

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

Para la práctica 8, ver páginas 8 a 16

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 λ^{-1} .
- La amplitud se halla también modulada por un factor llamado de oblicuidad.
- Existe un desfase de 90° entre la onda incidente y la emisión de la onda secundaria.

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

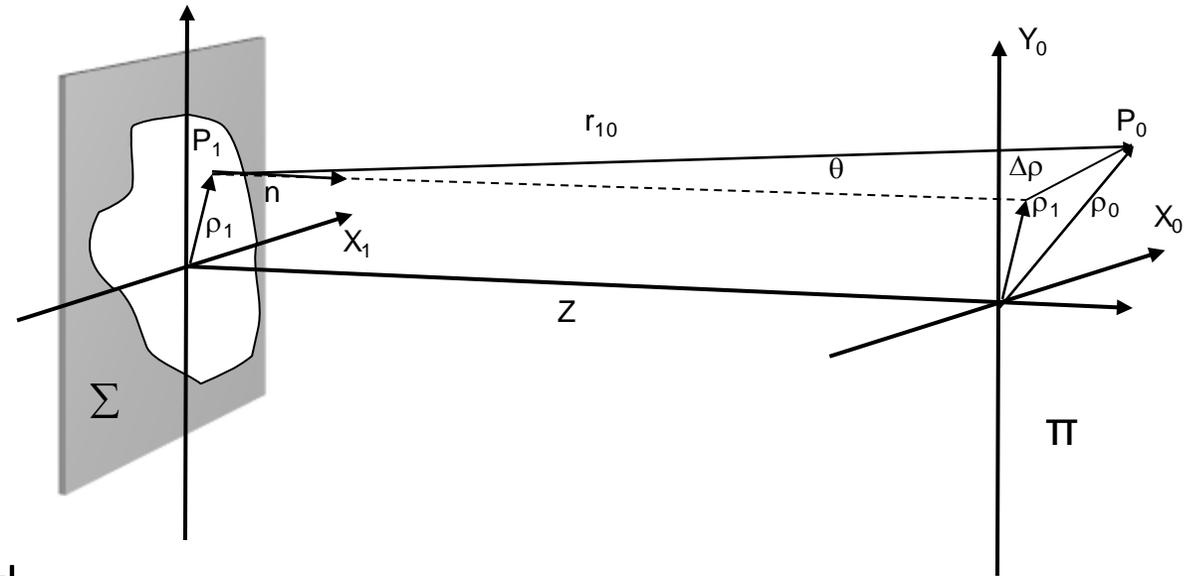
Surge de resolver en forma exacta las ecuaciones de Maxwell (1864)

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

desfasaje de -90°
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

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

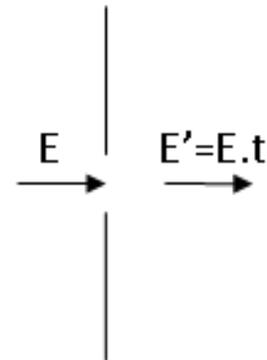
$$\iint_{\Sigma} E(x_1, y_1) \exp\left(-i\frac{k}{z}[x_0x_1 + y_0y_1]\right) \exp\left(i\frac{k}{2z}(x_1^2 + y_1^2)\right) dx_1 dy_1$$

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**

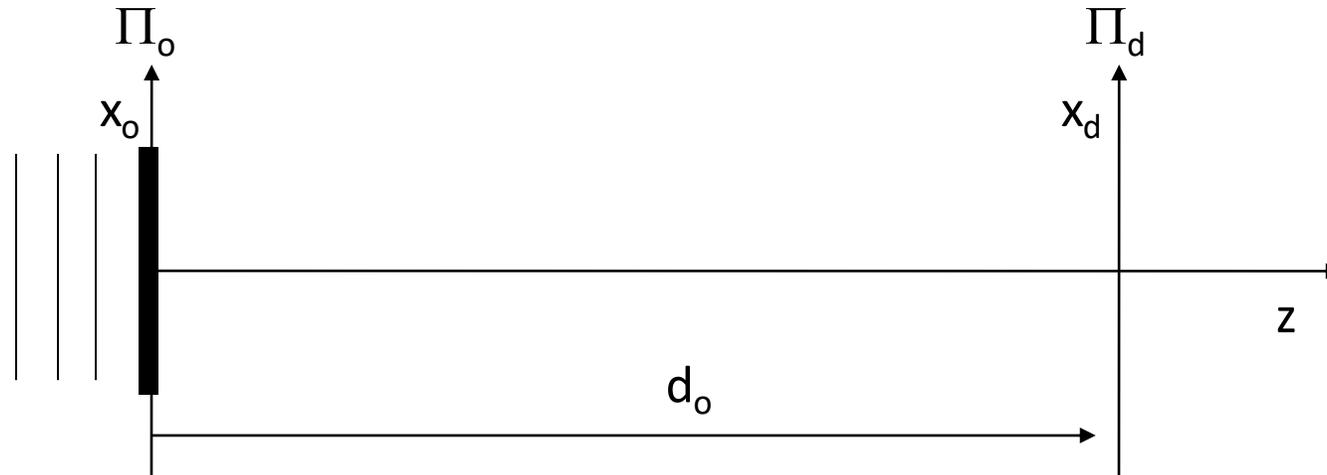
ii) En la abertura se pone una transmisión $t(x_1, y_1) = e^{-i\frac{k}{2z}(x_1^2 + y_1^2)}$

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



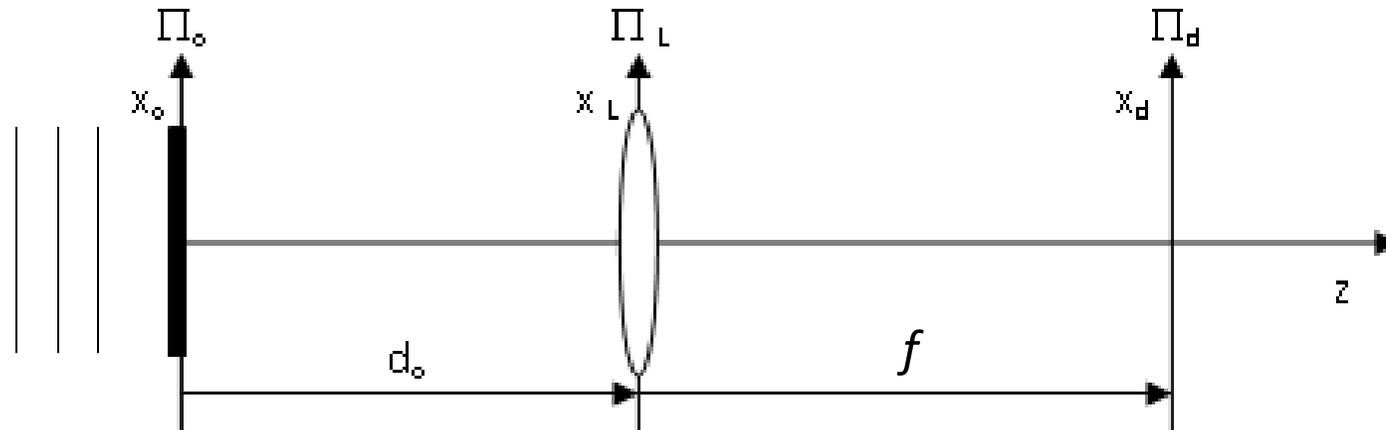
Difracción en campo lejano (Fraunhofer)

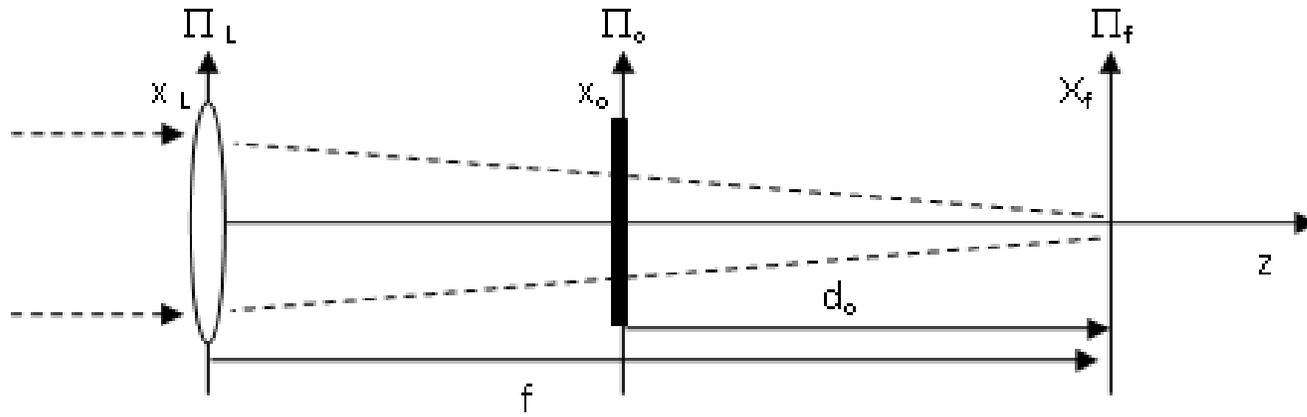
- Montaje elemental: fuente de luz y pantalla de observación muy distantes del objeto difractor



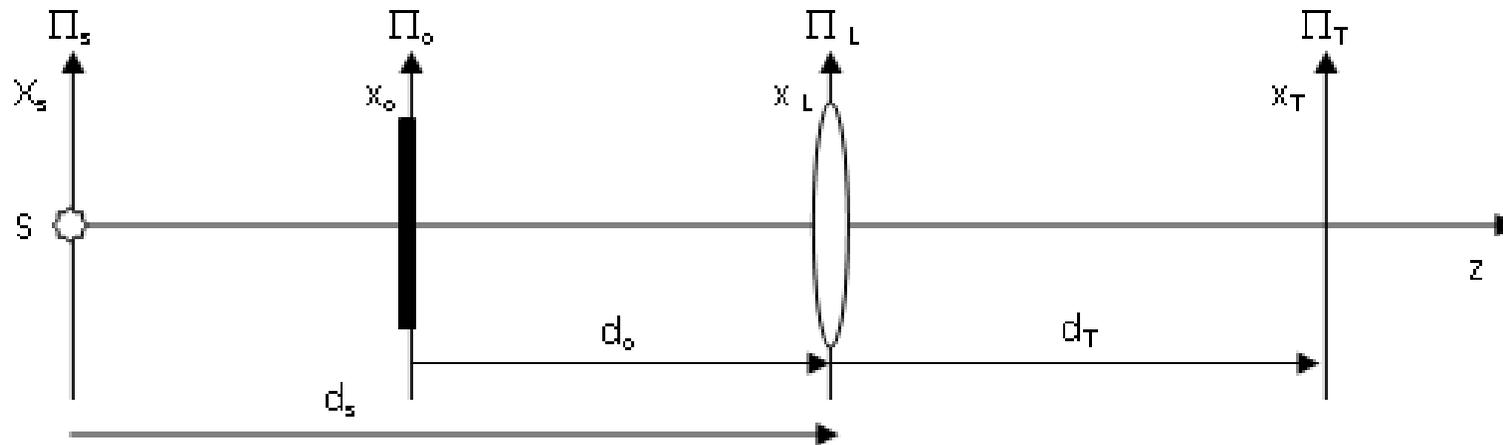
- Montajes con lentes

Si $d_o = f \rightarrow$ TF exacta





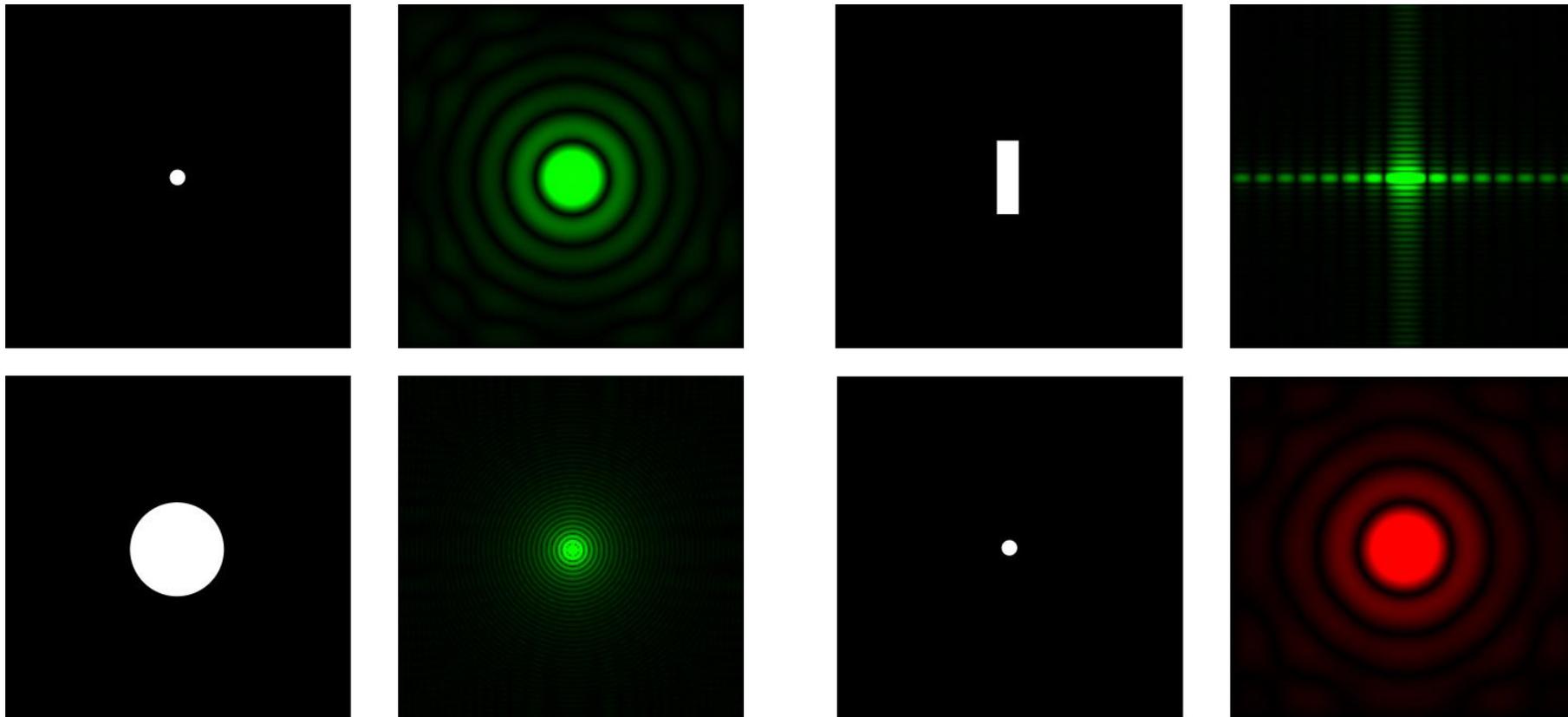
Se puede escalar la TF



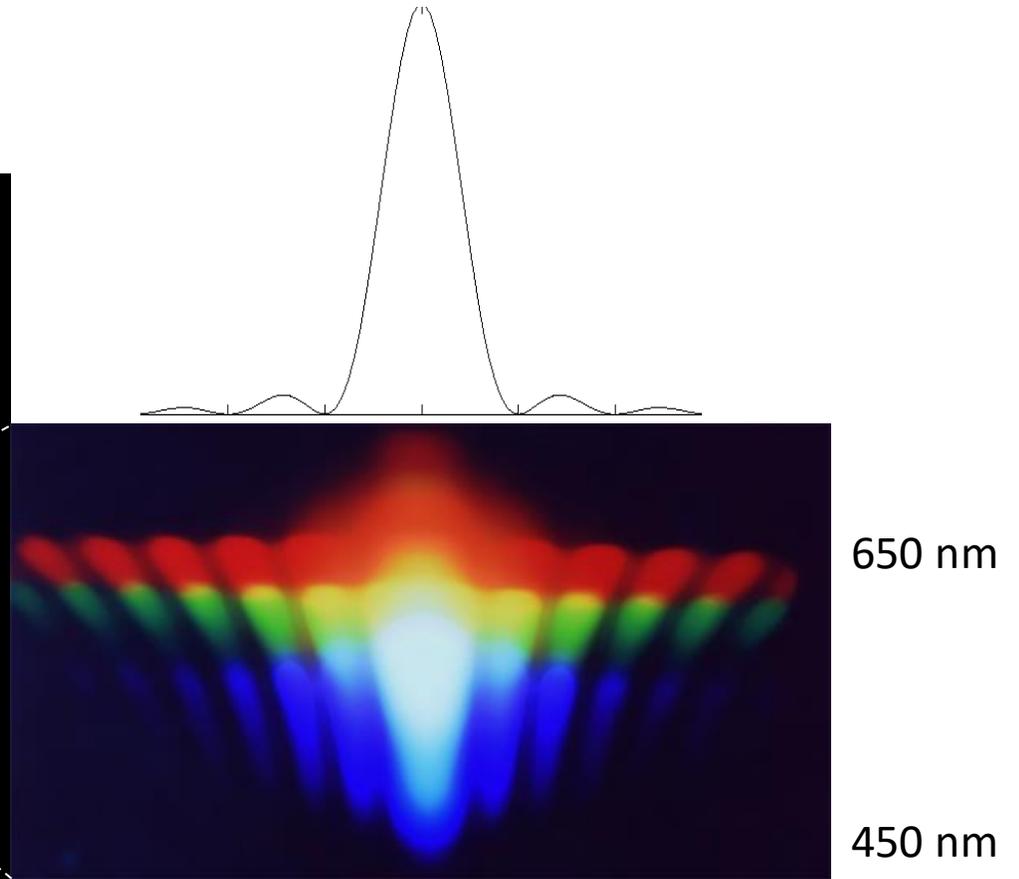
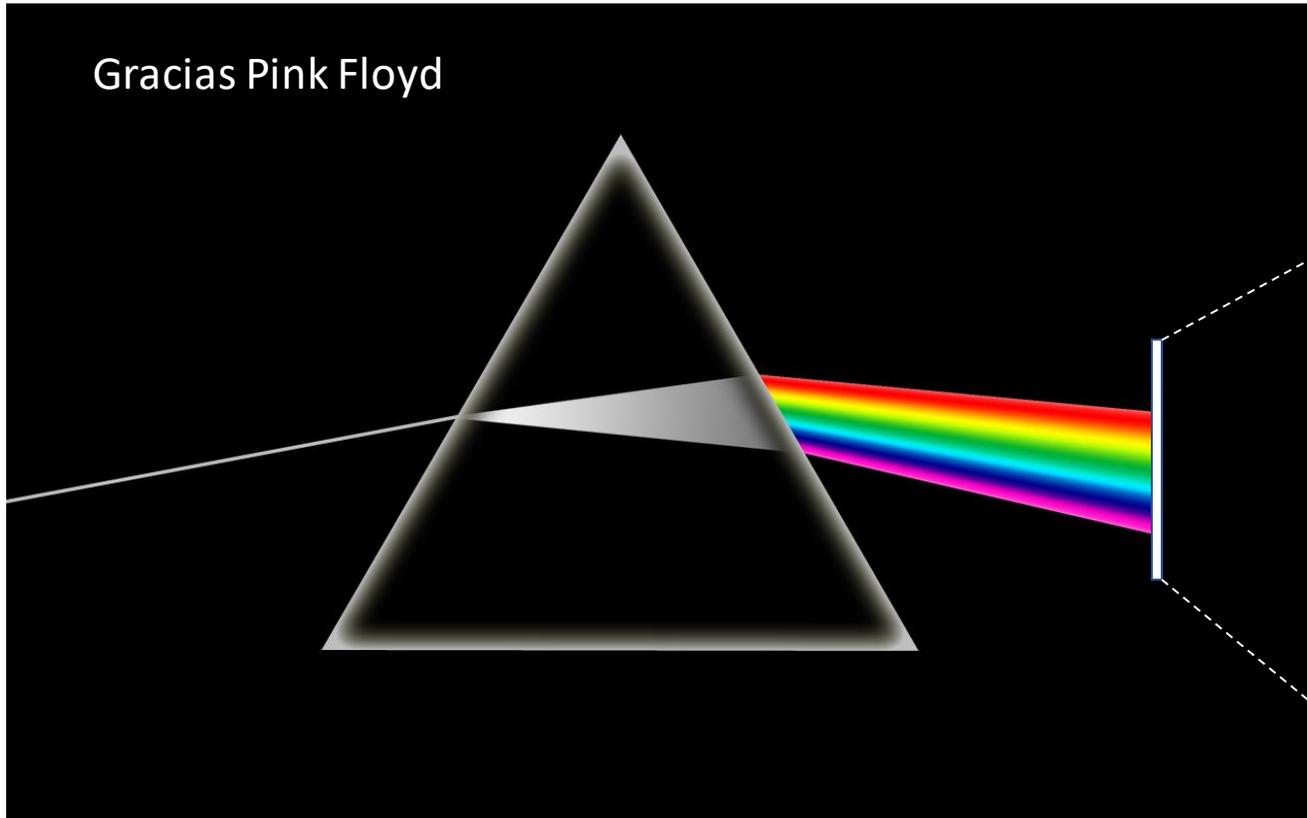
La TF siempre se obtiene en el plano conjugado de la fuente

Algunas propiedades de la TF

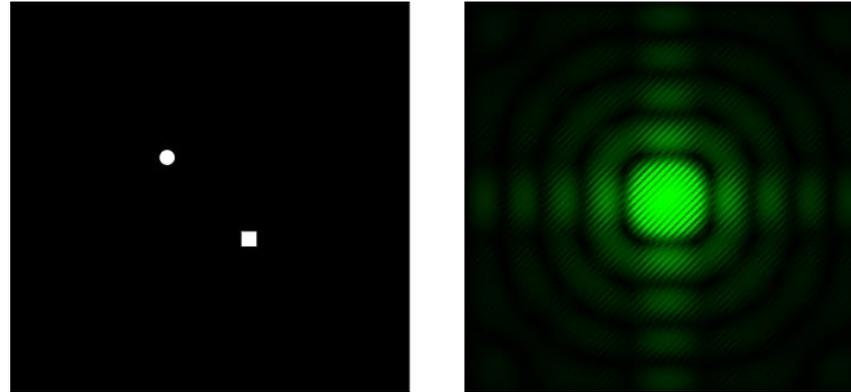
- El tamaño de la TF (en este caso la figura de difracción) es inversamente proporcional al tamaño del objeto y directamente proporcional a la longitud de onda



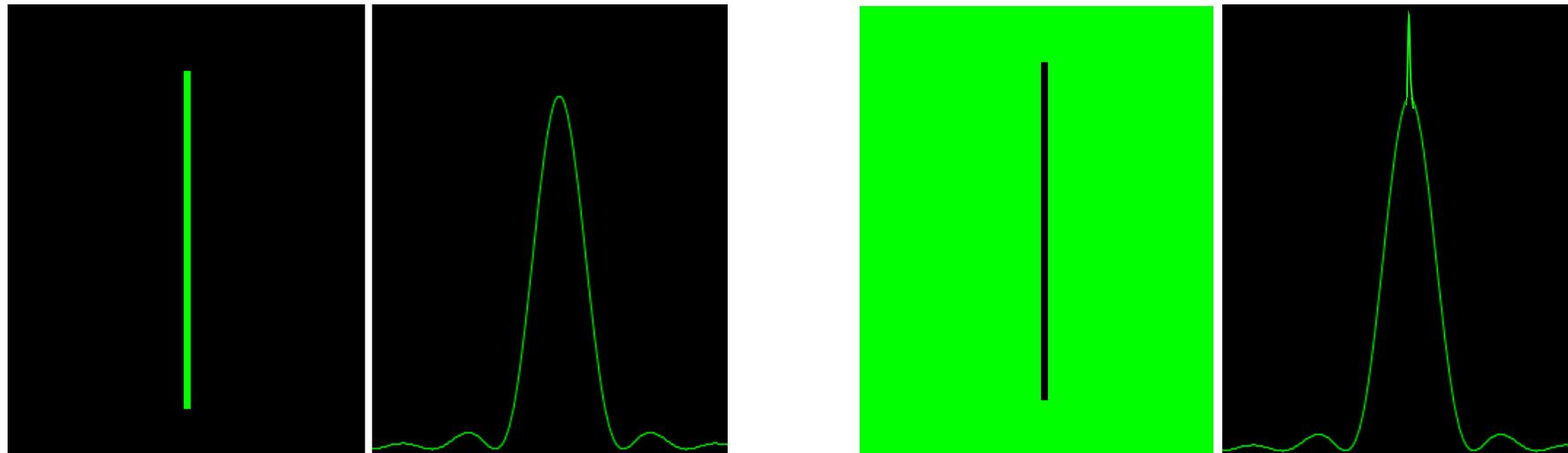
Difracción por una ranura vs λ



- 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

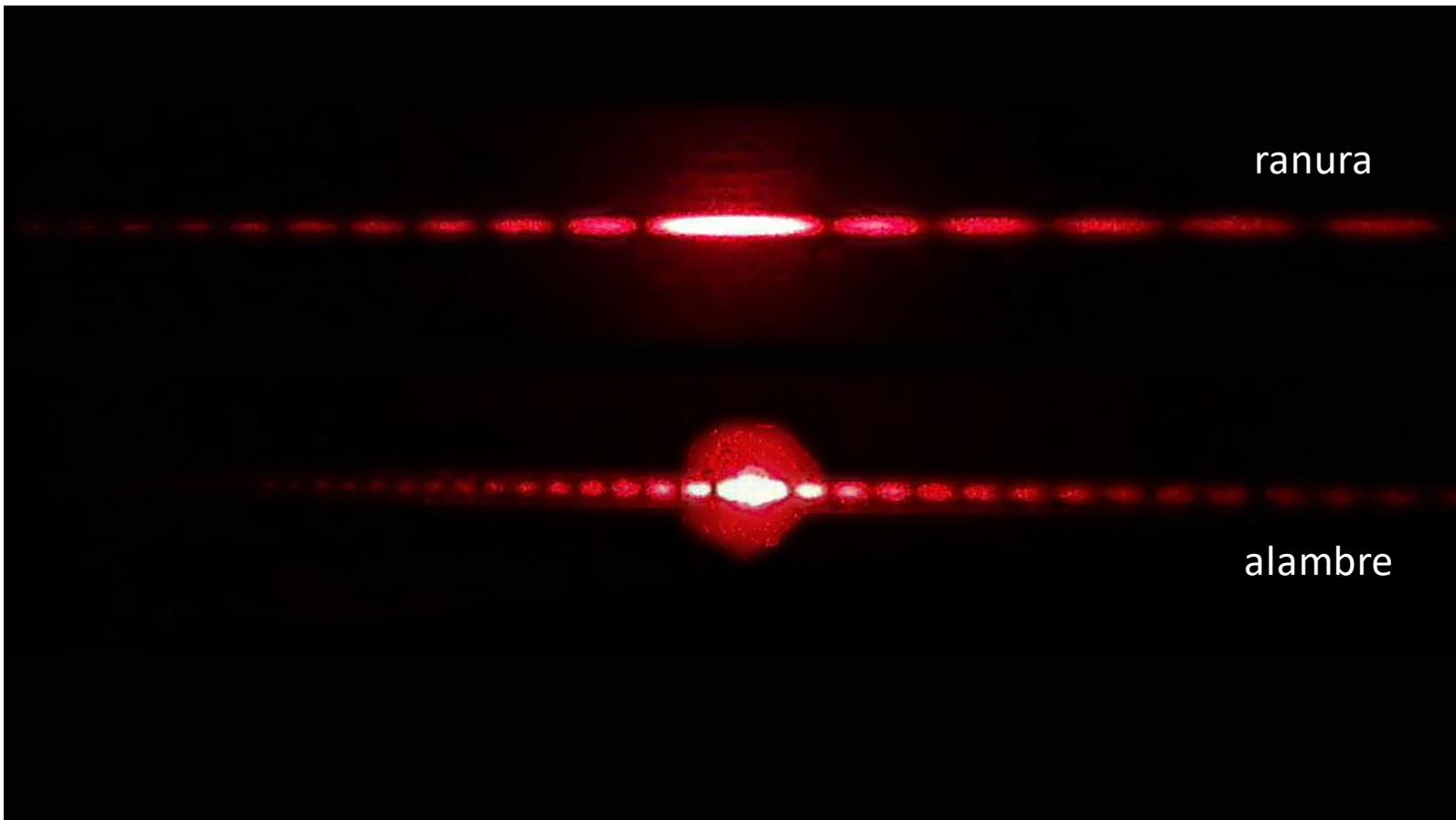


- Objetos complementarios tienen la misma figura de difracción ¿?



Cálculo del diámetro de un alambre por difracción

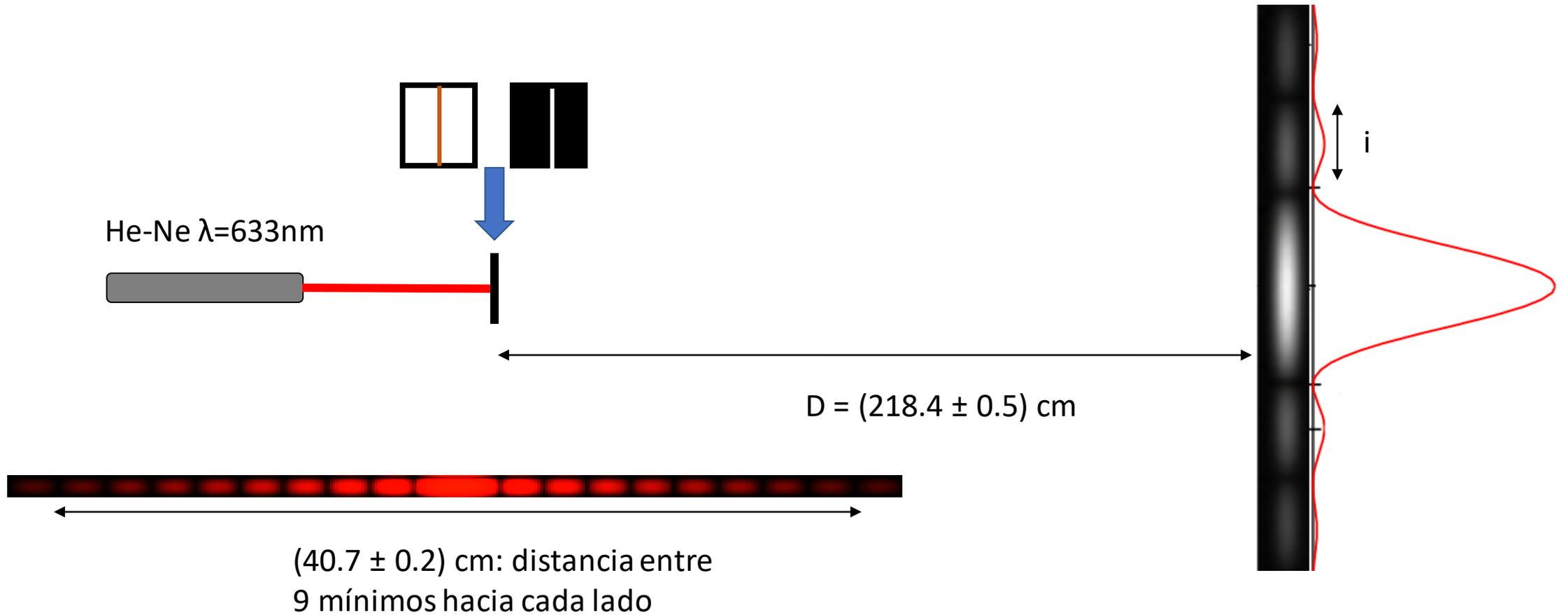
- Son similares las figuras de difracción producidas por un alambre y una ranura?
- Hay algún ancho de la ranura para el cual ambas figuras coincidan?
- Será válida la ecuación que describe el ancho de una ranura en función de λ , D , i para calcular el diámetro del alambre?

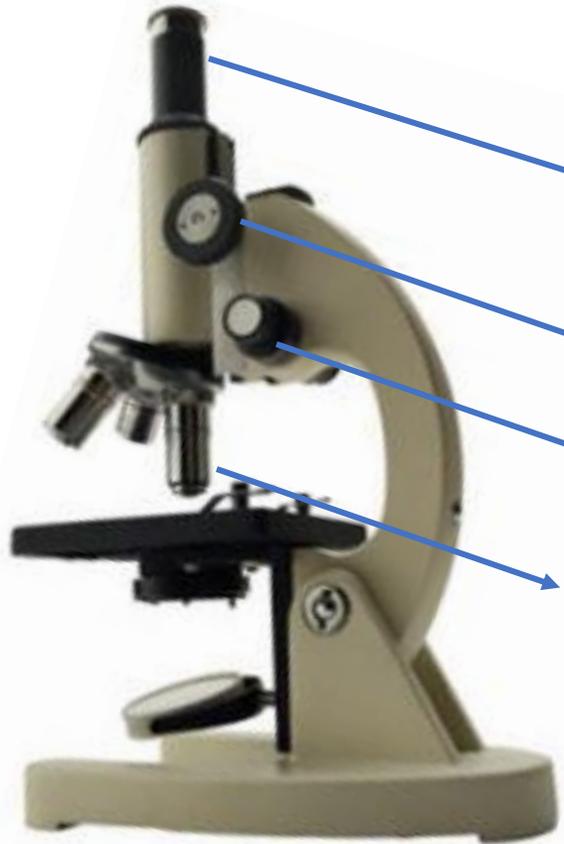


Comprobarlo



Resultados e la experiencia



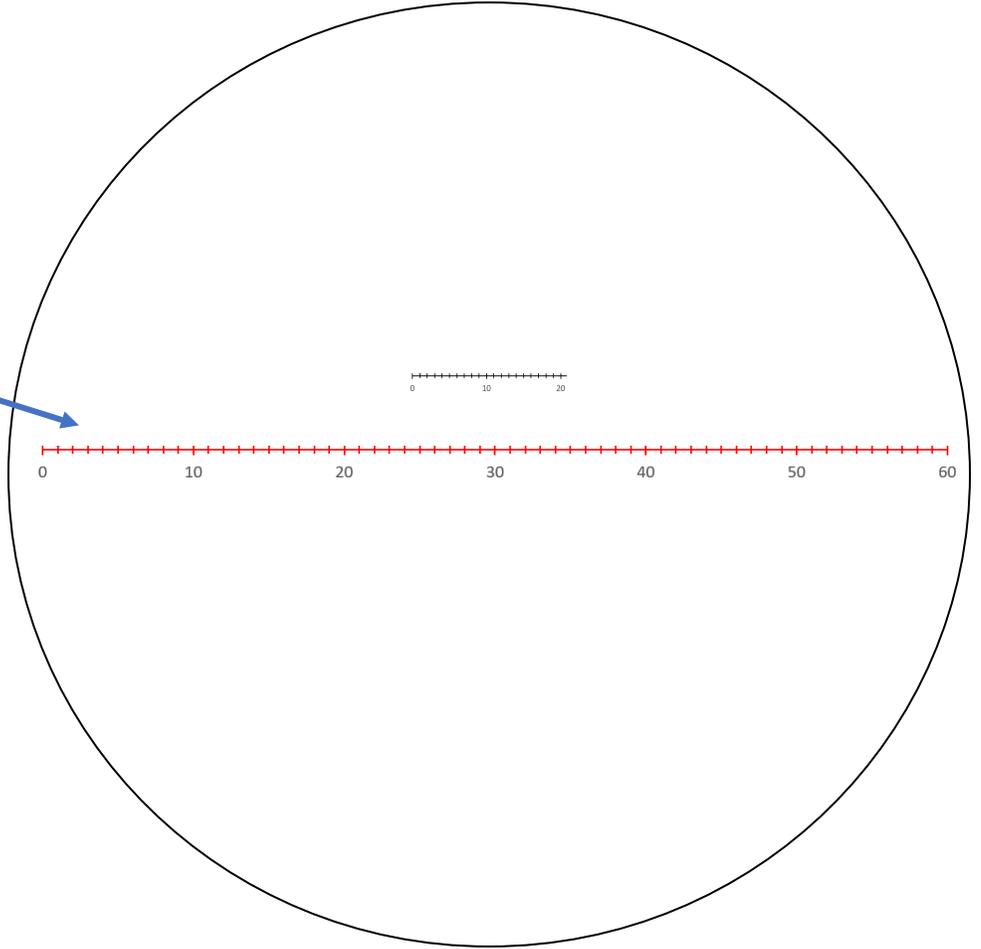


regla ocular

enfoque grueso

enfoque fino

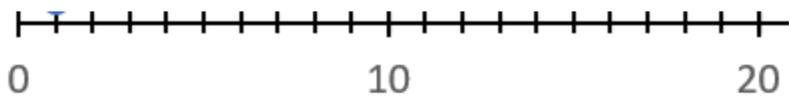
objetivos

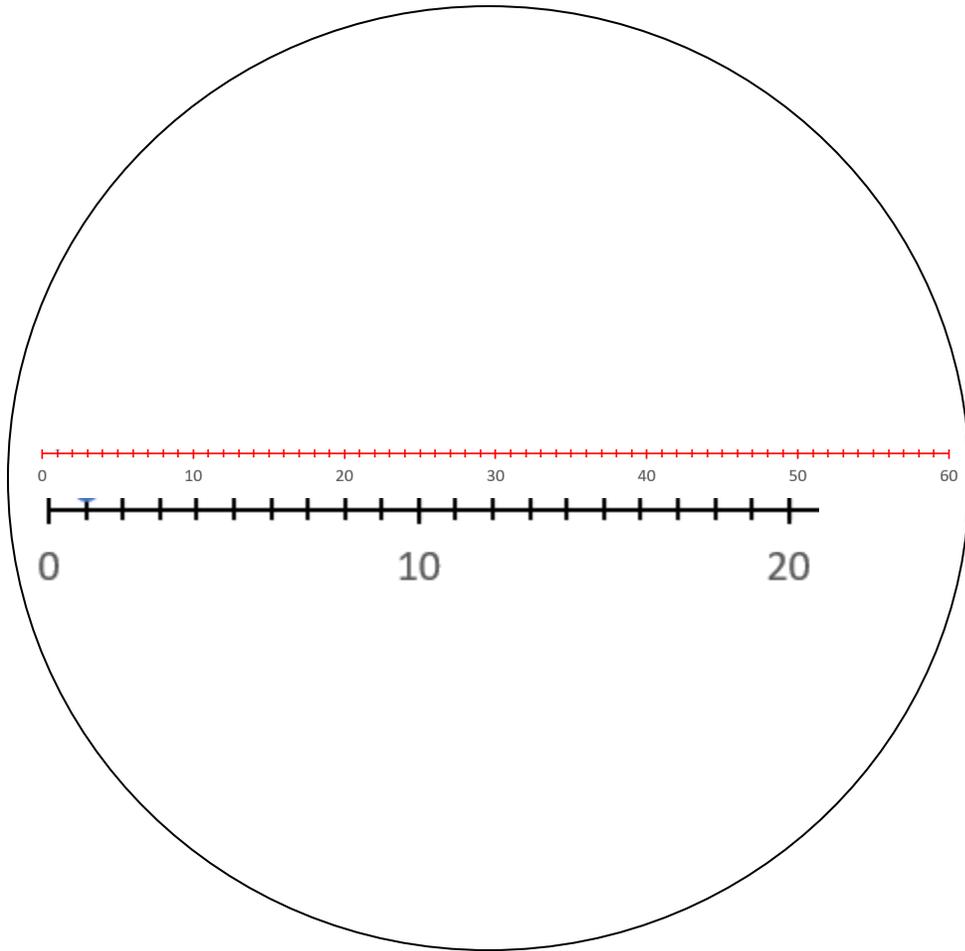


10 μ

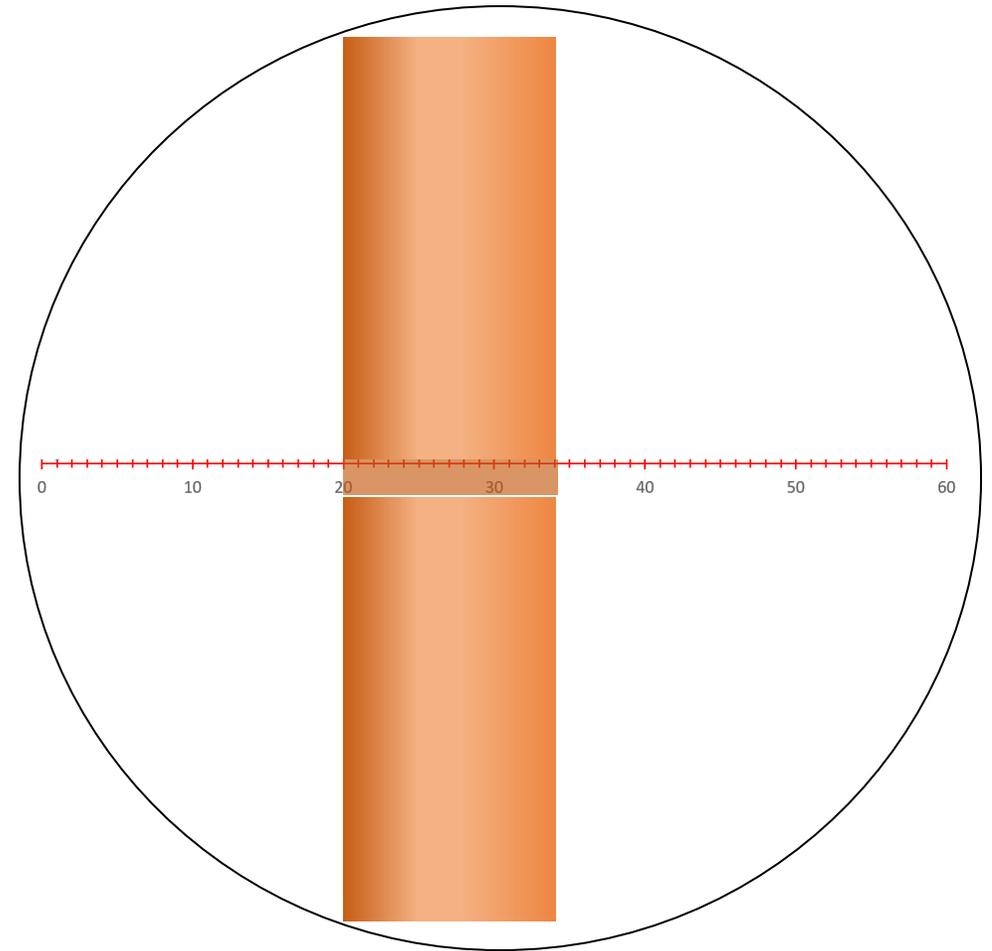


regla calibrada





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



el alambre mide 14.5 divisiones del ocular

Medición de la intensidad con Motion Daq (600lux)



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

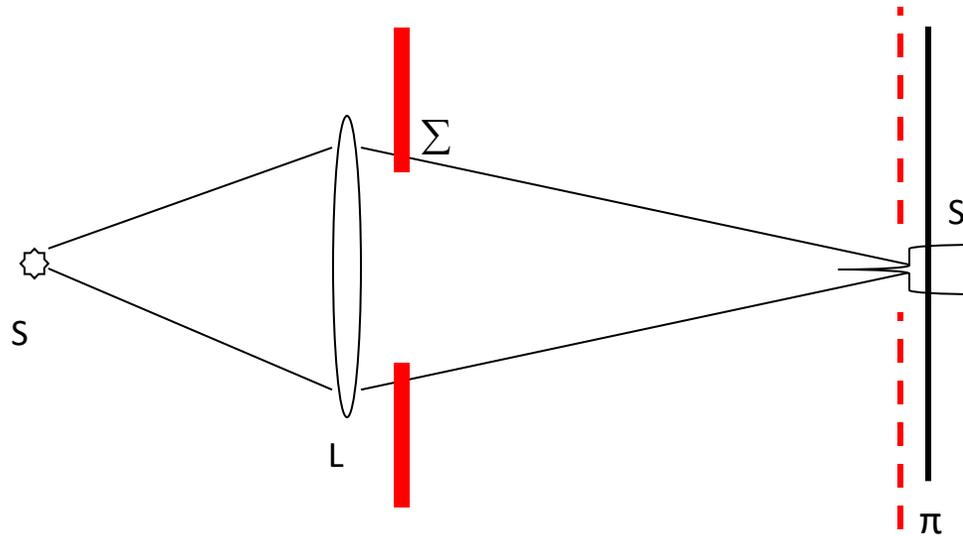
$$E(P_0) = \iint_{\Sigma} E(P_1) f(r_{10}) dS = \iint_{\Sigma'} E(P_1) f(r_{10}) dS + \iint_{\Sigma''} E(P_1) f(r_{10}) dS$$

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

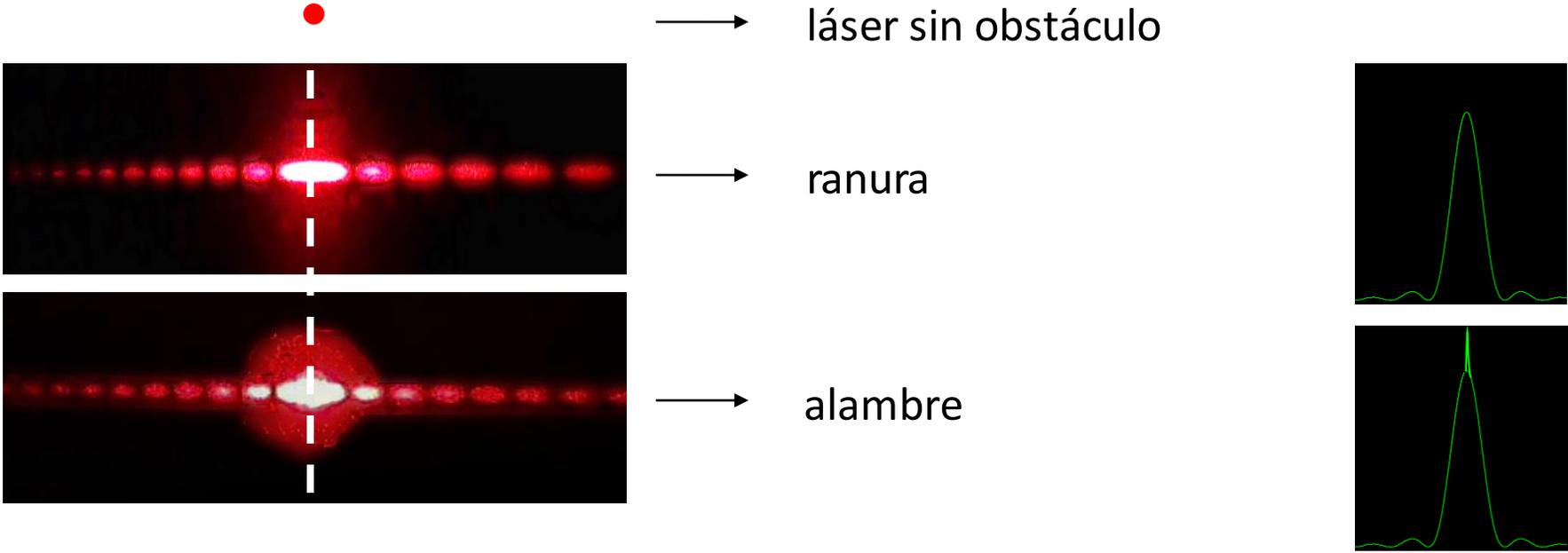
Comentarios:

- Es evidente que si una de las pantallas es opaca, por ejemplo Σ' , entonces Σ'' será totalmente transparente y producirá igual campo que Σ
- 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

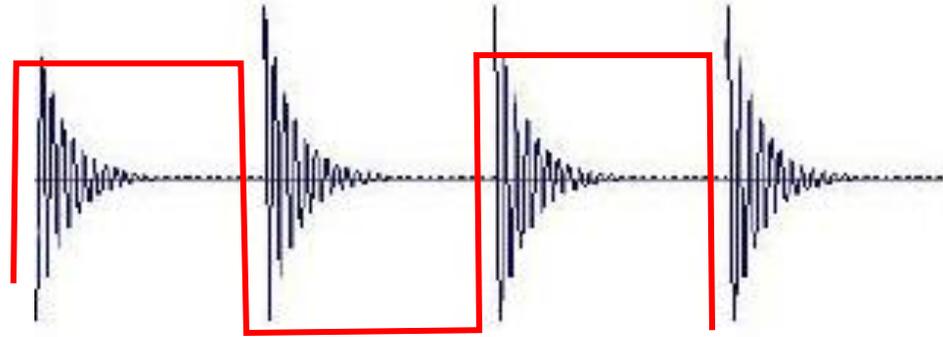


Excepto en el punto donde incidía el láser sin obstáculo ($E \neq 0$) las dos figuras coinciden

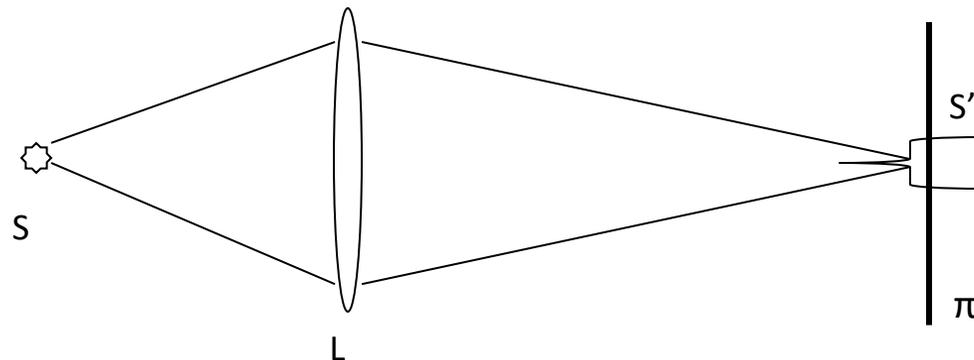


Respuesta al impulso (difracción en formación de imágenes)

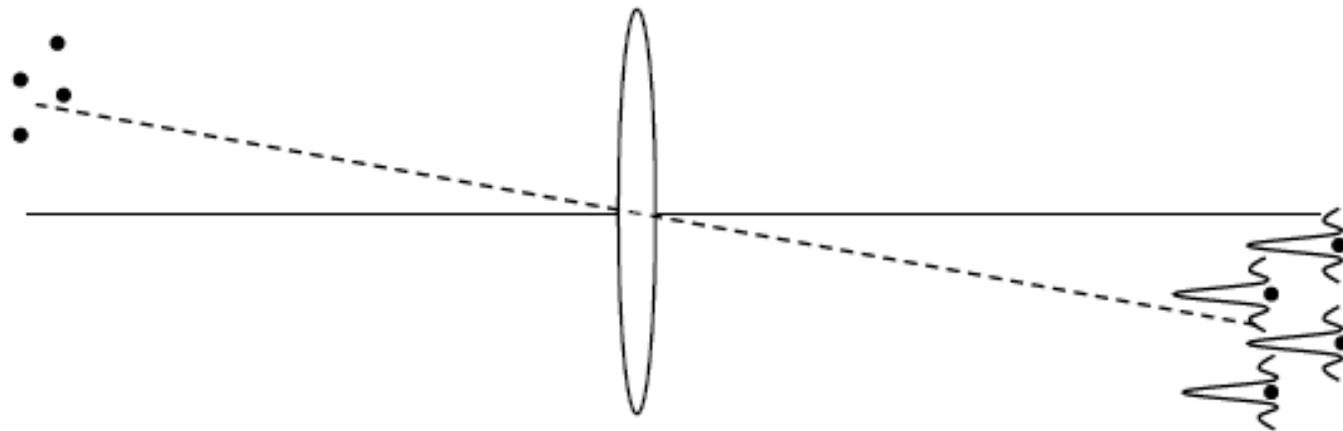
- La respuesta al impulso es una forma de estudiar, en general, “sistemas lineales”.
- En el caso temporal un pulso era una señal de muy corta duración (una función *delta* en el tiempo)



- En el caso espacial un pulso corresponde a una función *delta* en el espacio (fuente puntual)



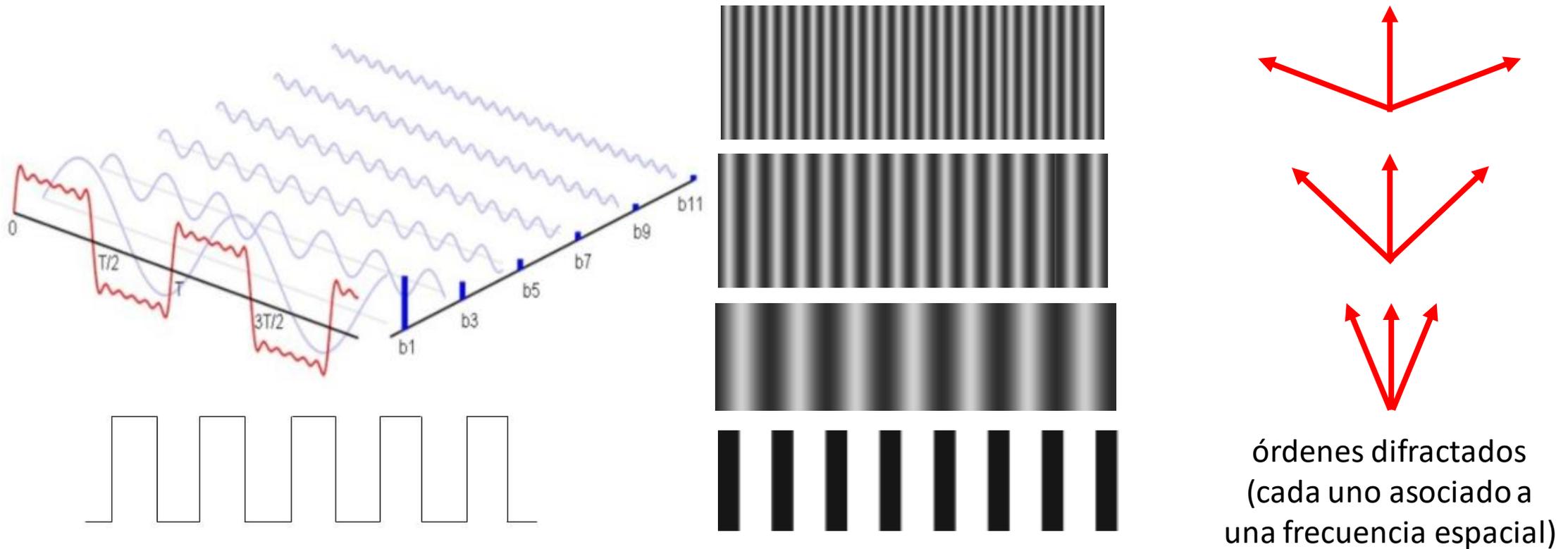
- En óptica geométrica la imagen de un punto es un punto, pero siempre existe difracción, así en realidad, la imagen de una fuente puntual a través de un sistema óptico es una figura ensanchada que corresponde al patrón de difracción de la pupila de entrada (su Transformada de Fourier)
- Un objeto extenso lo podemos pensar como un conjunto de puntos, luego en la imagen cada punto debe reemplazarse por la respuesta al impulso. Así la imagen es siempre una versión con menos detalles que el objeto
- Sólo no hay difracción si el diámetro de las lentes $\rightarrow \infty$ o $\lambda \rightarrow 0$



Sistema óptico como filtro pasa bajos

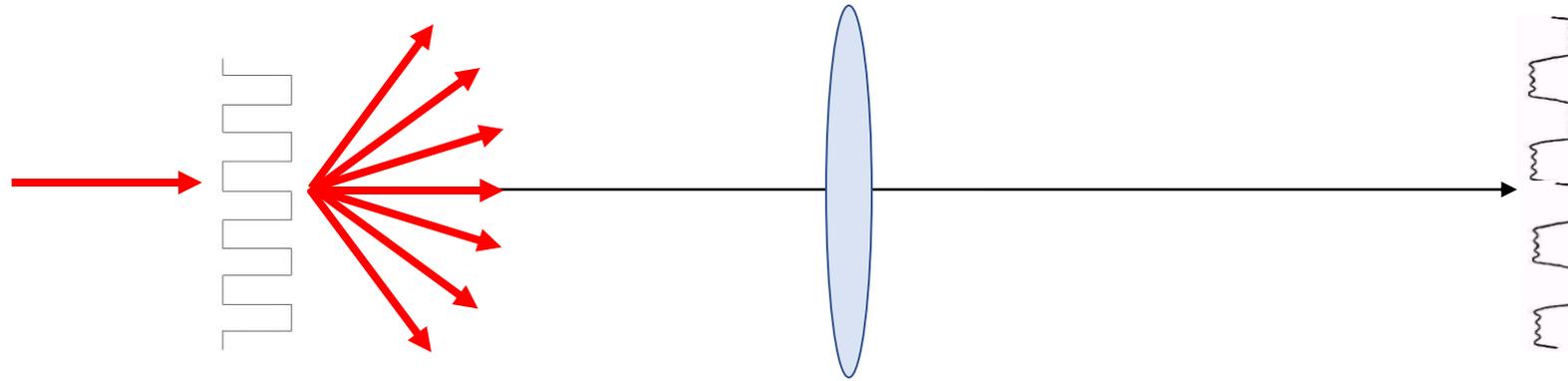
Una forma alternativa de pensar que la formación de imágenes está limitada por difracción es considerar que el sistema óptico actúa como un filtro pasa bajos.

Habíamos visto que una señal temporal periódica podía desarrollarse como una serie de Fourier. Lo mismo es válido para señales espaciales. Ahora será la suma de redes sinusoidales



Los detalles más finos estarán asociados a las redes de mayor frecuencia espacial (menor período) y la luz difractada por estas corresponderá a los órdenes más abiertos.

La lente no podrá captar todos y por lo tanto reproducirá una imagen con menor detalle

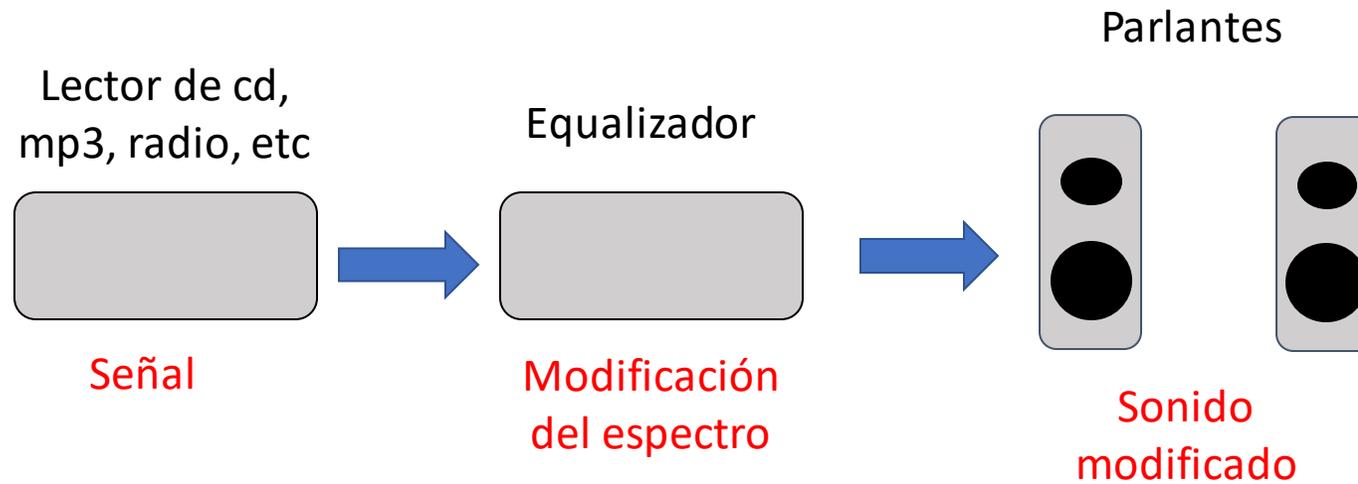


Lo mismo es válido para cualquier imagen. Si el objeto no es periódico en vez de una serie de Fourier se tiene una integral con mucha mayor densidad de frecuencias espaciales, pero siempre habrá un valor a partir del cual la lente no resuelve el detalle asociado

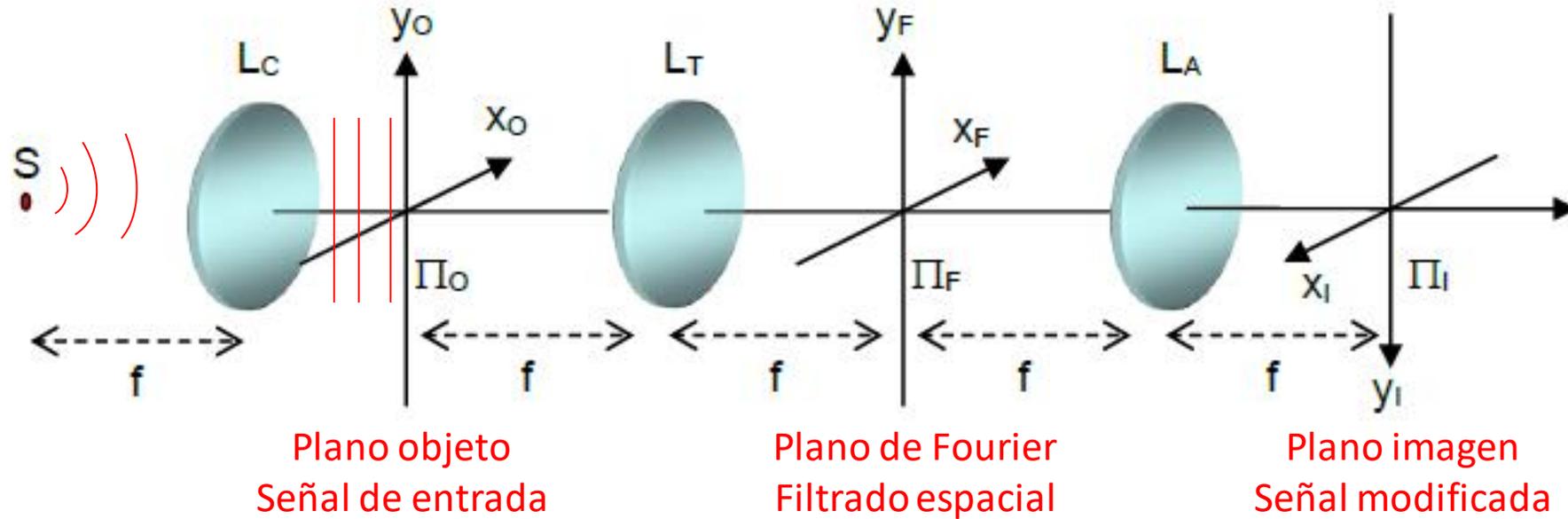
Filtrado espacial

Pueden modificarse intencionalmente las frecuencias espaciales para alterar una imagen?

análogo acústico



Procesador óptico



<http://www.jcrystal.com/products/ftlse/index.htm>