

Estudio de las oscilaciones de un parlante utilizando un interferómetro de Michelson

Dina Tobia – Martín E. Saleta
dinaymartin@hotmail.com

Universidad de Buenos Aires - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Departamento de Física

En este trabajo presentamos una aplicación del interferómetro de Michelson para calcular la amplitud de las oscilaciones de un parlante. Mediante ajustes cuidadosos de este dispositivo pueden medirse distancias del orden de los 60 nm, longitud mucho menor que el mínimo paso de los posicionadores a los cuales tenemos acceso en el laboratorio.

Introducción

Un interferómetro es un dispositivo que utiliza franjas de interferencia para llevar a cabo mediciones precisas de distancia. El interferómetro de Michelson es uno de los instrumentos de interferencia más conocido debido a sus múltiples aplicaciones. Además, es uno de los más importantes históricamente: utilizando este dispositivo, alrededor del año 1887, Michelson y Morley pusieron en evidencia la inconsistencia de la teoría del éter en un intento de medir la velocidad absoluta de la Tierra⁽¹⁾. Los resultados obtenidos contribuyeron al desarrollo de la Teoría de la Relatividad.

En particular, para el desarrollo de nuestra práctica, utilizaremos este interferómetro para calcular la amplitud de oscilación de un parlante.

Desarrollo teórico^{(1), (2)}

En la figura 1 mostramos un diagrama esquemático del interferómetro de Michelson.

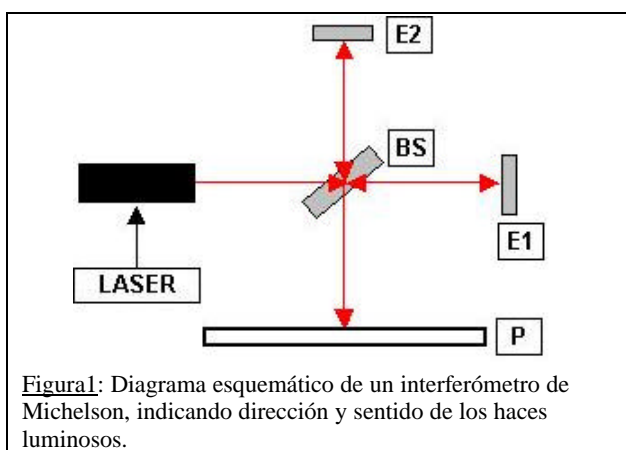


Figura 1: Diagrama esquemático de un interferómetro de Michelson, indicando dirección y sentido de los haces luminosos.

Este interferómetro se basa en el principio de división de un haz luminoso por un divisor de haz (beam splitter) (BS) colocado a 45° de la dirección del haz incidente. El haz que incide sobre BS es en parte reflejado hacia el espejo E1 y en parte transmitido al espejo E2. En estos espejos ambos

haces son reflejados hacia BS. En BS los haces vuelven a reflejarse y transmitirse y se recombinan en la pantalla P (ver figura 2).

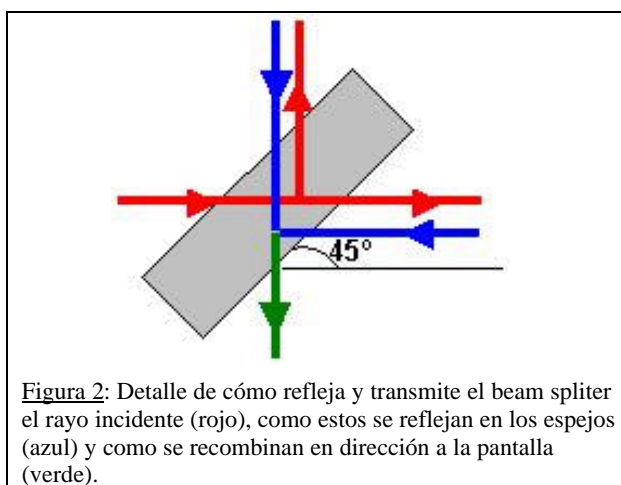


Figura 2: Detalle de cómo refleja y transmite el beam splitter el rayo incidente (rojo), como estos se reflejan en los espejos (azul) y como se recombinan en dirección a la pantalla (verde).

Debido a que los haces tienen distinto camino recorrido hasta la pantalla, se observan sobre ella figuras de interferencia. Esta interferencia será constructiva o destructiva dependiendo de la diferencia de camino óptico entre uno y otro haz. Si los espejos E1 y E2 están exactamente perpendiculares entre sí y equidistantes del divisor del haz, la imagen del espejo E1 que produce el divisor de haz coincide con E2. En general, los espejos no son perpendiculares, por lo que la imagen de E1 forma un pequeño ángulo con E2. El diagrama de interferencia en P será entonces el de una película delgada en forma de cuña. Si ahora movemos E2, el diagrama de franjas se desplazará. En particular, si se mueve E2 $\frac{1}{4}$ hacia el divisor, el espesor de la cuña aumentará en $\frac{1}{4}$ en cada punto. Esto introducirá una diferencia de trayectos adicionales de $\frac{1}{2}$ en todo punto de la curva (pues la luz atraviesa dos veces la cuña en su trayecto de ida y vuelta). Por lo tanto, el diagrama de interferencia se desplazará media franja: una franja que antes se veía oscura ahora se verá brillante y viceversa⁽²⁾. Lo expuesto anteriormente se representa matemáticamente por las siguientes

expresiones⁽³⁾. La intensidad luminosa debida a la interacción de dos haces luminosos en la pantalla P puede escribirse como el valor medio temporal de la suma de las dos amplitudes que intervienen:

$$I = \langle |A_1 + A_2|^2 \rangle \quad \text{(Ec. 1)}$$

Nosotros trabajaremos bajo la hipótesis de que ambos rayos poseen la misma amplitud A. Llamaremos ϕ a la diferencia de fase entre ambos haces, la cual puede expresarse como:

$$\phi = \frac{4\pi \cdot x}{\lambda} \quad \text{(Ec. 2)}$$

donde x es la diferencia de longitud entre los brazos del interferómetro (diferencia entre las distancias de E1 a BS y E2 a BS) y λ la longitud de onda del LASER. La intensidad I puede expresarse entonces como:

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad \text{(Ec. 3)}$$

donde $I_0 = A^2/2$.

Si el espejo móvil se mueve según un movimiento periódico sinusoidal, entonces la longitud x tendrá la forma:

$$x = x_0 \cdot \text{sen}(\omega_0 \cdot t) \quad \text{(Ec. 4)}$$

donde x_0 es la amplitud de la oscilación y $\omega_0 = 2\pi f$ es la frecuencia de oscilación del parlante.

Por lo tanto, la expresión final para la intensidad será:

$$I = I_0 \cos^2\left[\frac{2\pi}{\lambda} x_0 \cdot \text{sen}(\omega_0 \cdot t)\right] \quad \text{(Ec. 5)}$$

Arreglo experimental

En la figura 3 se puede ver el arreglo experimental utilizado para medir las oscilaciones de un parlante, con un interferómetro de Michelson.

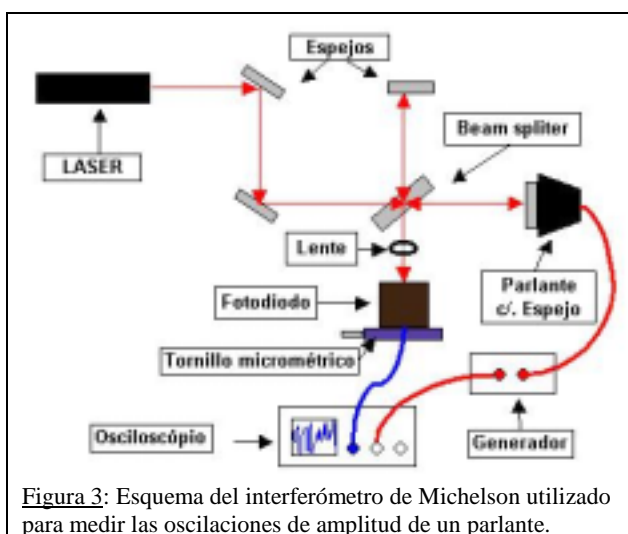


Figura 3: Esquema del interferómetro de Michelson utilizado para medir las oscilaciones de amplitud de un parlante.

La fuente luminosa es un LASER de He-Ne con una longitud de onda $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, el cual incide sobre un par de espejos; los mismos permiten regular el punto de incidencia del haz sobre el beam splitter y los demás espejos. El beam splitter colocado a 45° del haz incidente, separa al mismo en dos haces perpendiculares entre sí. Uno de los haces incide sobre el espejo fijo y el otro sobre un espejo liviano colocado sobre el parlante. Los haces luego de reflejarse, cada uno en sus respectivos espejos, se juntan en el beam splitter, conformando un único haz que incide en dirección al fotodiodo. Para poder visualizar mejor el haz interferido, se coloca una lente que aumenta las dimensiones de las franjas de interferencia. La intensidad de las franjas es medida con un fotodiodo conectado a un osciloscopio. El fotodiodo está montado sobre un posicionador micrométrico para ubicar el detector en la posición donde se logra la mejor incidencia del haz.

Una vez calibrado el interferómetro con los espejos fijo; se conecta el parlante a un generador de funciones, haciéndolo oscilar con una señal sinusoidal de frecuencia y amplitud conocida. Estas oscilaciones hacen que varíe la longitud del brazo del interferómetro, y por ello que varíen las franjas de interferencia sobre el fotodiodo. Además se conectó la señal de la fuente al osciloscopio como señal de referencia. Se realizaron dos ensayos; en el primero se dejó fija la amplitud y se varió la frecuencia; y en el segundo se fijó la frecuencia de la señal y se varió su amplitud.

Resultados

Con los datos registrados en el osciloscopio para cada frecuencia y amplitud de la señal de alimentación realizamos gráficos de la intensidad detectada por el fotosensor y la señal de excitación en función del tiempo (figura 4).

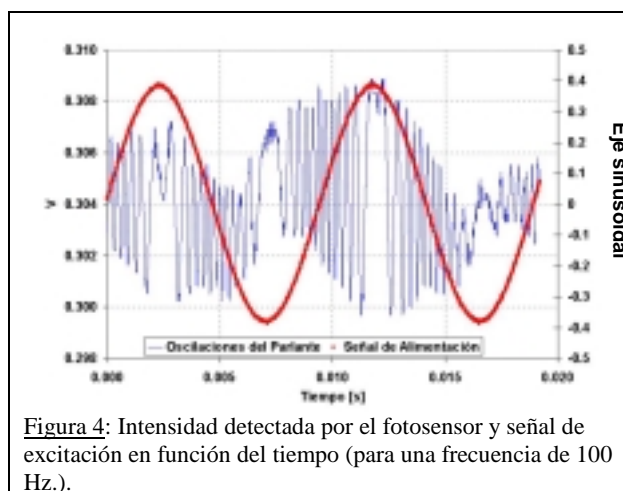


Figura 4: Intensidad detectada por el fotosensor y señal de excitación en función del tiempo (para una frecuencia de 100 Hz.).

Utilizando una hoja de cálculo realizamos una simulación de la intensidad registrada en función del tiempo, a partir de la ecuación 5 y los parámetros de la señal de alimentación. Para determinar la amplitud de oscilación del parlante, x_0 , fuimos variando su valor en la simulación hasta que ésta se ajustó a la curva medida (ver figura 5). El error de este parámetro lo hallamos a partir de los valores de x_0 por exceso y defecto a partir de los cuales la curva simulada deja de ajustarse a la medida.

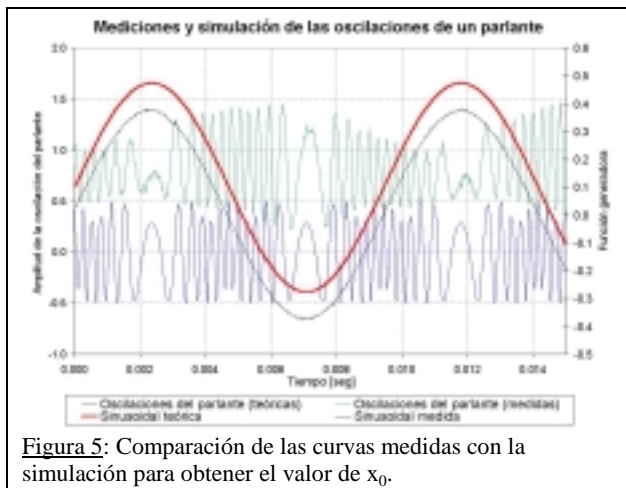


Figura 5: Comparación de las curvas medidas con la simulación para obtener el valor de x_0 .

Con los valores obtenidos de x_0 realizamos un gráfico de la amplitud de oscilación del parlante en función de la amplitud de la señal de alimentación a una frecuencia fija (figura 6).

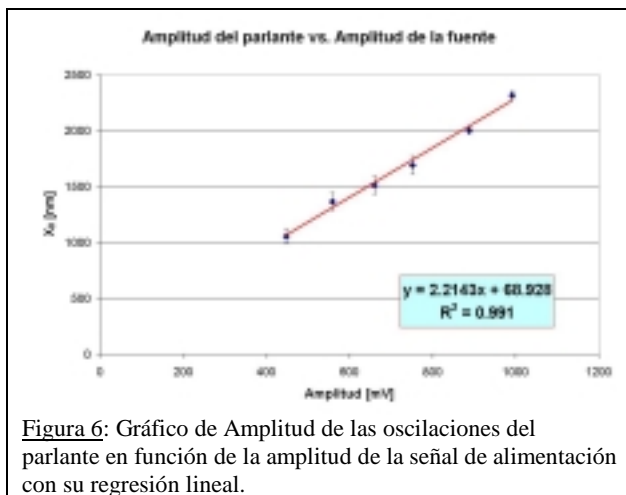


Figura 6: Gráfico de Amplitud de las oscilaciones del parlante en función de la amplitud de la señal de alimentación con su regresión lineal.

Luego, para una amplitud fija de la señal alimentación, hallamos el valor de x_0 , según el procedimiento antes descripto, y lo graficamos en función de la frecuencia, que fue el parámetro que variamos (ver figura 7).

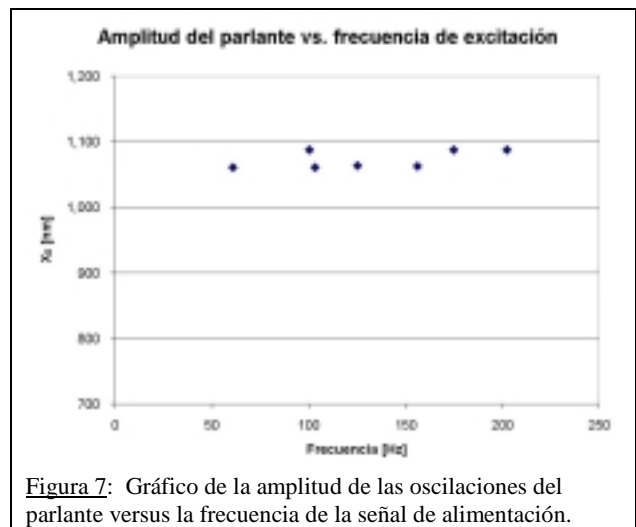


Figura 7: Gráfico de la amplitud de las oscilaciones del parlante versus la frecuencia de la señal de alimentación.

Conclusiones

A partir de la figura 6 concluimos que, dentro del rango de frecuencias que utilizamos, la amplitud de oscilación del parlante tiene un comportamiento lineal con la amplitud de la señal de alimentación. Esta conclusión es aún más fuerte ya que a partir de la figura 7 concluimos que dicho comportamiento es lineal y la función que la modela es independiente de la frecuencia. Además, concluimos que con la utilización del interferómetro de Michelson podemos medir desplazamientos del orden de los 60nm (del orden del 10% de la longitud de onda del LASER), longitud mucho menor que el paso de los posicionadores del laboratorio (10 μ m). Una aplicación interesante de esta técnica podría consistir en determinar la curva de resonancia de un sistema oscilatorio; por ejemplo un cristal piezoeléctrico.

Referencias

- (1) P. A. Tipler, *Física*, (Editorial Reverté, S. A., Barcelona, 1994), pág. 1066–1067.
- (2) E. Hetch y A. Zajac, *Óptica*, (Fondo Educativo Interamericano S. A., E.U.A., 1977), pág. 304–305.
- (3) S. Gil y E. Rodríguez, *Física re-Creativa*, (Prentice Hall, 2001), pág. 253.

Otra bibliografía consultada

- J.B. Diamond, et al, Am. J. Phys. **58**, 919 (1990).