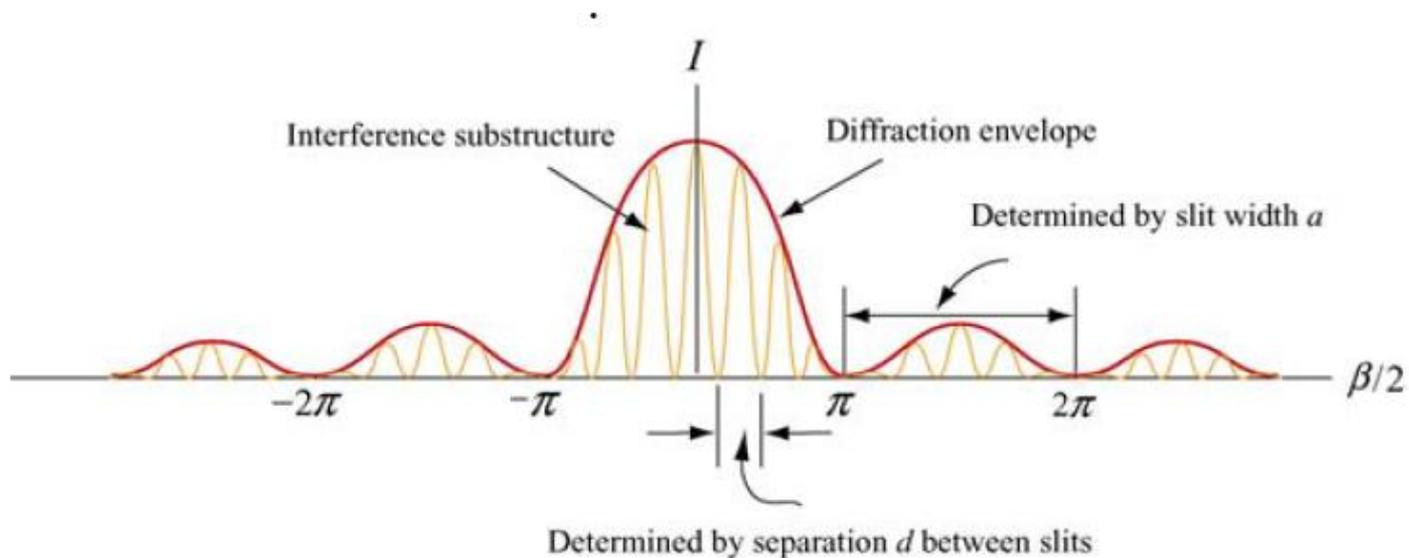
$$I = I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right)$$

Difracción

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

Interferencia + difracción

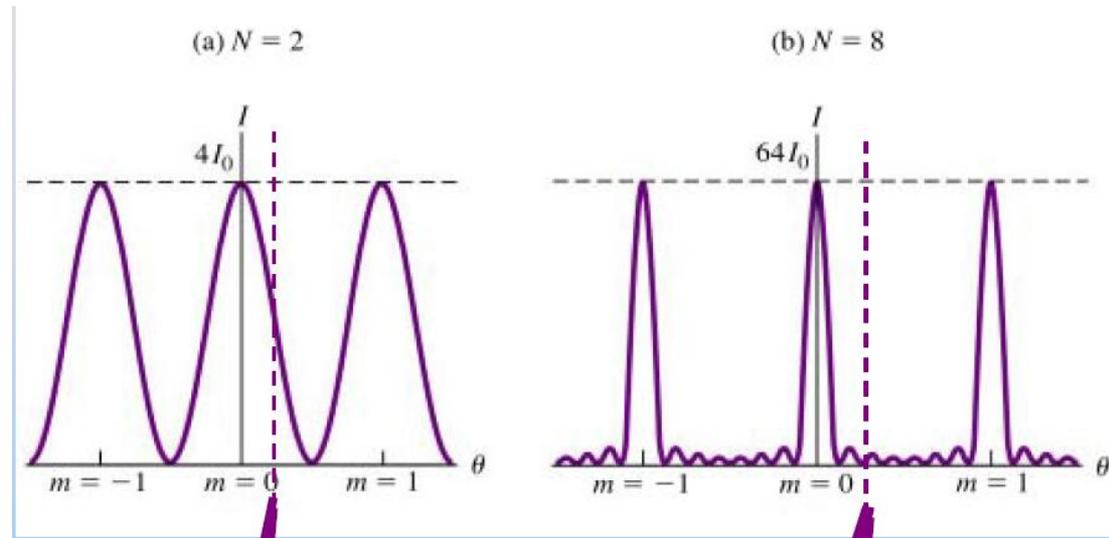
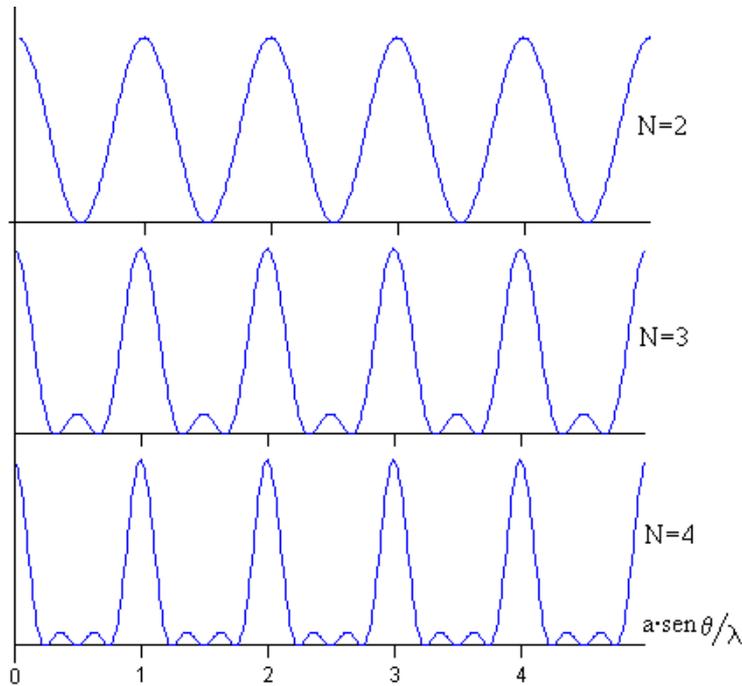
$$I = I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \right) \left[\frac{\sin(\pi a \sin \theta / \lambda)}{\pi a \sin \theta / \lambda} \right]^2$$



N rendijas

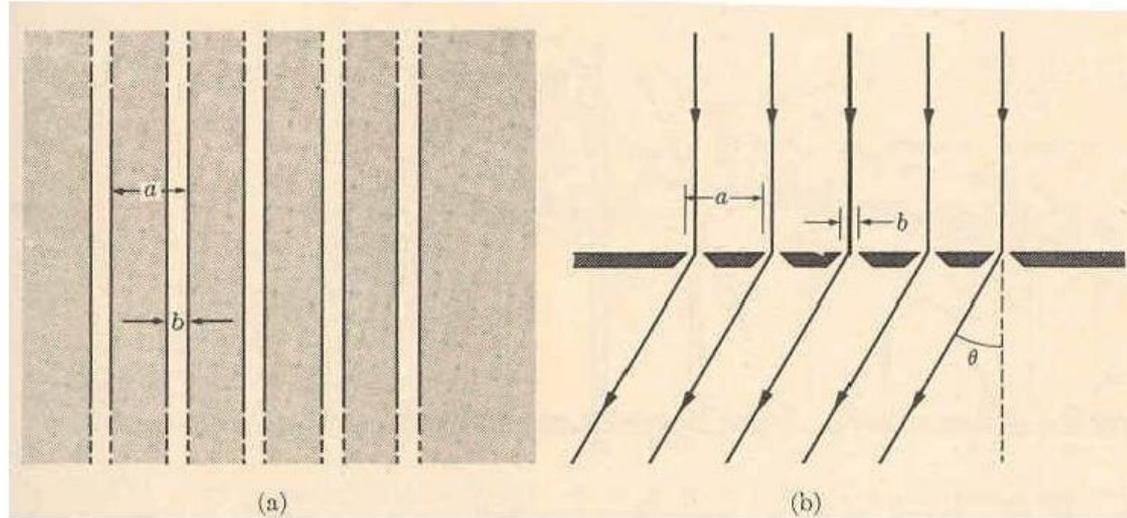
$$I = \frac{I_0 \text{sen}(N\alpha)}{\text{sen}(\alpha)}$$

$$\alpha = \frac{\pi d \text{sen}(\theta)}{\lambda}$$



$$\text{máx} \frac{\text{sen}N\alpha}{\text{sen}\alpha} = \pm N, \alpha = m\pi \quad \text{sen}\theta = \frac{m\lambda}{d}$$

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

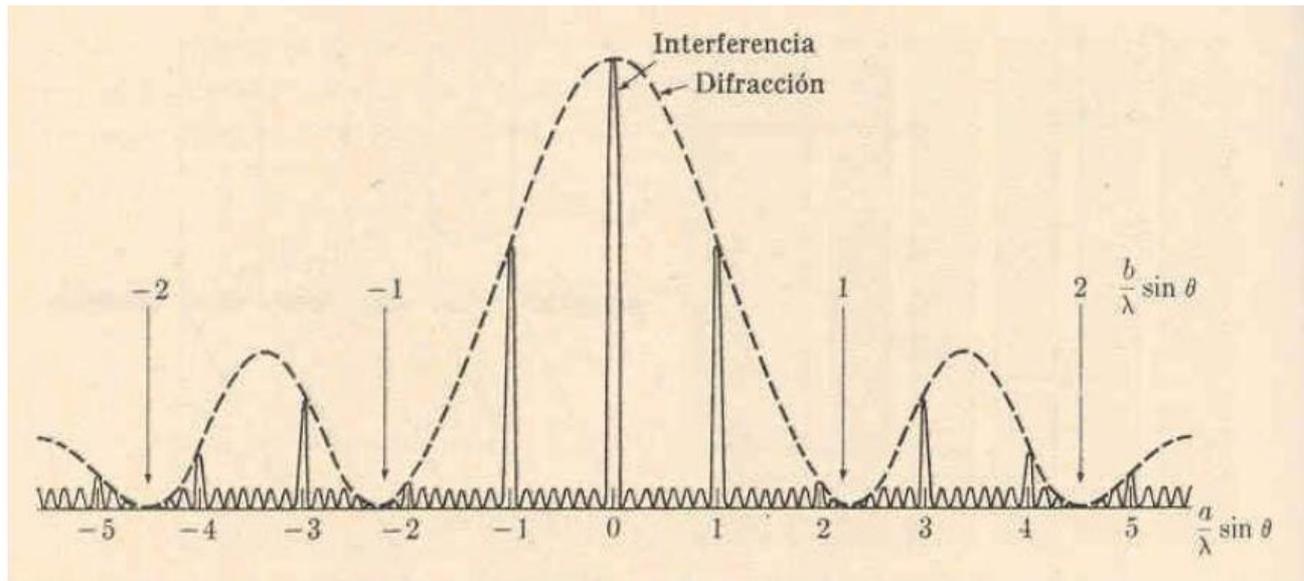
$$\text{sen } \theta = \frac{m\lambda}{a}$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Poder de
resolución

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$$

Diagrama correspondiente a 8 rendijas



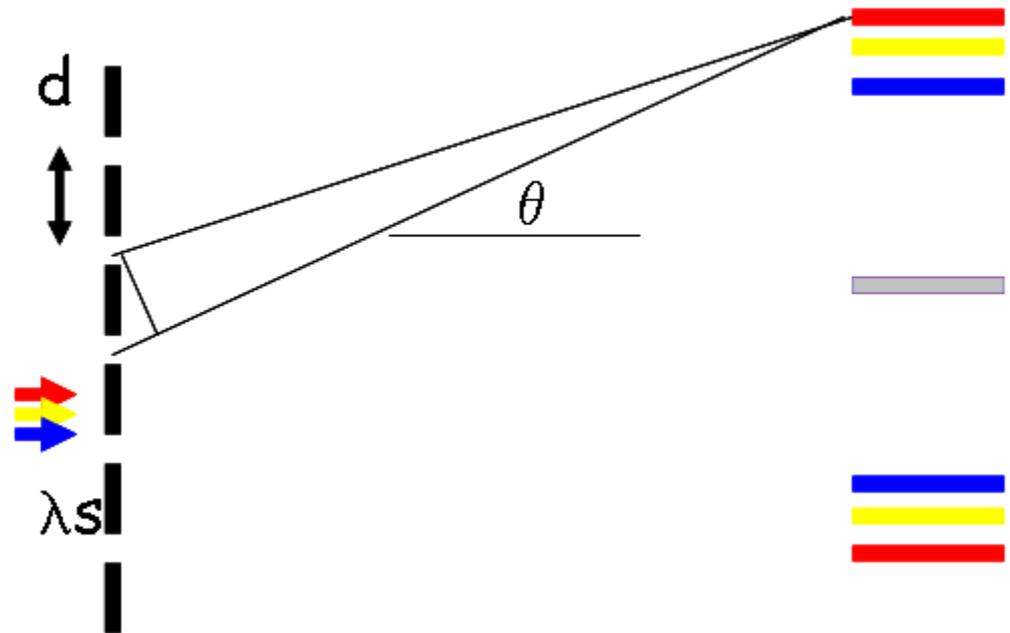
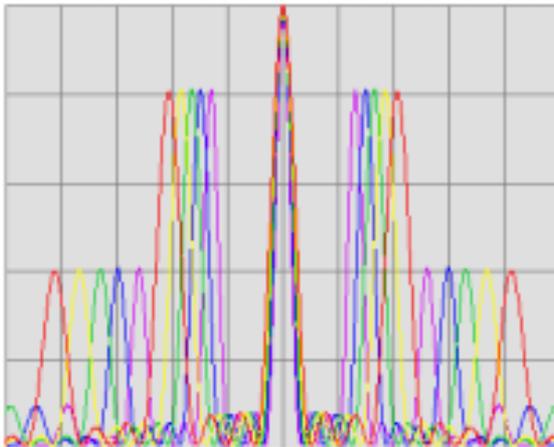
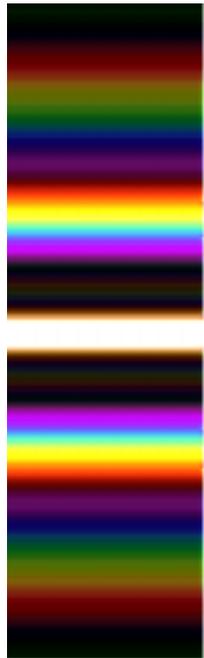
Red de Difracción

$$\text{máx} \quad \frac{\text{sen}N\alpha}{\text{sen}\alpha} = \pm N, \alpha = m\pi \quad \text{sen}\theta = \frac{m\lambda}{d}$$

Si incide luz blanca, máximos diferentes para distintos valores de λ .

La red de difracción es la base de los monocromadores

El diagrama consistirá en una serie de franjas brillantes, correspondientes a los máximos principales de la interferencia de N fuentes dada por $a \text{sen}\theta / \lambda = m$ con $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$



$$\lambda_{\text{rojo}} > \lambda_{\text{violeta}}$$

$$\theta_{\text{rojo}} > \theta_{\text{violeta}}$$

$$\lambda_1 > \lambda_2, \theta_1 > \theta_2$$

i i i Fin clase 8 de 8!!!

i i i Ahora a rendir!!!

Mucha suerte