



MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL AIRE

OBJETIVOS

1. Determinar las condiciones para obtener los armónicos en un tubo sonoro que hace resonancia con un diapasón en vibración y un generador de ondas.
2. Determinar la velocidad del sonido en el aire mediante la resonancia en un tubo sonoro

PRE-INFORME

1. Resolver la evaluación de la práctica anterior
2. Vea el link https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_stojate_vlneni&l=es, donde encuentra una simulación para identificar los seis primeros modos de vibración de las ondas estacionarias en un tubo de aire. Explore libremente todas las opciones que ofrece la simulación pero fijándose en el movimiento de las partículas en el tubo. Observe los casos de “un extremo” (tubo semi-abierto TSA) y “extremos libres” (tubo abierto TA). Ponga la amplitud (y_m) en su valor máximo y observe cada modo (de $n=1$ hasta $n=6$) para los casos TSA y TA, y responda: (a) En qué sitio del tubo encuentra siempre un antinodo para el desplazamiento de las partículas, independiente del armónico que esté observando?. (b) Cuántos antinodos y nodos (sitios donde las partículas no se mueve) se observan para cada uno de los seis armónicos, tanto en TSA como en TA?. (c)Cuál sería el valor de λ en términos de la longitud de la columna de aire L ? Haga un dibujo para uno de los casos.
3. Escriba la ecuación para la frecuencia de las ondas estacionarias en un tubo abierto y en un tubo semi-abierto e indique cuáles son las variables que se pueden variar para tener los diferentes modos normales de vibración n .

MARCO TEÓRICO

Velocidad del sonido en el aire: La velocidad de propagación v de una onda es la relación que existe entre la longitud de onda λ , y su frecuencia f :

$$v = \lambda f \quad (1)$$

de modo que, al medir λ y f , podremos calcular la velocidad de propagación v .

Las ondas del sonido son ondas mecánicas de tipo longitudinal, que pueden propagarse en los medios materiales (sólidos, líquidos y gases). Si el medio en que se propaga la onda sonora es un gas, tal como el aire, la velocidad de propagación viene dada por

$$v = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}} \quad (2)$$

donde β es el módulo de compresibilidad del medio y ρ su densidad.

La velocidad del sonido depende de la temperatura del aire de acuerdo con la relación

$$v = 331 \text{ m/s} \sqrt{1 + \frac{T_c}{273^\circ\text{C}}} \quad (3)$$

donde T_c corresponde a la temperatura del aire en grados celsius y 331 m/s corresponde a la velocidad del sonido para 0°C .

Resonancia: Mediante una fuente sonora (un diapasón, por ejemplo) se produce una vibración de frecuencia conocida cerca del extremo abierto de un tubo, las ondas que se propagan a través de la columna de aire contenida en el tubo se reflejan en sus extremos. Al ajustar la longitud L de la columna de aire de modo que sea igual a un cuarto de la longitud de onda del tono emitido por el diapasón, la onda reflejada llegará al extremo abierto precisamente en fase con la nueva vibración del diapasón (en la reflexión en el extremo cerrado se produce un salto de fase de 180°) produciéndose una intensificación en el sonido emitido. Este fenómeno es conocido con el nombre de *resonancia*.

En la columna de aire se establece una onda estacionaria, producida por la interferencia entre el tren de ondas incidente y reflejado, con un *nodo* en el extremo cerrado y un *antinodo* en el extremo abierto. En general, la columna de aire entrará en resonancia siempre que su longitud sea exactamente un múltiplo impar de cuartos de longitud de onda, esto es:

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}, \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

así que la distancia que separa dos nodos (o dos antinodos) consecutivos será de media longitud de onda ($\lambda/2$).

Cuando ocurre una resonancia la intensidad del sonido aumenta considerablemente y se puede medir la longitud L correspondiente al máximo de intensidad.

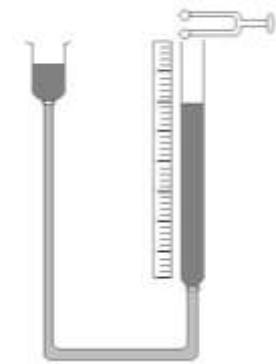


Figura 1

Como la propagación es a lo largo del eje del tubo, se trata de ondas estacionarias en una dimensión y solo aparece un número modal o armónico n . Sin embargo, esto no es totalmente riguroso, porque en el extremo abierto el sonido empieza a propagarse en todas las direcciones. La influencia de este “efecto de borde” del tubo es tanto menos cuanto mayor sea L en comparación con el radio R del tubo. Por tanto se debe realizar una corrección en la longitud medida del tubo llamada longitud efectiva:

$$L_{ef\ n} = L_n + 0,6R \quad (5)$$

En tubos largos se pueden encontrar además del punto L_1 , los puntos L_2 , L_3 como se ve en la Figura 2, se aprecia la distancia entre antinodos de desplazamiento adyacente es $\lambda/2$ que es la distancia entre nodos adyacentes, para las primeras resonancias entonces: $\lambda/2 = L_2 - L_1$, por lo tanto

$$\lambda_1 = 2 (L_{ef\ 2} - L_{ef\ 1}) \quad (6)$$

y para la segunda y la tercera resonancia $\lambda_2 = 2 (L_{ef\ 3} - L_{ef\ 2})$, siendo la longitud de onda promedio:

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad (7)$$

y así, determinado el valor de la longitud de onda λ , y conocida la frecuencia del diapasón (especificada por el fabricante), podemos determinar la velocidad del sonido utilizando la ecuación (1)

Igualmente, se puede demostrar que las frecuencias de resonancia en este tubo semiabierto están dados por la ecuación (8):

$$f_n = \frac{nv}{4L} \quad \text{con } n = 1, 3, 5, 7 \dots (8). \quad \text{Despejando para } n: \quad n = \frac{4f_n L}{v} \quad (8^*)$$

Con la ecuación (8*) se puede ver la relación entre el modo n y la longitud de la columna de aire L para la frecuencia f dada del generador externo.

Tubo de resonancia.

El aparato utilizado en esta práctica consiste en un tubo de vidrio o plástico, colocado en una posición vertical y comunicado por su extremo inferior mediante un tubo de caucho, con un depósito de agua cuya altura puede regularse a fin de hacer variar el nivel de agua en el tubo resonante. En lugar del depósito, puede conectarse el tubo de caucho a un grifo del laboratorio, intercalando una llave en T para hacer posible el vaciado del tubo resonante. La longitud de la columna de aire se puede así modificar introduciendo o sacando agua del tubo resonante.

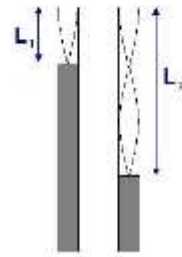


Figura 2

MATERIALES: Tubo de resonancia dispuesto verticalmente y provisto de un sistema adecuado para variar el nivel de agua. Un diapasón de 440 Hz y un generador de ondas, martillo de caucho. Regla graduada.

PROCEDIMIENTO

(1) Identifique el valor de la temperatura en grados Celsius y la frecuencia f del diapasón y del generador de onda, en Hz, además mida el diámetro del tubo D en cm y registre estos valores. Llene de agua el tubo hasta cerca de su borde. Golpee el diapasón con un martillo de caucho y dispóngalo cerca del extremo superior del tubo de resonancia, de modo que, al vibrar, lo haga según el eje del tubo y que no roce con el borde del mismo. Mientras el diapasón se encuentre vibrando, haga descender lentamente el nivel del agua en el tubo hasta que se produzca la resonancia, la cual se reconoce porque se produce una intensificación del sonido, fácilmente audible, aun cuando el sonido que procede directamente del diapasón apenas lo sea.

Una vez que haya determinado aproximadamente la posición del primer punto de resonancia, proceda a su determinación lo más exacta posible, unas veces subiendo lentamente el nivel de agua y otras veces bajándolo lentamente. Entonces anote la distancia L_1 de dicho punto hasta el borde del tubo.

Repita el procedimiento bajando más el nivel del agua para localizar el segundo y tercer punto donde se encuentra resonancia. Registrar estas longitudes L_2 y L_3 .

(2) Ahora cambie el diapasón por el generador de ondas que tiene una frecuencia diferente f y repita el mismo procedimiento donde tendrá cuatro modos de vibración.

Análisis: 1) Use los datos colectados con el diapasón y las ecuaciones (5), (6) y (7) para determinar la longitud de onda (λ_{prom}) del sonido emitido. Como conoce la frecuencia del diapasón y λ_{prom} , determine la velocidad del sonido en el aire utilizando la ecuación (1); tome este valor como el experimental. Use la ecuación (3) para determinar el valor teórico de la velocidad del sonido según la temperatura del sitio. Determine el porcentaje de error.

2) Tome los datos para el segundo experimento (con el generador de ondas). Observe que si n es impar, en la ecuación (8), L_1 , L_2 , L_3 y L_4 medidos en el experimento, correspondería a L_1 , L_3 , L_5 , y L_7 respectivamente, ya que el tubo semiabierto solo reproduce los modos impares. Organice los datos en una tabla.

Grafique en Excel n versus L , obtenga la recta de ajuste. Comparando la pendiente de la recta con el coeficiente de L según la ecuación (8*), deduzca la velocidad del sonido. Analice el resultado obtenido comparándolo con el valor teórico usado en la práctica.

CONCLUSIONES

Redacte tres conclusiones de acuerdo con los objetivos de la práctica.

Evaluación

Determine la velocidad del sonido con los datos colectados con el generador de onda y siguiendo el procedimiento aplicado en el caso del diapasón. Organice sus datos en la tabla siguiente:

	$L_{ef\ n} = L_n + 0,6R$ (m)	Longitud de onda λ_n (m)	Velocidad del sonido en el aire (m/s)
Frecuencia del generador de ondas: $f =$ _____	$L_{ef\ 1} =$	$\lambda_1 =$	
	$L_{ef\ 2} =$	$\lambda_2 =$	
	$L_{ef\ 3} =$	$\lambda_3 =$	
	$L_{ef\ 4} =$	$\lambda_{prom} =$	

Porcentaje de error: _____

Bibliografía: Serway, R. A. Física para Ingeniería y Ciencias. Tomo I. Editorial McGraw-Hill. México, 2005