

# DIFRACCIÓN

- Sommerfeld define la difracción como *cualquier desviación de los rayos de luz de su propagación rectilínea y que no puedan ser interpretados como reflexión o refracción*
- El primero en reportar este fenómeno fue Grimaldi en una publicación del año 1665.
- Huygens, en 1678, enunció de forma intuitiva que *cada punto de un frente de ondas primario sirve como fuente de onditas esféricas secundarias tales que el frente de ondas primario, un instante después, es la envolvente de dichas onditas. Además, las onditas avanzan con una rapidez y frecuencia igual a la de la onda primaria en cada punto del espacio*. Sin embargo esto no basta para explicar la difracción
- Durante los años 1801-1803 Young presentó su principio de interferencia

## Principio de Huygens – Fresnel (1818)

*Cada punto sin obturación de un frente de ondas, en un instante de tiempo dado, sirve como una fuente de onditas esféricas secundarias, de la misma frecuencia de la onda primaria. La amplitud del campo óptico en cualquier punto adelante, es la superposición de todas estas onditas considerando sus amplitudes y fases relativas.*

Fresnel introduce hipótesis ad hoc:

- La amplitud de las onditas secundarias difiere de la incidente en un factor  $\lambda^{-1}$ .
- La amplitud se halla también modulada por un factor llamado de oblicuidad.
- Existe un desfase de  $90^\circ$  entre la onda incidente y la emisión de la onda secundaria.

## Formulación de Kirchhof (1882) - Rayleigh – Sommerfeld (1894)

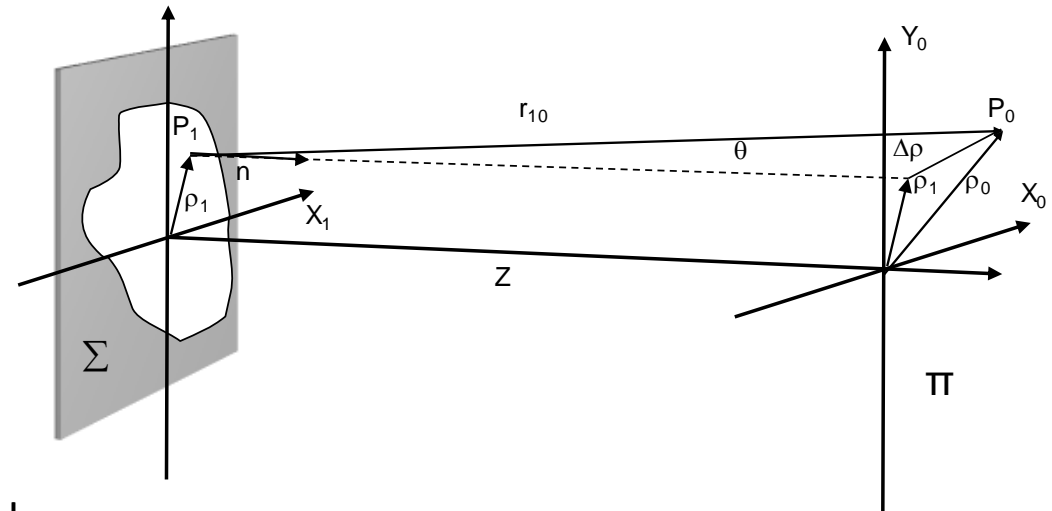
Surge de resolver en forma exacta las ecuaciones de Maxwell (1864)

$$E(P_0) = \frac{1}{i\lambda} \iint_{\Sigma} E(P_1) \frac{\exp(ikr_{10})}{r_{10}} \cos(n, \hat{r}_{10}) dS$$

desfasaje de  $-90^\circ$   
y decaimiento  $1/\lambda$

ondas esféricas

factor de oblicuidad



## Aproximación de Fresnel y Fraunhofer

Surgen de las aproximaciones que se hagan en las ondas esféricas

$$E(P_0) = \frac{1}{i\lambda} \iint_{\Sigma} E(P_1) \frac{\exp(ikr_{10})}{r_{10}} \cos(n, \hat{r}_{10}) dS$$

Dado que  $r_{10} \gg \lambda$  ese término varía lentamente en amplitud y rápidamente en fase

### Aproximación de Fresnel

$$E(P_0) = \frac{\exp(ikz)}{i\lambda z} \iint_{\Sigma} E(x_1, y_1) \exp\left(i \frac{k}{2z} \left[ (x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 \right]\right) dx_1 dy_1$$

Se aproxima la onda esférica por superficies cuadráticas

## Aproximación de Fraunhofer

fase global

$$E(x_0, y_0) = \frac{\exp(ikz)}{i\lambda z} \exp\left(i\frac{k}{2z}(x_0^2 + y_0^2)\right).$$

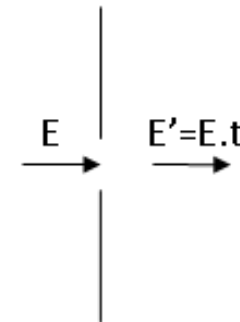
$$\iint_{\Sigma} E(x_1, y_1) \exp\left(-i\frac{k}{z}[x_0x_1 + y_0y_1]\right) \exp\left(i\frac{k}{2z}(x_1^2 + y_1^2)\right) dx_1 dy_1$$

Transf. de Fourier de  $E(x_1, y_1)$  a menos del factor  $e^{i\frac{k}{2z}(x_1^2 + y_1^2)}$ . Se puede despreciar si:

i)  $e^{i\frac{k}{2z}(x_1^2 + y_1^2)} \cong 1 \Rightarrow z \gg \frac{k}{2}(x_1^2 + y_1^2)_{Max}$  **Condición difracción de Fraunhofer**

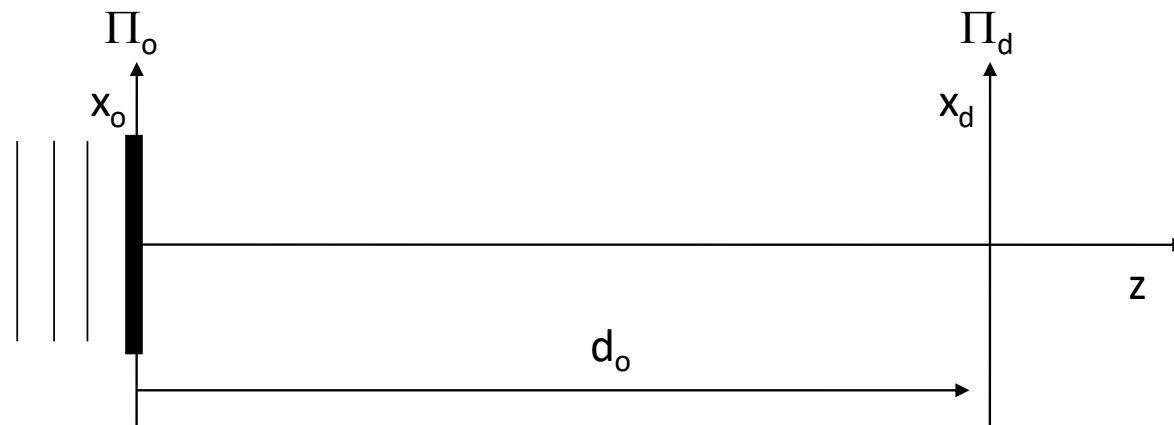
ii) En la abertura se pone una transmisión  $t(x_1, y_1) = e^{-i\frac{k}{2z}(x_1^2 + y_1^2)}$

**Lente convergente de focal  $f$**   $e^{-i\frac{k}{2f}(x_1^2 + y_1^2)}$



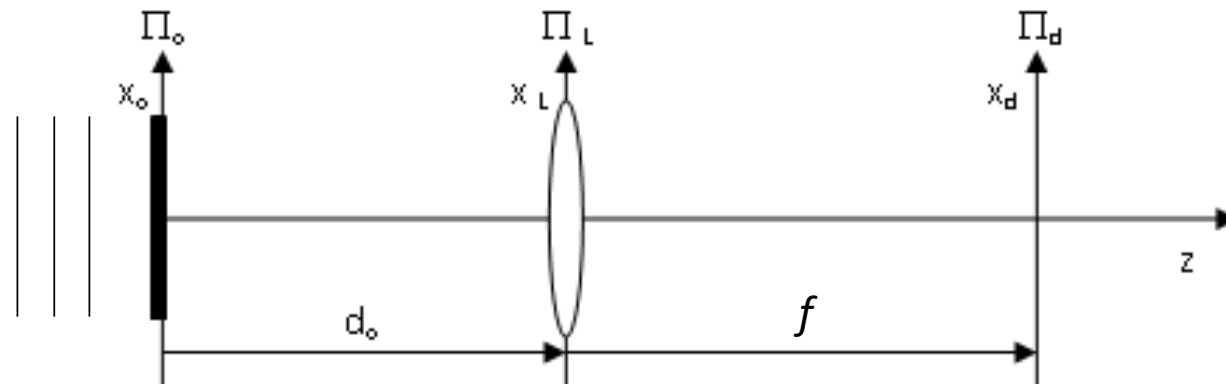
## Difracción en campo lejano (Fraunhofer)

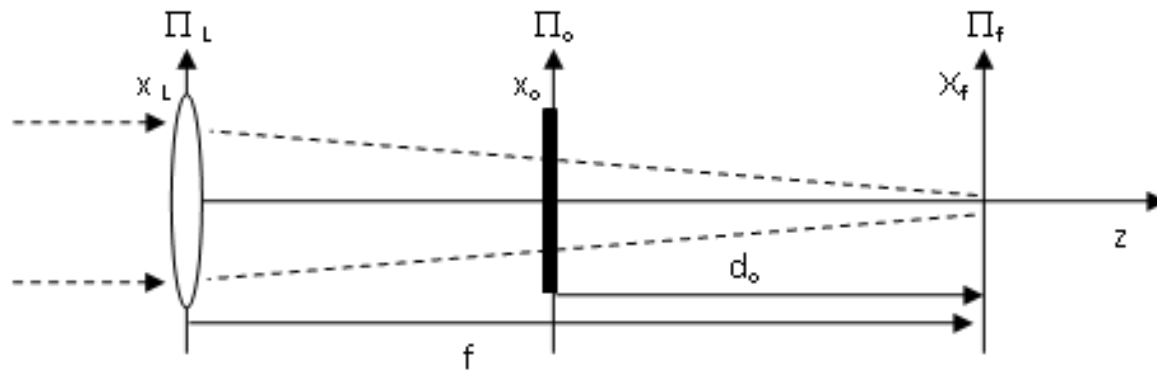
- Montaje elemental: fuente de luz y pantalla de observación muy distantes del objeto difractor



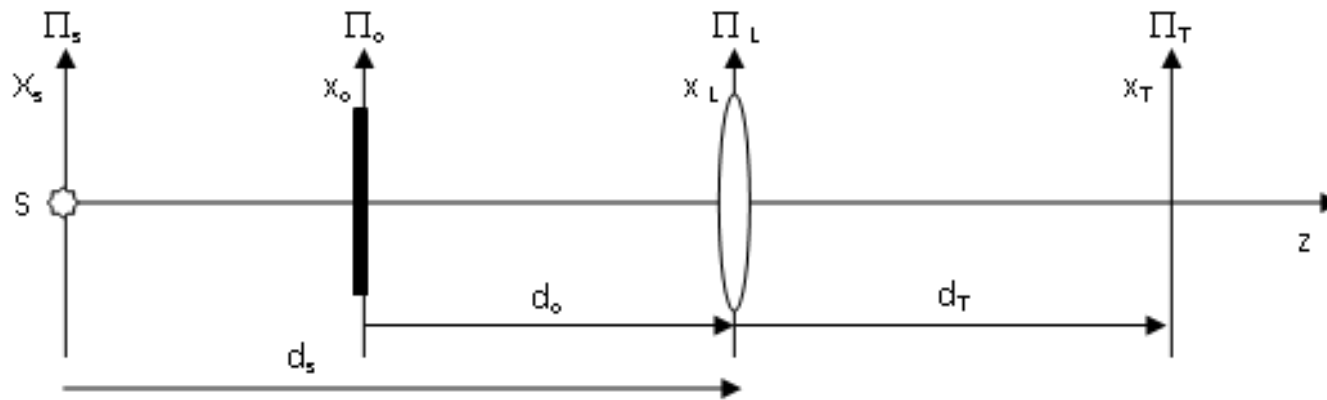
- Montajes con lentes

Si  $d_o = f \rightarrow$  TF exacta





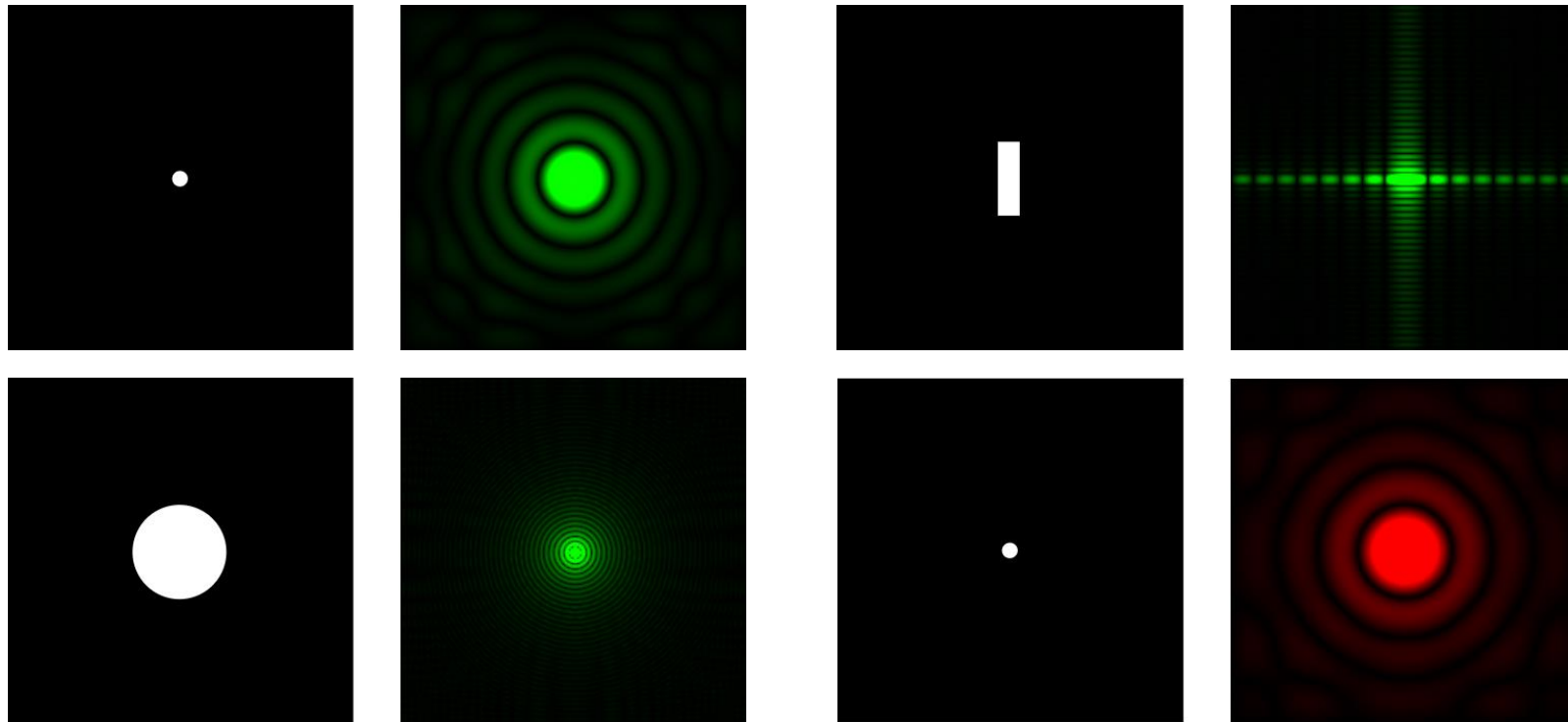
Se puede escalar la TF



La TF siempre se obtiene en el plano conjugado de la fuente

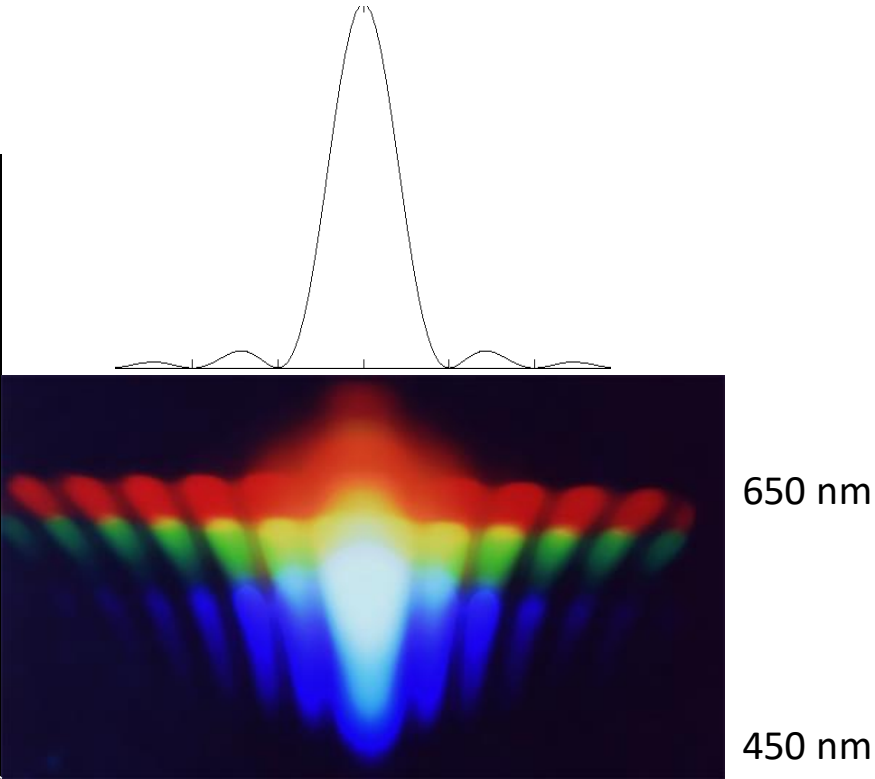
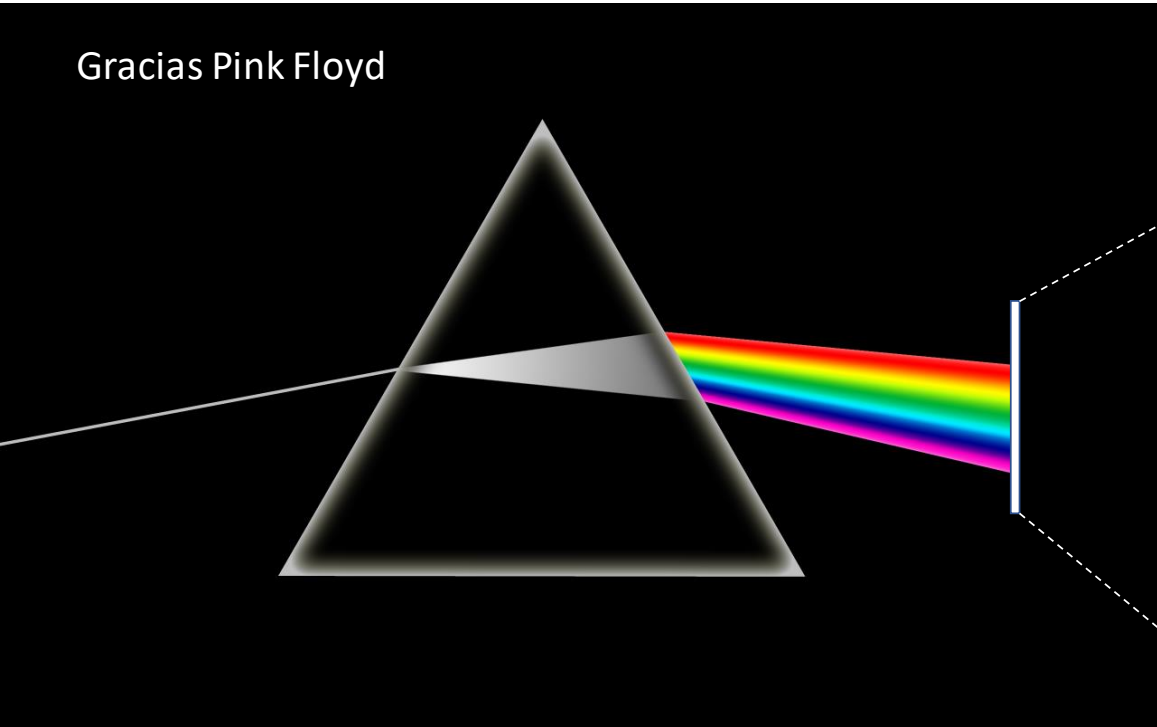
## Algunas propiedades de la TF

- El tamaño de la TF (en este caso la figura de difracción) es inversamente proporcional al tamaño del objeto y directamente proporcional a la longitud de onda

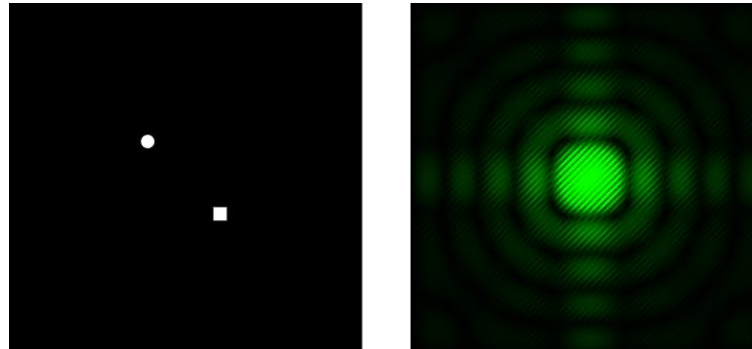




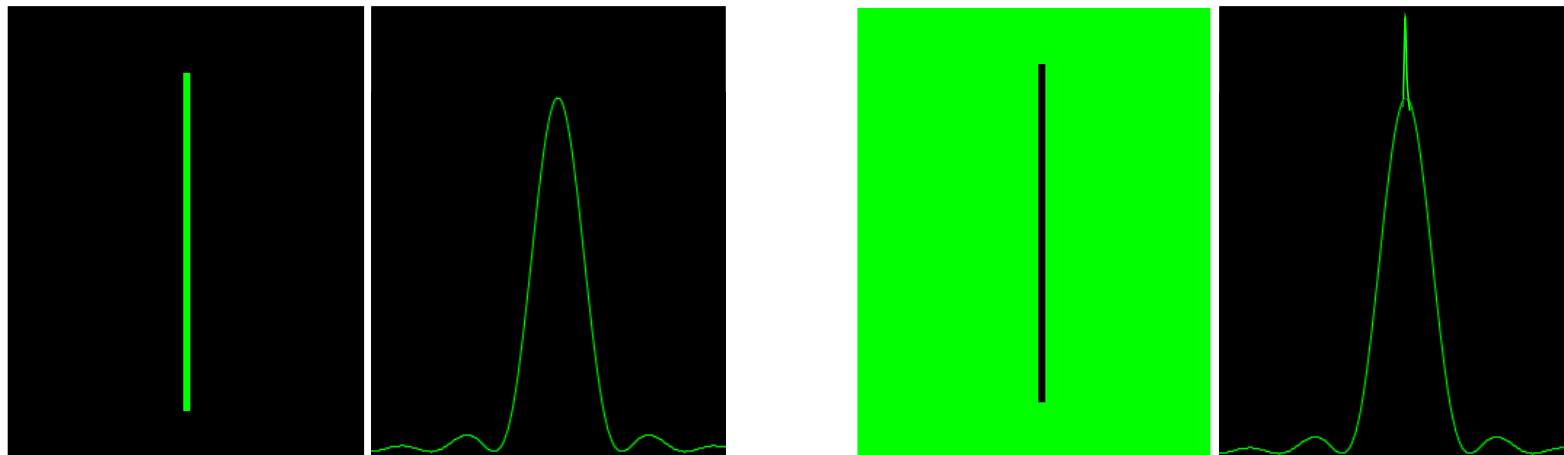
Difracción por una ranura vs lambda



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

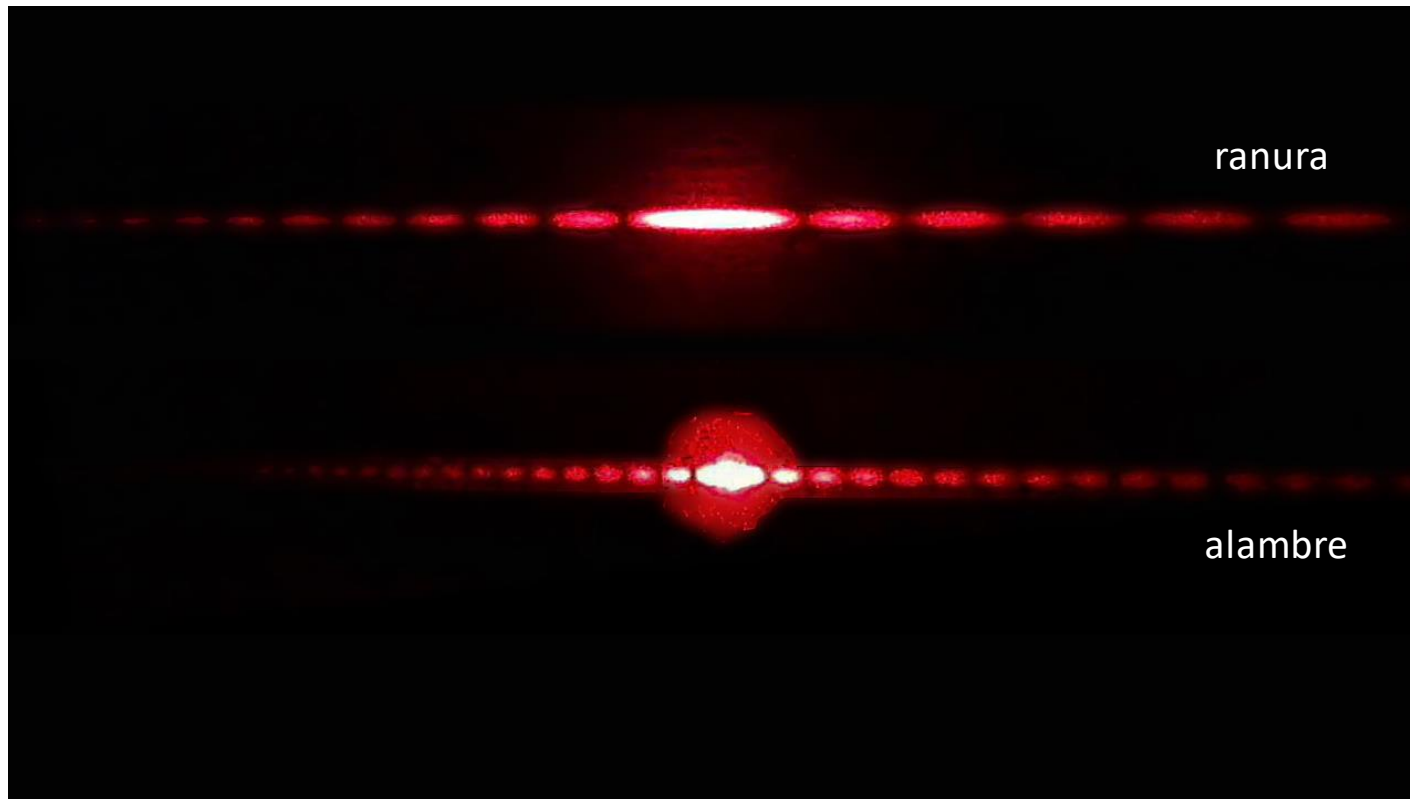


- Objetos complementarios tienen la misma figura de difracción ¿?



## Cálculo del diámetro de un alambre por 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  $\lambda$ ,  $D$ ,  $i$  para calcular el diámetro del alambre?



Comprobarlo



## Objetos complementarios tienen la misma figura de difracción

Esta propiedad viene explicada por el principio de Babinet. Habíamos visto que:

$$E(P_0) = \iint_{\Sigma} E(P_1) \frac{\exp(ikr_{10})}{i\lambda r_{10}} \cos(n, \hat{r}_{10}) dS = \iint_{\Sigma} E(P_1) f(r_{10}) dS$$

Podemos escribir  $E(P_1) = E(P_1)[1 - C(P_1)] + E(P_1)C(P_1)$   $C(P_1) \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$

$$E(P_0) = \iint_{\Sigma} E(P_1) [1 - C(P_1)] f(r_{10}) dS + \iint_{\Sigma} E(P_1) C(P_1) f(r_{10}) dS$$

Podemos pasar C a los límites de integración dado que es un factor de forma

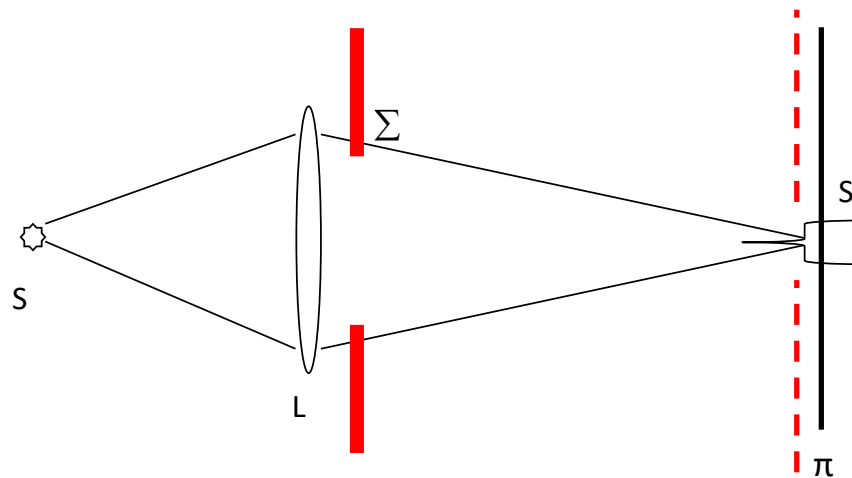
$$E(P_0) = \iint_{\Sigma} E(P_1) f(r_{10}) dS = \iint_{\Sigma'} E(P_1) f(r_{10}) dS + \iint_{\Sigma''} E(P_1) f(r_{10}) dS$$

$$\Rightarrow E_{\Sigma} = E_{\Sigma'} + E_{\Sigma''}$$

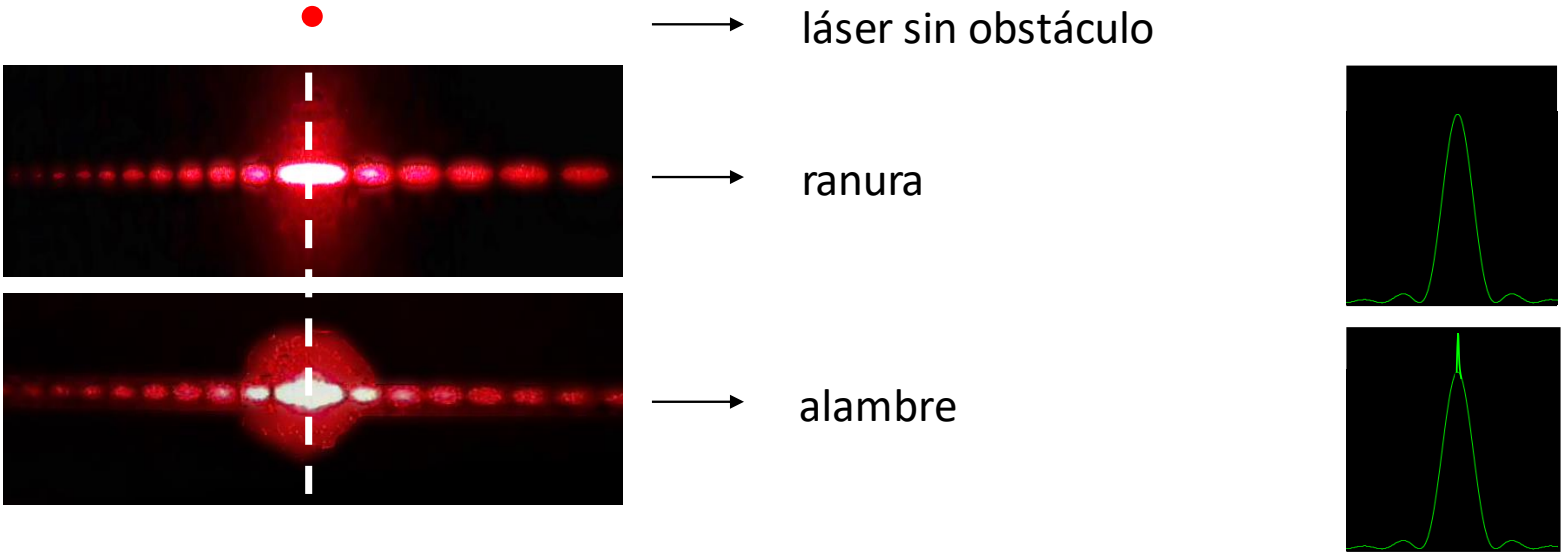
### Comentarios:

- Es evidente que si una de las pantallas es opaca, por ejemplo  $\Sigma'$ , entonces  $\Sigma''$  será totalmente transparente y producirá igual campo que  $\Sigma$
- El principio de Babinet vale punto a punto, por lo tanto si para un cierto  $P_0$  logramos hacer que  $E_{\Sigma}(P_0)=0$  entonces  $E_{\Sigma'}(P_0)=-E_{\Sigma''}(P_0) \implies$  van a tener igual intensidad

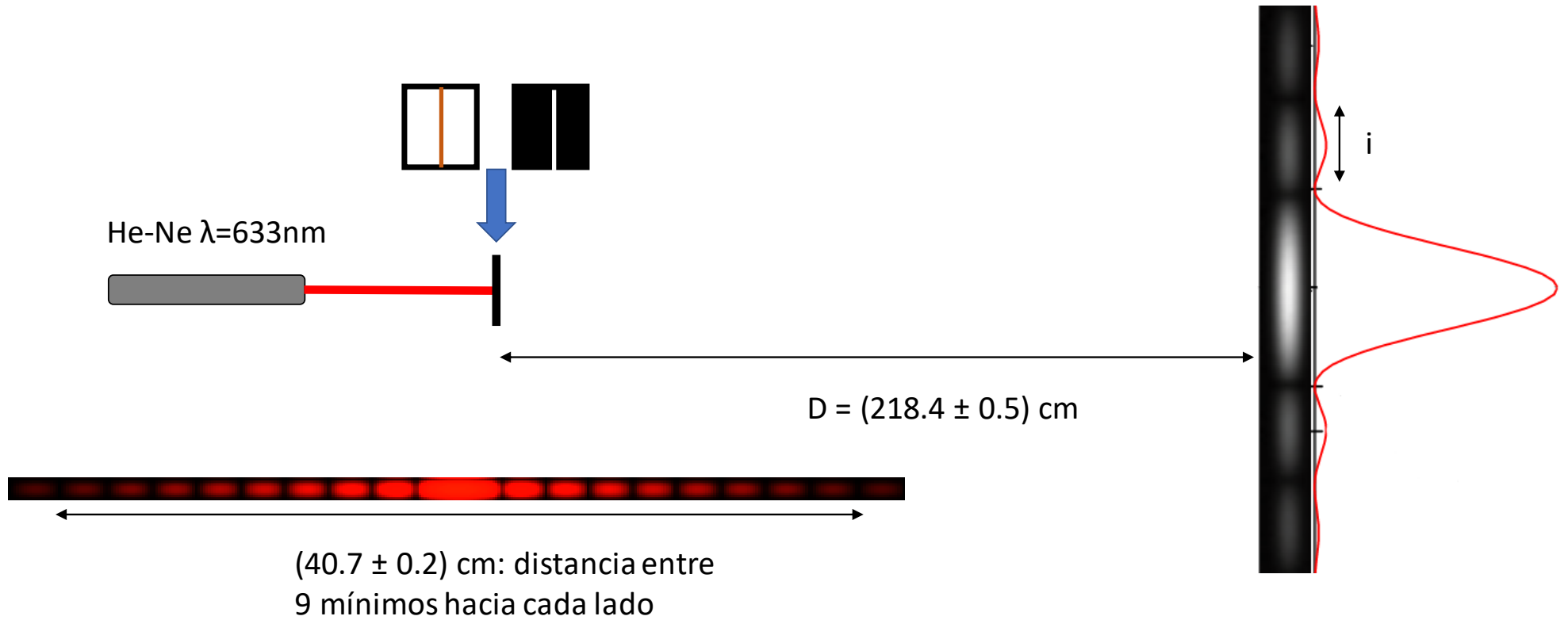
implementación



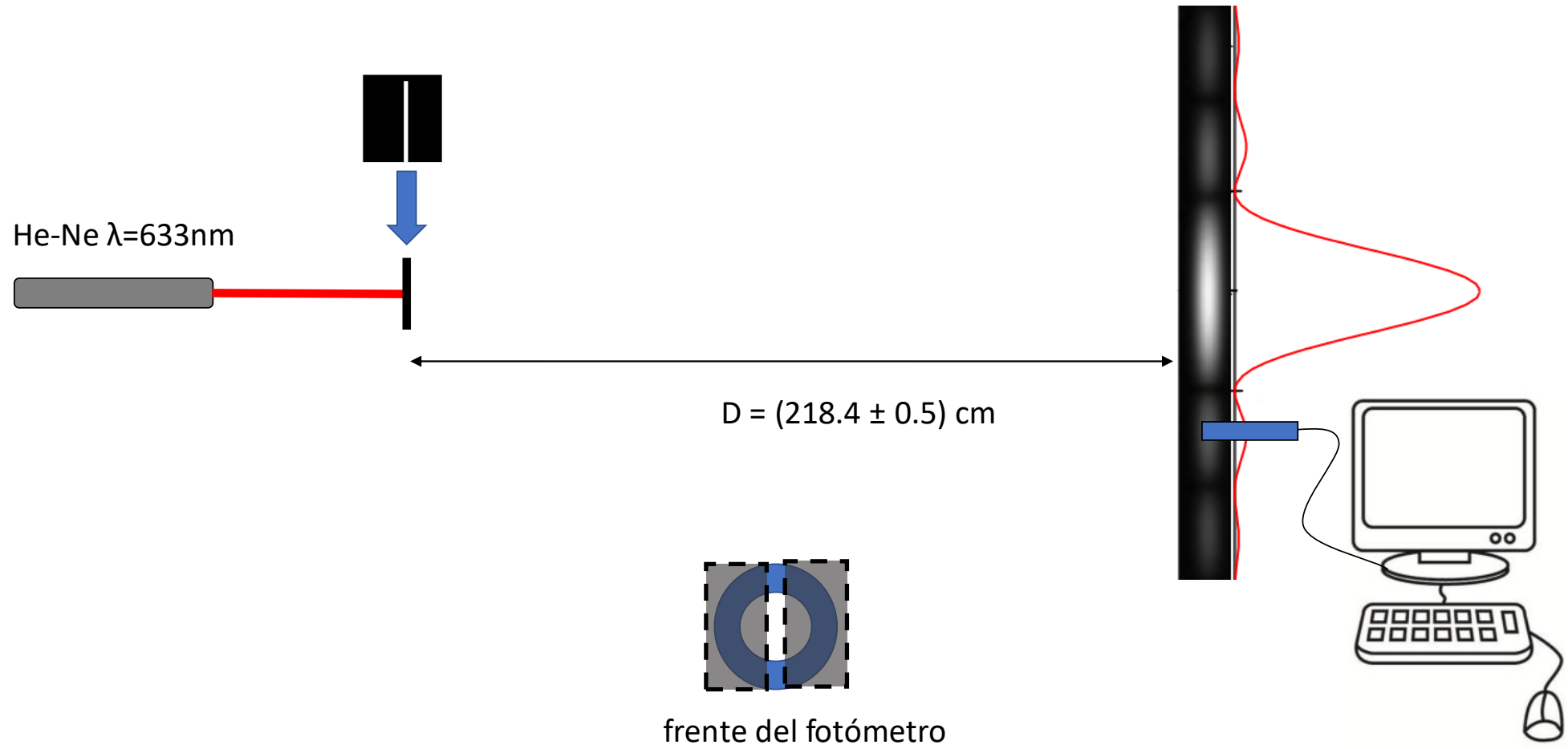
Excepto en el punto donde incidía el láser sin obstáculo ( $E \neq 0$ ) las dos figuras coinciden



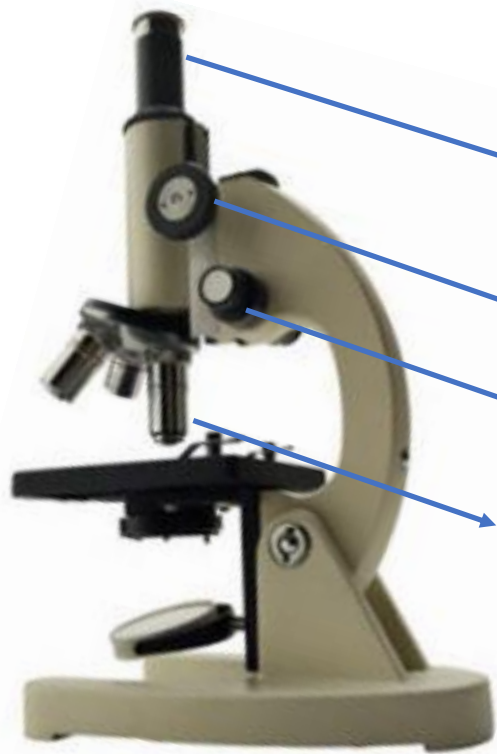
## Resultados e la experiencia



# Medición de la intensidad con Motion Daq (600lux)





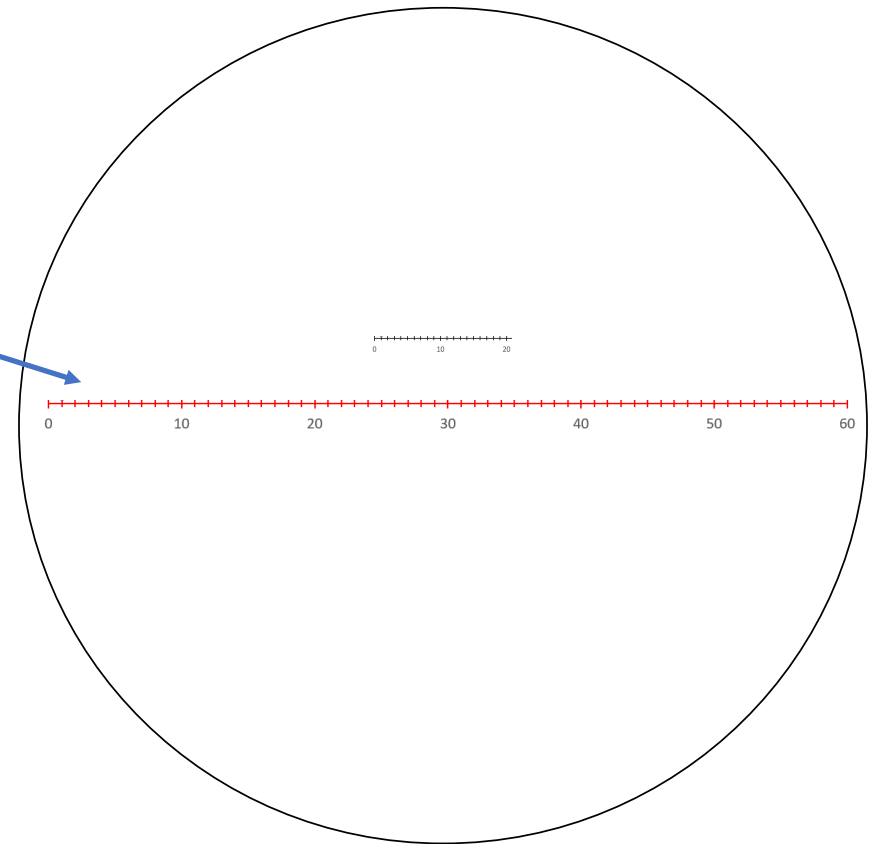


regla ocular

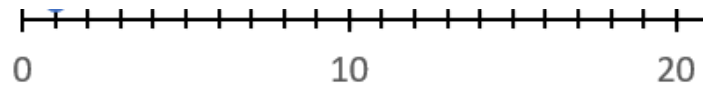
enfoque grueso

enfoque fino

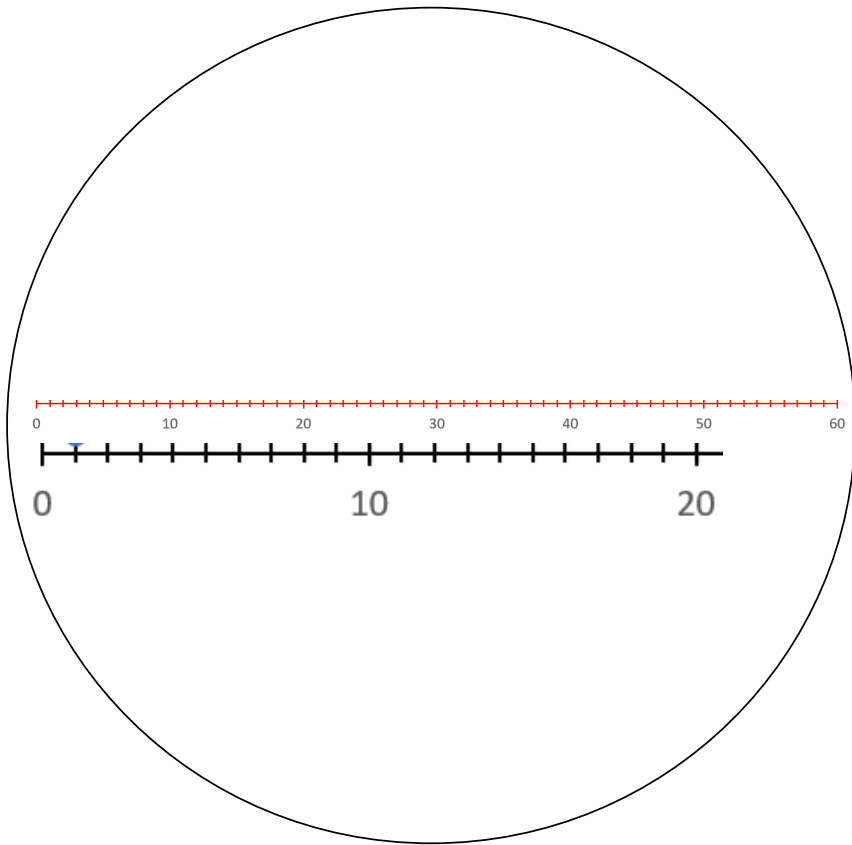
objetivos



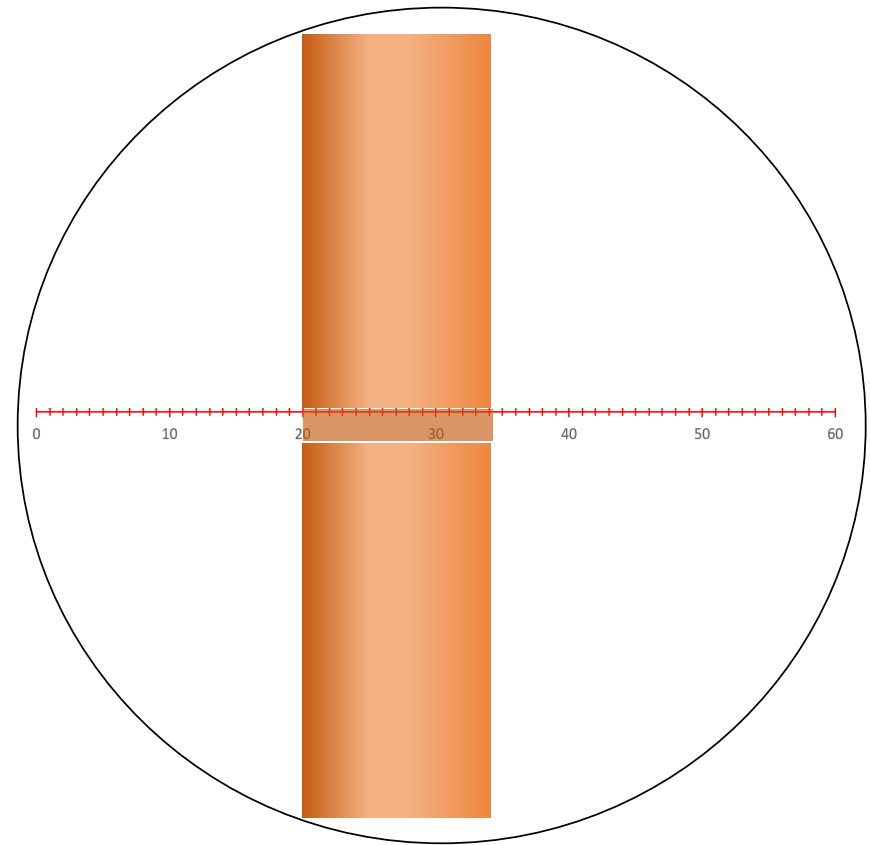
10  $\mu$



regla calibrada



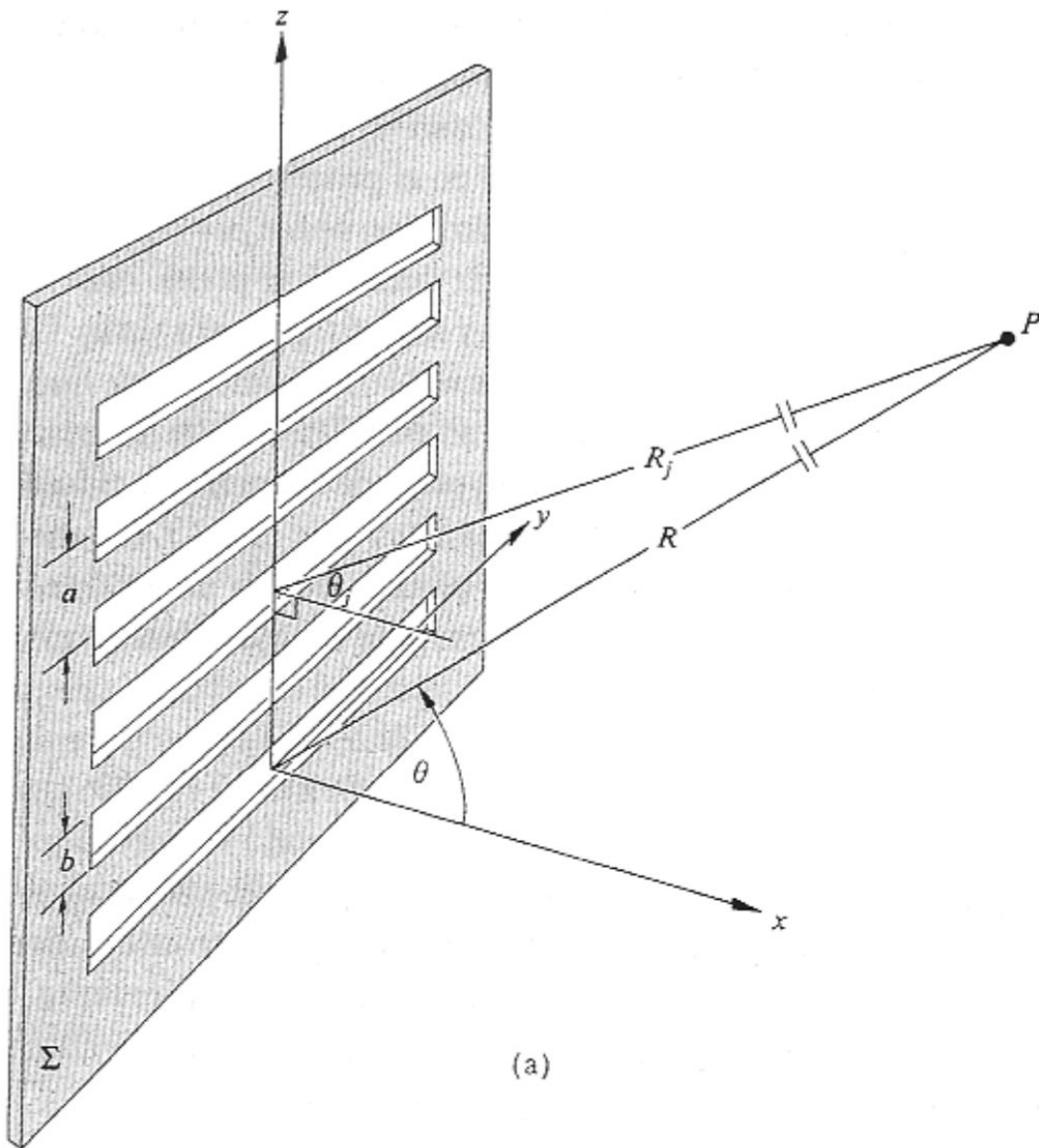
20 divisiones de la escala graduada coinciden con 49 divisiones del ocular



el alambre mide 14.5 divisiones del ocular

# Redes de difracción

Una red de difracción es un componente óptico con una estructura periódica que divide la luz difractándola en varios haces que viajan en diferentes direcciones



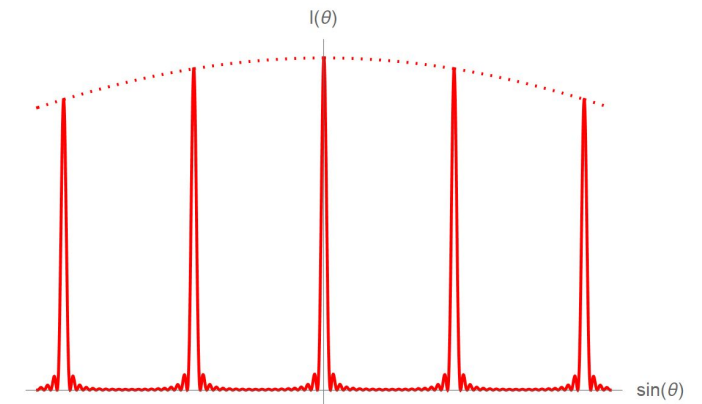
$$I(\theta) = I_0 \left( \frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \left( \frac{\text{sen } N\alpha}{\text{sen } \alpha} \right)^2$$

$$\alpha = (ka/2) \text{sen } \theta$$

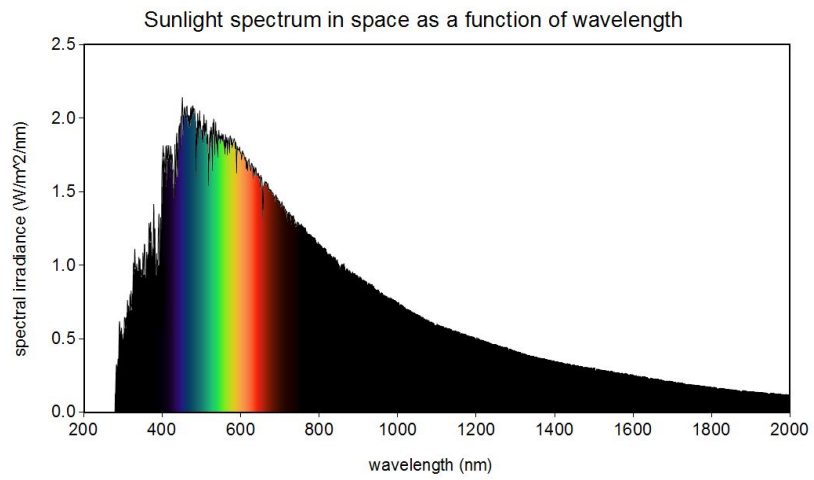
$$\beta = (kb/2) \text{sen } \theta$$

Para  $N$  grande, sólo vemos los máximos principales

$$a \text{ sen } \theta_m = m\lambda$$



# Espectro de emisión



Espectro visible del hidrógeno

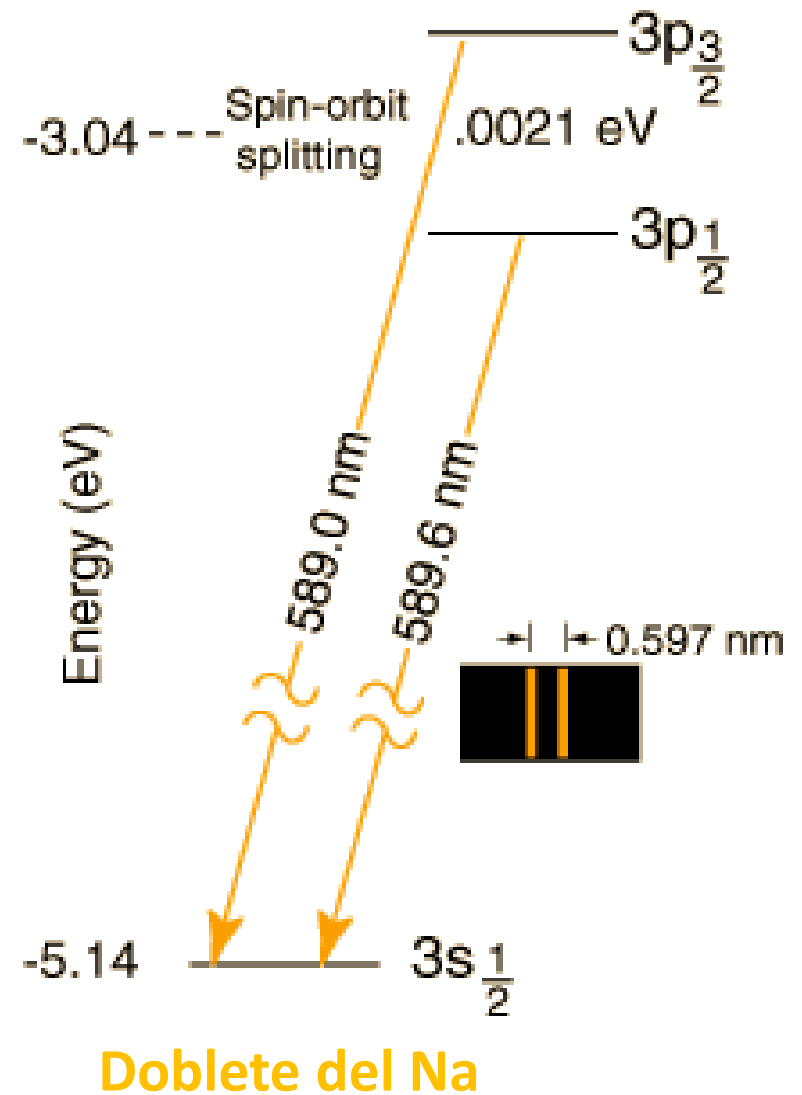


# Espectro de emisión de una lámpara de sodio

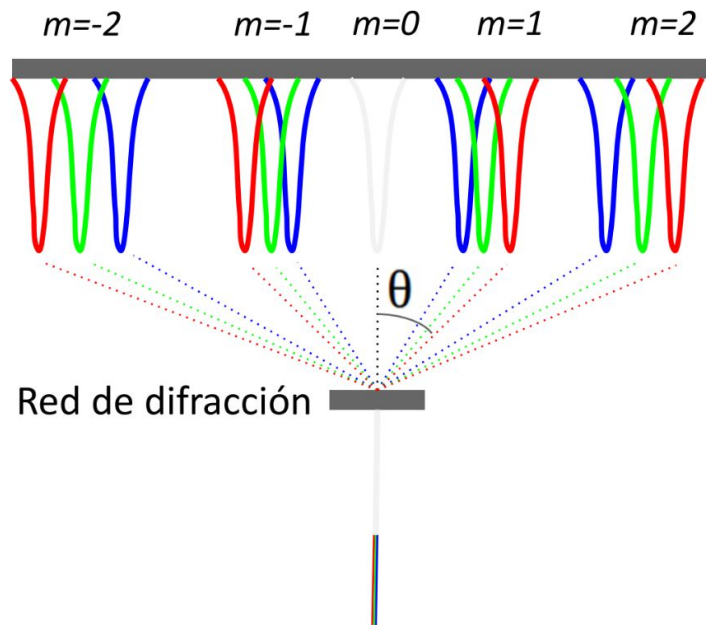
Una lámpara de vapor de sodio a baja presión contiene una mezcla de gases nobles, y sodio inicialmente sólido, que luego se vaporiza.

Al excitarse y desexcitarse los  $e^-$  de las capas externas de estos gases, emiten luz con un espectro de longitudes de onda  $\lambda$  discreto.

La principal contribución es de la transiciones de los niveles 3p al nivel 3s del sodio, teniendo los niveles 3p casi la misma energía.



Vamos a estudiar el espectro usando una red de difracción



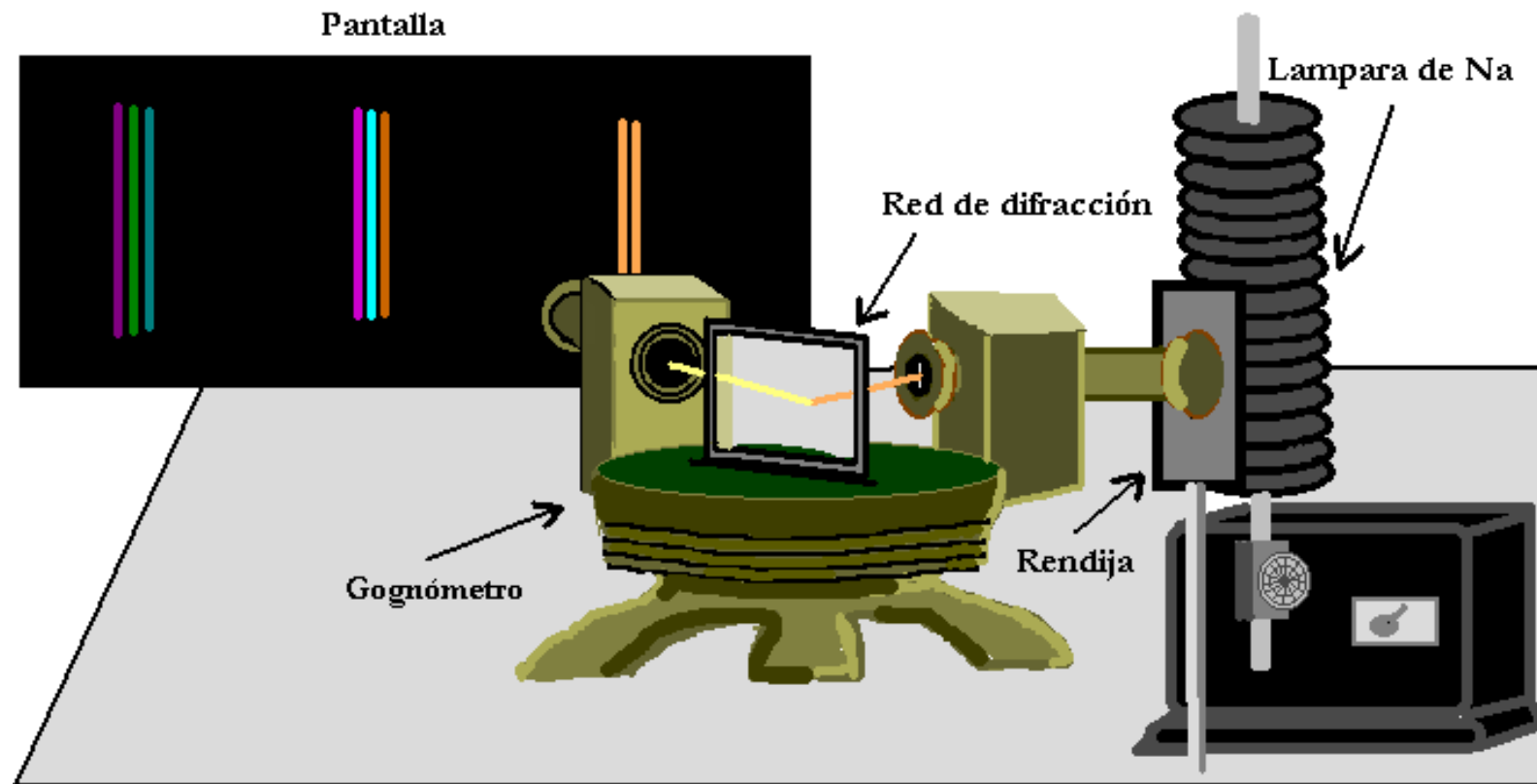
$$I(\theta) = I_0 \left( \frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \left( \frac{\text{sen } N\alpha}{\text{sen } \alpha} \right)^2$$

$$\alpha = (ka/2) \text{sen } \theta$$

$$\beta = (kb/2) \text{sen } \theta$$

$$a \text{ sen } \theta_m = m\lambda$$

# Montaje experimental







“¡MUCHO CUIDADO!”  
Cada vez que quiera variar la inclinación de la  
ALFOJE EL TORNELO INFERIOR.  
NO INCLINE LA LÁMPARA CON  
EL TORNELO AJUSTADO  
EVITE GOLPEAR EL TUBO

RBFC-06  
COP - 008  
SOLARTE 10/10/10  
COP - 11/11/11