Física Experimental 1

Práctica 4 - Determinación de la velocidad del sonido

---

1. Objetivos

Calcular la velocidad del sonido mediante dos métodos diferentes. Reforzar los conocimientos sobre tratamiento de datos adquiridos a lo largo del curso.

2. Fundamento teórico

2.1. Velocidad del sonido en el aire

Cuando escuchamos un sonido, lo que en realidad hacemos es detectar las variaciones de presión que se transportan en un medio (por ejemplo el aire). El sonido se puede representar como una onda mecánica tridimensional y longitudinal (esto último implica que la presión oscila en la misma dirección que el sentido de propagación de la onda). La ecuación 1 representa a la velocidad del sonido en el caso particular del aire comportándose como un gas ideal.

$$\|\vec{v}\| = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \tag{1}$$

Donde

- v representa la velocidad del sonido
- γ es la relación de calores específicos del gas a presión y a volumen constante, si nos mantenemos en la hipótesis de que el gas se comporta como ideal y adiabático, entonces $\gamma = 1{,}40$
- $R = 8{,}314 J/molK$ es la constante universal de los gases ideales
- T es la temperatura absoluta
- M es la masa molar del aire que se puede tomar como $28{,}8 \times 10^{-3}$ kg/mol

Por lo tanto la velocidad del sonido termina prácticamente siendo función de la temperatura absoluta, por ejemplo si $T = 20^oC$

$$\|\vec{v}\| = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{(1{,}40)(8{,}314\ \text{J/mol}\cdot\text{K})(293\ \text{K})}{28{,}8 \times 10^{-3}\ \text{kg/mol}}} = 344\ \text{m/s} \tag{2}$$

2.2. Ondas estacionarias en un tubo

Las ondas estacionarias resultan de la interferencia de dos ondas que se propagan en direcciones opuestas dentro del tubo, creando regiones de mínima y máxima amplitud conocidas como nodos y antinodos.

Las ondas viajeras siguen la ecuación $y_1(x,t) = A\sin(kx - \omega t)$, donde A es la amplitud, k es el número de onda $\left(k = \frac{2\pi}{\lambda}\right)$, con λ siendo la longitud de onda, y ω es la frecuencia angular ($\omega = 2\pi f$), con f siendo la frecuencia de oscilación de la presión, ver figura 1.

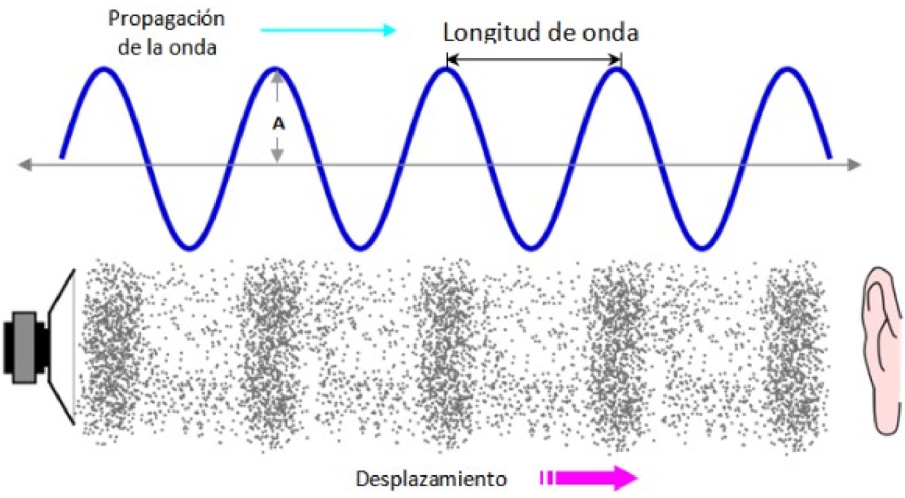

Figura 1: Propagacion de una onda de sonido (abajo) y la representación de la oscilación la presión en cada punto (arriba). Fuente: Wikimedia Commons

2.2.1. Tubo abierto

Como se mencionó anteriormente, las ondas estacionarias se pueden tomar como la superposición de dos ondas, de las cuales la segunda es el resultado del reflejo de la primera en el borde de un tubo. La onda incidente que viaja hacia la derecha es:

$$y_1(x,t) = A\sin(kx - \omega t)$$

Si la relación entre el lago del tubo y la frecuencia es la adecuada, entonces la onda reflejada que se propaga hacia la izquierda es:

$$y_2(x,t) = A\sin(kx + \omega t)$$

Sumando ambas entonces tenemos:

$$y_e = A\sin(kx - \omega t) + A\sin(kx + \omega t) \tag{3}$$

Descomponiendo $\alpha = kx$ y $\beta = \omega t$, y utilizando la relación trigonométrica:

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta \tag{4}$$

Se obtiene que la ecuación de la onda estacionaria

$$y_e(x,t) = 2A\sin(kx)\cos(\omega t) \tag{5}$$

Ejercicio 1: Utilizar la relación en la ecuación (4) para deducir la ecuación (5).

El primer elemento que está multiplicando en la ecuación (5) ($\sin(kx)$) depende únicamente de la posición y generará en los casos extremos puntos de oscilación nula (nodos) y de oscilación máxima (antinodos), esto se puede ver en la figura 2, y funcionará como una cota superior para el segundo elemento ($cos(comegat)$) que depende del tiempo.

Si se continúa con el razonamiento anterior, una vez que se forman ondas estacionarias la longitud de onda correspondiente para que aparezcan nodos en los extremos del tubo sigue la relación

$$\lambda = \frac{2L}{n} \tag{6}$$

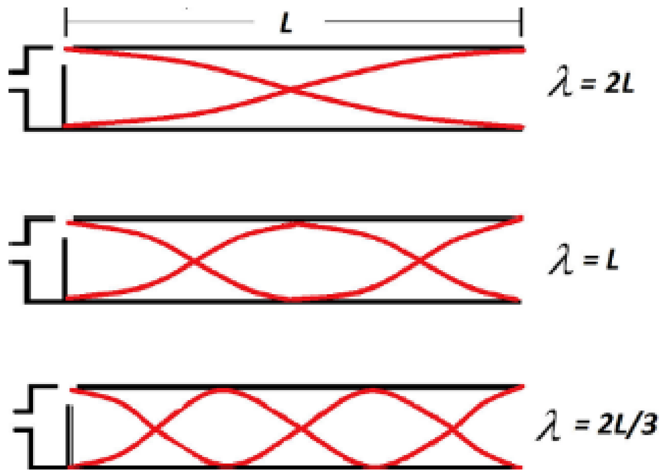

Figura 2: Representación de las ondas estacionarias en un tubo abierto por ambos extremos.

donde L es el largo del tubo y n ($n = 1, 2, 3, ...$) es un natural al cual llamaremos numero de armónico. Utilizando que

$$v = f\lambda \tag{7}$$

donde f es la frecuencia del tono y v la velocidad del sonido se llega a que las frecuencias en un tubo abierto en ambos extremos son

$$f = \left(\frac{v}{2L}\right) n \tag{8}$$

La ecuación 8 implica que las ondas estacionarias aparecen únicamente para determinadas frecuencias que terminan siendo función del número de armónico n (manteniendo la velocidad del sonido y el largo del tubo constantes), un factor fundamental a considerar para la práctica.

2.2.2. Tubo semi cerrado

Análogamente, si el tubo es semi cerrado como en la Figura 3, se puede demostrar que la longitud de onda sigue la relación

$$\lambda = \frac{4L}{n} \tag{9}$$

y por lo tanto la frecuencia es

$$f = \left(\frac{v}{4L}\right) n \tag{10}$$

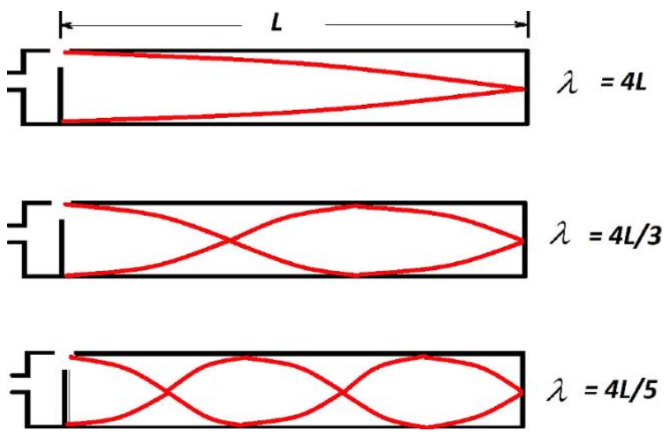

Figura 3: Representación de las ondas estacionarias en un tubo abierto por un solo extremo

3. Procedimiento experimental

3.1. Reflexión de pulso

El dispositivo consta de un tubo de cartón tapado en uno de sus extremos. En el extremo opuesto abierto se reproducirá un tono de corta duración[1], mientras que se recolectará la respuesta con un micrófono (capaz de registrar pequeñas variaciones en la presión del aire) en el mismo lado.

Los datos experimentales de esta parte de la práctica se tomarán con la ayuda el script 'Experimento 24: Velocidad del sonido' del programa Logger Pro que está configurado para empezar a medir inmediatamente luego de que el micrófono detecta una variación importante en la presión.

Se deberá diferenciar la señal emitida de la reflejada, analizando la variación de tiempo entre las cuales el micrófono detecta ambas señales, con esto y el largo del tubo se determinará la velocidad del sonido mediante la ecuación,

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{11}$$

Se tomarán como mínimo 20 medidas y se realizará un tratamiento estadístico de las mismas para obtener un valor de Δt. Se deberá registrar la temperatura ambiente para luego realizar el calculo de γ.

- Presentar la gráfica ilustrativa de la amplitud en función del tiempo, identificar y marcar en ella el tiempo t entre la señal original y su reflexión.
- Presentar el histograma de las medidas realizadas y obtener el valor de t con correspondiente incertidumbre obtenida a partir de tratamiento estadístico.
- Calcular v a partir del t de la parte anterior, con su incertidumbre correspondiente.
- Calcular de γ a partir del v anterior.

3.2. Ondas estacionarias

La idea de esta parte es utilizar la aplicación 'generador de frecuencia' o el archivo de audio [2] para ir variando las frecuencias y registrar las señales con el Logger Pro, en caso de usar la aplicación se sugiere variar las frecuencias desde $50Hz$ a $800Hz$. Recordar que la frecuencia de resonancia va a detectarse al ver un máximo en la amplitud de la señal. Una vez que se identifica un máximo se deberá tomar el período local de la señal cerca del mismo y luego usar la ecuación,

$$f = \frac{1}{T} \tag{12}$$

Al final del experimento, se obtendrán una serie de valores de frecuencias y números de armónicos correspondientes. Luego, se procederá a graficar la primera variable en función de la segunda, y a partir de la pendiente de dicho gráfico se determinará la velocidad del sonido, como se muestra en la ecuación (8)

- Presentar la gráfica de f en función del número de armónico.
- Calcular v a partir de esa gráfica con su incertidumbre correspondiente.
- Calcular γ a partir del nuevo valor de estimación de v.

Discutan si los valores de la velocidad del sonido y de γ son concordantes con el valor de la referencia.

[1] Descargar audio Reflexión de pulso
[2] Descargar audio Ondas Estacionarias

4. Bibliografía

- Física Universitaria, Sears, Francis W. and Zemansky, Mark W.,Pearson Eduación de México, 2009
- Experimentos de física con smartphones, Gómez González, Rubén and others, 2023

5. Apéndice

Simulador de ondas estacionarias `https://acortar.link/QKKzAy`