

# Clase 09

# Interferencia y difracción

# 1) Explicación: Interferencia

- Los fenómenos de interferencia ocurren cuando dos o más ondas interactúan y se refiere al efecto físico de superposición cuando las ondas coinciden espacial y temporalmente.
- El efecto puede observarse en todos los tipos de onda, como ondas de luz, radio, sonido, entre otros.



**Ondas en el agua**



**Franjas tipo arco iris en una película de aceite que flota en agua**

- Las fuentes deben ser coherentes: si no hubiera una relación de fase constante entre ambas fuentes, los fenómenos que vamos a estudiar no ocurrirían.

# 1) Explicación: Interferencia

➤ Dos fuentes S1 y S2 que emiten ondas monocromáticas de la misma frecuencia en un medio homogéneo.

$$\bar{E}_1(\bar{r}, t) = E_{01} \cos(\bar{k}_1 \bar{r} - \omega t + \varepsilon_1)$$

$$\bar{E}_2(\bar{r}, t) = E_{02} \cos(\bar{k}_2 \bar{r} - \omega t + \varepsilon_2)$$

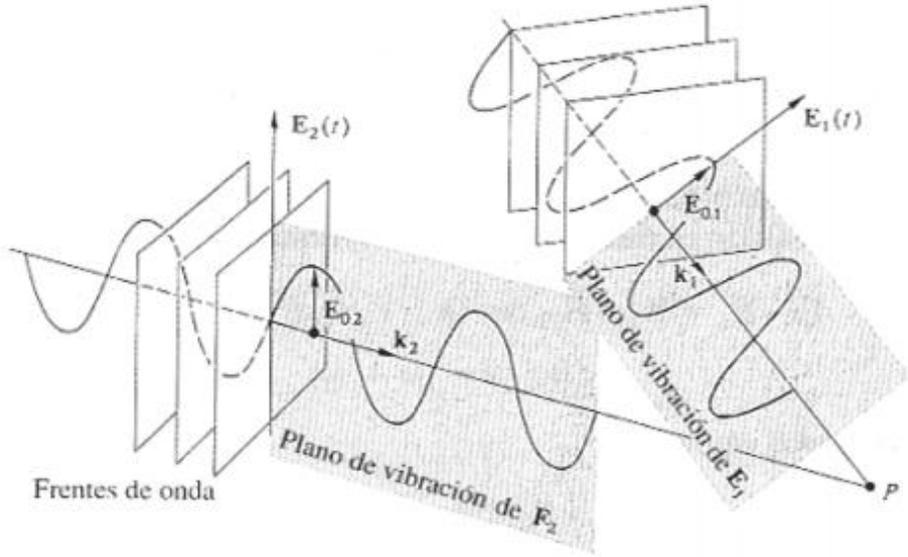
La irradiancia en el punto P:  $I = \langle E^2 \rangle_T$

$$E^2 = E \cdot E = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 \cdot E_2$$

$$I = \underbrace{\langle E_1^2 \rangle}_{I_1} + \underbrace{\langle E_2^2 \rangle}_{I_2} + 2 \underbrace{\langle E_1 \cdot E_2 \rangle}_{I_{12}}$$

$$I_{12} = \frac{1}{2} E_{01} \cdot E_{02} \cdot \cos(\bar{k}_1 \bar{r} - \bar{k}_2 \bar{r} + \varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

$$\underbrace{\hspace{15em}}_{\delta}$$



Óptica -Eugene Hecht

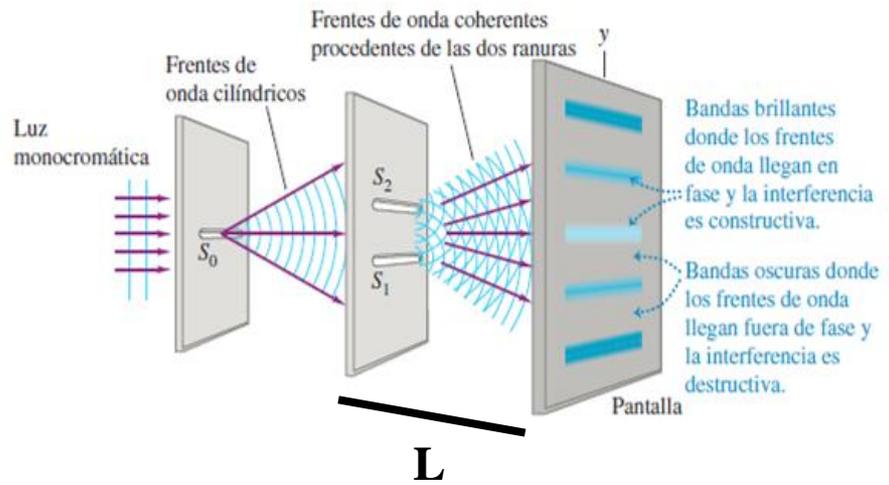
$$I_{12} = \frac{1}{2} E_{01} \cdot E_{02} \cdot \cos \delta$$

Máximos para:  $\delta = 2n\pi$

Mínimos para:  $\delta = (2n + 1)\pi$

# 1) Explicación: Interferencia

## Experimento de Young



$$I_{12} = \frac{1}{2} E_{01} \cdot E_{02} \cdot \cos(\overline{k_1 \vec{r}} - \overline{k_2 \vec{r}} + \varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

Para los máximos:

$$\delta = 2n\pi = k(r_1 - r_2)$$

$$2n\pi = 2\pi/\lambda (r_1 - r_2)$$

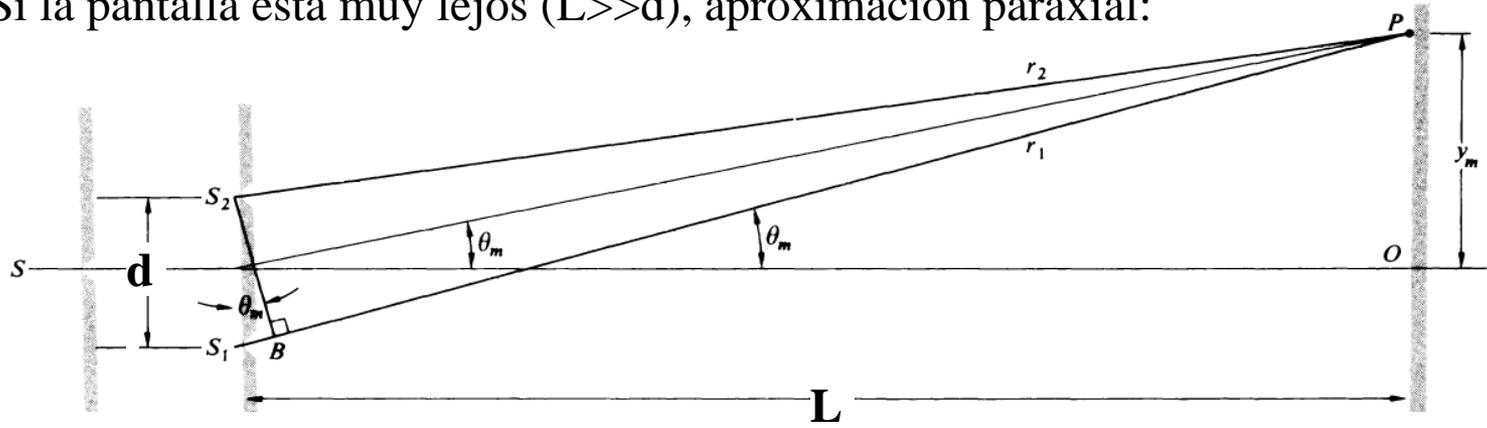
$$\lambda n = y_n d/L$$

$$\lambda n = y_n d/L$$



$$y_n = n \lambda \frac{L}{d}$$

Si la pantalla está muy lejos ( $L \gg d$ ), aproximación paraxial:



$$r_1 - r_2 = d \sin\theta \cong d\theta \rightarrow r_1 - r_2 = d \frac{y}{L}$$

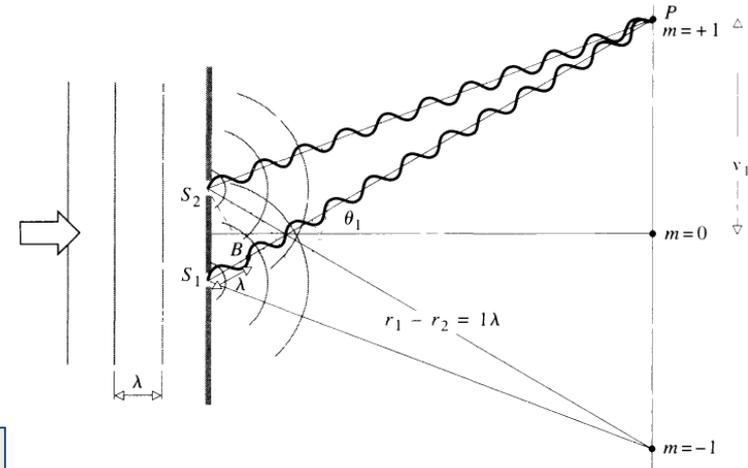
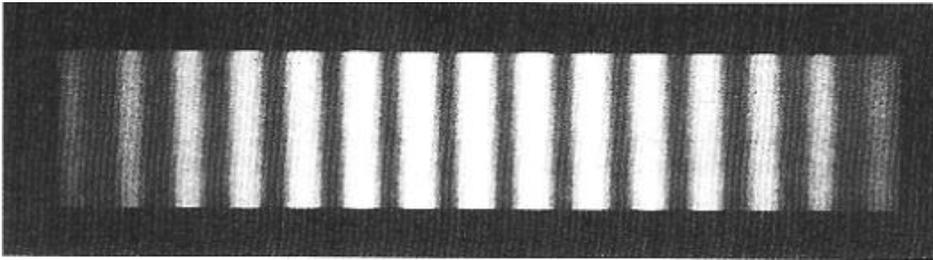
$$\tan\theta = \frac{y}{L}$$

$$\tan\theta \sim \theta$$

# 1) Explicación: Interferencia

➤ Interferencia constructiva (máximos):

**n** -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7



Si vale la aproximación paraxial:  $L \gg d$ ;  $L \gg y_m$

✓ Posición de los máximos,  $y_n$ :

$$y_n = n \lambda \frac{L}{d} \quad (1)$$

Óptica -Eugene Hecht

✓ Separación entre franjas viene dada por (INTERFRANJA):

$$\Delta y = L \frac{\lambda}{d} \quad (2)$$

$\Delta y$  = distancia entre dos máximos brillantes consecutivos (interfranja)

$L$  = distancia entre el plano de las fuentes virtuales y el plano donde se observa la interfranja

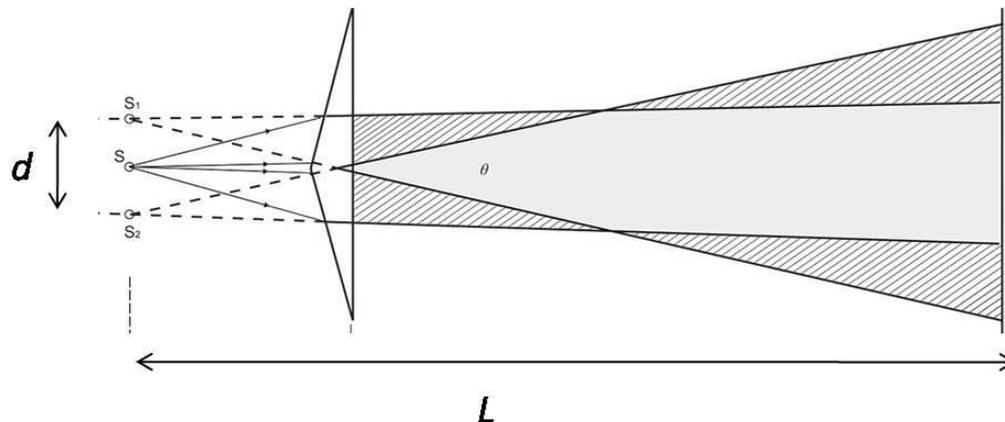
$d$  = distancia entre fuentes virtuales

$n$  = orden del máximo

# 1) Explicación: Interferencia

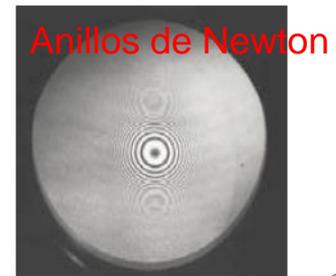
## Biprisma de Fresnel

- Es un interferómetro de **división de frente de onda** similar al experimento de la **doble rendija de Young**. Es la forma experimental de generar dos fuentes coherentes.
- Consta de dos prismas delgados que sirven para generar dos imágenes coherentes de una fuente (rendija iluminada) de modo tal que la luz proveniente de ambas da lugar a interferencias en la zona situada a continuación del biprisma.
- Se puede demostrar que el plano donde se encuentran ubicadas las fuentes virtuales generadas por el biprisma es el mismo plano en el cual está ubicada la rendija.



Video demostrativo: <https://www.youtube.com/watch?v=qUYU5WV0V5Q>

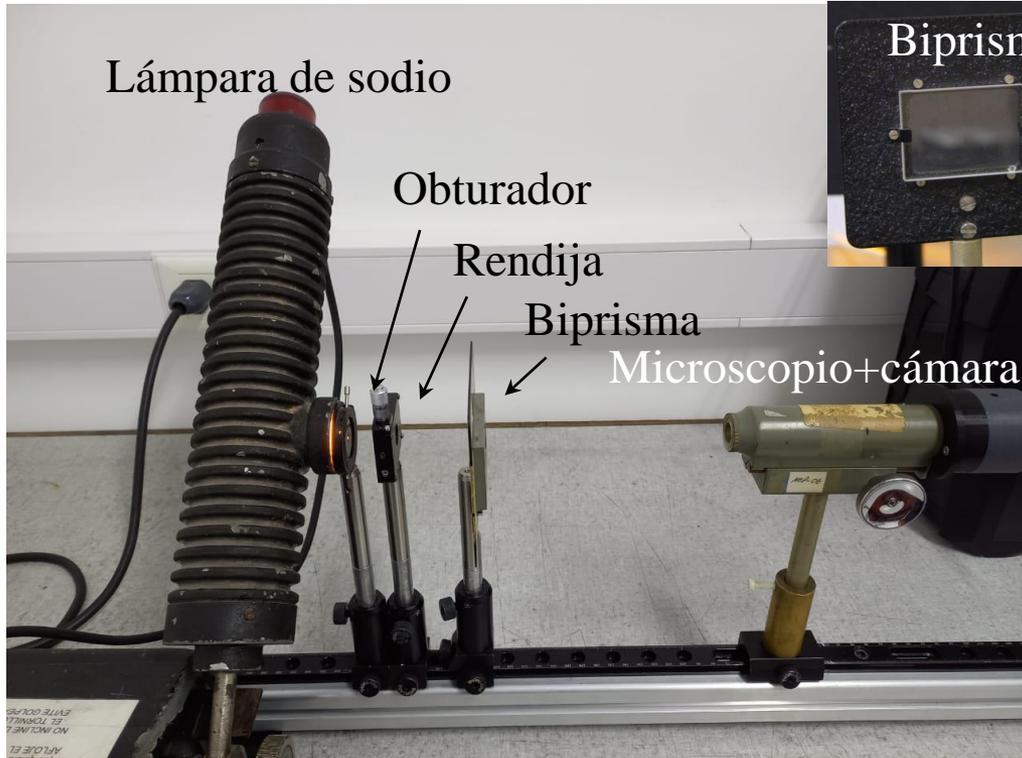
Observación: Un ejemplo de interferómetro de **divisor de amplitud** son los Anillos de Newton



## 2) Objetivos de la práctica: Interferencia

- Estudiar el interferómetro Biprisma de Fresnel, determinando la longitud de onda más intensa emitida por una lámpara de sodio

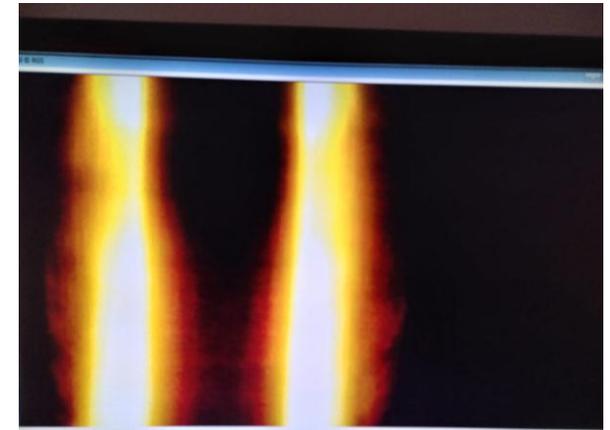
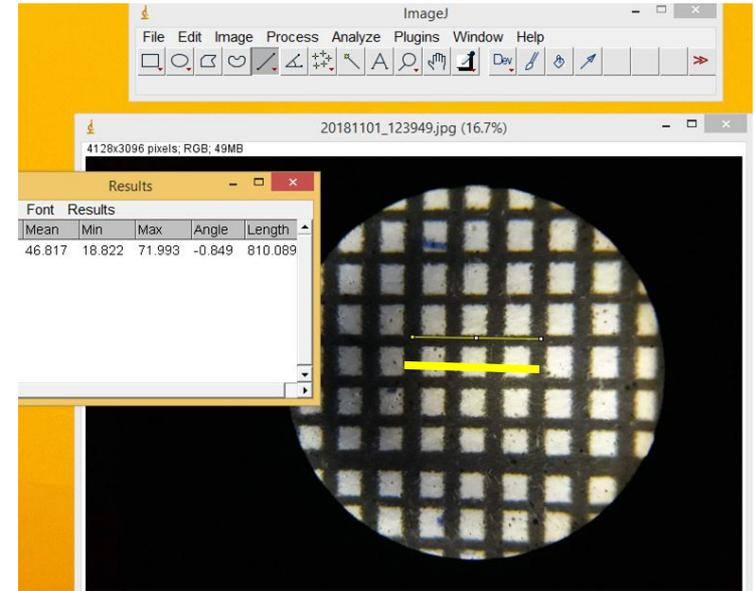
## 3) Arreglo experimental: Interferencia



El patrón es muy pequeño por lo que se debe usar un microscopio.

### 3) Arreglo experimental: Interferencia

- Actividades: calibración y medición de distancia entre fuentes
- Antes de medir los patrones de interferencia se debe calibrar la cámara (equivalencia píxeles en distancia). Para ello, colocar una hoja milimetrada (en vez del biprisma), acercar el microscopio con la cámara, desplazándose hasta hacer foco. Tomar una foto del patrón y hacer la calibración con el programa Image J. Ver tutorial Image J.
- Luego, sacando la hoja milimetrada y colocando el biprisma, volver a acercar el microscopio hasta que se vean las dos fuentes virtuales, las cuales deberán verse de igual intensidad, espesor y altura. Sacar una foto y obtener la distancia entre las fuentes virtuales,  $d$ , que **debe ser fija para todo el experimento**.



### 3) Arreglo experimental: Interferencia



➤ Actividades: medición de máximos e interfranja

➤ Finalmente, alejar el microscopio hasta donde se pueda observar las franjas de interferencia.

Para distintos  $L$  (distancia entre el plano de las fuentes virtuales y el plano donde se observa la interfranja), sacar las fotos del patrón de interferencia y medir la interfranja  $\Delta y$ , correspondiente a cada  $L$ , con el programa Image J (ver el tutorial para el tratamiento de las imágenes).

➤ **IMPORTANTE**: cuidado al determinar la distancia  $L$ ! poner especial cuidado en determinar el plano de observación de las interfrangas teniendo en cuenta la distancia de enfoque del microscopio de banco.

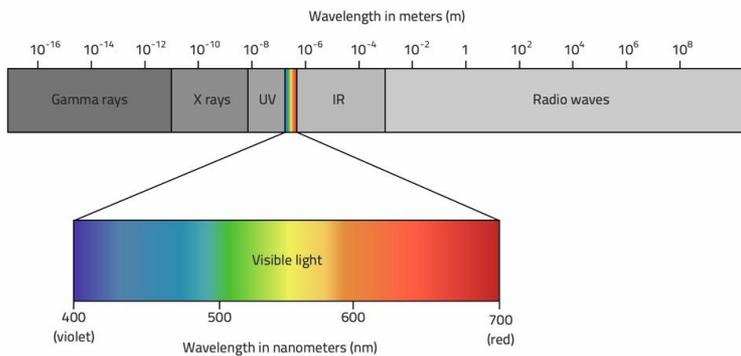
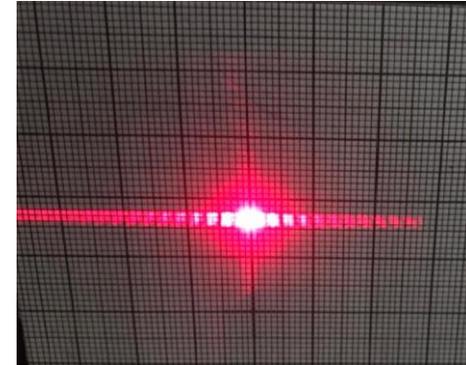
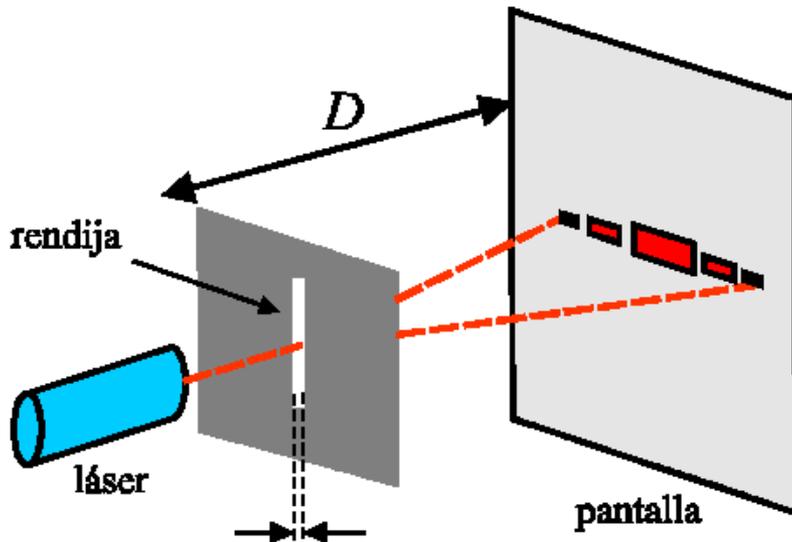
➤ Usando la ecuación (2) de la interfranja, realizar un ajuste, obtener la longitud de onda, ( $\lambda$ ) emitida por la lámpara de sodio, y comparar su valor con la bibliografía.

➤ Usando la ecuación (1) de los máximos, para **solo** uno de los valores de  $L$  medidos, ver el perfil de intensidades y luego graficar los máximos  $y_n$  vs  $n$ . Obtener la longitud de onda ( $\lambda$ ) y comparar con el valor del análisis anterior. ¿Qué análisis es más preciso? ¿Y cuál más exacto?

Observación: considerar el orden 0 en el centro del perfil.

# 1) Explicación: Difracción

- Se tiene una fuente de luz (ej: láser) que ilumina una abertura de ancho  $a$  (rendija)
- A una distancia  $D$  se observa el patrón de difracción sobre una pantalla.



Espectro electromagnético



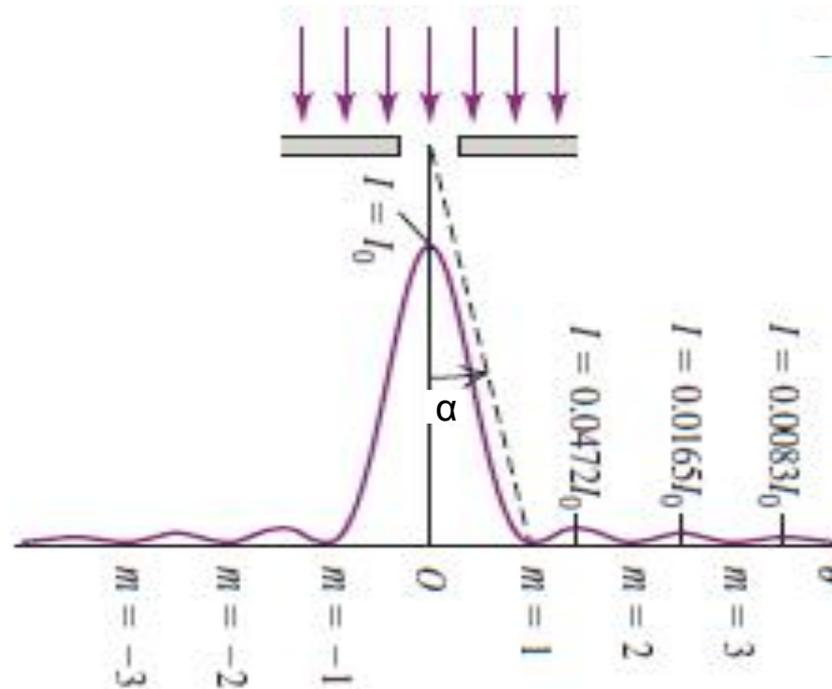
# 1) Explicación: Difracción

- Sabiendo que la relación entre los mínimos de difracción, el ancho de la rendija  $a$  y la longitud de onda  $\lambda$  están dados por la relación:

$$y_n^{(\text{min})} = n \cdot \frac{D \cdot \lambda}{a}, \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

Donde  $n$  es el orden del  $n$ -ésimo mínimo y  $D$  es la distancia rendija–pantalla.

Perfil de intensidades:



# 1) Explicación: Difracción

- La distribución de intensidad de las figuras de difracción,  $I$  vs posición, es:

$$I = I_0 \cdot \left( \frac{\text{sen}(z)}{z} \right)^2 \quad \text{Donde:} \quad z = \pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (2)$$

- El ángulo  $\alpha$  mide la apertura angular de la figura de difracción respecto del máximo central y verifica:

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{y}{D}$$

Siendo  $y$  la coordenada sobre la pantalla.

## 2) Objetivos de la práctica: Difracción

- Estudiar la figura de difracción producida por una ranura y por un obstáculo de geometría rectangular, a partir de la relación entre los máximos y sus órdenes.
- Levantar el perfil de intensidades analizando las figuras de difracción con el programa ImageJ.

## 3) Arreglo experimental: Difracción

- Ubicar el láser en la mesa óptica quedando éste bajo el nivel de las barreras de protección.
- Pegar una hoja milimetrada en una de las barreras (cuidar que la barrera de medida esté fuera del alcance de los ojos de las personas que realizan el experimento).
- Iluminar una rendija de ancho variable con un láser y observar sobre la pantalla la figura de difracción.
- Investigar la relación existente entre la distancia entre mínimos (o máximos) de intensidad y el ancho de la rendija. ¿Qué pasa con el patrón cuando la rendija es muy pequeña? ¿Y cuando es muy grande?
- Fijar un valor de rendija adecuado y medir el patrón de difracción (tomar foto).
- Sugerencia: Primero sacar la foto con luz apagada para que se vea bien la figura de difracción y luego tomar otra foto con la luz prendida para ver la escala con el fondo de hoja milimetrada.
- Graficar usando la ec (1), la posición de los mínimos,  $y_n$ , vs el orden  $n$ . Conociendo  $\lambda$  y  $D$ , obtener el ancho de la rendija  $a$ , mediante un ajuste.
- Reemplazar la ranura por un alambre de ancho conocido y observar la figura de difracción. ¿Qué conclusiones obtiene?
- Levantar el perfil de Intensidades vs posición, utilizando el programa Image y haciendo el análisis en la foto que se sacó en la actividad anterior (no olvidar de calibrar el patrón!).
- Observación: ¿Cómo podemos centrar los mínimos? Restar a todos la **posición** del máximo de intensidad.

### 3) Arreglo experimental: Difracción



#### ➤ Uso de láseres

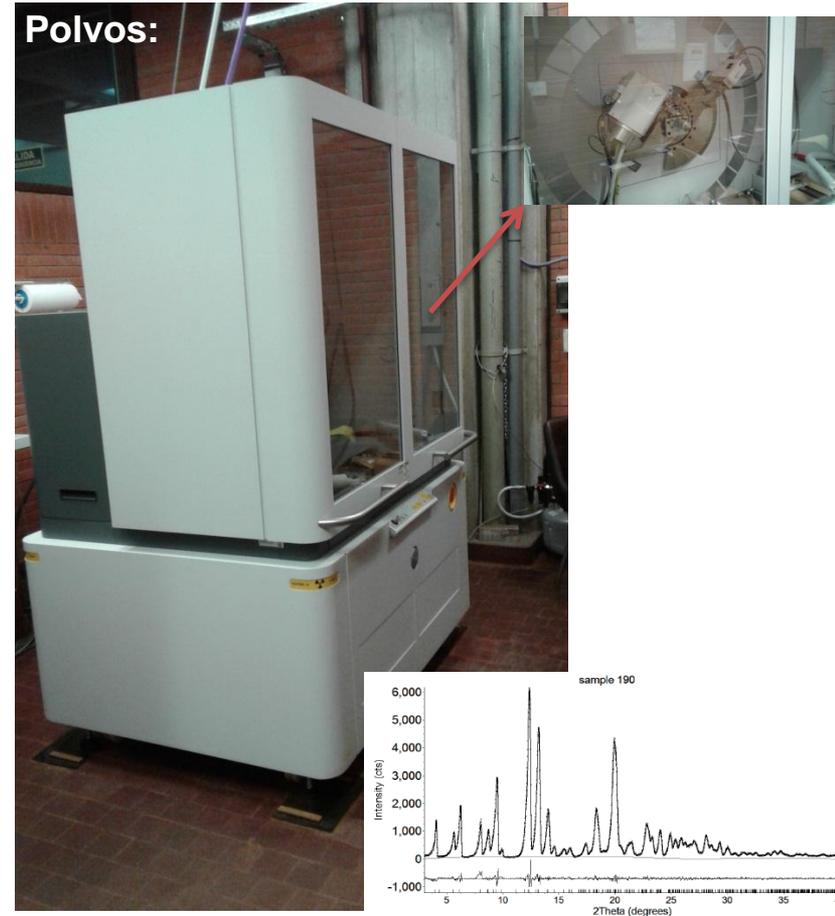
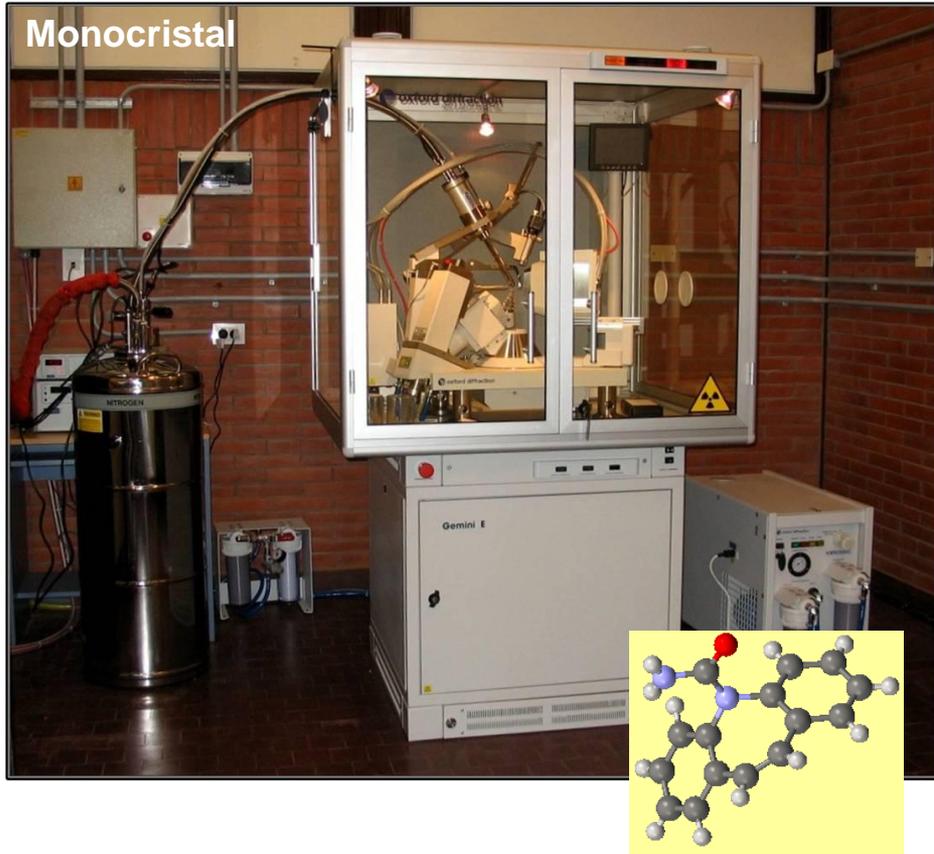
#### **NORMAS DE SEGURIDAD CUANDO SE UTILIZAN LASERES**

Los láseres están clasificados en 6 categorías de seguridad según su peligrosidad entre la clase I y clase IV. La clase I es considerada no peligrosa. La clase IV produce daños en los ojos y piel aún en exposiciones de luz dispersada.

- Verifique la etiqueta de clasificación que tiene el láser que utiliza
- Use siempre antiparras de seguridad
- Evite usar objetos metálicos (relojes, anillos) que puedan producir una reflexión directa del haz
- Evite exponer la piel al haz láser
- No mire directamente al haz **AUN CUANDO UTILICE ANTIPARRAS DE PROTECCION**
- Extreme las precauciones con radiación no visible.
- Los láseres en la zona del infrarrojo cercano son particularmente peligrosos pues no son visibles y producen daño permanente en la retina se introducen accidentalmente en el ojo.
- Como con cualquier fuente de luz muy brillante y potencialmente peligrosa, el sentido común es fundamental

## 4) Técnicas y aplicaciones: Difracción

➤ Técnica de difracción por Rayos X: técnica usual en cualquier laboratorio de caracterización de muestras (caso de DRX polvos; monocristal sólo 3 en el país)



<http://drx.qi.fcen.uba.ar/>

**Determinación de estructuras**

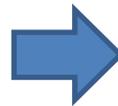
## 4) Técnicas y aplicaciones: Difracción

➤ Técnica de difracción por neutrones: (una de las tantas técnicas que se va a tener el lahn)



<http://www.lahn.cnea.gov.ar/>

Ejemplo de Tomografía con rayos X y con neutrones



This figure was made by [Anton S. Tremsin](#)

## 4) Técnicas y aplicaciones: Difracción

➤ Técnica de difracción por luz de sincrotrón: amplio espectro de longitudes de onda entre otras ventajas.

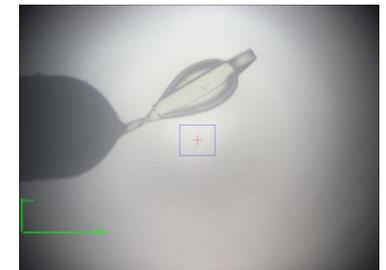
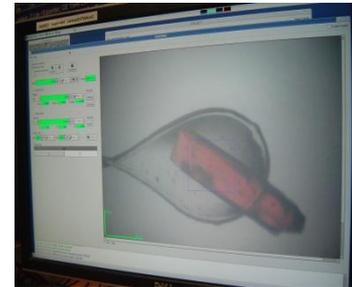
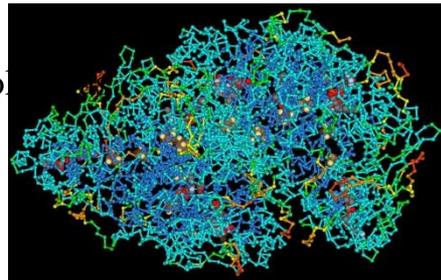
-Campinas, San Pablo, Brasil (hay otros sincrotrones en el mundo)



LNLS: Laboratorio Nacional de Luz de Sincrotrón (Brasil)

<https://www.lnls.cnpem.br/>

Ej: Determinación de macromol



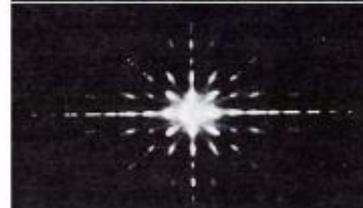
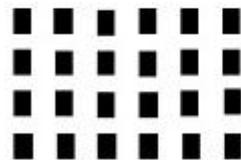
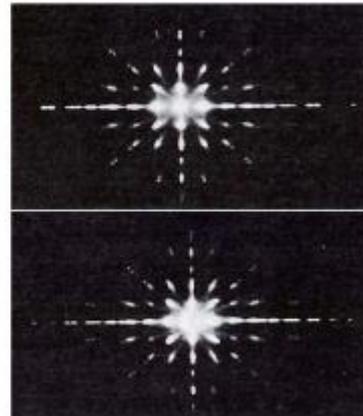
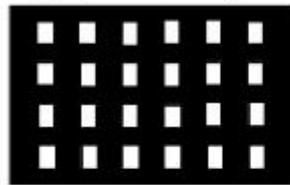
Cristales biológicos- Dr. S Klinke (Leloir)

## 5) Comentarios

➤ Estudio de aberturas y obstáculos:

Comentario: El sistema ranura-obstáculo de igual dimensión corresponden a los tipos de sistemas llamados complementarios, es decir, que si se superponen completan una pantalla opaca. Una característica notable de estos sistemas es que forman las mismas figuras de difracción. Este resultado se conoce como *principio de Babinet*

*Ejemplo (experimental):*



Universidad de Cantabria-J.M. Saiz 2010 (<https://es.slideshare.net/saizvj/optica-fisica-leccin-3>)

## 5) Comentarios

➤ Estudio de aberturas y obstáculos: algunos ejemplos del applet: [https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_en.html)

