

Uso de teléfonos celulares para medir la velocidad del sonido en el aire.

Cell phone use to measure speed of sound in air.

Jesús Ramón Lerma Aragón

Facultad de Ciencias: Universidad Autónoma de Baja California

jlerma@uabc.edu.mx

Luis Javier Villegas Vicencio.

Facultad de Ciencias Marinas: Universidad Autónoma de Baja California

javier.villegas@uabc.edu.mx

Resumen

En los laboratorios de física es común la utilización de tubos de resonancia para medir la velocidad del sonido en el aire. En este trabajo se presenta un experimento que utiliza un teléfono celular como fuente de sonido, un tubo de cartón de más de dos metros de largo y un pistón para recortar su longitud interior. Este dispositivo permite encontrar los puntos donde se generen ondas estacionarias en su interior, es decir, los nodos y por ende los puntos de resonancia que son los valores donde se escucha mayor intensidad sonora. A partir de ellos y un análisis estadístico, se determina la velocidad del sonido en el aire. Al comparar los valores experimental y teórico se obtiene una diferencia porcentual menor al uno por ciento.

Abstract

Resonance tubes are commonly used in physics labs as a means to measure the sound velocity through the air. This paper presents an experiment, which utilizes a cell phone as a sound source, a cardboard tube more than 2 meters long and a piston to modify the internal sound cavity.

This device makes finding points of stationary sound waves in the interior of the tube possible, in other words, the nodes, therefore the resonance points where sound is heard more intensely. By analyzing

this data and making a statistical calculation, sound velocity can be determined. When comparing the experimental and theoretical values, the velocity's calculated error is less than 1%.

Palabras clave / key words: Experimento, Acústica, Propagación de ondas sonoras. / Experiment, Acoustics, Sound wave propagation

Introducción

El tubo de Knudt es un cilindro rígido, largo y hueco, mucho más largo que ancho. En su interior se llena con un fluido, en nuestro caso es aire a temperatura ambiental. En un extremo del tubo se tiene una fuente sonora, usualmente es una bocina que cabe dentro del tubo, y se ajusta de modo que permanezca fija en un extremo. En ella se reproduce una frecuencia específica en un tono puro. Mientras que en el otro extremo hay un pistón que abarca todo el diámetro interno. El pistón se puede desplazar a lo largo del interior. Al ir sacando el pistón se pasará por zonas donde se establezca una onda resonante que trae en consecuencia un incremento de la sonoridad. Si se trabaja con frecuencias dentro del audio humano, las zonas de resonancia se apreciarán en forma muy notoria, sin necesidad de usar nada más que el sentido del oído ya que la sonoridad es apreciablemente superior.

El fenómeno de resonancia en el tubo de Knudt sucede cuando la cavidad interior del mismo puede establecer una onda estacionaria, es decir, cuando la distancia entre bocina y pistón es igual a la longitud entre nodos para la frecuencia específica, de ahí la importancia de reproducir una frecuencia específica en un tono puro.

La condición de resonancia se evidencia en la ecuación 1, ésta es también conocida como condición de onda estacionaria [1]

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

donde L es la longitud de la cavidad interna, n es el número de nodo y λ es la longitud de onda asociada con la onda resonante.

La relación entre L , la longitud de la cavidad; f , la frecuencia de la onda resonante y v , la velocidad de propagación de la onda, se ilustra en la ecuación 2.

$$v = \lambda f = \frac{2Lf}{n} \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad (2)$$

El problema de poder reproducir frecuencias fijas en tonos puros se venció con la ayuda de programas gratuitos de fácil adquisición en Internet. Se pueden ser almacenar como archivos de música, un ejemplo de los muchos que hay en internet es [2], de ese sitio se descargó un archivo en formato WAV que se exportó a un celular, se eligió una onda senoidal de una frecuencia determinada. La ventaja de usar programas computacionales o apps en el celular es que no se requiere equipo especializado como generadores de frecuencias u osciloscopios. La búsqueda en google se hizo con los parámetros “frequency generator online”.

Como ya se mencionó, cuando la distancia entre la bocina y la pared del pistón corresponde a la longitud de los antinodos se provocará resonancia de la onda estacionaria al interior del tubo, por ende un incremento en la sonoridad, que es fácilmente detectable por el oído. Es necesario medir la distancia entre la bocina y la pared del pistón. Dichas distancias corresponden a media longitud de onda. En la figura 1 se muestra un esquema del tubo. Del lado izquierdo se muestra la bocina en color azul, y del lado izquierdo en color mostaza se muestra el pistón, que se puede deslizar en el interior del tubo, así mismo se ilustra que la longitud interna del tubo es de una longitud de onda, en color rojo.

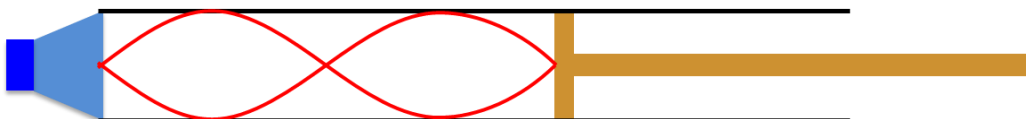


Figura 1. Tubo de Knudt con una cavidad de una longitud de onda.

Experimentalmente se ha encontrado que la velocidad de propagación del sonido en el aire varía 0.6 m/s por cada grado Celsius de temperatura [1], por lo tanto se puede calcular la velocidad del sonido en el aire en función de la temperatura utilizando la expresión

$$v = (v_0 + 0.6 * T) \text{ m/s.} \tag{3}$$

donde v_0 es la velocidad del sonido en el aire a 0°C (331.3 m/s) y T es la temperatura del aire en grados Celsius.

En la figura 2 podemos observar que la distancia Δx entre nodos (que es la misma que la de los antinodos) sucesivos en la onda estacionaria es la mitad de la longitud de onda.

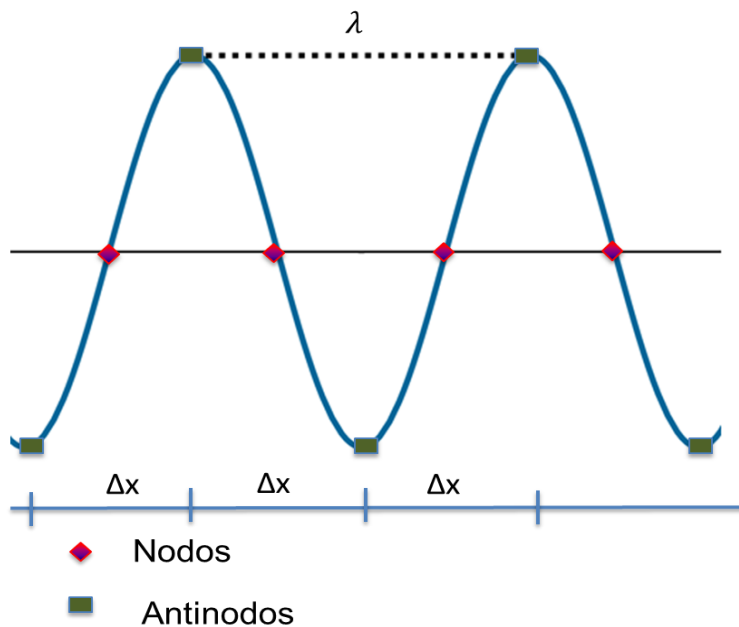


Figura 2. Nodos y antinodos en una onda.

Puesto en términos de matemáticos se tiene

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2} \tag{4}$$

Como se advirtió en la ecuación 2, la velocidad del sonido en el fluido es el producto de la longitud de onda y la frecuencia. Despejando λ de (4) y sustituyendo en (2) se obtiene que

$$v = 2\Delta x f \quad (5)$$

Esto indica que la velocidad de la onda en el fluido es del doble de posición de los nodos por la frecuencia. Por lo tanto debemos centrarnos en medir la posición de los nodos ya que la frecuencia está determinada previamente.

Diseño y método experimental

El dispositivo experimental emplea los materiales siguientes: un tubo rígido y hueco, un pistón, una bocina y un dispositivo para reproducir el archivo WAV que tiene grabado el sonido de un tono puro, en nuestro caso empleamos un celular. La figura 3 muestra los elementos mencionados.

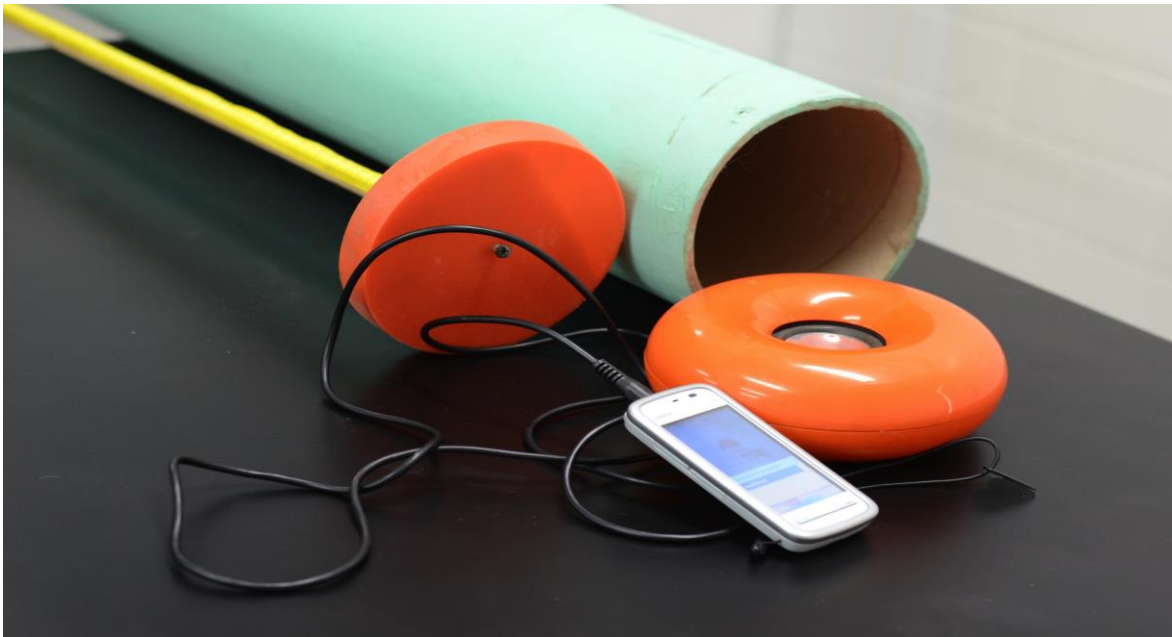


Figura 3. Elementos necesarios para el ensamble experimental.

Se fija la bocina en el extremo del tubo, de igual modo se introduce el pistón hasta que tope con la bocina. El tubo se coloca en forma horizontal. El celular se conecta a la bocina y se reproduce el archivo. La figura 4 muestra el dispositivo experimental ensamblado.



Figura 4. Dispositivo experimental ensamblado.

Para obtener la posición de los nodos se hace el siguiente procedimiento. Ya que se está reproduciendo el archivo con la frecuencia elegida se va extrayendo el pistón pausadamente hasta donde se escuche un incremento en sonoridad, esta posición corresponde a la posición de un nodo. Se registra su posición. El interior es opaco y por tanto es complicado medir con exactitud las dimensiones de la cavidad, en realidad no es importante registrar exactamente la medida directa, se puede hacer por medios indirectos. En la figura 5 se muestra un detalle del pistón donde se localiza una cinta métrica. Las medidas se extraen registrándolas directamente del pistón.



Figura 5. Detalle de la cinta métrica localizada directamente en el pistón.

Resultados

La primera frecuencia corresponde a 1000 Hz, con una temperatura ambiental de 22.5 °C, sustituyendo estos valores en (3) se obtiene una velocidad teórica de 344.94 m/s. Los valores que se obtienen de la distancia Δx se promediaron, en la Tabla I se muestra los valores obtenidos.

Tabla I. Resultados obtenidos para una frecuencia de 1000 Hz.

| Δx (m) | Valor experimental (m/s) | Valor teórico (m/s) | Diferencia porcentual |
|----------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| 0.174 | 348 | 344.94 | 0.89 % |

Como segunda parte del experimento se incrementó la frecuencia a un valor de 1500 Hz, se muestran los resultados obtenidos en la Tabla II.

Tabla II. Resultados obtenidos para una frecuencia 1500 Hz.

| Δx (m) | Valor experimental (m/s) | Valor teórico (m/s) | Diferencia porcentual |
|----------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| 0.114 | 342 | 344.94 | 0.85 % |

Ahora se consideró una frecuencia menor que las anteriores, para tener mayor información respecto al comportamiento del experimento, la frecuencia elegida fue de 750 Hz, en la Tabla III se expresan los resultados.

Tabla III. Resultados obtenidos para una frecuencia de 750 Hz.

| Δx (m) | Valor experimental (m/s) | Valor teórico (m/s) | Diferencia porcentual |
|----------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| 0.229 | 343.5 | 344.94 | 0.42 % |

El experimento se repitió a diferentes temperaturas para mostrar su efectividad, en la Tabla IV se detallan los valores obtenidos.

Tabla IV. Resultados obtenidos para una frecuencia 1000 Hz.

| Δx (m) | Temperatura °C | Valor experimental (m/s) | Valor teórico (m/s) | Diferencia porcentual |
|----------------|----------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| 0.171 | 23 | 342 | 345.24 | 0.94 % |
| 0.175 | 26 | 350 | 347.06 | 0.85 % |
| 0.174 | 22 | 348 | 344.63 | 0.98 % |

La medición de la velocidad la realizaron estudiantes del programa educativo de Física de la Facultad de Ciencias de la UABC. Dada la facilidad con la que se puede realizar el experimento en el que no se requiere equipo especial, se ha utilizado con estudiantes de secundaria y preparatoria como un complemento en sus cursos de Física.

En la figuras 6 y 7 podemos observar a un grupo de estudiantes de secundaria trabajar con el tubo de resonancia, como el número de alumnos es generalmente grande, se utilizaron varios tubos de PVC de aproximadamente metro y medio de longitud, a cada uno de ellos se les colocó una bocina de computadora en uno de los extremos, un tarugo de madera con una cinta métrica pegada que sirve de pistón y un cable auxiliar para conectar el teléfono celular.

La dinámica de trabajo es similar a la descrita anteriormente en donde se tiene que ir sacando de manera lenta el pistón, para que los estudiantes identifiquen los sitios en donde se escuchan el sonido con mayor intensidad, tomando nota de estos valores y pidiéndoles que obtengan el valor de la distancia entre ellos.



Figura 6. Estudiantes de Secundaria utilizando el tubo de resonancia.



Figura 7. Grupo de estudiantes tomando datos.

En la tabla V se muestra un ejemplo de los datos obtenidos por los estudiantes.

Tabla V. Resultados obtenidos para una frecuencia de 1500 Hz.

| Valor obtenido en la cinta métrica (m) | Diferencia entre las distancias Δx (m) |
|--|--|
| 0.030 | |
| 0.145 | 0.115 |
| 0.265 | 0.120 |
| 0.370 | 0.105 |
| 0.480 | 0.110 |
| 0.605 | 0.125 |
| 0.720 | 0.115 |
| 0.830 | 0.110 |

Promediando los valores de Δx se obtiene un valor de 0.114 metros, el cual al sustituir en la ecuación (5) se encuentra que el valor de la velocidad del sonido es de 342 m/s, resultado acorde a lo esperado por los alumnos.

Con este experimento se fortalece los temas de movimiento ondulatorio y características del sonido que pertenecen al bloque I del programa de Ciencias II de educación Secundaria de la Secretaría de Educación Pública (SEP) en México.

Conclusión

El tubo de resonancia mostró que es un aparato de bajo costo y fácil de elaborar, que puede ser empleado con estudiantes de diferentes niveles educativos.

En la actualidad la mayoría de los estudiantes utilizan teléfonos celulares, pero en este caso lo están utilizando como fuente de sonido, convirtiéndolo en una herramienta para la realización de experimentos.

En el caso de estudiantes de secundaria este dispositivo permite al maestro poder realizar y analizar de manera experimental, temas contenidos en el programa de estudios establecido por la SEP, sin la necesidad de contar con la infraestructura o equipo de laboratorio.

Los estudiantes de licenciatura pueden emplearlo para la realización de una práctica en la cual los resultados obtenidos son una calidad excelente y equiparable a los aparatos comerciales, con la ventaja de tener un costo mínimo.

Asimismo, el Cuerpo Académico cumple con su propósito al elaborar material didáctico y presentarlo en los diversos niveles educativos para promover la enseñanza de la Ciencia e Ingeniería.

Agradecimientos

A la 17ª Convocatoria Interna Apoyo a Proyectos de Investigación, UABC por el apoyo recibido.

Bibliografía

[1] Paul A. Tipler y Gene Mosca. (2003). *Física para la ciencia y la tecnología*. Barcelona, España: Reverté.

[2] (2011-2015). *Online tone generator*. 15 diciembre 2015. Sitio web: <http://onlinetonegenerator.com/>