

# Ondas acústicas estacionarias

F.Buezas\* – G.Capobianco\*\*

Dpto de Física. Universidad Nacional del Sur (Alem 1253)

8000 Bahía Blanca

\* dbuezas@ba.net \*\* capobian@criba.edu.ar

**El objetivo del experimento es realizar un estudio de ondas sonoras estacionarias en diferentes sistemas, tubos y cajas prismáticas. Se estudian las resonancias en estos sistemas. Se determina la velocidad del sonido a partir de estas mediciones. Estudios de ondas estacionarias en una caja en tubos de distintas dimensiones y en una botella.**

## Introducción

En este experimento realizaremos un estudio de ondas acústicas en diversos tipos de geometría. Estudiaremos las frecuencias de resonancias de estos sistemas. Con esto también calcularemos la velocidad del sonido.

El dispositivo a utilizar consiste en un emisor acústico (parlante o audífono) conectado a un generador de funciones, (que puede emitir sonidos puros, es decir ondas armónicas que pueden variarse en un amplio rango de frecuencias) y un receptor acústico (micrófono) que está conectado a un osciloscopio junto con el emisor como se muestra en la figura 1. De esta forma podemos medir la respuesta del sistema a un cierto estímulo producido por el generador de funciones.

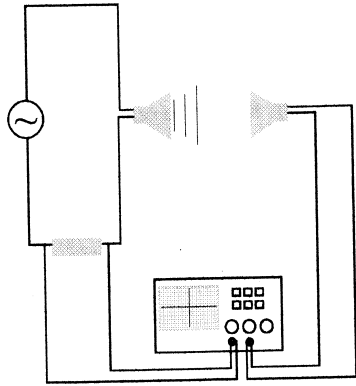


Figura 1: Diagrama del circuito utilizado. El equipo de la parte inferior del dibujo es el osciloscopio, en la parte superior izquierda está el generador de funciones. El par emisor receptor está en la parte superior del dibujo

El primer experimento que vamos a realizar es encontrar las frecuencias de resonancia en 3 tubos de diferentes dimensiones. Para esto

disponemos de un emisor acústico dispuesto como indica la figura 2.

Utilizando este mismo dispositivo también vamos a determinar las frecuencias de resonancias de una caja de madera y de una botella de vidrio.

Para estudiar los modos normales en una caja de madera, veamos primero las frecuencias para las cuales el sistema debería resonar. Si las dimensiones de la caja son  $a$ ,  $b$  y  $c$ , la onda estacionaria sería de la forma:

$$\psi = A \sin\left(\frac{2\pi}{a}nx\right) \sin\left(\frac{2\pi}{b}ny\right) \sin\left(\frac{2\pi}{c}nz\right) e^{i\omega t} \quad (1)$$

Por lo tanto

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = -\left(\frac{2\pi}{a}\right)^2 \psi \quad (2)$$

Análogamente

$$\nabla^2 \psi = -\left(\frac{n_1^2}{a^2} + \frac{n_2^2}{b^2} + \frac{n_3^2}{c^2}\right) \psi = -k^2 \psi \quad (3)$$

Por otro lado

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = -\omega^2 \psi \quad (4)$$

De (3) y de (4):

$$\nabla^2 \psi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \quad (5)$$

Teniendo en cuenta que  $\omega = 2\pi f = kc$ , las frecuencias de resonancia son:

$$f = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{n_1^2}{a^2} + \frac{n_2^2}{b^2} + \frac{n_3^2}{c^2}} \quad (6)$$

En la botella vamos a estudiar los resonadores de Helmholtz. Este modelo estudia el movimiento oscilatorio del aire contenido en el cuello de la botella estableciendo una analogía con el movimiento de una masa unida a un resorte. En este caso la constante  $k$  del resorte es reemplazada por las propiedades elásticas del aire contenido en la botella. Siguiendo este razonamiento se deduce que la frecuencia de oscilación debe ser:

$$\omega^2 = \frac{k}{m} = \frac{a^2 c^2}{vV} = \frac{(a/A)}{(c^2/LL)} \quad (7)$$

**Material empleado:**

- Osciloscopio
- Generador de ondas
- Par receptor y emisor de sonido (audífono y micrófono)
- 3 tubos de vidrio (con longitudes: grande 41.6 cm, mediano 34,8cm, chico 33.8)
- Botella de vidrio con cuello angosto.
- Caja de madera de dimensiones  $35 \times 17 \times 27$  cm

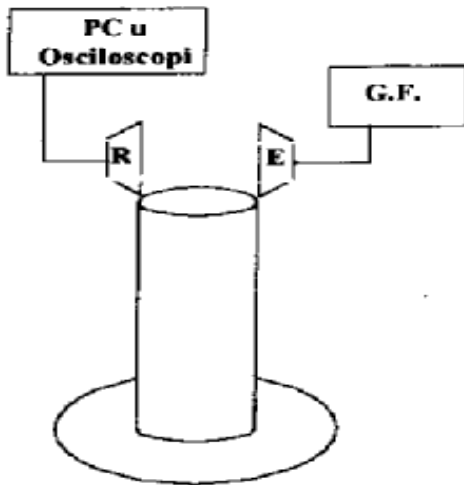


Figura 2: Dispositivo utilizado para estudiar las frecuencias de resonancia de un tubo

**Procedimiento**

**Velocidad del sonido:**

En primer lugar medimos las frecuencias de resonancia en diferentes tubos. El primer tubo que utilizamos era de 41,6 cm de altura.

Ubicamos el audífono y el micrófono como muestra la figura 2, y con el generador de ondas variamos la frecuencia de la onda en el emisor. De esta manera encontramos

las frecuencias en las cuales la amplitud en el micrófono era máxima, es decir las frecuencias a las cuales el tubo resonaba.

Para cada una de las frecuencias de resonancia, introdujimos el micrófono dentro del tubo, y variando su profundidad dentro del mismo tomamos los valores para los cuales la amplitud en el micrófono era máxima, y para los cuales era nula (es decir los nodos de la onda estacionaria). Ver figura 3. Esto solo pudimos hacerlo para los primeros modos normales, ya que para los de mayor orden no se distinguían los nodos. De esta forma podíamos entender en que tipo de nodo estábamos

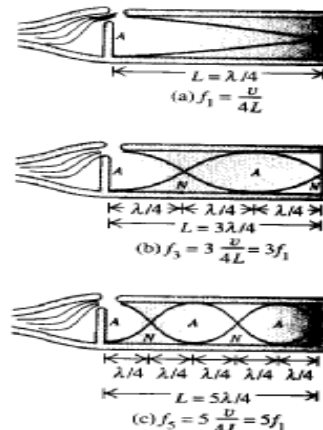


Figura 3: Corte seccional de un tubo tapado que muestra los primeros tres modos normales así como los nodos y antinodos de desplazamiento “solo son posibles armonicos impares.

se muestran en la Figura 3. Una vez entendido esto podemos saber cual es la

longitud de la onda ( $\lambda$ ). Como conocemos la frecuencia ( $f$ ), ya que la medimos con el osciloscopio, podemos encontrar la velocidad del sonido

$$v = f \cdot \lambda$$

que en el caso de los tubos es:

$$v = \frac{4lf}{2n+1} \quad (8)$$

donde  $l$  es el largo del tubo  $f$  la frecuencia y  $n$  el orden del modo normal

Para este caso encontramos, de la figura 4 en la que graficamos la frecuencia en función del orden de resonancia de modo normal

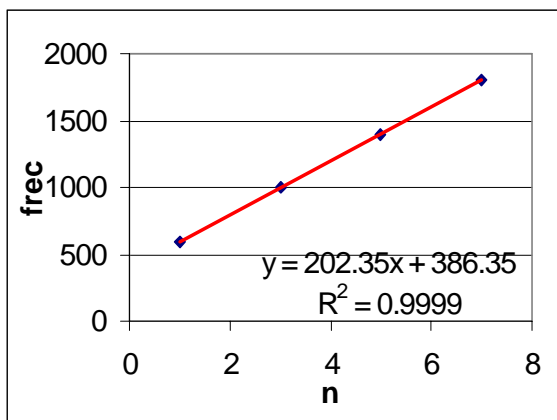


Figura 4: Frecuencias de resonancias del tubo grande (los puntos son los valores experimentales, la línea es la tendencia)

Usando la ecuación (8) calculamos:

$$v = (336 \pm 3) \text{ m/s}$$

Luego repetimos la experiencia para 2 tubos mas chicos y encontramos para estos (figuras 5 y 6)

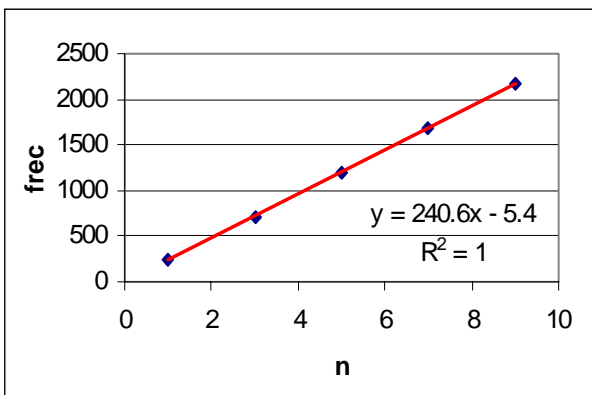


Figura 5 : Grafico de resonancias en función del modo normal en el tubo mediano

$$v = (334 \pm 2) \text{ m/s}$$

$$v = (347 \pm 4) \text{ m/s}$$

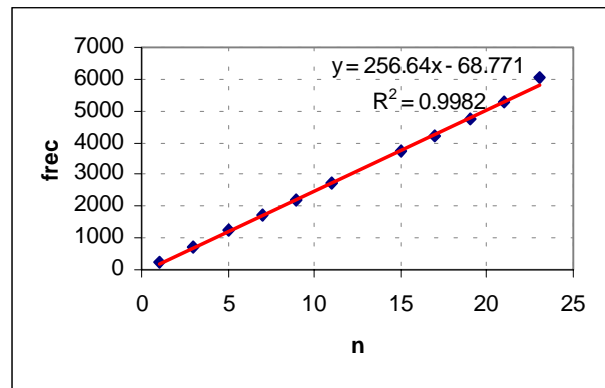


Figura 6 grafico de la frecuencia en función del orden del modo normal para el tubo chico

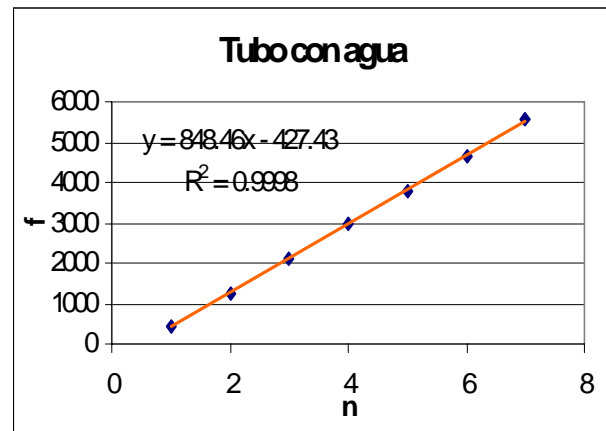


Figura 7: frecuencias vs orden de modos normales para el tubo chico con 130 ml de agua

Por otro lado llenamos los tubos con agua y repetimos la experiencia para diferentes niveles de agua. En este caso para el tubo chico, encontramos como aumentan los armónicos con la cantidad de agua

Para el cambio de la frecuencia con la cantidad de agua se puede ver el gráfico 11

## Modos de resonancia en una caja

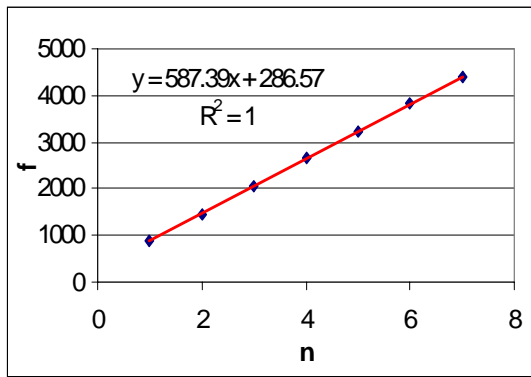


Figura 9: frecuencias vs orden de modos normales para el tubo chico con 50 ml de agua

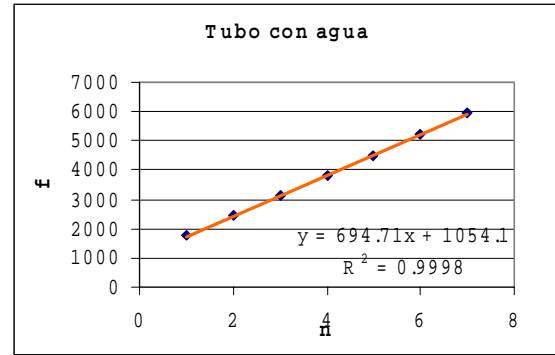


Figura 10: frecuencias vs orden de modos normales para el tubo chico con 90 ml de agua

Utilizamos una caja de madera, totalmente cerrada (solo tiene 2 orificios para el audífono y el micrófono), y estudiamos sus modos de resonancia. Por uno de sus orificios introducimos el parlante y enviamos ondas sonoras a determinadas frecuencias, mientras, que en el otro orificio introducimos el micrófono, para poder medir a qué frecuencias la caja resonaba. De esta forma pudimos comparar en dos gráficos (figura 12 y 13) los resultados teóricos que son las soluciones a la ecuación (6) y los medidos experimentalmente

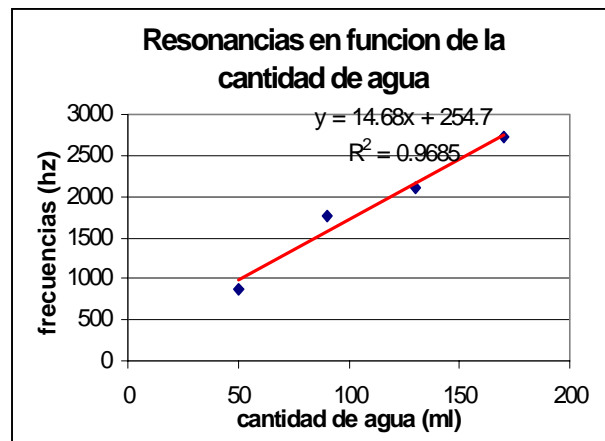


Figura 11: En este gráfico se puede ver la linealidad de el 3 modo para el tubo con distintas alturas de agua

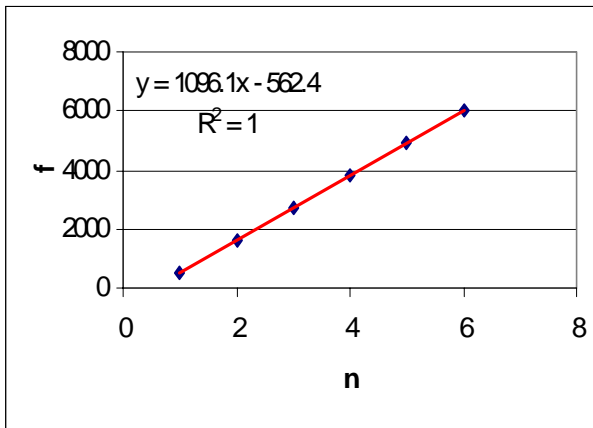


Figura 8: frecuencias vs orden de modos normales para el tubo chico con 170 ml de agua

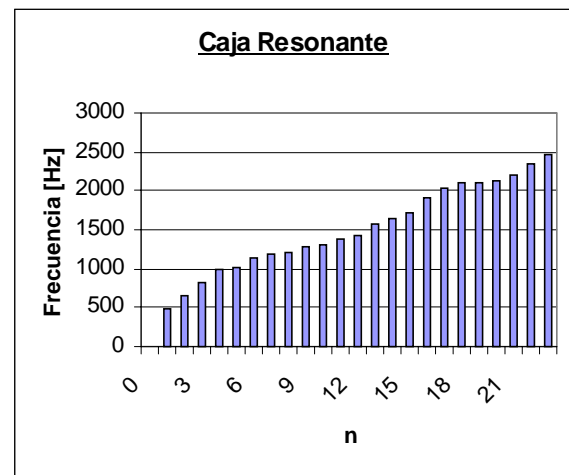


Figura 12: Soluciones de la ecuación 6 para una caja (frecuencias de resonancias)

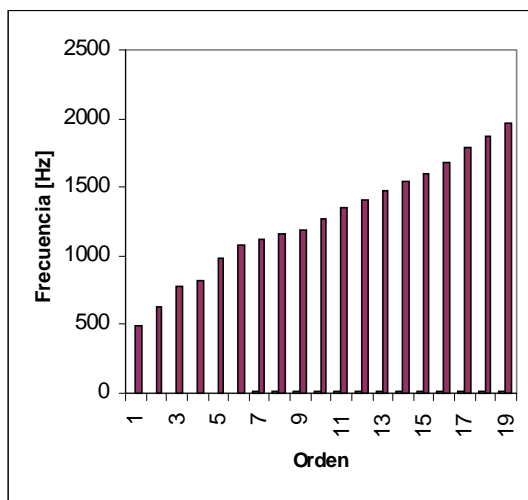


Figura 13: valores encontrados experimentalmente para la caja

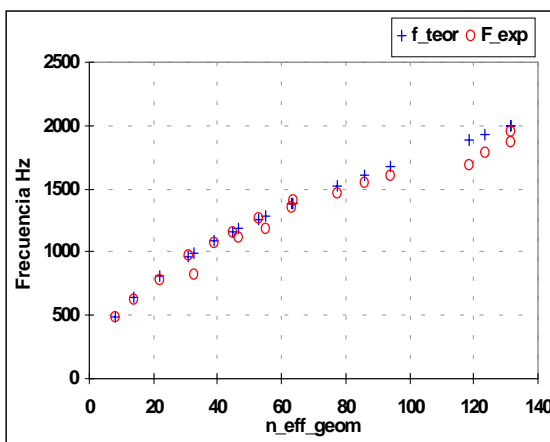


Figura 14: Grafico comparativo de la solución teórica y el resultado experimental. N eff es el orden efectivo de la solución

La figura 14 muestra la comparación de los dos resultados anteriores

### Resonadores de Helmholtz en una botella

Utilizando el dispositivo de la figura 2, cambiando el tubo por la botella, encontramos las frecuencias para las cuales la botella resonaba. En la figura 15 graficamos estos valores en función del orden.

### Conclusión

Los datos obtenidos experimentalmente de las frecuencias características o de

resonancias para el caso de tubos y caja prismática, concuerdan con los valores predichos por las teorías pertinentes (Fig.9, 10, 11 y 14), quedando colmadas nuestras expectativas. Los valores de la velocidad del sonido obtenidos a partir de estas mediciones concuerdan muy bien con los valores esperados o tabulados.

En la botella sería interesante estudiar la variación de las frecuencias de resonancias en función de un cierto nivel de agua dentro de la misma. Esto queda como propuesta para una próxima experiencia.

En la velocidad del sonido se puede notar para los primeros dos valores una concordancia que no se condice con el tercer valor, esto se deba probablemente a que este

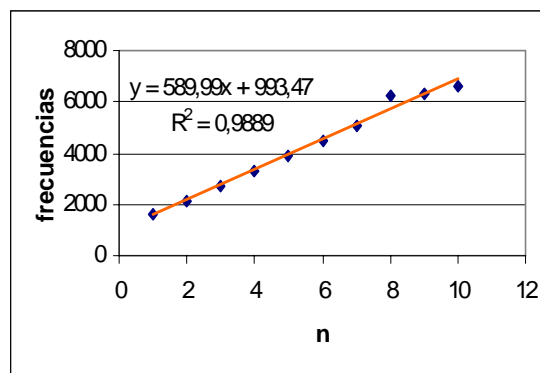


Figura 15: frecuencias de resonancias en función del orden

último valor fue tomado con un día de diferencia y las condiciones atmosféricas no son las mismas.

### Referencias:

- [1] Sears, Física universitaria, novena edición, Addison Wesley, vol 1 capítulo 20 página 620
- [2] Mark Silverman, *Musical Mastery of a Coke*, The Physics Teacher, vol 36, feb 1998
- [3] karshner, *Direct method of measuring the speed of sound*, Physics Teacher, vol 57, oct 1989
- [4] Armstrong, *An experiment on sound in an enclosure*, Physics Teacher, vol 51, nov 1983
- [5] Física re-Creativa - S.Gil y E. Rodríguez en [www.fisicarecreativa.com](http://www.fisicarecreativa.com)