Laboratorio de Física General
Primer Curso
(Ondas mecánicas)

MEDIDA DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO

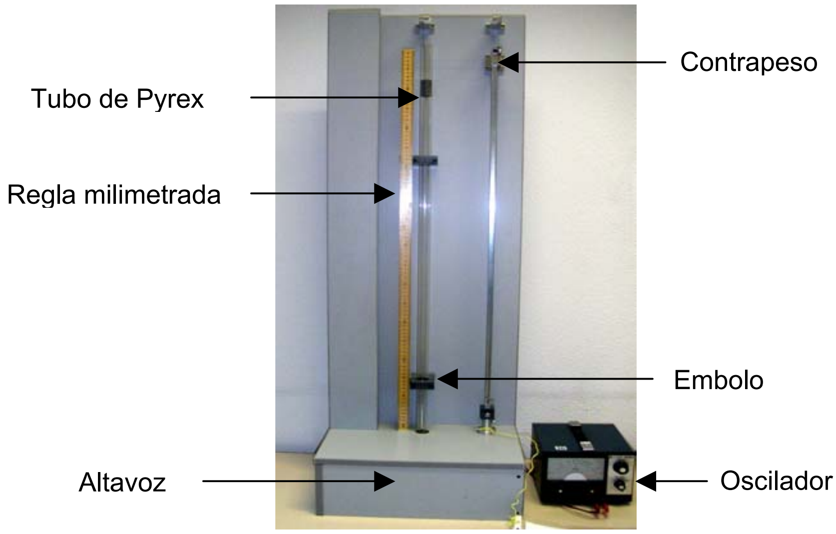
Fecha: 07/02/05

1. Objetivo de la práctica

Determinación de la velocidad del sonido (y la constante adiabática del aire) por medio de un tubo resonante.

2. Material

- Sistema resonante compuesto de:
  - · Tubo de Pyrex de ~23 mm de diámetro interior
  - · Embolo de PVC con contrapeso
  - · Regla milimetrada
  - · Altavoz tipo "woofer" con amplificador
- Oscilador electrónico de frecuencia variable



3. Teoría

Al producirse una vibración en el aire junto a la boca abierta de un tubo que tiene el otro extremo cerrado (similar a un tubo de órgano), las compresiones y dilataciones sonoras se propagan por el aire del tubo y al llegar al extremo cerrado se reflejan en sentido contrario; recuérdese que las ondas sonoras son *longitudinales*. La interferencia de las ondas acústicas directas y reflejadas puede producir ondas estacionarias, con *vientres* donde el aire vibra con máxima amplitud y *nodos* donde el aire no se mueve. Para que ocurra esta situación "resonante" la longitud del tubo debe cumplir ciertas condiciones. En nuestro montaje, para cerrar el extremo del tubo opuesto al altavoz se utiliza un émbolo, de modo que resulte fácil variar la longitud utilizable del tubo L. En el émbolo (que actúa como extremo cerrado) se tiene que formar un nodo, puesto que la última capa de aire, en contacto con el émbolo, no puede vibrar; por otra parte, en la boca abierta del tubo las capas de aire son libres de oscilar y se forma un vientre. Estas condiciones de contorno (véase la Fig. 1) sólo pueden darse cuando los nodos y los vientres intermedios dividen al tubo en un número impar de partes, cada una de longitud $\lambda/4$ (distancia vientre-nodo), siendo $\lambda = v/\nu$ la longitud de onda de las ondas sonoras (v es la velocidad del sonido en el aire y ν la frecuencia del mismo). Por tanto, si L es la longitud de la columna de aire (del tubo) en la que ocurren las ondas estacionarias, vendrá dada por:

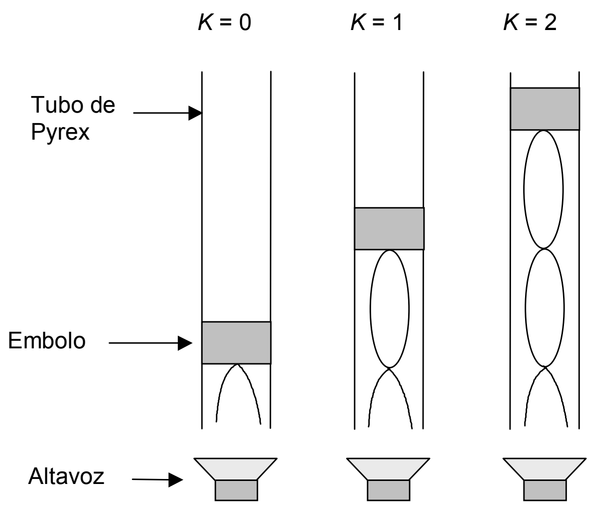


Fig. 1. Modos propios de resonancia del tubo para K = 0, 1, 2.

$$L = (2K+1)\frac{\lambda}{4} = (2K+1)\frac{v}{4\nu}; \qquad K = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots \tag{1}$$

Es decir, la velocidad de las ondas sonoras será:

$$v = \frac{4L\nu}{2K+1} \tag{2}$$

Este fenómeno de las ondas estacionarias que se acaba de describir, recibe el nombre de *resonancia*, porque ocurre cuando la frecuencia excitadora (del altavoz) coincide o resuena con alguna de las frecuencias ν dadas por la fórmula anterior (*frecuencias propias* del tubo). Cuando ocurre una resonancia, la intensidad del sonido aumenta considerablemente y se puede medir la longitud L correspondiente al máximo de intensidad. Como la propagación es a lo largo del eje del tubo, se trata de ondas estacionarias en una dimensión y sólo aparece un número modal o cuántico K. Sin embargo, esto no es totalmente riguroso, porque en el extremo abierto el sonido empieza a propagarse en todas direcciones. La influencia de este "efecto del borde" del tubo es tanto menor cuanto mayor sea L en comparación con el radio R del tubo. El cálculo detallado indica que hay que substituir la longitud medida del tubo por una longitud efectiva L_{ef} dada por:

$$L_{ef} = L + 0{,}6\cdot R \tag{3}$$

4 Método experimental

1) Poniendo el oscilador en una frecuencia de 2000 Hz, se mide la longitud del tubo correspondiente a cada máximo de intensidad, anotando dicha longitud y el orden (K) que le corresponde (la Tabla 1 puede ayudar para las anotaciones). Nótese que el cero de la regla debe estar colocado $0{,}6\cdot R \cong 8$ mm por debajo del extremo inferior del tubo; de este modo la medida que se toma ya lleva incluido el efecto de borde. De acuerdo con la Fig. 1, el orden fundamental definido por $K = 0$, corresponde con la posición del émbolo más próxima al altavoz.
2) Se representa el valor de L_{ef} en función de $(2K+1)$; de acuerdo con la fórmula (1), la nube de puntos debe definir una recta de pendiente $pend = v/(4\nu)$. Por tanto, determinando el valor de *pend* en la gráfica, primero visualmente y después por mínimos cuadrados, se obtiene el valor de v y su error.

3) Se repite el procedimeinto anterior poniendo el oscilador sucesivamente en las frecuencias de 1500 Hz y 1000 Hz.
4) Debido a que las expansiones y compresiones que produce la onda acústica en el aire son muy rápidas, el proceso se puede considerar aproximadamente adiabático. Entonces la velocidad del sonido en el aire viene dada por la expresión (véanse las referencias):

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}} \tag{4}$$

donde γ es el coeficiente adiabático del aire, R la constante de los gases ideales y M la masa molar del aire ($29{,}96 \pm 0{,}01$ g/mol), determínese el valor de γ a partir del valor de la v promedio de todos los valores obtenidos. Evalúese el error en este valor de γ. Compárense estos resultados con los que haya obtenido algún compañero que haya hecho la práctica de la "expansión adiabática" en la que también se determina γ.

Bibliografía

1 Alonso M. y Finn E. J., "Física" Vol. I, Ed. Addison-Wesley Iberoamericana (1986).

2 Sears F. y Zemansky M., "Física General", Ed. Aguilar (1981).

3 Feynman, "Física", Ed. Fondo Educativo Interamericano, S. A. (1971).

Tabla 1. Longitudes efectivas de resonancia para cada modo a 3 frecuencias
(Precis. regla: ± mm; Precis. oscilador: ± Hz)

		Frecuencia (Hz)		
Orden		2000± Hz	1500± Hz	1000± Hz
K	$2K$+1	$L_{ef} \pm \Delta L_{ef}$ (m)	$L_{ef} \pm \Delta L_{ef}$ (m)	$L_{ef} \pm \Delta L_{ef}$ (m)
0	1			
1	3			
2	5			
3	7			
4	9			
5	11			
6	13			
7	15			
8	17			
9	19			
10	21			
11	23			