

# INTERFERENCIA

## Qué tipos de interferómetros hay?

- Interferómetros por división de frente de ondas: ranuras de Young, biprisma de Fresnel, espejos de Fresnel, espejo de Lloyd, etc.
- Interferómetros por división de amplitud: Michelson, Mach-Zehnder, Sagnac, anillos de Newton, etc.

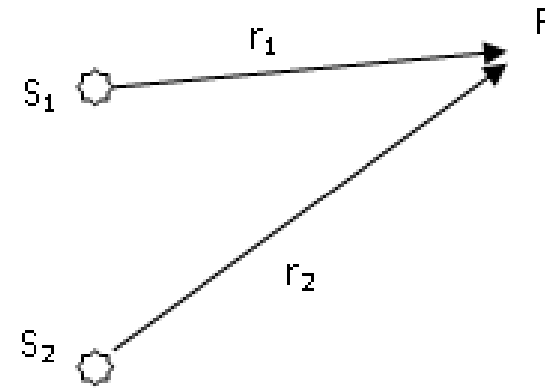
## Cuál es la condición fundamental para que haya interferencia?

- Coherencia de las fuentes:  
Qué significa que una fuente sea coherente, incoherente o parcialmente coherente? Qué significa coherencia temporal y coherencia espacial?

Sean dos fuentes  $S_1$  y  $S_2$  que emiten ondas esféricas de igual longitud de onda. Los campos producidos por dichas fuentes en un punto  $P$  ubicado a distancia  $r_1$  de  $S_1$  y a  $r_2$  de  $S_2$  serán

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{01}(r_1) \exp[i(k r_1 - \omega t + \varepsilon_1)]$$

$$\vec{E}_2 = \vec{E}_{02}(r_2) \exp[i(k r_2 - \omega t + \varepsilon_2)]$$



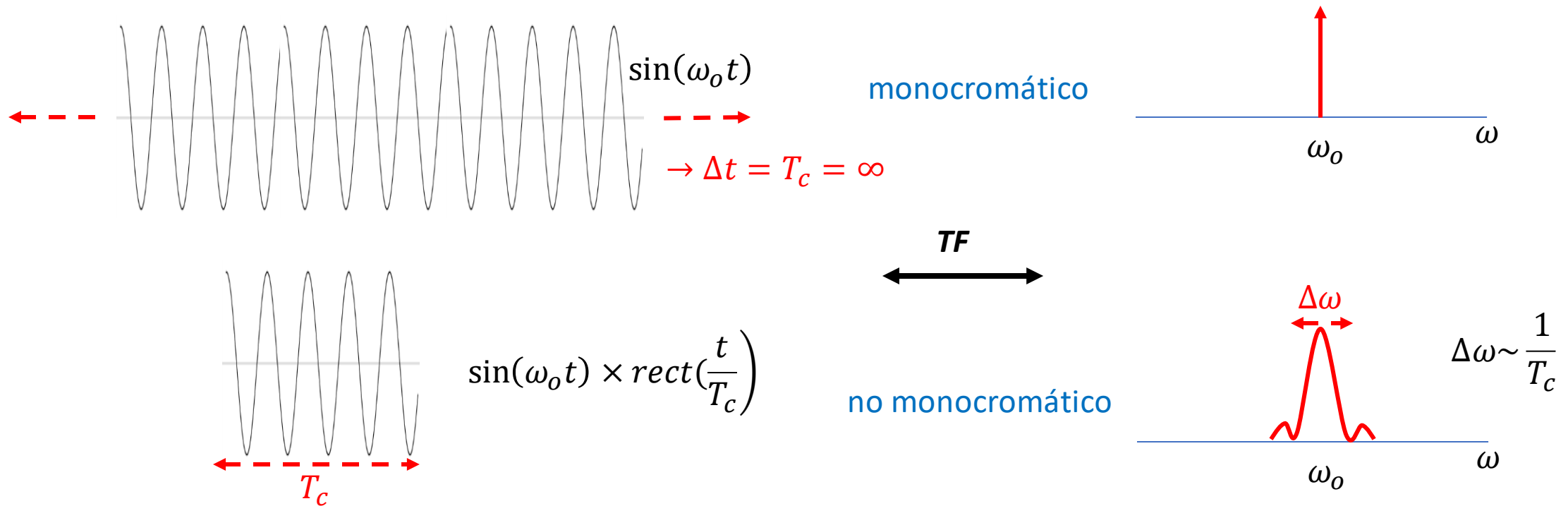
$$I = E_{01}^2 + E_{02}^2 + \vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02} \left\{ \exp\left\{i\left[k(r_1 - r_2) + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\right]\right\} + \exp\left\{-i\left[k(r_1 - r_2) + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\right]\right\} \right\} =$$

$$= E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2 \vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02} \cos\left[k(r_1 - r_2) + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\right]$$

$I = \langle E \cdot E^* \rangle$

- Para que haya una figura de interferencia estable  $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$  debe ser cte. -> se crean dos fuentes secundarias a partir de una primaria. (veremos que esto sólo no basta)
- Qué pasa con la polarización?

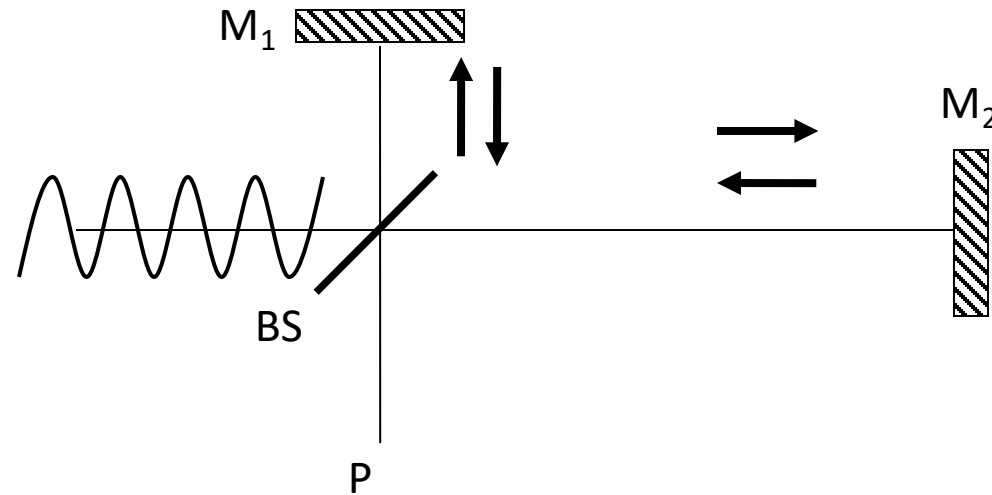
## Coherencia temporal (versión *naif*)



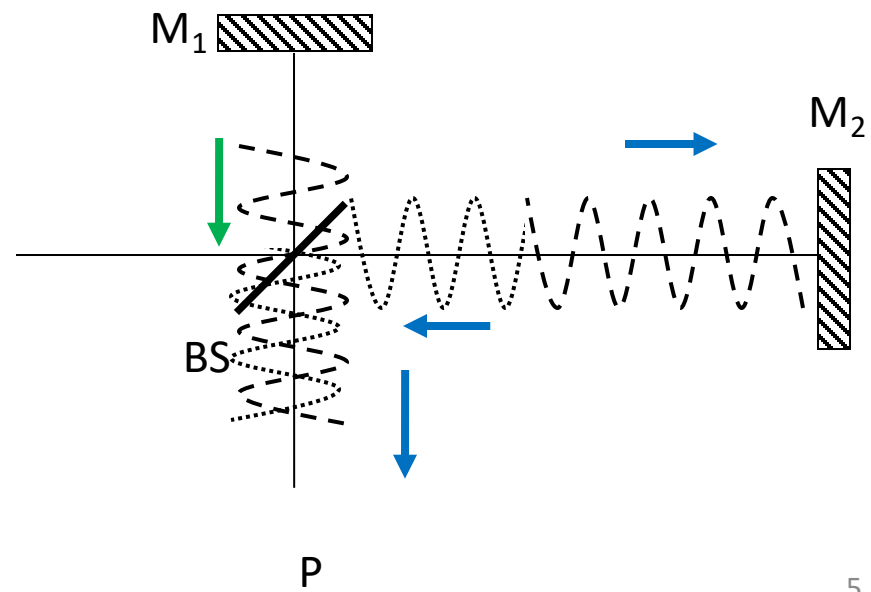
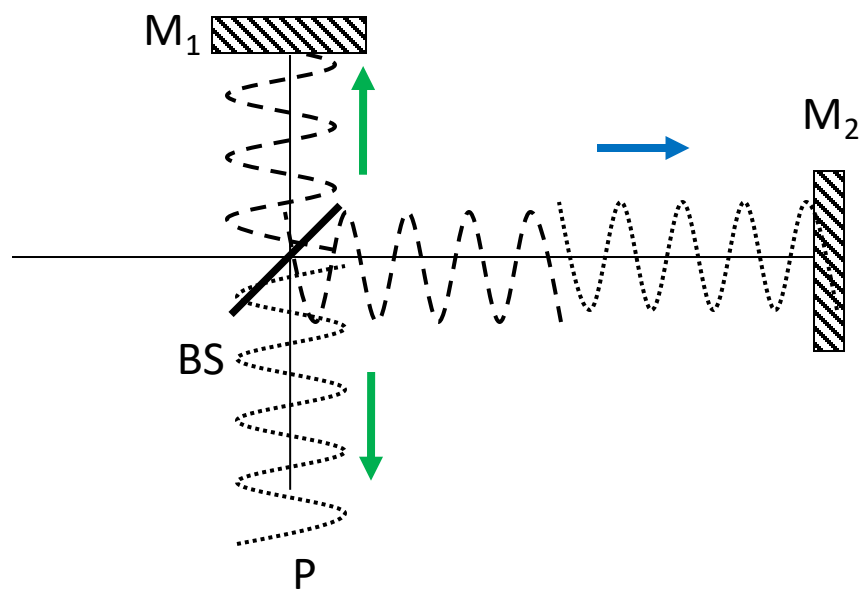
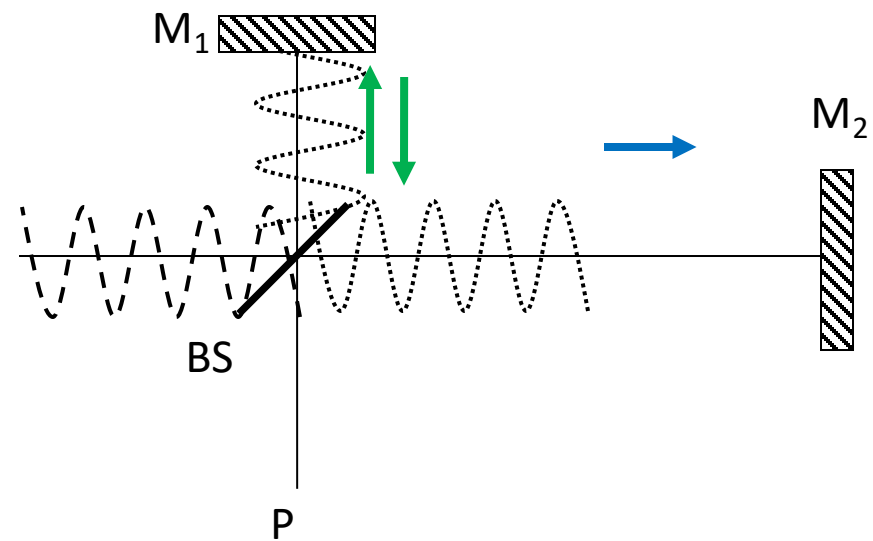
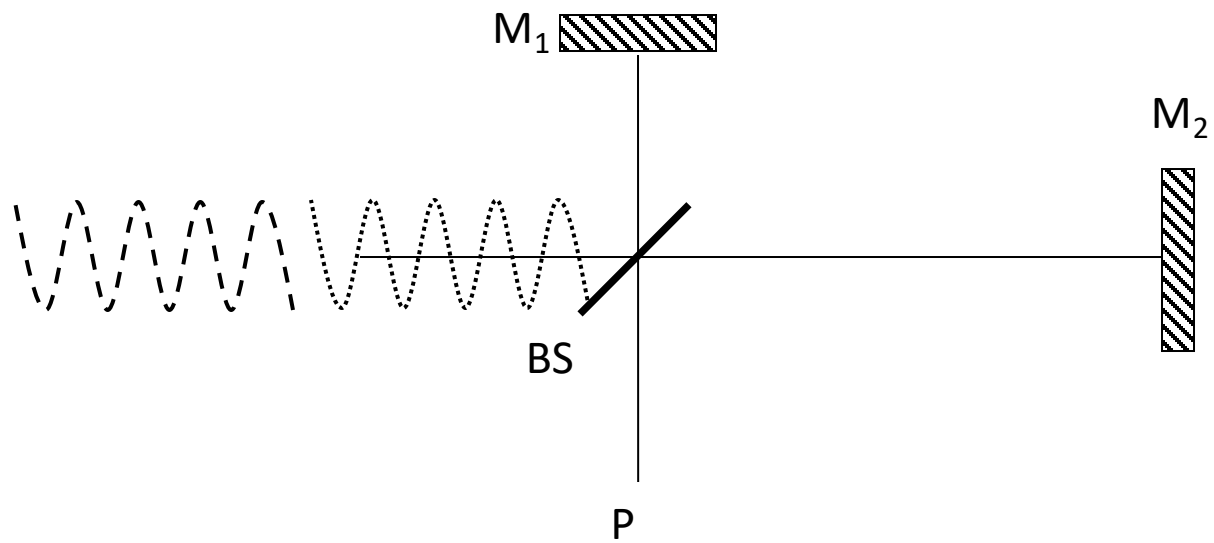
El largo del tren de ondas se conoce como longitud de coherencia  $L_c = c \cdot T_c = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda}$

## Ejemplo en el interferómetro de Michelson

Qué sucede si la diferencia de caminos es mayor que la longitud de coherencia?



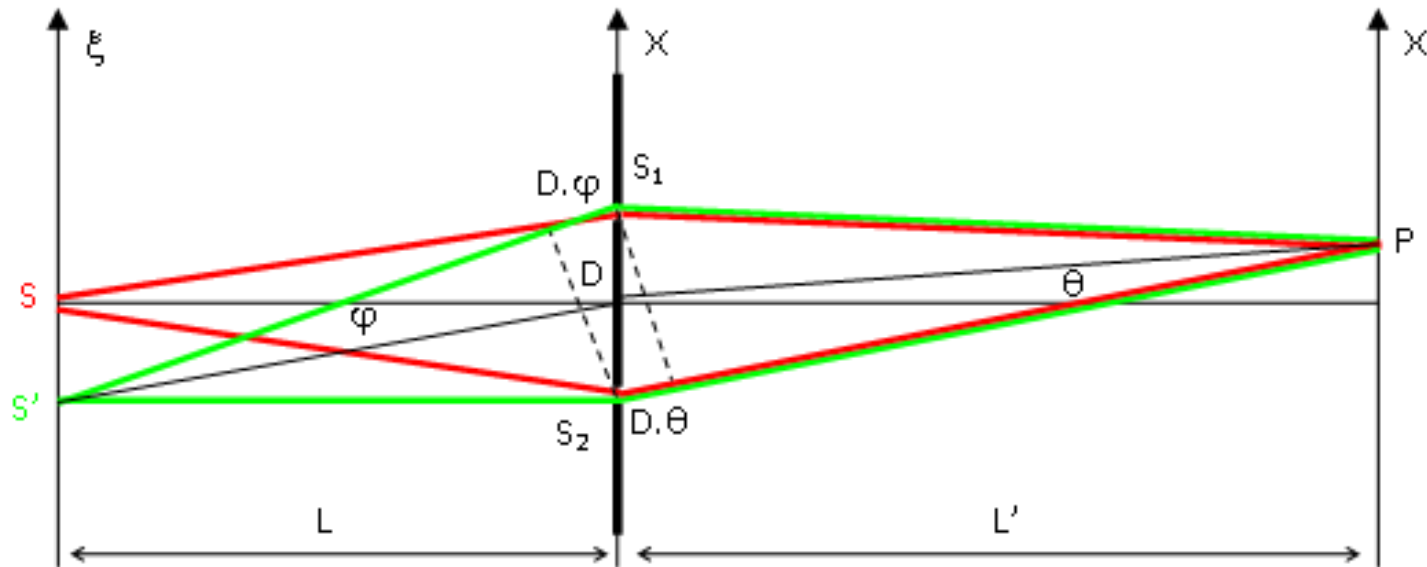
Vamos a ver que en P se van a superponer trenes de onda que no provienen del mismo tren de ondas inicial, por lo tanto la diferencia de fase inicial  $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$  varía al azar



## Coherencia espacial (versión *naif*)

Vamos a asumir que el interferómetro está ajustado de forma tal que los trenes de onda emitidos por cada elemento de una fente extensa interfieren en el punto de observación  $P$ .

### Ejemplo en un interferómetro de Young



La diferencia  $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$  de las fases iniciales de las fuentes  $S_1$  y  $S_2$  estará relacionada con la diferencia de camino entre un punto genérico de la fuente (por ejemplo  $S$  o  $S'$ ) y las fuentes secundarias por lo tanto podremos incorporarlo a la diferencia de caminos total  $\Delta r$

Si suponemos  $I_1 = E_{01}^2 = I_2 = E_{02}^2 \equiv I_0$

$$I = 4I_0 \cos^2 \left( \frac{k}{2} \Delta r \right)$$

Además  $L, L' \gg D \Rightarrow \sin \varphi \cong \varphi ; \sin \theta \cong \theta$

$$k(r_1 - r_2) + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

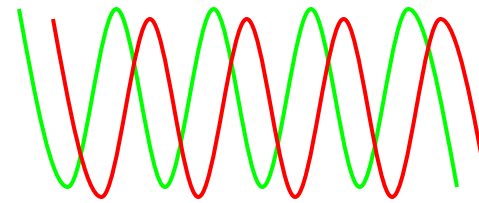
Luego tenemos que:

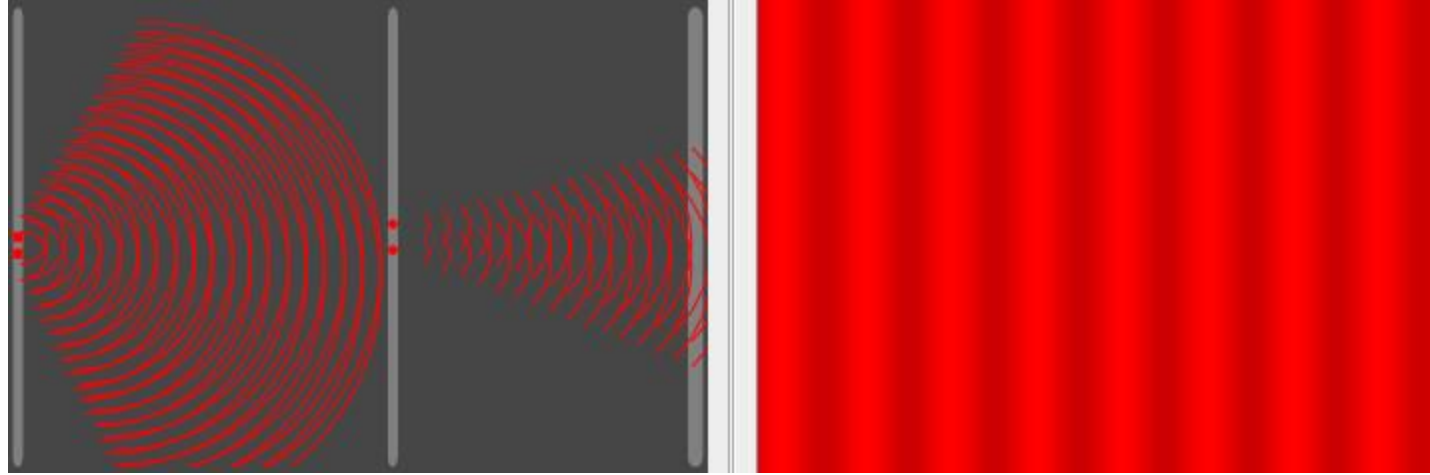
Para S 
$$\Delta r = (\overline{SS_2} + \overline{S_2P}) - (\overline{SS_1} + \overline{S_1P}) = \overline{S_2P} - \overline{S_1P} \cong D \cdot \theta$$

Para S' 
$$\Delta r' = (\overline{S'S_2} + \overline{S_2P}) - (\overline{S'S_1} + \overline{S_1P}) \cong D \cdot \theta - D \cdot \varphi$$

Tenemos dos sistemas de franjas que al ser incoherentes entre sí, se suman en intensidad y se borronen ya que sus máximos se hallan desplazados

$$I = 4I_0 \left[ \cos^2 \left( \frac{k}{2} D \cdot \theta \right) + \cos^2 \left( \frac{k}{2} D \cdot (\theta - \varphi) \right) \right]$$



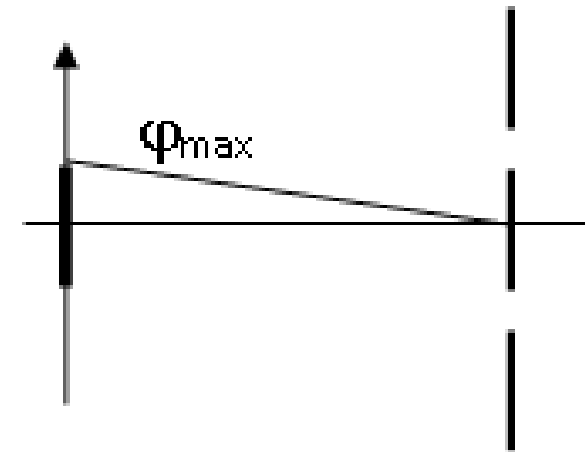


Pasando al continuo

$$dI(\theta) = A \cos^2 \left( \frac{kD}{2} (\theta - \varphi) \right) d\varphi$$

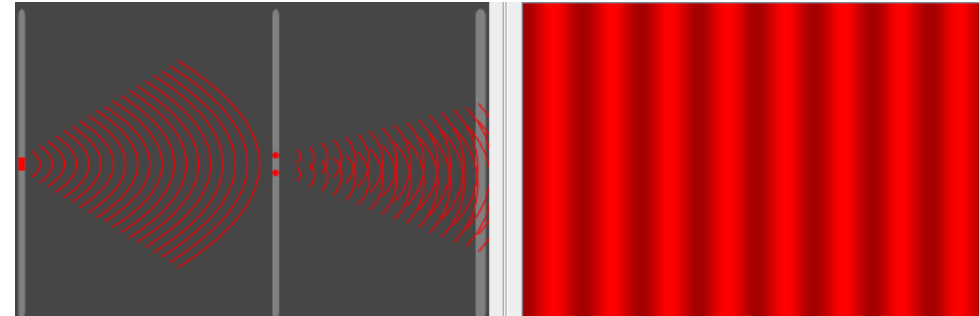
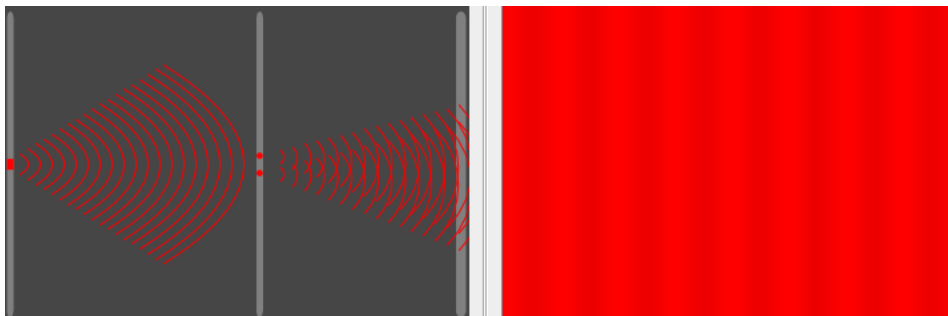
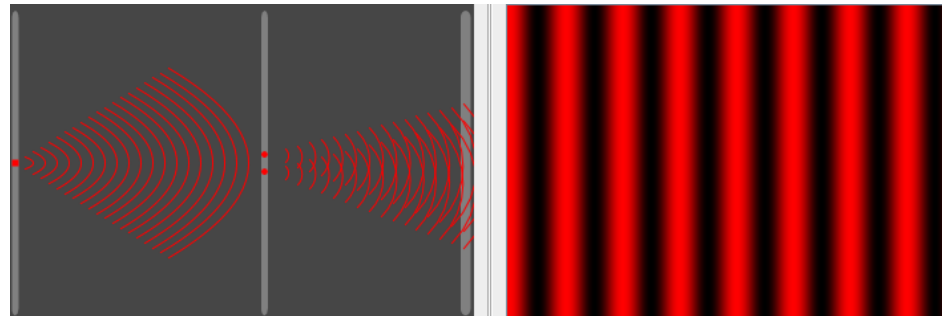
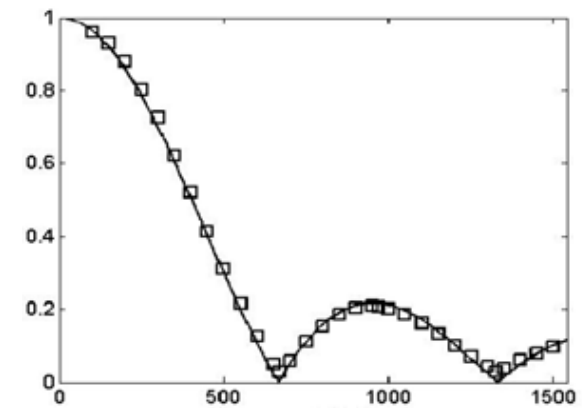
$$I(\theta) = \int_{-\varphi_{\max}}^{\varphi_{\max}} A \cos^2 \left( \frac{kD}{2} (\theta - \varphi) \right) d\varphi =$$

$$= A \varphi_{\max} \left[ 1 + \frac{\sin(k D \varphi_{\max})}{k D \varphi_{\max}} \cos(k D \theta) \right]$$

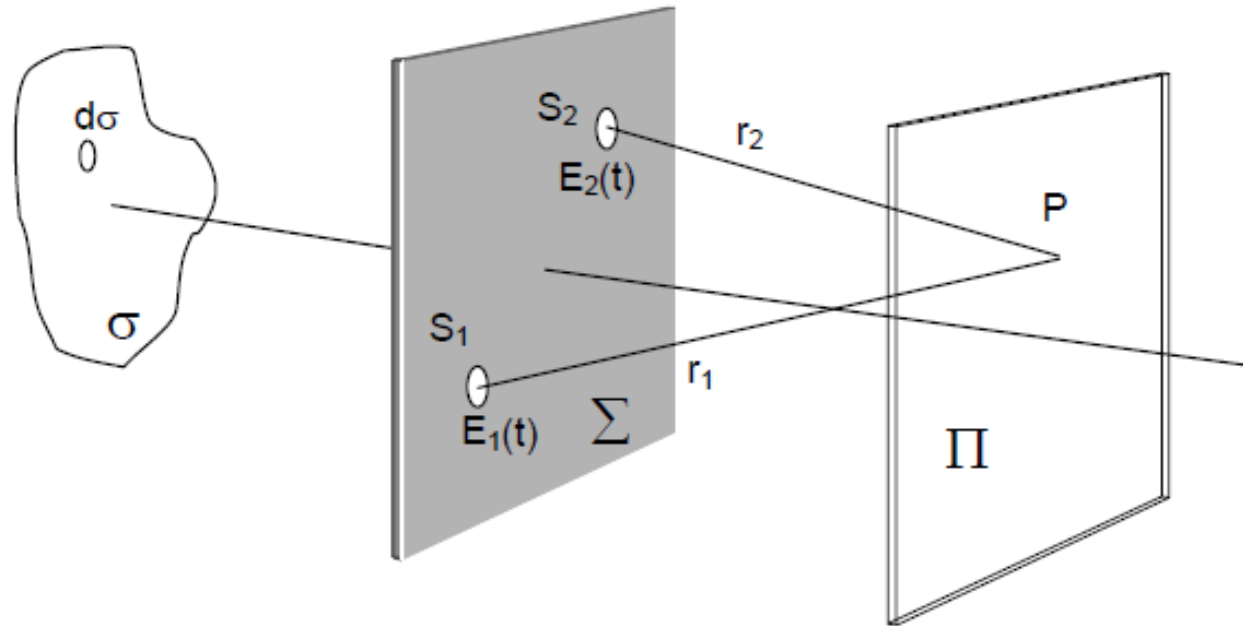


El contraste de las franjas viene dado por:

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad C = \left| \frac{\sin(k D \varphi_{\max})}{(k D \varphi_{\max})} \right|$$

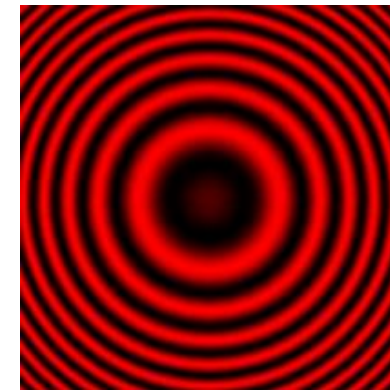
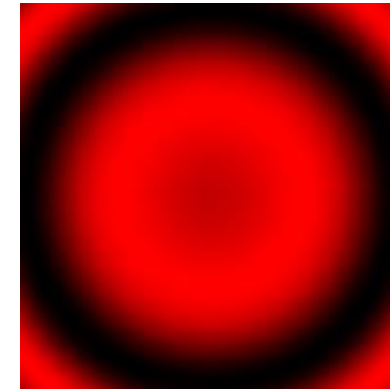
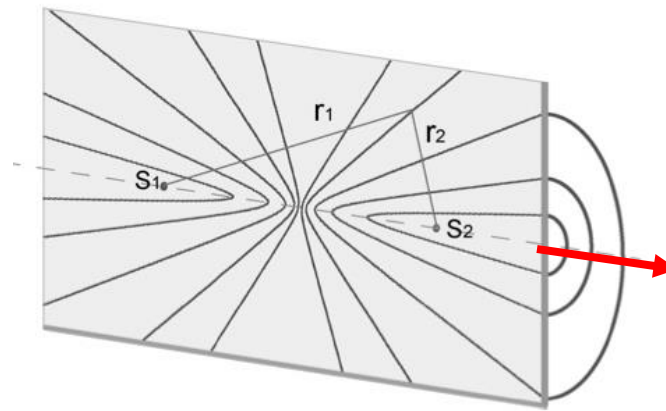
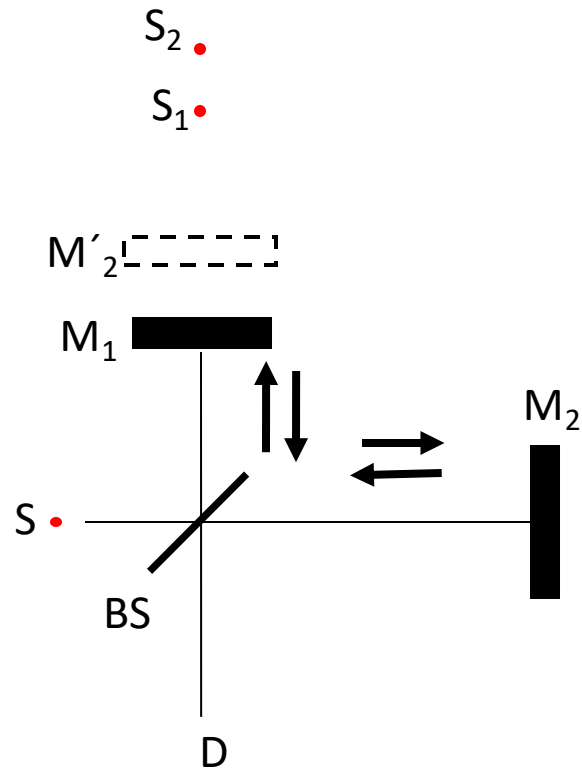


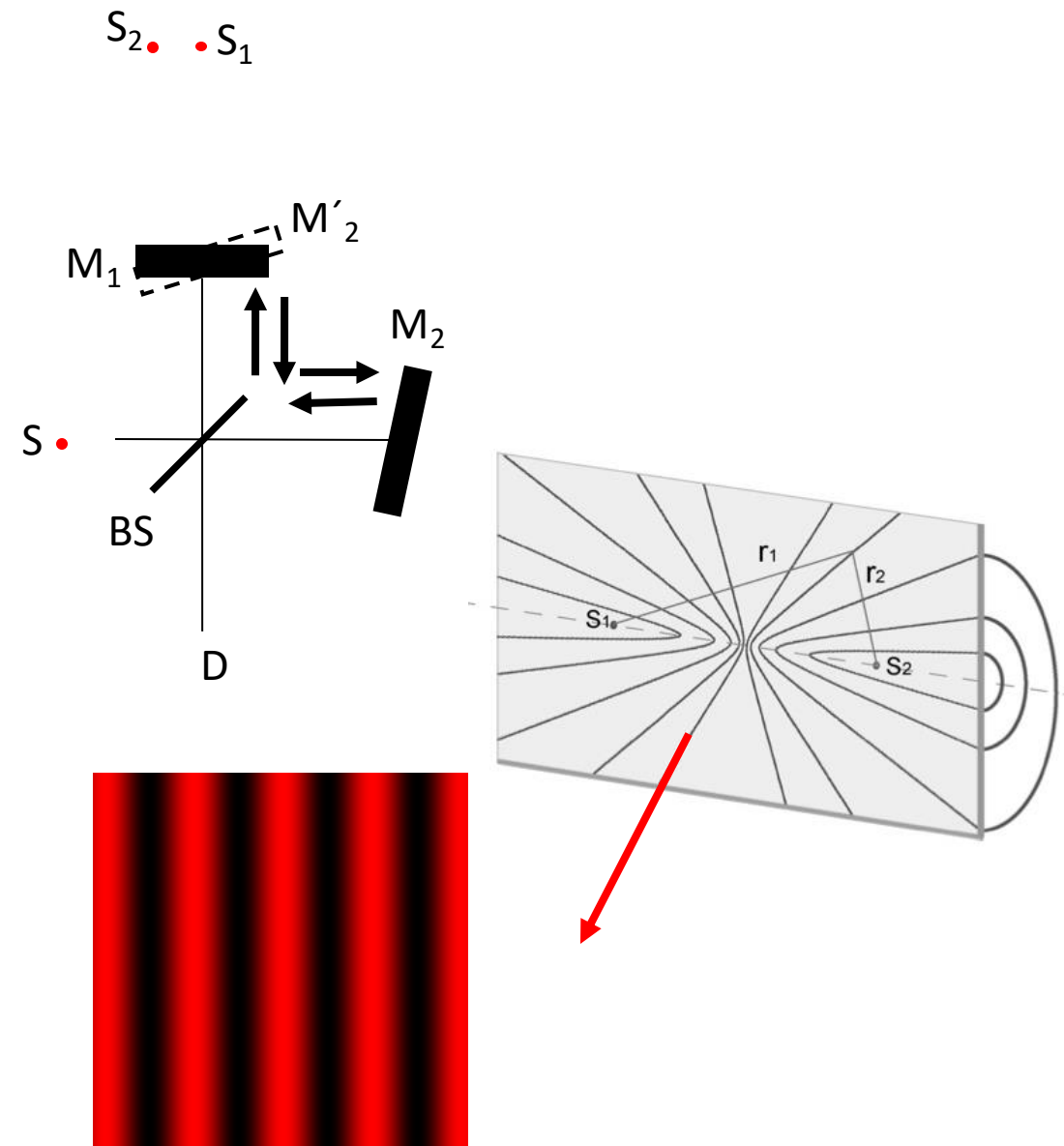
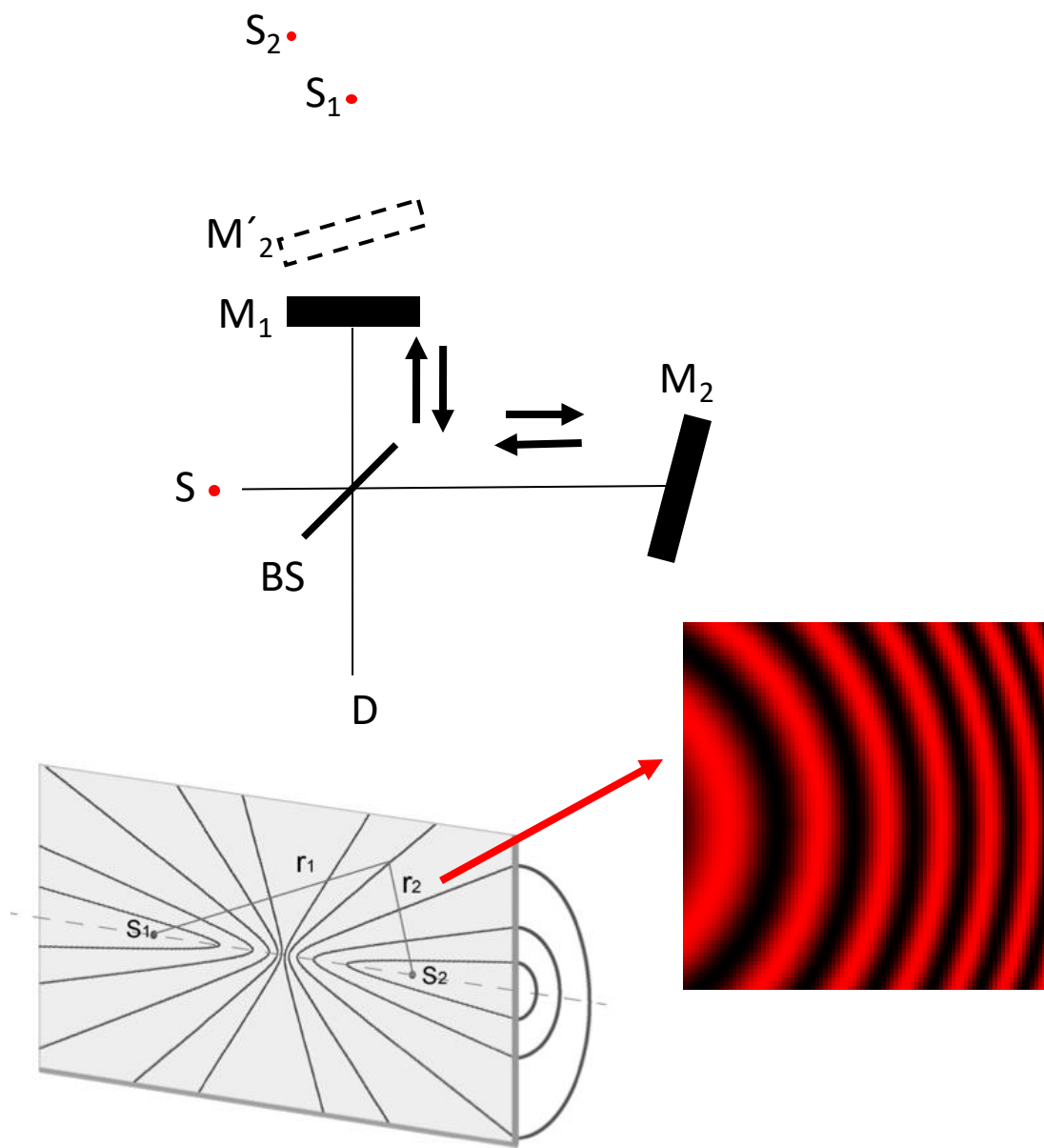
Teorema de Van Cittert - Zernike: El área que se puede iluminar coherentemente con una fuente extensa es proporcional a la transformada de Fourier de su distribución de luz. Cuánto más puntual es la fuente mayor es el área que puedo iluminar coherentemente y viceversa.

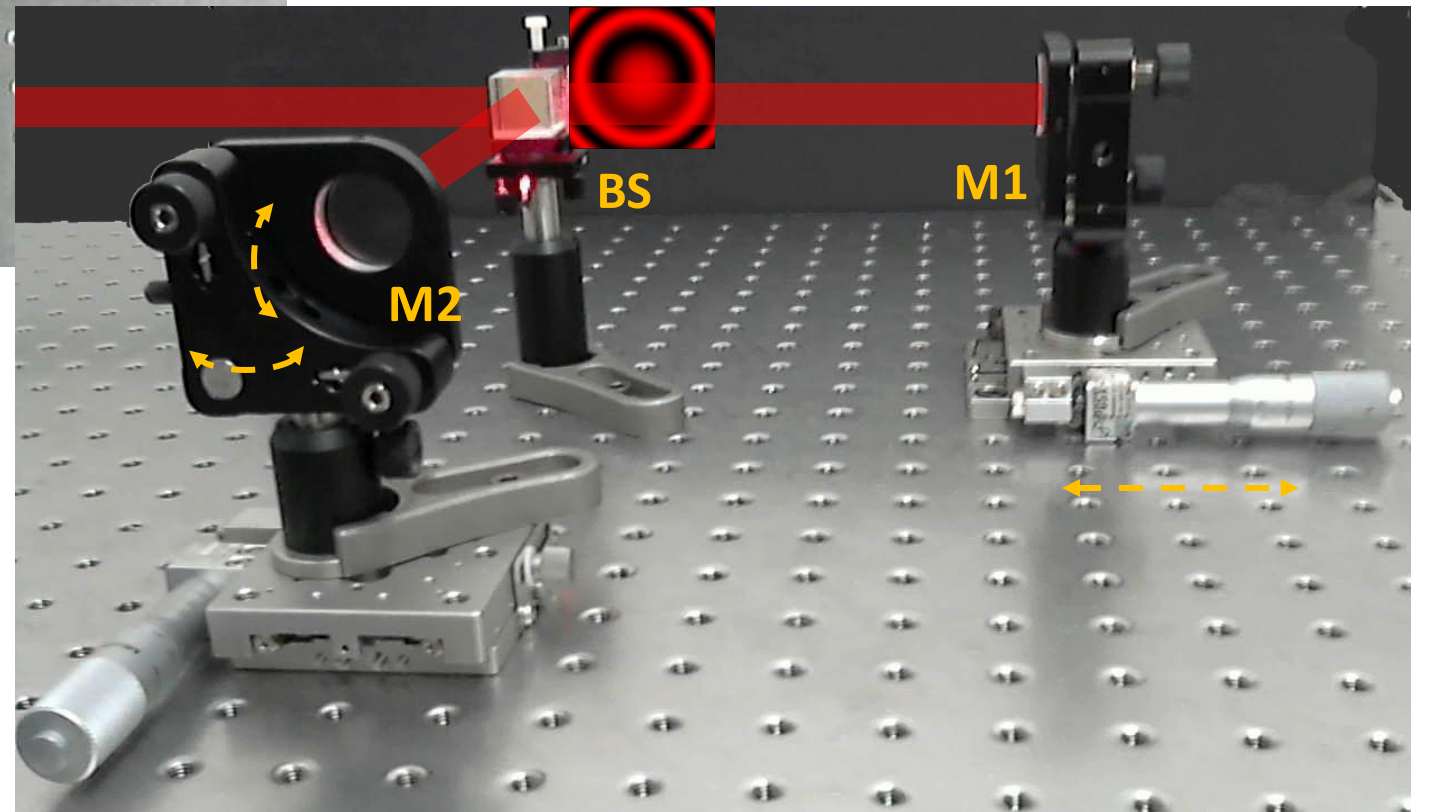
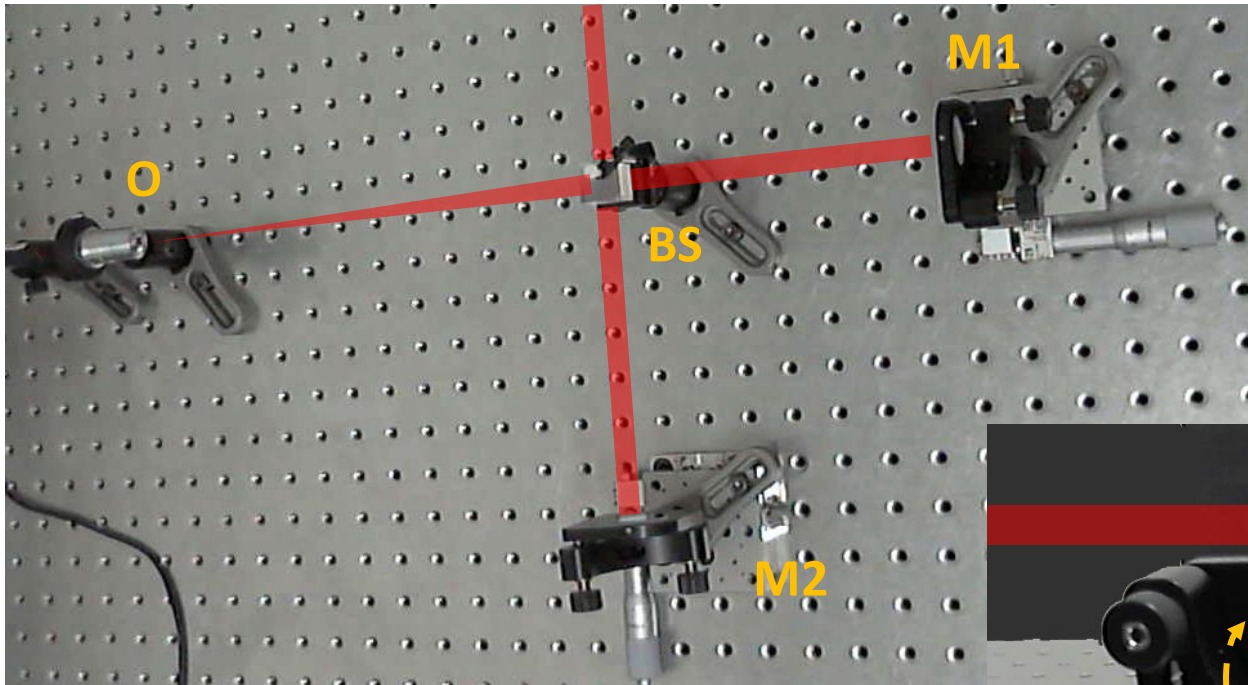


# Interferómetro de Michelson

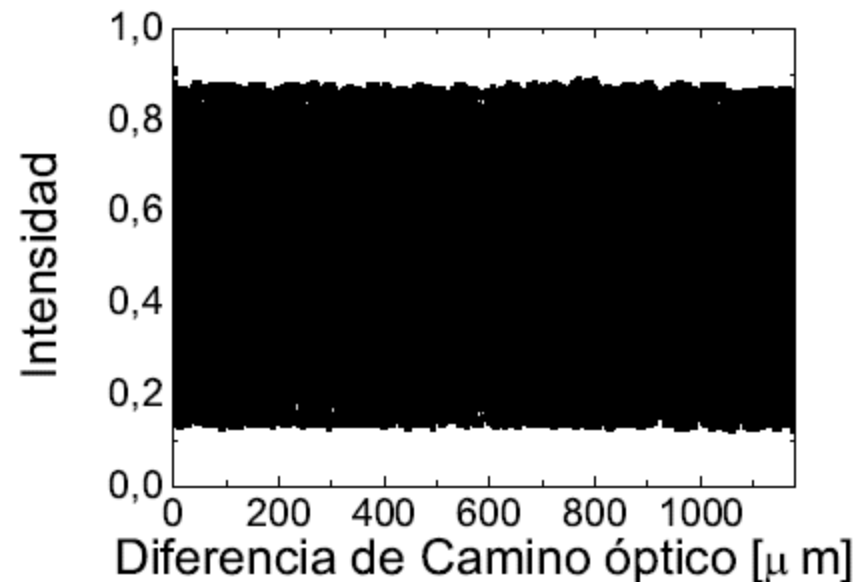
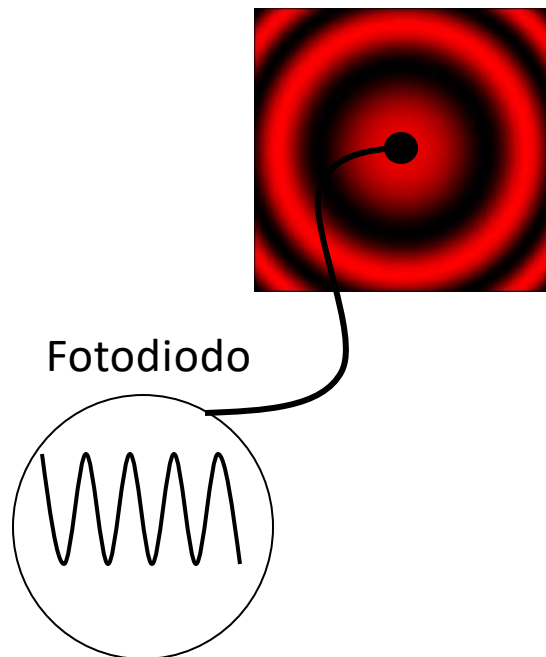
Distintas figuras de interferencia que pueden observarse



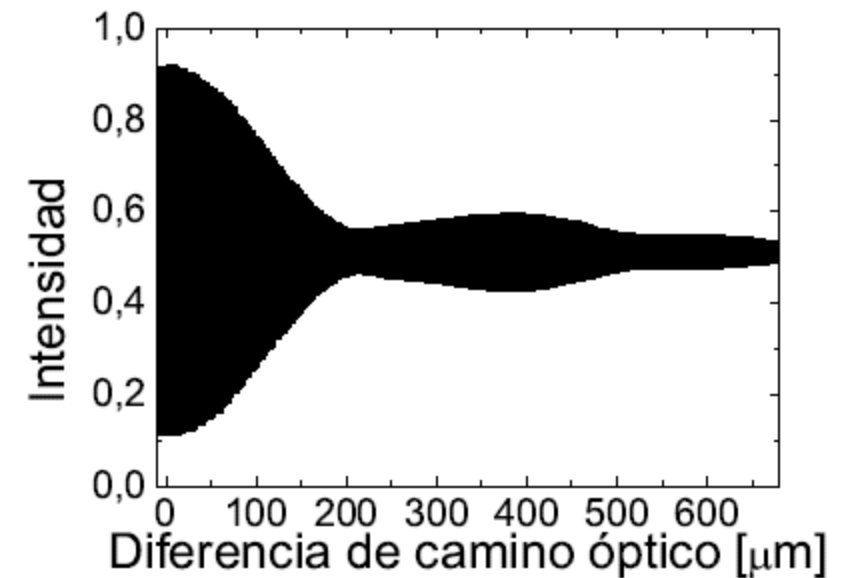




Si se mide con un detector la intensidad en el centro de la figura de interferencia a medida que se aleja uno de los espejos, pasarán una serie de máximos y mínimos. El contraste entre los máximos y mínimos será máximo cuando los trenes sean altamente coherentes. La forma en que varía este contraste está relacionada con la transformada de Fourier del contenido de frecuencias

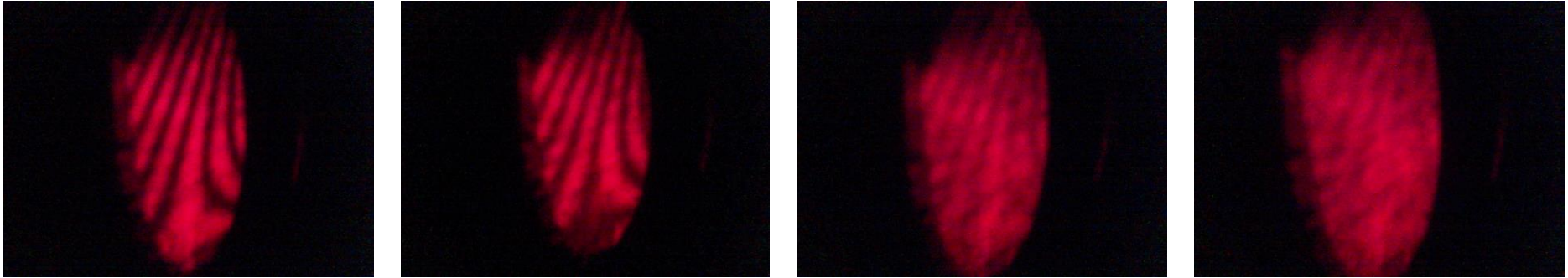


(a)



(b)

Interferogramas de: a) un láser de He-Ne, b) un diodo láser de baja coherencia



Sus compañeros dicen que la medida fue realizada 6 veces, para luego realizarse un promedio de las mismas. Se obtuvo que la longitud de coherencia del láser es  $L_c = (183 \pm 50) \mu\text{m}$

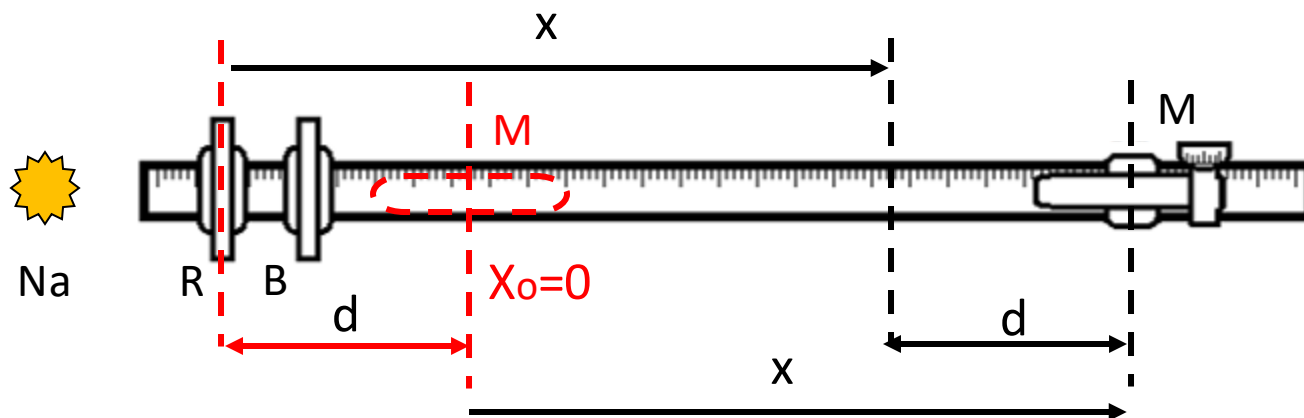
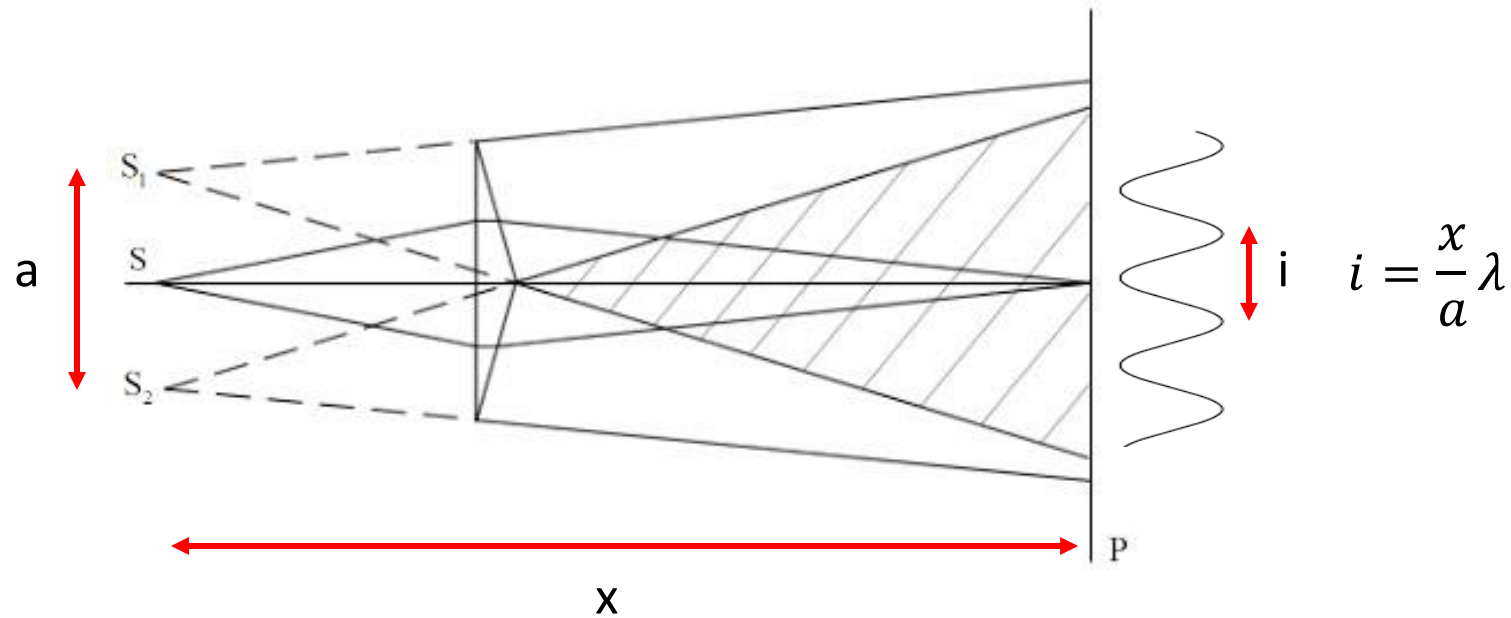
¿Por qué creen que el error es tan alto? ¿De qué depende?

¿Cuál será la distancia leída en el micrómetro?

¿Cuál es aproximadamente el ancho de banda del diodo? ( $\lambda \sim 650 \text{ nm}$ )

## Biprisma de Fresnel

Medición  $\lambda$  de una lámpara de Na



Na = lámpara de sodio

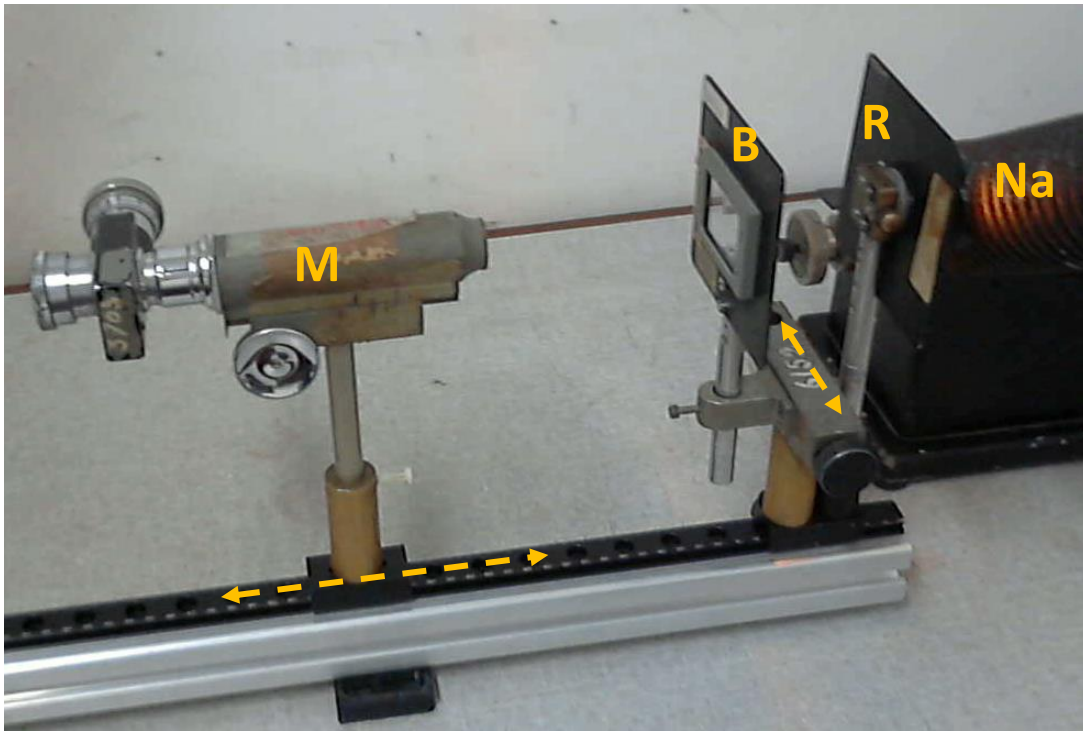
R = ranura

B = biprisma

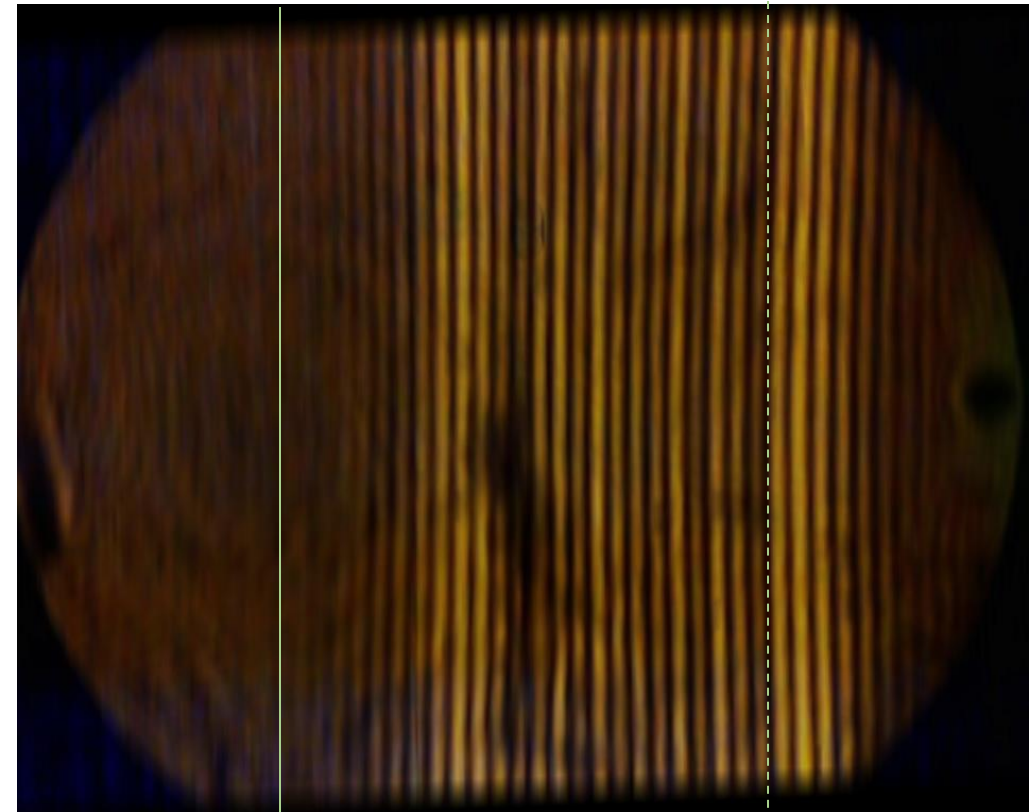
M = microscopio

$d$  = distancia de enfoque

$x$  = distancia fuente – plano de observación



n divisiones del  
tambor graduado



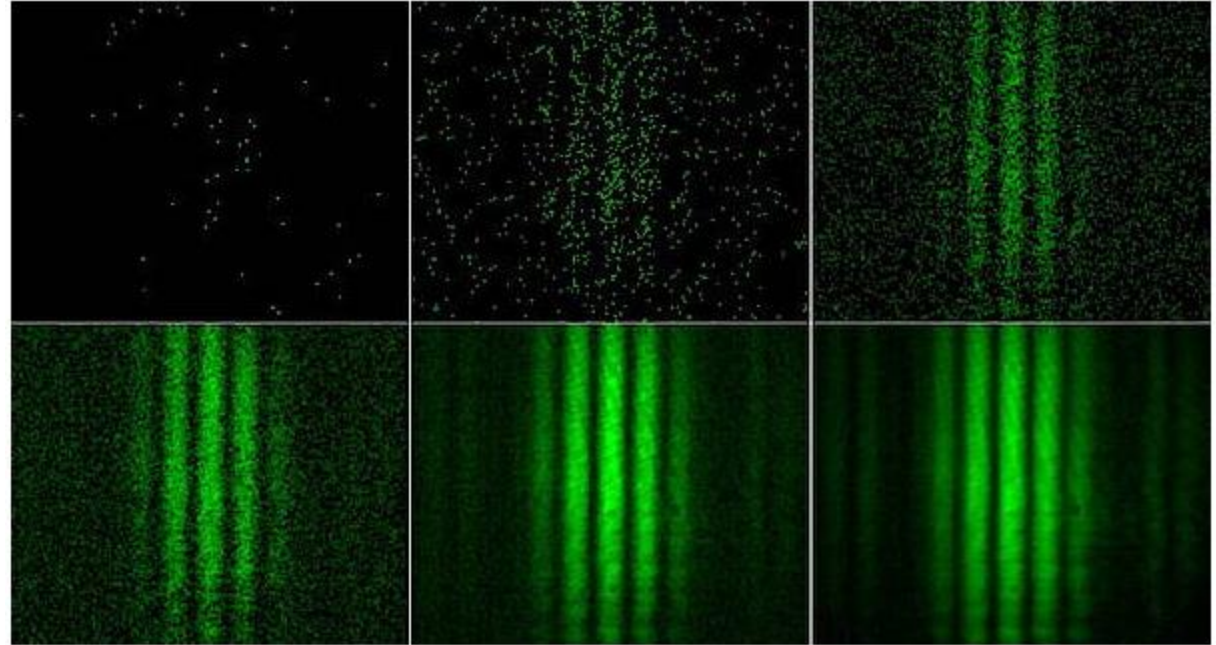
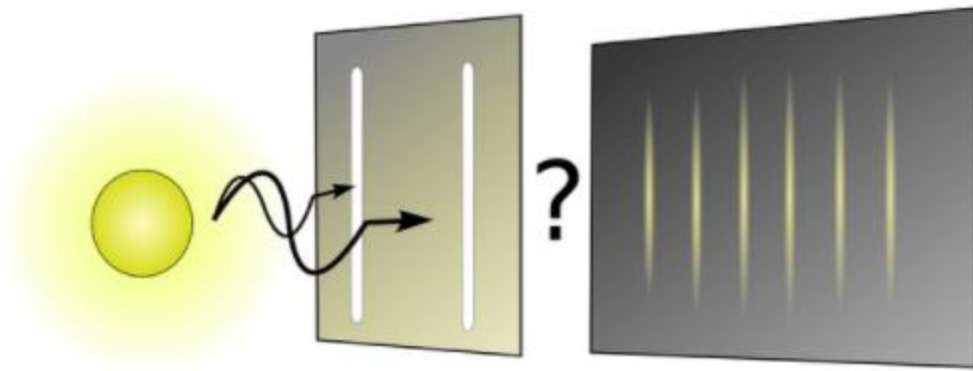
N interfranja



Idealmente cada división del tambor equivale a un desplazamiento del cursor de  $5\text{ }\mu\text{m}$  (ver calibración)

## Interferencia con fotones individuales

Qué sucede si un solo fotón por vez es enviado a través del dispositivo de doble rendija de Young?



- Cada impacto sobre el detector corresponde a un fotón que se localiza como una partícula
- La acumulación de fotones individuales en el detector revela el diagrama de interferencia
- Si intentamos medir por cuál rendija pasó el fotón, la interferencia desaparece

