

# Informe Interferometría

Juan Carlos Rojas Velásquez\* and Thomas Andrade Hernández\*\*

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

(Dated: 22 de octubre de 2023)

Para la práctica de interferometría del presente documento se logró medir la longitud de onda del láser usado en el experimento, obteniendo un valor de  $\lambda_{\text{láser}} = (703 \pm 10)$  nm, en comparación con el valor teórico de 632.8 nm. Asimismo, se midió el coeficiente de refracción del vidrio, obteniendo  $\eta_{\text{vidrio}} = 1.41 \pm 0.08$ , lo que concuerda con los valores informados en la literatura. Finalmente, se determinó el índice de refracción del aire a condiciones normales de presión y temperatura,  $\eta_{\text{aire}} = 1.00027 \pm 0.00002$ , que se aproxima a los valores reportados en la bibliografía.

## I. INTRODUCCIÓN

La interferometría es una herramienta que permite resolver características del medio con el que se está trabajando por medio de el fenómeno de interferencia. El primer interferómetro fue creado por Albert A. Michelson para comprobar la existencia de éter, fallando en el intento; esto, sin embargo, permitió desarrollar la Teoría de Relatividad [1][2]. Al tipo de interferómetros hechos por A. Michelson, se les llama del interferómetros tipo Michelson, cuyo funcionamiento simplificado se puede ver en la Figura 1.

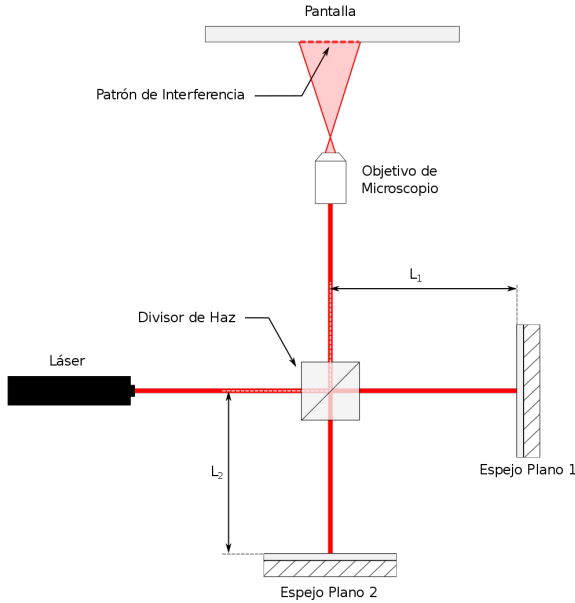


Figura 1. Interferómetro de tipo Michelson.

La luz, como onda, también sufre de fenómenos ondulatorios, por lo que se puede usar como fuente para

medir propiedades de la fuente, en caso de la práctica un láser. El desplazamiento de uno de los espejos mostrados en la Figura 1, provoca que un desfase entre los dos haces producidos por el divisor de haz induciendo interferencia destructiva o constructiva. El movimiento del espejo se puede calcular con la ecuación (1).

$$d_N = \frac{\lambda N}{2} \quad (1)$$

Donde  $N$  es el número de mínimos que se pasan por un punto fijo marcado,  $\lambda$  la longitud de onda de la fuente y  $d_N$  la distancia que se desplaza uno de los espejos [2].

El proceso de interferometría, permite también medir propiedades de los materiales que estén en medio del camino óptico de los haces y cambiando su ángulo con respecto al haz. Una de estas propiedades que se pueden calcular es el índice de refracción. Esto se puede por medio de la ecuación (2) [2].

$$\eta_{\text{vidrio}} = \frac{(2t - N\lambda)(1 - \cos \theta)}{2t(1 - \cos \theta) - N\lambda} \quad (2)$$

Donde  $t$  es el espesor de la muestra,  $N$  el número de mínimos que pasan por un punto fijo,  $\theta$  el ángulo que se movió el material con respecto al haz,  $\lambda$  es la longitud de onda de la fuente y  $\eta$  es el índice de refracción. Aunado a esto, se puede hallar una aproximación de la ecuación (2) teniendo en cuenta la expansión en series de potencias del coseno, consiguiendo la ecuación (3)

$$\theta = \sqrt{\frac{2N\lambda\eta}{2\eta t - 2t + N\lambda}} \quad (3)$$

Esto muestra que la relación entre el ángulo de desplazamiento de la muestra y el número de mínimos que pasan por un punto fijo no es lineal sino que tiene una forma de raíz cuadrada.

También para el aire se puede medir un coeficiente de refracción teniendo en cuenta la ecuación (4) que tiene contiene la relación entre el índice de refracción y la presión del aire [2].

\* Correo institucional: jc.rojasv1@uniandes.edu.co

\*\* Correo institucional: t.andrade@uniandes.edu.co

$$\eta - 1 = P \frac{d\eta}{dP} \quad (4)$$

donde  $\Delta P$  es la diferencia de presiones medidas. La derivada de la ecuación (4) puede aproximarse por medio de la ecuación (5)

$$\frac{\Delta\eta}{\Delta P} = \frac{N\lambda_0}{2t\Delta P} \quad (5)$$

esta expresión permite hallar una relación entre el índice de refracción y la presión [2].

La interferometría, además de usarse en campos ópticos, se puede usar para la detección de ondas gravitacionales provocadas por eventos estelares de grandes magnitudes. Los interferómetros usados para este propósito son extremadamente grandes debido a la sensibilidad que estos deben tener para percibir reformaciones del espaciotiempo [3].

## II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la práctica se utilizó el montaje mostrado en la Figura 2.

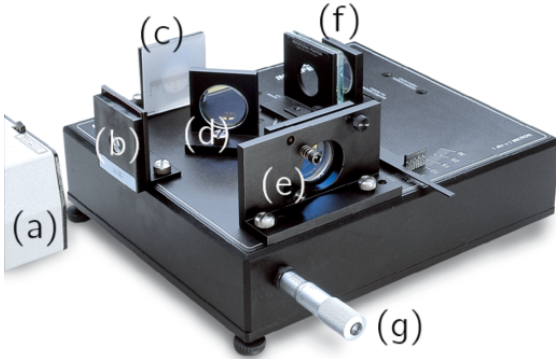


Figura 2. Mesa óptica de interferometría de precisión modelo OS-9255A de la marca PASCO. En el montaje se pueden diferenciar: (a) una fuente de luz láser de longitud de onda 632.8 nm, (b) soporte de componente con una lente con distancia focal de 18 mm, (c) pantalla sobre la que se proyectará el patrón de interferencia, (d) un divisor de haz, (e) un espejo ajustable, (f) un espejo móvil y (g) un micrómetro que lo mueve. Imagen obtenida y modificada de [4].

El procedimiento a seguir fue guiado por los el manual de fabricante de la mesa óptica y la guía del curso para experimentos rotativos [2] [5].

Antes de empezar cualquier toma de datos, se tuvo que alinear el láser (Figura 2.a) con el rayo láser para que éste fuera paralelo a la mesa óptica. Esto se verificaba asegurando que el rayo reflejado por el espejo móvil (Figura 2.f) se dirigiese directamente a la apertura de la fuente láser.

Luego de ajustar el láser con la mesa óptica, ésta se montó la llamada configuración de Michelson. Esta consiste en la adición del divisor de haz (Figura 2.d), a un ángulo de 45° con respecto al haz incidente, y la adición del espejo ajustable (Figura 2.e). El divisor de haz se ajustó de tal manera que se reflejara en el espejo ajustable mostrando 2 puntos en la superficie donde se proyectó la luz y el divisor de haz se rotó hasta que los dos puntos se juntaran. Después de haber fijado la superposición de los puntos de luz, se insertó la lente de 18 mm de distancia focal en el soporte del láser (Figura 2.b). Para cumplir los objetivos del experimento, se hicieron 3 tipos de mediciones:

Para la primera toma de datos, se fijó un punto donde se pudo identificar un mínimo en el patrón de interferencia proyectado. Luego, se movió el espejo móvil y se registró la distancia recorrida con un micrómetro conectado a la mesa óptica (Figura 2.g). El patrón de interferencia en la pantalla se desplazó, y durante este desplazamiento se contabilizó el número de mínimos que atravesaron el punto marcado. Se hicieron 20 medidas, para esta parte del experimento.

En otro momento de la práctica, se acopló el puntero rotatorio con una placa de vidrio en su soporte, situada entre el divisor de haz y el espejo móvil. Se garantizó que se viera un solo punto después de que la luz atravesara la placa de vidrio, lo que implicó retirar la lente de 18 mm. Con la ayuda de la superficie donde proyectó la luz, se ajustó la posición del soporte en el puntero rotatorio hasta que solo se visualizó un punto brillante. Luego, se volvió a colocar la lente en su posición original, al igual que la pantalla. Posteriormente, se observó un patrón de interferencia. El experimento comenzó con el puntero en 0°, se marcó un punto fijo en la pantalla, y se realizó el conteo de cuántos mínimos atravesaron ese punto a medida que se variaba el ángulo.

Para la tercera toma de datos, a placa de vidrio fue reemplazada por la cámara de vacío. Esta se posicionó de manera perpendicular al camino óptico del haz de luz. Se empleó una bomba de vacío para medir la presión tanto al inicio como al final en la cámara de vacío. Durante este procedimiento, se registró el número de mínimos que pasaron por un punto previamente marcado en la pantalla y la presión medida por la bomba del vacío.

### III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la práctica de interferometría se tuvieron 3 momentos importantes a los hora de tomar datos:

#### A. Toma de datos para la longitud de onda del láser

Los datos obtenidos para esta primera parte de la práctica se muestran en la Figura 3.

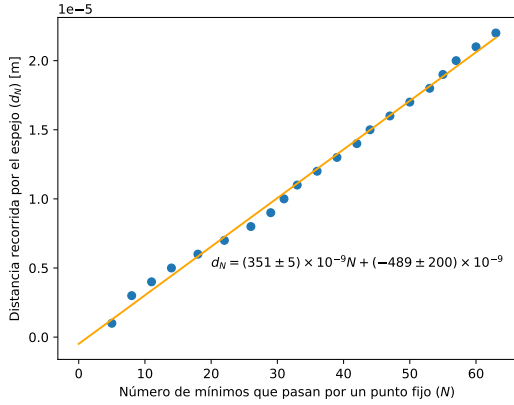


Figura 3. La figura muestra la relación entre la distancia recorrida por el espejo móvil de la mesa óptica y el número de mínimos que pasaban por un punto fijo marcado en el tablero. La regresión tiene la forma  $d_N = aN + b$ . Se halló que  $a = (351 \pm 5)$  nm y  $b = (-489 \pm 200)$  nm.

La forma de la regresión se supone lineal dado la ecuación (1). Dado que la regresión calculada tiene la forma  $d_N = aN + b$ . La longitud de onda del láser va a estar dada por  $\lambda_{\text{láser}} = 2a$ . Esto permite calcular que la longitud de onda del láser es

$$\lambda_{\text{láser}} = (703 \pm 10) \text{ nm}$$

De acuerdo con la guía del laboratorio, el láser debería tener una longitud de onda de 632.8 nm [2]. Si bien la longitud de onda calculada cae sobre el mismo rango del espectro, la diferencia con el valor teórico es significativa. Se asume que esta diferencia es debida a errores de medida del número de mínimos contados a la hora de variar la distancia del espejo móvil.

#### B. Toma de datos para el coeficiente de refracción del vidrio

Los datos tomados para el coeficiente de refracción del vidrio se pueden ver en la Figura 4.

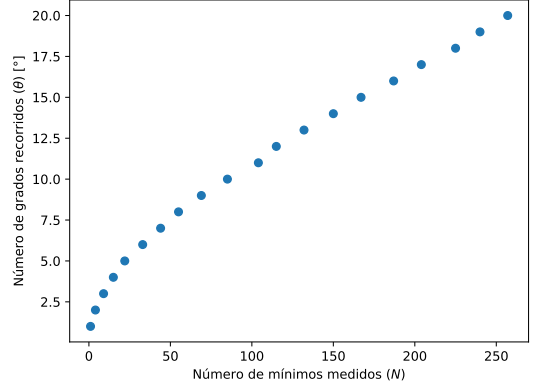


Figura 4. Gráfica de la relación entre el número de grados recorridos  $\theta$  y el número mínimos que pasaban por un punto fijo  $N$ .

Como se puede ver, los datos no parecen mostrar una relación lineal sino un comportamiento de la forma  $\theta = a\sqrt{\frac{N}{bN+c}}$ . Esto tiene sentido gracias a una aproximación de la fórmula (2) para ángulos menores a un radián (3). Se aplicó la ecuación (2) a cada par de datos de la Figura 4 y se encontró que el índice de refracción del vidrio en promedio tiene un valor de

$$\eta_{\text{vidrio}} = 1.41 \pm 0.08$$

este índice de refracción calculado es bastante cercano al  $\eta_{\text{vidrio}} = 1.45$  reportado en la literatura [6].

Además de esto, se trató de usar un ajuste de curva con la ecuación (3) para hallar el índice de refracción  $\eta_{\text{vidrio}}$ . La Figura 5 muestra la serie de datos con la regresión descrita.

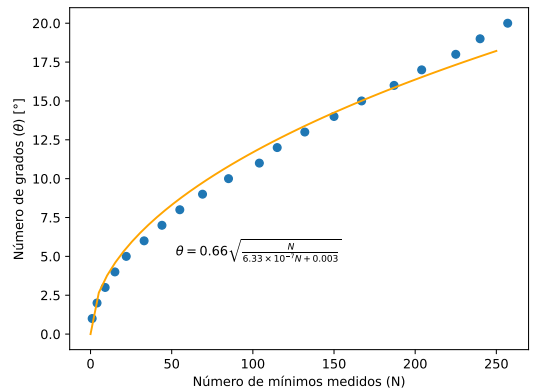


Figura 5. Gráfica de la relación entre el número de grados recorridos  $\theta$  y el número de mínimos que pasaban por un punto fijo,  $N$  junto con su respectivo ajuste de curva de la forma  $\theta = a\sqrt{\frac{N}{bN+c}}$ .

La regresión permitió calcular que el índice de refracción del vidrio está dado por

$$\eta_{\text{vidrio}} = 1.048 \pm 0.001$$

Si bien este valor de refracción está en el orden de magnitud del calculado anteriormente y los datos encontrados en la literatura, este no concuerda con ningún elemento parecido a los utilizados en la práctica. Esta diferencia puede ser debida a que la regresión se basa en una aproximación, solamente a segundo orden, de la función coseno; si se hiciera una aproximación a órdenes superiores, la curva podría ajustarse mejor a los datos y, por ende, dar una aproximación del índice de refracción.

### C. Toma de datos para la relación entre el coeficiente de refracción del aire en función de la presión

Los datos obtenidos en la práctica se muestran en la Figura 6. Nótese que los datos parecen seguir una tendencia lineal, lo cual concuerda con la ecuación (4).

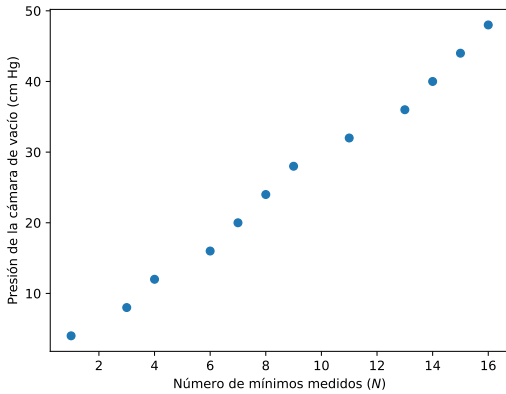


Figura 6. Relación entre la presión y el número de mínimos medidos que pasaban por un punto fijo.

Considerando la ecuación (5) se consiguió el valor de

$$\frac{\Delta\eta}{\Delta P} = (3.6 \pm 0.3) \times 10^{-6} \text{cm} \cdot \text{Hg}^{-1}$$

Además se obtuvo la gráfica de la Figura 7.

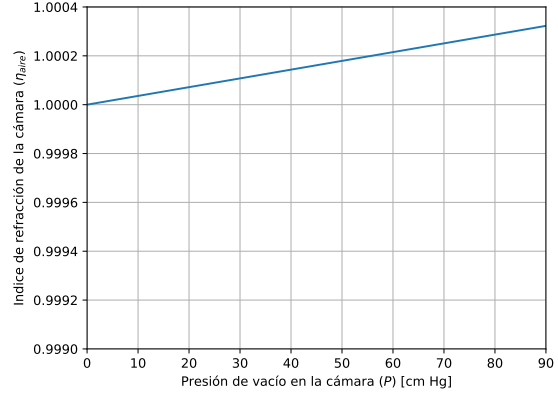


Figura 7. La gráfica muestra la relación entre la presión y el índice de refracción del aire a diferentes presiones.

Esta gráfica concuerda con la mostrada en la guía de laboratorio y el valor de la pendiente calculada concuerda con la establecida por el fabricante en el manual del equipamiento utilizado, cuyo valor es  $3.462 \times 10^{-6} \text{cm} \cdot \text{Hg}^{-1}$  [2][5].

Usando la regresión lineal encontrada, se puede extrapolar el valor de la refracción del aire a presión atmosférica, es decir 76 cm Hg. Al usar este dato, el valor del índice de refracción a presión atmosférica es

$$\eta_{\text{aire}} = 1.00027 \pm 0.00002$$

Este dato concuerda con el reportado por las bases de datos para índices de refracción del aire a condiciones normales de presión y temperatura [7].

## IV. CONCLUSIONES

La interferometría óptica permitió que se midieran propiedades de la luz y de los materiales con los cuales se trabajaron. En este caso, se logró medir con un grado de precisión considerablemente bondadoso de  $\lambda_{\text{láser}} = (703 \pm 10) \text{nm}$  para la longitud de onda del láser usado en la práctica, cuyo valor teórico es de 632.8 nm. A su vez, se midió el coeficiente de refracción del vidrio con un valor de  $\eta_{\text{vidrio}} = 1.41 \pm 0.08$  lo cual coincide con la literatura consultada [6][7]. Además, como último logro de la práctica, se obtuvo un valor del índice de refracción para el aire a condiciones normales de presión y temperatura de  $\eta_{\text{vidrio}} = 1.00027 \pm 0.00002$ , se reconoce que esta cantidad es cercana a las reportadas en la bibliografía [6][7].

## Apéndice A: CÁLCULO DE ERRORES

Todos los cálculos fueron hechos con el repositorio de GitHub hecho para las prácticas de laboratorio

que puede ser consultando en línea en la carpeta "7 Interferometría"[8]. Se establecieron las incertidumbres de medida de presión en  $\sigma_P = 2.5 \text{ cm} \cdot \text{Hg}$  y medidas de longitud en  $\sigma_t = 0.02 \text{ mm}$

- 
- [1] R. plc, «Renishaw: Explicación de la interferometría,» (2023).
  - [2] J. Mejía and N. Berrío, *Guías de laboratorio experimentos rotativos. Física Moderna* (2021).
  - [3] S. Hacyan, *Ondas gravitacionales. Las olas invicibles del universo*. (FCE, SEP, Conacyt, 2019).
  - [4] «Precision interferometer - os-9255a,» (2023).
  - [5] P. Inc., *Precision Interferometer Manual*.
  - [6] Wikipedia, «Índice de refracción — wikipedia, la enciclopedia libre,» (2023), [Internet; descargado 1-octubre-2023].
  - [7] M. Polyanskiy, «Refractiveindex.info,» (2023).
  - [8] J. C. Rojas Velásquez and T. Andrade Hernández, «Modern Phy Lab,» (2023).