1. TUBOS RESONANTES

1.1. Objetivo

El propósito de esta práctica es determinar la velocidad del sonido de las ondas estacionarias que se forman en tubos abierto-abierto y abierto-cerrado. En el primer caso, se toma un tubo de longitud fija y se determinan las frecuencias (fundamental y sobretonos) para las cuales el tubo resuena. En el segundo caso, se fija la frecuencia y se determinan las longitudes efectivas para las cuales este resuena. A partir de las mediciones de longitud y frecuencia se determina el valor de la velocidad del sonido en el tubo en cada caso y se comparan los valores obtenidos.

1.2. Materiales

- Tubo hueco de PVC abierto-abierto y de vidrio abierto-cerrado.
- Un parlante.
- Generador de funciones.
- Una regla graduada en mm.

1.3. Resumen teórico

Cuando un parlante que produce sonido o un diapason vibrante se colocan cerca del extremo de un tubo hueco, este resuena a ciertas frecuencias determinadas. Las ondas sonoras viajan a lo largo del tubo, se reflejan en el otro extremo del tubo y regresan al parlante. Para el caso cuando la longitud del tubo es mucho mayor que su diámetro entonces se forman ondas estacionarias en su interior. Se puede demostrar que las condicines de contorno para extremo abierto es que el cambio de presión sea cero (respecto a la presión atmosférica), es decir $\Delta P = 0$ y para el extremo cerrado $\frac{\partial \Delta P}{\partial x} = 0$. Lo anterior significa, que en los extremos cerrados de un tubo, se tiene un vientre o un antinodo y en extremo abierto se tiene un nodo.

La figura 1 muestra los primeros tres modos de oscilación para los casos de tubo abierto-abierto y abierto-cerrado. Estas frecuencias estan dadas respectivamente por

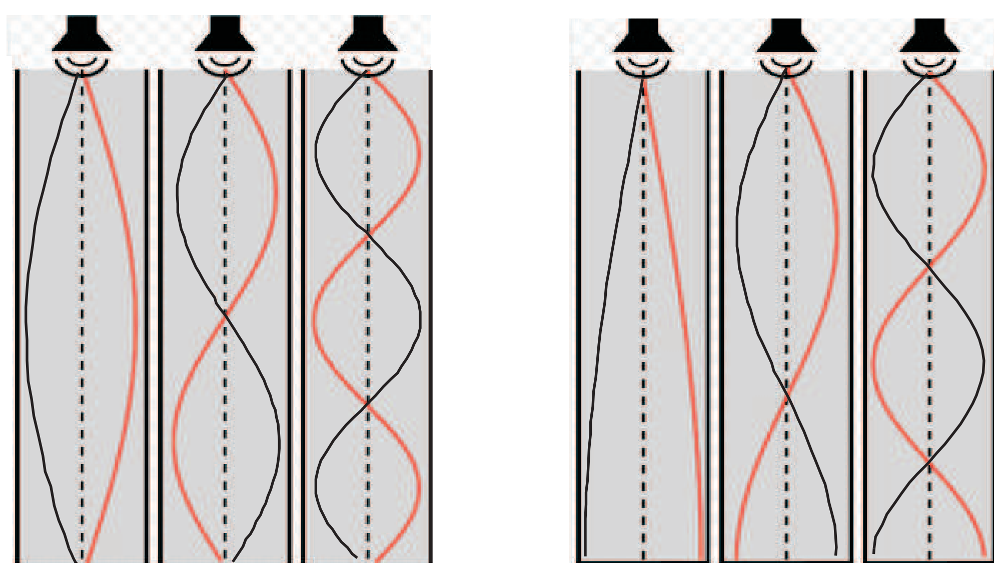

Figura 1: Frecuencia fundamental y sobretonos para las ondas de presión en tubos abierto-abierto (izqierda) y abierto-cerrado (derecha).

$$f_n = \frac{v}{2L}n \qquad n = 1, 2, 3\ldots \tag{1a}$$

$$f_n = \frac{v}{4L}(2n-1) \qquad n = 1, 2, 3\ldots \tag{1b}$$

donde v es la velocidad del sonido en el tubo, la cual depende de la temperatura y naturaleza del gas en el tubo y L es la longitud del tubo. Las frecuencias $f = \frac{v}{2L}$ y $f = \frac{v}{4L}$ se denominan frecuencias fundamentales para los tubos abierto-abierto y abierto-cerrado respectivamente. El resto de frecuencias corresponden a las frecuencias de los sobretonos.

1.4. Descripción del problema

1.4.1. Tubo abierto-abierto

Consideremos el sistema mostrado en la figura 2, el cual consiste de un tubo largo en cuyos extremos se haya un parlante conectado a un generador de funciones y que genera ondas armónicas de frecuencia f bien definida. Reescribamos la ecuación (1a) como

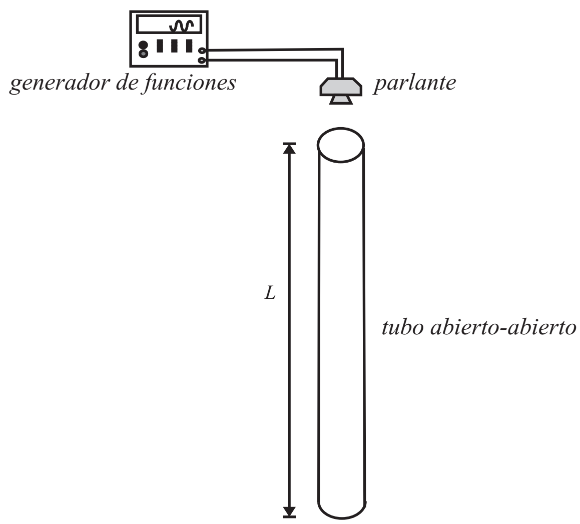

Figura 2: Montaje para estudiar las ondas estacionarias en un tubo abierto por ambos extremos.

$$f = \frac{v}{2L}n \tag{2}$$

de esta relación se sigue que las frecuencias para las cuales el tubo resuena son directamente proporcionales a n, ver figura 3. Al comparar con $y = mx + b$ (donde m es la pendiente y k es el intercepto con el eje y), la ecuación (2) para f muestra que la pendiente de f en función de n es $m_1 = v/2L$. Así, el valor de la velocidad v del sonido se determina de la pendiente m_1 de la gráfica,

$$v = 2Lm_1 \tag{3}$$

1.4.2. Tubo abierto-cerrado

Consideremos el sistema mostrado en la figura 4, el cual consiste de un tubo en cuyos extremos se haya un parlante conectado a un generador de funciones el cual genera ondas sonoras armónicas de frecuencia f bien definida. El otro extremo el tubo tiene conectado una maguera flexible la cual se conecta a su vez con un recipiente con agua. Al variar la altura del recipiente con respecto al piso, el nivel del agua dentro del tubo varía, y de esta manera la longitud L de la columna de aire dentro del tubo también varía.

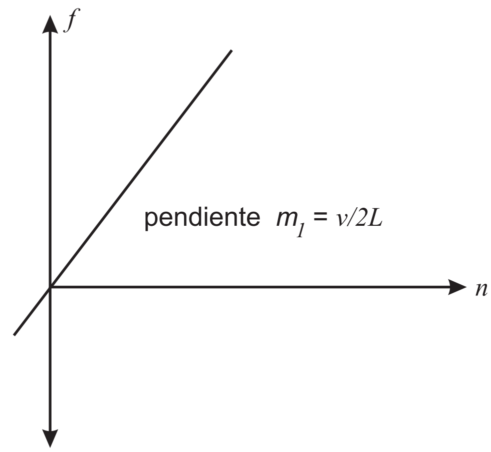

Figura 3: Longitud del tubo como función de la frecuencia fundamental.

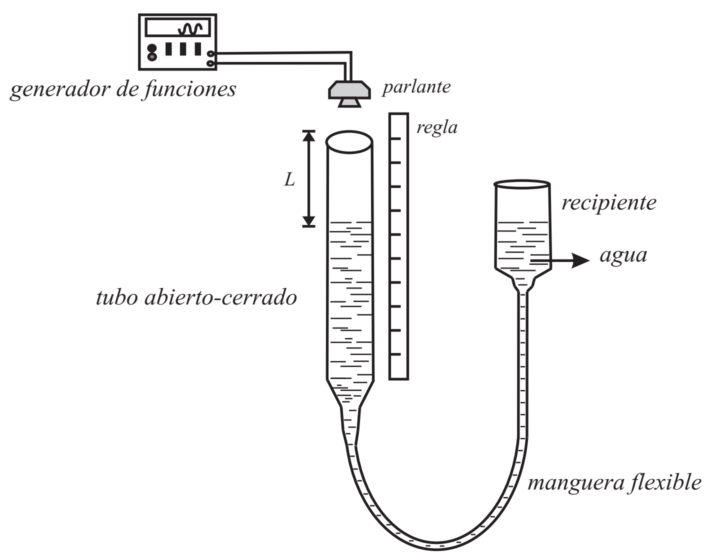

Figura 4: Montaje para estudiar las ondas estacionarias en un tubo cerrado por un extremo

Reescribamos las ecuación (1b) para el caso de la frecuencia fundamental como

$$L = \frac{2n-1}{4f}v = \frac{v}{2f}n - \frac{v}{4f} \tag{4}$$

Así, si la distancia entre el borde del tubo y el extremo cerrado se varía a voluntad, la relación entre su longitud L y n es lineal, ver figura 5. Al comparar con $y = m_2 x + b$ (donde m_2 es la pendiente y k es el intercepto con el eje y), la ecuación (4) para L muestra que la pendiente de L en función de n es $m_2 = \frac{v}{2f}$. Luego, el valor de la velocidad v del sonido es,

$$v = 2m_2 f \tag{5}$$

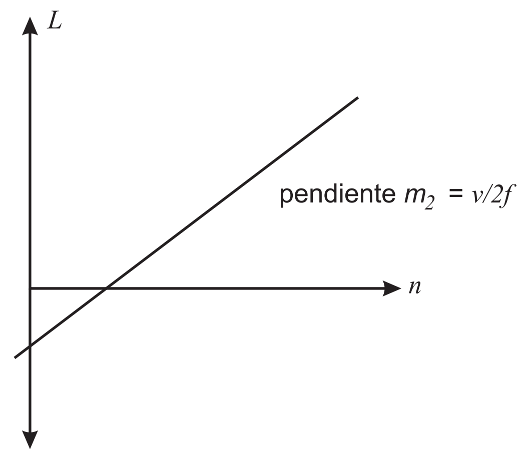

Figura 5: Distancia entre el extremo libre y cerrado del tubo como función del modo n

1.5. Mediciones

1.5.1. Tubo abierto-abierto

Realice el montaje que se indica en la figura 2. Seleccione una señal senoidal de amplitud 10 V pico a pico y frecuencia 1 Hz. Incremente el valor de la frecuencia lentamente y esté presto a escuchar cuando el tubo resuene. La primera vez que el tubo resuena corresponde a $n = 1$. Anote el valor de la frecuencia f_1 para la cual sucede este fenómeno. Siga incrementando lentamente la frencuencia de la señal hasta lograr que el tubo resuene de nuevo; en este caso $n = 2$ y la frecuencia es f_2. Repita el mismo procedimiento para diferentes frecuencias de resonancia. Complete la tabla 1. A partir de los datos obtenidos determine el valor de la velocidad del sonido como se describe arriba.

1.5.2. Tubo abierto-cerrado

Realice el montaje que se indica en la figura 4. Seleccione una señal senoidal de amplitud 10 V pico a pico y frecuencia 330 Hz. Fije el nivel de la columna de agua dentro del tubo de modo que el tubo resuene para el menor valor de la distancia L_1 entre el extremo abierto del tubo y la superficie del agua dentro del tubo. En este caso $n = 1$. Incremente lentamente el valor de L y esté presto a escuchar cuando el tubo resuene. Cuando esto sucede, $n = 2$ y $L = L_2$. Anote los valores de las longitudes L y los correspondientes valores de n en la tabla 2. A partir de los datos obtenidos determine el valor de la velocidad del sonido como se describe arriba.

Compare los valores de la velocidad del sonido obtenidos usando los tubos abierto-abierto y abierto-cerrado. Discuto sus resustados.

n	$f(Hz)$
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Tabla 1: Frecuencias de resonancia para tubo abierto-abierto

n	$L(m)$
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Tabla 2: Frecuencias de resonancia para tubo abierto-cerrado

1.5.3. Efecto de diámetro finito en los tubos

Una consecuencia de tener un tubo de diámetro d finito es que su longitud efectiva es mayor que su longitud geométrica y por tanto debemos considerar como longitud ℓ del tubo

$$\ell = L + a * d \tag{6}$$

donde $a = 0.4$ para un tubo abierto-cerrado y $a = 0.8$ para un tubo abierto-abierto. Considere este efecto en el cálculo de las velocidades del sonido y compárelo cuando no se tiene en cuenta este hecho.

Referencias

[1] Serway, R., *FISICA para ciencias e ingeniería*, McGraw-Hill, Tomo 2, México, 2000.