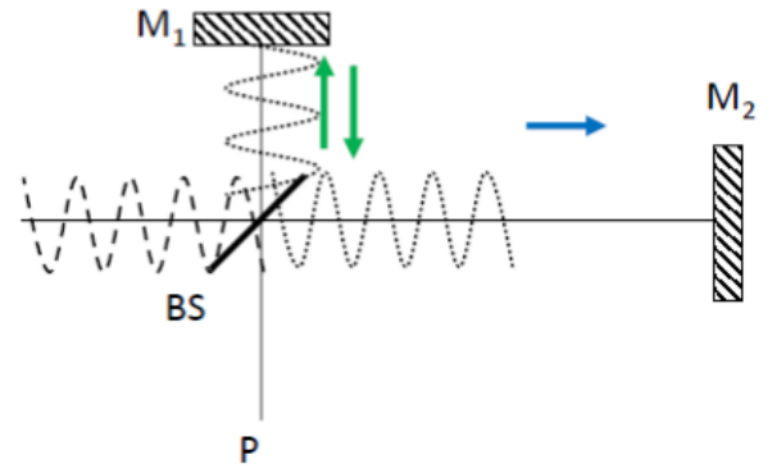
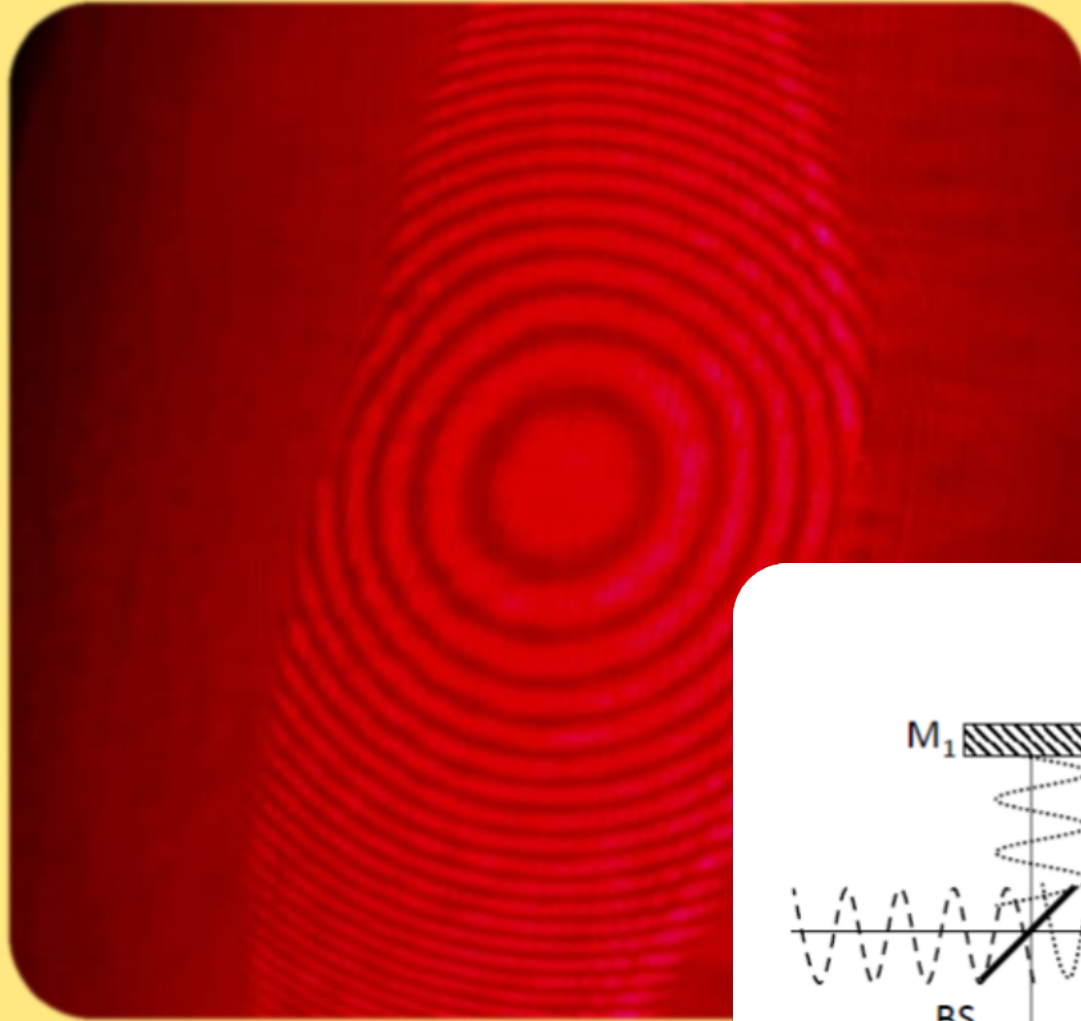


Laboratorio 2
1er cuat. 2025

Clase 10
11/06/2025
Optica (3)

Interferencia
Michelson



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.

Toman una porción distinta del frente de onda primario para recombinarlo y lograr interferencia

- ✓ Interferómetros por división de amplitud: Michelson, Mach Zehnder , Sagnac , anillos de Newton, etc.

La misma porción del frente de onda primario se lo divide en dos frentes de ondas secundario que luego se los recombina para lograr interferencia

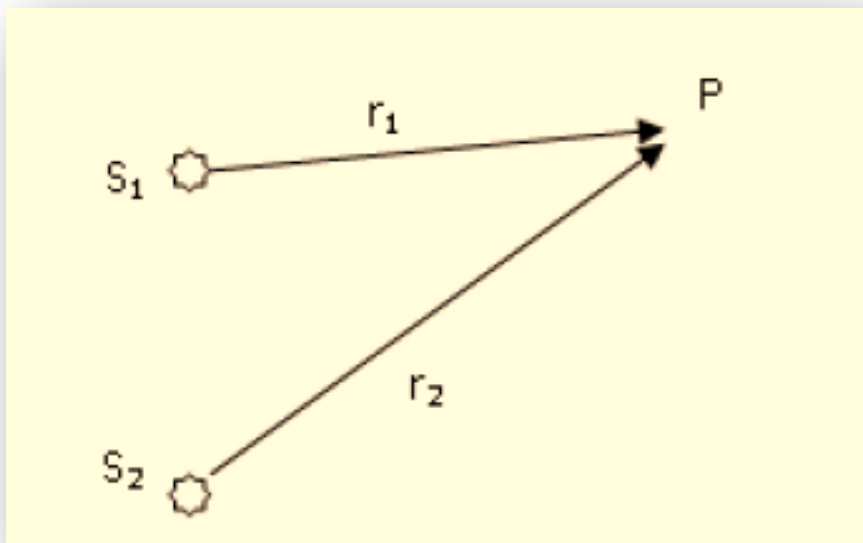
Cuál es la condición fundamental para que haya interferencia?

- ✓ 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.



Si se desea calcular la intensidad en el punto P, se suman los campos eléctricos producidos por dichas fuentes en un punto P (ubicado a distancia r_1 de S_1 y a r_2 de S_2)

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{01}(r_1) \exp[i(kr_1 - \omega t + \varepsilon_1)]$$

$$\vec{E}_2 = \vec{E}_{02}(r_2) \exp[i(kr_2 - \omega t + \varepsilon_2)]$$

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

Promedio temporal

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

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

Diferencia de fase
relativas entre las
fuentes

Para que haya una figura de interferencia estable
debe ser cte.

Si no es constante el promedio temporal se hace cero

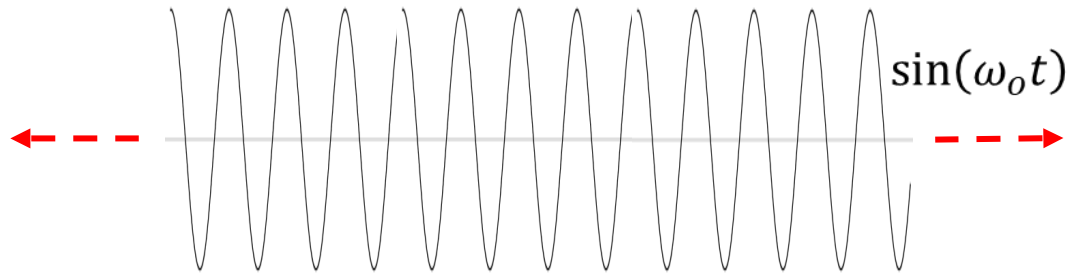
Se crean dos fuentes secundarias a partir de una primaria (veremos que esto sólo no basta)

¿Qué pasa con la polarización?

Coherencia temporal



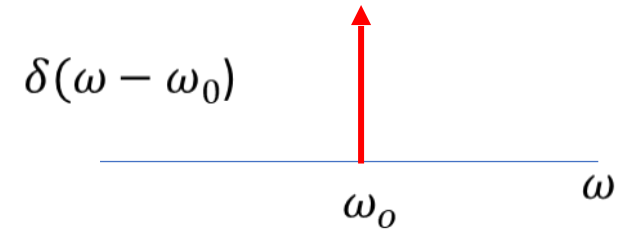
Se refiere a monocromaticidad de la fuente



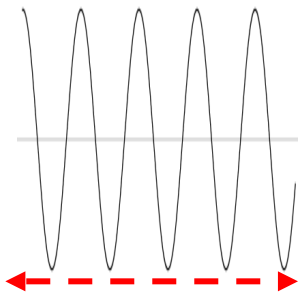
$$\Delta t = \tau_c = \infty$$

monocromático

TF



Al recortar
temporalmente
el seno



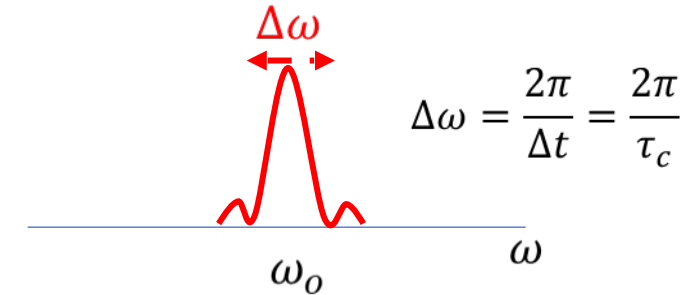
$$\sin(\omega_0 t) \times \text{rect}\left(\frac{t}{\Delta t}\right)$$

$$\Delta t = \tau_c$$

Tiempo de coherencia

no monocromático

TF



$$\Delta \omega = \frac{2\pi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{\tau_c}$$

El largo del tren de ondas se conoce como
longitud de coherencia



$$L_c = c\tau_c$$

$$c = \frac{\omega}{2\pi} \lambda \longrightarrow \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta \omega}{\omega}$$

$$L_c = c \frac{2\pi}{\Delta \omega} = 2\pi \frac{c}{\omega} \frac{\omega}{\Delta \omega} = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda}$$

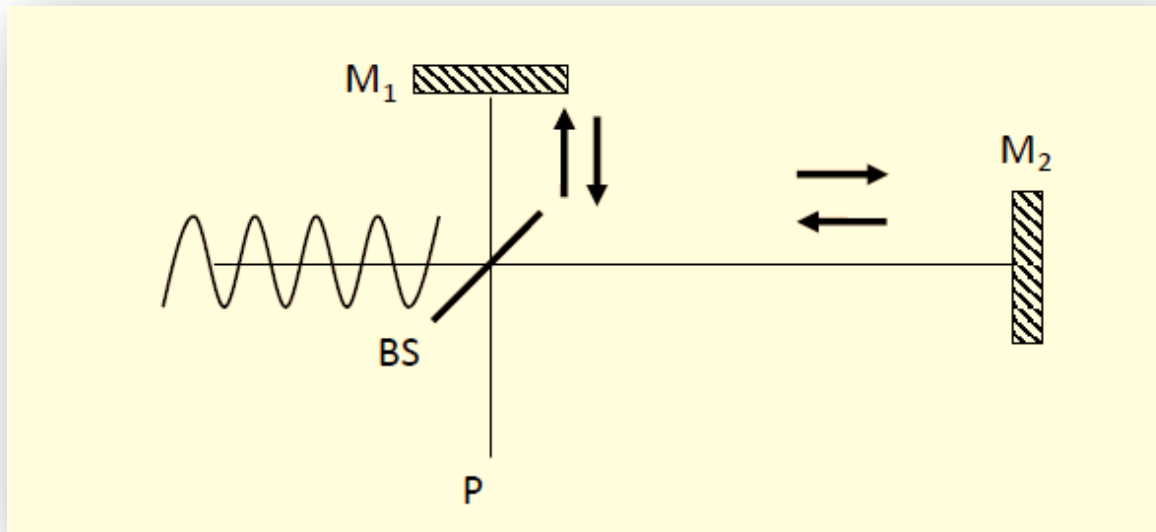
$$L_c = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

Fuente	Longitud de onda media	Ancho de línea	Longitud de coherencia	Tiempo de Coherencia
	$\bar{\lambda}$	$\Delta\lambda$	$\bar{\lambda}^2/\Delta\lambda$	$\frac{\bar{\lambda}}{\Delta\lambda} \frac{\bar{\lambda}}{c}$
IR medio (3-5 μm)	4.0 μm	2.0 μm	8.0 μm	$2.66 \times 10^{-14} \text{ s}$
Luz blanca	550 nm	$\approx 300 \text{ nm}$	$\approx 900 \text{ nm}$	$\approx 3.0 \times 10^{-14} \text{ s.}$
Arco de Mercurio	546.1 nm	$\approx 1.0 \text{ nm}$	$\approx 0.3 \text{ mm}$	$\approx 1.0 \times 10^{-12} \text{ s.}$
Lámpara de ⁸⁶ descarga Kr	605.6 nm	$1.2 \times 10^{-3} \text{ nm}$	0.3 m	$1.0 \times 10^{-9} \text{ s.}$
Láser He-Ne estabilizado	632.8 nm	$\approx 10^{-6} \text{ nm}$	400 m	$1.33 \times 10^{-6} \text{ s.}$

Ejemplo de coherencia temporal en el interferómetro de Michelson

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

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

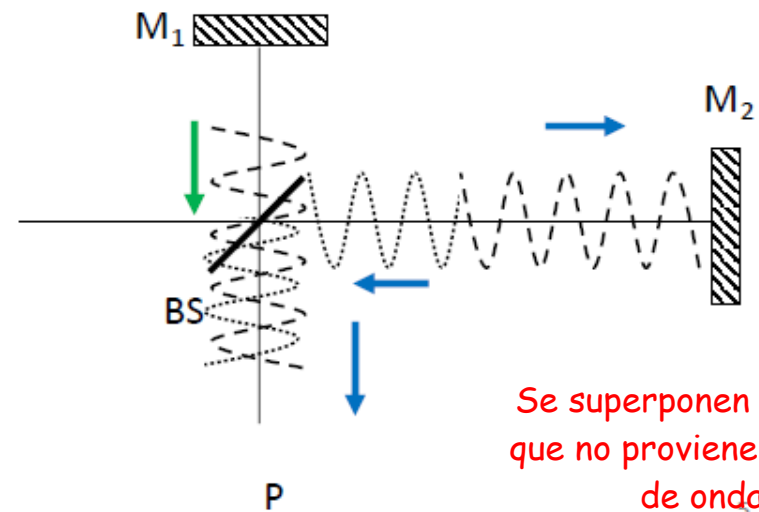
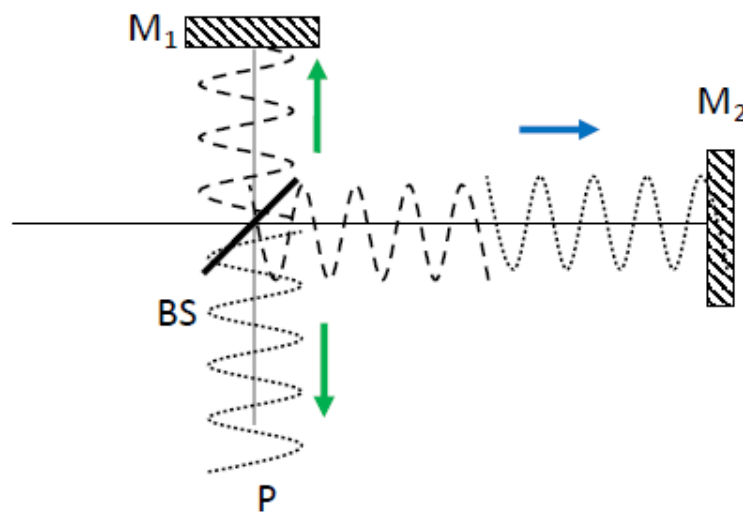
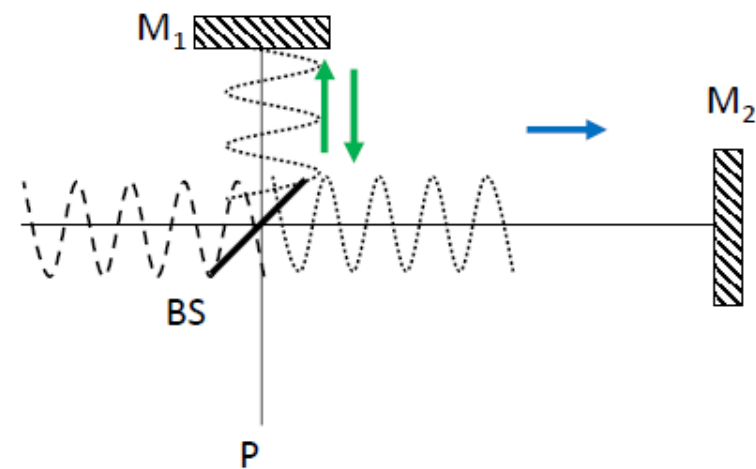
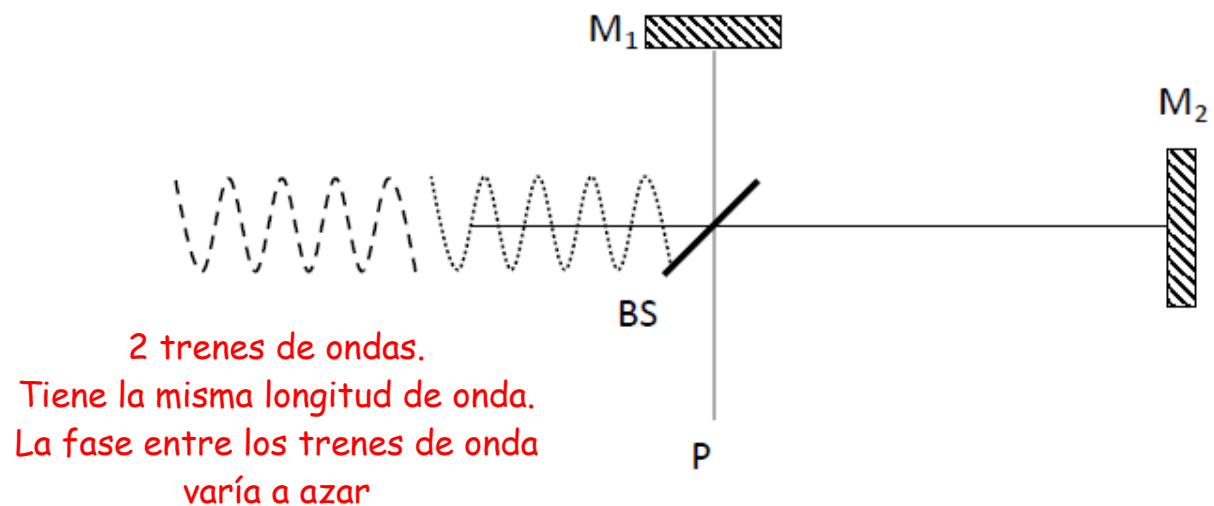


En el punto P se van a superponer trenes de onda que no provienen del mismo tren de ondas inicial.

Por lo tanto la diferencia de fase inicial
 $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$

varía al azar y se pierde la capacidad de interferir

Ejemplo en el interferómetro de Michelson



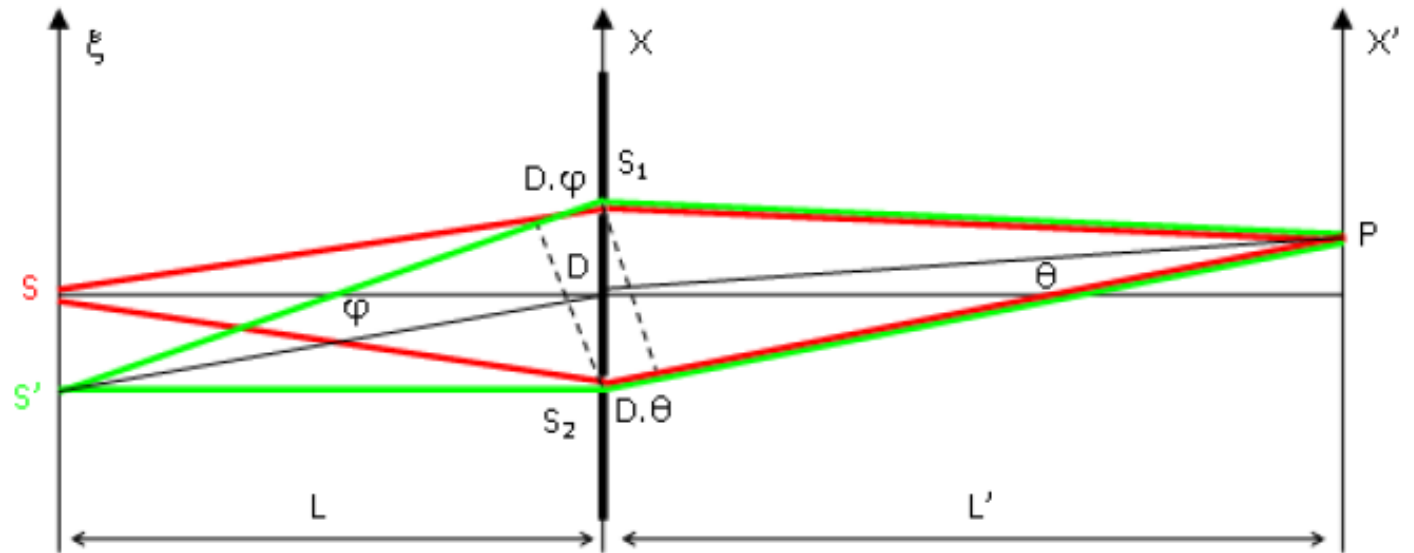
Se superponen trenes de onda
que no proviene del mismo tren
de onda inicial.
La diferencia de fase es al azar.
Falta de contraste.

Coherencia espacial. Ejemplo con interferómetro por división de frente de onda (como el de Young)

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.

Una fuente extensa es aquella en la que cada punto de la fuente emite incoherentemente con la fuente de al lado. Hay una diferencia de fase al azar entre esas fuentes

Si se analiza individualmente la intensidad producida en la pantalla X' por la fuente S o S' de la fuente extensa, se tiene interferencia.



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 .

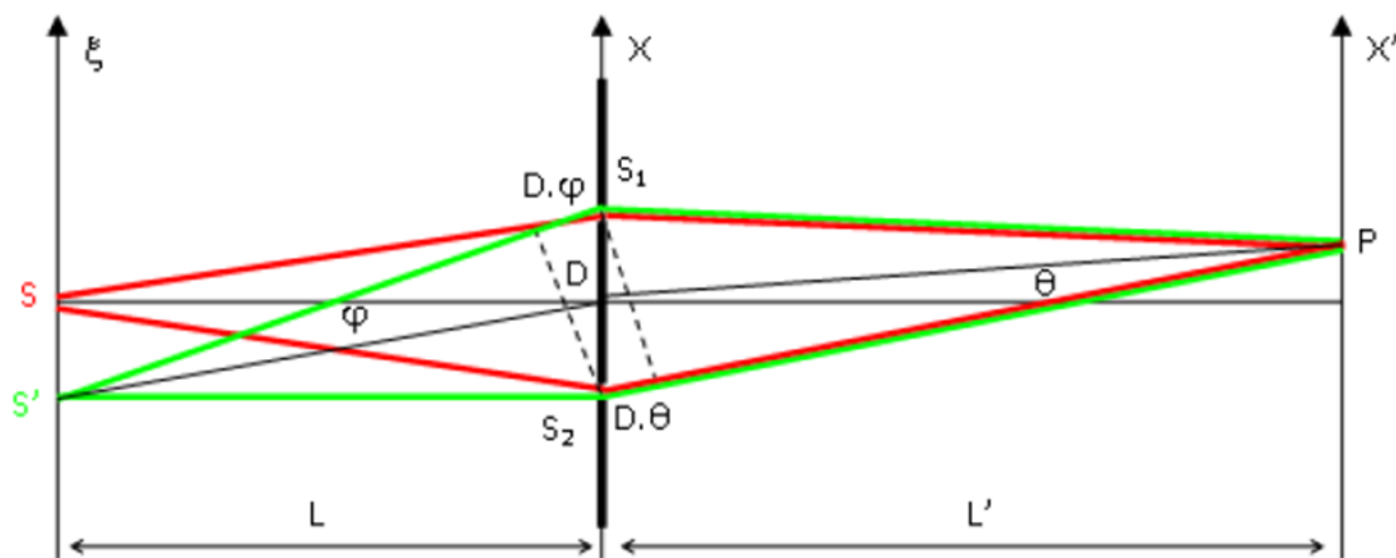
$$I = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2\vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02} \cos[k(r_1 - r_2) + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)]$$

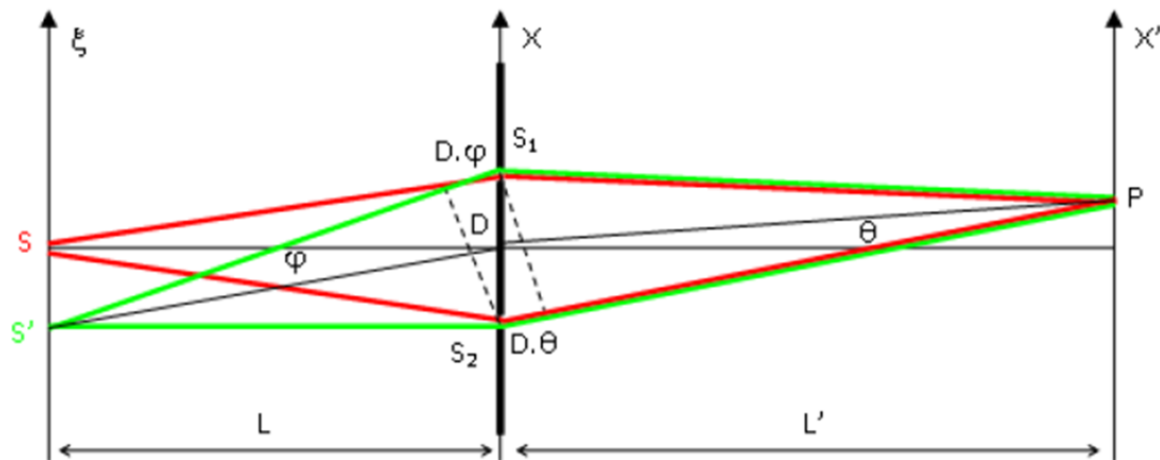
Si suponemos $I_1 = E_{01}^2 = I_2 = E_{02}^2 \equiv I_0$

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

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

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





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

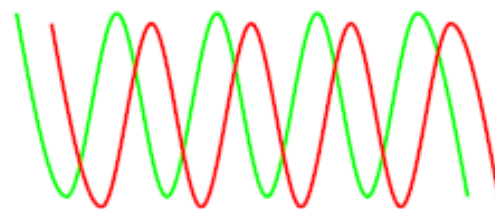
$$I = 4I_0 \left[\cos^2 \left(\frac{k}{2} D \cdot \theta \right) + \cos^2 \left(\frac{k}{2} D \cdot (\theta - \varphi) \right) \right]$$



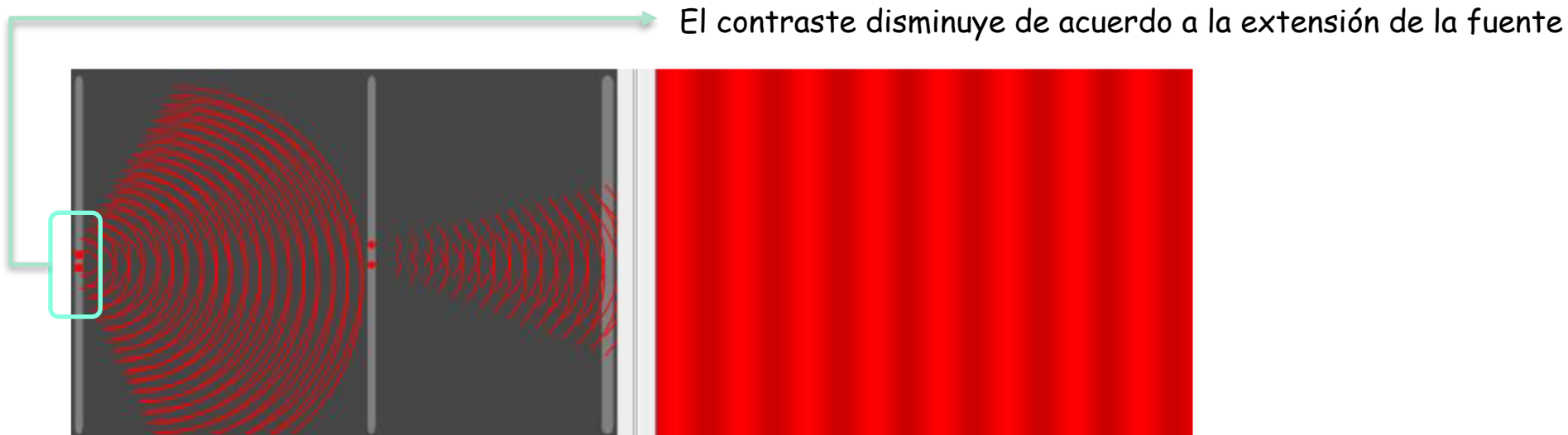
Proveniente de S



Proveniente de S'



Se pierde contraste



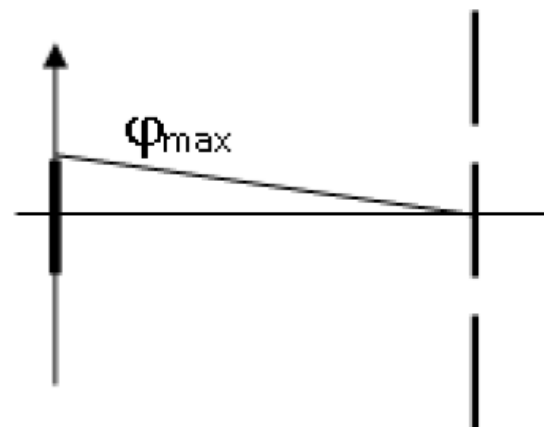
Pasando al continuo

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

Integral
sobre la
extensión de
la fuente

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

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



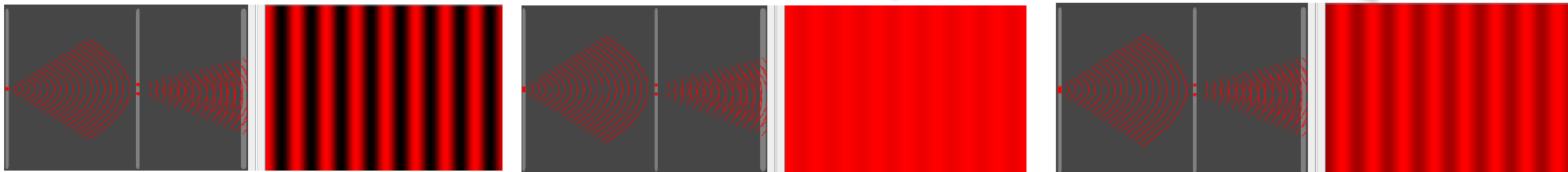
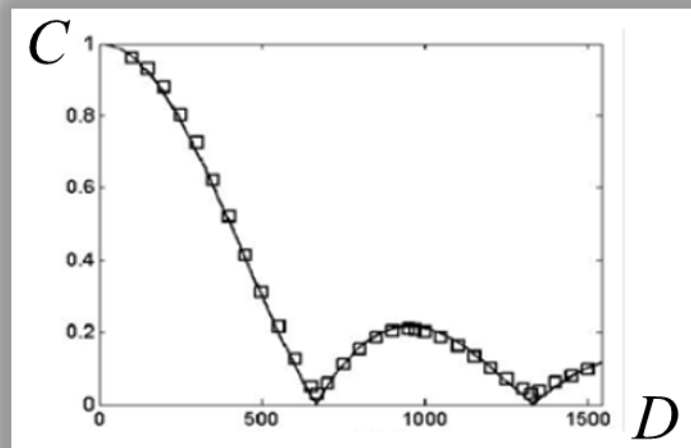
Se define el contraste

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

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

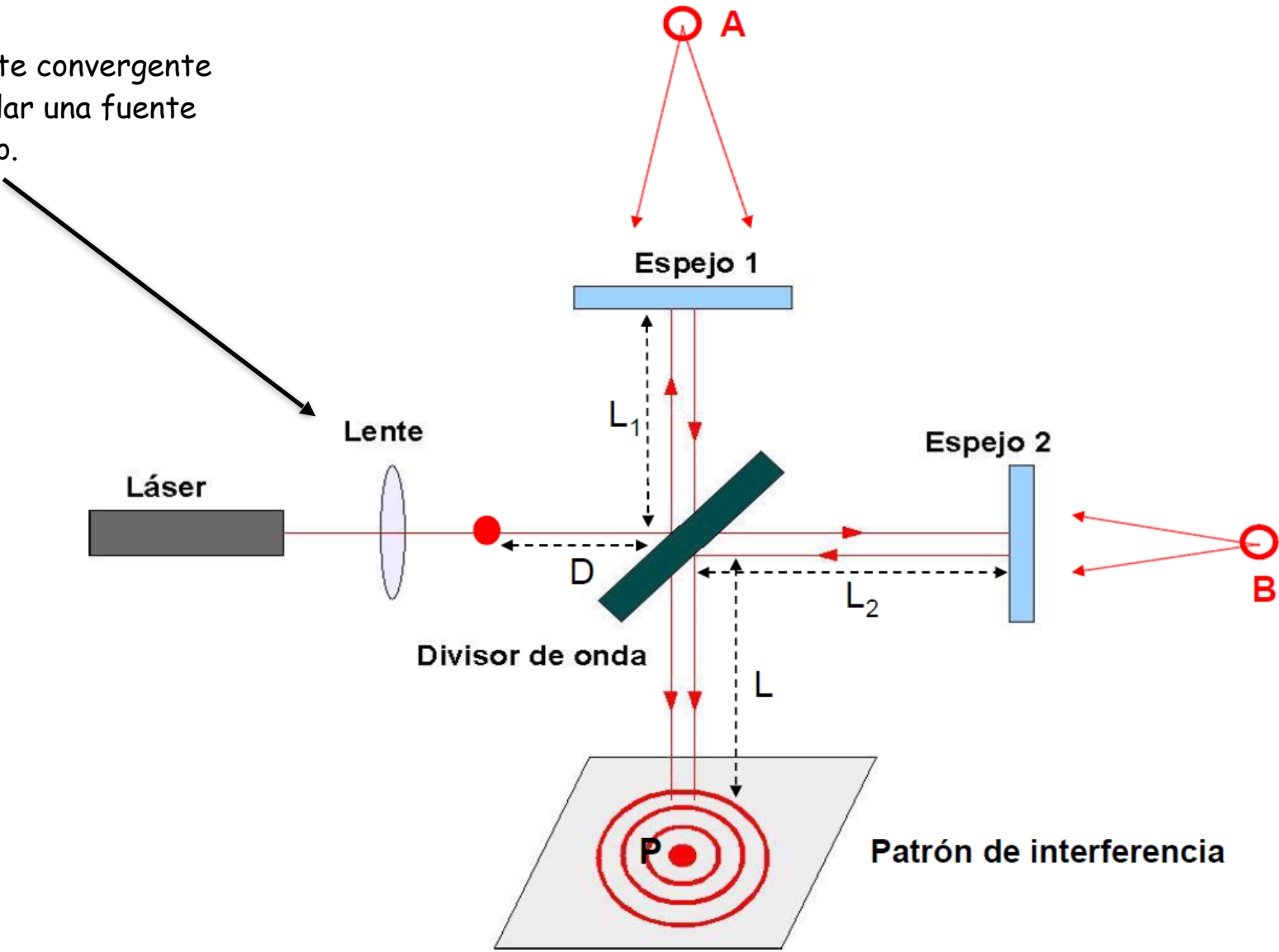
Caso ideal $I_{\min} = 0$, $C = 1$

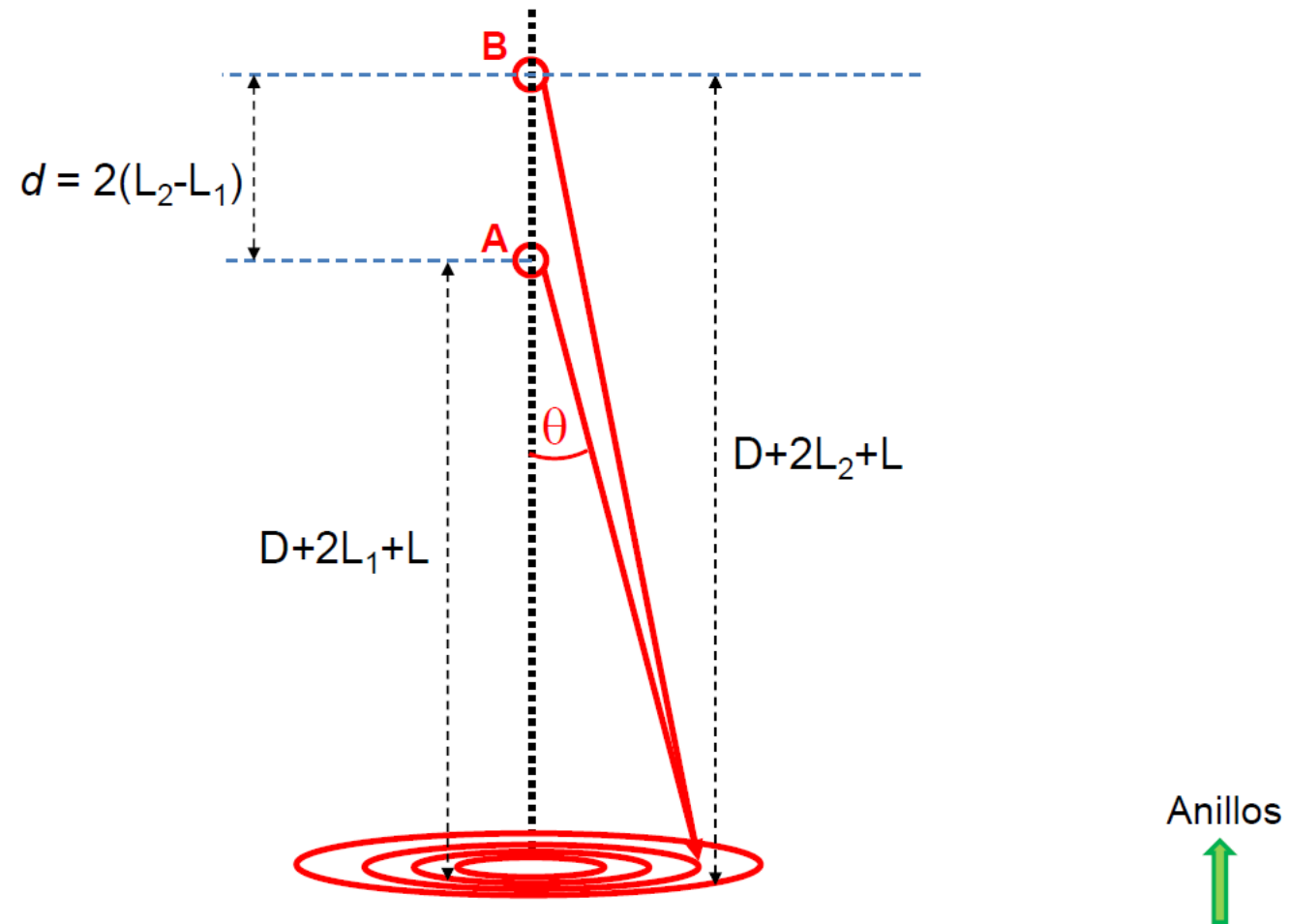
Recordando
$$I(\theta) = A \varphi_{\max} \left[1 + \frac{\sin(k D \varphi_{\max})}{k D \varphi_{\max}} \cos(k D \theta) \right]$$



Interferómetro de Michelson

Se coloca una lente convergente que permite simular una fuente puntual en su foco.



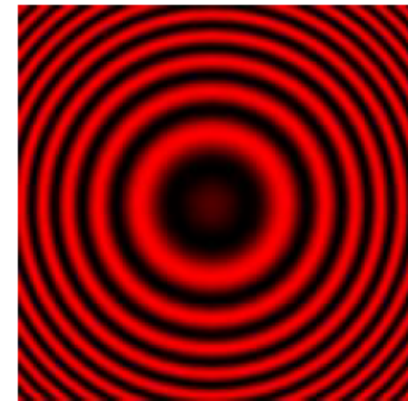
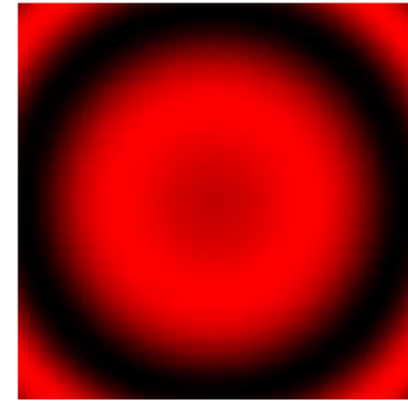
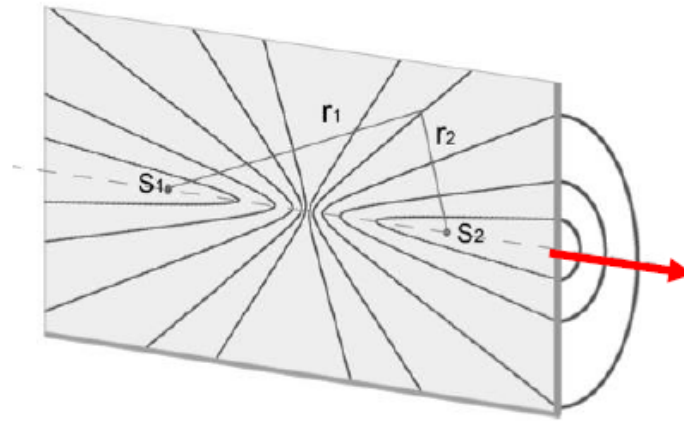
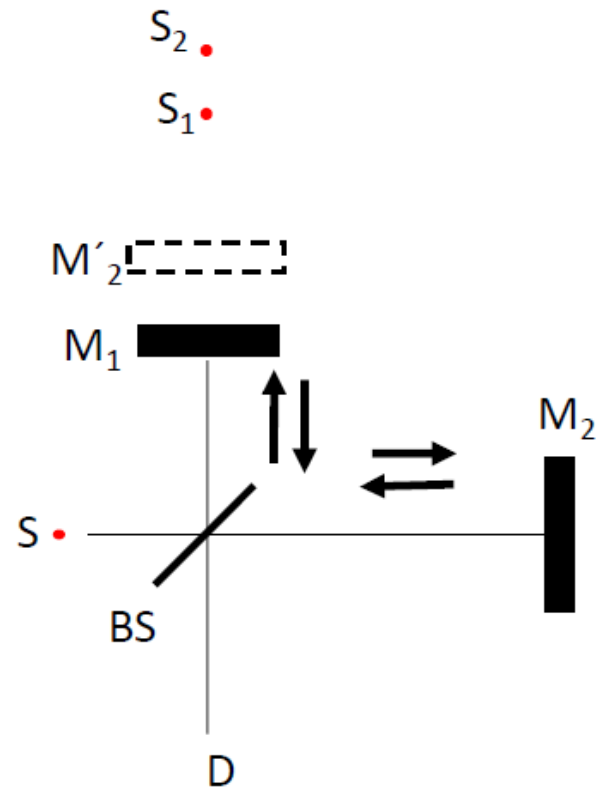


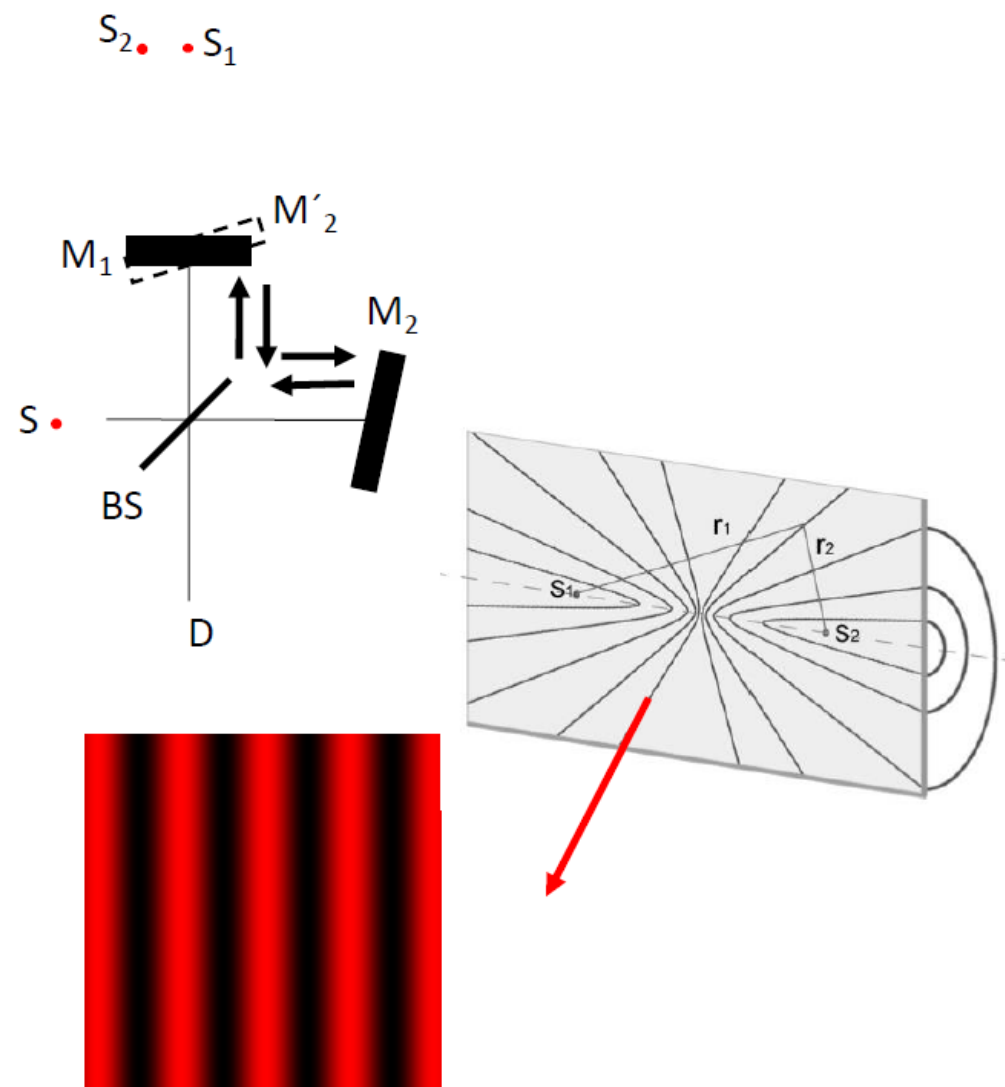
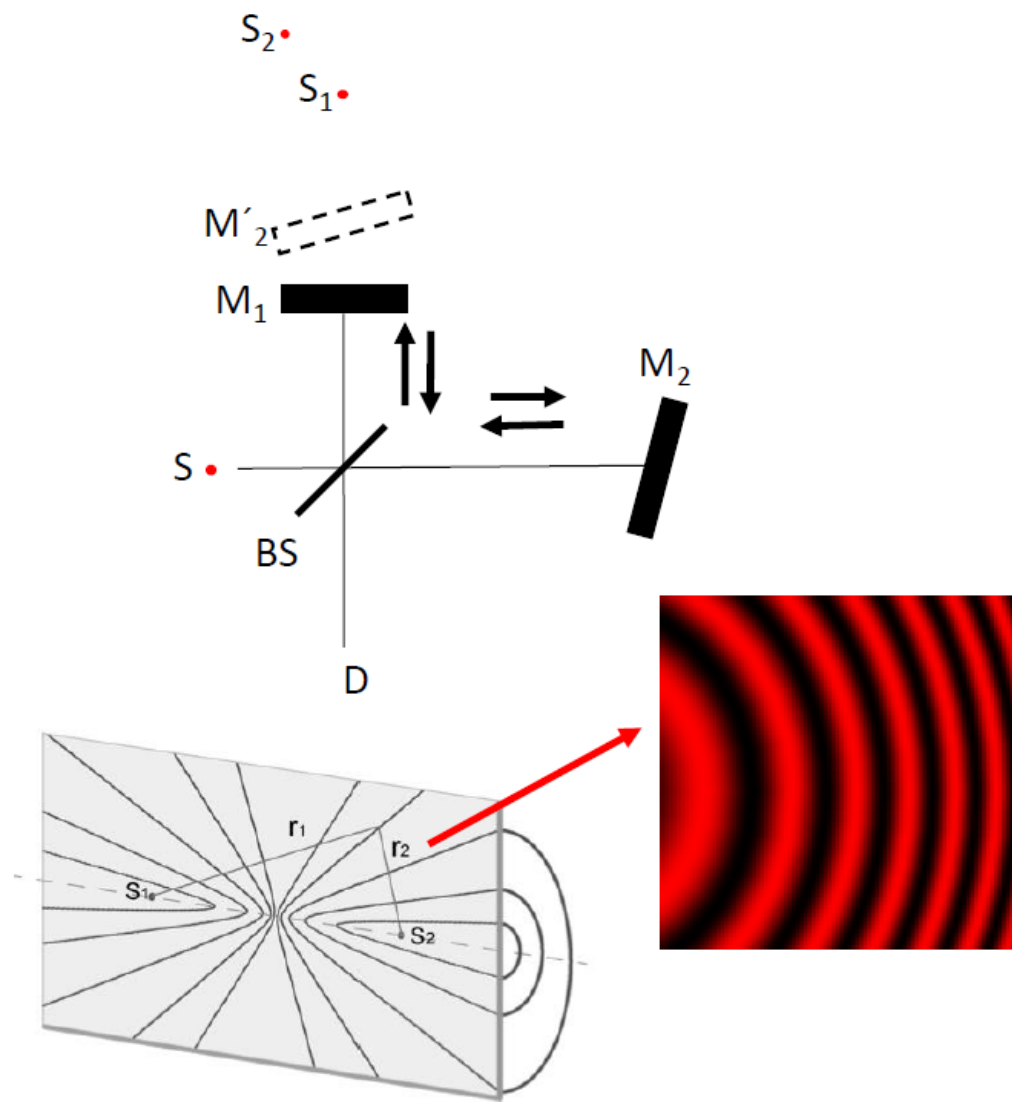
La diferencia de camino óptico entre los dos trayectos es $\text{DCO}(\theta) = d \cos(\theta)$

En el centro, la interferencia constructiva será máxima si $d = m \lambda$

Interferómetro de Michelson

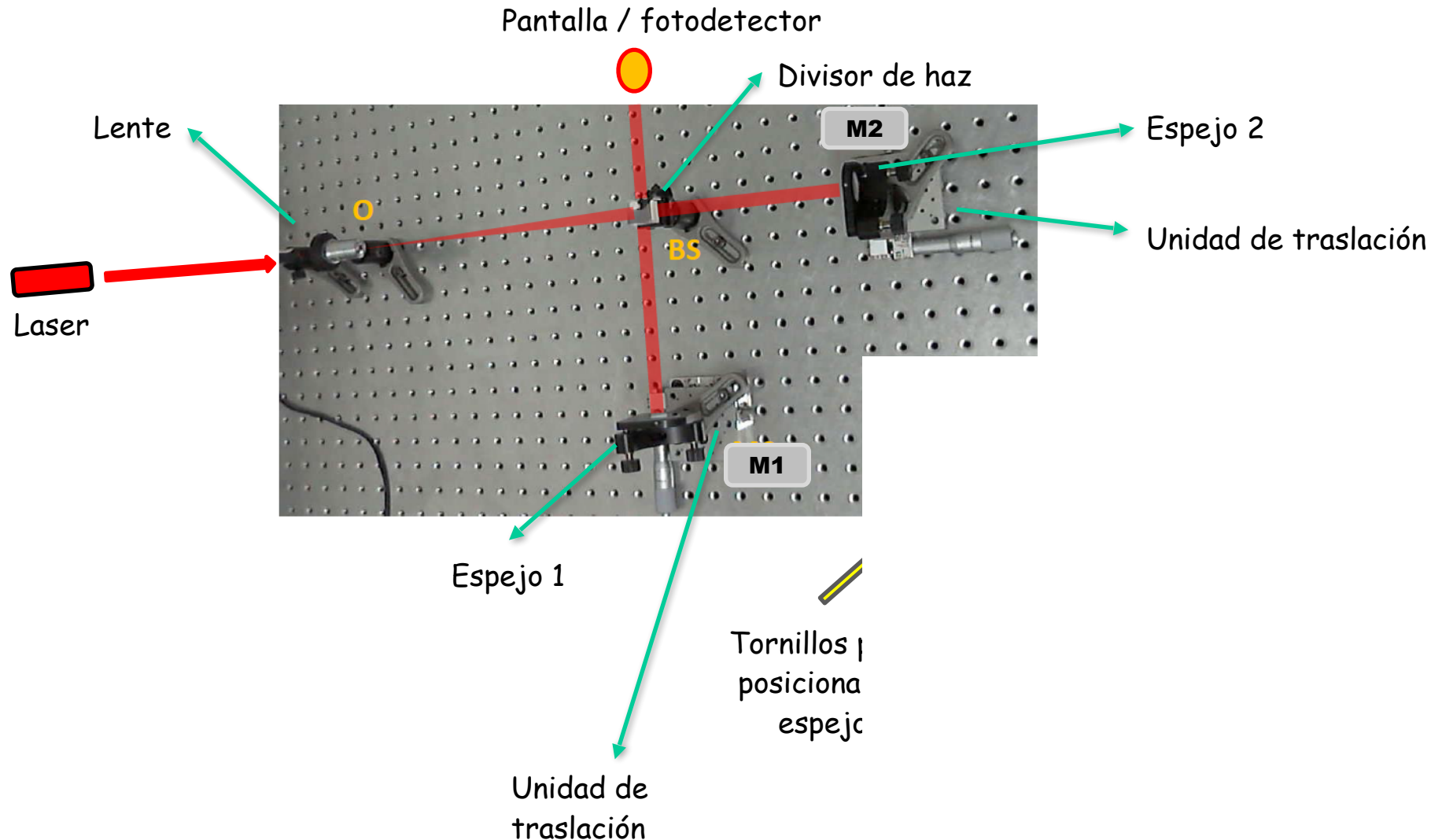
Distintas figuras de interferencia que pueden observarse





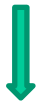
Experiencia de Michelson

- El objetivo de esta práctica es obtener la longitud de onda del diodo laser rojo mediante interferometría.
- Montaje :



- ✓ Se ubica el fotodetector en el centro de la figura de interferencia.
- ✓ La escala del fotodetector se fija en 0 - 600 lx y la tasa de muestreo de 5000 muestras / s.
- ✓ Utilizando el micrómetro, desplazar el espejo enfrente al laser $50 \pm 10 \mu m$ de forma lo más suave y uniforme posible.
- ✓ Con el DAQ se adquieren los datos de intensidad detectada en el fotodetector durante este desplazamiento.
- ✓ A partir de estos datos se determina la cantidad de picos de intensidad detectados (N) durante el tiempo en el cual el espejo 2 se encontraba desplazándose.
- ✓ A partir de la ecuación $d = m \lambda$ de máximos viene dado por

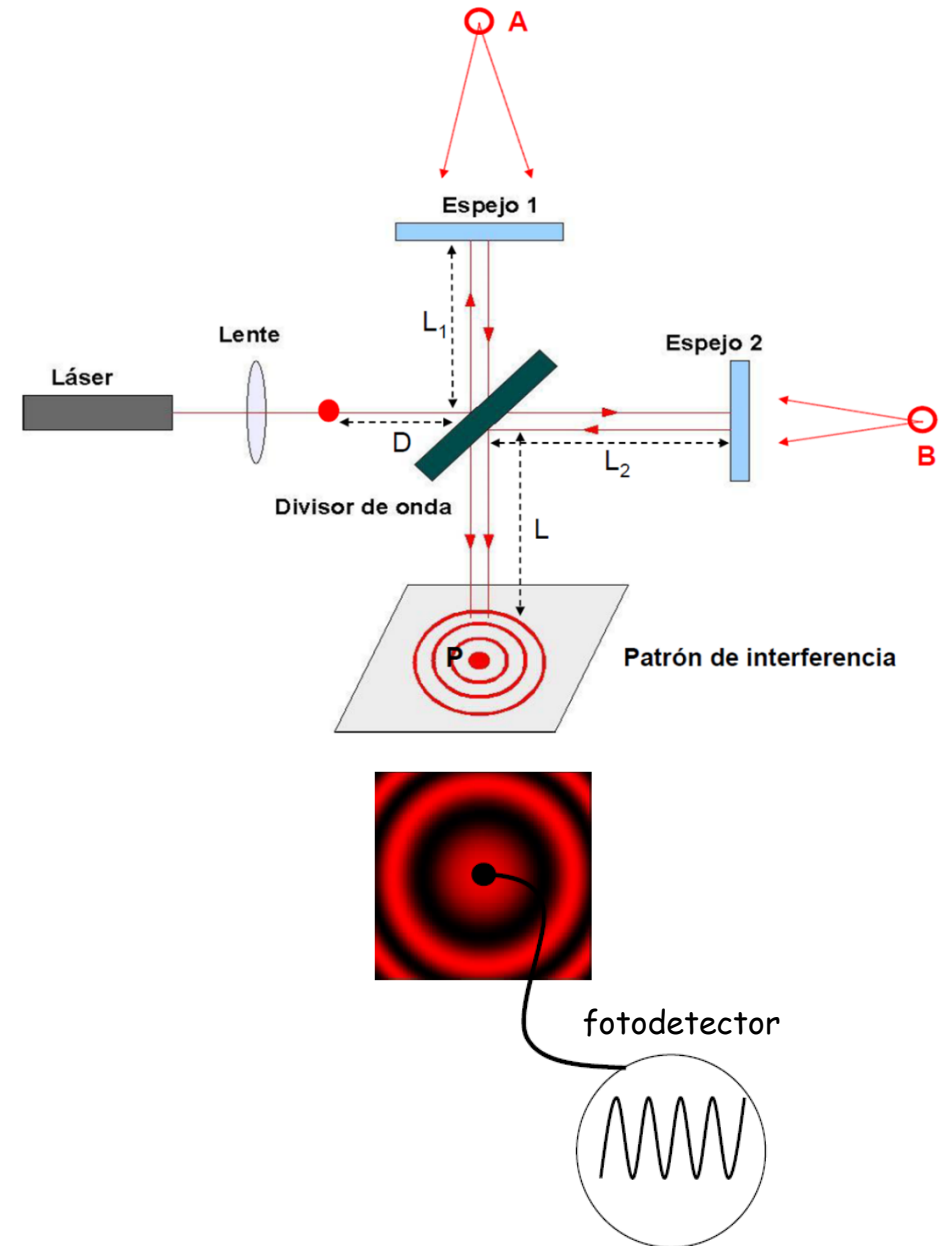
$$\Delta d \approx N \lambda$$

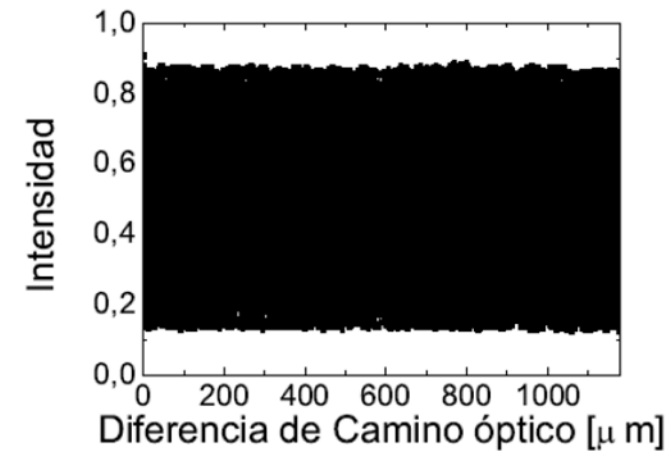
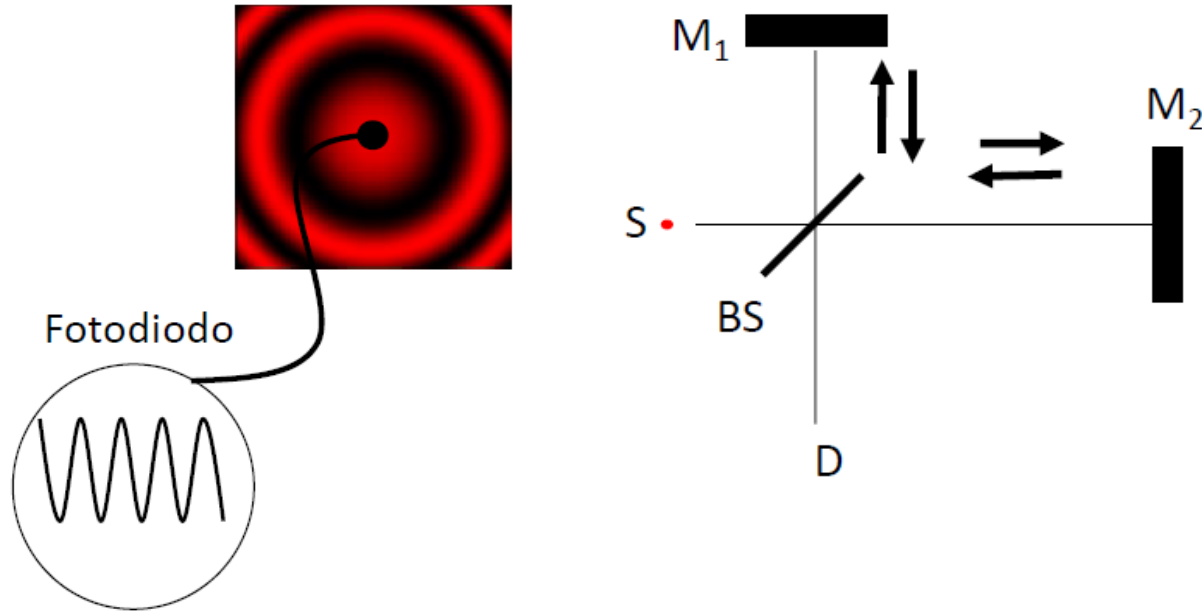


$$\lambda \approx \frac{\Delta d}{N}$$

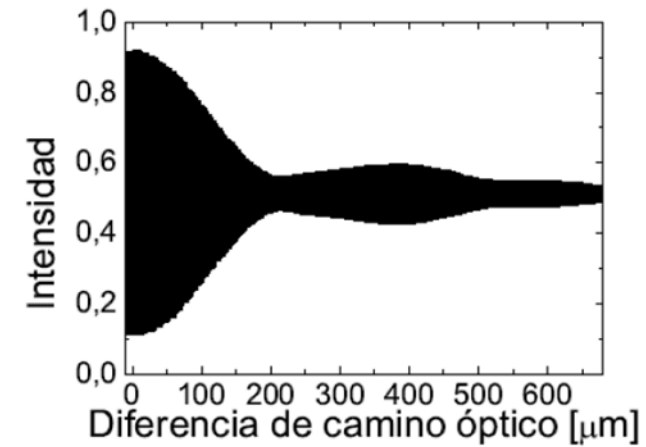
se obtiene λ

- ✓ Para tener λ con una buena estadística repetir la experiencia 10 veces.





Laser He-Ne



Diodo Laser de Baja coherencia

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



¿ PREGUNTAS ?