



Práctica 3. Interferómetros de Michelson y Fabry-Perot

Alberca Berbel, Fernando
Gómez Gómez, José Luis
Martín Romero, Álvaro

Profesor encargado: Prof. Jorge Hidalgo Aguilera
Departamento de Física, Laboratorio de Óptica, Universidad de Córdoba

10 de mayo de 2021

1. Introducción

En esta práctica se estudia el fenómeno de interferencias que se produce en los interferómetros de Michelson y Fabry-Perot. El patrón de ondas producido por ambos interferómetros son unas coronas circulares difusas concéntricas iluminadas para las interferencias constructivas y oscuras para las interferencias destructivas.

Al modificar la posición de uno de los espejos de los interferómetros, se modifica un camino óptico uno de los rayos desdoblados, esto permite calcular la longitud de onda de la fuente emisora.

También se puede modificar el camino óptico cambiando la densidad del medio por donde pasa uno de los haces. De esta forma se puede deducir la dependencia del índice de refracción del aire con la presión.

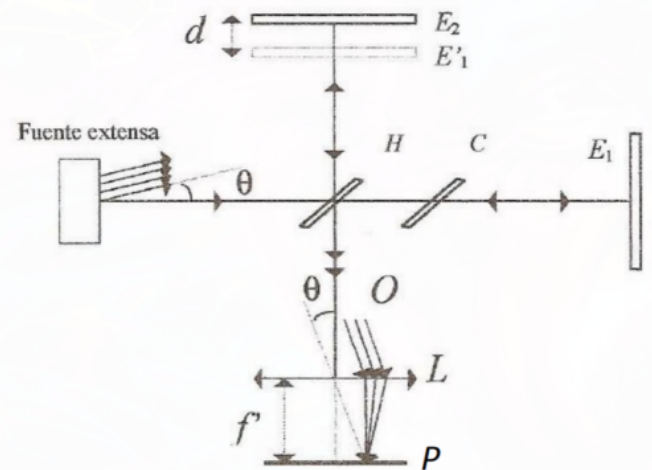


Figura 1: Esquema del interferómetro de Michelson

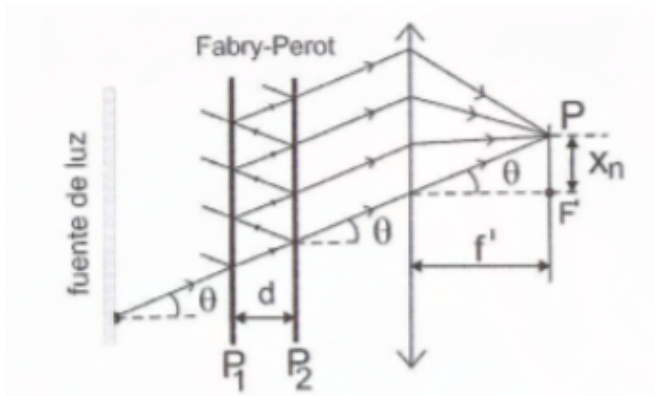


Figura 2: Esquema del funcionamiento del interferómetro de Fabry-Perot

2. Análisis de variables

Michelson			Fabry-Perot		
Independientes	Dependientes	De control	Independientes	Dependientes	De control
Desplazamiento del espejo, x (d en la Figura 1).	La longitud de onda, λ	Medio por el que circulan los haces ($n=1$)	La presión en la cámara de aire.	El índice de refracción relativo de la cámara por donde pasa uno de los rayos, n_1-n_2 .	Recorrido del haz en la cámara, (ver Fig. 2).
La diferencia de órdenes desplazados en el patrón de interferencias, Δm	-	-	La diferencia de órdenes desplazados en el patrón de interferencias, Δm	-	-

2.1. Relaciones entre variables

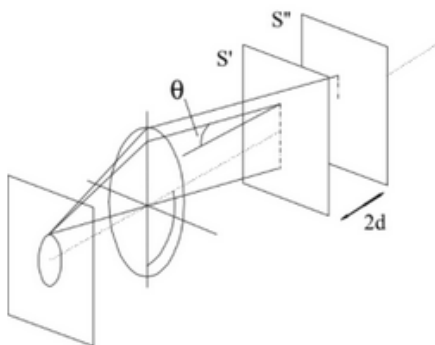


Figura 3: Detalle del patrón resultado

Desde la pantalla en el final del recorrido, P (fig. 1), todo se observa como si la luz proviniese de dos fuentes, en S' y S'' , imágenes de la fuente S en los

espejos E1 y E2, respectivamente. Por la configuración del sistema óptico, tendremos un máximo en la interferencia cuando:

$$2nd \cos \theta = m\lambda \quad (1)$$

Con $m = 0, 1, 2 \dots$

Para el máximo central, $\cos \theta = 1$. Si el E_2 recorre una distancia x , el nuevo orden del máximo central tiene que cumplir:

$$2x = \Delta m \lambda \quad (2)$$

2.2. Medida del índice de refracción

Para bajas presiones, el índice de refracción del aire depende linealmente de la presión P, de modo que vale 1 para presión nula (vacío). Por tanto, podemos expresar el índice de refracción del aire como:

$$n = mP + 1 \quad (3)$$

Siendo d la distancia que recorre el haz en la cámara, se cumple que el número de longitudes de onda que caben en la cámara es $\frac{d}{\lambda}$. La diferencia de camino óptico al variar la presión al recorrer la cámara dos veces viene dado por la expresión:

$$D = \frac{2d}{\lambda_2} - \frac{2d}{\lambda_1} = \frac{2d}{\lambda_0} \cdot (n_2 - n_1) \quad (4)$$

Teniendo en cuenta las dos últimas expresiones tendremos la diferencia de los índices de refracción:

$$n_2 - n_1 = m(P_2 - P_1) \quad (5)$$

3. Resultados

3.1. Determinación de λ del láser

3.1.1. Interferómetro de Michelson

A continuación mostramos los datos obtenidos y los valores de longitudes de onda que se obtienen

Cuadro 1

Δm	$x \pm 1 (\mu m)$	$\lambda (\mu m)$	$\Delta \lambda (\mu m)$
25	7	0,6	0,3
50	16	0,6	0,4
75	24	0,6	0,32
100	32	0,6	0,32
125	38	0,6	0,4
150	48	0,6	0,4
175	56	0,6	0,4
200	63	0,6	0,4
225	72	0,6	0,4
250	80	0,6	0,4

Hemos calculado el valor de la media ponderada de los valores de la longitud de onda y hemos obtenido:

$$\lambda = (0,63 \pm 0,09) \mu m \quad (6)$$

Los cálculos para la obtención de la media ponderada se encuentran en el anexo 1

Aplicando el método de mínimos cuadrados con la ecuación (2) obtenemos los coeficientes de la regresión lineal:

	Valor	Error
a	0.643	0,007
b	-2	1
r^2	0,999	

Cuadro 2: Coeficientes de la recta de regresión. Interferómetro de Michelson

Obteniendo por tanto, mediante un análisis gráfico:

$$\lambda = (0,613 \pm 0,007) \mu m \quad (7)$$

3.1.2. Interferómetro de Fabry-Perot

Igual que en el anterior punto, mostramos los datos con los valores de λ ya calculados con su error:

Δm	$x \pm 1 (\mu m)$	$\lambda (\mu m)$	$\Delta \lambda (\mu m)$
25	9	0,7	0,4
50	16	0,6	0,4
75	25	0,7	0,4
100	32	0,6	0,4
125	40	0,6	0,4
150	48	0,6	0,4
175	56	0,6	0,4
200	64	0,6	0,4
225	72	0,6	0,4
250	80	0,6	0,4

Cuadro 3: Datos del interferómetro de Fabry-Perot con cálculo de λ

El valor de la media ponderada es :

$$\lambda = (0,64 \pm 0,11) \mu m \quad (8)$$

Graficando según la ecuación (2) $2x$ frente a Δm obtenemos los siguientes valores para la recta de regresión:

	Valor	Error
a	0.633	0,011
b	1.3	0,5
r^2	0,999	

Cuadro 4: Coeficientes de la recta de regresión. Interferómetro de Fabry-Perot

Siendo a la pendiente, es decir, λ y b la ordenada en el origen

Por tanto el valor de la longitud de onda con este método es :

$$\lambda = (0,633 \pm 0,011) \mu m \quad (9)$$

3.1.3. Medida de la longitud de onda

Realizando una media ponderada con todos los valores de la longitud de onda obtenido mediante los diferentes métodos y diferentes interferómetros obtenemos la longitud de onda en el vacío:

$$\lambda_0 = (0,619 \pm 0,006) \mu m \quad (10)$$

3.2. Medida del índice de refracción del aire en función de la presión

Utilizando la fórmula (4) podemos obtener la diferencia de índices de refracción conociendo la

longitud de onda obtenida en el apartado anterior. Los datos recogidos en el laboratorio y el cálculo de $n_1 - n_2$ quedan recogidos en el cuadro (5) del anexo.

Si representamos gráficamente $n_1 - n_2$ frente a $P_1 - P_2$ obtenemos la gráfica de la figura (5):

Vemos en esta que el segundo punto de la parte de abajo no entra en la recta de regresión con la barra de error, por tanto, lo eliminamos y realizamos otra regresión. Esta segunda gráfica es la gráfica de la figura (6).

Viendo la ecuación (5) vemos que la pendiente de la recta de regresión es exactamente el valor de m que estamos buscando. Por tanto, el valor de m es

$$m = (1,580 \pm 1,2 \cdot 10^{-5}) \frac{1}{cmHg} \quad (11)$$

Y la ordenada en el origen es:

$$n = -0,0024 \pm 0,0004.$$

4. Discusión

Los resultados en el apartado del interferómetro de Michelson son satisfactorios, un error relativo del 3 %. Es lógico que el método que utiliza los coeficientes de la regresión lineal sea más preciso ya que cumple su función, extrapolar los datos para sacar la longitud de onda común a todos ellos. En el apartado de Fabry-Perot obtenemos unos resultados con las mismas características a pesar tener procedimientos diferentes, tal y como era de esperar. Para el segundo apartado, la medida del índice de refracción del aire en función de la presión, el valor teórico es de $2,71E-04$. Nuestro resultado es compatible ya que entra dentro del error. Pero el error de la medida es demasiado grande como para considerar válida la medida.

5. Conclusión

Los resultados de la práctica han sido satisfactorios. Hemos podido experimentar el fenómeno de interferencia de la luz y, secundariamente, el principio de Fermat.

6. Bibliografía

- Michael Nauenberg. Newton's theory of the atmospheric refraction of light. Am. J. Phys. 85 (12) December 2017, 921-925

6.1. Gráficas y resultados

Representación gráfica de ambos interferómetros:

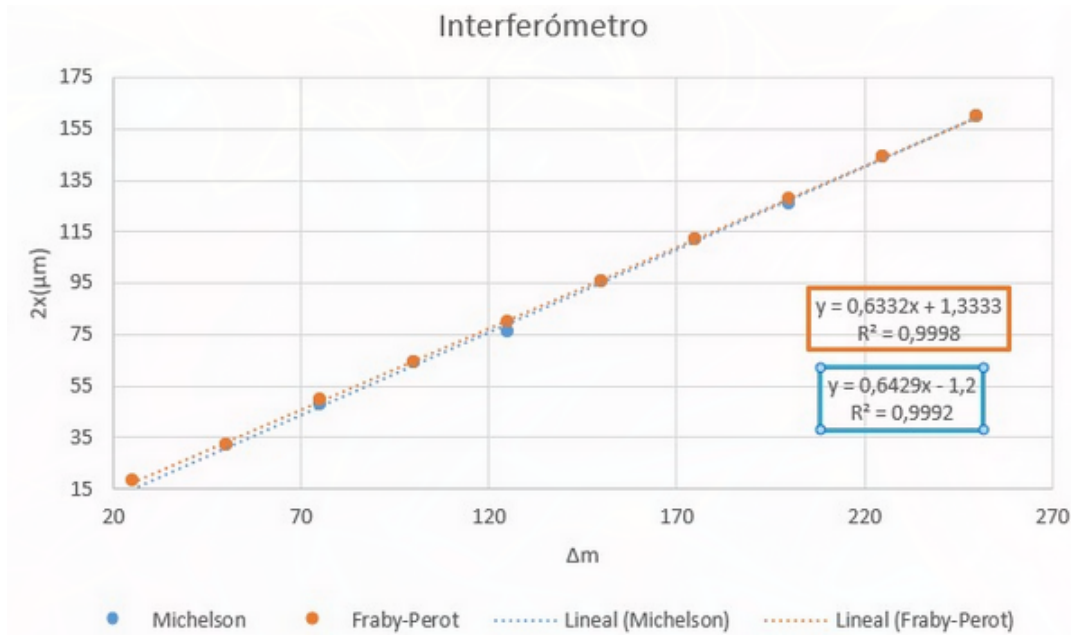


Figura 4: Vemos en la gráfica los dos interferómetros representados para calcular λ mediante el método de mínimos cuadrados.

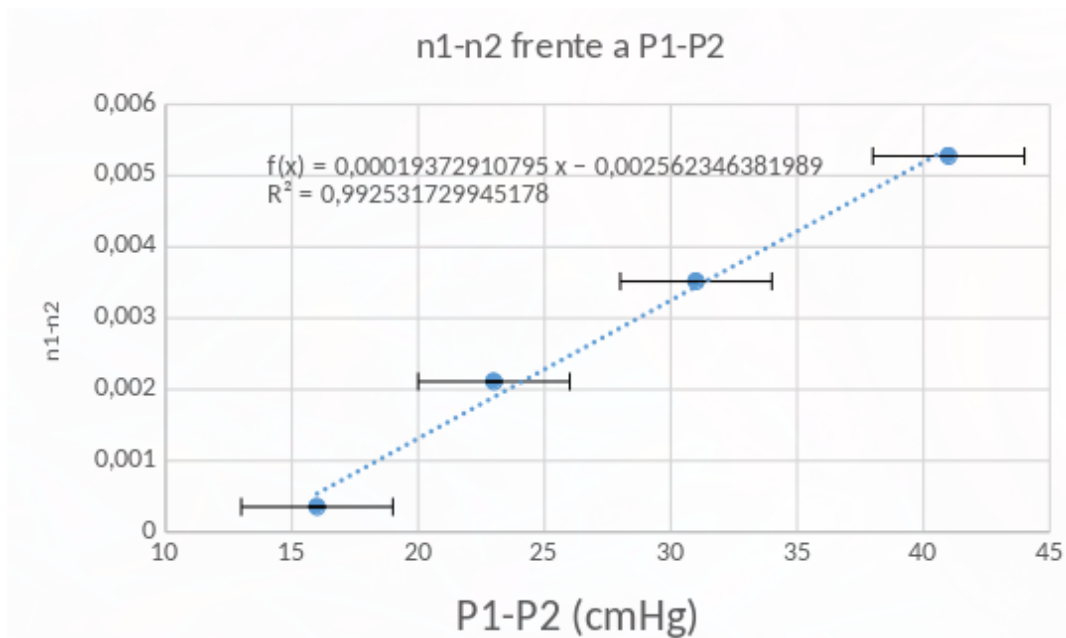


Figura 5: Representación eliminando el punto que no entraba en la recta de regresión

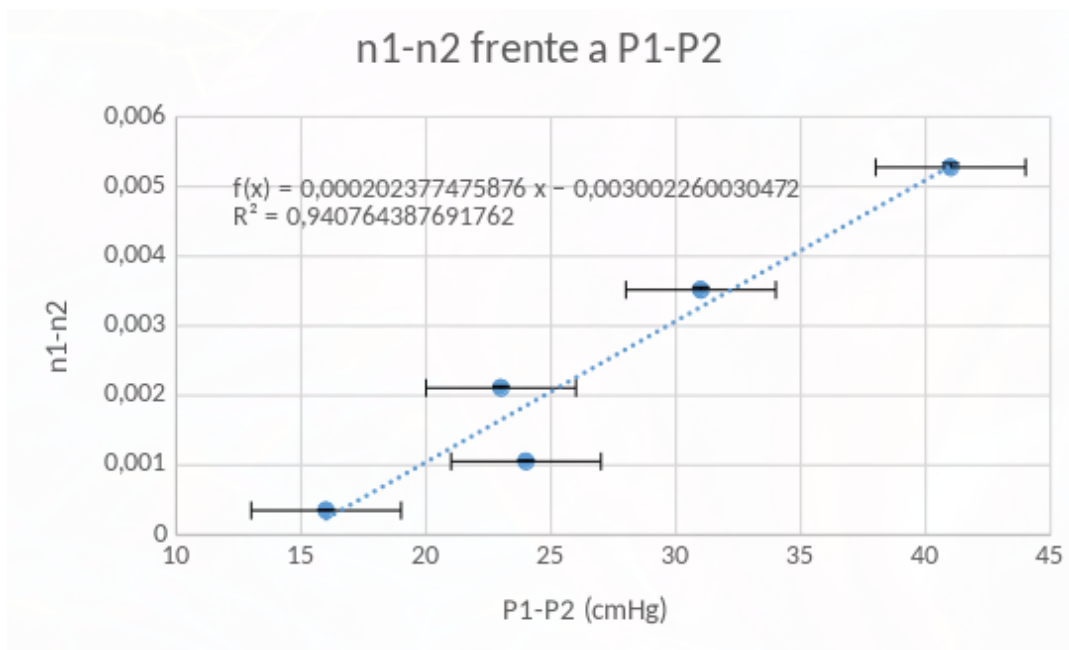


Figura 6: Representación gráfica para hallar el valor de m

7. Anexo

- Cálculo de la media ponderada

$\lambda = \frac{2x}{\Delta m}$	$\frac{1}{\Delta \lambda^2}$	$\frac{\lambda}{(\Delta \lambda)^2}$	$\lambda = \frac{2x}{\Delta m}$	$\frac{1}{\Delta \lambda^2}$	$\frac{\lambda}{(\Delta \lambda)^2}$
0,56	12,7551	7,142	0,72	7,71604	5,555
0,64	9,765625	6,25	0,64	9,765625	6,25
0,64	9,765625	6,25	0,67	9	6
0,64	9,765625	6,25	0,64	9,765625	6,25
0,608	10,820	6,5785	0,64	9,765625	6,25
0,64	9,765625	6,25	0,64	9,765625	6,25
0,64	9,765625	6,25	0,64	9,765625	6,25
0,63	10,078106	6,3435	0,64	9,765625	6,25
0,64	9,765625	6,25	0,64	9,765625	6,25
0,64	9,765625	6,25	0,64	9,765625	6,25
Σ	102,013	63,8245	Σ	94,8461	61,556
M.Ponde	0,6256		M.Ponde	0,649	
Error	0,0990		Error	0,102	

- Cálculo del error de $n_1 - n_2$ mediante dispersión de Gauss:

$$\Delta(n_1 - n_2) = \sqrt{\left(\frac{N}{2d}\right)^2 (\Delta\lambda)^2 + \left(\frac{N\lambda}{4d^2}\right)^2 (\Delta d)^2}.$$

- Tabla de valores de medida del índice de refracción del aire en función de la presión:

Cuadro 5: Tabla de valores parte 2

N	$P_1 \pm 2 \text{ cmHg}$	$P_2 \pm 2 \text{ cmHg}$	$P_1 - P_2 \pm 3 \text{ cmHg}$	$n_1 - n_2$	$\Delta(n_1 - n_2)$
25	0	16	16	$3,52 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-6}$
50	16	24	24	$1,0053 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
75	24	23	23	$2,11 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$
100	32	40	31	$3,52 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$
125	40	50	41	$5,28 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$