<u>**LABORATORIO DE ONDAS Y FLUIDOS 2016-20**</u>

ONDAS MECÁNICAS DE SONIDO EN EL AIRE

José Restom y Paula Ordóñez
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

7 de octubre de 2016

Resumen

Se realizó un experimento en el cual se pretendía analizar el sonido como onda y analizarlo. Para esto se requirió un montaje sencillo que constaba de una probeta llena de agua, un tubo PVC, un generador de ondas, un osciloscopio y un parlante. Se varió de frecuencias y se intentaba escuchar donde estaban los antinodos que era el lugar donde se amplificaba el sonido. Los resultados arrojaron un gran error por lo que posiblemente el método no es el más adecuado para analizar el sonido.

1. Objetivos

- Estudiar y aplicar métodos para estudiar ondas mecánicas.
- Analizar cómo la frecuencia afecta la longitud de onda.
- Estudiar el comportamiento del sonido.

2. Marco Teórico

Las ondas de sonido entran al tubo de la siguiente manera:

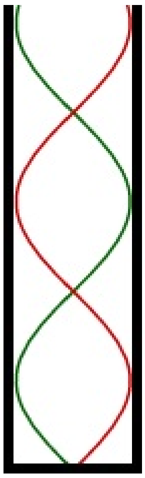

Figura 1: Ondas de sonido en el tubo

La onda de sonido observada tiene forma cosenoidal, por lo tanto esta será la función que describe la onda.

$$y(x,t) = cos(k_n x - \omega_n - \phi)$$

donde ϕ es el desface que existe entre las ondas que en la guía es representado como β_n. Por definición se sabe que:

$$P_a(x,t) = \sum_n^\infty P_{an}(x,t)$$

Lo anterior es una serie de Fourier que puede ser expresada como:

$$P_a(x,t) = \tfrac{1}{2}A_n + \sum_n^\infty A_n sin(kx - \omega t - \phi) + \sum_n^\infty B_n cos(kx - \omega t - \phi)$$

Basados en el análisis inicialmente hecho, la función seno no describe la onda, por lo cual, no se tiene en cuenta.

$$P_a(x,t) = B_n cos(k_n x - \omega_n t - \phi)$$

En este caso se va a tomar $A = k_n x$ y $B = \omega_n t - \phi$. Por propiedades de coseno se sabe que:

$$cos(A - B) = cosAcosB + sinAsinB$$

nuevamente no se tiene en cuenta el seno porque no describe la onda y se tiene que:

$$P_a(x,t) = B_n cos(k_n x)cos(\omega_n t - \phi) \qquad (1)$$

Se sabe que k_n es el número de onda que se define como:

$$k_n = \tfrac{2\pi}{\lambda_n}$$

Se debe tener en cuenta la longitud de onda de la frecuencia fundamental que para este caso está definida como $\lambda = 4L$ y que para n modos se define como $\lambda_n = \frac{4L}{n}$. Esto se reemplaza en la ecuación anterior y se obtiene:

$$k_n = \frac{2\pi}{\frac{4L}{n}} = \frac{2n\pi}{4L} = \frac{n\pi}{2L} \qquad (2)$$

Por definición se conoce que $V_s = \lambda_n f$, $\lambda_n = \frac{2\pi}{k_n}$ y que $f = \frac{\omega}{2\pi}$

$$V_s = \tfrac{2\pi}{k_n}\tfrac{\omega}{2\pi}$$

$$V_s = \tfrac{\omega_n}{k_n}$$

por lo tanto,

$$V_s k_n = \omega_n \qquad (3)$$

Para el siguiente caso se debe tener en cuenta que $V_n = f$, es decir, ésta es la frecuencia.

$$V_n = \frac{V_s}{\lambda_n} \tag{4}$$

Se reemplazan datos ya conocidos

$$V_n = \frac{V_s}{\frac{4L}{n}} \rightarrow V_n = \frac{nV_s}{4L} \tag{5}$$

3. Análisis cualitativo

¿Por qué escucha el sonido amplificado para una longitud neta del tubo?
Porque la onda de sonido que entra al tubo lo recorre forma cosenoidal como en la Figura 1; donde hay unos máximos y unos mínimos dependiendo de la longitud. En el caso del sonido amplificado es porque en esa longitud específica hay un máximo.

Qué representa el máximo de sonido desde el punto de vista de una onda estacionaria de presión?
Desde el punto de vista de de una onda estacionaria de presión, el máximo de ese sonido representa donde la Amplitud de la onda es máxima y por tanto, la presión también lo es.

¿Cómo son esas longitudes entre máximos?
Las longitudes entre máximos son periódicas, es decir, los máximos se encuentran cada cierta distancia que siempre es igual.

Por qué escucha pocos máximos de sonido cuando la frecuencia es baja en comparación con una frecuencia alta?
Se sabe que $\lambda = V_s \cdot f$, en este caso la velocidad es constante y la longitud de onda es directamente proporcional a la frecuencia. Por lo tanto al haber menor frecuencia hay menor longitud de onda y de este manera hay menos máximos y mínimos. Por esta razón se escuchan pocos máximos de sonidos en frecuencias bajas.

¿Qué diferencias encuentra con respecto a los modos normales en la cuerda en el Experimento 6?
En este caso, los modos dependen de la frecuencia y no de longitud como pasaba en el experimento 6. Es decir, acá los modos normales dependen de la frecuencia y en la cuerda dependían de la longitud o de la tensión.

4. Análisis cuantitativo

Los datos obtenidos en la práctica fueron:
Acá se presenta la Longitud en metros de cada antinodo escuchado y la frecuencia en Hertz; la longitud que que se presenta corresponde a la resta de la longitud total del tubo y la longitud sumergida.

f	1	3	5	7	9	11
224	0.38	0.28	0.19	0.12		
819.7	0.4	0.29	0.16	0.05		
1389	0.39	0.3	0.21	0.12		
1900	0.38	0.275	0.16	0.04		
2320	0.43	0.335	0.245	0.165	0.07	
2703	0.43	0.335	0.27	0.21	0.14	0.06

Cuadro 1: Resultados experimentales

4.1. Cálculo de longitud de onda

4.1.1. Velocidad del sonido

Para este caso se debe tener en cuenta la velocidad teórica del sonido de acuerdo a la temperatura del laboratorio. Para esto se debe tener en cuenta:

$$V_n = V_s$$

y que

$$V_s(T) = V_s(0°) + 0{,}6T$$

Se sabe que la velocidad del sonido a cero grados es $331{,}5\frac{m}{s}$. Para este caso se sabía que el laboratorio estaba a $21°C$ y se tiene que:

$$V_s(T) = 341{,}5\tfrac{m}{s} + 0{,}6(21)$$

$$\boxed{V_s(T) = 354{,}1\tfrac{m}{s}}$$

4.1.2. Velocidad experimental

Para este caso se toman los datos obtenidos en laboratorio y se usa la siguiente fórmula:

$$\tfrac{\lambda_n}{4} = \tfrac{L}{n}$$

$$\lambda_n = \tfrac{4L}{n}$$

Para la veloocidad se debe tener en cuenta que:

$$V = \lambda \cdot f$$

FRECUENCIA DE 224 Hz

L (m)	n	$\lambda(m)$	$V(\frac{m}{s})$
0.38	1	1.52	340.48
0.28	3	0.37	83.62
0.19	5	0.152	34.048
0.12	7	0.068	15.232
	Promedio	0.5272	118.37

Cuadro 2: Longitud de onda y velocidad para la frecuencia 1

ERROR

Para el error se debe tener en cuenta que:

$$E\% = \frac{Teorico - Experimental}{Teorico} \cdot 100$$

$$E\% = 66{,}57\,\%$$

FRECUENCIA DE 819.7 Hz

L (m)	n	$\lambda(m)$	$V(\frac{m}{s})$
0.4	1	1.6	1311.52
0.29	3	0.386	316. 95
0.16	5	0.128	104.92
0.05	7	0.028	23.42
	Promedio	0.5355	439.20

Cuadro 3: Longitud de onda y velocidad para a frecuencia 2

ERROR

Se usa la ecuación ya mencionada y se obtiene que:

$$E\% = 24{,}03n\,\%$$

FRECUENCIA DE 1389 Hz

L (m)	n	$\lambda(m)$	$V(\frac{m}{s})$
0.39	1	1.56	2166.84
0.3	3	0.4	555. 6
0.21	5	0.168	233.352
0.12	7	0.068	95.25
	Promedio	0.549	762.76

Cuadro 4: Longitud de onda y velocidad para la frecuencia 3

ERROR

$$E\% = 115{,}4\,\%$$

FRECUENCIA DE 1900 Hz

L (m)	n	$\lambda(m)$	$V(\frac{m}{s})$
0.38	1	1.52	2888
0.275	3	0.36	696.66
0.16	5	0.128	243.2
0.04	7	0.022	43.43
	Promedio	0.51	967.82

Cuadro 5: Longitud de onda y velocidad para la frecuencia 4

ERROR

$$E\% = 173{,}32\,\%$$

FRECUENCIA DE 2320 Hz

L (m)	n	$\lambda(m)$	$V(\frac{m}{s})$
0.43	1	1.72	3990.4
0.335	3	0.446	1036.27
0.245	5	0.196	454.72
0.165	7	0.094	218.74
0.07	9	0.031	72.17
	Promedio	0.4974	1154.45

Cuadro 6: Longitud de onda y velocidad para la frecuencia 5

ERROR

$$E\% = 226\,\%$$

FRECUENCIA DE 2703 Hz

L (m)	n	$\lambda(m)$	$V(\frac{m}{s})$
0.43	1	1.72	4649.16
0.335	3	0.45	1207.34
0.27	5	0.216	583.848
0.21	7	0.12	324.36
0.14	9	0.062	168.19
0.06	0.022	58.97	
	Promedio	1165.53	

Cuadro 7: Longitud de onda y velocidad para a frecuencia 6

ERROR

$$E\% = 229{,}15\,\%$$

ERROR TOTAL

Se calcula el promedio de velocidad entre las frecuencias que es igual a $7767{,}98\frac{m}{s}$ y se calcula el error con la fórmula mencionada. Se obtiene que:

$$E\% = 111{,}32\,\%$$

5. Conclusiones

- El error fue alto porque posiblemente algunas ondas de sonido se transmitían en el agua; esto también se pudo dar por error humano al identificar los máximos. Otra posible interpretación del error es que el orden en que se tomaron los modos normales no es el correcto.

- Debido al error obtenido este no es un buen método para estudiar las ondas de sonido.

- Al comparar con el experimento anterior se concluye que las ondas mecánicas presentan diferencias dependiendo del método por el que se estudien.

- El error pudo darse por mediciones, en este caso incertidumbre del osciloscopio y el metro; la longitud también pudo presentar error debido a que la luz se transmite de manera diferente en el agua y se puede observar mal al medir esta longitud.