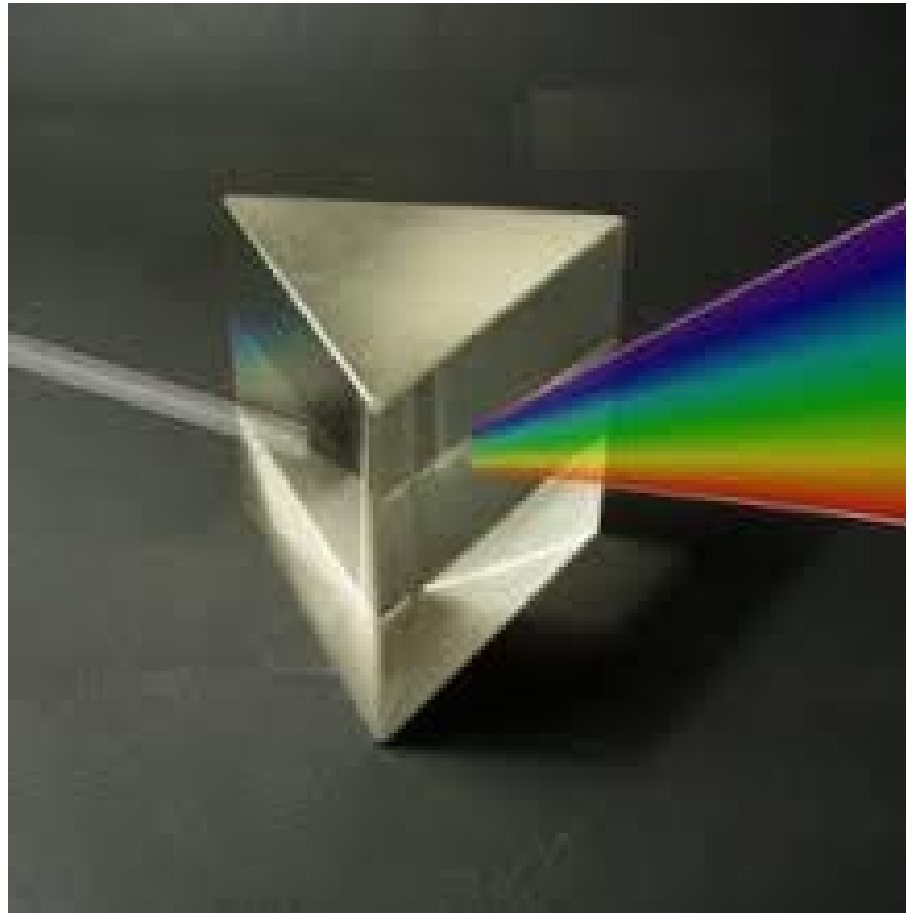


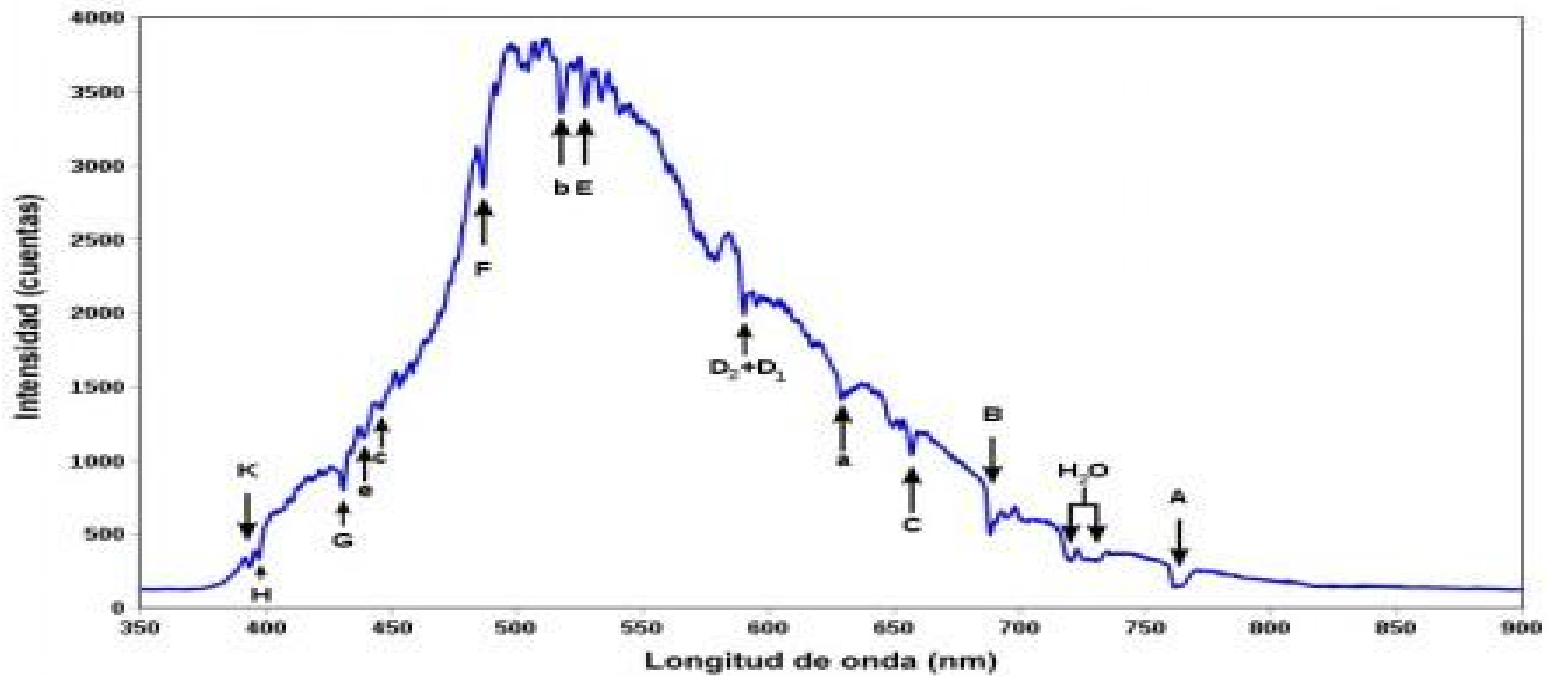
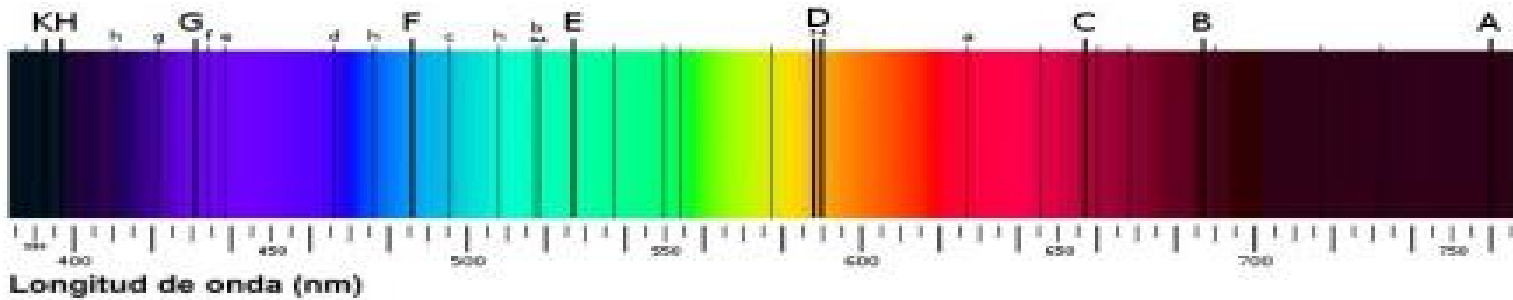
# Espectrómetros



# ¿Qué es un espectrómetro?

- Instrumentos para medir y analizar espectros de señales

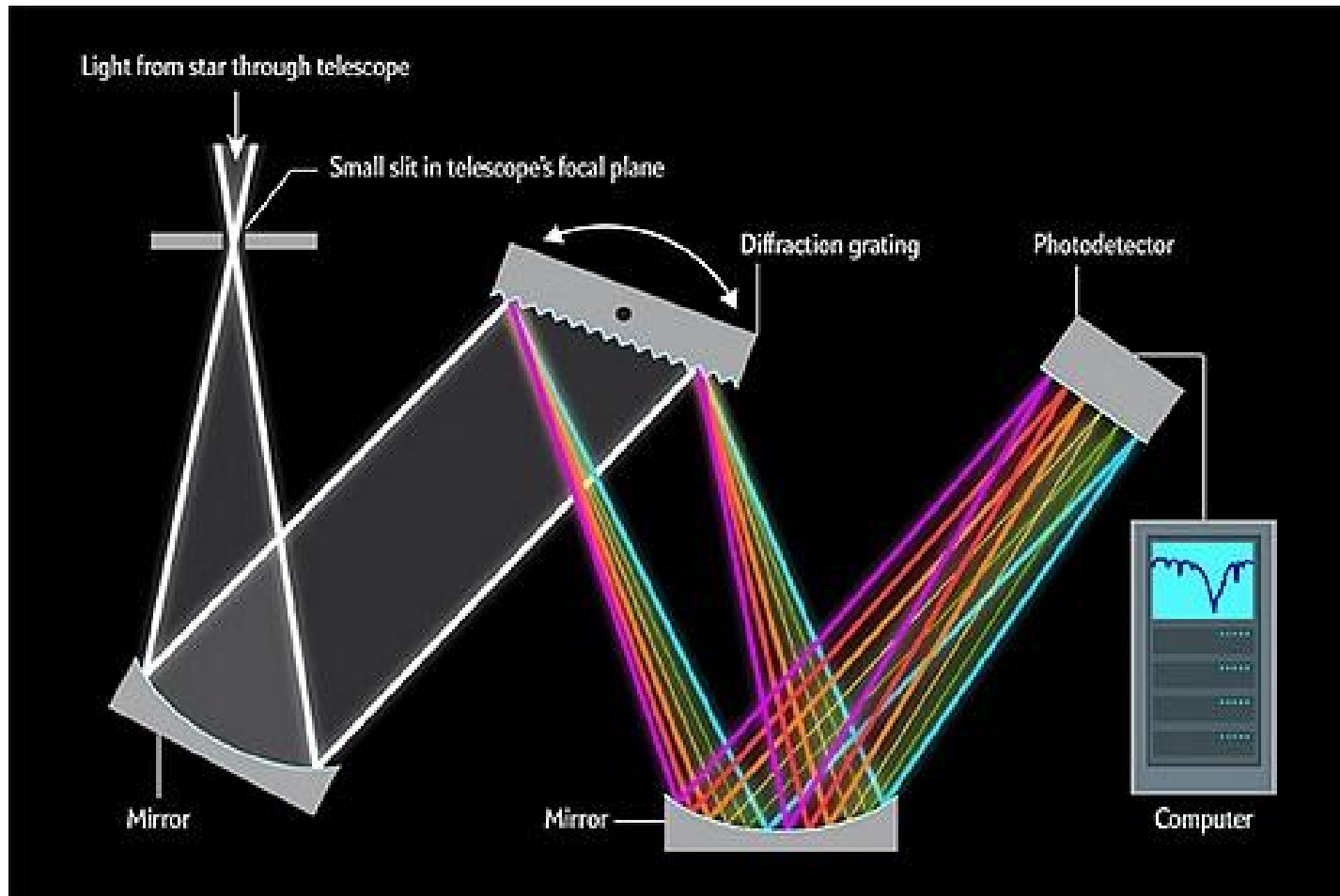
# Espectros



# Algunas aplicaciones

- **En química**: Se utiliza para determinar propiedades y composición de sustancias
- **En astronomía**: Estudio de características de estrellas y cuerpos celestes

# ¿Cómo funcionan?



Esquema simple de un espectrógrafo por dentro

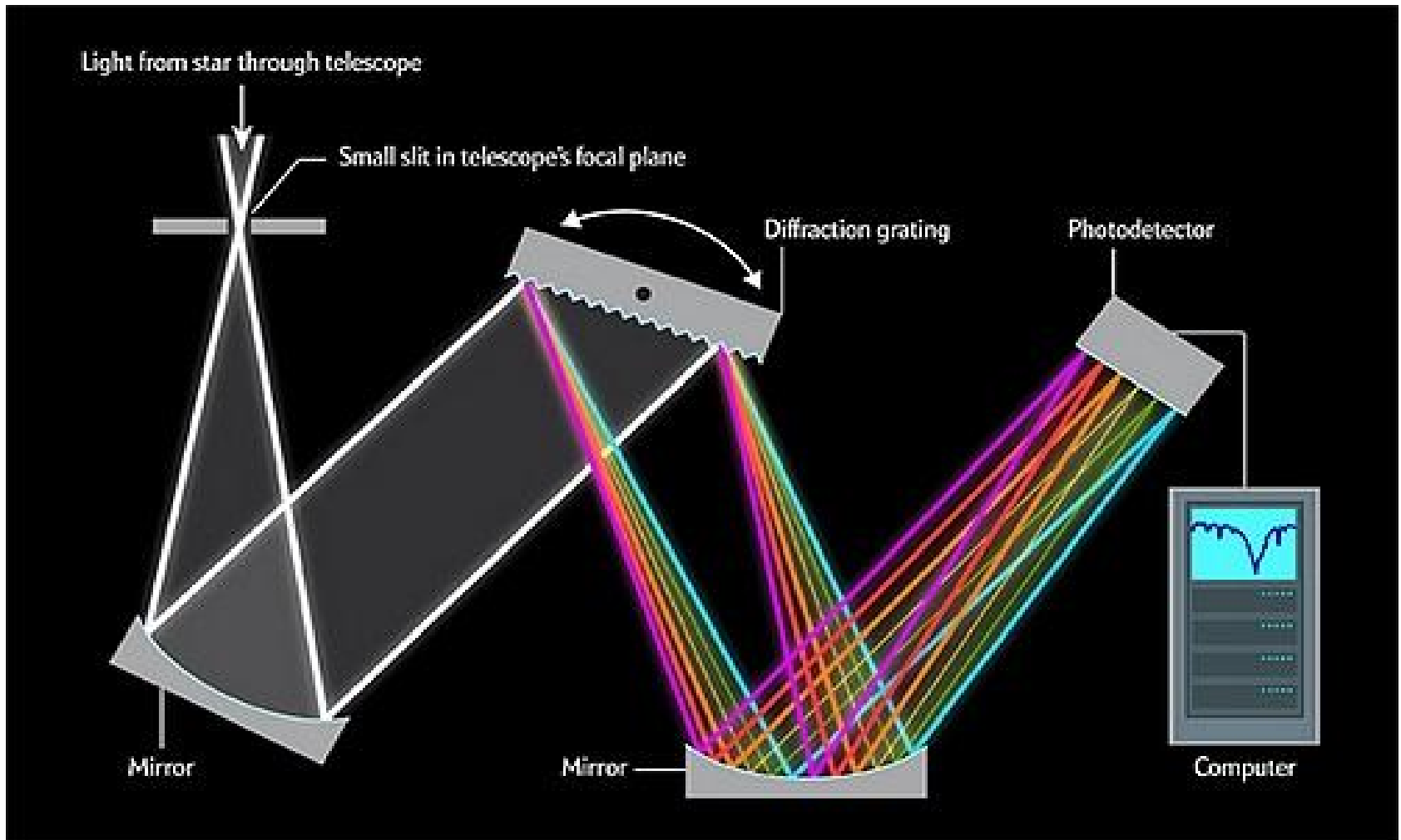
# Resolución espectral de un espectrógrafo

- Capacidad para distinguir 2 longitudes de onda del espectro cercanas

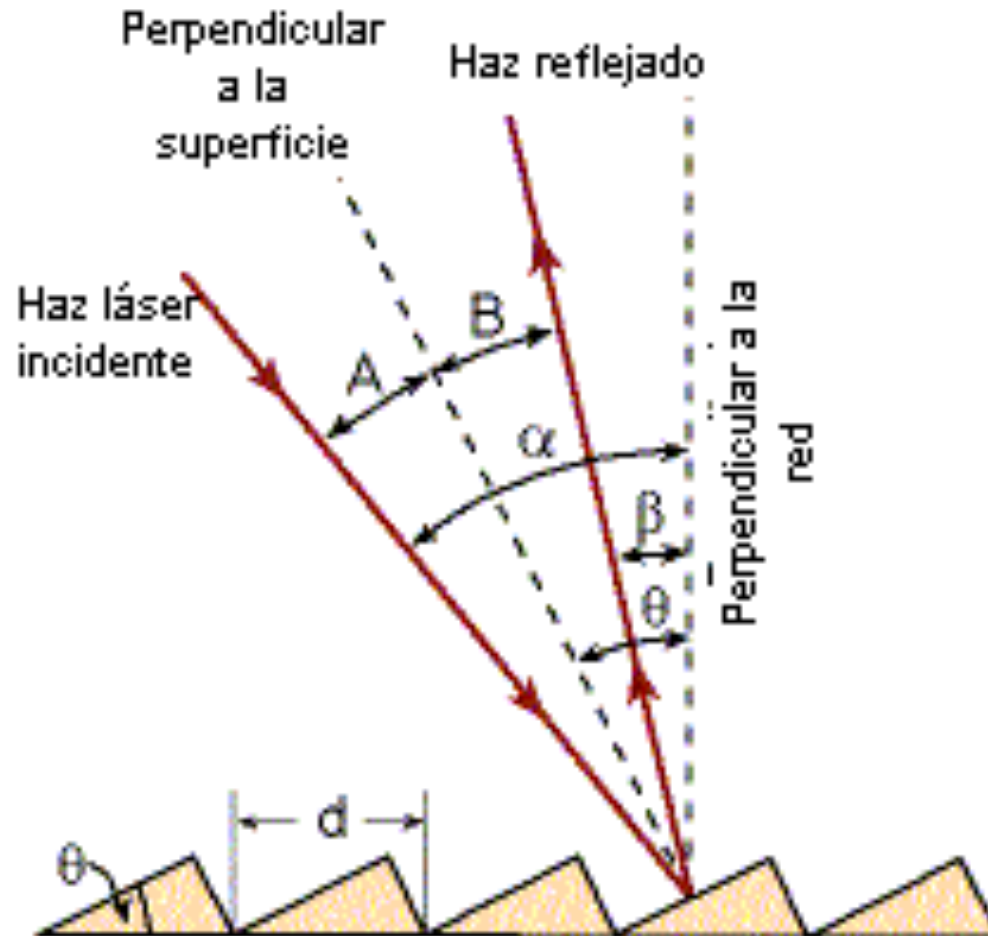
$$R = \lambda / d\lambda$$

-  $d\lambda$  es el límite de resolución. Diferencia entre 2 lambdas que el instrumento puede distinguir.

# ¿De qué depende la resolución espectral?



# Red de difracción





# Ecuaciones de la red

-  $\Delta\theta = 2\lambda / Nd \cos(\beta)$

(Ancho angular de una línea)

-  $D = d\theta/d\lambda = m/d \cos(\beta)$

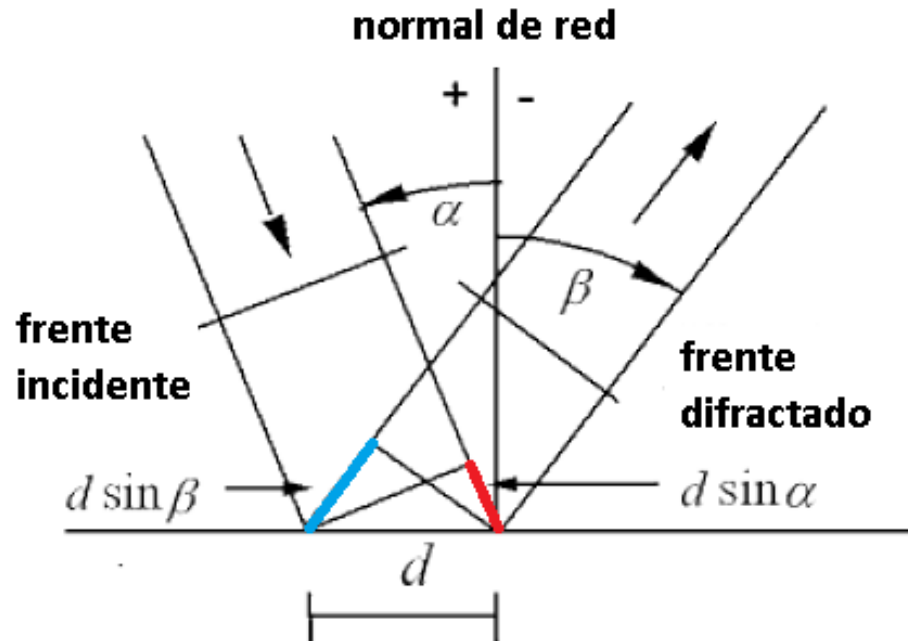
(Dispersión angular)

# Ecuación de la red

$$m\lambda/d = \sin(\beta) + \sin(\alpha)$$

Para un cierto ángulo de incidencia  $\alpha$ , en la dirección  $\beta$  se difractan rayos de luz de longitud de onda diferente según el orden.

# Derivación de la ecuación



Existe interferencia constructiva entre los rayos si:

$$m\lambda = d (\sin\alpha + \sin\beta)$$

con  $m$  un número entero

Si  $\alpha$  y  $m$  son constantes, para cada longitud de onda existe un ángulo  $\beta$

$$\beta(\lambda) = \arcsin(m\lambda/d - \sin\alpha)$$

Si  $m=0$ , entonces,  $\alpha = -\beta$  para todas las longitudes de onda. Este es el *orden cero*, o también *reflexión especular* y siempre está presente.

# Cantidad de órdenes permitidos

No todos los órdenes están permitidos, acotando la ecuación:

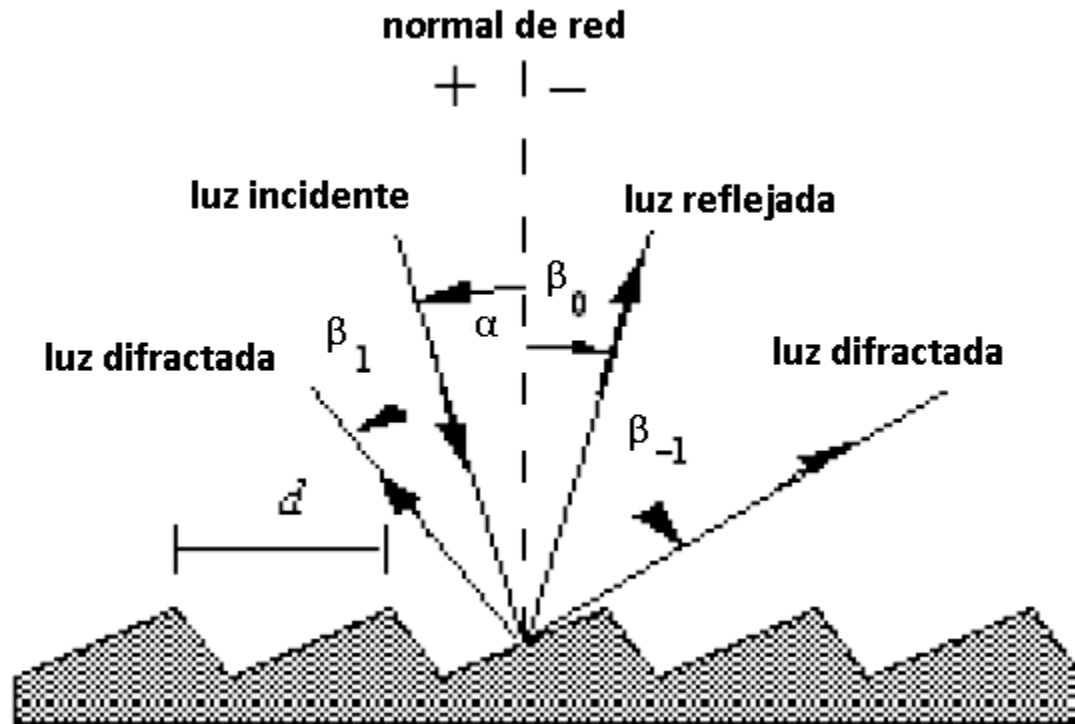
$$|m\lambda/d| < 2$$

O también:

$$-2d < m\lambda < 2d$$

Si  $d$  es comparativamente pequeña a la longitud de onda, entonces existirán pocos órdenes

# Distribución de los órdenes



Los  $m < 0$  están permitidos y corresponden a  $\beta < -\alpha$

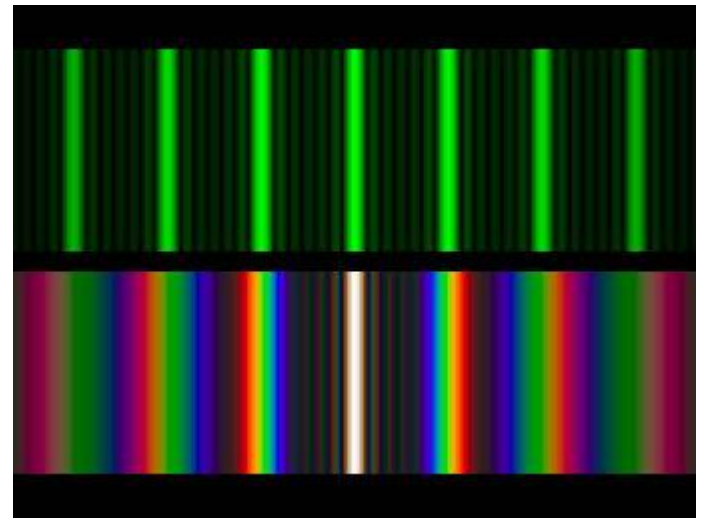
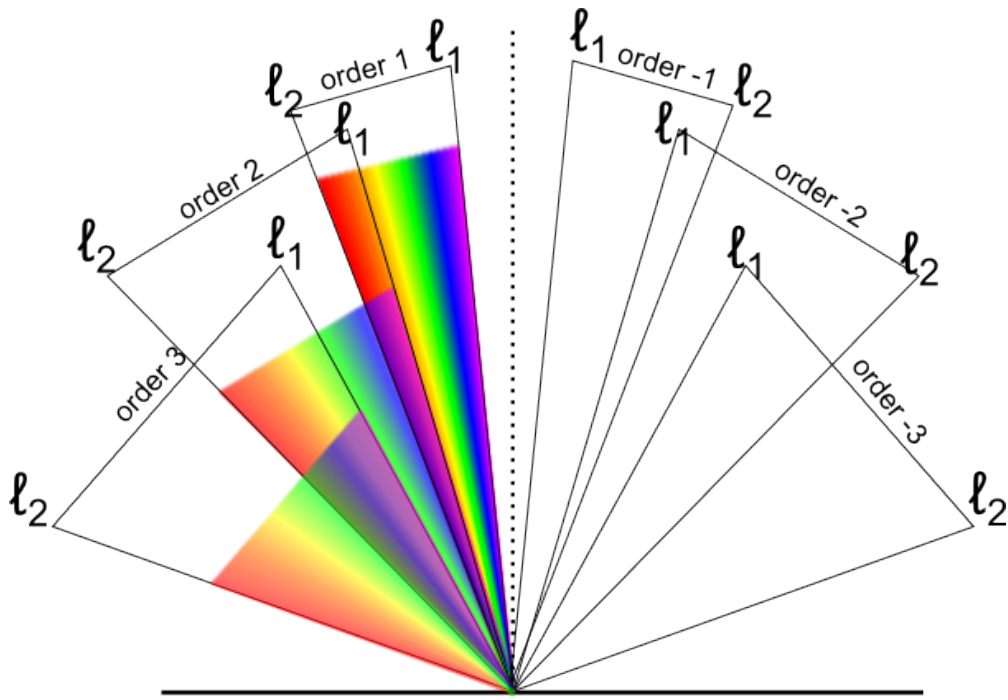
# Superposición de órdenes

Para un mismo ángulo de incidencia  $\alpha$  existen varias longitudes de onda que satisfacen la ecuación para  $\beta$ . Basta tomar  $2m$  y  $\lambda/2$ .

$$\beta(\lambda) = \arcsin(m\lambda/d - \sin\alpha)$$

Suponiendo que el detector es sensible entre las longitudes  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ . La condición para que no se superpongan es  $\lambda_2 - \lambda_1 \leq \lambda_1/m$  ó  $\lambda_2 - \lambda_1 \leq \lambda_2/(m-1)$ . Como  $\lambda_1 < \lambda_2$ , el **rango espectral libre** es  $\lambda_1/m$

# Ejemplos de superposición





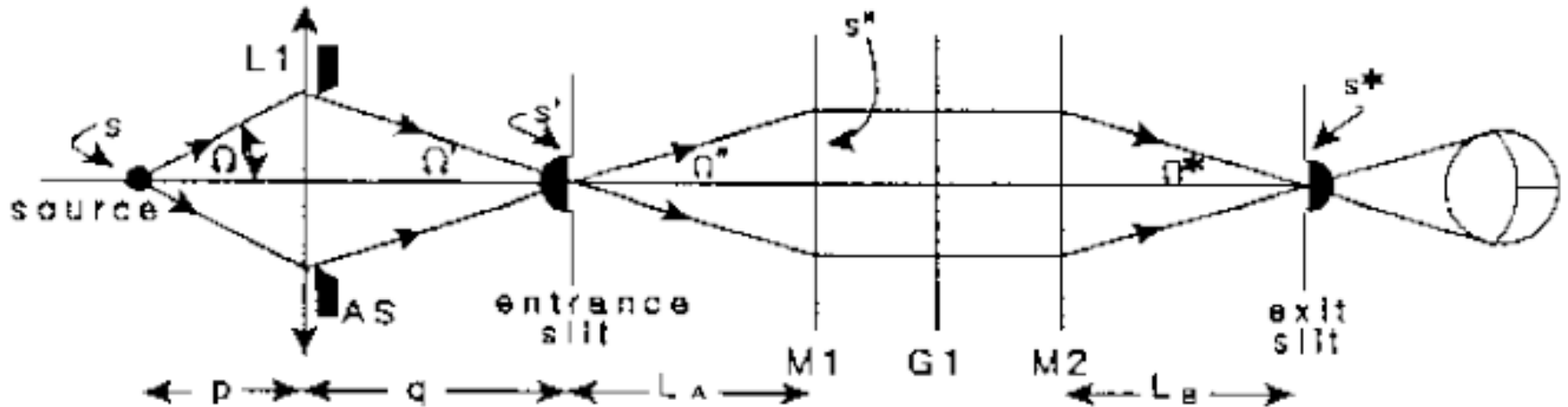
# **Factores que afectan el poder de resolución espectral**

- Dimensiones de la rendija de entrada
- Características de la red de difracción:
- Elementos de detección (Fotodetector)

# Clasificación de espectrógrafos según el poder de resolución

- Baja resolución:  $\mathfrak{R} < 1000$
- Media resolución:  $1000 < \mathfrak{R} < 10,000$
- Alta resolución:  $\mathfrak{R} > 10,000$

# Trazado de un monocromador



AS - apertura

L1 - Lente 1

M1 - Espejo 1

M2 - Espejo 2

G1 - Red de difracción

p - distancia desde el objeto hasta L1

q - distancia de la imagen desde L1

s - área de la fuente

s' - área de la imagen de la fuente

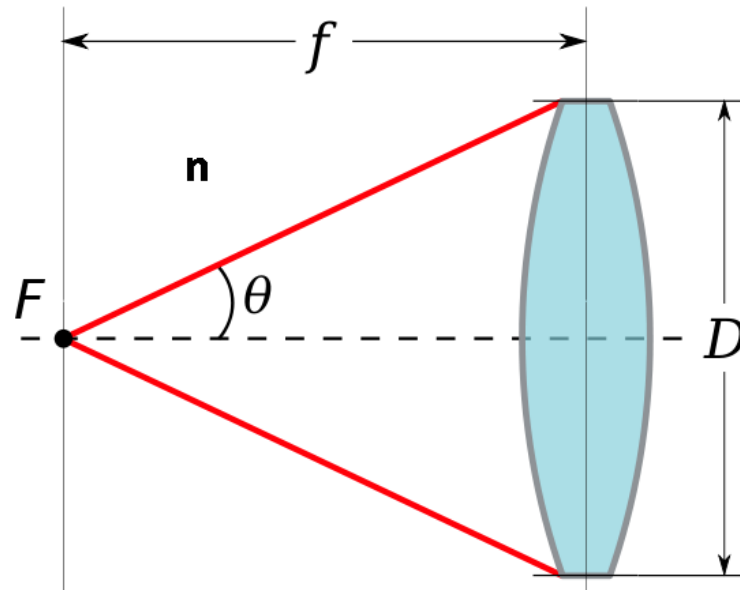
# Apertura numérica (NA) y f-number (N o f/#)

Son una relación entre la lente y el tamaño de la apertura

$$NA = n \sin \theta$$

$$N = f/D$$

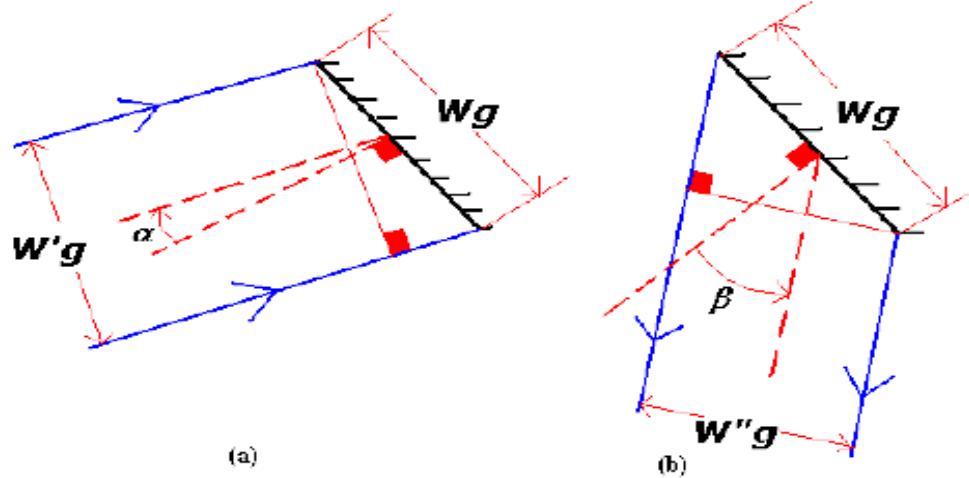
$$N \approx \frac{1}{2 NA_i}$$



Cuantifica la capacidad para recolectar luz del sistema.

# Proyecciones de entrada y salida

La superficie del red percibida desde la entrada y la salida modifican el f/#



$$f/\text{valor}_{\text{in}} = L_A / W_g \cos(\alpha)$$

$$f/\text{valor}_{\text{out}} = L_B / W_g \cos(\beta)$$

## Cálculo del f/# de un espectrómetro

Si la red es rectangular, es necesario usar el diámetro del círculo de área equivalente

$$D' = 2 \sqrt{\frac{W_g H_g \cos \alpha}{\pi}}$$

$$D'' = 2 \sqrt{\frac{W_g H_g \cos \beta}{\pi}}$$

$$f/\text{valor}_{\text{in}} = L_A/D'$$

$$f/\text{valor}_{\text{out}} = L_B/D''$$

## Eficiencia de una red de difracción

La eficiencia absoluta para una longitud de onda  $\lambda$  se define como la potencia del haz difractado en un orden  $m$  sobre la potencia de incidencia en la red:

$$\eta_m A(\lambda) = \frac{\text{potencia difractada } (\lambda, m)}{\text{potencia incidente}}$$

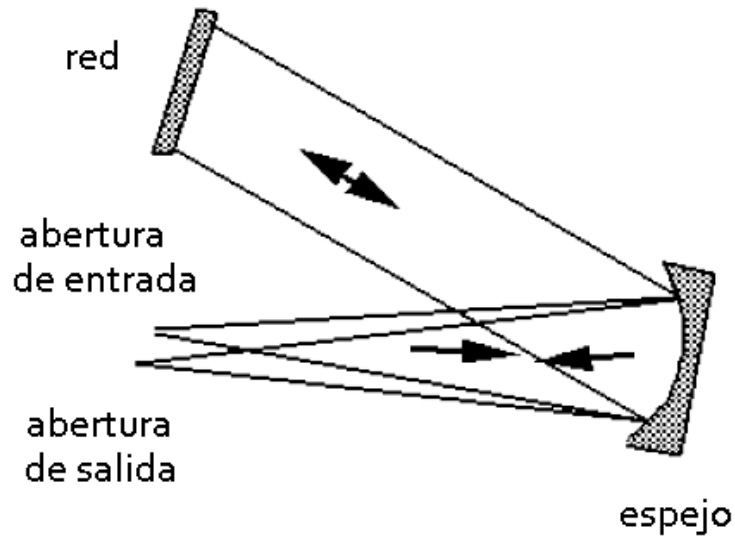
## Redes de “*blaze*”

A veces se busca **máxima** eficiencia para una sola longitud de onda a un dado **orden**. De esta manera la poca energía sobrante será distribuida en los otros órdenes.

El tipo de red más simple que logra esto es la **triangular aserrada** en una configuración de Littrow.



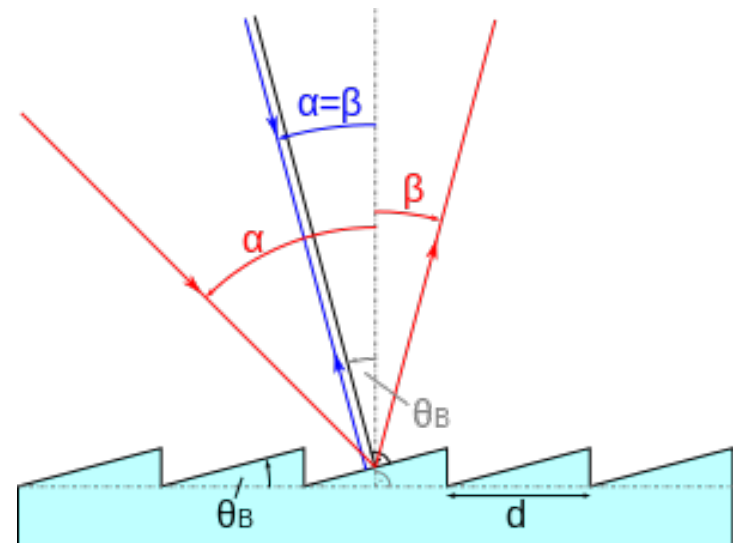
# Configuración de Littrow



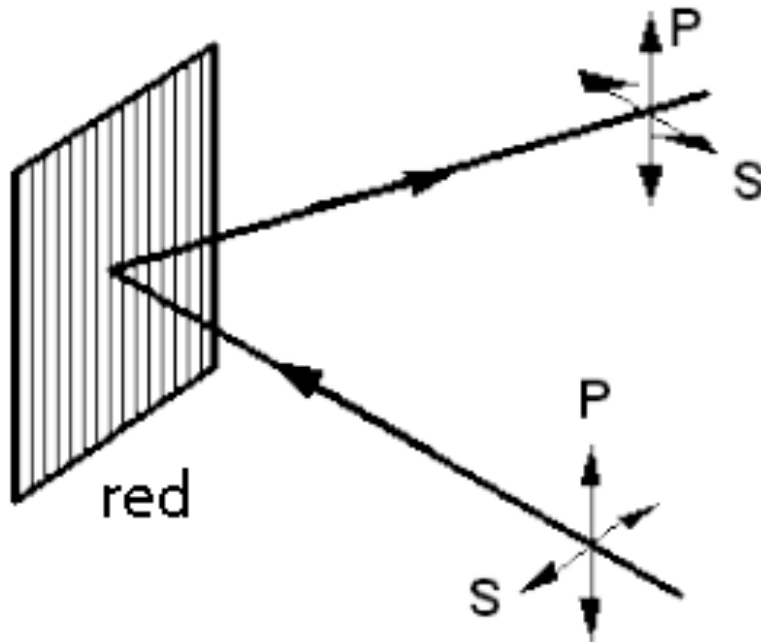
Es tal que  $\alpha = \beta$ . Los rayos vuelven sobre sí mismos hasta una abertura cerca de la de entrada. (azul)

El ángulo  $\theta_B$  se calcula imponiendo  $\alpha = \beta = \theta_B$  en la ecuación de difracción:

$$\theta_B = \text{asin}( m\lambda/2d )$$



# Direcciones ortogonales



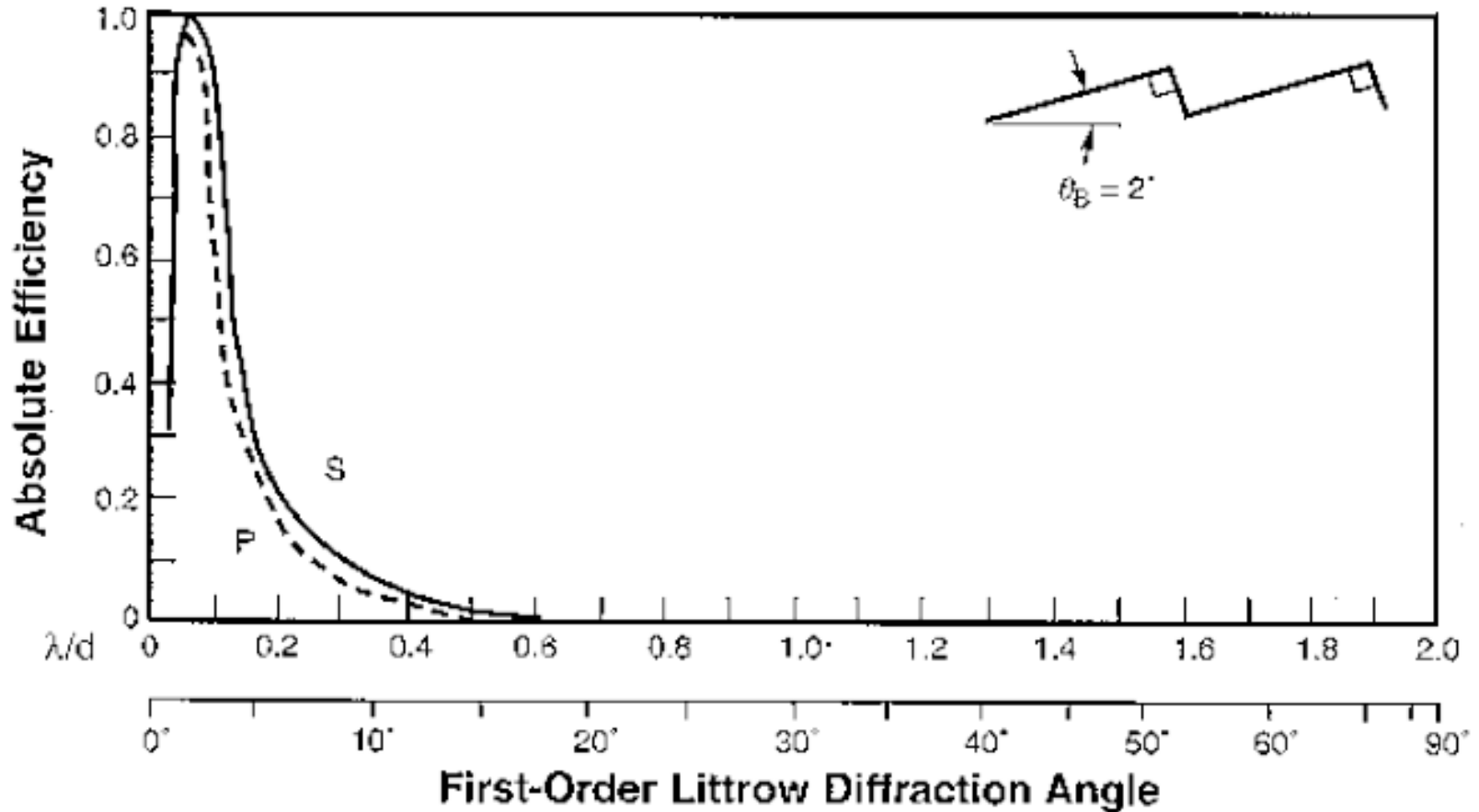
-Las direcciones P (también TE) y S (TM) son ortogonales a la propagación.

-P es paralela a los surcos de la red.

-S es perpendicular a los surcos.

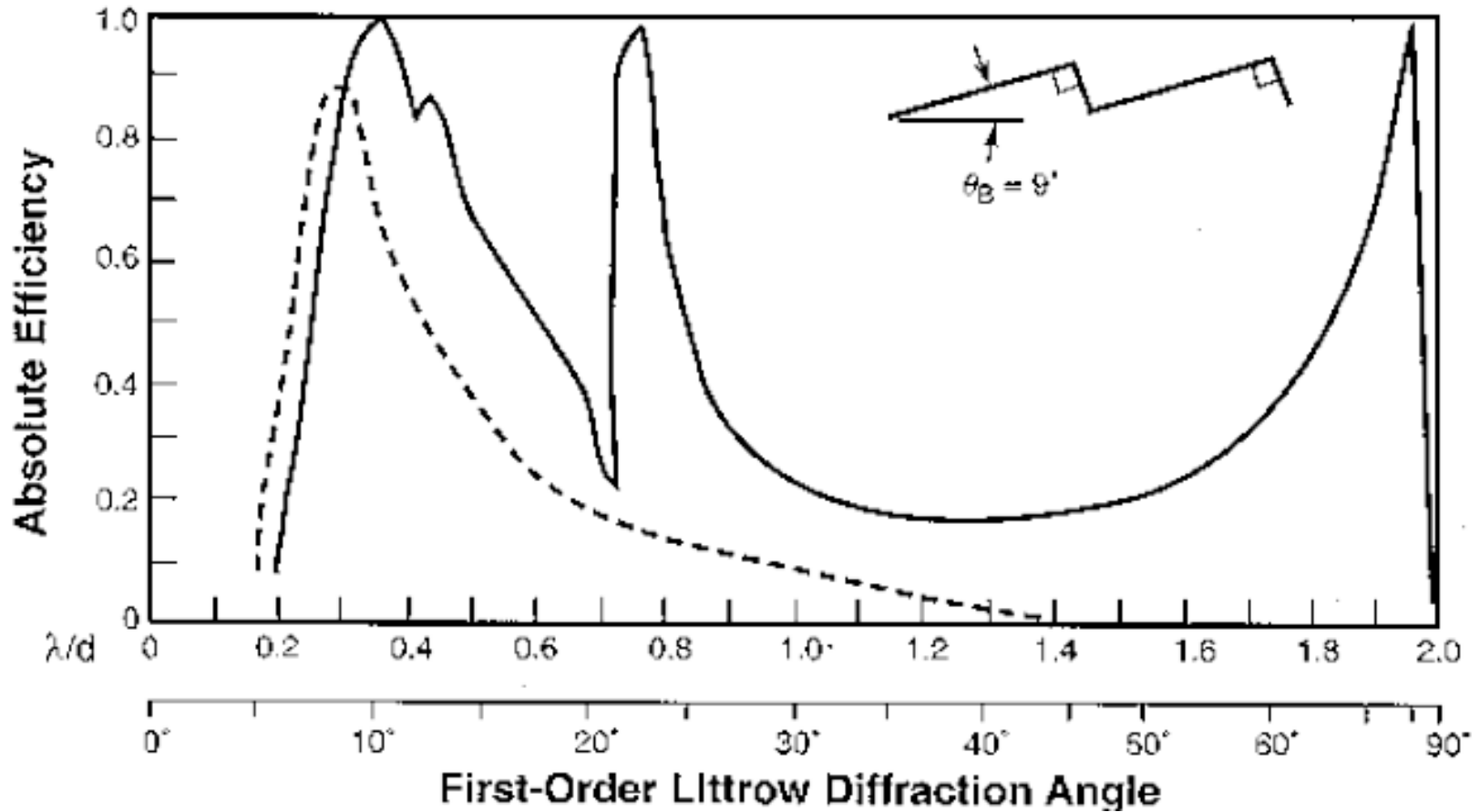
La eficiencia **no** es independiente de la polarización. *La eficiencia de luz no polarizada es el promedio de la eficiencia para ambas direcciones.*

# Gráficos de eficiencia



Curva teórica de eficiencia de primer orden: ángulo blaze de  $2^\circ$  y montaje Littrow. Curva sólida polarización s, curva guionada polarización p

# Presencia de anomalías



Curva teórica de eficiencia de primer orden: ángulo blaze de  $9^\circ$  y montaje Littrow. Curva sólida polarización s, curva guionada polarización p