TP 2: Tubo de Kundt

Caorsi Juan Ignacio, jcaorsi@itba.edu.ar
Dib Ian, idib@itba.edu.ar
Moschini Rita, rmoschini@itba.edu.ar
Tamagnini Ana, atamagnini@itba.edu.ar

Grupo 4 - 15/04/2025

1. ¿El micrófono mide variaciones de presión o desplazamientos del aire?

En una onda estacionaria longitudinal, las regiones donde las partículas de aire no se mueven (nodos de desplazamiento) coinciden con aquellas donde la presión fluctúa con mayor intensidad (antinodos de presión). Esto se debe a que, cuando las partículas no pueden desplazarse, cualquier compresión o expansión de las regiones adyacentes se manifiesta como una variación más intensa de presión en ese punto. Esto es lo que ocurre en los extremos del tubo, puesto que, como se mantienen cerrados, el aire en ellos no puede seguir desplazándose.

Al ubicar el micrófono en uno de los extremos del tubo, la señal registrada por el osciloscopio no se anuló, independientemente de la frecuencia generada. Esto sugiere que el micrófono mide variaciones de presión y no desplazamientos del aire.

Dado que la onda estudiada es de presión, consideramos a los extremos del tubo como libres puesto que en ellos siempre hay antinodos de presión. Sin embargo, es importante notar que el modelo estudiado es válido solo si la vibración de la membrana del parlante es de pequeña amplitud y si la deformación del micrófono ante la onda es despreciable, como se aclara en la guía de laboratorio.

Dado que en las secciones siguientes se debe trabajar con las frecuencias f_n asociadas a cada armónico n y con la amplitud de las señales generadas, se ubica el micrófono en uno de los extremos del tubo. Al ser un antinodo de presión, la amplitud registrada por el osciloscopio es máxima en cada armónico y facilita el registro de datos en los pasos siguientes del experimento.

2. Determine la frecuencia del modo fundamental y la frecuencia de los siguientes tres armónicos.

La frecuencia f_n del armónico n está dado por la expresión:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \tag{1}$$

siendo v la velocidad del sonido en el tubo y λ_n la longitud de onda correspondiente al armónico n, dado, a su vez, por:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \tag{2}$$

siendo L la longitud del tubo y n el número de armónico. Juntando ambas expresiones, se obtiene:

$$f_n = n \cdot \frac{v}{2L} \tag{3}$$

Dado que a temperatura ambiente vale la aproximación $v_{sonido} \simeq 330m/s$ y sabiendo que $L = 0,5m$, la frecuencia fundamental puede estimarse como

$$f_1 = \frac{330m/s}{2 \cdot 0,5m} \simeq 330Hz$$

Partiendo de este valor y de la relación $f_n = n \cdot f_1$, se estimaron los valores teóricos de las frecuencias f_n para los primeros cuatro armónicos.

La amplitud de la señal es máxima en las frecuencias f_n. En los valores cercanos la amplitud disminuye, y vuelve a aumentar a medida que el valor de la frecuencia se aproxima a la del siguiente armónico. Siguiendo este principio, para hallar los valores experimentales de los f_n, se partió de las frecuencias estimadas teóricamente y se las fue variando mediante el generador de señales hasta visualizar desde el osciloscopio que la amplitud fuera máxima.

Los datos obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Frecuencias	Estimaciones teóricas (Hz)	Valores Experimentales (Hz)
f_1	330	346
f_2	660	666
f_3	990	960
f_4	1320	1177

Tabla 1: Estimaciones teóricas y valores experimentales de las frecuencias f_n asociadas a cada armónico n.

Como se puede observar en la tabla 1, los valores experimentales difieren de las estimaciones teóricas. Esto se debe a que el tubo no es ideal, llegando incluso a escucharse el sonido del parlante, lo que implica que el sistema pierde energía.

3. Halle la velocidad del sonido dentro del tubo.

A partir de la ecuación 3, la velocidad del sonido en el tubo v asociada a cada armónico n puede despejarse como

$$v_n = \frac{2L \cdot f_n}{n} \tag{4}$$

Realizando el cálculo para cada valor experimental de f_n obtenido en la sección anterior y agrupando los resultados en una tabla, se tiene:

f_n	$v_n(m/s)$
f_1	346
f_2	333
f_3	320
f_4	294

Tabla 2: Velocidad del sonido en el tubo para cada frecuencia f_n de la tabla 1.

En consecuencia, la velocidad del sonido en el tubo puede calcularse como el promedio de las v_n de la tabla anterior:

$$\overline{v} \simeq 323m/s$$

siendo esta una buena aproximación del valor teórico de la velocidad del sonido a temperatura ambiente $v_{sonido} \simeq 330m/s$.

Por otro lado, volviendo a la ecuación 4, de la relación $f_n = n \cdot f_1$ resulta la expresión

$$v_n = \frac{2L \cdot n \cdot f_1}{n} \iff$$

$$v_n = 2L \cdot f_1$$

donde puede apreciarse que la velocidad del sonido en el tubo es independiente del número de armónico n. Las discrepancias entre las velocidades v_n se deben a los errores experimentales en las mediciones de las frecuencias f_n.

4. Midan el factor de calidad correspondiente a todos los armónicos registrados.

Se comenzó trabajando sobre la señal observada en el osciloscopio, que presentaba dos líneas horizontales superpuestas a la onda. Se colocó una de ellas a la mitad de la amplitud de la señal y no se la volvió a modificar. La otra línea se ajustó para que coincidiera con el máximo de la onda en la frecuencia correspondiente al armónico n.

A continuación, se registró el voltaje mostrado por el osciloscopio en ese punto, llamándolo $V_{\max}$ asociado al armónico n. Luego se calculó el valor $V_{\max}/\sqrt{2}$ y se modificó la posición de la línea superior hasta que el valor indicado en pantalla coincidiera con este nuevo valor.

Con el micrófono fijo y manteniendo la onda en el armónico n, se varió manualmente la frecuencia aumentando y disminuyendo su valor, utilizando la perilla del generador. En ambos casos, se buscó el punto en el que la amplitud de la señal disminuía hasta tocar apenas la línea correspondiente a $V_{\max}/\sqrt{2}$. Las frecuencias en las que esto ocurría se anotaron como f^- (al disminuir la frecuencia) y f^+ (al aumentarla).

Finalmente, se calculó el factor de calidad Q para cada armónico mediante la fórmula:

$$Q = \frac{f_n}{f^+ - f^-}$$

donde f_n es la frecuencia central del armónico n, y f^+, f^- son las frecuencias en las que la amplitud de la señal alcanzaba $V_{\max}/\sqrt{2}$.

Esto se repitió para cada uno de los cuatro armónicos encontrados en las secciones anteriores. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Armónicos	$V_{\max}(mV)$	$V_{\max}/\sqrt{2}(mV)$	f^+ (Hz)	f^- (Hz)	Q
f_1	160	113	357	337	17
f_2	300	212	673	659	48
f_3	212	150	980	945	27
f_4	200	140	1249	1090	7

Tabla 3: Mediciones del ancho de banda correspondiente a cada armónico n y cálculo del factor de calidad Q asociado.

Si bien las mediciones estuvieron sujetas a un importante margen de error —tanto por las limitaciones del equipo como por la dificultad de ajustar con precisión las frecuencias—, los valores obtenidos son razonables.

El factor de calidad Q no depende únicamente de la frecuencia, sino también de las características particulares de cada resonancia. En consecuencia, no hay una relación fija entre los factores de calidad correspondientes a distintos armónicos.