Capítulo 22A – Ondas sonoras

Presentación PowerPoint de

Paul E. Tippens, Profesor de Física

Southern Polytechnic State University

Objetivos: Después de completar este módulo deberá:

- Definir el sonido y resolver problemas que se relacionan con su velocidad en sólidos, líquidos y gases.
- Usar condiciones de frontera para aplicar conceptos relacionados con frecuencias en tubos abiertos y cerrados.

Definición de sonido

El sonido es una onda mecánica longitudinal que viaja a través de un medio elástico.

Muchas cosas vibran en el aire, lo que produce una onda sonora.

Fuente del sonido: diapasón.

¿Hay sonido en el bosque cuando cae un árbol?

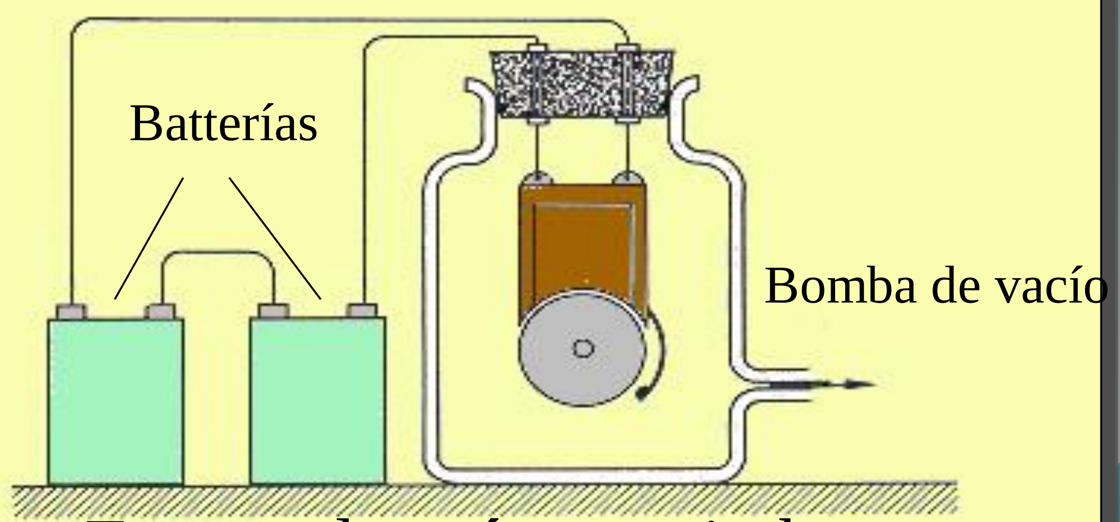
El sonido es una perturbación física en un medio elástico.

Con base en la definición, HAY sonido en el bosque, ¡ya sea que haya o no un humano para escucharlo!

¡Se requiere el medio elástico (aire)!

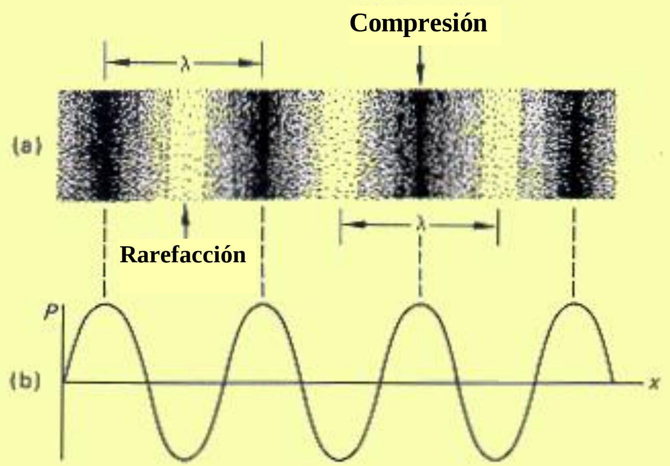
El sonido requiere un medio

El sonido de un timbre que sueña disminuye conforme el aire sale del frasco. No existe sonido sin moléculas de aire.



Frasco al vacío con timbre

Gráfica de una onda sonora



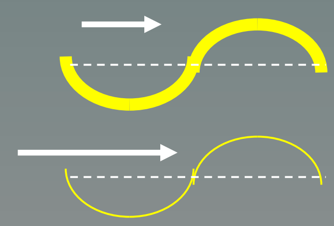
Sonido como onda de presión

La variación sinusoidal de la presión con la distancia es una forma útil para representar gráficamente una onda sonora. Note las longitudes de onda λ definidas por la figura.

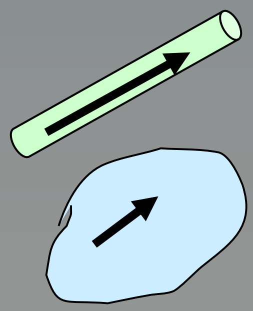
Factores que determinan la rapidez del sonido

Las onda mecánicas longitudinales (sonido) tienen una rapidez de onda que depende de factores de elasticidad y densidad. Considere los siguientes ejemplos:

Un medio más denso tiene mayor inercia que resulta en menor rapidez de onda.



Un medio que es más elástico se recupera más rápidamente y resulta en mayor rapidez.



acero

agua

Rapideces para diferentes medios

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

Barra metálica

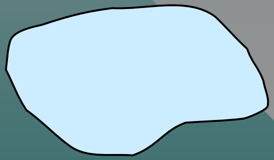
Módulo de Young, Y
Densidad del metal, ρ

$$v = \sqrt{\frac{B + \frac{4}{3}S}{\rho}}$$

Sólido extendido

Módulo volumétrico, B
Módulo de corte, S
Densidad, ρ

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



Fluido

Módulo volumétrico, B
Densidad del fluido, ρ

Ejemplo 1: Encuentre la rapidez del sonido en una barra de acero.

$\rho = 7800\ \text{kg/m}^3$

$Y = 2.07 \times 10^{11}\ \text{Pa}$

$v_s = ¿?$

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{2.07 \times 10^{11}\text{Pa}}{7800\ \text{kg/m}^3}}$$

$v = 5150\ \text{m/s}$

Rapidez del sonido en el aire

Para la rapidez del sonido en el aire, se encuentra que:

$$B = \gamma P \quad \text{y} \quad \frac{P}{\rho} = \frac{RT}{M}$$

γ = 1.4 para aire
R = 8.34 J/kg mol
M = 29 kg/mol

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

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

Nota: La velocidad del sonido aumenta con la temperatura T.

Ejemplo 2: ¿Cuál es la rapidez del sonido en el aire cuando la temperatura es 20^0C?

Dado: $\gamma = 1.4$; $R = 8.314$ J/mol K; M = 29 g/mol

$T = 20^0 + 273^0 = 293$ K $\quad M = 29 \times 10^{-3}$ kg/mol

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{(1.4)(8.314 \text{ J/mol K})(293 \text{ K})}{29 \times 10^{-3} \text{kg/mol}}}$$

$$\boxed{v = 343 \text{ m/s}}$$

Dependencia de la temperatura

Nota: v depende de T absoluta:

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

Ahora v a 273 K es 331 m/s. γ, R, M no cambian, de modo que una fórmula simple puede ser:

$$v = 331\ \text{m/s}\sqrt{\frac{\text{T}}{273\ \text{K}}}$$

De manera alternativa, está la aproximación que usa ^{0}C:

$$v = 331\ \text{m/s} + \left(0.6\,\frac{\text{m/s}}{\text{C}^0}\right)t_c$$

Ejemplo 3: ¿Cuál es la velocidad del sonido en el aire en un día cuando la temperatura es de 27^0C?

Solución 1: $v = 331\text{ m/s}\sqrt{\dfrac{T}{273\text{ K}}}$

$T = 27^0 + 273^0 = 300$ K; $v = 331\text{ m/s}\sqrt{\dfrac{300\text{ K}}{273\text{ K}}}$

$$\boxed{v = 347\text{ m/s}}$$

Solución 2: $v = 331\text{ m/s} + (0.6)(27^0\text{C})$; $\boxed{v = 347\text{ m/s}}$

Instrumentos musicales

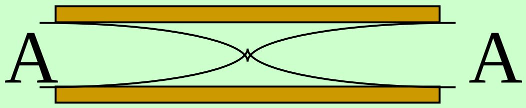
Las vibraciones en una cuerda de violín producen ondas sonoras en el aire. Las frecuencias características se basan en la longitud, masa y tensión del alambre.

Columnas de aire en vibración

Tal como para una cuerda en vibración, existen longitudes de onda y frecuencias características para ondas sonoras longitudinales. Para tubos se aplican condiciones de frontera:

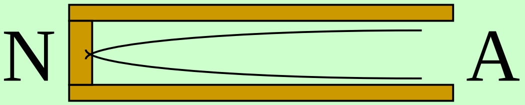
El extremo abierto de un tubo debe se un antinodo A en desplazamiento.

Tubo abierto



El extremo cerrado de un tubo debe ser un nodo N en desplazamiento.

Tubo cerrado



Velocidad y frecuencia de onda

El periodo T es el tiempo para moverse una distancia de una longitud de onda. Por tanto, la rapidez de onda es:

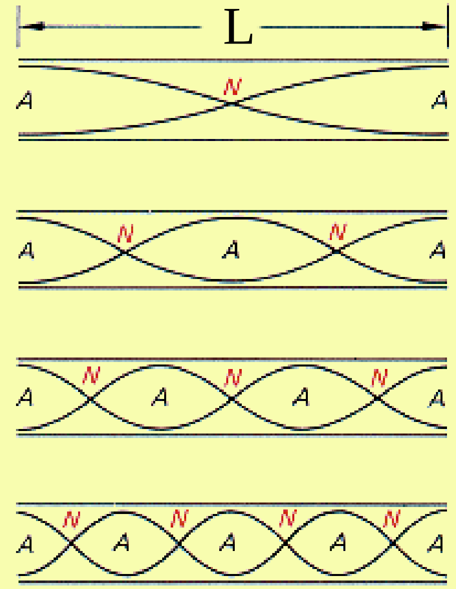
$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{pero} \quad T = \frac{1}{f} \quad \text{de modo que} \quad v = f\lambda$$

La frecuencia f está s^{-1} o hertz (Hz).

La velocidad de cualquier onda es el producto de la frecuencia y la longitud de onda:

$$\boxed{v = f\lambda} \qquad \boxed{f = \frac{v}{\lambda}}$$

Posibles ondas para tubo abierto



Fundamental, n = 1 $\lambda = \frac{2L}{1}$

1er sobretono, n = 2 $\lambda = \frac{2L}{2}$

2o sobretono, n = 3 $\lambda = \frac{2L}{3}$

3er sobretono, n = 4 $\lambda = \frac{2L}{4}$

Para tubos abiertos son posibles todos los armónicos:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad n = 1,\ 2,\ 3,\ 4\ .\ .\ .$$

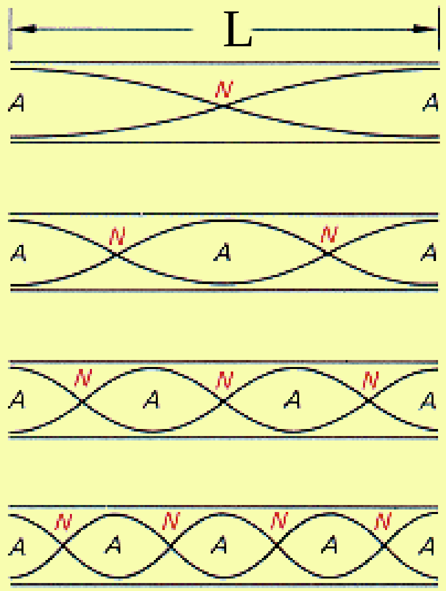
Frecuencias características para tubo abierto

Fundamental, n = 1

1er sobretono, n = 2

2o sobretono, n = 3

3er sobretono, n = 4



$$f = \frac{1v}{2L}$$

$$f = \frac{2v}{2L}$$

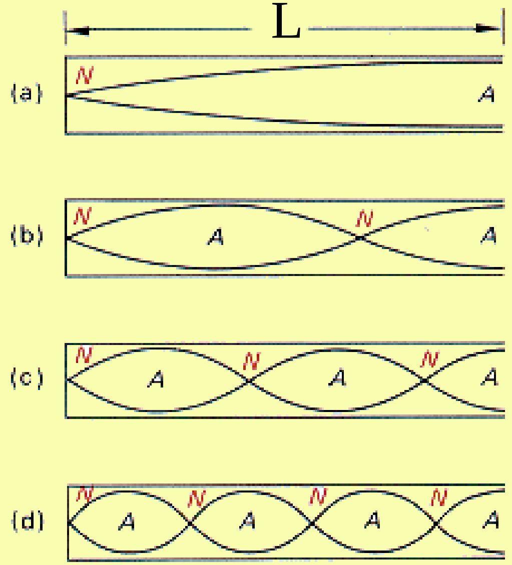
$$f = \frac{3v}{2L}$$

$$f = \frac{4v}{2L}$$

Para tubos abiertos son posibles todos los armónicos:

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

Posibles ondas para tubo cerrado



Fundamental, n = 1 $$\lambda_1 = \frac{4L}{1}$$

1er sobretono, n = 3 $$\lambda_1 = \frac{4L}{3}$$

2o sobretono, n = 5 $$\lambda_1 = \frac{4L}{5}$$

3er sobretono, n = 7 $$\lambda_1 = \frac{4L}{7}$$

Sólo se permiten los armónicos nones:

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

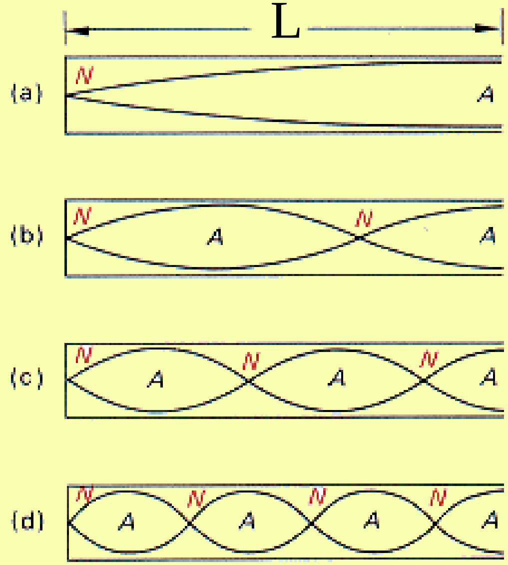
Posibles ondas para tubo cerrado

Fundamental, n = 1

1er sobretono, n = 3

2o sobretono, n = 5

3er sobretono, n = 7



$$f_1 = \frac{1v}{4L}$$

$$f_3 = \frac{3v}{4L}$$

$$f_5 = \frac{5v}{4L}$$

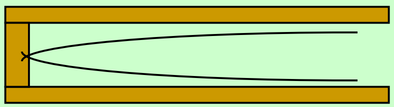
$$f_7 = \frac{7v}{4L}$$

Sólo se permiten los armónicos nones:

$$f_n = \frac{nv}{4L} \qquad n = 1,\ 3,\ 5,\ 7\ .\ .\ .$$

Ejemplo 4. ¿Qué longitud de tubo cerrado se necesita para resonar con frecuencia fundamental de 256 Hz? ¿Cuál es el segundo sobretono? Suponga que la velocidad del sonido es 340 m/s.

Tubo cerrado

N  A

L = ?

$$f_n = \frac{nv}{4L} \qquad n = 1, 3, 5, 7 \ldots$$

$$f_1 = \frac{(1)v}{4L}; \qquad L = \frac{v}{4f_1} = \frac{340 \text{ m/s}}{4(256 \text{ Hz})}$$

L = 33.2 cm

El segundo sobretono ocurre cuando $n = 5$:

$$f_5 = 5f_1 = 5(256 \text{ Hz})$$

2o sobretono = 1280 Hz

Resumen de fórmulas para rapidez del sonido

Barra sólida

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

Sólido extendido

$$v = \sqrt{\frac{B + \frac{4}{3}S}{\rho}}$$

Líquido

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

Sonido para cualquier gas:

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

Aproximación del sonido en el aire:

$$v = 331\ \text{m/s} + \left(0.6\,\frac{\text{m/s}}{\text{C}^0}\right)t_c$$

Resumen de fórmulas (Cont.)

Para cualquier onda:

$$\boxed{v = f\lambda}$$

$$\boxed{f = \frac{v}{\lambda}}$$

Frecuencias características para tubos abiertos y cerrados:

TUBO ABIERTO

$$\boxed{f_n = \frac{nv}{2L} \qquad n = 1,\ 2,\ 3,\ 4\ .\ .\ .}$$

TUBO CERRADO

$$\boxed{f_n = \frac{nv}{4L} \qquad n = 1,\ 3,\ 5,\ 7\ .\ .\ .}$$

CONCLUSIÓN: Capítulo 22
Ondas sonoras