

Laboratorio Intermedio Inteferometría*

Juan Sebastián Parada
Universidad de Los Andes

Daniel Forero
Universidad de Los Andes
(Dated: 26 de octubre de 2017)

En el presente informe se muestran los resultados obtenidos del experimento de interferometría. Con ayuda de una mesa óptica se midió la longitud de onda del láser utilizado, para la cual se obtuvo un valor de $\lambda = 629,8 \text{ nm}$. Posteriormente se midió el índice de refracción del vidrio $n = 1,82 \pm 0,99$. Finalmente se midió el índice de refracción del aire a $P = 1 \text{ atm}$, para lo cual se obtuvo un valor de $n = 1,00020$. Se concluye que el interferómetro es una herramienta muy útil al analizar las propiedades ópticas de distintos materiales o para caracterizar un láser.

I. INTRODUCCIÓN

La interferometría es una técnica que permite realizar mediciones extremadamente precisas de cambios en el camino óptico de la luz u otra onda electromagnética con base en los cambios en la intensidad de un patrón de difracción [3]. Esta técnica es una de las más importantes de la física experimental y se basa en el fenómeno de interferencia, que ocurre cuando la radiación sigue más de un camino desde su fuente hasta el punto de detección. Michelson es considerado el padre de la interferometría de luz visible [5] y fue galardonado con el premio Nobel en física de 1907 por “sus instrumentos ópticos de precisión y por las investigaciones espectroscópicas y meteorológicas llevadas a cabo con su ayuda”.

La interferometría ha sido implementada como técnica de laboratorio por más de cien años y presenta múltiples aplicaciones [3]. Por ejemplo, la interferometría se aplica en la medición de distancias, desplazamientos, vibraciones, temperatura, presión, frecuencias de láser y de campos eléctricos y magnéticos. Más aún, esta técnica se implementa en pruebas de sistemas ópticos, en estudios de flujos de gas y plasmas, en estudios de topografía superficial, en detección de rotación y en espectroscopía de alta resolución. El ejemplo más reciente de aplicación de interferómetros es el de detección de ondas gravitacionales [2]. Por lo tanto, la interferometría es una técnica ampliamente usada y aún se continúan explorando nuevas aplicaciones.

Motivados por esto, en este texto se calcula experimentalmente la longitud de onda de un láser y el índice de refracción del aire y del vidrio mediante la observación de un patrón de difracción obtenido a partir del interferómetro de Michelson. Para ello, en la sección II se presentan algunos conceptos teóricos relacionados con los fenómenos trabajados. Posteriormente, en la sección III

se expone detalladamente el montaje experimental implementado durante la práctica. Después, en la sección IV se presentan los resultados obtenidos, junto con su respectivo análisis. Finalmente, en la sección V se enumeran las conclusiones obtenidas a partir del trabajo realizado.

II. MARCO TEÓRICO

A. Reflexión y refracción

Cuando una onda incide sobre una interfase entre dos materiales distintos, los rayos incidente, reflejado y refractado yacen todos sobre un mismo plano perpendicular a la superficie que divide a los dos materiales. La reflexión ocurre cuando la onda incidente rebota sobre la superficie y transmite energía de vuelta a las partículas del medio de incidencia. Si la superficie sobre la cual se refleja el rayo incidente es muy lisa comparada con la longitud de onda se presenta lo que se denomina reflexión especular. Cuando esto ocurre, el ángulo de reflexión, que es el ángulo entre el rayo reflejado y el eje normal a la superficie, es igual al ángulo de incidencia. Esta relación, junto con el hecho de que el rayo incidente y el rayo reflejado se transmiten en un mismo plano constituyen la ley de reflexión.

Por su parte, el fenómeno de refracción se presenta cuando el rayo incidente se transmite a un segundo medio. Este fenómeno se define como el cambio de dirección que experimenta la onda incidente al realizar una transición entre dos medios distintos y se produce si la onda inicial incide de forma oblicua sobre la superficie que separa a los dos medios con índices de refracción diferentes. Como el índice de refracción es la proporción que existe entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el material, la refracción se genera por el cambio en la velocidad de propagación de la onda en cada medio. La ecuación que permite describir el comportamiento de las ondas incidente y refractada en términos de los ángulos de incidencia θ_1 y de refracción θ_2 se conoce como la ley de Snell, la cual establece la

* https://github.com/dforero0896/Laboratorio_Intermedio/tree/master/Interferometria

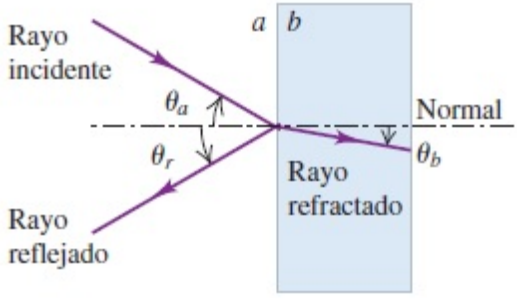


Figura 1. Representación esquemática de los rayos y ángulos de incidencia, reflexión y refracción. [4]

relación

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2),$$

donde n_1 y n_2 son los índices de refracción del medio de incidencia y de refracción, respectivamente. Como la luz viaja más lento en un material que en el vacío, el índice de refracción siempre toma un valor menor o igual a 1. Los ángulos de incidencia y de refracción se miden con respecto al eje normal a la superficie, como se puede observar en la figura 1.

B. Polarización

La polarización es una propiedad aplicada a ondas transversales, la cual especifica la orientación geométrica de las oscilaciones de la onda. Las ondas transversales son aquellas ondas que oscilan en un plano perpendicular a la dirección de propagación. Por ejemplo, las ondas electromagnéticas son ondas transversales que consisten en la unión entre los campos magnético y eléctrico, que son perpendiculares a la dirección de propagación y entre sí. La polarización de una onda electromagnética coincide con la dirección del campo eléctrico.

C. Interferómetro de Fabry-Perot

El interferómetro de Fabry-Perot es un interferómetro de múltiples haces que implementa ondas electromagnéticas y que tiene múltiples aplicaciones en telecomunicaciones y astronomía. Para su funcionamiento hace uso de reflexiones entre dos espejos estrechamente separados, que reflejan y transmiten la onda inicial múltiples veces, como se observa en la figura 2. Las ondas transmitidas tras diferentes reflexiones se registran en la pantalla e , produciendo un patrón de interferencia. En este tipo de interferómetro se cumple que la diferencia entre las longitudes de los caminos de un haz transmitido y uno reflejado debe ser un múltiplo entero de la longitud de onda

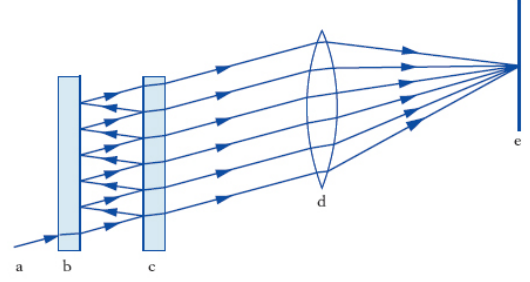


Figura 2. Interferómetro de Fabry-Perot [1].

λ para obtener interferencia constructiva. A partir de un análisis geométrico se puede encontrar la relación entre la separación d de los espejos, el número m de longitudes de onda en la separación d , el ángulo α de incidencia del haz inicial con respecto a la normal al espejo y la longitud de onda:

$$m\lambda = \frac{2d}{\cos(\alpha)}.$$

$$n_{\text{vidrio}} = \frac{(2t - N\lambda)(1 - \cos \theta) + \frac{N^2 \lambda^2}{4t}}{2t(1 - \cos \theta) - N\lambda} \quad (1)$$

$$n = P \frac{N\lambda_0}{2t\Delta P} + 1 \quad (2)$$

III. MONTAJE EXPERIMENTAL

El experimento se desarrolló con ayuda de una mesa óptica, diseñada para ubicar correctamente los distintos elementos ópticos.

En primer lugar se utilizó el arreglo de la figura 3 son compensador. Tras la alineación, que se realiza sin *beam-splitter* o lente, se coloca el primero de estos. Se observan en la pantalla dos conjuntos de puntos que, girando los tornillos del espejo ajustable se superponen. Una vez superpuestos, se coloca el lente y se observa el patrón de interferencia en la pantalla.

El siguiente montaje utilizado, se muestra en la figura 4. En este caso, se ajustó una placa de vidrio con espesor de 0,5 cm a un puntero rotatorio que permitiese la fácil medición de los ángulos.

Finalmente, en vez de la placa de vidrio, se ajustó una vesícula con 3 cm de ancho, de la cual se extrae el aire con una bomba.

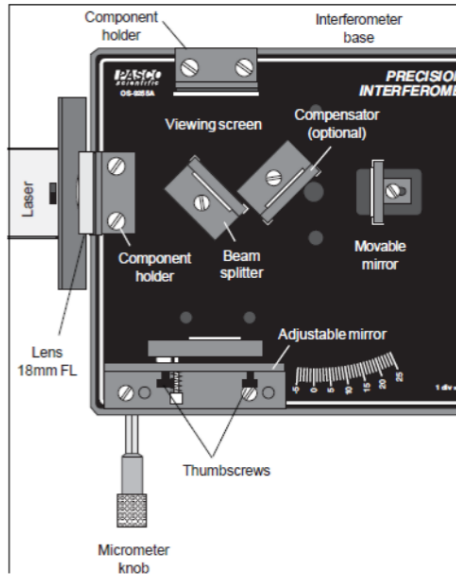


Figura 3. Montaje experimental en configuración de Michelson. Tomado de la guía de laboratorio.

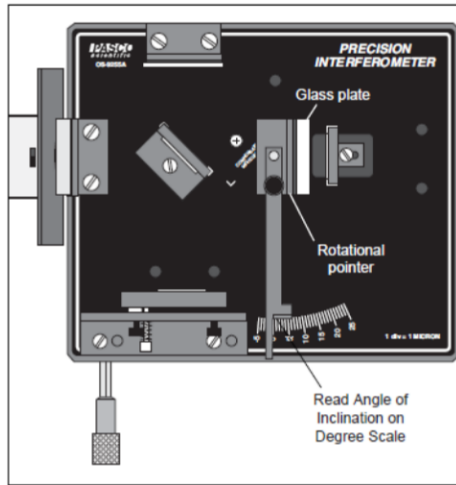


Figura 4. Montaje en la configuración para medir índice de refracción del vidrio. De igual manera, al cambiar la placa de vidrio por una vesícula, se pudo medir el índice de refracción del aire. Tomado de la guía de laboratorio.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Haciendo uso del montaje mostrado en la figura 3, se tomaron mediciones de distancia recorrida por el espejo móvil, en micrómetros (haciendo uso del tornillo mostrado), cada vez que 20 mínimos cruzaban una marca hecha en la pantalla. Lo anterior, para calcular la longitud de onda del láser. Se obtuvieron los datos reportados en el cuadro I. De este experimento, se obtuvo una longitud de onda promedio $\lambda = 648,7 \pm 20,9 \text{ nm}$, la cual, corresponde a un error porcentual del 2.5 % respecto al valor reportado por el fabricante de $\lambda' = 632,8 \text{ nm}$.

N	$d_N (\pm 0,5 \mu\text{m})$	$\lambda_N (\text{nm})$
20	7	$700,0 \pm 50,0$
40	13	$650,0 \pm 25,0$
60	19	$633,3 \pm 16,7$
80	26	$650,0 \pm 12,5$
100	32	$640,0 \pm 10,0$
120	39	$650,0 \pm 8,3$
140	44	$628,6 \pm 7,1$
160	51	$637,5 \pm 6,2$

Cuadro I. Mediciones realizadas para el cálculo de la longitud de onda del láser.

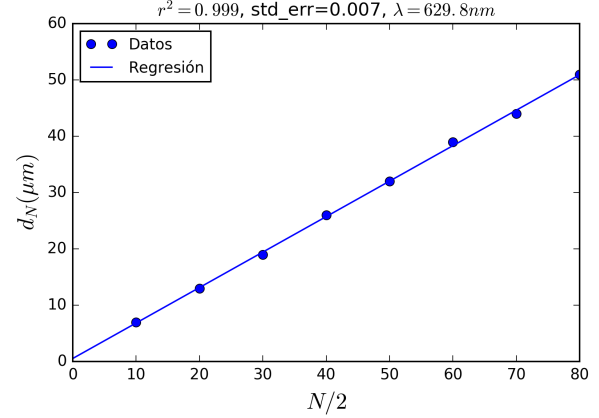


Figura 5. Regresión lineal realizada para las mediciones mostradas en el cuadro I.

Posteriormente, se hizo una regresión lineal con los datos reportados en el cuadro I, cuyos resultados se muestran en la figura 5. Se puede ver que en este caso se obtuvo un valor de $\lambda = 629,8 \pm 0,7 \text{ nm}$, que corresponde a un error porcentual de 0.4 %, lo que significa un resultado más acercado al reportado por el fabricante. Además se puede decir que la forma de la curva es perfectamente acorde con la recta, esto, soportado por los valores de $r^2 = 0,999$ y de error estándar igual a 0.007 que se obtuvieron para la regresión.

Luego, con el montaje presentado en la figura 4, se pretende medir el índice de refracción del vidrio. Se tomaron mediciones de ángulo cada que 10 mínimos cruzan la marca en la pantalla. A partir de la relación 1 se calcula el índice de refracción del vidrio. Los resultados se reportan en el cuadro II. Note que se reportan resultados desde $N = 60$, esto se debe a que los datos tomados para $N \in [10, 50]$ dieron un resultado claramente erróneo ($n_{\text{vidrio}} = -25$).

A partir de lo reportado en el cuadro II, se obtiene un valor de $n_{\text{vidrio}} = 1,82 \pm 0,09$. Este valor difiere en un 20 % del valor para el vidrio de $n' = 1,52$.

Finalmente se cambió la lámina de vidrio por la vesícula. Utilizando la relación 2, se calculó el índice de refrac-

N	θ ($\pm 0,5^\circ$)	n_{vidrio}
60	7.0	2.03
70	8.0	1.83
80	8.5	1.85
90	9.0	1.85
100	9.1	2.00
110	10.0	1.84
120	10.5	1.82
130	11.0	1.80
140	11.5	1.78
150	12.0	1.75
160	12.2	1.80
170	13.0	1.71
180	13.2	1.74
190	13.8	1.70

Cuadro II. Resultados de las mediciones y para el índice de refracción del vidrio.



Figura 6. Gráfica realizada para el índice de refracción del aire en función de la presión.

ción del aire. Se obtuvo un valor $n = 1,00020$, el cual coincide con el reportado en la literatura. Lo anterior es mostrado en la figura 6.

V. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- Se puede ver que la medición de la longitud de onda por medio del interferómetro es bastante precisa, lo que se refleja en el 0.4 % de error.
- El índice de refracción del vidrio muestra un error más significativo que se puede explicar a través de las dificultades en las mediciones con la placa, ya que el patrón se mostró menos claro.
- Por otro lado, el valor del índice de refracción del aire se encuentra muy cercano al reportado en la literatura. En este caso, la medición fue mas fácil, ya que se minimizaron las vibraciones de la mesa debido a que fueron las mediciones que más tarde se realizaron.

-
- [1] interferometria. <http://www.treccani.it/enciclopedia/interferometria/>. Accessed: 2017-10-19.
- [2] Benjamin P Abbott, Richard Abbott, TD Abbott, MR Abernathy, Fausto Acernese, Kendall Ackley, Carl Adams, Thomas Adams, Paolo Addesso, RX Adhikari, et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Physical review letters*, 116(6):061102, 2016.
- [3] Parameswaran Hariharan. *Basics of interferometry*. Academic Press, 2010.
- [4] Francis Weston Sears, A Lewis Ford, and Roger A Freedman. *Física universitaria: con física moderna*, volume 2. Pearson educación, 2005.
- [5] William Howard Steel. *Interferometry*, volume 1. CUP Archive, 1983.