

Ondas estacionarias en tubos

Por: Gustavo A. Castrillón
Ana María Correa Castrillón

Introducción

En el pasado diferentes tipos de tubos de materiales de bambú, caña o troncos huecos fueron usados para desarrollar diferentes instrumentos musicales. Estos producen sonido soplando por un extremo y haciendo que el aire dentro vibre y emita un sonido en particular.

Actualmente son las flautas de viento, las trompetas, los clarinetes, los saxofones y otros instrumentos conocidos como de viento, los cuales usan este principio de a partir del viento formar una amplia gama de frecuencias acústicas.

Por ejemplo el órgano, un instrumento compuesto por muchos tubos, cada uno de estos tubos genera una sola nota. Uno de estos órganos es el que se encuentra en La Sydney Opera House[1], el cual contiene 10500 tubos controlados por la acción de teclas y pedales.

Este instrumento tiene un funcionamiento en particular, consiste en excitar el tubo por medio de un aire a presión determinado por un extremo inferior. El chorro de aire interactúa con la columna de aire dentro del tubo, las ondas se propagan a lo largo de una corriente turbulenta y generan una oscilación uniforme haciendo que se genere un sonido particular.

Es debido a estos funcionamientos, que el estudio de las ondas dentro de un tubo puede llegar a ser algo importante y generar una unión entre la física y la música.

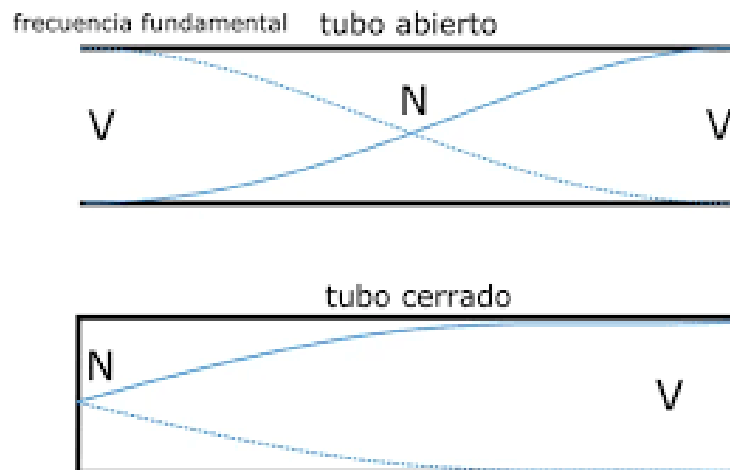
Comportamiento del fenómeno.

Cuando una corriente de aire entra en un tubo se produce una onda de sonido, esta onda puede ser descrita a partir del desplazamiento de las moléculas del aire o la variación de la presión dentro del tubo. Se producen ondas longitudinales que viajan en el interior del tubo y se reflejan o no dentro del tubo, esto en función del tipo de sistema que se posea. Cuando la onda se refleja, se genera de igual forma otra onda estacionaria[2].

Las ondas estacionarias al viajar dentro del tubo, producen algo conocidos como nodos y antinodos. Los nodos son puntos donde las moléculas de aire no se desplazan de su posición de equilibrio, mientras que los antinodos son puntos donde las moléculas de aire tienen su máximo desplazamiento delimitado por el ancho del tubo.

Como ya se mencionó anteriormente existen varios tipos de tubos por los cuales las ondas sonoras pueden viajar, estos son de tres tipos: abiertos, cerrados y semicerrados. Normalmente los tubos presentan una forma cilíndrica y son, a partir de la posesión de tapas que los podemos definir, por ejemplo: los tubos abiertos son aquellos cilindros que no poseen tapas que bloqueen las entradas de aire ni a la entrada ni a la salida. Los tubos semi-abiertos son aquellos que tienen únicamente una tapa que bloquea la salida de aire y

los tubos cerrados son aquellos que poseen las dos partes cerradas, tanto la entrada como la salida, estos se pueden observar en la imagen.



Tubos abiertos.

Estos, como se mencionó anteriormente, no poseen tapas que bloqueen la entrada o la salida de aire. Podemos relacionar el movimiento del aire a la vibración de una cuerda debido a que la vibración de las columnas de aire es longitudinal.

En los extremos abiertos normalmente se producen vientres o antinodos, mientras que en extremos cerrados se producen nodos. Como en cada extremo se deben generar dos vientres se puede asegurar que, el primer nivel o nivel fundamental estará compuesto por un solo nodo y la onda generada debe tener una forma igual a

$$\lambda = 2L$$

donde L es la longitud del tubo dentro del cual se está generando la onda de presión.

Cuando dentro de este instrumento, realizamos más presión al aire, la cantidad de nodos dentro de nuestro sistema se va a encontrar modificada, o sea, incrementará. Por ejemplo cuando consideramos una presión de tal forma que, genere 2 nodos, normalmente la longitud de onda tendrá la forma:

$$\lambda = L$$

Así sucesivamente podemos ir generando el comportamiento de la longitud de onda para diferentes cantidades de nodos generados por diferentes rangos de presión.

En términos generales la longitud de onda tendrá la forma:

$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

donde "n" es la cantidad de nodos.

Con esto también se puede concluir de forma general que, la frecuencia generada en función de los nodos tendrá la forma:

$$f = \frac{n v_s}{2L}$$

siendo V_s la velocidad del sonido. La frecuencia fundamental para este caso es cuando “n” vale 1.

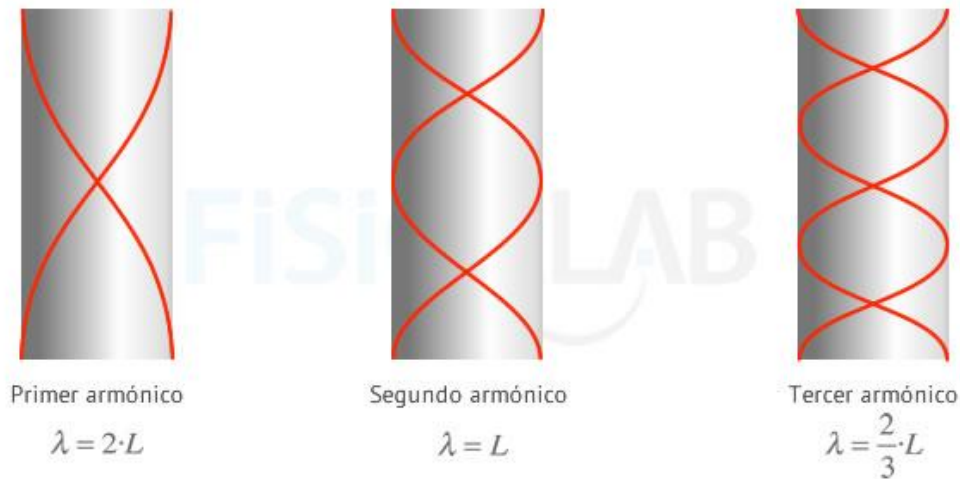


Figura 1: Movimientos de la onda dentro de un tubo abierto en ambos lados. Aquí se puede observar 3 tubos con ondas a diferente presión, esto hace que se generen en la primera imagen 1 nodo, en la segunda 2 nodos y en la tercera 3 nodos [3].

Tubos semiabiertos.

Como se mencionó para el tubo abierto, los antinodos se generan en zonas abiertas y los nodos en zonas cerradas, para el caso de un tubo semiabierto, el nodo se generará al chocar contra las paredes del tubo, mientras que el antinodo o vientre en la zona abierta del tubo. Esto hace que se pueda concluir que, la longitud de onda del estado fundamental posea la forma:

$$\lambda = 4 \cdot L$$

Si dentro del tubo se generan 2 nodos, tendremos además también 2 vientres, esto hace que la longitud de onda empiece a presentar una forma similar a la generada en el tubo abierto donde la onda se repita una vez y un tercio dentro del tubo, de esto podemos decir que la longitud de onda dentro del tubo cuando tenemos 2 nodos tome la forma:

$$\lambda = \frac{4L}{3}$$

Para el caso donde poseamos 3 nodos dentro del tubo, gráficamente como podemos observar en la imagen, la longitud de onda tendrá una forma dada por:

$$\lambda = \frac{4L}{5}$$

En general, se puede escribir la longitud de onda en términos de la cantidad de nodos presentes de la forma:

$$\lambda = \frac{4L}{(2n+1)}$$

con “n” la cantidad de nodos. A su vez podemos escribir la frecuencia de la forma:

$$f = \frac{(2n+1)v_s}{4L}$$

La frecuencia fundamental para este caso es cuando “n” vale 0.

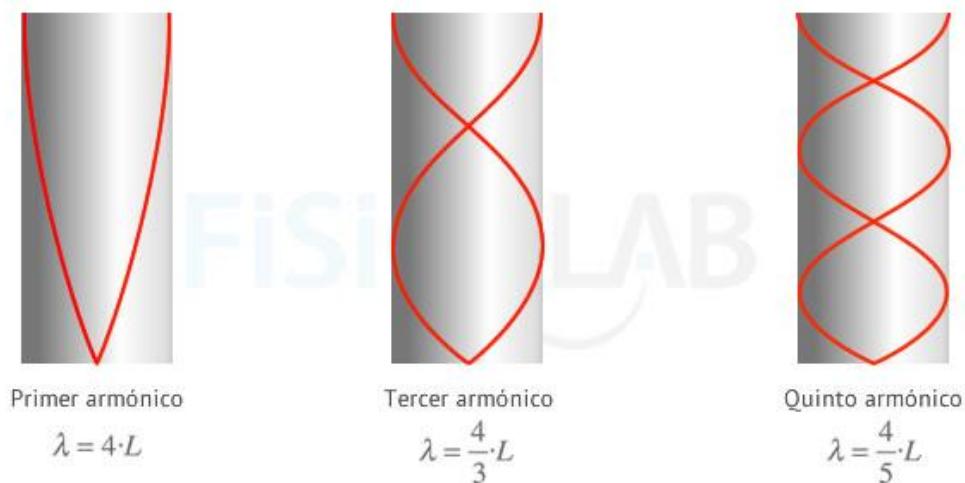


Figura 2: Movimientos de la onda dentro de un tubo cerrado en una cara. Aquí se puede observar 3 tubos con ondas a diferente presión, esto hace que se generen en la primera imagen 1 nodo, en la segunda 2 nodos y en la tercera 3 nodos [3].

Referencias.

- [1] Información sobre el órgano presente en la ópera de Sydney.
<https://es.catholic.net/op/articulos/3388/cat/107/rgano-de-la-pera-de-sydney.html>
- [2] J. Molina-Coronella, W. Celin Manceraa, C. Solano Mazob, Rev. mex. fís. E vol.63 no.1 México ene./jun. 2017. Extraído de:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35422017000100076
- [3]Recurso gráfico. Extraído de: <https://www.fisicalab.com/ejercicio/1765>