

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?

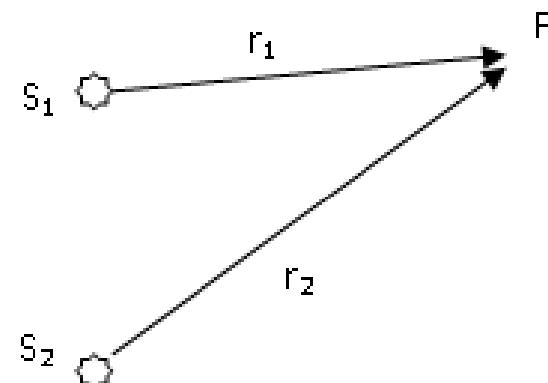
- Coherencia de las fuentes:

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

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

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



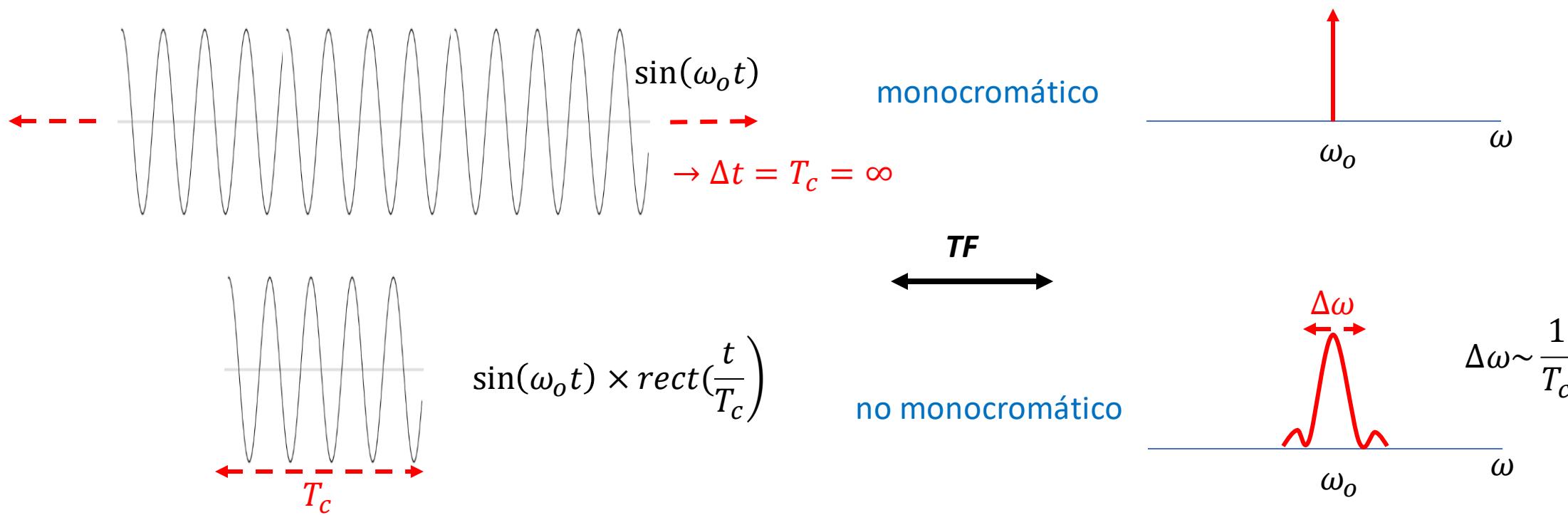
$$I = E_{01}^2 + E_{02}^2 + \vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02} \left\{ \exp \left\{ i [k(r_1 - r_2) + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)] \right\} + \exp \left\{ -i [k(r_1 - r_2) + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)] \right\} \right\} =$$

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

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

- 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?

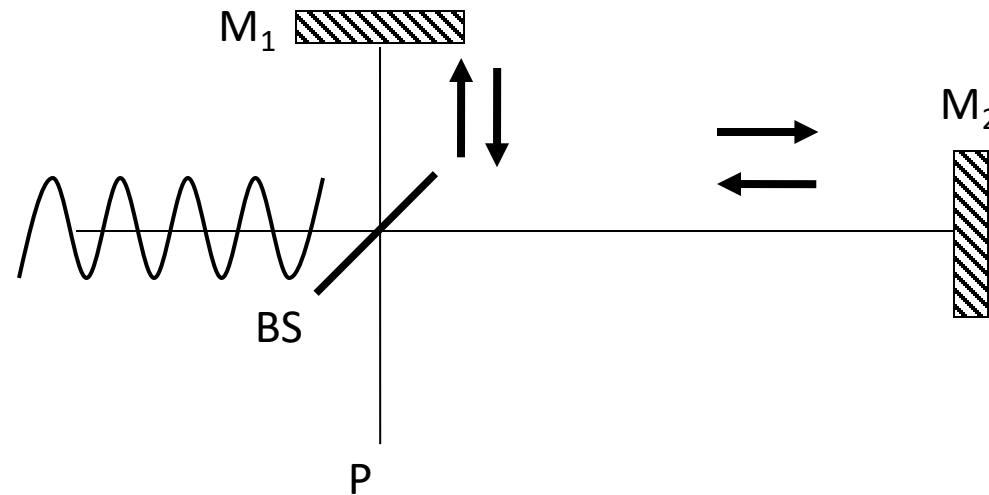
Coherencia temporal (versión naif)



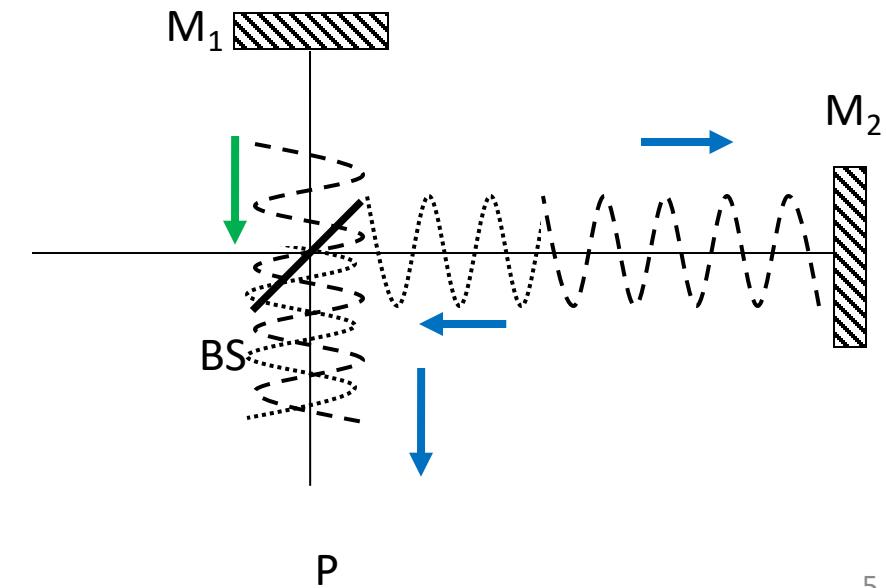
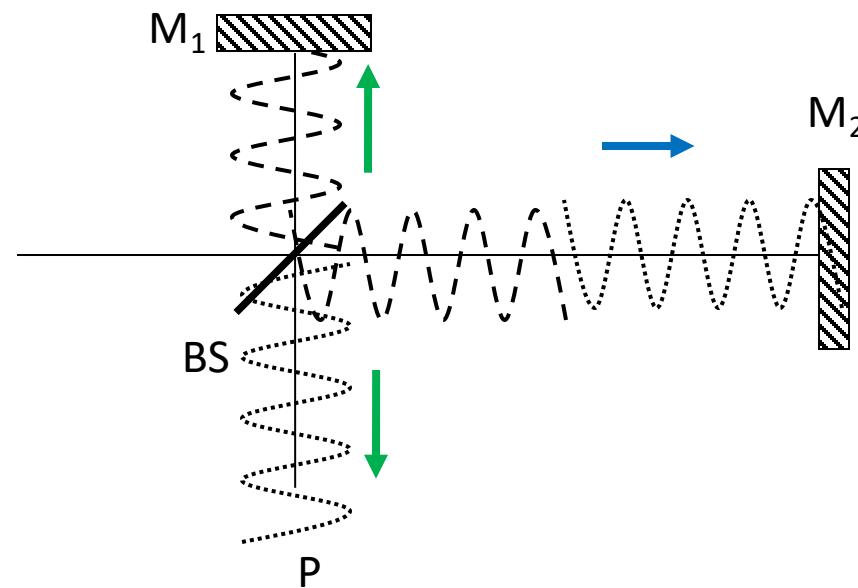
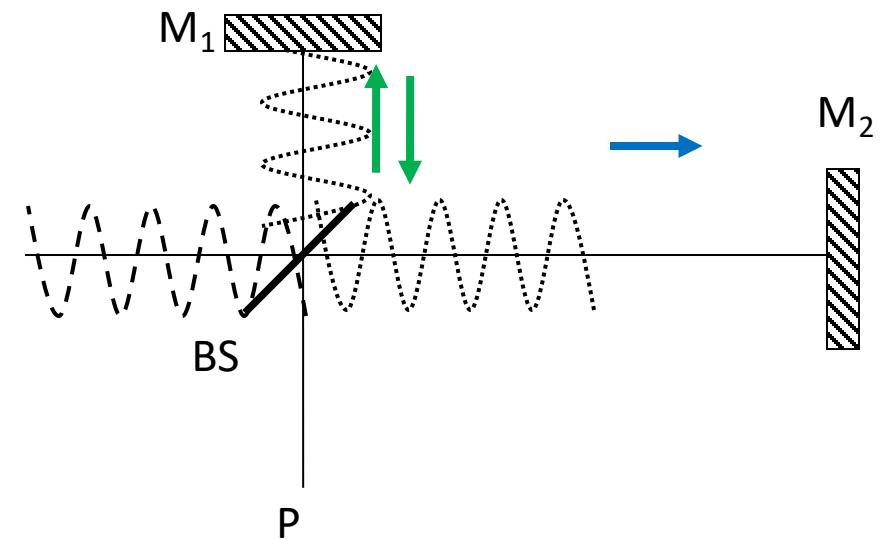
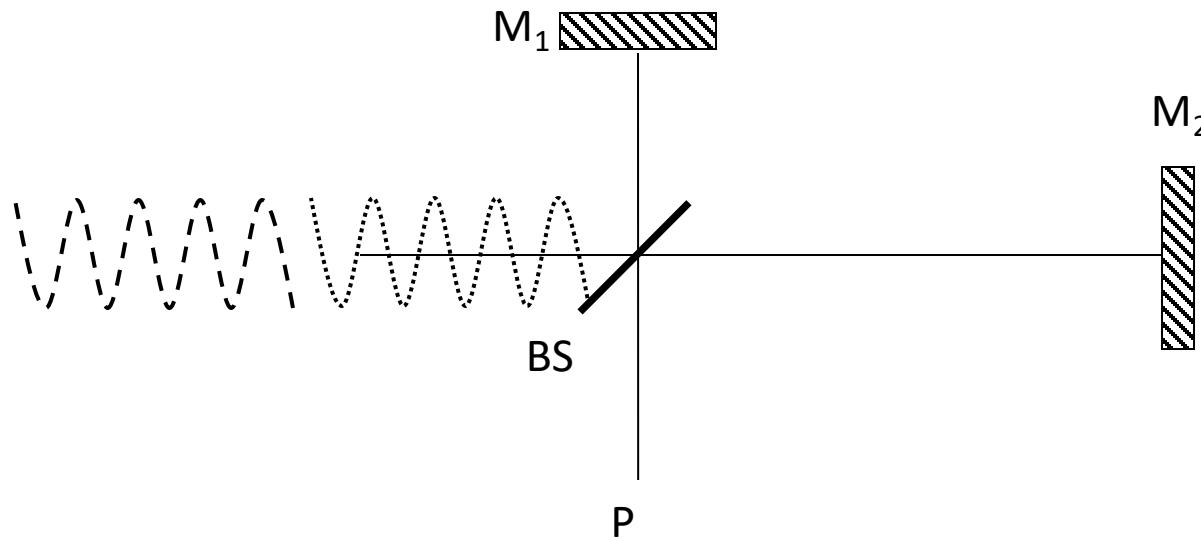
El largo del tren de ondas se conoce como longitud de coherencia $L_c = C \cdot T_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$

Ejemplo en el interferómetro de Michelson

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



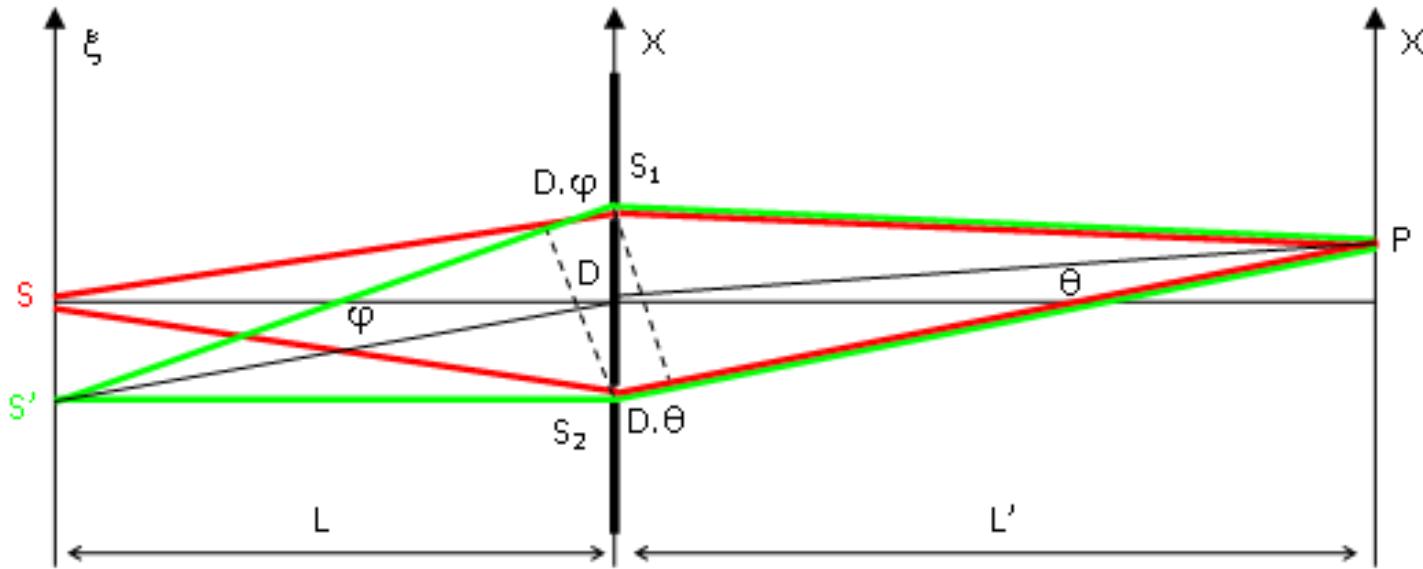
Vamos a ver que en P se van a superponer trenes de onda que no provienen del mismo tren de ondas inicial, por lo tanto la diferencia de fase inicial ($\varepsilon_1 - \varepsilon_2$) varía al azar



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 fuente 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 Δr

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

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

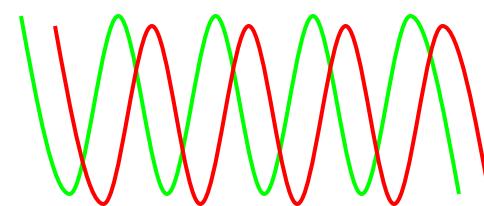
Luego tenemos que:

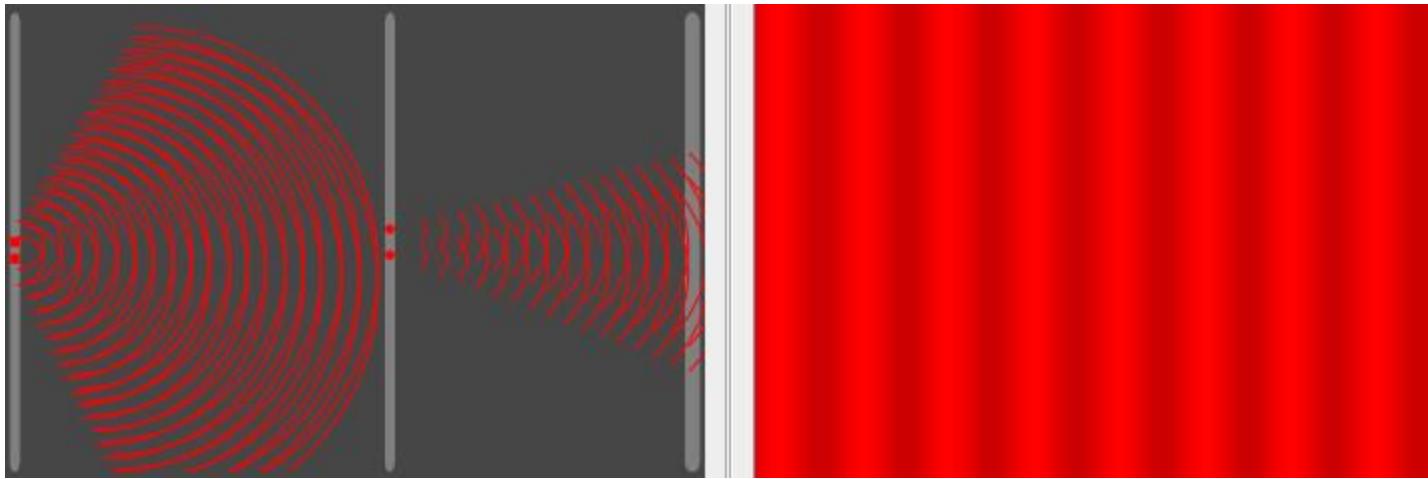
Para S $\Delta r = (\overline{SS_2} + \overline{S_2P}) - (\overline{SS_1} + \overline{S_1P}) = \overline{S_2P} - \overline{S_1P} \cong D \cdot \theta$

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 borronean ya que sus máximos se hallan desplazados

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

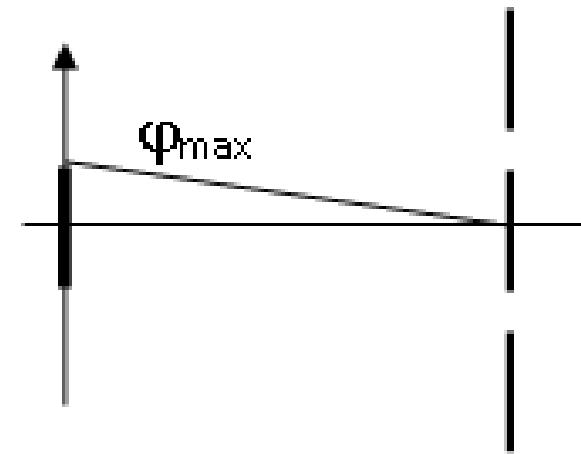




Pasando al continuo

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

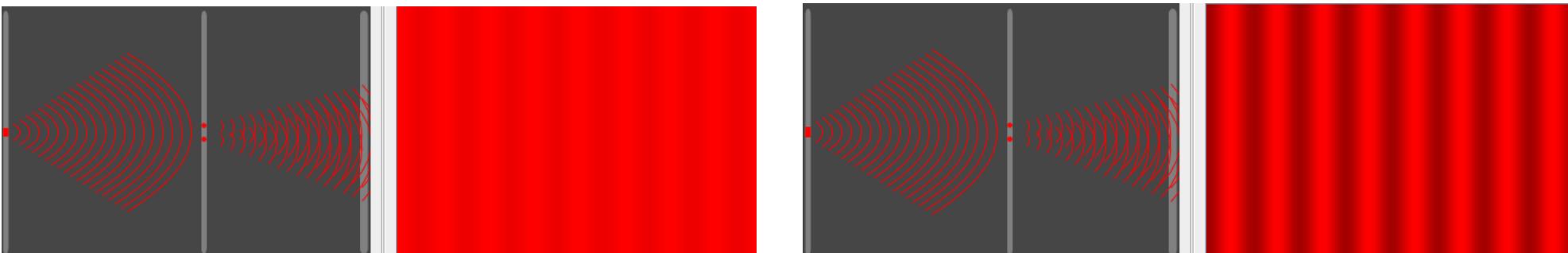
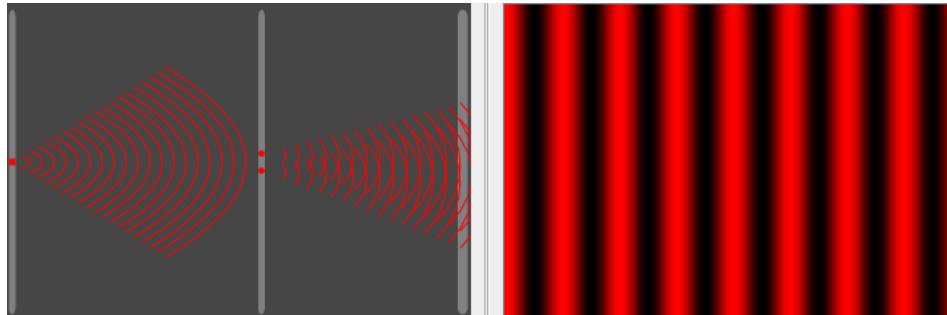
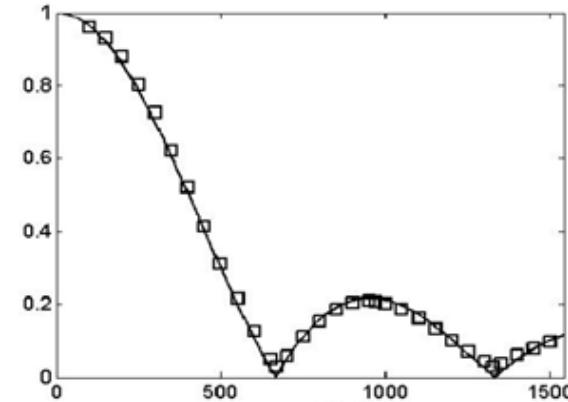
$$\begin{aligned} I(\theta) &= \int_{-\varphi_{\max}}^{\varphi_{\max}} A \cos^2\left(\frac{kD}{2}(\theta - \varphi)\right) d\varphi = \\ &= A \varphi_{\max} \left[1 + \frac{\sin(k D \varphi_{\max})}{k D \varphi_{\max}} \cos(k D \theta) \right] \end{aligned}$$



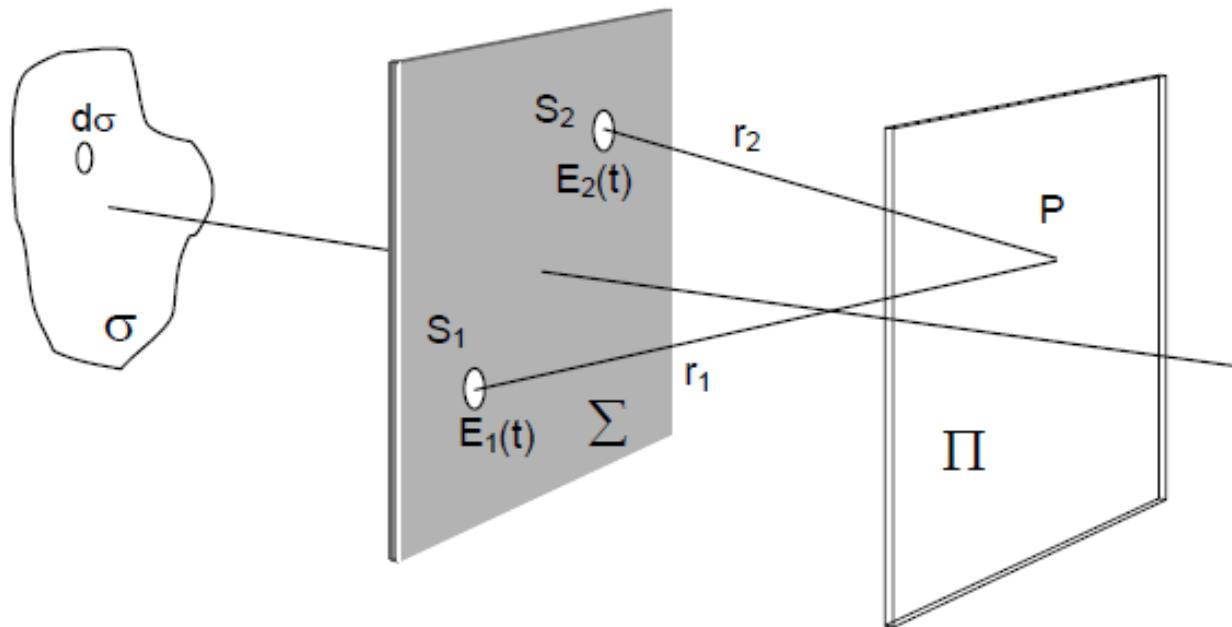
El contraste de las franjas viene dado por:

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

$$C = \left| \frac{\sin(k D \varphi_{\max})}{(k D \varphi_{\max})} \right|$$

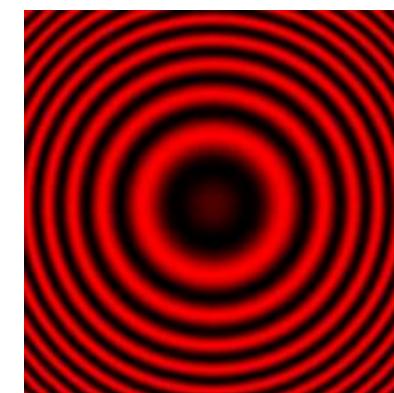
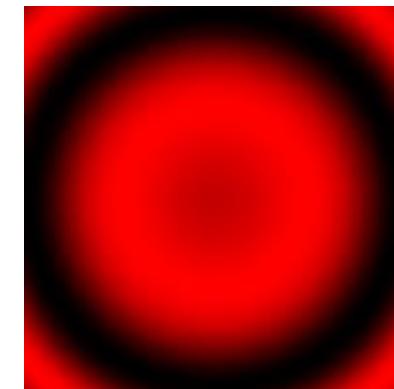
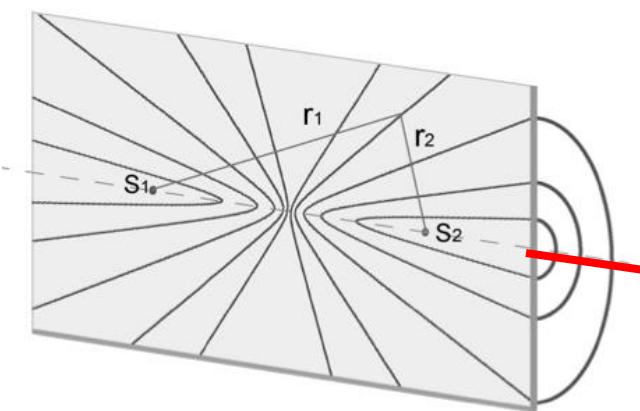
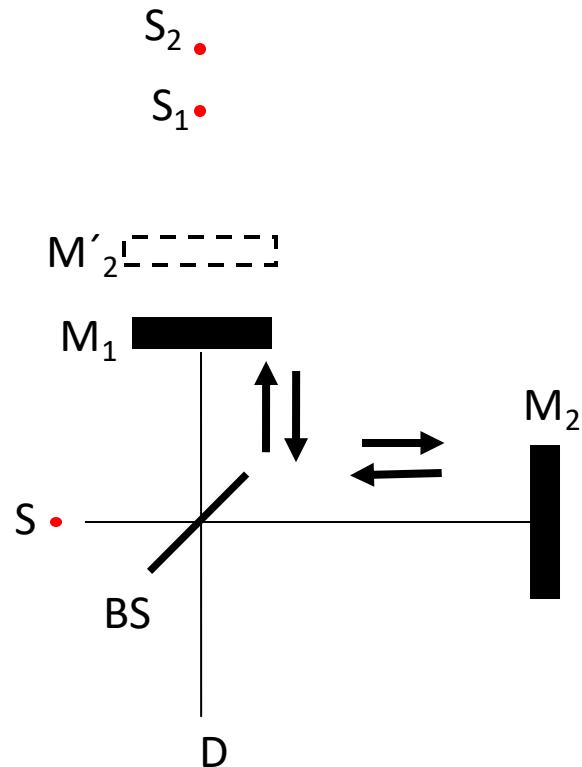


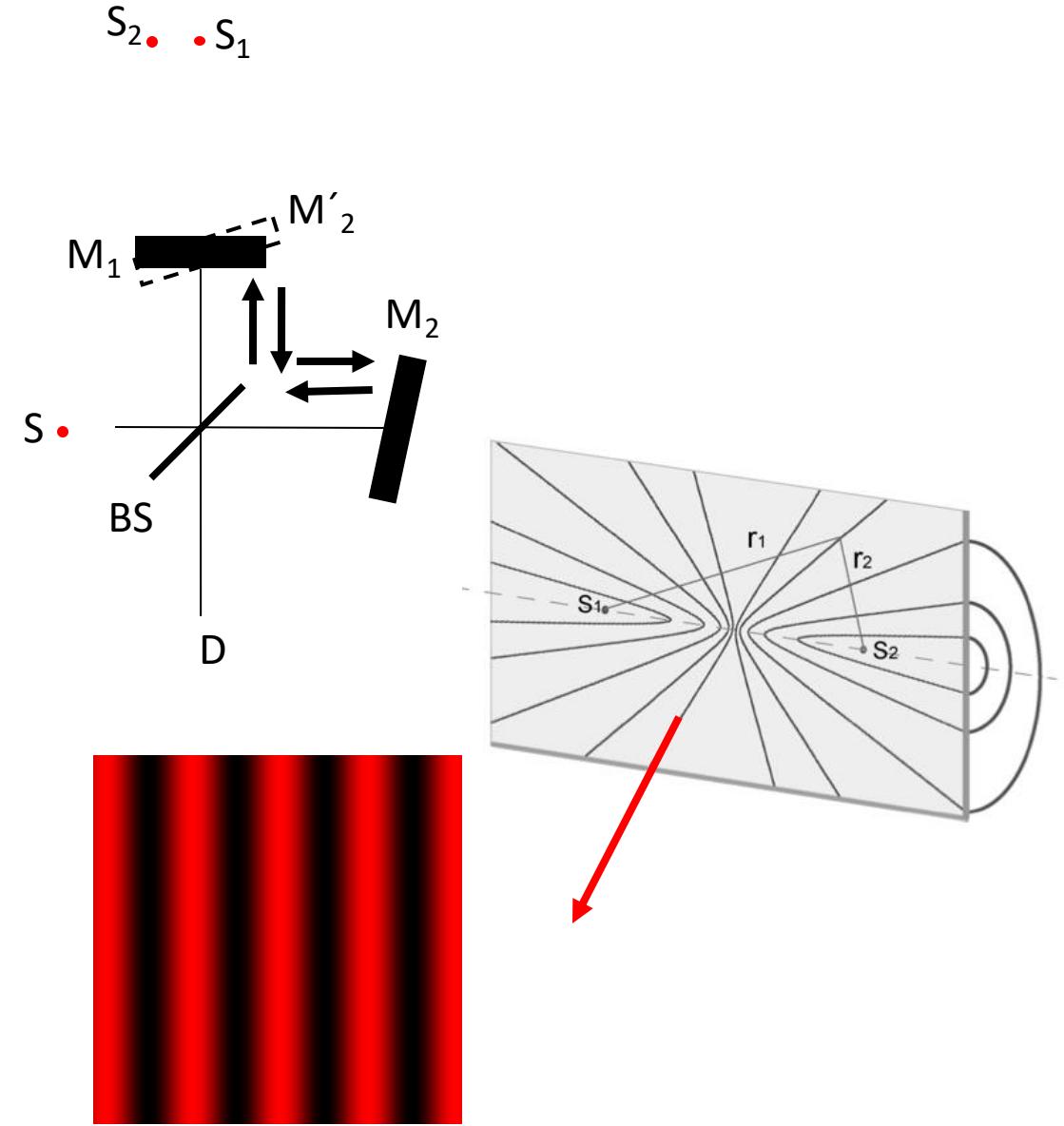
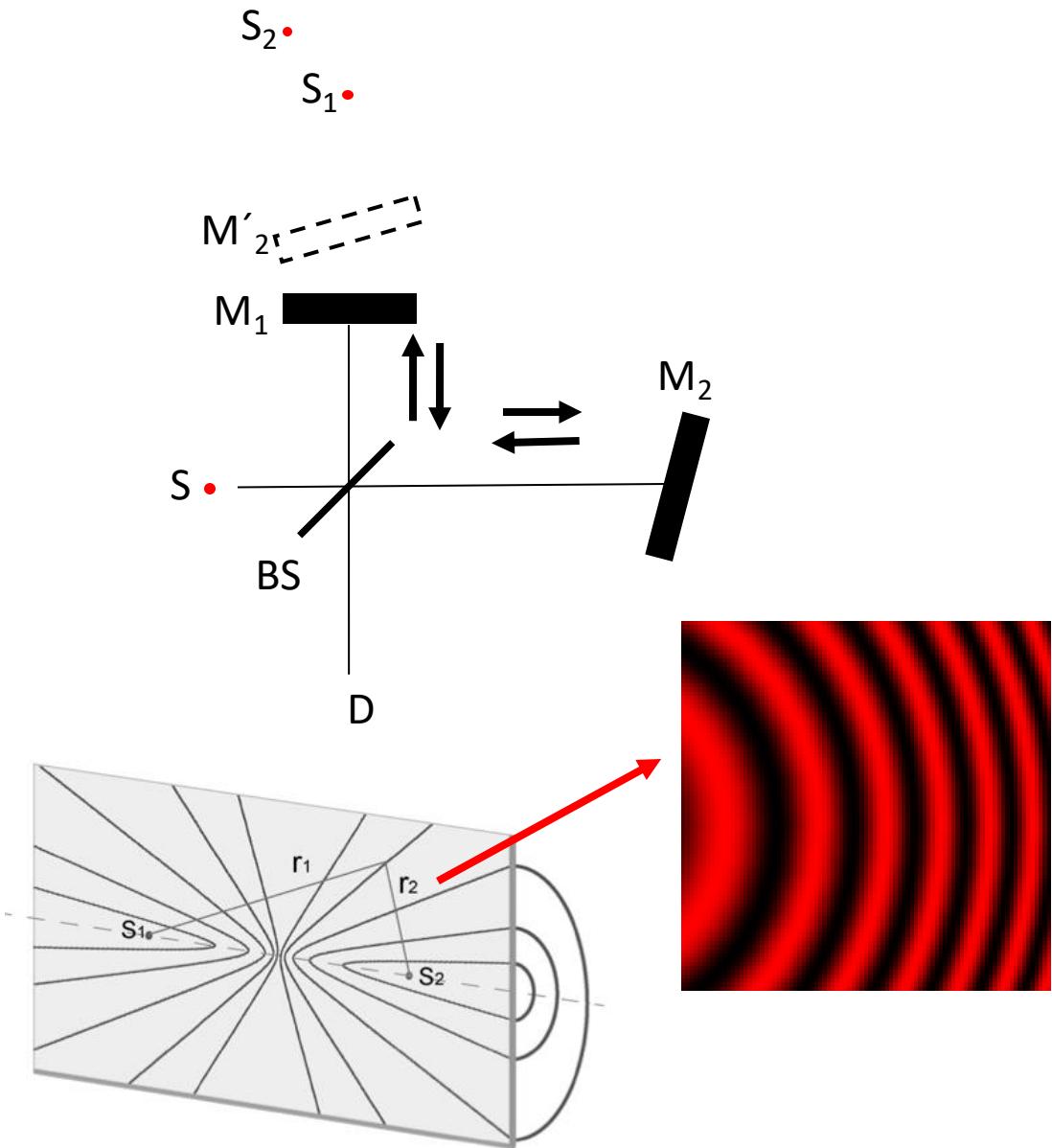
Teorema de Van Cittert - Zernike: El área que se puede iluminar coherentemente con una fuente extensa es proporcional a la transformada de Fourier de su distribución de luz. Cuanto más puntual es la fuente mayor es el área que puedo iluminar coherentemente y viceversa.

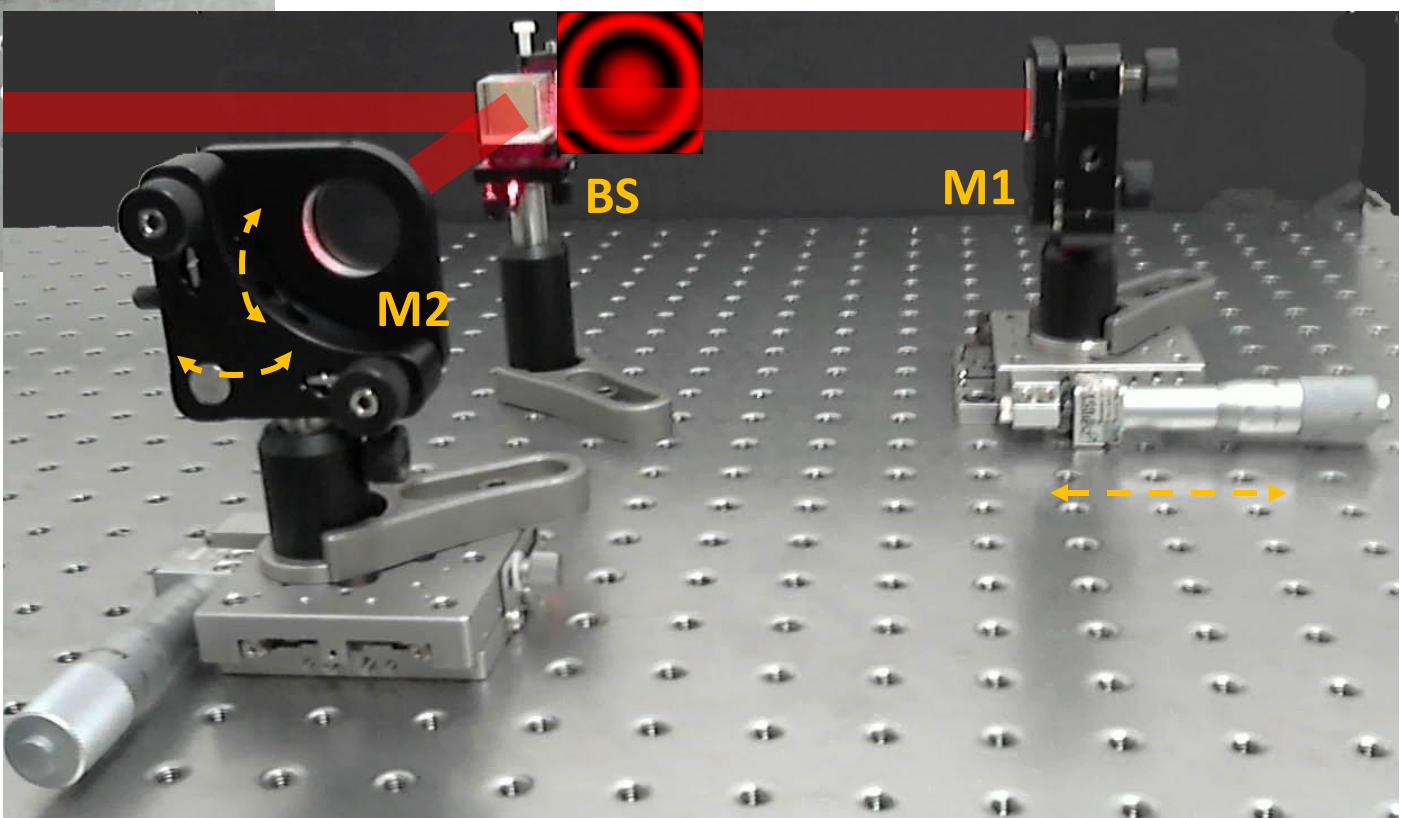
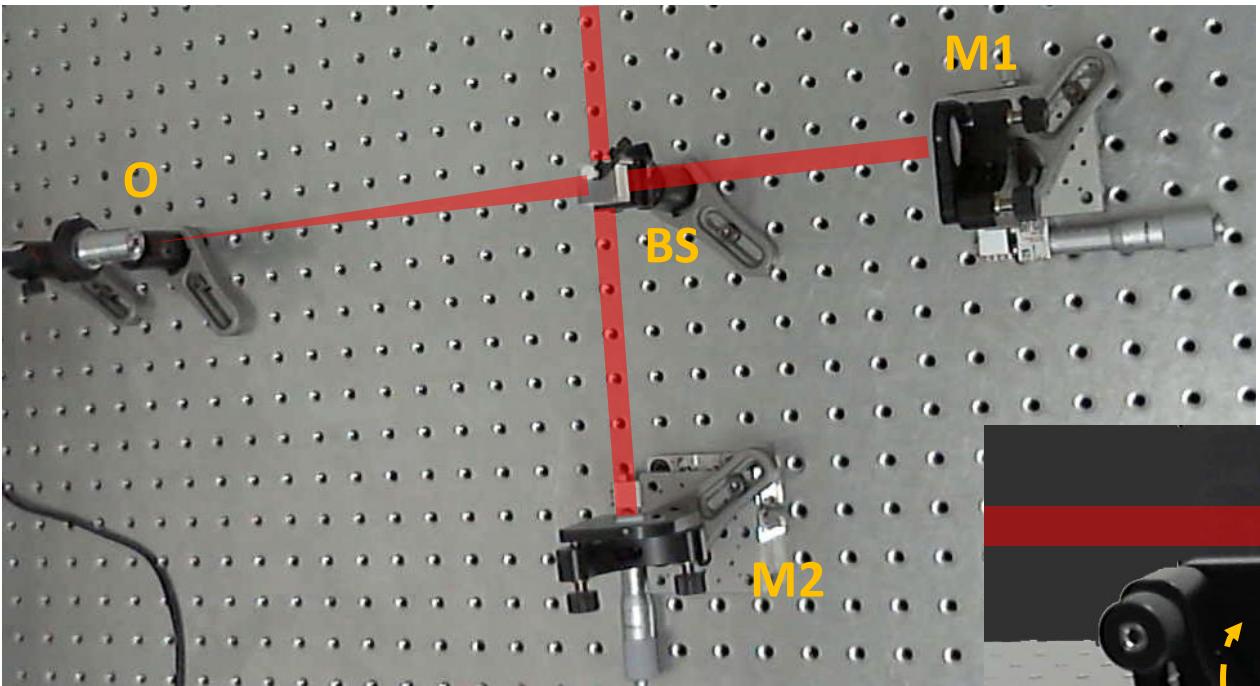


Interferómetro de Michelson

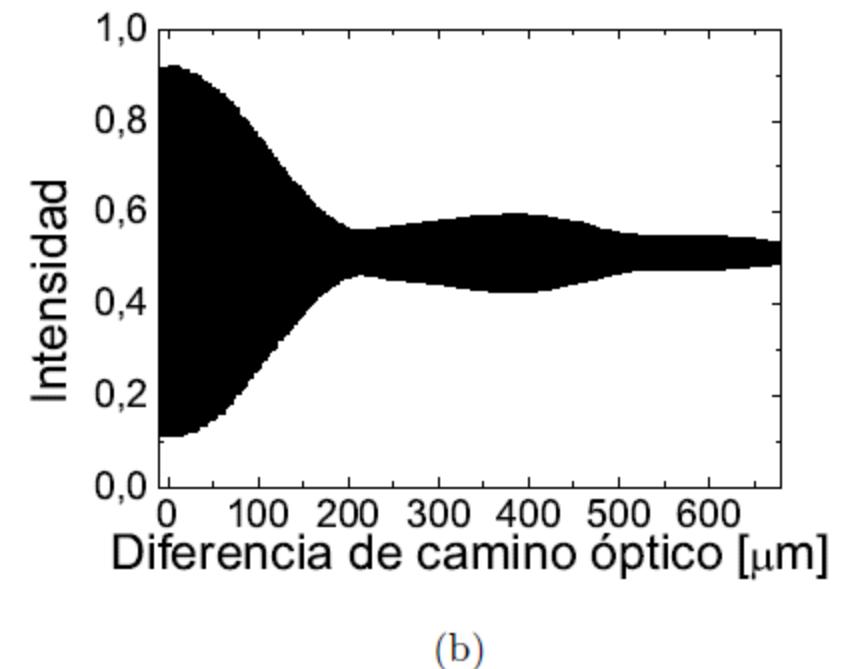
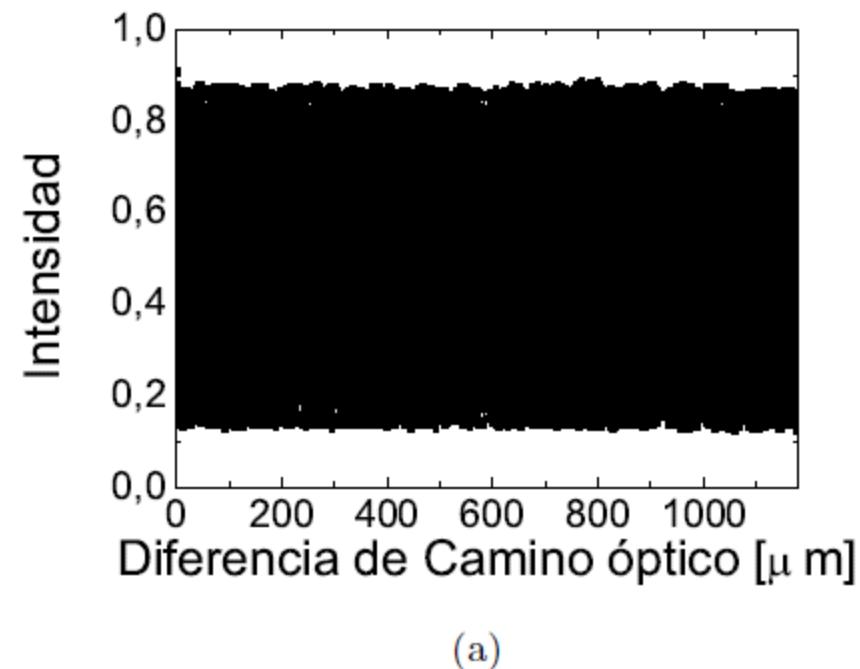
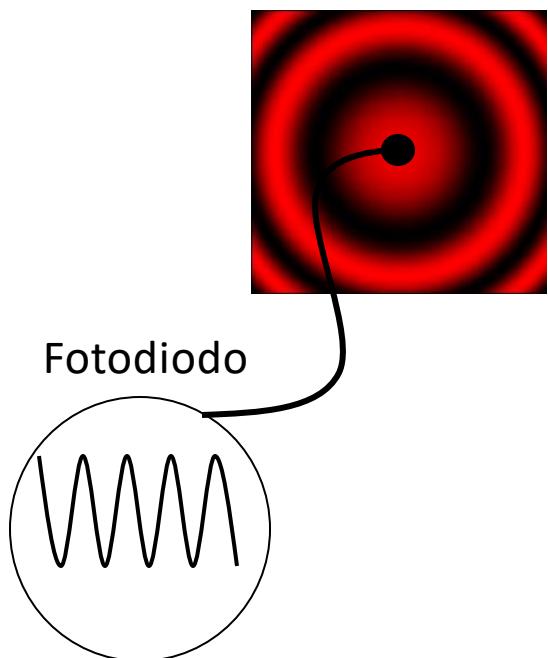
Distintas figuras de interferencia que pueden observarse



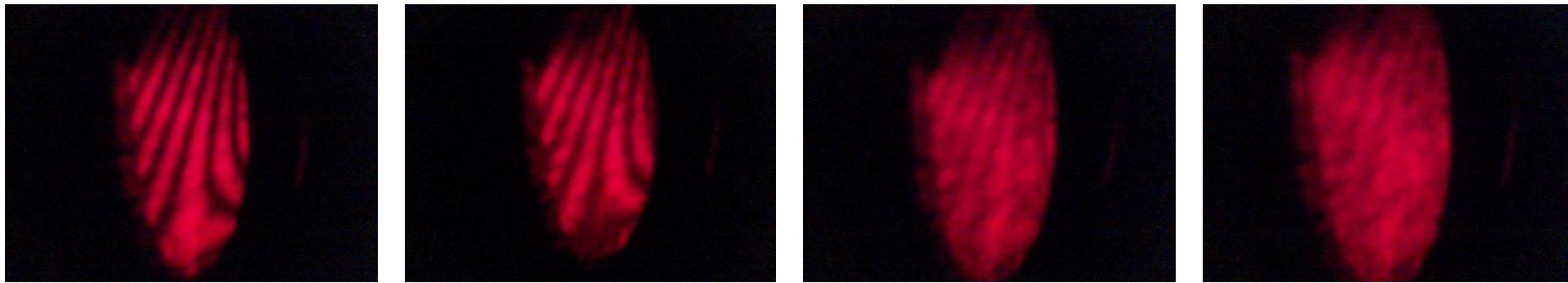




Si se mide con un detector la intensidad en el centro de la figura de interferencia a medida que se aleja uno de los espejos, pasarán una serie de máximos y mínimos. El contraste entre los máximos y mínimos será máximo cuando los trenes sean altamente coherentes. La forma en que varía este contraste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



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 $Lc = (183 \pm 50) \mu\text{m}$

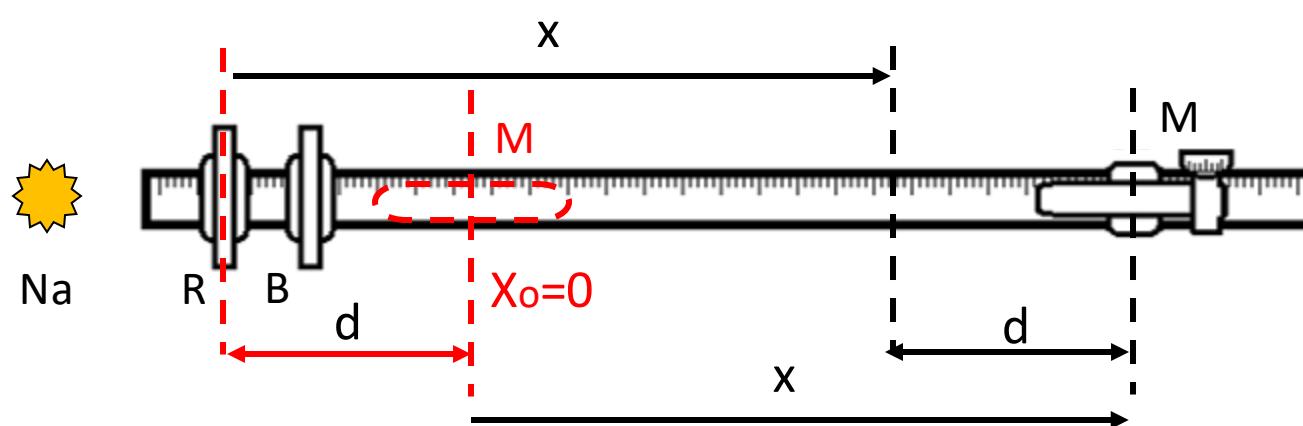
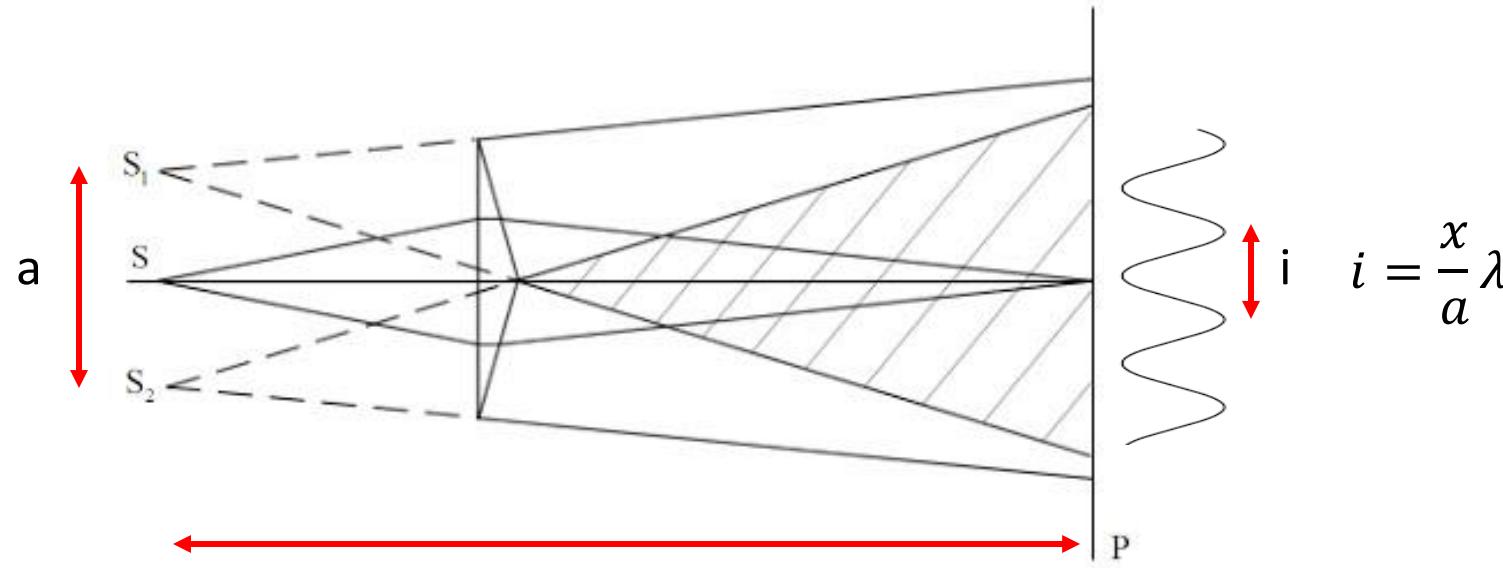
¿Por qué creen que el error es tan alto? ¿De qué depende?

¿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 λ de una lámpara de Na



Na = lámpara de sodio

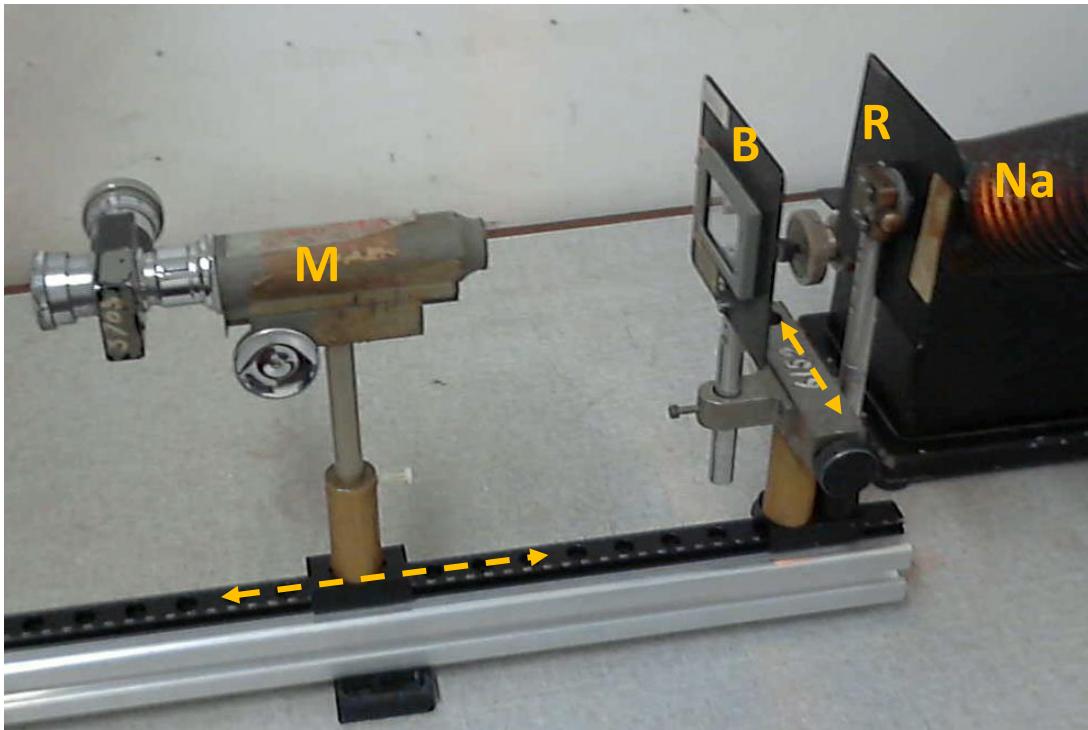
R = ranura

B = biprisma

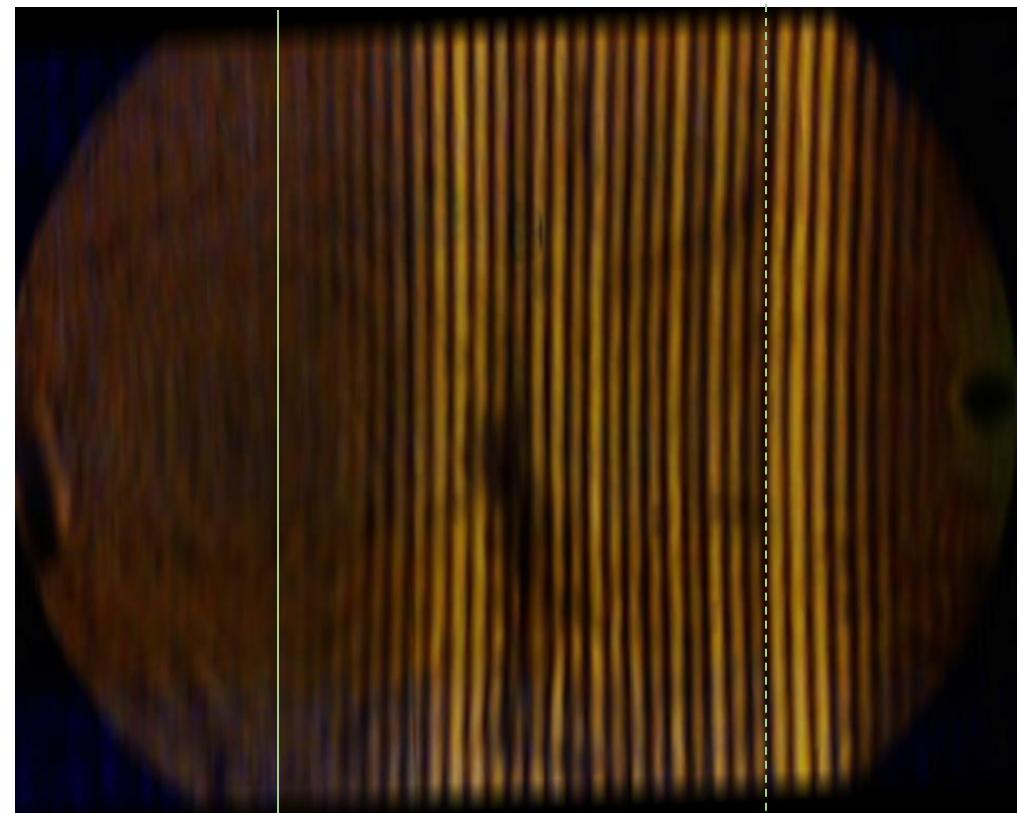
M = microscopio

d = distancia de enfoque

X = distancia fuente – plano de observación



n divisiones del
tambor graduado



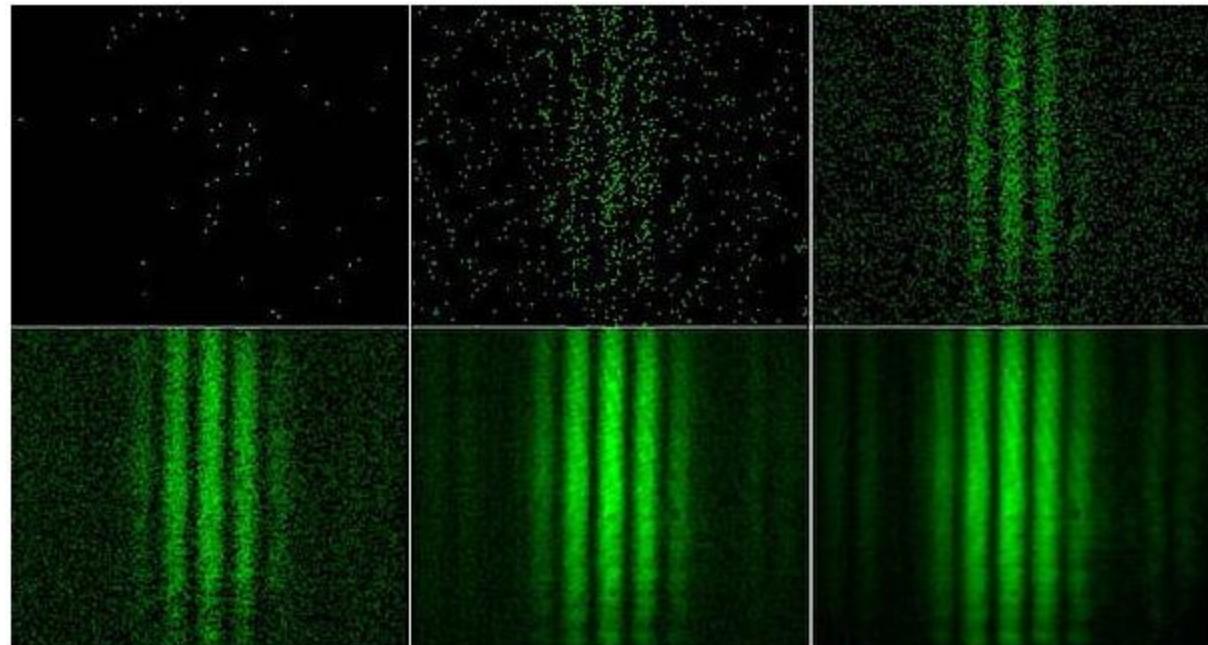
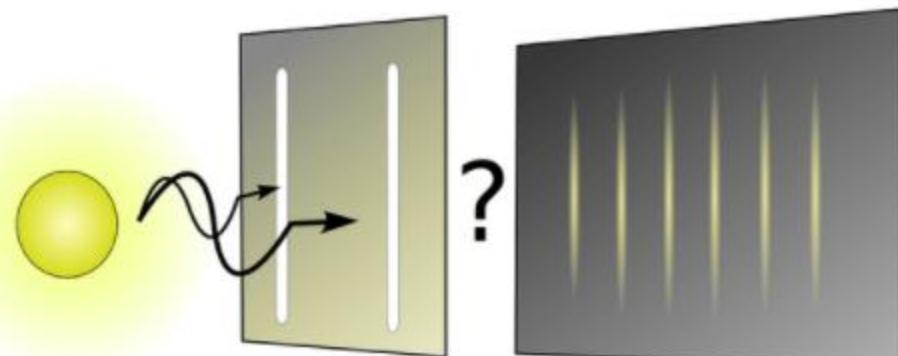
N interfranjas



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

