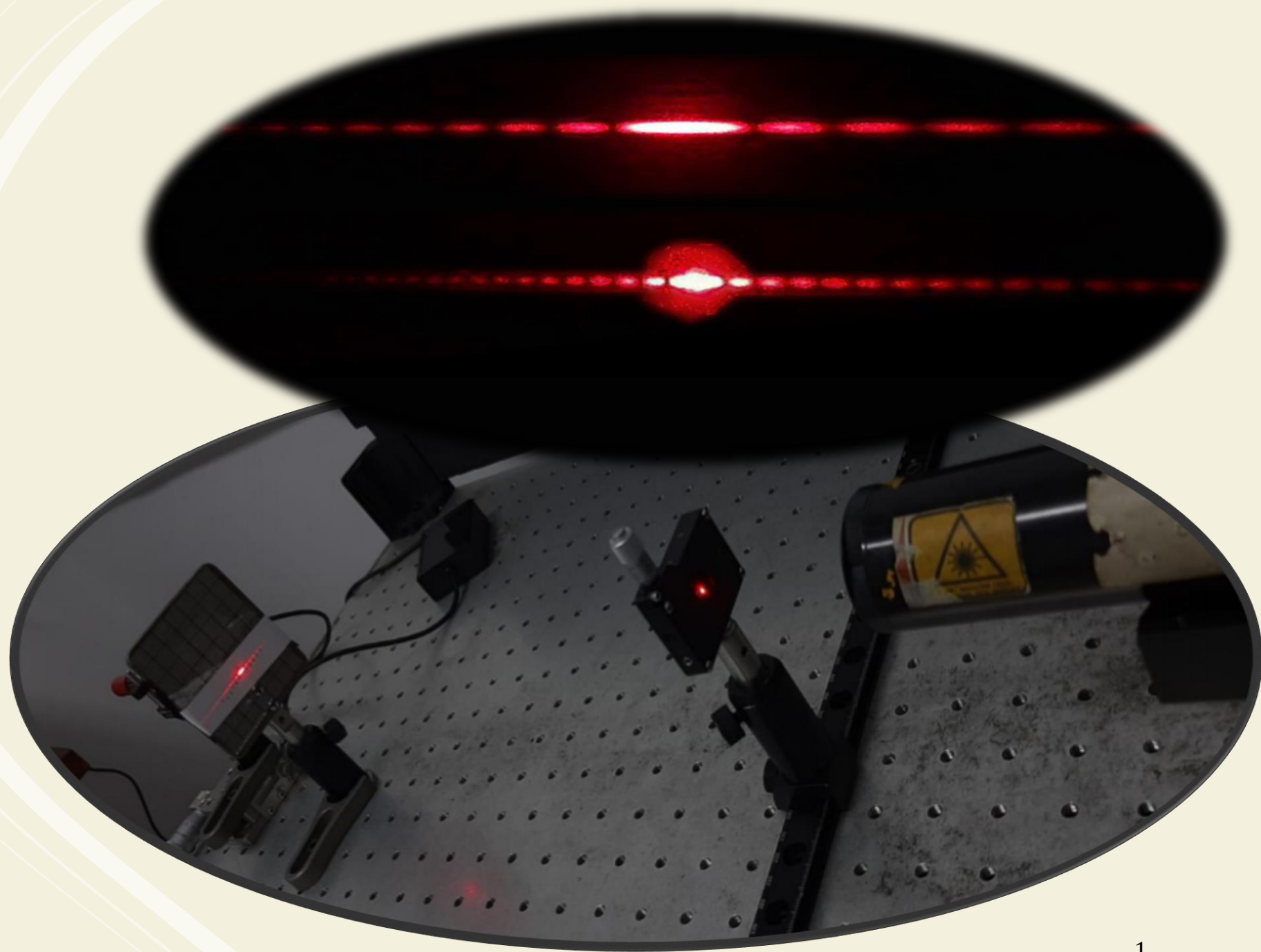


Laboratorio 2

1er cuatr. 2025

Clase 8
28/06/2025
Óptica (2)
Difracción



- ✓ En la clase pasada nos hemos introducido en la característica ondulatoria de la luz presentándola como una onda electromagnética.
- ✓ Nos dedicamos a analizar un laser como fuente de luz monocromática y coherente. En particular nos centramos en el diodo laser.
- ✓ También nos hemos familiarizado con el uso de fotodetectores.
- ✓ Hemos verificado el concepto de transmitancia cuando usamos filtros.
- ✓ Hemos caracterizado la polarización del diodo laser del laboratorio.
- ✓ Comprobamos la Ley de Malus.

- ✓ Hoy continuaremos con el estudio de ondas luminosa y nos introduciremos en el **fenómeno de difracción**.
- ✓ Analizaremos la difracción considerando los cambios que se observan en la imagen generada por un objeto difractante cuando la observación se realiza bajo diferentes condiciones experimentales.
- ✓ Mostraremos el formalismo en las condiciones de campo lejano (Fraunhofer).
- ✓ Realizaremos experiencias que permiten verificar la difracción de campo lejano :

Difracción por una rendija

Difracción por un filamento

- ✓ ¿Son complementarias?

Hoy realizaremos la experiencia de **Difracción por una rendija**.

La idea es explorar el diagrama de difracción en condiciones de Fraunhofer (campo lejano).

Según el **principio de Huygens-Fresnel**, cada punto sin obstrucción de un frente de ondas, en un instante de tiempo determinado, actúa como una fuente emisora esférica secundaria con la misma frecuencia que el frente primario.

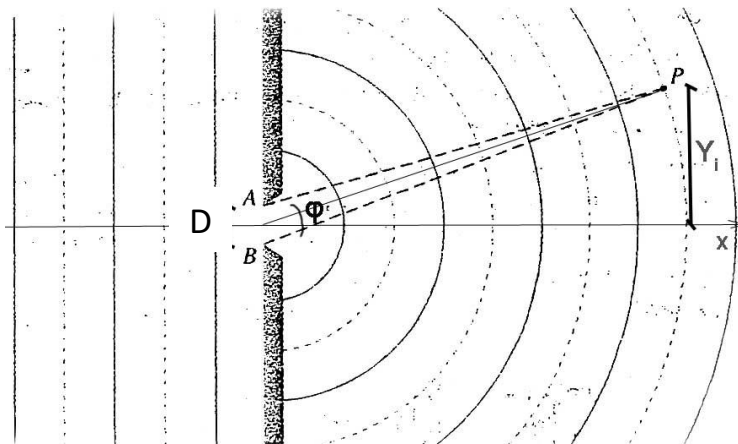


La amplitud en un punto lejano a estas fuentes secundarias es la superposición de las amplitudes de las mismas.

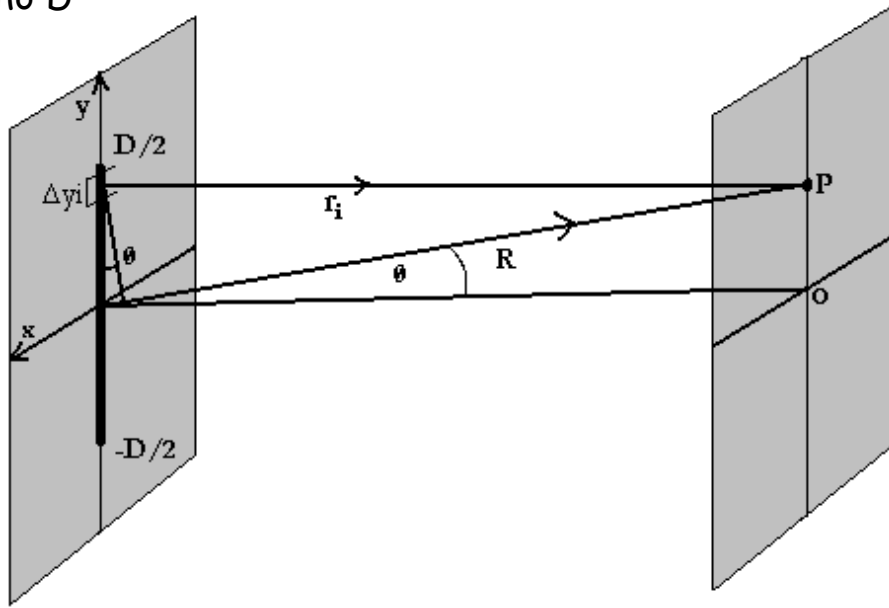


Las condiciones de difracción de **Fraunhofer** :

Un frente de onda primario plano incidente sobre la abertura, y un punto P de superposición de los frentes secundarios están lo suficientemente alejado para considerar dichos frentes planos



Rendija de
ancho D



Partimos de una fuente continua lineal coherente (**es decir un continuo finito de ondas secundarias coherentes para una rendija larga**).

Cada fuente secundaria del continuo emite una onda esférica cuyo campo eléctrico se puede escribir

$$E = \left(\frac{\varepsilon_0}{r} \right) \text{sen}(\omega t - kr)$$

ε_0 = eficacia de la fuente

r = distancia del elemento Δy de la rendija hacia la pantalla de observación.

N = número de fuentes

$\Delta y_i \frac{N}{D}$ Numero de fuentes en el segmento Δy_i

M = Número de segmentos Δy_i

$$E_i = \left(\frac{N \Delta y_i}{D} \right) \left(\frac{\varepsilon_0}{r_i} \right) \text{sen}(\omega t - kr_i)$$

Contribución del segmento i-esimo a
la intensidad del campo eléctrico

$$\varepsilon_L = \frac{1}{D} \lim_{N \rightarrow \infty} (\varepsilon_0 N)$$

eficacia de la fuente
por unidad de longitud

$$E = \sum_{i=1}^M \frac{\varepsilon_L}{r_i} \text{sen}(\omega t - kr_i) \Delta y_i$$

Campo eléctrico neto en P

Imponiendo la condición de fuente continua ($\Delta y_i \rightarrow 0, M \rightarrow \infty$) la suma se convierte en la integral:

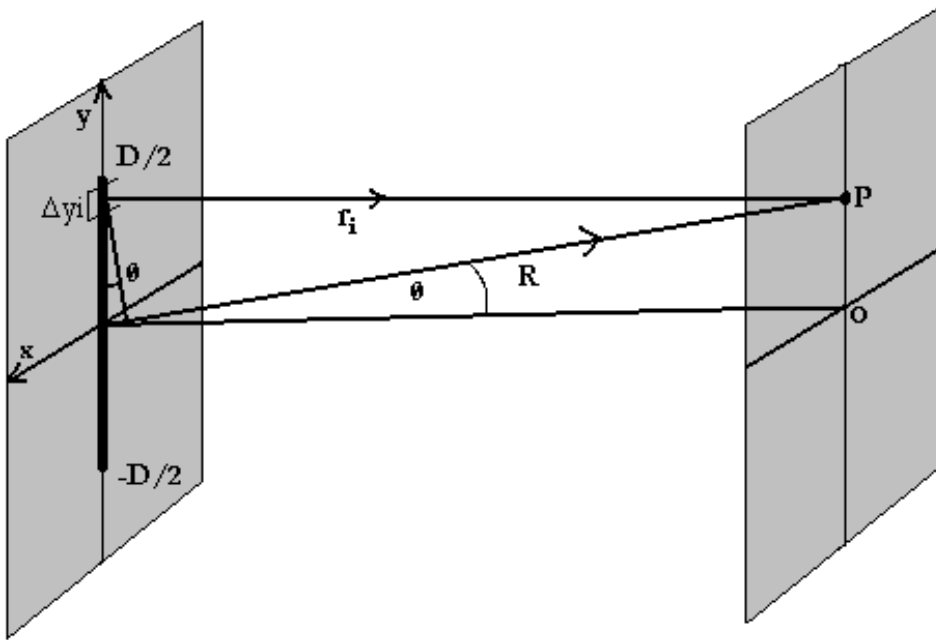
$$E = \sum_{i=1}^M \frac{\varepsilon_L}{r_i} \sin(\omega t - kr_i) \Delta y_i \quad \longrightarrow \quad E = \varepsilon_L \int_{-D/2}^{+D/2} \frac{\sin(\omega t - kr)}{r} dy \quad r = r(y)$$

P está muy lejos de la rendija (fuente lineal coherente):

$R \gg D \longrightarrow r(y)$ nunca se desvía mucho de su valor medio R

$$dE = \frac{\varepsilon_L}{R} \underbrace{\sin(\omega t - kr)}_{\text{Contribución del segmento } \Delta y \text{ al campo eléctrico en P}} dy$$

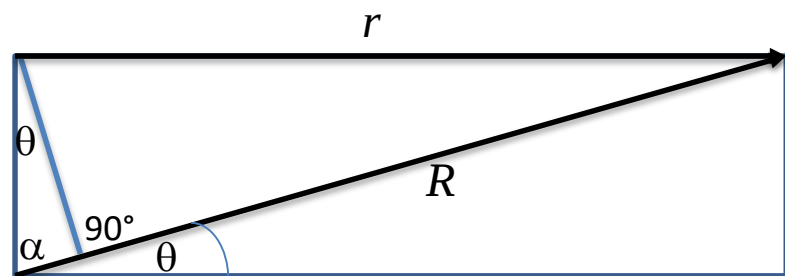
La fase es mucho más sensible
a las variaciones de $r(y)$
que la amplitud



S2

y

S1



$$180^\circ = 90^\circ + \alpha + \theta$$

$$\alpha = 90^\circ - \theta \rightarrow \cos \alpha = \sin \theta$$

Aplicando la ley de cosenos al triángulo S1 S2

$$r^2 = R^2 + y^2 - 2Ry \cos \alpha$$

$$\frac{r}{R} = \left[1 + \left(\frac{y}{R} \right)^2 - 2 \left(\frac{y}{R} \right) \sin \theta \right]^{1/2}$$

aplicando series de Maclaurin

$$r = R - y \sin \theta + \cancel{\left(\frac{y^2}{2R} \right) \cos^2 \theta} + \dots$$



$$r \approx R - y \sin \theta$$

$$E = \varepsilon_L \int_{-D/2}^{+D/2} \frac{\sin(\omega t - kr)}{r} dy$$

$$E = \frac{\varepsilon_L}{R} \int_{-D/2}^{+D/2} \sin[\omega t - k(R - y \sin \theta)] dy$$

Resolviendo la integral

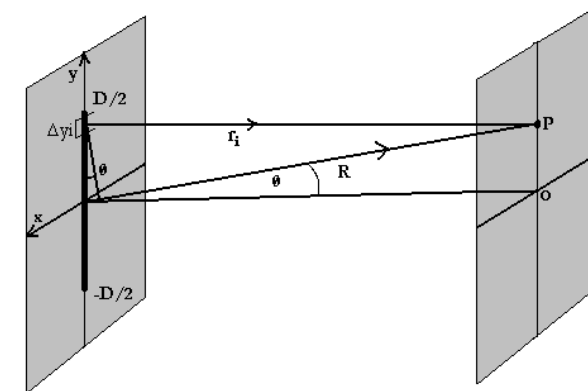


$$E = \frac{\varepsilon_L D}{R} \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right) \sin(\omega t - kR)$$

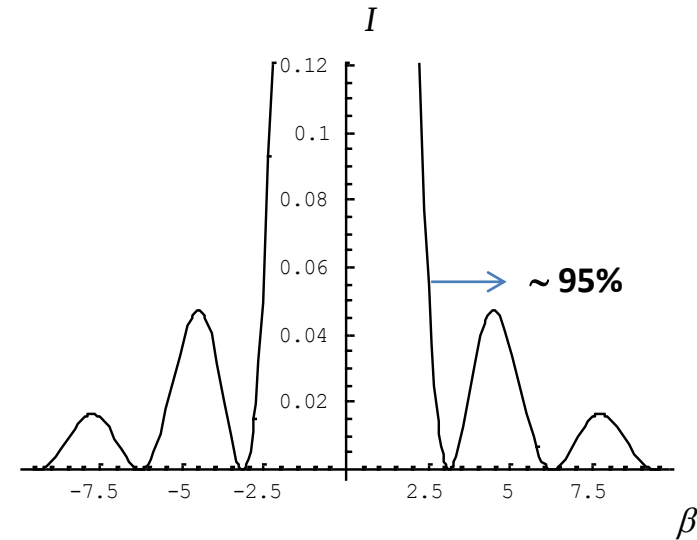
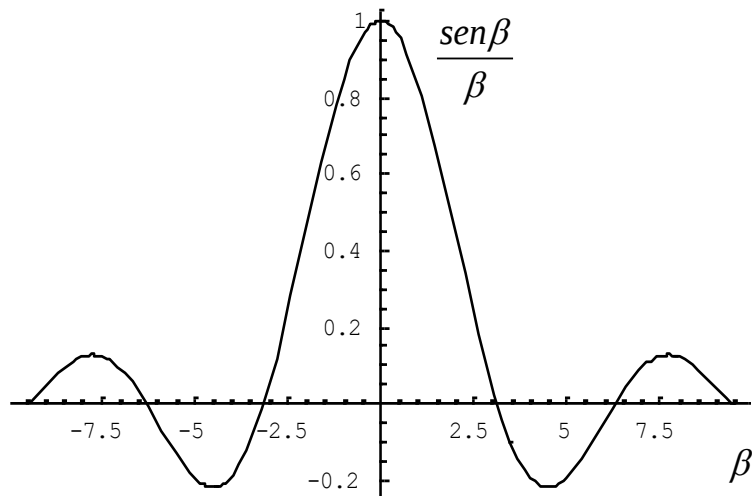
$$\beta(\theta) = \left(\frac{kD}{2} \right) \sin \theta$$

Entonces la irradiancia es $I(\theta) = \langle E^2 \rangle$

$$I = I_o \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \quad I_o = \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_L D}{R} \right)^2$$



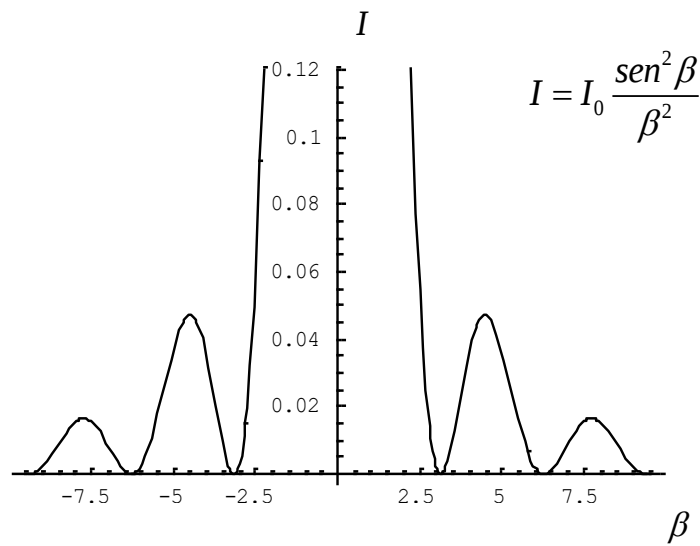
$$I = I_0 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2}$$



$$\frac{dI}{d\beta} = 0 \longrightarrow \frac{dI}{d\beta} = I_0 \frac{2 \sin \beta (\beta \cos \beta - \sin \beta)}{\beta^3} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \beta = \pm\pi, \pm2\pi, \pm3\pi \\ \beta = \tan \beta \end{array} \right.$$

$$\beta(\theta) = \left(\frac{kD}{2} \right) \sin \theta$$

De la posición de máximos y mínimos se obtiene θ y luego conociendo β y λ se puede evaluar el ancho de la ranura.



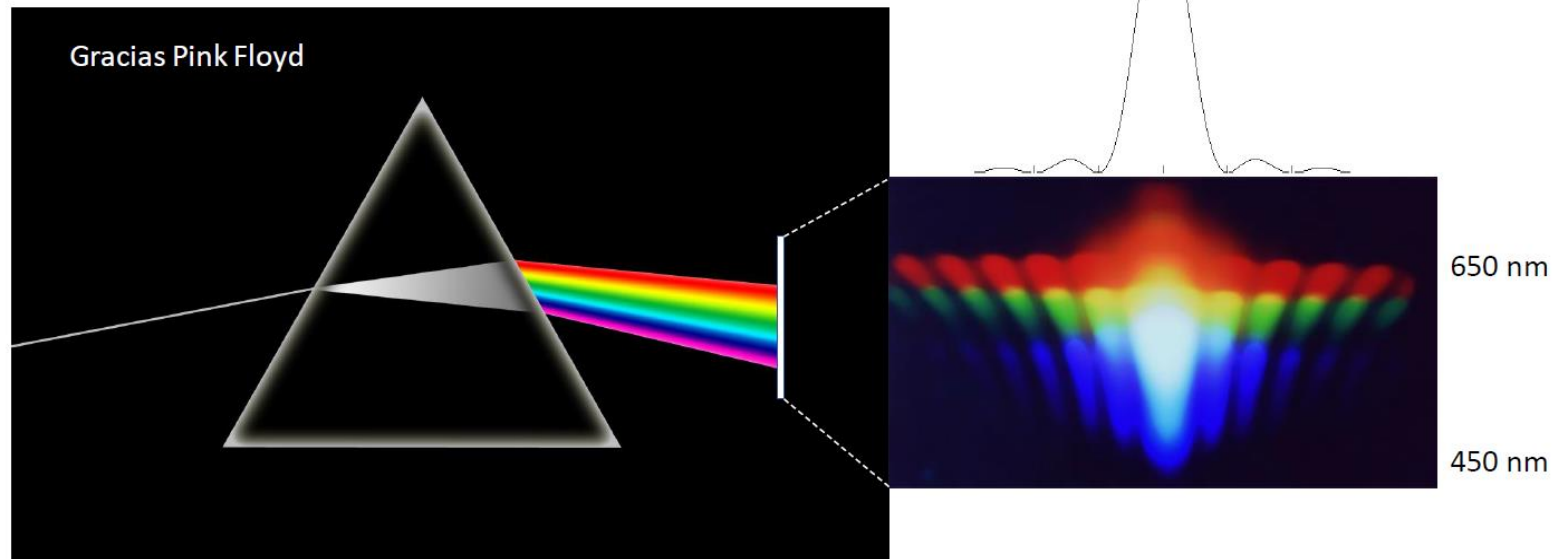
$$\beta = \pm\pi, \pm2\pi, \pm3\pi$$

$$\beta = \tan \beta$$

$$\beta(\theta) = \left(\frac{kD}{2} \right) \sin \theta$$



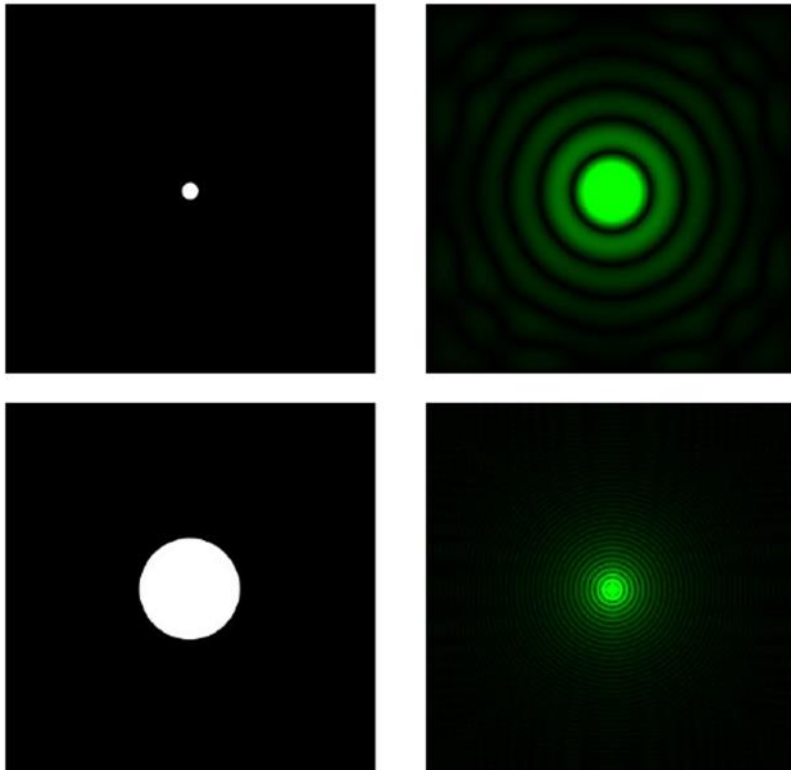
La posición de máximos y mínimos depende de la longitud de onda λ



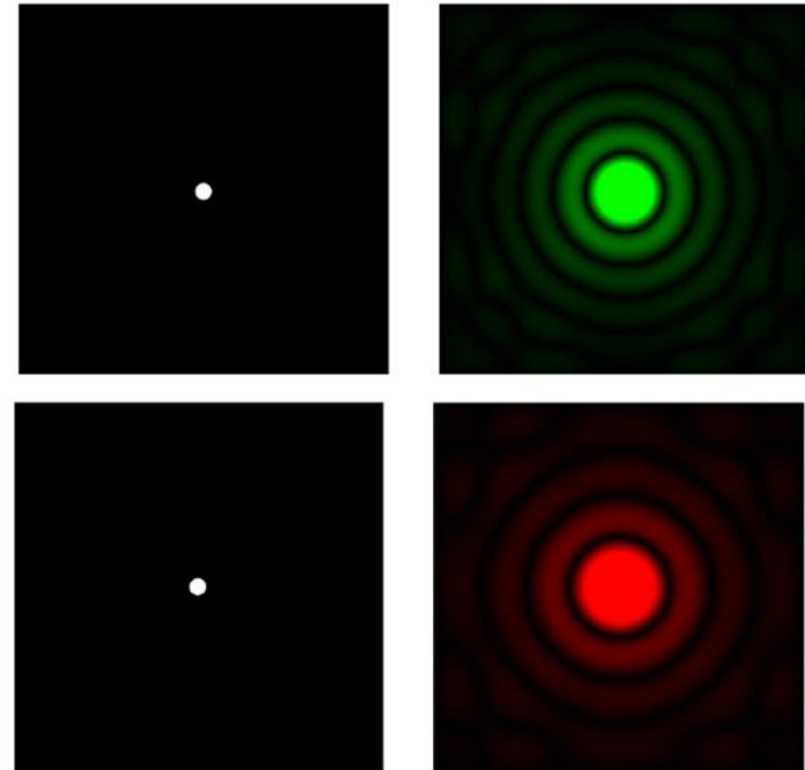
Algunas propiedades la Transformada de Fourier

- La figura de difracción es la transformada de Fourier de la fuente.
- Es inversamente proporcional al tamaño del objeto.
- Es directamente proporcional a la longitud de onda.

Cambio de tamaño del objeto difractor

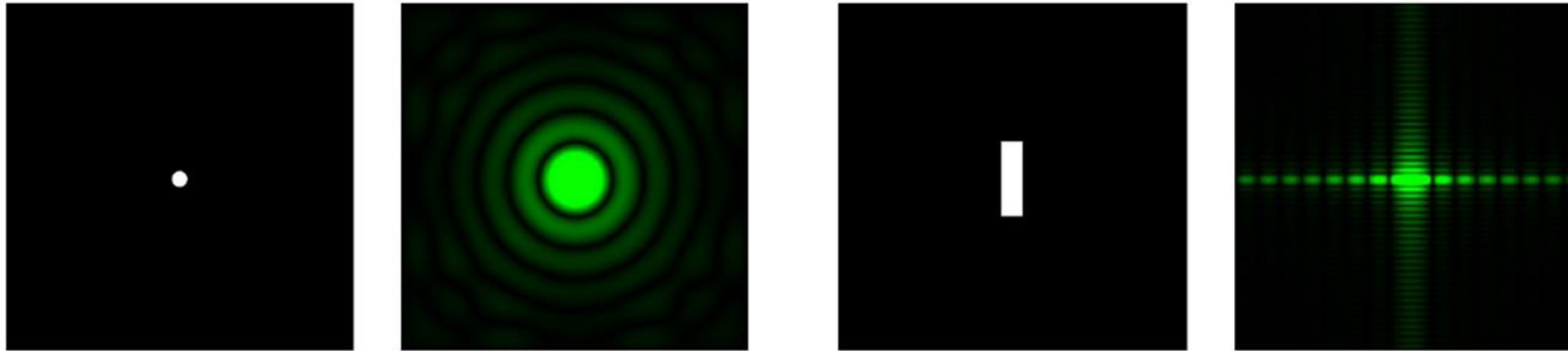


Cambio de longitud de onda

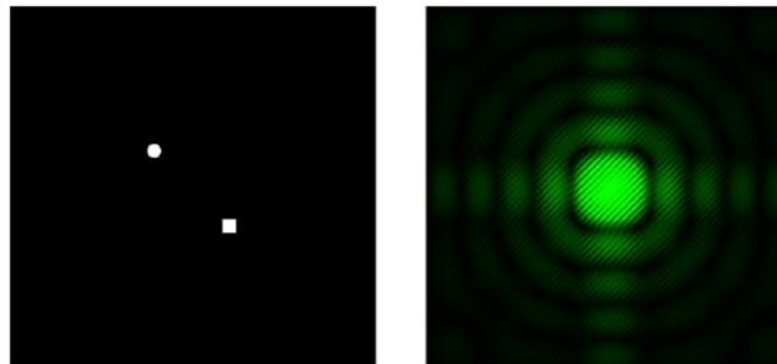


Algunas propiedades la Transformada de Fourier

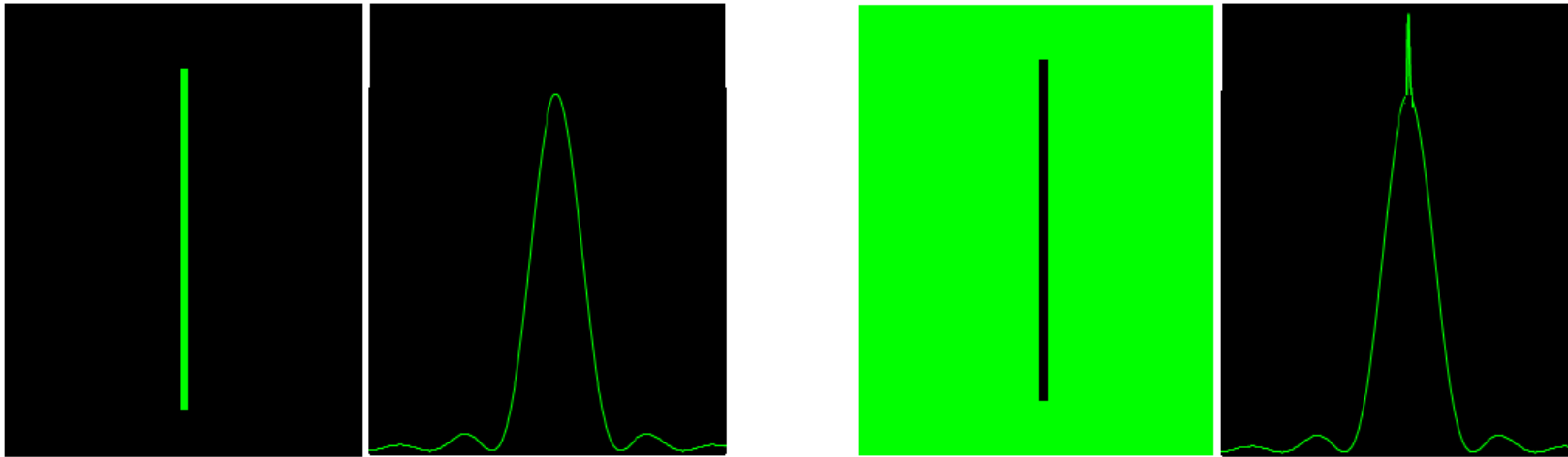
- La Transformada de Fourier del objeto difractor obviamente depende de la forma del mismo.



- El centro de la Transformada de Fourier sólo depende de la posición de la fuente (corresponde a la imagen de la misma) y no de la ubicación del objeto difractor.

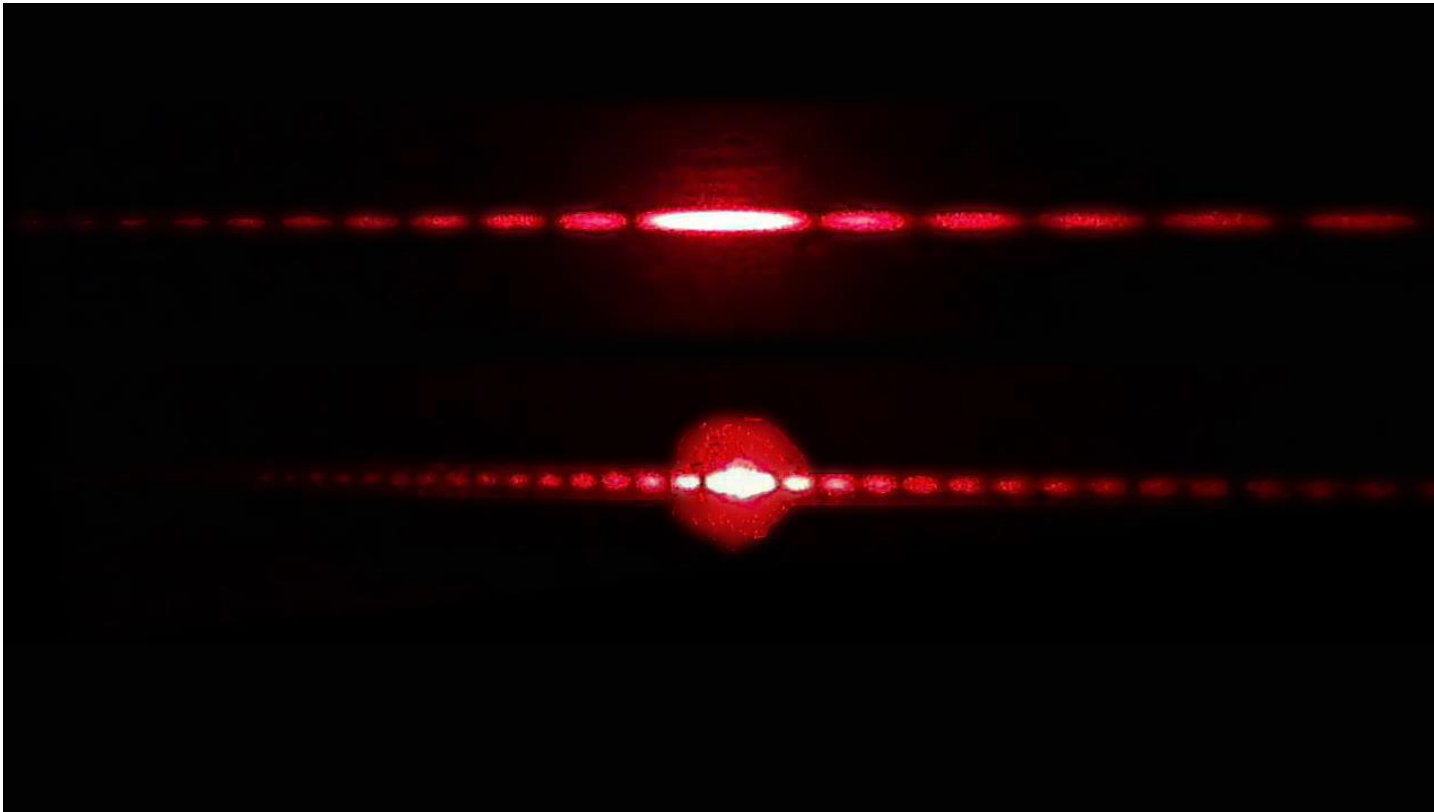


- Objetos complementarios tienen la misma figura de difracción ¿?



Objetivo de la experiencia

- Verificar si objetos complementarios tienen la misma figura de difracción.
- ¿ Son similares las figuras de difracción producidas por un alambre y una ranura?
- ¿ Hay algún ancho de la ranura para el cual ambas figuras coincidan?
- ¿ Será válida la ecuación que describe el ancho de una ranura en función de λ , D , R para calcular el diámetro del alambre?



Comprobarlo



Materiales para la experiencia



Light Sensor

(Order Code LS-BTA)



Specifications

Resolution:

13-bit (with SensorDAQ)

0-600 lux:	0.1 lux
0-6000 lux:	1 lux
0-150000 lux:	25 lux

12-bit (with LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, LabPro, Go! Link, EasyLink, TI-Nspire Lab Cradle, ULI, or Serial Box Interface)

0-600 lux:	0.2 lux
0-6000 lux:	2 lux
0-150000 lux:	50 lux

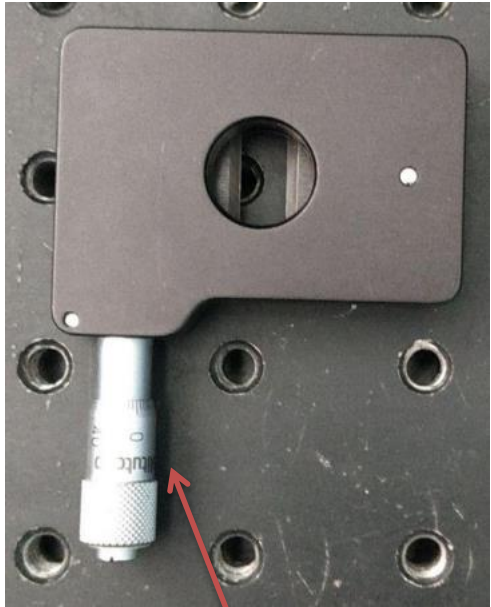
10-bit (with CBL 2)

0-600 lux:	0.8 lux
0-6000 lux:	8 lux
0-150000 lux:	200 lux

Stored calibration values

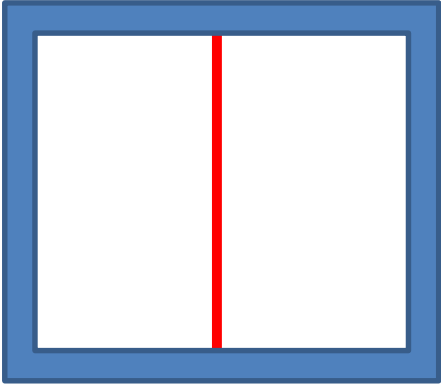
0-600 lux	slope:	154 lux/V
	intercept:	0 lux
0-6000 lux	slope:	1692 lux/V
	intercept:	0 lux
0-150000 lux	slope:	38424 lux/V
	intercept:	0 lux

Rendija de ancho variable

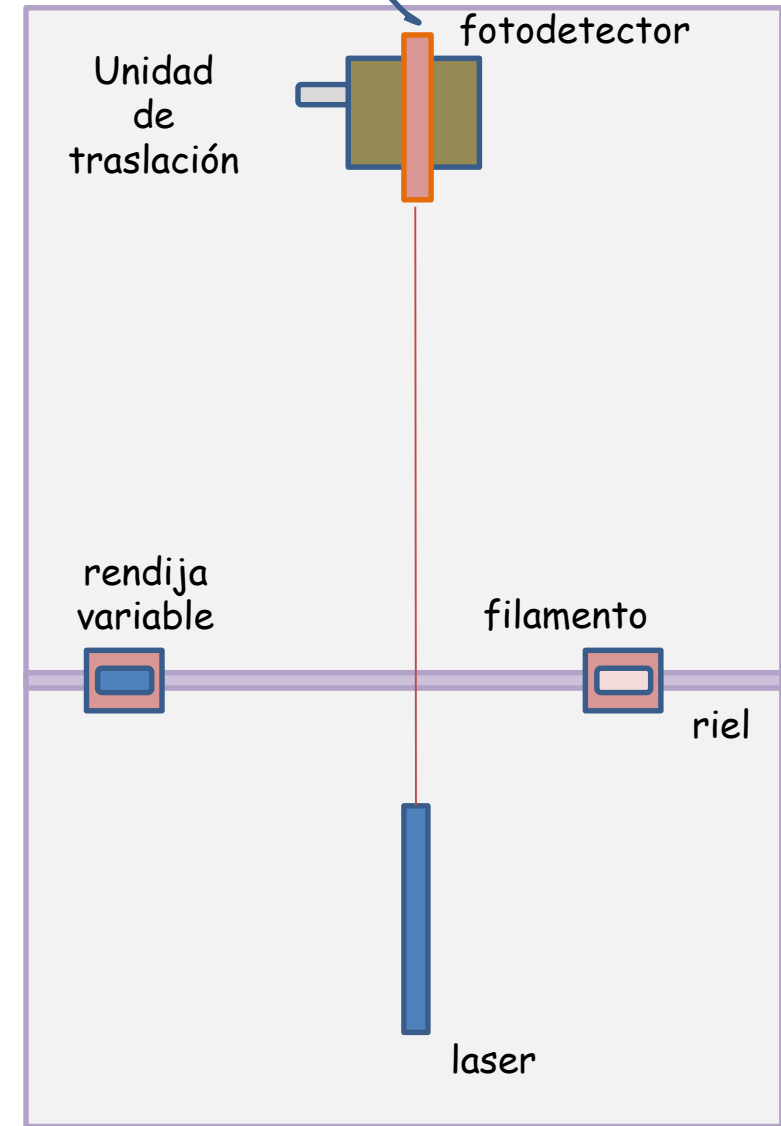
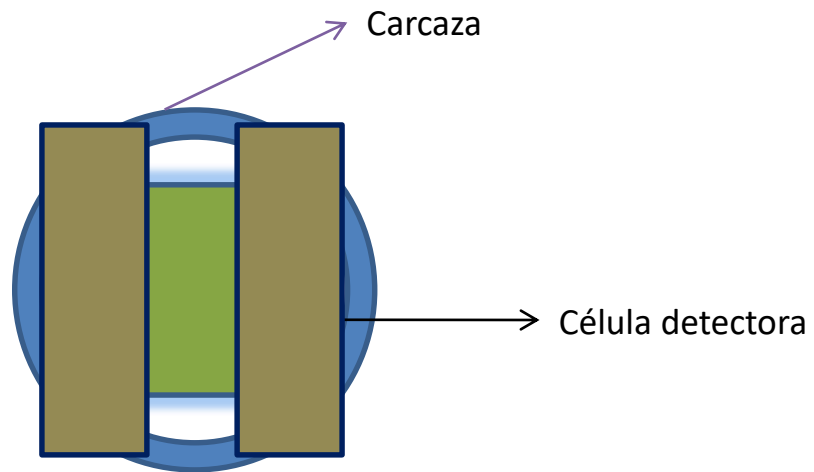


Tornillo micrométrico

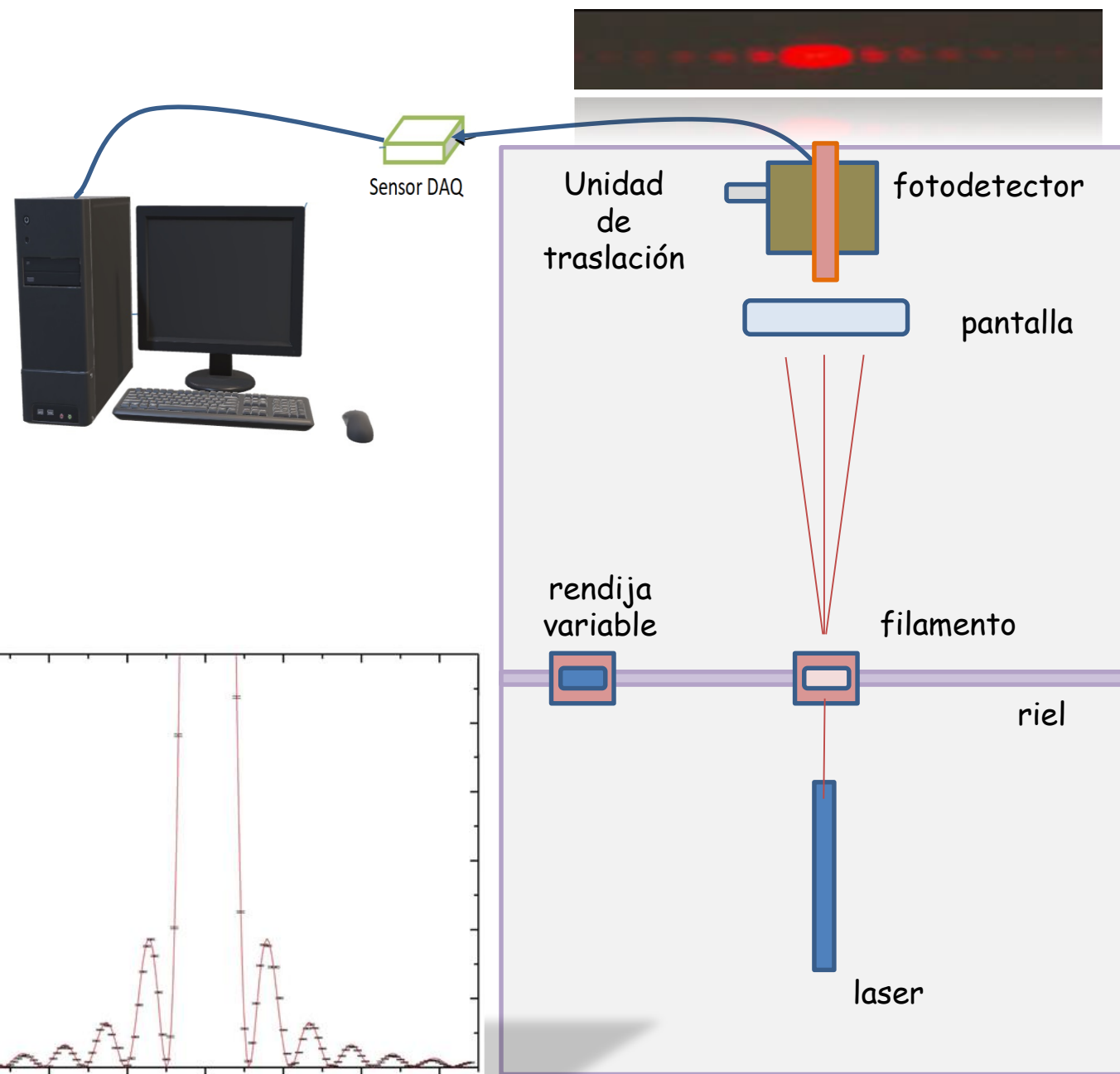
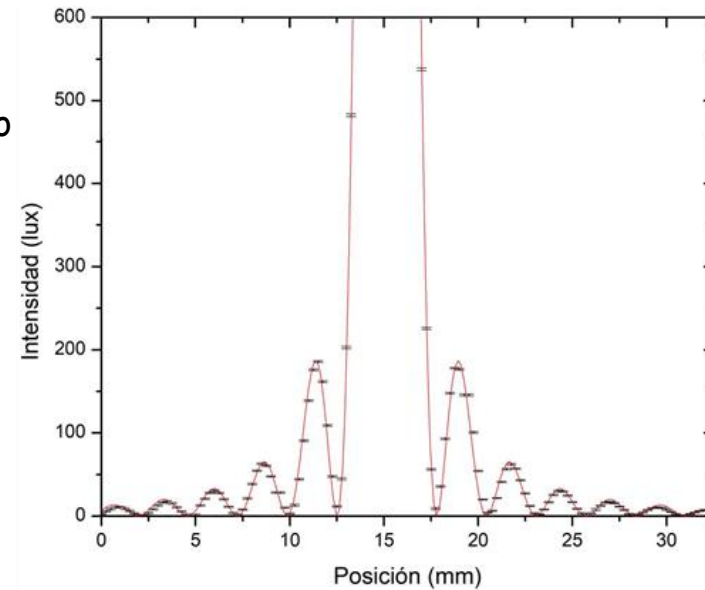
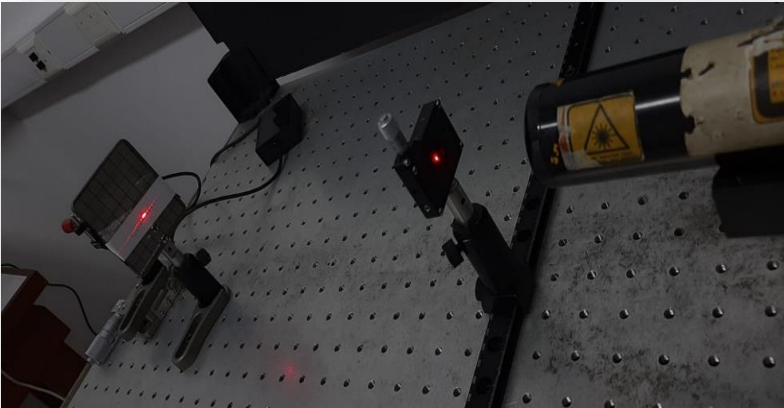
Filamento



- Alinear el centro del fotodetector con el haz del laser.
- Estrechar la sección de medición del fotodetector.
- Setear el fotodetector en una escala que no sature.



- Montar el filamento en el riel y alinearlo con el haz del laser.
- Obtener la figura de difracción en la pantalla.
- Marcar los máximos de intensidad en la hoja cuadriculada.
- Medir la distancia del filamento a la pantalla.
- Estimar el diámetro del alambre a partir de la teoría.
- Desplazar el filamento del centro del riel y colocar la rendija.
- Variar la apertura de la rendija hasta obtener los mismos máximos de intensidad en la pantalla.
- Retirar la pantalla y desplazar el fotodetector para levantar el perfil de difracción en función de la distancia (moviendo la unidad de traslación).
- Realizar lo mismo con el alambre.
- Comparar ambas figuras de difracción.
- Estimar el diámetro de la rendija del ajuste al modelo



Medición del diámetro del alambre

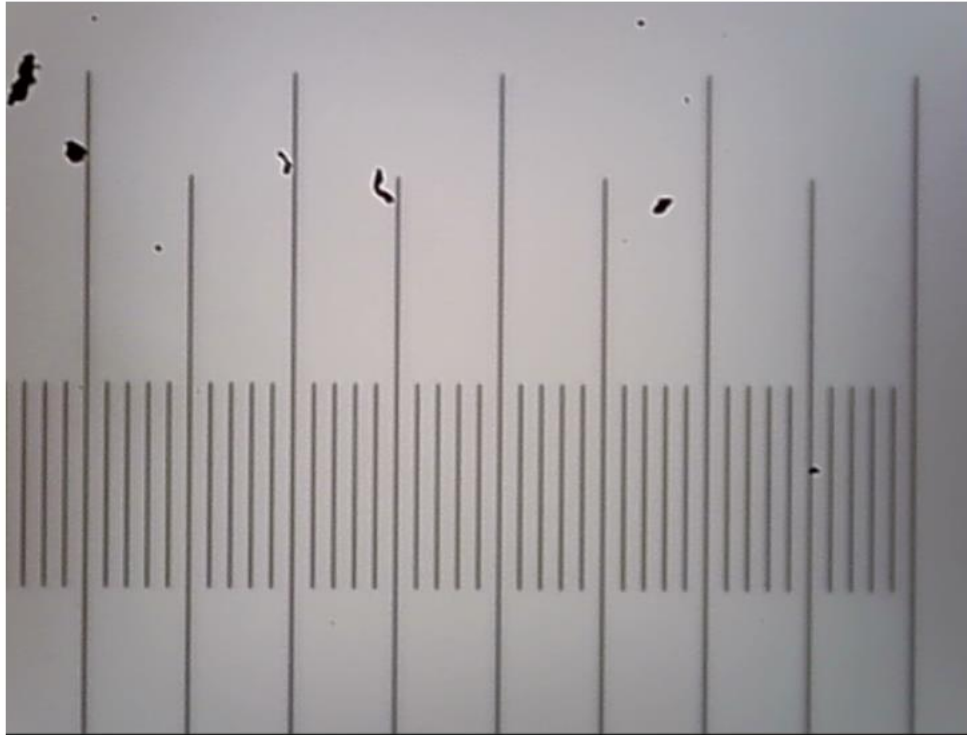


Fig 9.A. Foto capturada por la cámara del microscopio de la regla graduada de 10 μm

- Se utiliza un microscopio con cámara digital conectado a una PC
- Se toma una foto de una regla graduada con aumento establecido en el microscopio.
- Con el uso de ImageJ se calibra la relación entre una longitud y el número de píxeles.
- Sin cambiar el aumento del microscopio, se toma una foto del alambre usado en la práctica.
- Se estima el diámetro del alambre



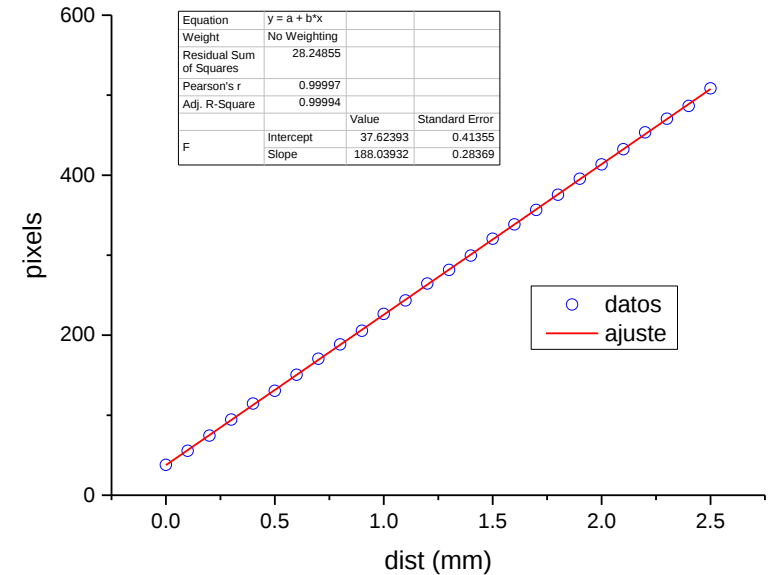
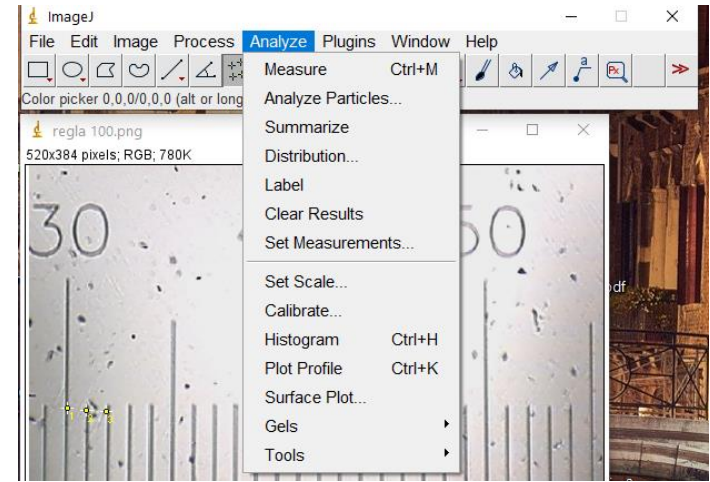
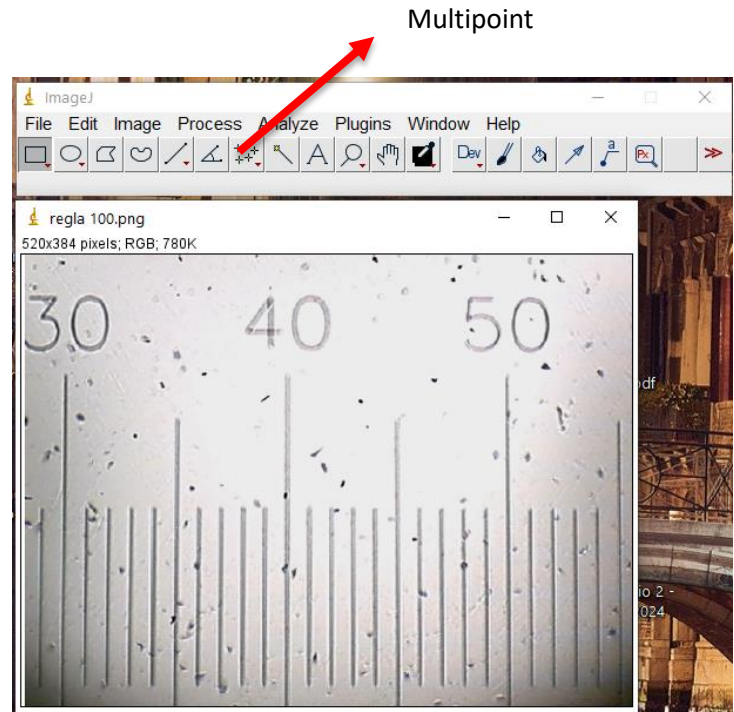
Fig 9.B. Foto capturada por la cámara del microscopio del alambre utilizado

1. Importar la imagen de la regla en Image J.
2. Presionar Multipoint.
3. Con el cursor ubicarse en un punto de la regla (puede ser la primera a la derecha) y dar click.
4. Desplazarse al segunda línea y repetir.
5. Hacer esto hasta la última línea.
6. Ir a **Analyze → Measurements** y se despliega una tabla que se puede grabar como .csv

Results

File	Edit	Font	Results			
	Area	Mean	Min	Max	X	Y
1	0	150	150	150	38.000	213.000
2	0	209	209	209	55.500	212.500
3	0	178	178	178	74.500	214.500
4	0	172	172	172	94.500	215.500
5	0	209	209	209	114.500	214.500
6	0	157	157	157	130.500	218.500
7	0	149	149	149	150.500	216.500
8	0	172	172	172	170.500	219.500
9	0	178	178	178	188.500	219.500
10	0	167	167	167	205.500	219.500
11	0	182	182	182	226.500	216.500
12	0	174	174	174	243.500	218.500
13	0	198	198	198	264.500	217.500
14	0	184	184	184	281.500	217.500
15	0	162	162	162	299.500	217.500
16	0	190	190	190	320.500	217.500
17	0	181	181	181	338.500	219.500
18	0	162	162	162	356.500	217.500
19	0	146	146	146	375.500	217.500
20	0	164	164	164	395.500	218.500
21	0	118	118	118	413.500	218.500
22	0	107	107	107	432.500	219.500
23	0	238	238	238	453.500	217.500
24	0	114	114	114	470.500	221.500
25	0	168	168	168	486.500	220.500
26	0	96	96	96	508.500	222.500

7. La distancia entre líneas corresponde 100 micrones. Y cada línea avanza 100 micrones respecto de la anterior
8. Graficar pixeles vs distancia (X)
9. La pendiente de la recta es la constante de calibración





¿ PREGUNTAS ?