Ondas Sonoras

Física General III (FIS 130)

José Miguel Pinto

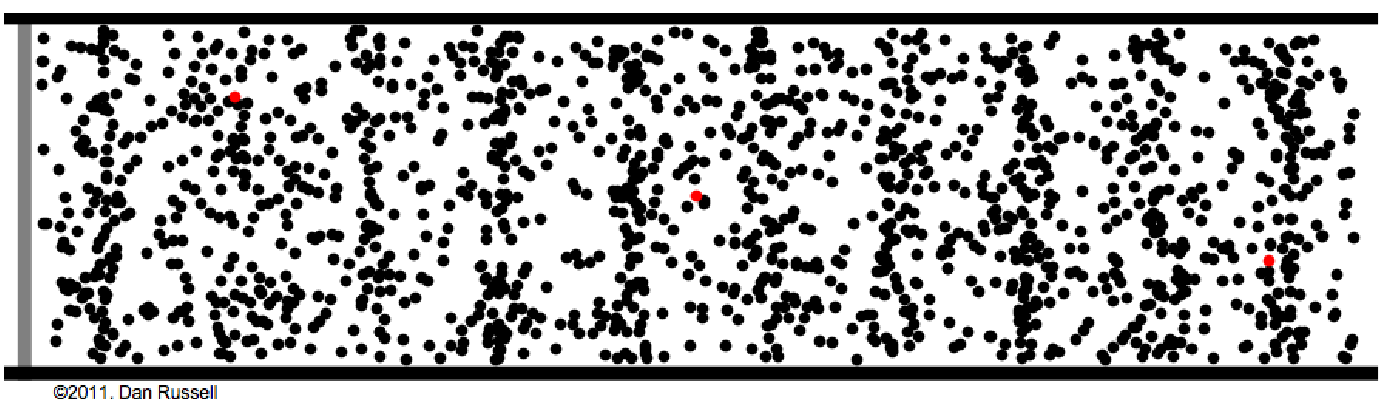
jose.pinto@usm.cl

Ondas sonoras

El sonido es una onda longitudinal y puede viajar por un gas, líquido o sólido. El oído humano es sensible a las ondas de frecuencias entre 20 y 20000 Hz. Además existen las ondas ultrasónicas e infrasónicas.

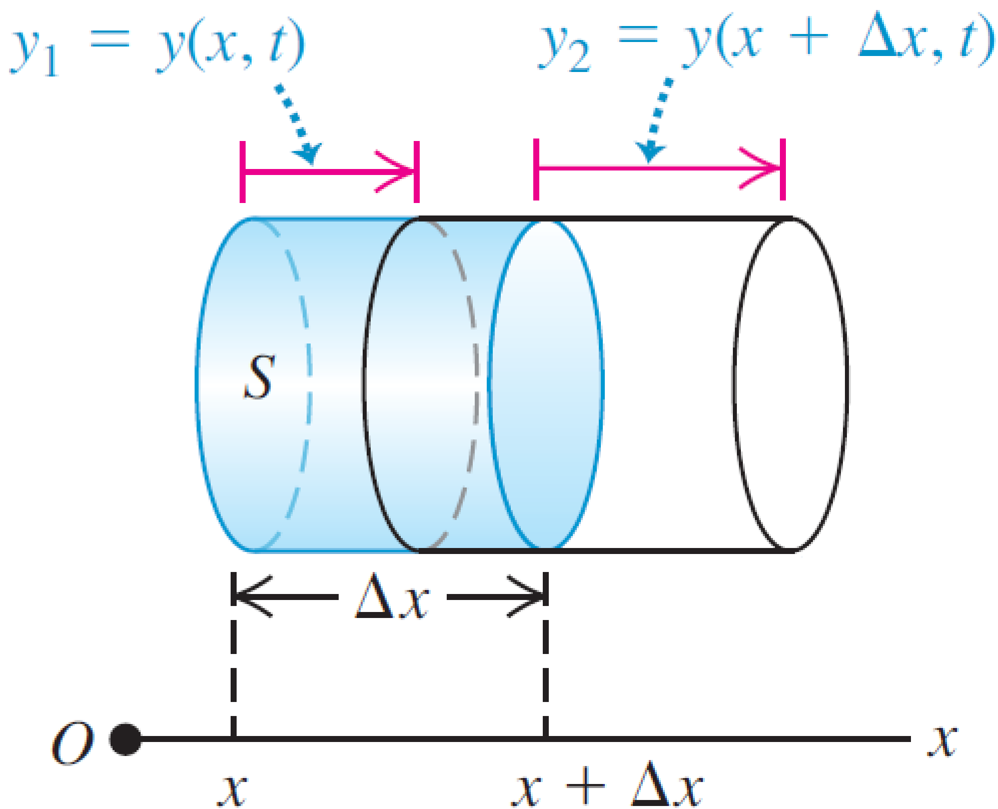
Si se considera el caso ideal en que la onda viaja en la dirección *+x*, la función está dada por:

$$y(x,t) = A\cos(kx - \omega t)$$



Ondas sonoras como fluctuaciones de presión

Las ondas sonoras también pueden describirse en términos de variaciones de presión en diversos puntos.

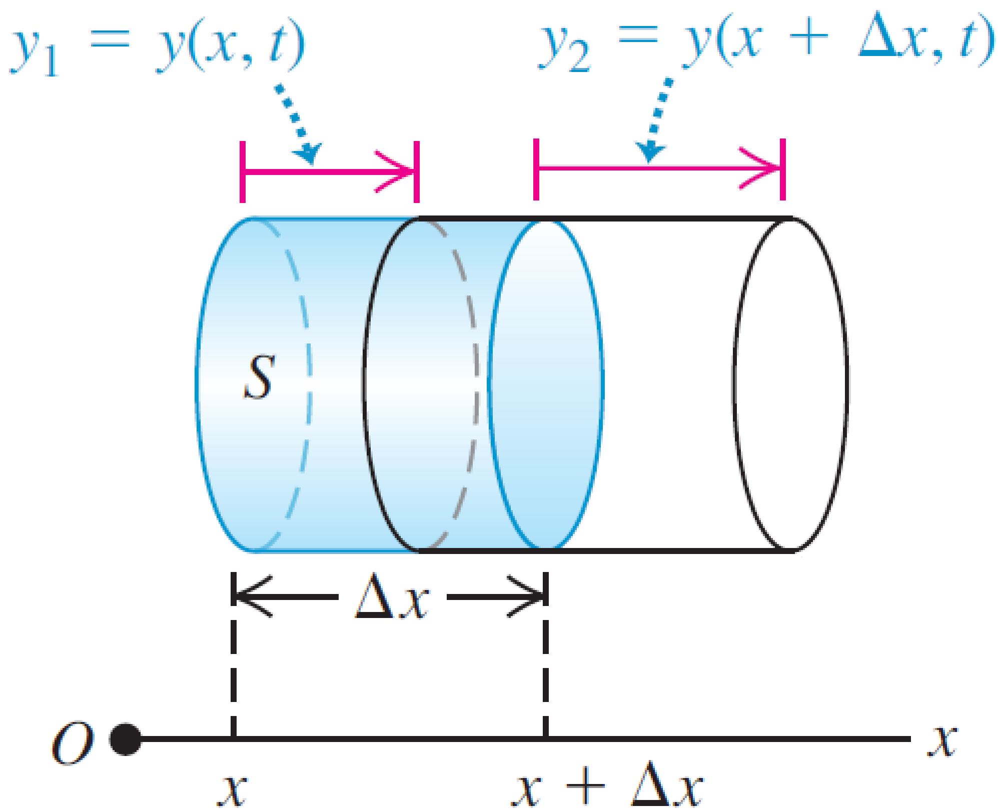


$$V = S\Delta x$$

$$\Delta V = S(y_2 - y_1)$$

Ondas sonoras como fluctuaciones de presión

Las ondas sonoras también pueden describirse en términos de variaciones de presión en diversos puntos.



$$V = S\Delta x$$

$$\Delta V = S(y_2 - y_1)$$

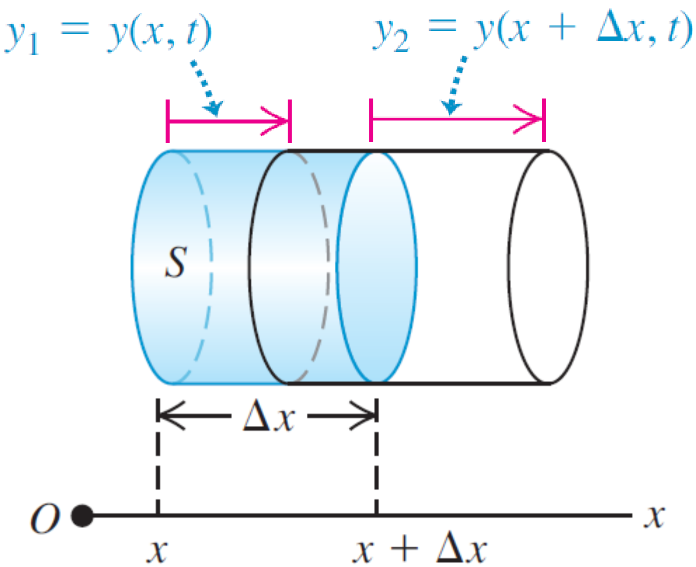
$$\frac{dV}{V} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{S(y_2 - y_1)}{S\Delta x}$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{\partial y(x,t)}{\partial x}$$

Ondas sonoras como fluctuaciones de presión

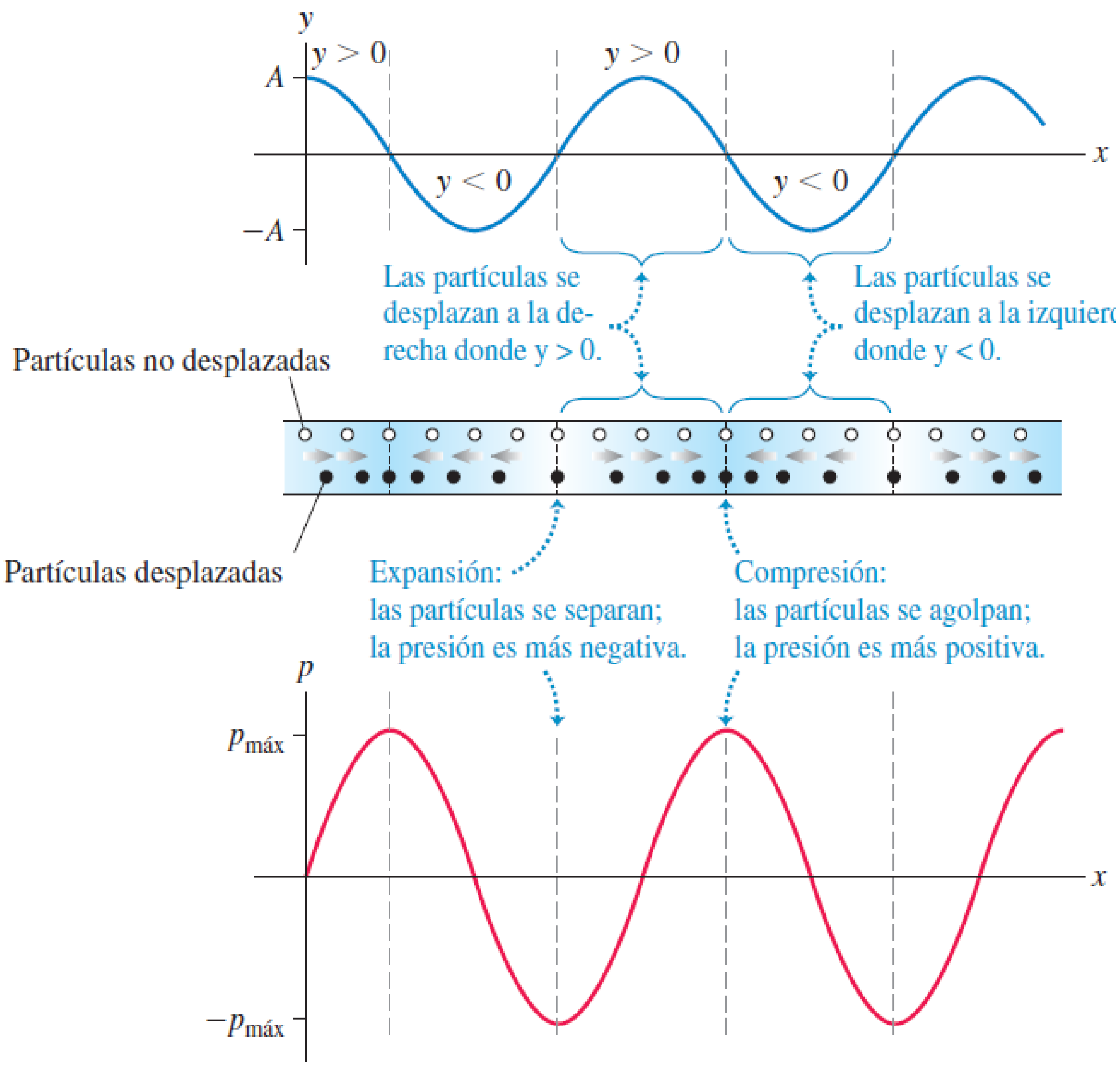
Un aumento en la presión produce una deformación por volumen proporcional. El módulo de elasticidad se denomina módulo de volumen y se denota por B.

$$B = -\frac{p(x,t)}{dV/V}$$



$$\begin{aligned} p(x,t) &= -B\frac{\partial y(x,t)}{\partial x} \\ p(x,t) &= BkA\sin(kx-\omega t) \end{aligned}$$

Ondas sonoras como fluctuaciones de presión



$$y(x,t) = A\cos(kx - \omega t)$$

$$p(x,t) = BkA\sin(kx - \omega t)$$

Percepción de ondas sonoras

La frecuencia de una onda sonora determina el tono de un sonido. Cuanta más alta sea la frecuencia de un sonido, más agudo será el tono percibido.

Dos tonos producidos por diferentes instrumentos podrían tener la misma frecuencia fundamental, pero sonar distinto por la presencia de diferentes cantidades de los diversos armónicos. Esta diferencia se llama color de tono, calidad o timbre.

Rapidez de las ondas sonoras

$$v = \sqrt{\frac{Fuerza}{Inercia}}$$

- Rapidez en un fluido, B es el módulo de volumen.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

- Rapidez en una varilla sólida, *Y* corresponde al módulo de Young.

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

- Rapidez en un gas ideal, γ es la razón de capacidades caloríficas y *M* es la masa molar.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Intensidad del sonido

La intensidad es por definición el valor promedio del producto de presión y rapidez.

$$p(x,t)v_y(x,t) = B\omega k A^2 \sin^2(kx - \omega t)$$

$$\begin{aligned} I_{prom} &= \frac{1}{2}B\omega k A^2 \\ I_{prom} &= \frac{1}{2}\sqrt{\rho B}\omega^2 A^2 \\ I_{prom} &= \frac{p_{max}^2}{2\rho v} \end{aligned}$$

La escala de decibeles

El nivel de intensidad de sonido β de una onda sonora está definido por la ecuación:

$$\beta = (10\ dB)\log\frac{I}{I_0}$$

$$I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$$

Ondas sonoras estacionarias y modos normales

Cuando ondas longitudinales (de sonido) se propagan en un fluido dentro de un tubo con longitud finita, se refleja en los extremos igual que las ondas transversales en una cuerda.

Las ondas estacionarias (modos normales) → **Voz humana**; → **Instrumentos musicales**

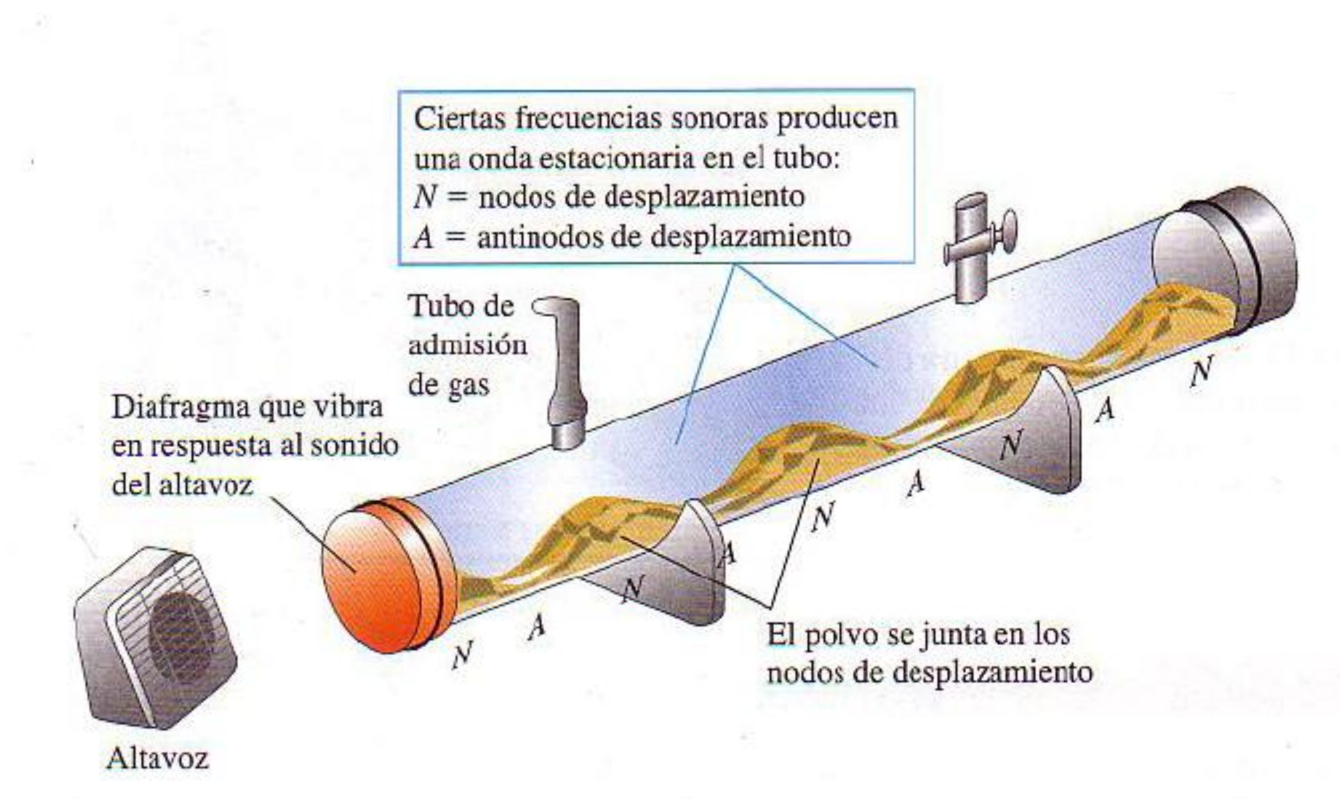
Ondas transversales en una cuerda → Desplazamiento de la cuerda

Ondas sonoras → Desplazamiento del fluido; Variaciones de presión del fluido

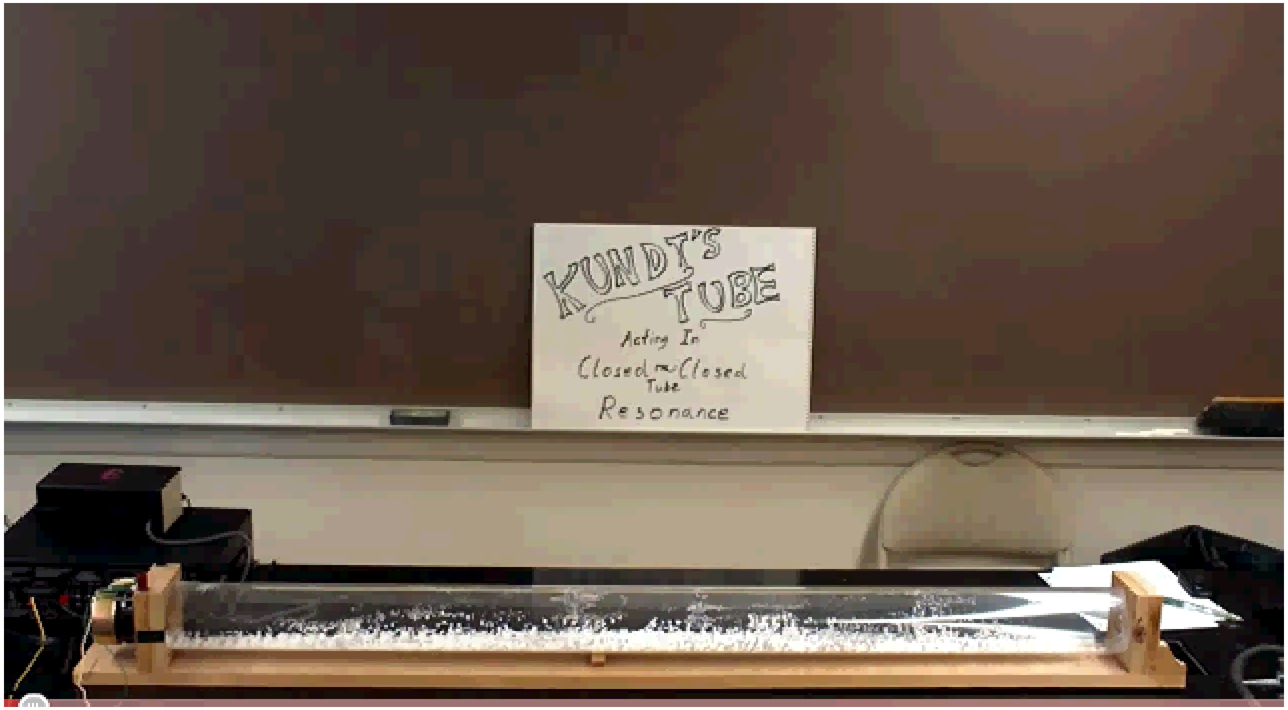
Nodo de desplazamiento → Partículas del fluido tienen cero desplazamiento

Antinodo de desplazamiento → Partículas del fluido tienen máximo desplazamiento

Tubo de Kundt



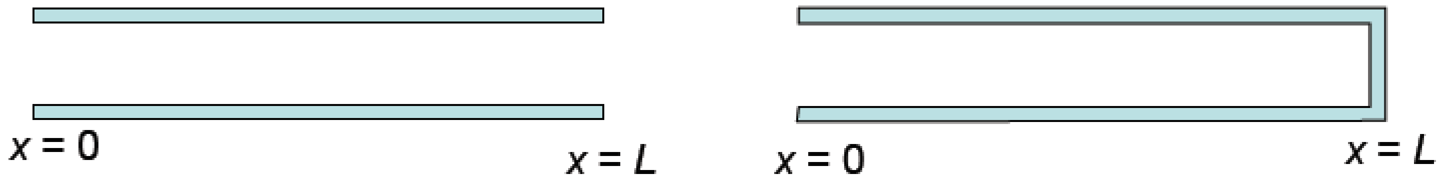
Tubo de Kundt



Tubo de Kundt

Dos extremos abiertos

Un extremo abierto y otro cerrado



Un extremo abierto de un tubo es un antinodo de desplazamiento.

Cuando hay reflexión en un extremo cerrado de un tubo, el desplazamiento de las partículas en ese extremo siempre debe ser cero.

El extremo cerrado del tubo es un nodo de desplazamiento

Las partículas no se mueven

Ondas estacionarias

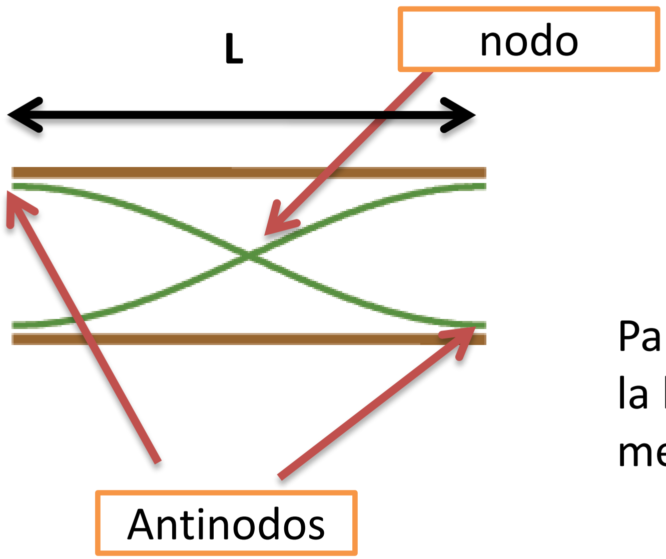
Amplitud máxima, ***antinodo***, en extremo abierto
Amplitud mínima, ***nodo***, en extremo cerrado

Tubo abierto

Un tubo de órgano abierto en ambos extremos se llama tubo abierto.

La frecuencia fundamental corresponde a un patrón de onda estacionaria con un antinodo de desplazamiento en cada extremo y un nodo de desplazamiento en el medio.

La distancia entre antinodos adyacentes siempre es media longitud de onda



En este caso longitud *L* del tubo, $\lambda/2$

$$f_1=2v/L$$

Para todo modo normal de un tubo abierto la longitud L debe ser un número entero de medias longitudes de onda

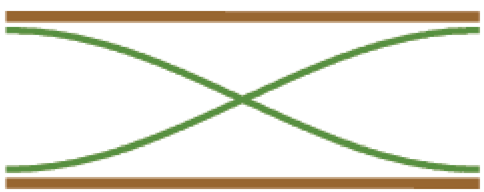
Longitudes de onda posible:

$$L=\frac{n\lambda_n}{2} \qquad \lambda_n=\frac{2L}{n},(n=1,2,3,4\ldots)$$

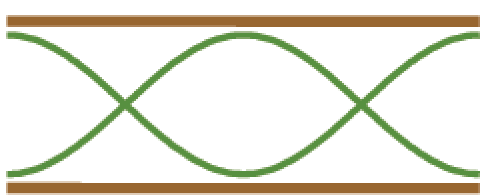
Tubo abierto

Entonces las frecuencias están dadas por:

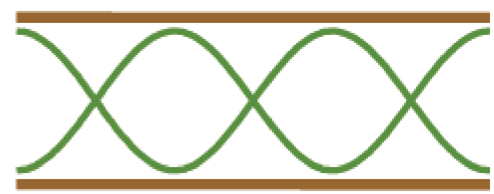
$$f_n = \frac{nv}{2L}, (n = 1,2,3,4\ldots) \qquad f_n = nf_1, (n = 1,2,3,4\ldots)$$



$$n = 1 \quad \Rightarrow \lambda_1 = 2L \quad \Rightarrow \quad \nu_1 = \nu_f$$



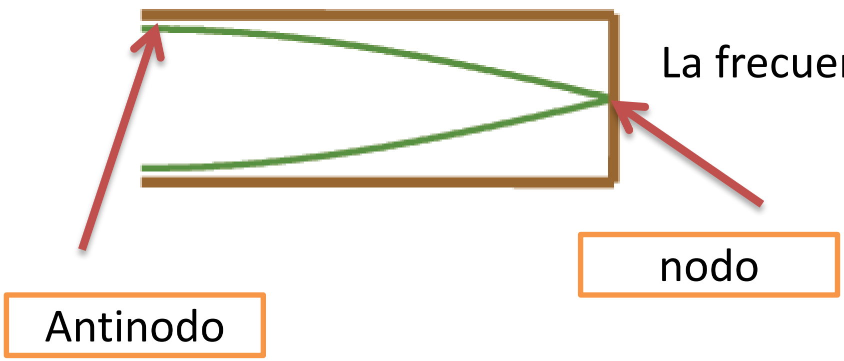
$$n = 2 \quad \Rightarrow \lambda_2 = L \quad \Rightarrow \nu_2 = 2\nu_f$$



$$n = 3 \quad \Rightarrow \lambda_3 = \frac{2}{3}L \quad \Rightarrow \quad \nu_3 = 3\nu_f$$

Tubo cerrado

La distancia entre un nodo y el antinodo adyacente es λ/4



La frecuencia fundamental es

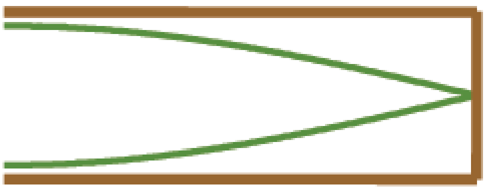
$$f_1 = \frac{v}{4L}$$

Las longitudes de onda posible están dadas por:

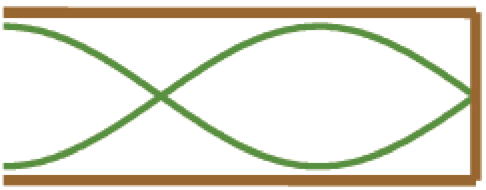
$$L = \frac{n\lambda_n}{4} \Rightarrow \lambda_n = \frac{4L}{n}, (n = 1,3,5,7\ldots)$$

$$f_n = \frac{nv}{4L}, (n = 1,3,5\ldots) \Rightarrow f_n = nf_1, (n = 1,3,5..)$$

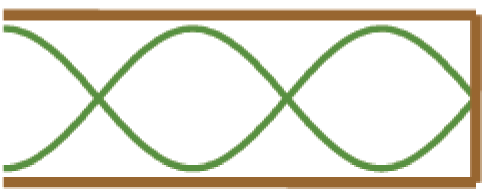
Tubo cerrado



$$n=1 \quad \Rightarrow \lambda_1 = 4L \quad \Rightarrow \quad \nu_1 = \frac{1}{2}\nu_f$$

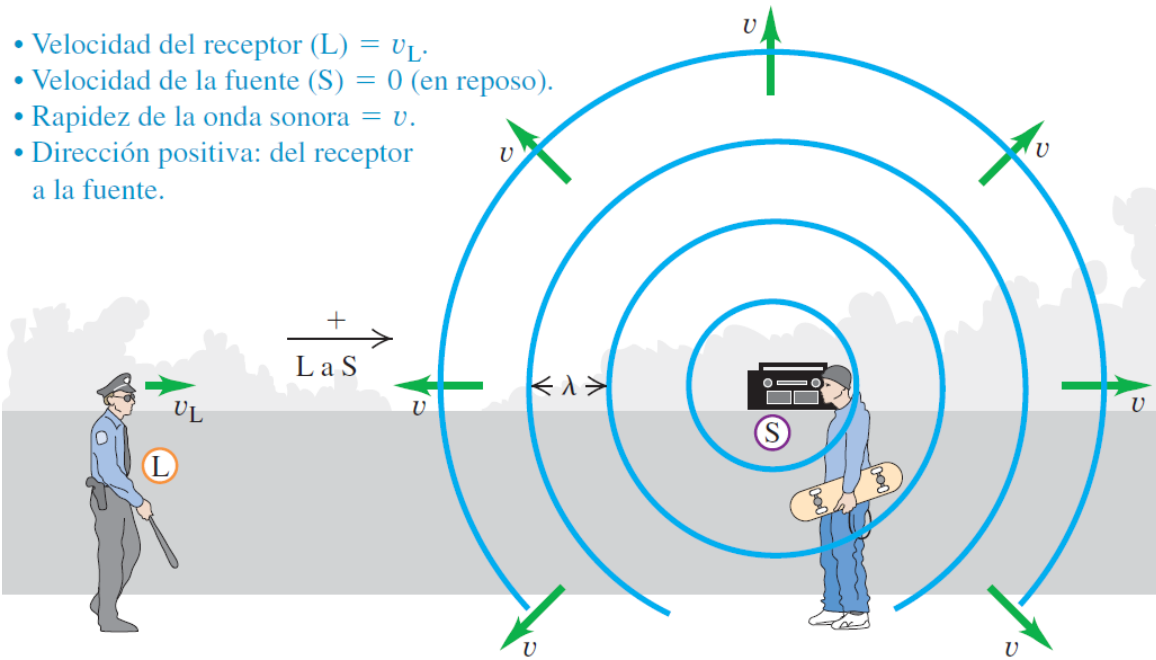


$$n=2 \quad \Rightarrow \lambda_2 = \frac{4}{3}L \quad \Rightarrow \quad \nu_2 = \frac{3}{2}\nu_f$$



$$n=3 \quad \Rightarrow \lambda_3 = \frac{4}{5}L \quad \Rightarrow \quad \nu_3 = \frac{5}{2}\nu_f$$

El efecto Doppler

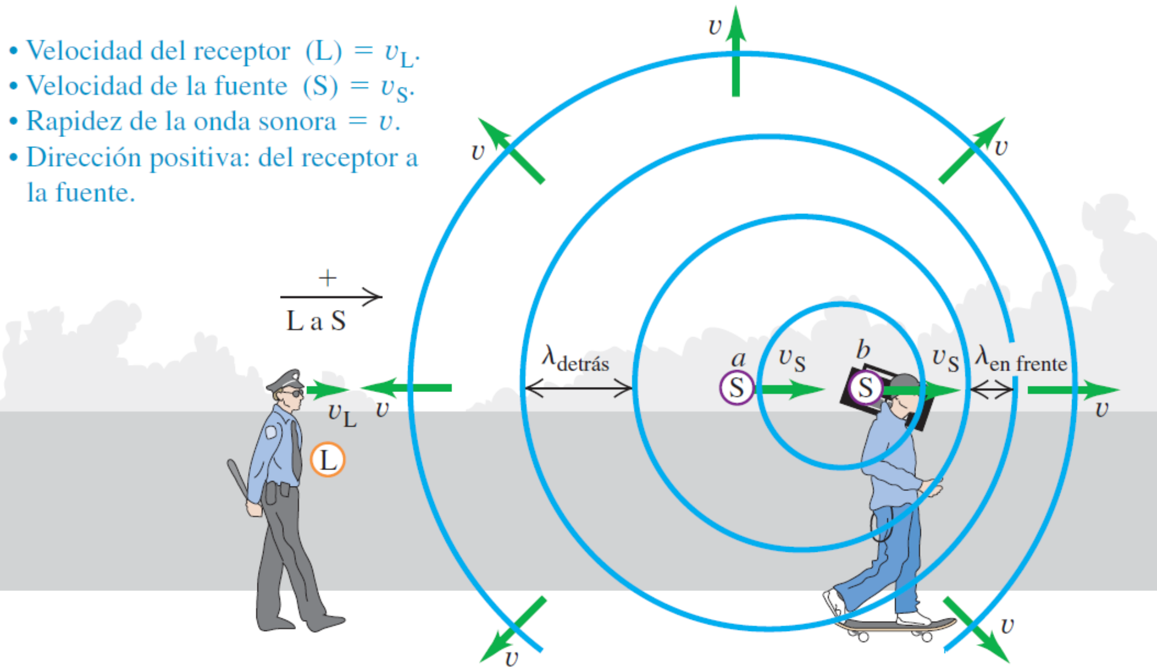


$$f_L = \frac{v + v_L}{\lambda}$$

$$v = \lambda f_S$$

$$f_L = \frac{v + v_L}{v} f_S$$

El efecto Doppler



$$\lambda_{frente} = \frac{v - v_S}{f_S}$$

$$\lambda_{posterior} = \frac{v + v_S}{f_S}$$

$$f_L = \frac{v + v_L}{v + v_S} f_S$$