

Determinación de la amplitud de un parlante utilizando el interferómetro de Michelson

Laboratorio 2 - Universidad Favaloro - Diciembre de 2000

Federico Teran federico_teran@uolmail.com.ar

Bruno Padulo bruno77@hotmail.com

Objetivo:

Determinar la amplitud de vibración de un parlante utilizando como herramienta de medición un interferómetro de Michelson. Se logró obtener la amplitud en función del tiempo, esto es, la amplitud dinámica del mismo. También se construyó un fotómetro y se estudiaron sus características básicas.

Introducción:

En la figura 1 se puede ver las características sobresalientes del interferómetro de Michelson construido. En la parte central del parlante se adhiere un espejo muy liviano, recubrimiento frontal de aluminio (first surface mirror). El mismo fue construido usando un cubre porta objeto de microscopio y evaporando aluminio en vacío.

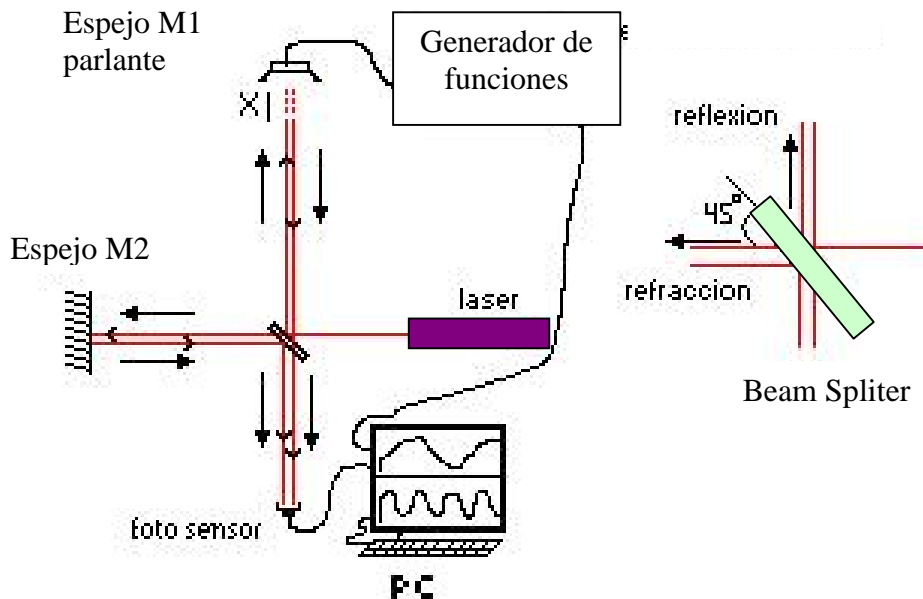


Figura 1 - Esquema del arreglo experimental incluyendo al interferómetro de Michelson.

Parte del haz de luz emitido por el láser (puntero láser) se refleja en el espejo semitransparente (beam splitter=B.S.) para luego reflejarse nuevamente en el espejo adherido al

parlante *M1*. De este ultimo va a parar directamente al detector (fotosensor conectado a uno de los canales del sistema de adquisición). El haz de luz inicialmente reflejado en el espejo semejante transparente se refleja en el segundo espejo *M2* para luego volver a reflejarse en el espejo intermedio (*B.S.*) y finalmente llegar a la foto sensor. En el fotosensor los haces se superponen e interfieren. La intensidad resultante es finalmente detectada y adquirida.

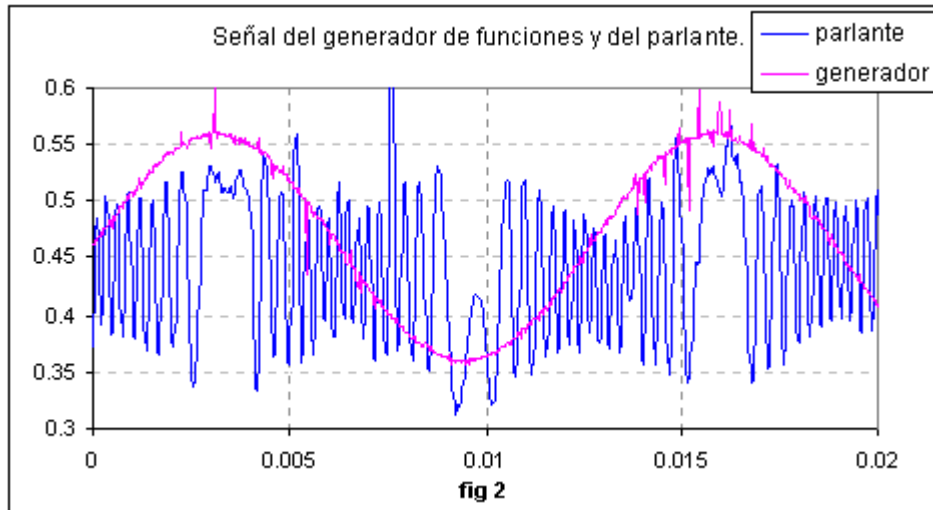


Figura 2 - Intensidad de la luz en el detector en función de tiempo (respuesta en azul) y señal de alimentación al parlante (excitación en rojo)

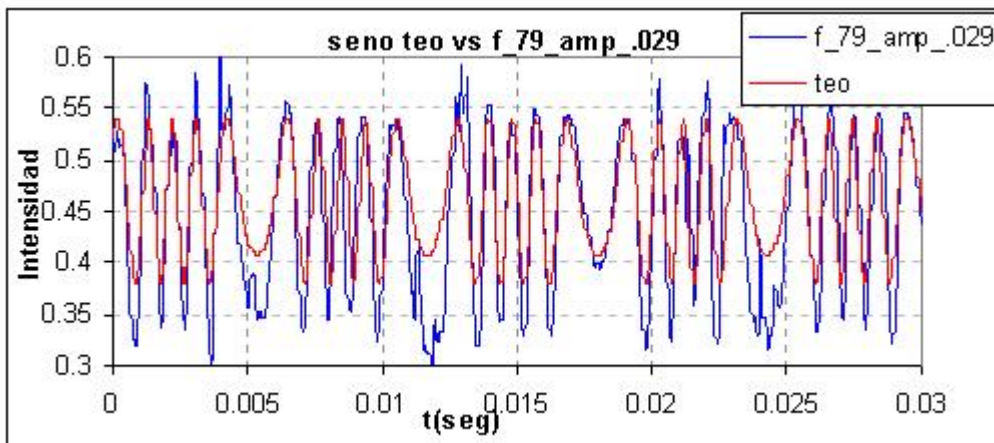


Figura 3- Método de estimación de la amplitud del parlante. En azul se presentan los datos de intensidad medidos en función del tiempo. La curva roja indica el ajuste teórico obtenido usando la expresión () teniendo como único parámetro de ajuste el valor de la amplitud máxima X_0 .

El fotosensor detecta intensidad de luz y permite detectar la interferencia de ambos rayos (destruktiva o constructiva). La señal que alimenta al parlante se la mide en el canal 1 del sistema adquisición(MPLI de Vernier) y la señal del fotosensor en el canal 2, usando una frecuencia de muestreo de 30 y 36 KHz. Ambas señales se grafican conjuntamente en la PC. Un ejemplo de los resultados obtenidos se presentan en la fig. 2.

Procedimiento:

La onda electromagnética del haz de luz que incide en el espejo fijo ($M1$) se mantiene estacionaria a esta onda o amplitud la llamamos onda_e. , A la amplitud de luz que se refleja en el espejo del parlante, que se está moviendo constantemente lo llamémosla onda_c. Cuando la onda_c se desfasa en 180 grados respecto de onda_e , se encuentra la amplitud mínima o más destructiva y por lo tanto la intensidad de luz que llega al foto sensor es mínima. Por el contrario, si la onda_c se encuentra en fase con la onda_e la intensidad es máxima. De aquí podemos deducir que la distancia recorrida por M2 entre pico y pico de la intensidad de luz es igual a la longitud de onda de la luz.

Puesto que una de las amplitudes de luz incidentes en ambos espejos no son iguales la señal resultante no siempre se anula sino que en general se intensifica o disminuye. En la fig. 4 se muestra un esquema de los que se observa en una pantalla colocada en la posición del detector cuando los espejos están quietos.

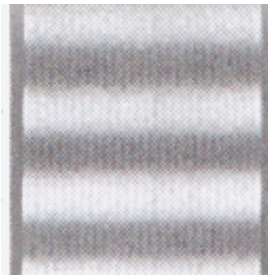


Figura 4- Interferencia observada en una pantalla en la posición del detector cuando los espejos están quietos. Las zonas de más oscuras representan la mínima intensidad.

En este experimento se usó un láser, cuya longitud de onda es de $630(\pm 10)\text{nm}$. Si observamos la fig. 1, vemos que cada vez que si la diferencia de longitud de los dos brazos del interferómetro (parlante y espejo fijo) es x , la diferencia de fase de las amplitudes que interfieren en la posición del detector será ϕ . Siendo la relación entre estas magnitudes:

$$\frac{\phi}{2 \cdot \pi} = \frac{2 \cdot x}{\lambda} , \quad (1)$$

o bien:

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

Donde $\phi(x)$ representa el defasaje entre las onda_c y onda_e. La intensidad señal detectada será, según el principio de superposición, el valor medio temporal de la suma de las dos amplitudes que interfieren, o sea:

$$I(x) = \left\langle |A_c + A_e|^2 \right\rangle = I_0 \cdot \text{Cos}^2\left(\frac{\phi}{2}\right) , \quad (3)$$

Donde

$$I_0 = \frac{A^2}{2}$$

Y donde A representa la amplitud de las dos ondas incidentes, supuestas iguales.

El parlante responde a la señal sinusoidal dada por el generador de funciones, cuya frecuencia es $f_0 = \omega_0 / 2\pi$ por que su amplitud responde a la ecuación:

$$x(t) = x_0 \cdot \text{Sin}(\omega_0 \cdot t) , \quad (4)$$

Por lo tanto, combinando (2), (3) y (4) tenemos:

$$I(t) = I_0 \cdot \text{Cos}^2 \left[\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x_0 \cdot \text{Sin}(\omega_0 t) \right] , \quad (5)$$

Donde lambda (λ) representa la longitud de onda del láser y ω_0 la frecuencia de la señal dada por el generador de funciones. Esta última función representa la intensidad que teóricamente recibiríamos del fotosensor. (Ver fig. 2).

Para determinar la amplitud del parlante basta con graficar esta función (5) conjuntamente con la señal recibida del fotosensor, variar el valor de x_0 asta lograr un buen ajuste, el valor de x_0 que mejor ajusta la señal medida es el valor de la amplitud máxima. (ver figura 3).

En las siguientes figuras se muestra como varían las señales cuando se varía la amplitud de la excitación (o sea x_0).

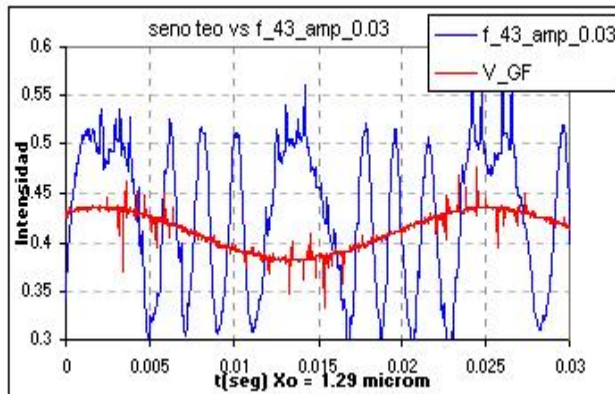


Figura 5- Interferencia observada en el fotosensor para una frecuencia $f_0=43$ Hz. En azul la señal de interferencia y en rojo la señal de excitación del parlante. . (Amplitud medida $x_0 = 1.29$ micrómetros)

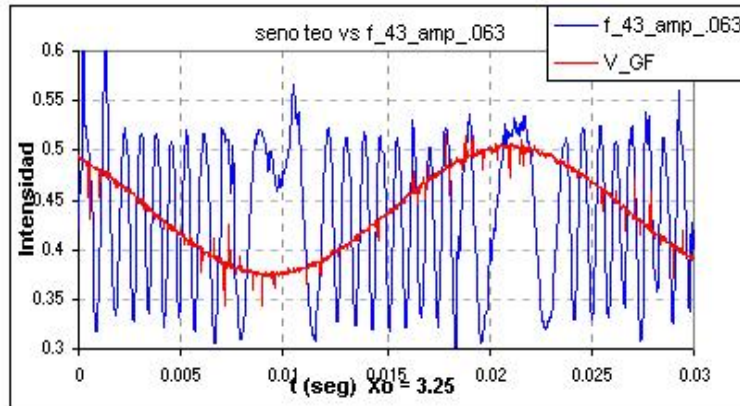


Figura 6- Interferencia observada en el fotosensor para una frecuencia $f_0=43$ Hz y mayor amplitud que en la Fig. 5. En azul la señal de interferencia y en rojo la señal de excitación del parlante. (Amplitud medida $x_0 = 2.36$ micrómetros)

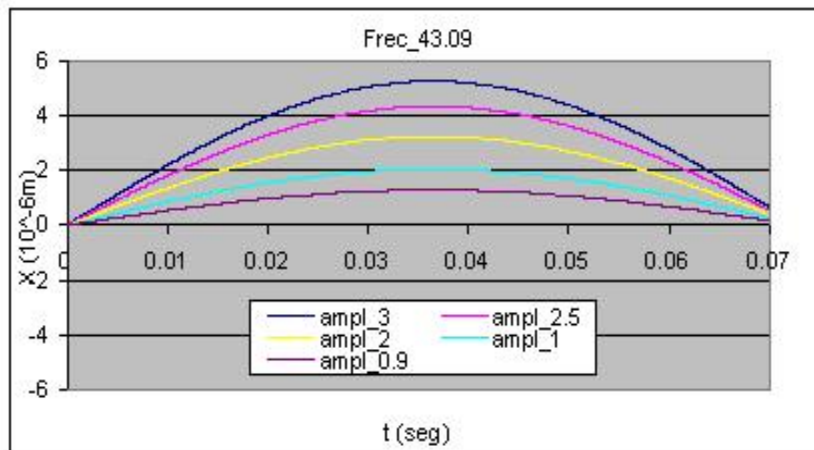


Figura 7- Amplitud del parlante en función de tiempo determinada con interferencia para distintas amplitudes de excitación, usando la misma frecuencia de excitación, $f_0=43$ Hz.

En las figuras 5 y 6 podemos ver cuanto influye de la amplitud de vibración del parlante (x_0) en la cantidad de picos de máximos o mínimos de intensidad. Mas adelante se verá esta relación con mas detenimiento, pero estos gráficos dan una buena aproximación (si se analizan la variación en la cantidad de picos de máxima o mínima en función de la variación de la amplitud del parlante).

En las figuras 7 y 8 podemos ver como varían las diferentes distancias recorridas por el parlante respecto de amplitud y frecuencia dada por el generador de señales y también en función del tiempo.

Para determinar el error con el que estábamos trabajando, una vez que la función teórica (5) se ajustaba suficientemente bien a la función proveniente del fotosensor, empezamos a variar la amplitud del parlante en unidades del orden de los 0,01 micrómetros. Variando esta cantidad, la función teórica se desplazaba y se perdía significativamente el ajuste, por lo que pudimos concluir que el error con el que medíamos la amplitud del parlante era menor al 1%. Es posible mejorar este

error si se toman más muestras en el experimento (tiempos más largos de medición). A pesar de todo esto es importante notar que estamos logrando sin mayor esfuerzo errores cercanos al 1 %, para distancias menores a 10 μm .

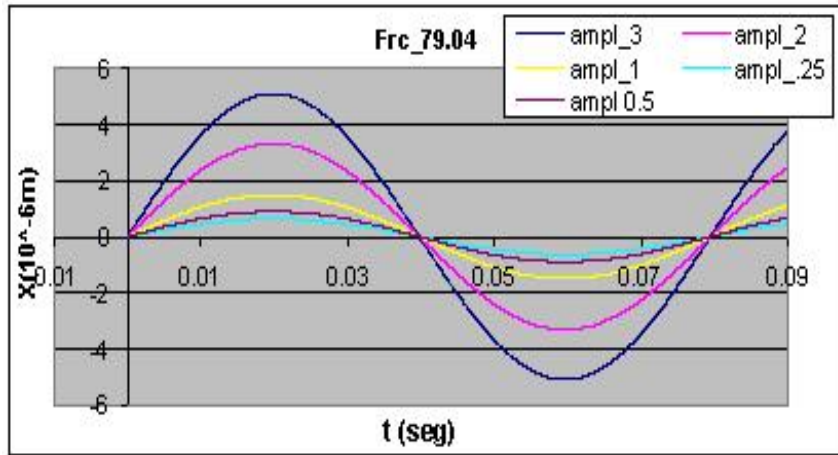


Figura 9- Amplitud del parlante en función de tiempo determinada con interferencia para distintas amplitudes de excitación, usando la misma frecuencia de excitación, $f_0=79 \text{ Hz}$.

En la fig. 9 se pueden ver dos rectas, correspondientes a la variación de las amplitudes de vibración respecto de las amplitudes de las señales dadas por el generador.

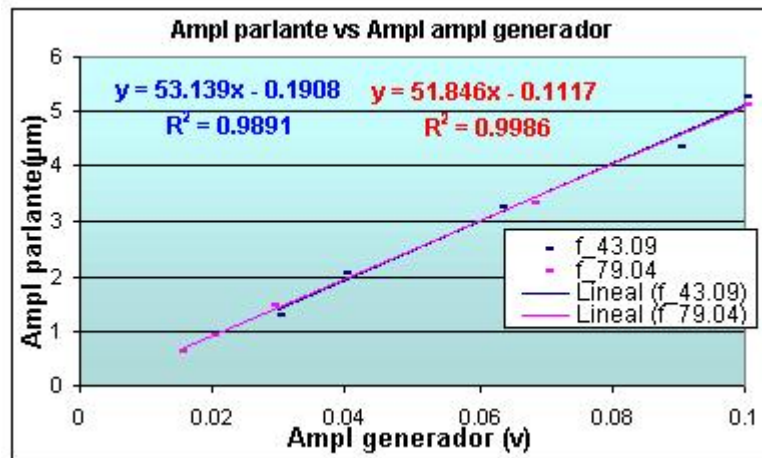


Figura 9- Amplitud del parlante (x_0) en función de la amplitud del generador de funciones para las dos frecuencias usadas.

Conclusión:

A las frecuencias usadas, no se aprecia un cambio de respuesta del parlante con la frecuencia. La amplitud solo depende de la amplitud de la excitación, sugiriendo una respuesta plana del parlante a estas frecuencias.

Es importante destacar la simplicidad y potencia del método usado. El uso del interferómetro de Michelson nos permite medir distancias del orden de los μm con errores menores del 1% en forma dinámica.

Agradecimientos:

Queremos agradecer al profesor Salvador Gil por la ayuda brindada tanto para la interpretación de los resultados como para la construcción del interferómetro de Michelson, como también a la Facultad de Ingeniería de la Fundación Favaloro por los equipos facilitados.

Apéndice - Fotómetro

Un fotómetro muy simple, económico y lineal puede construirse usando un fototransistor como el que se muestra en la Fig. 10. Las condiciones de linealidad y rango se ajustan variando el valor de la resistencia R y la tensión aplicada V_c . La tensión V contiene la señal dependiente de la iluminación. Para un fotómetro es conveniente usar un fototransistor sin lente, de modo que la señal no varíe con el ángulo de enfoque. En nuestro caso usamos un fototransistor MRD 310.

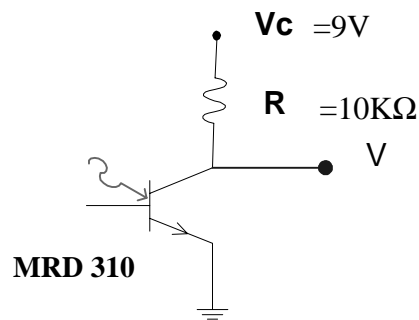


Figura 10 - Esquema del un fotosensor construido a partir de un fototransistor (MRD 310). V es la señal de salida que se conecta al sistema de adquisición.

Bibliografía.

1. E. Hecht, *Optics* (Addison-Wesley Pub. Co., New York, 1990).
2. J.B. Diamond, D.P. Donnelly, J.D. Breault and M.E. Mc Carthy, "Measuring small vibrations with interferometry," *Am. J. Phys.* **58**, 919 (1990).