

Determinación de longitud de onda e interferencia por vibración sinusoidal

Anonimo1, Anonimo2 y Gareis Martin

{martingareis585}@outlook.es

Profesor: Anonimo

Resumen—En este trabajo se buscó determinar la longitud de onda de un láser monocromático y estudiar el patrón de interferencia generado por vibración sinusoidal a partir del interferómetro de Michelson. El fenómeno de interferencia por vibración sinusoidal se estudió sustituyendo el espejo movable por un espejo unido a la membrana de un parlante. Sobre este, se impartió un voltaje sinusoidal con amplitud constante y 16 frecuencias distintas entre 900Hz y 1400Hz . En el caso del espejo controlado manualmente se obtuvo una longitud de onda $\lambda_e = 636,04\text{ nm}$, con un apartamiento relativo del 0,48 %. Para la interferencia por vibración sinusoidal se obtuvieron datos que se ajustan con un $R^2 = 0,8757$ con respecto al modelo y una amplitud media para el parlante de $(1,5 \pm 0,2) \times 10^{-6}\text{ m}$.

I. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de interferencia fue estudiado y utilizado en profundidad en el 1887 por Michelson y Morley en su búsqueda por probar la existencia del Éter. Antiguamente se creía que esta sustancia omnipresente era el medio a través del cual la luz se propagaba. Los experimentos realizados por Michelson y Morley, demostraron la inexistencia de esta sustancia, proporcionando las primeras evidencias experimentales en las que más tarde se asentaría la relatividad especial [1].

En este trabajo se utilizó una réplica del interferómetro de Michelson para determinar experimentalmente la longitud de onda de un láser y estudiar la interferencia producida por vibración sinusoidal del espejo móvil (ver Fig. 1).

El objetivo principal del interferómetro de Michelson se basa en utilizar una única fuente de luz para detallar sus propiedades. Al dividir el haz en dos componentes y posteriormente hacerlos coincidir en un mismo punto, se obtiene un patrón de interferencia descrito por el fenómeno superposición de ondas. Modificando el camino óptico de uno de ellos una distancia $d = \frac{\lambda}{2}$, siendo λ la longitud de onda del láser, se obtiene un patrón de interferencia cuyos puntos de vibración se adelantan una distancia correspondiente a λ . Esto nos resulta en un patrón de interferencia inicial que se repite cada vez que modificamos el camino óptico de uno de los haces una distancia d . Estos comportamientos nos permiten determinar la longitud de onda del láser a partir de un instrumento para

registrar las variaciones de intensidad lumínica del patrón de interferencia.

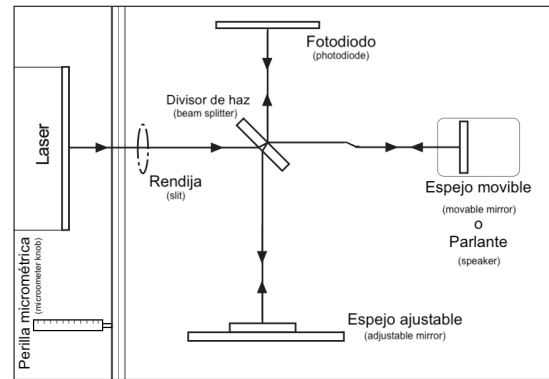


Figura 1. Esquema del dispositivo experimental. El haz del láser es emitido y filtrado por el slit para obtener un haz limpio. Posteriormente, los haces generados por el beam splitter al dividir el haz del láser, son dirigidos hacia el movable mirror (o speaker) y al adjustable mirror. Su reflejo e interacción en un punto generan un patrón de interferencia que registramos con el photodiode.

II. MODELO FÍSICO

II-A. Interferencia con espejo movable

Si el patrón se encuentra inicialmente con una forma dada, al mover el espejo móvil una distancia d_n , dicho patrón cambiará y luego se restaurará a su estado inicial n veces. De esta forma, la longitud de onda del láser se puede calcular [2] como

$$\lambda = \frac{2d_n}{n} \quad (1)$$

II-B. Interferencia por vibración sinusoidal

Considerando las vibraciones del espejo movable descritas por un movimiento sinusoidal de frecuencia angular ω y amplitud A , el desplazamiento x del espejo movable viene dado por $x = A \sin(\omega t)$. De esta forma, las diferencias de camino óptico generadas por esta vibración, resultan en un desfase $\phi = \frac{2(2\pi)x}{\lambda}$, siendo λ la longitud de onda del láser (asumiéndolo monocromático y coherente) [2].

La intensidad lumínica en el foto-diodo para un x genérico esta dada por $I = I_0 \cos^2(\phi/2)$, con I_0 igual a la intensidad

luminica cuando los haces están en fase. Asumiendo una relación lineal entre el voltaje V generado en el fotodiodo y la intensidad luminica que este recibe, y utilizando de las expresiones de ϕ y x , se tiene

$$V = V_0 \cos^2(B \sin(\omega t)) \quad (2)$$

donde V_0 es la amplitud del voltaje y $B = 2\pi(A/\lambda)$.

En la Fig.2 se observa el comportamiento indicado por la Ec.(2). Los puntos indicados por P y P', en los cuales la intensidad varía mas lento, indican dónde se encuentra los máximos y mínimos de la función sinodal que determina el movimiento del parlante. Con esta información se puede determinar el periodo del movimiento del parlante y consecuentemente la frecuencia la cual se puede comparar con la frecuencia del parlante obtenida del ajuste del voltaje del parlante.

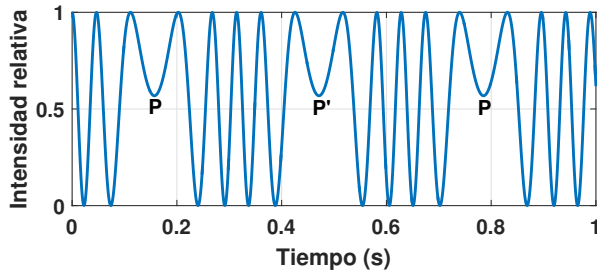


Figura 2. Representación visual del comportamiento esperado de la intensidad de un punto en el patrón de interferencia con respecto al tiempo.

Teniendo en cuenta la cantidad de picos entre P y P' se puede determinar de forma alternativa el parámetro B de la Ec. 2 sin el uso de la longitud de onda del láser [2]. Esto se representa en la siguiente ecuación, donde N es el número de picos entre P y P'

$$B = \frac{1}{2} N \pi \quad (3)$$

Con el factor N también es posible determinar la amplitud del movimiento del parlante [2] la cual se expresa en la siguiente ecuación.

$$A = \frac{1}{4} N \lambda \quad (4)$$

III. METODOLOGÍA

El estudio de interferometría se llevó a cabo utilizando el equipo *PRECISION INTERFEROMETER*, *PASCO*, *scientific Models OS-9255A*, el cual cuenta con una rendija, un divisor de haz, un espejo ajustable y un espejo movable. Posteriormente se cambió el espejo movable por un espejo en contacto con la bocina de un parlante con el fin de estudiar la interferencia por vibración sinusoidal. Para generar el patrón de interferencia se utilizó un láser *JDSU helium neon gas laser system, 1507* el cual, luego de recorrer el dispositivo (ver Fig. 1) se hizo incidir sobre un foto-diodo *PDA10A Si Fixed Gain Detector*. La adquisición de datos

se llevó a cabo mediante un osciloscopio *Tektronix TBS1052B*.

Dado que el interferómetro permite conocer la distancia desplazada del espejo movable, la determinación de la longitud de onda del láser consistió exclusivamente en la alineación del dispositivo para generar un patrón de interferencia útil. Se comenzó colocando el láser enfrente al espejo móvil, prescindiendo del divisor de haz. Se buscó que el haz atravesara la rendija y que su reflejo vuelva al centro del láser. Luego se colocó el divisor de haz en la posición establecida por el *PRECISION INTERFEROMETER* [3] y se utilizó del espejo ajustable para lograr el patrón de interferencia buscado sobre el plano del lente del foto-diodo.

Moviendo la perilla micrométrica, se adquirieron los datos de voltaje del foto-diodo. A partir del movimiento conocido del espejo d_n , se obtuvo una señal con n picos. Utilizando la Ec. 1 se calculó la longitud de onda del láser. Como se realizaron múltiples adquisiciones, se determinaron múltiples longitudes de ondas por lo que el resultado presentado es un promedio de todos ellos.

En el caso de interferencia por vibración sinusoidal, se implementó el uso de un parlante con un espejo en su membrana conectado a un generador de funciones *PASCO PI-9587B AMPLIFIER* de frecuencia regulable. Para frecuencias entre 900 Hz y 1400 Hz , se obtuvieron señales de voltaje en función de tiempo. Utilizando la ecuación 2 con parámetros libres para V_0 y B , se ajustaron los datos con el método de mínimos cuadrados. Utilizando el valor de B de este ajuste, se determinó la amplitud del parlante mediante la Ec. 4.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV-A. Interferencia con espejo movable

A partir de las señales obtenidas para el espejo móvil, se obtuvo una longitud de onda promedio para el láser $\lambda = 636,04 \text{ nm}$, con un apartamiento relativo de 0,48 % respecto al valor proporcionado por el fabricante. A su vez, este resultado se obtuvo promediando una serie λ_i con un apartamiento relativo menor al 5,05 % respecto al valor del fabricante. Las variaciones en los valores de los λ_i se pueden deber a la sensibilidad del dispositivo ante cualquier perturbación menor sobre la superficie de trabajo. Por último, se determinó la frecuencia del parlante experimentalmente midiendo el intervalo temporal entre P y P' ya que este es un medio del periodo. Ajustando la función del voltaje de la fuente para cada frecuencia se obtiene un apartamiento relativo para las frecuencias determinadas.

IV-B. Interferencia por vibración sinusoidal

Se utilizó la Ec. 4 para determinar la amplitud del parlante para cada señal, obteniendo una amplitud media de $A = (1,5 \pm 0,2) \times 10^{-6} \text{ m}$

En la Fig. 3 se muestra la señal adquirida para la frecuencia de 1400 Hz . A su vez, se presenta esta señal con un modelo creado a partir de la Ec.(2).

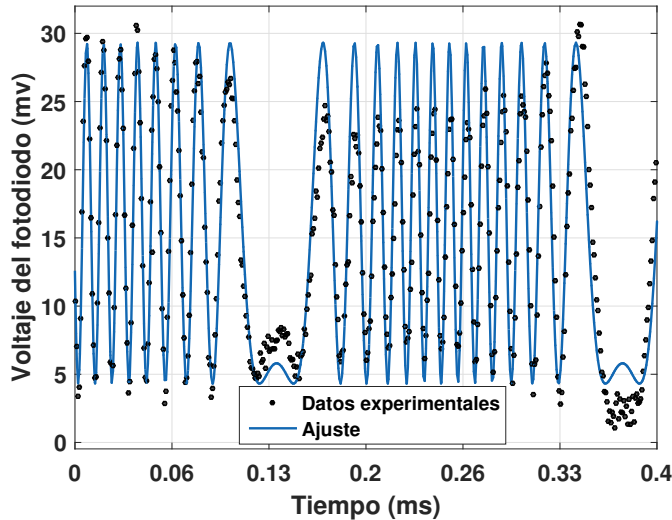


Figura 3. Representación visual del voltaje en el foto-diodo con respecto al tiempo, en el experimento de interferómetro con espejo con movimiento sinusoidal. Se ajustaron los datos experimentales con la Ec.(2) del modelo con un coeficiente de correlación $R^2 = 0,8757$.

En la Fig. 3 el ajuste es de $R^2 = 0,8757$ y los parámetros V_0 , B y ω de la Ec. 2 resultaron en $0,025V$, $20,67$ y 8809Hz respectivamente. Se puede observar como los datos experimentales tienen el comportamiento esperado según el modelo sin embargo la altura de los picos no permanece constante probablemente debido a la lenta respuesta del sensor.

La frecuencia del el parlante se puede obtener de dos formas: con la toma de datos del generador de funciones o con el voltaje del foto-diodo. El apartamiento relativo de ambas medidas, tomando como la esperada la del generador, es de 3% promedio.

V. CONCLUSIONES

Debido a la sensibilidad del dispositivo experimental ante perturbaciones menores, se obtuvieron valores de λ_i mayores y menores al valor teórico λ_t . Esto resulta en un $\lambda = \bar{\lambda}_i$ promedio con un apartamiento relativo del $0,48\%$ respecto a λ_t . En el caso del interferómetro con el parlante se pudo obtener un ajuste con un $R^2 = 0,8757$ y se pudo

Observar cualitativamente que el comportamiento del voltaje del fotodiodo se correspondía al esperado espeto en la altura de los picos que se justifica debido a la respuesta lenta del fotodiodo. Se obtuvieron frecuencias del parlante mediante los datos del fotodiodo que se compararon con la frecuencias del parlante con un apartamiento relativo medio

del 3% .

Se determinó una amplitud media para el parlante de $(1,5 \pm 0,2) \times 10^{-6}\text{ m}$.

REFERENCIAS

- [1] Interferómetro Michelson y Morley [https://es.wikipedia.org/wiki/ter_\(%C3%ADsica\)\)](https://es.wikipedia.org/wiki/ter_(%C3%ADsica))).
- [2] Joshua B. Diamond, Denis P. Donnelly, James D. Breault, Mary E. McCarthy; Measuring small vibrations with interferometry. American Journal of Physics 1 October 1990; 58 (10): 919–922.
- [3] PRECISION INTERFEROMETER https://cdn.pasco.com/product_document/Precision-Interferometer-Manual-OS-9255A.pdf.