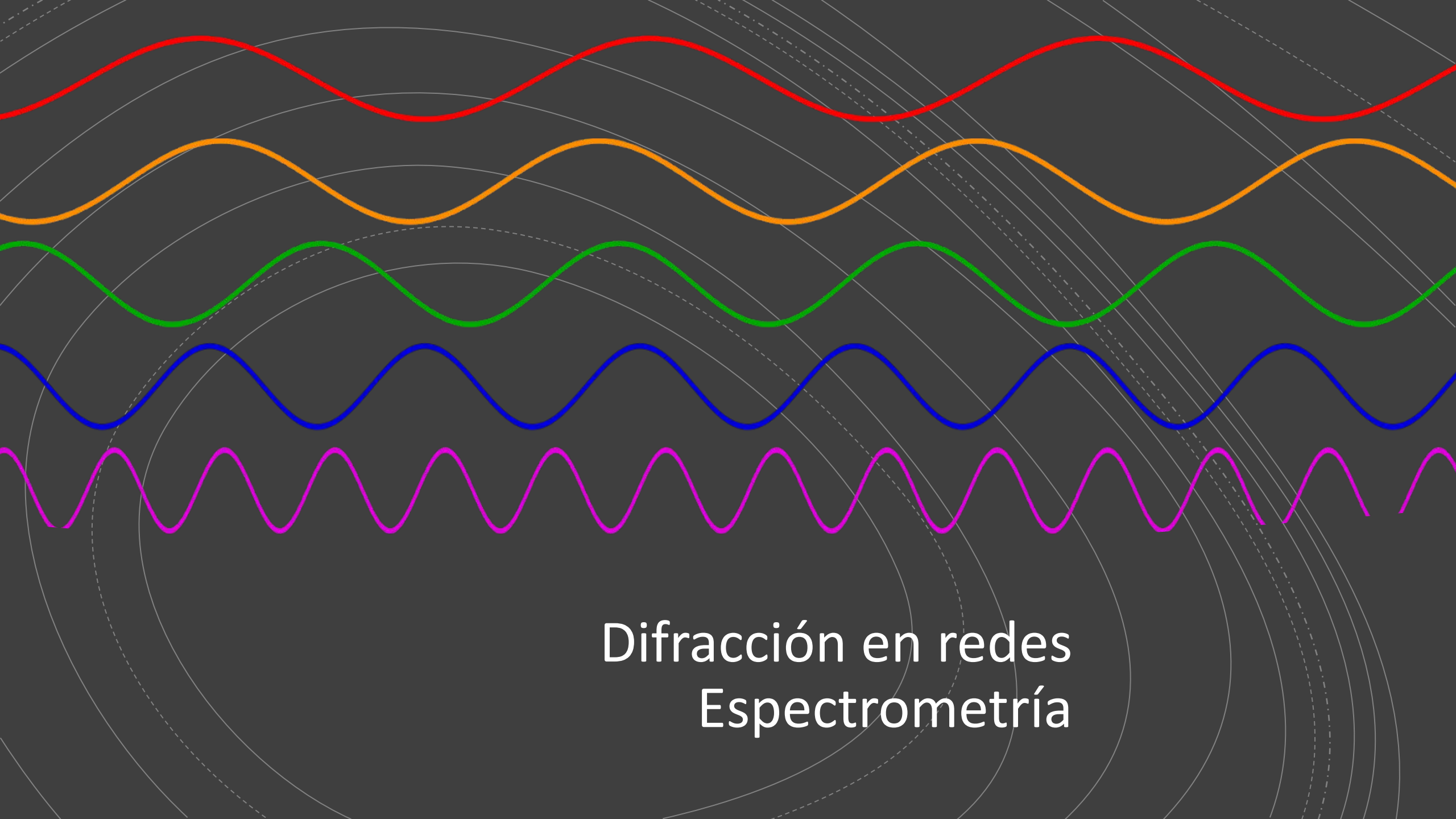




Difracción en redes Espectrometría

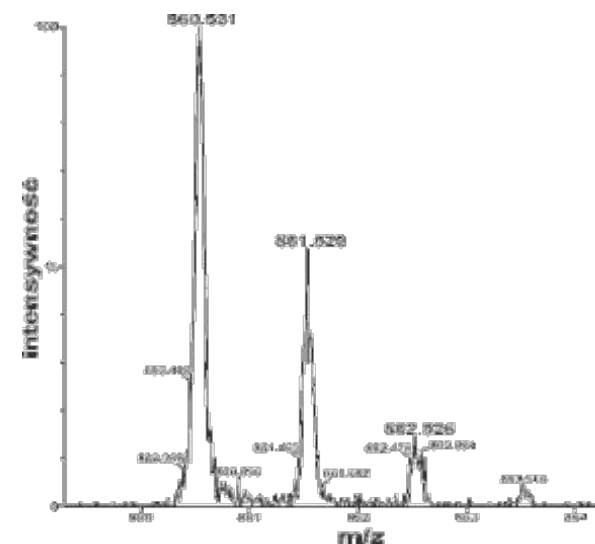
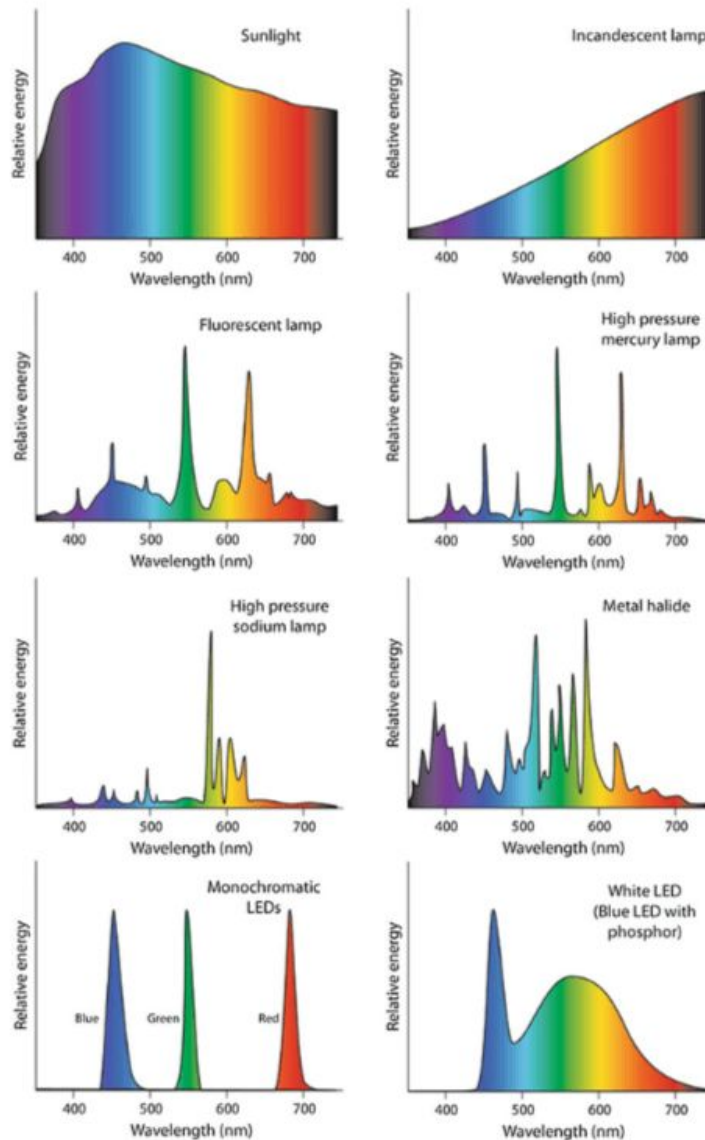
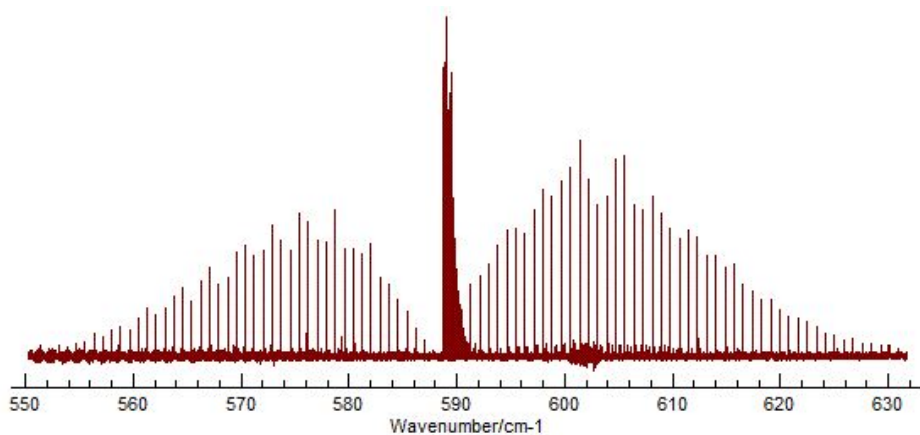
Espectrometría



Analiza el espectro **[electromagnético]** para obtener información de las propiedades estructurales de los materiales a través de su interacción **[con la luz]**

Por ejemplo:

- Transiciones atómicas o moleculares
- Propiedades cristalinas
- estructura isotópica (espectroscopía de masas)

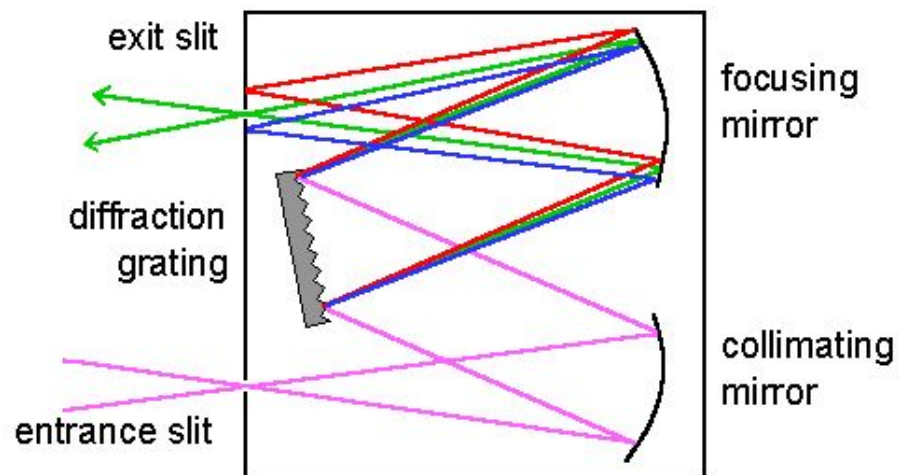


Espectrometría

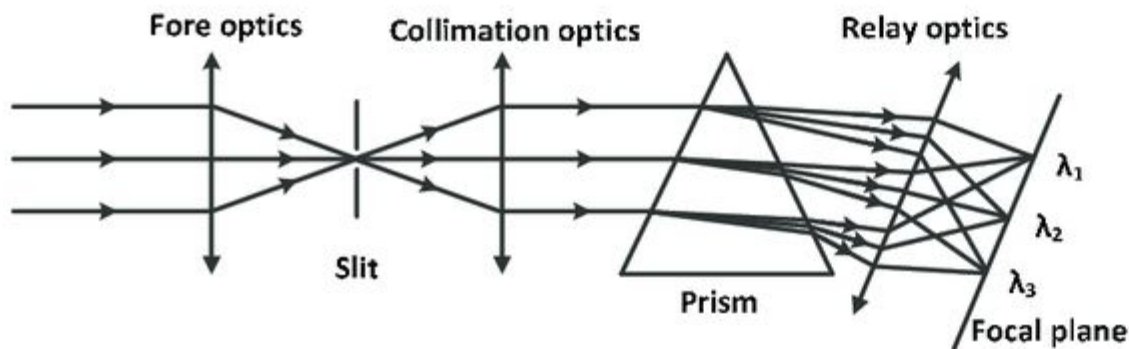
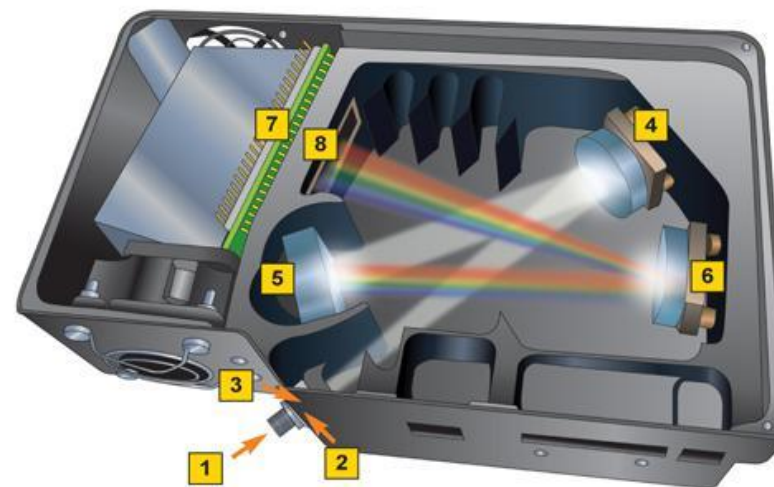


Un espectrómetro es un sistema formador de imágenes, que mapea imágenes monocromáticas de la rendija de entrada en el plano del detector.

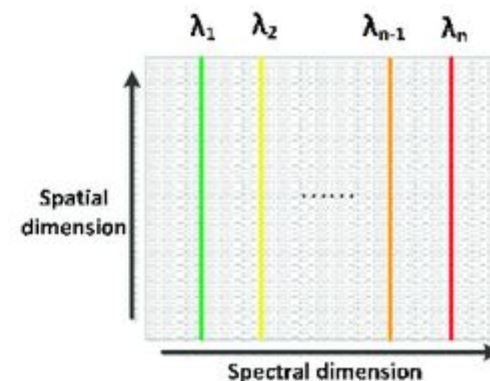
Monocromador tipo Czerny-Turner



Espectrómetro comercial (Como el de thorlabs)

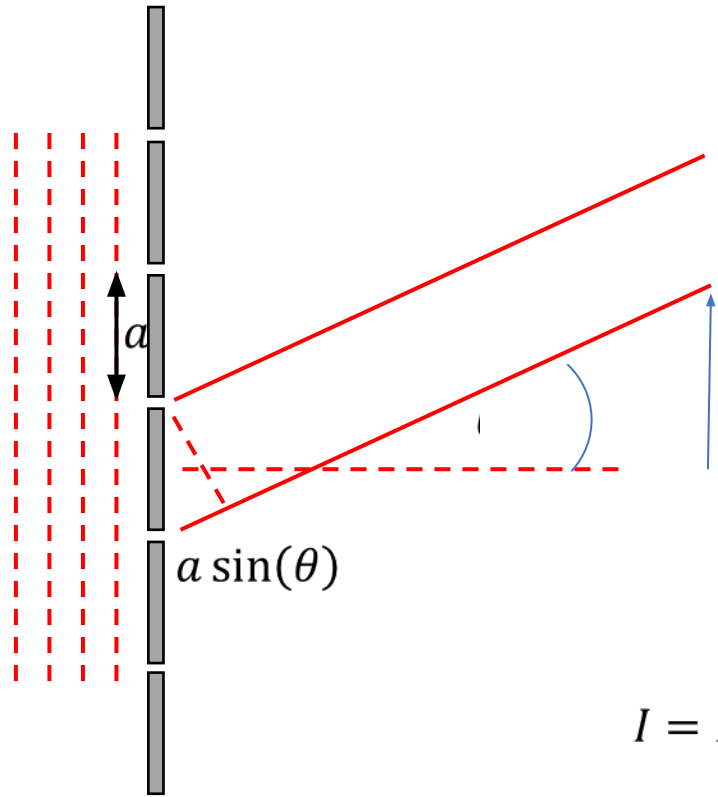


(a)



(b)

Difracción por N rendijas

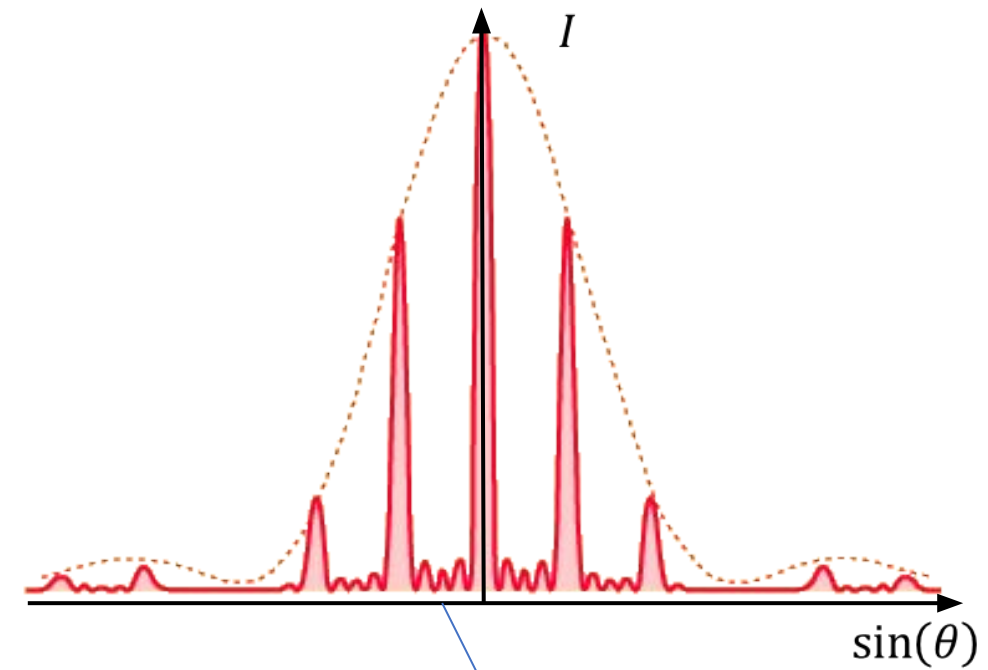


$$I = I_0 \text{sinc}^2\left(\frac{\delta}{2}\right) \frac{\sin^2\left(\frac{N\delta}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)}$$

Interferencia de N fuentes

Difracción por una rendija
(la envolvente)

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin(\theta)$$



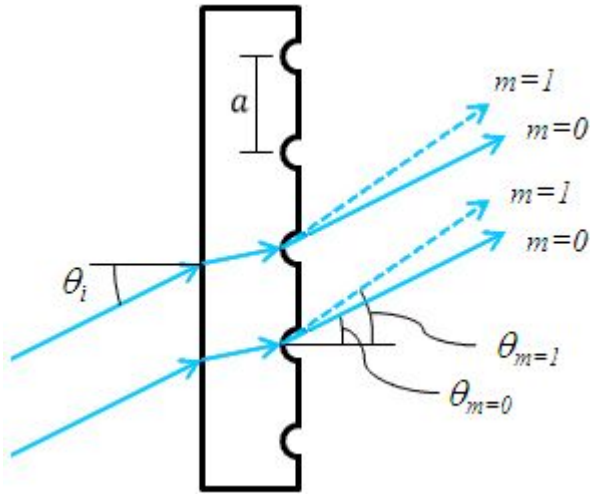
N-1 mínimos
N-2 máximos secundarios

Máximos principales
 $\sin(\theta) = \frac{m\lambda}{a}$

La red de difracción



Determina el rango de longitudes de onda del espectrómetro y (en parte) la resolución



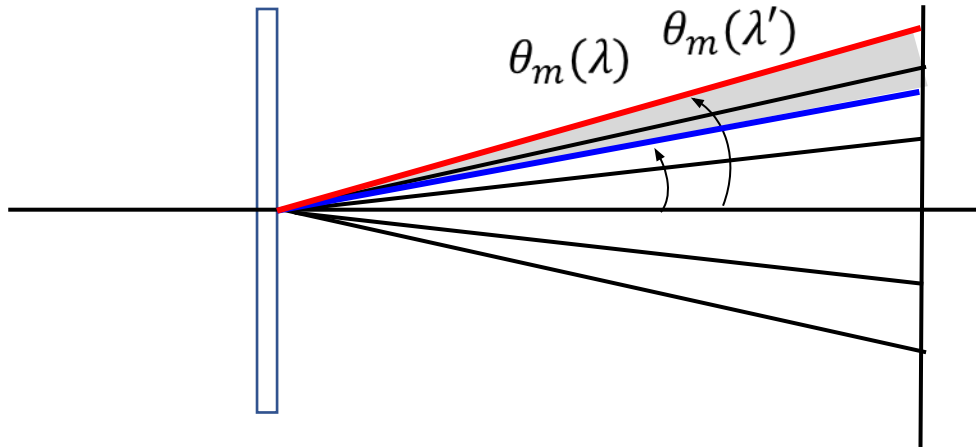
Ecuación de la red

$$\sin(\theta_m) - \sin(\theta_i) = \frac{m\lambda}{a}$$

Dispersión en el espectro introducida por la red



Determina el rango de longitudes de onda y del espectrómetro y (en parte) la resolución



Ecuación de la red

$$\sin(\theta_m) - \sin(\theta_i) = \frac{m\lambda}{a}$$

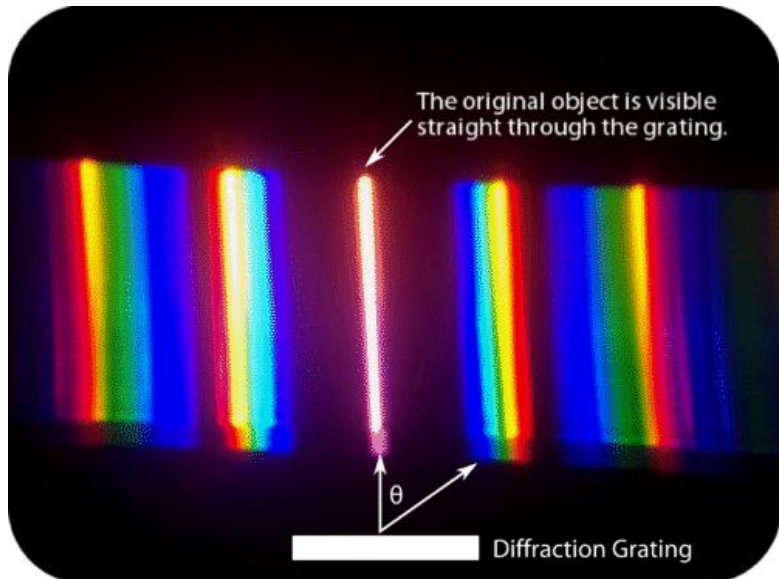
Dispersión angular: Cuán bien puedo discriminar distintas λ

$$\frac{d\theta_m}{d\lambda} = \frac{m}{a \cos(\theta_m)}$$

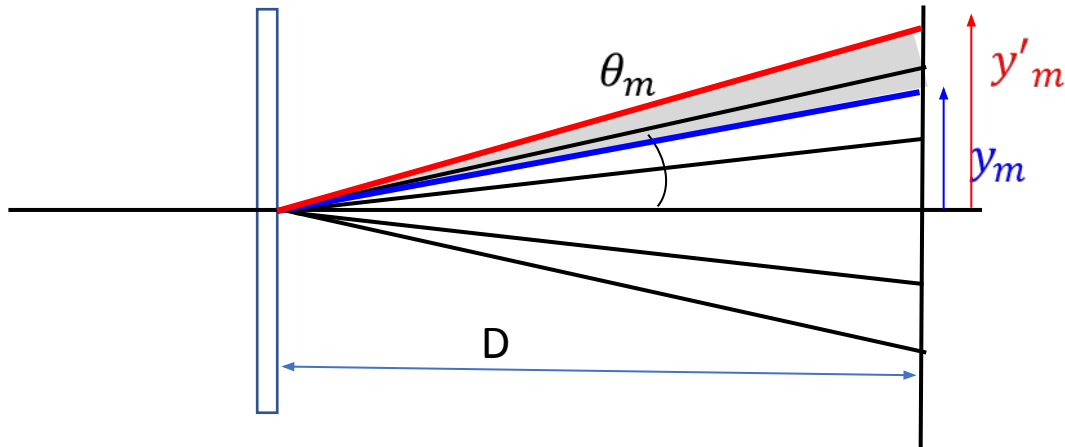
$$\frac{d\theta_m}{d\lambda} = \frac{m=1}{a \sqrt{1 - (\lambda/a)^2}}$$

Aumenta con:

- La disminución del período a (mayor densidad de líneas)
- El aumento del orden m



Dispersión en el espectro introducida por la red



Dispersión lineal o dispersión recíproca de la red (longitudes de onda por unidad de longitud en el detector)

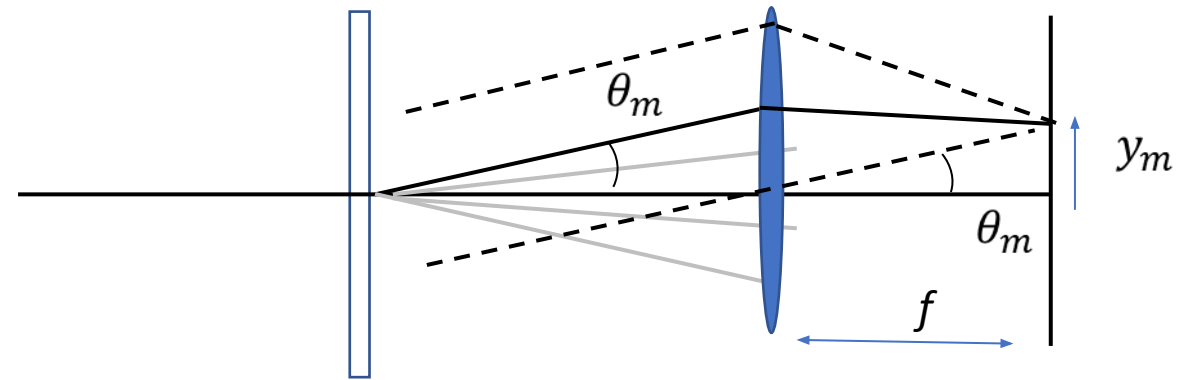
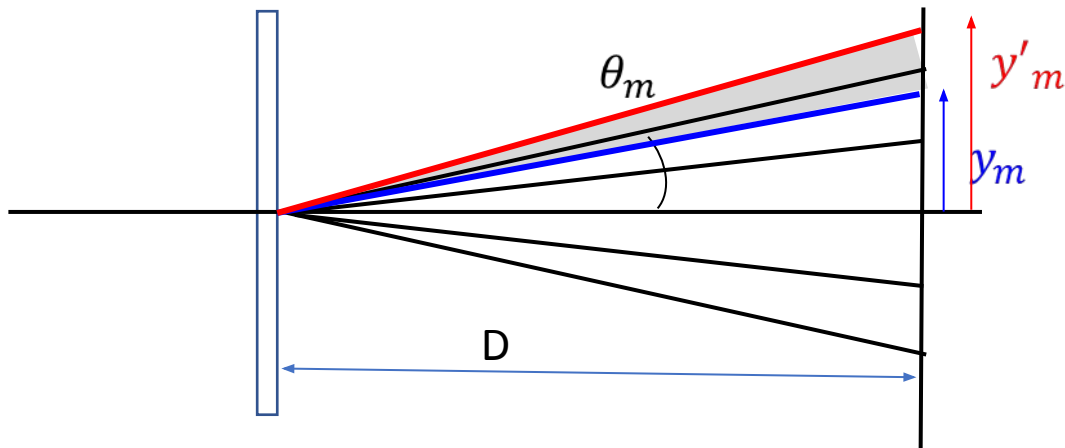
$$\frac{d\theta_m}{d\lambda} = \frac{m}{a \cos(\theta_m)} \quad \theta_m \sim \frac{y}{L}$$

$$\frac{dy}{d\lambda} = \frac{mL}{a \cos(\theta_m)} \rightarrow \frac{d\lambda}{dy} = \frac{a \cos(\theta_m)}{mL}$$

Rango de longitudes de onda (bandpass). Si el tamaño del detector (o pantalla) mide $y_D = W_p N_p$

$$\Delta\lambda = \lambda_{max} - \lambda_{min} = y_D \frac{a \cos(\theta_m)}{mL}$$

Dispersión en el espectro introducida por la red



Dispersión lineal o dispersión recíproca de la red (longitudes de onda por unidad de longitud en el detector)

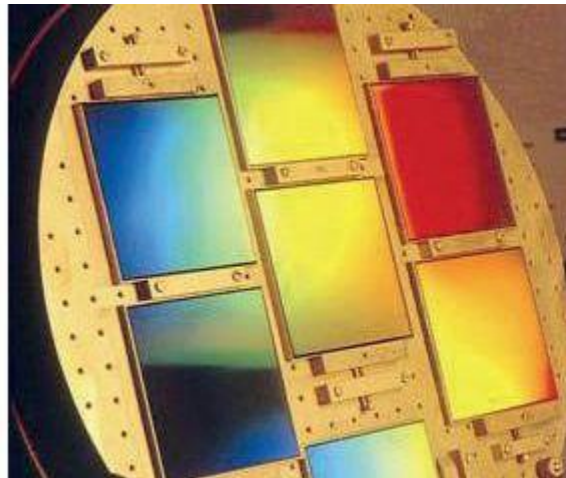
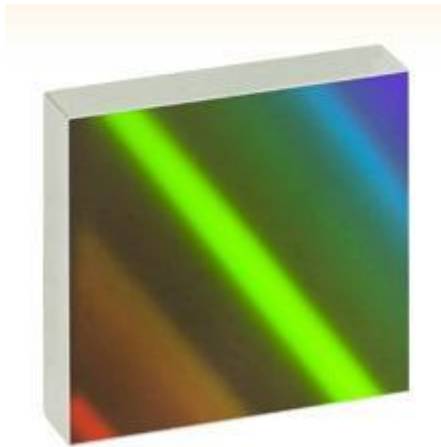
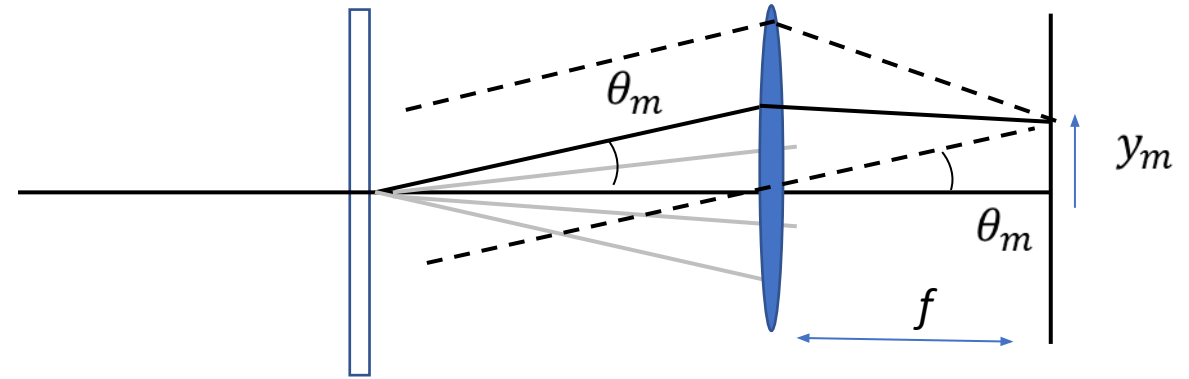
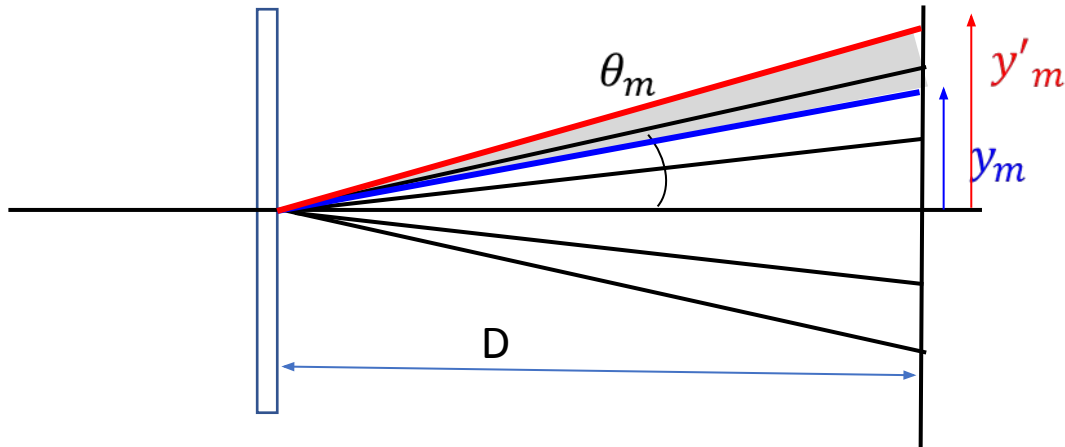
$$\frac{d\theta_m}{d\lambda} = \frac{m}{a \cos(\theta_m)} \quad \theta_m \sim \frac{y}{L}$$

$$\frac{dy}{d\lambda} = \frac{mL}{a \cos(\theta_m)} \rightarrow \frac{d\lambda}{dy} = \frac{a \cos(\theta_m)}{mL}$$

Rango de longitudes de onda (bandpass). Si el tamaño del detector (o pantalla) mide $y_D = W_p N_p$

$$\Delta\lambda = \lambda_{max} - \lambda_{min} = y_D \frac{a \cos(\theta_m)}{mL}$$

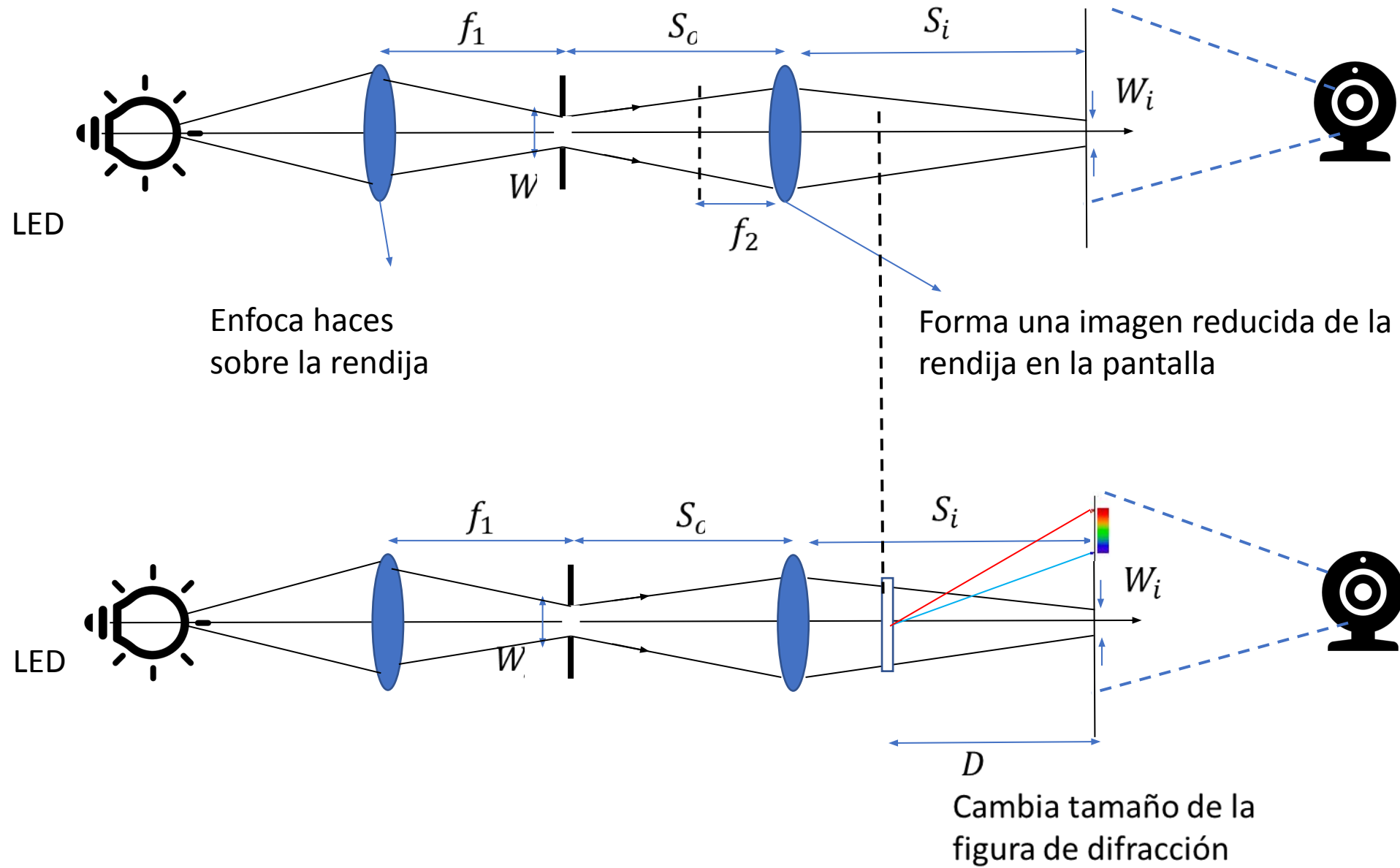
Dispersión en el espectro introducida por la red



A menor período (más densidad de líneas)

- La resolución aumenta
- La dispersión aumenta
- El rango de longitudes de onda (en el detector o rendija de salida) disminuye

Espectrometría: diseño labo 2



Resolución espectral

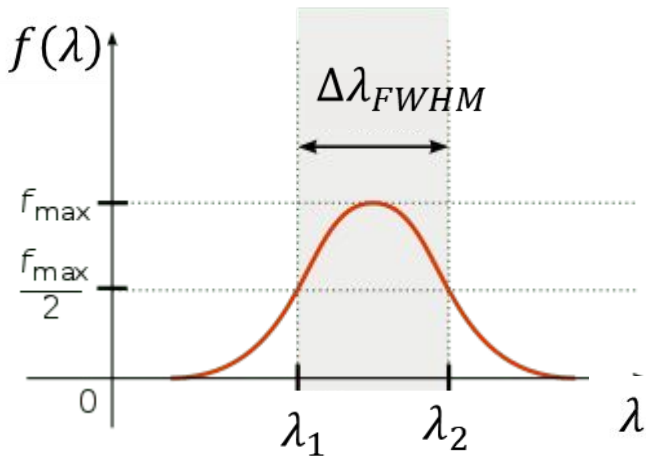
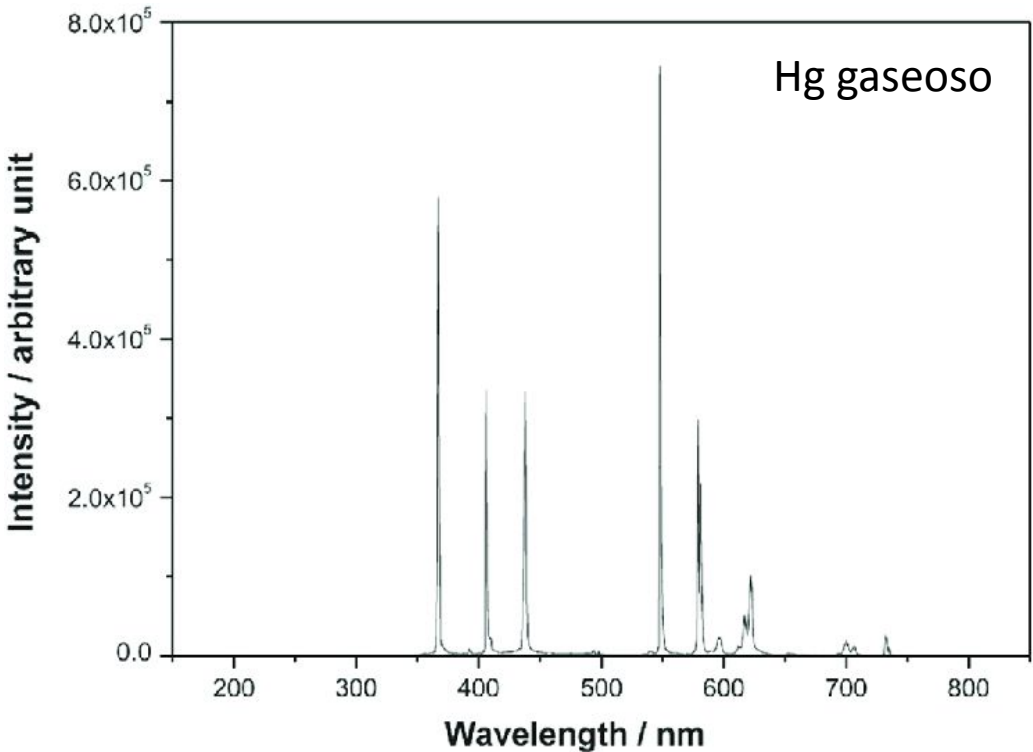


Resolución espectral: la mínima separación espectral entre dos líneas espectrales que el instrumento puede resolver. Generalmente se expresa como

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \qquad R = 10000 \rightarrow \text{se puede resolver } \Delta\lambda = 0.0001 \lambda$$

¿Como se mide?

Se usan fuentes con líneas espectrales muy angostas (mas angostas que la resolución normal de los espectrómetros): Ejemplos: láseres, lámparas atómicas



Factores limitantes de la resolución

Resolución límite o resolución limitada por difracción o poder resolvente cromático

Criterio de Rayleigh: se pueden resolver las líneas si el máximo de la figura de difracción para una λ coincide con el mínimo de la figura de difracción de la otra λ

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

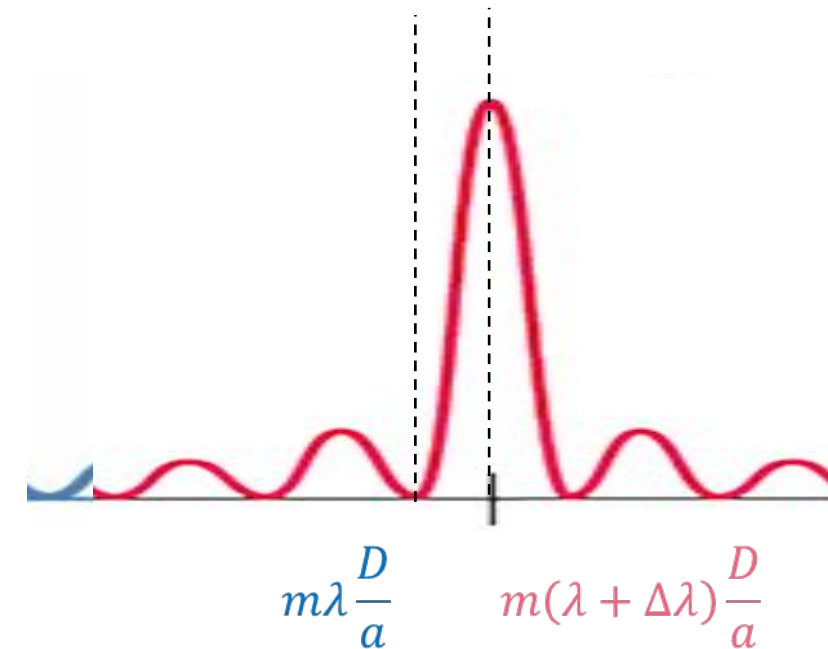
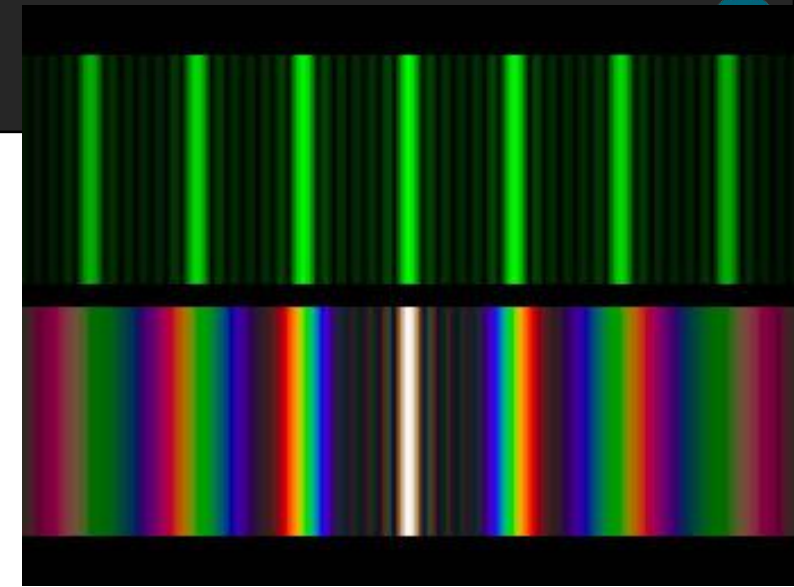
La resolución aumenta con el orden de difracción m y con el número de rendijas iluminadas N

Una red de 300 l/mm, iluminando 20 mm de red, en el primer orden de difracción

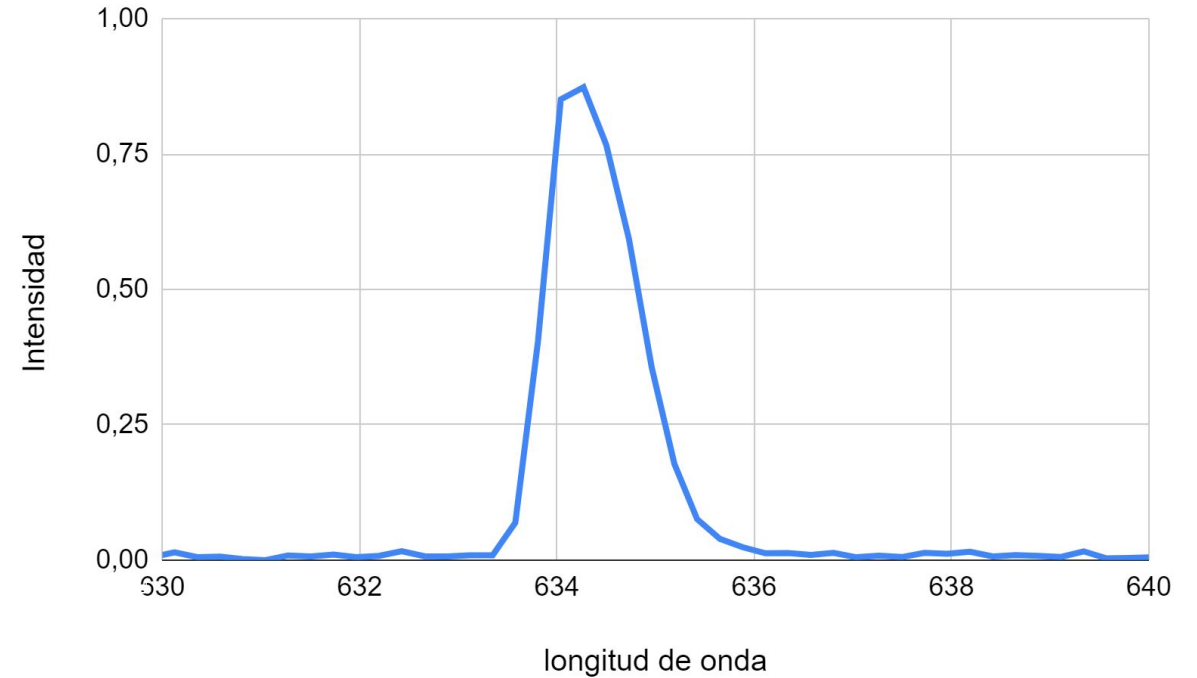
$$R = mN = 1 \times \left(300 \frac{l}{mm} \times 20 mm \right) = 6000$$

Una red de 600 l/mm, de iguales características, en el segundo orden de difracción

$$R = mN = 2 \times \left(600 \frac{l}{mm} \times 20 mm \right) = 24000$$



Resolución espectral



$$S_M(\lambda) = S_o(\lambda) * R(\lambda)$$

Si $S_o(\lambda)$ muy angosta con respecto al ancho de $R(\lambda)$ (o sea una delta) a la mido la resolución (ejemplo líneas de la lámpara de Hg)

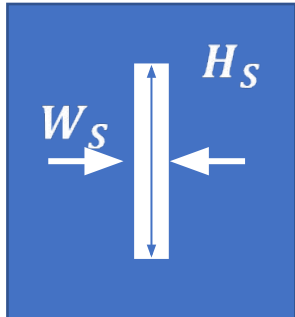
- La red de difracción (rango de longitudes de onda y (en parte) la resolución)
- La rendija (recorte nítido del haz incidente, throughput y resolución)
- La magnificación del Sistema óptico (tamaño de la imagen en el detector, resolución)
- El detector (rango de longitudes de onda y digitalización (resolución))

Factores limitantes de la resolución



La rendija:

Define un corte nítido de la Fuente de iluminación. Define también (junto con el resto de los elementos ópticos) cuales son los ángulos con los que los haces pueden entrar al espectrómetro



Define:

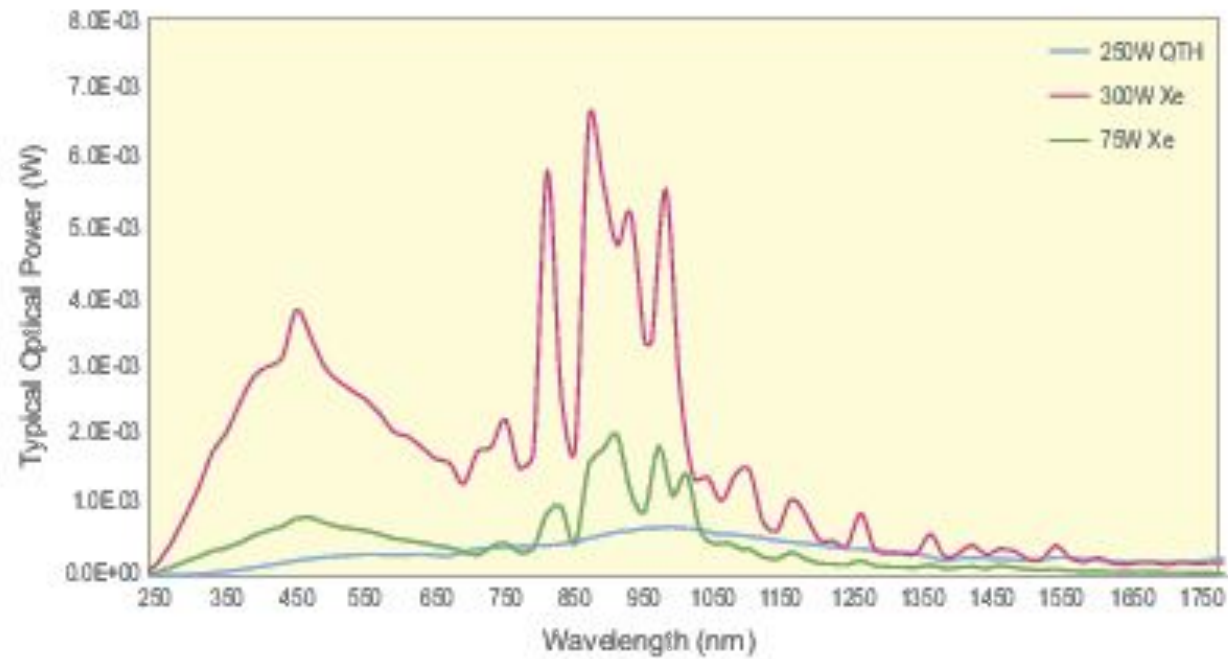
- Throughput: cuanta luz pasa por el espectrómetro.
Relacionado con el área de la rendija $W_s \times H_s$
(cuanto más grande pasa mas luz)
- Resolución: La mínima distancia espectral que puedo medir
Relacionado con el ancho de la rendija W_s
(cuanto más chica, mejor resolución)



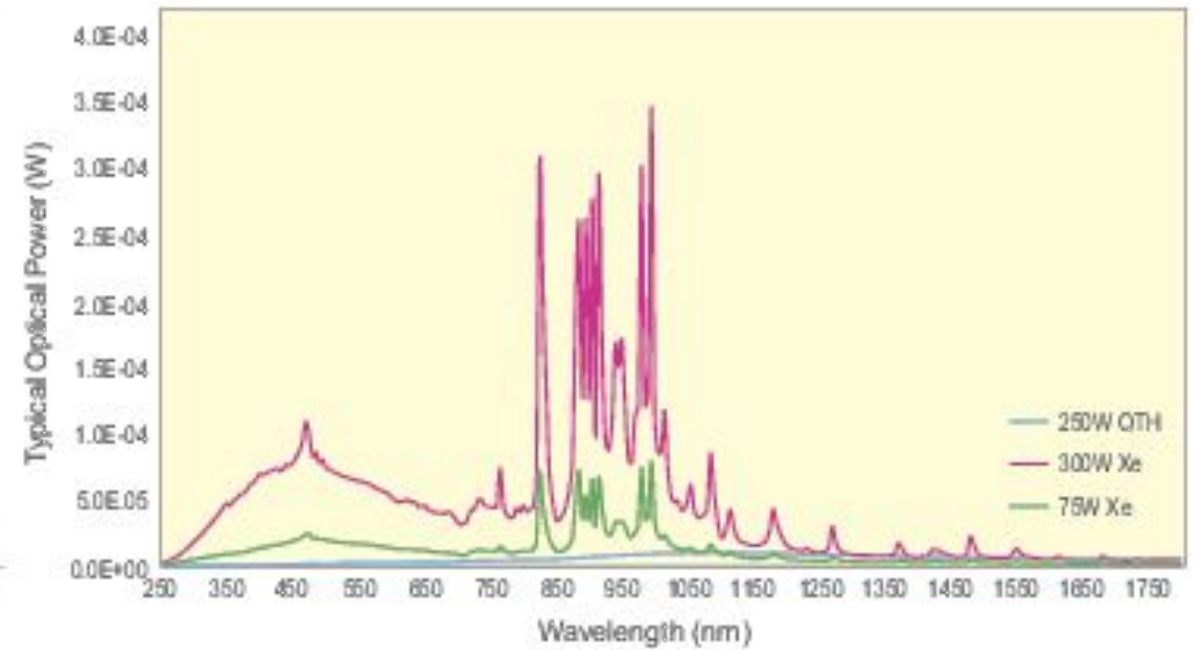
Factores limitantes de la resolución



Rendija 760 μm



Rendija 120 μm



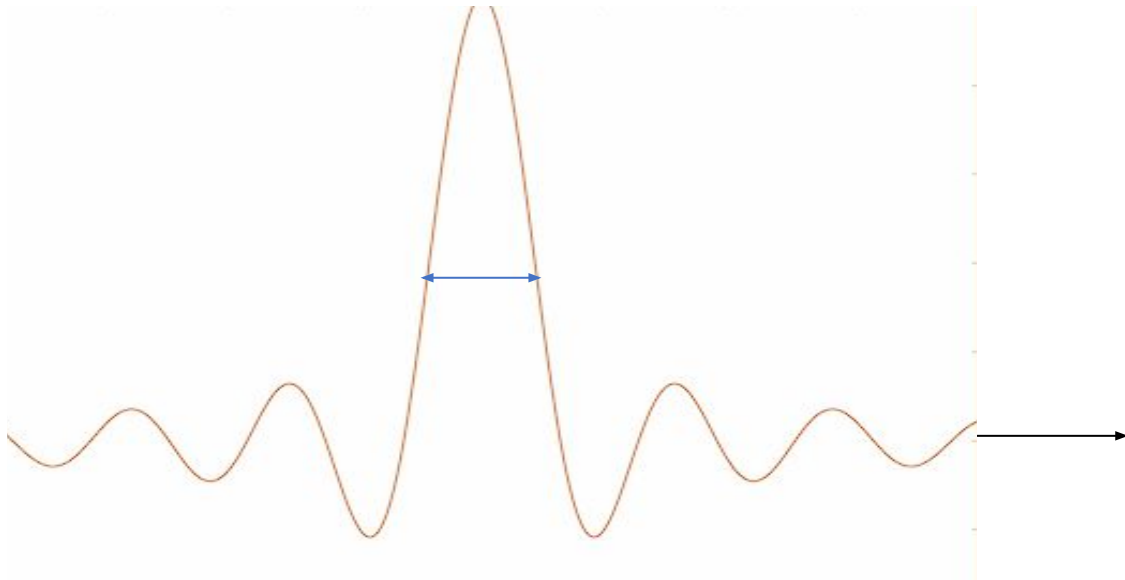
Factores limitantes de la resolución



Los píxeles en el detector:

Nyquist: la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos el doble de la frecuencia máxima contenida en la señal

El tamaño de la menor estructura en el espectro (determinado por el espectro de una línea atómica o un laser) contiene la mayor cantidad de frecuencias espaciales en el detector



Máxima frecuencia contenida en la señal $\frac{1}{\Delta\lambda_{FWHM}}$

Nyquist: frecuencia de muestreo mayor a $2 \times \frac{1}{\Delta\lambda_{FWHM}}$

Condición de mínima para que los pixeles en el detector no limiten la resolución

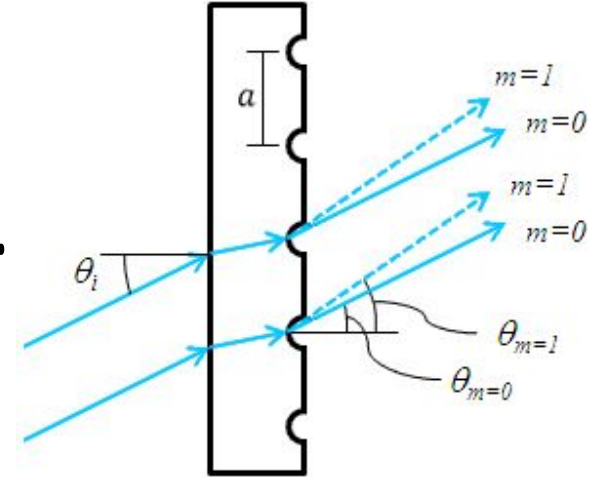
Experimentos propuestos



+

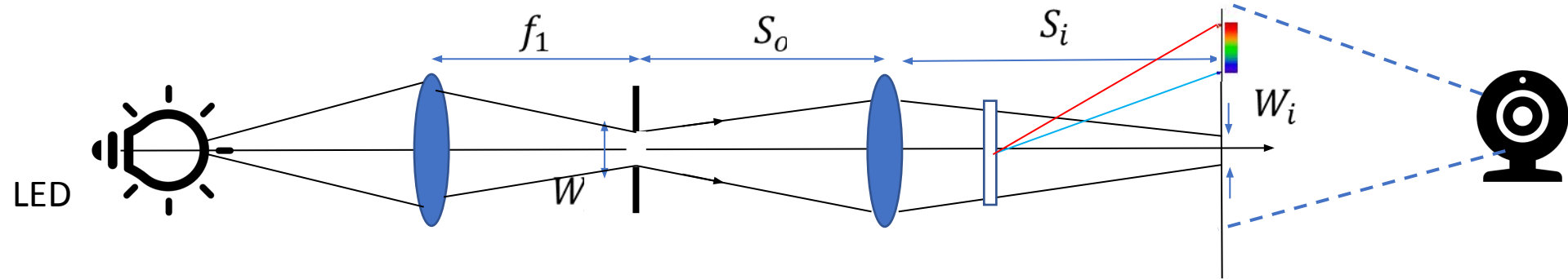


+



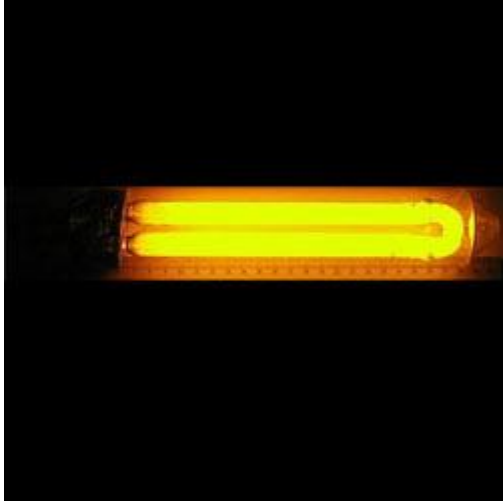
1. Generar una fuente de luz “puntual” colimada con el goniometro, la rendija y la lámpara de sodio.
2. Observar los distintos órdenes de difracción de una red de transmisión con el telescopio
3. Obtener una calibración para uno o dos de esos órdenes
4. Analizar cuantitativamente el espectro de la lámpara de sodio, observar y estudiar emisión espectral de otras fuentes

Experimentos propuestos



1. Caracterizar la respuesta en intensidad (Malus) y tiempo de exposición de nuestro sensor de luz (cámara)
2. Armar y caracterizar el dispositivo experimental (medir todas las distancias, aumento, throughput)
3. Comparando con el espectro del LED medido con el espectrómetro Thorlabs, calibrar en longitudes de onda el espectro medido
4. Usar el dispositivo experimental para medir absorbancia o espectros de emisión

Experimentos propuestos: emisión de fuentes



https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=8626

<https://www.horiba.com/bra/scientific/technologies/diffraction-gratings/diffraction-gratings-ruled-and-holographic/>

<https://www.spiedigitallibrary.org/journals/optical-engineering/volume-58/issue-08/087105/Understanding-diffraction-grating-behavior--including-conical-diffraction-and-Rayleigh/10.1117/1.OE.58.8.087105.full?SSO=1>

<https://www.newport.com/n/diffraction-grating-physics>

<https://www.newport.com/t/resolution-of-monochromators-and-spectrographs#:~:text=The%20resolution%20is%20the%20ability%20to%20separate%20wavelengths.,dispersion%20of%20the%20grating%20by%20the%20slit%20width.>