



Experimento 2: Ondas Estacionarias de Sonido

Objetivo:

Estudiar ondas estacionarias de sonido en un tubo cilíndrico, el "Tubo de Kundt".

Materiales:

- Generador de señales
- Parlante
- Micrófono
- Osciloscopio
- Tubo de acrílico
- Regla

Introducción:

La oscilación longitudinal local de las moléculas de aire en el interior de un tubo de largo L en el cuál existen ondas estacionarias de sonido, está descrita por:

$$y_n(x, t) = A \sin(k_n x) \cdot \sin(\omega_n t + \phi) \quad (1)$$

siendo $n = 1, 2, 3, \dots$ el número que define el modo normal de oscilación. El número de onda k_n dado por

$$k_n = \frac{2\pi}{\lambda_n} \quad (2)$$

donde λ_n es la longitud de onda correspondiente. La frecuencia angular ω_n está dada por la relación de dispersión

$$\omega_n = 2\pi\nu_n = k_n v_s \quad (3)$$

siendo ν_n la frecuencia de oscilación y v_s la velocidad de propagación de la onda acústica, la velocidad del sonido.

En el caso de un tubo de largo L con ambos extremos abiertos o cerrados, las longitudes de onda correspondientes a ondas estacionarias en el tubo satisfacen aproximadamente la condición

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (4)$$

En el caso en que el tubo tenga solo un extremo cerrado, se cumple aproximadamente que

$$\lambda_n = \frac{4L}{2n - 1} \quad (5)$$

De la relación de dispersión resulta que

$$v_s = \frac{\omega_n}{k_n} = \lambda_n \cdot \nu_n \quad (6)$$

La velocidad de propagación del sonido en un gas ideal está dada por

$$v_s = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \quad (7)$$

siendo γ el índice adiabático, p la presión en el medio y ρ la densidad del medio.

Montaje Experimental:

El Tubo de Kundt consiste en un tubo acrílico, que posee un parlante en uno de sus extremos, que actúa como generador de onda de sonido. En el interior del tubo se ubica un micrófono pequeño que permite monitorear la onda acústica en función de la posición, como muestra la figura 1. El pistón móvil permite cambiar el largo L del tubo. El parlante se conecta a un

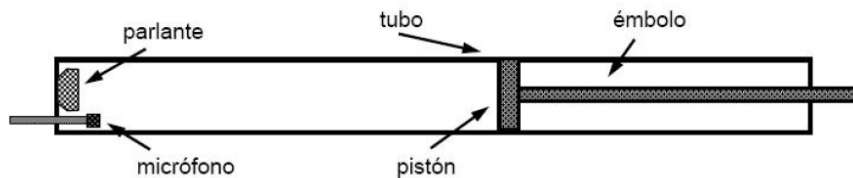


Figura 1: Tubo de Kundt

generador de funciones para producir la onda acústica. El micrófono es un transductor de presión, por lo que la amplitud de la señal de medida corresponde a la variación local de presión que experimenta el aire ante la propagación de la onda acústica. Este se conecta a un osciloscopio, lo que permite medir tanto la amplitud como la frecuencia de la onda acústica en el interior del tubo, como se muestra en la figura 2.

Procedimiento Experimental:

1. Conecte el micrófono al osciloscopio y el parlante al generador de señales.

IMPORTANTE: NO CONECTAR EL MICRÓFONO AL GENERADOR DE SEÑALES. AL HACERLO ESTE SE QUEMA.

2. Encienda el osciloscopio y seleccione una escala temporal del orden de $5ms/div$ y una sensibilidad del orden de $5mV/div$.
3. Encienda el generador de señal y seleccione una frecuencia del orden de $2kHz$.

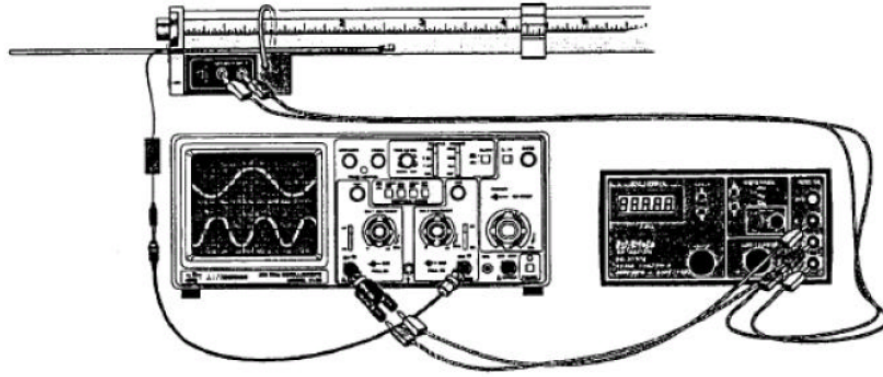


Figura 2: Montaje experimental

4. Posicione el pistón en la parte central del tubo y ajuste la amplitud de la señal y frecuencia, de modo que se aprecie claramente la señal armónica en la pantalla del osciloscopio. Este ajuste preliminar permite definir el rango operacional de parámetros del experimento.
5. Para distintos valores fijos de la frecuencia determine los largos efectivos correspondientes a ondas estacionarias de sonido en el interior del tubo, identificando, si es posible, el modo correspondiente.
6. Para distintos largos fijos efectivos del tubo determine las frecuencias correspondientes a ondas estacionarias, identificando, si es posible, el modo n correspondiente.
7. Repita el punto 6 sacando el pistón completamente.
8. A partir de los datos obtenidos, obtenga una medición de velocidad de fase del sonido en el aire en el interior del tubo, y compare el valor obtenido con el que predice la ecuación 7.
9. En el caso de ondas estacionarias obtenidas con el largo total del tubo, con extremo abierto y cerrado compare con lo que predicen las ecuaciones 4 y 5.
10. Discuta y explique posibles variaciones a la forma sinusoidal de la señal acústica que aparecen en determinados rangos de frecuencias.

Al visualizar la presencia de máximos y mínimos de la onda estacionaria usando como referencia la señal acústica detectada por el micrófono es importante notar que el micrófono detecta la presión asociada a la onda acústica. Así, si la amplitud de oscilación de las moléculas de aire en caso de una onda acústica sinusoidal está dada por

$$s(x, t) = s_0 \sin(kx - \omega t) \quad (8)$$

la expresión correspondiente para la presión asociada a la onda acústica está dada por

$$p(x, t) = P_0 + P_{max} \sin(kx - \omega t - \pi/2) \quad (9)$$

donde P_0 es la presión del medio gaseoso, en este caso aire, y $P_{max} = \rho v^2 k s_0 = 2\pi \rho v s_0$ es la presión local máxima asociada a la propagación de la onda acústica.

Al comparar las expresiones 8 y 9 se advierte que la onda de presión detectada por el micrófono tiene una diferencia de fase $\pi/2$ con respecto a la amplitud de oscilación de las moléculas del aire.

11. Para poder realizar análisis cuantitativos de sus datos experimentales, es importante que previo al laboratorio se informe sobre valores característicos de γ , p y ρ para el aire.

Experimentos Adicionales:

Usando materiales asociados a los montajes previos, y algunos recursos extra disponibles en el laboratorio, usted podría estudiar:

1. Modos normales y análisis de Fourier.

Usted podría estudiar la formación de modos normales usando como señal de entrada en el parlante una señal NO sinusoidal (como una rampa triangular u onda cuadrada).

2. Influencia de la temperatura en la formación de ondas estacionarias.

Usando distintos medios para cambiar la temperatura del gas al interior de la cavidad (por ejemplo, un secador de pelo para calentar, o nitrógeno líquido para enfriar), usted puede estudiar las diferencias que se producen en las ondas estacionarias por las variaciones en temperatura.

3. Influencia del gas en la formación de ondas estacionarias.

Si usted llena la cavidad con un gas distinto al aire (como alcohol u otro), usted puede estudiar las diferencias que se producen en las ondas estacionarias por la composición de dichos gases.

Para los casos sugeridos, tome en cuenta que si considera el aire como gas ideal, la velocidad de propagación del sonido está dada por

$$v_s = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{\gamma k_B T}{m}} \quad (10)$$

donde γ es el índice adiabático, R es la constante de los gases, M la masa molar, m la masa molecular, k_B la constante de Boltzmann, y T la temperatura.

En esta sección, usted debe elegir al menos uno de estos fenómenos para estudiar. Debe registrar en su bitácora lo que está analizando, cómo lo hace, los inconvenientes y resultados obtenidos, análisis, etc. Si usted se le ocurre algo interesante de medir, dentro del contexto del tema en estudio, puede agregarlo a la lista de "Experimentos Adicionales".