31. Una onda estacionaria se observa en un alambre delgado con una longitud de 3.00 m. La ecuación de la onda es

$$y = (0.002\ \text{m})\ \text{sen}(\pi x)\cos(\pi t)$$

donde $x$ está en metros y $t$ está en segundos. (a) ¿Cuántas ondas exhibe esta figura? (b) ¿Cuál es la frecuencia fundamental de vibración del alambre? (c) **¿Qué pasaría si?** Si la frecuencia original se mantiene constante y la tensión del alambre se aumenta en un factor de 9, ¿cuántas ondas están presentes en la nueva figura?

a) La longitud de onda es

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{\pi} = 2m$$

$$n = \frac{L}{\lambda/2} = \frac{3m}{1m} = 3$$

tres medias ondas o n = 3

b)

$$f_1 = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{Tensión}{\mu}} = \frac{v}{2L}$$

$$f_1 = \frac{\omega/k}{2L} = \frac{1m/s}{2(3m)} = 0.166Hz$$

c) Al incrementar la tensión la velocidad se incrementa

$$v = \sqrt{\frac{9 \times Tensión}{\mu}} = 3v_0$$

La velocidad es 3 veces la anterior

Por otro lado

$$v = \frac{\omega}{k} \longrightarrow k = \frac{\omega}{v} = \frac{1}{3} k_0$$

$k$ es 1/3 del anterior

La nueva longitud de onda es

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{\frac{1}{3}\pi} = 6m \qquad \text{y} \qquad n = \frac{L}{\lambda / 2} = \frac{3m}{3m} = 1$$

Media onda o n = 1.

69. Problema de repaso. Un cuerpo de 12.0 kg cuelga en equilibr de una cuerda con una longitud total de $L = 5.00$ m y una de sidad lineal de masa de $\mu = 0.001\,00$ kg/m. La cuerda está en llada alrededor de dos poleas ligeras sin fricción que esta separadas por una distancia de $d = 2.00$ m. (figura P18.69a). Determine la tensión de la cuerda. (b) ¿A qué frecuencia debe brar la cuerda entre las poleas para formar la onda estacionar que se ve en la figura P18.69b?

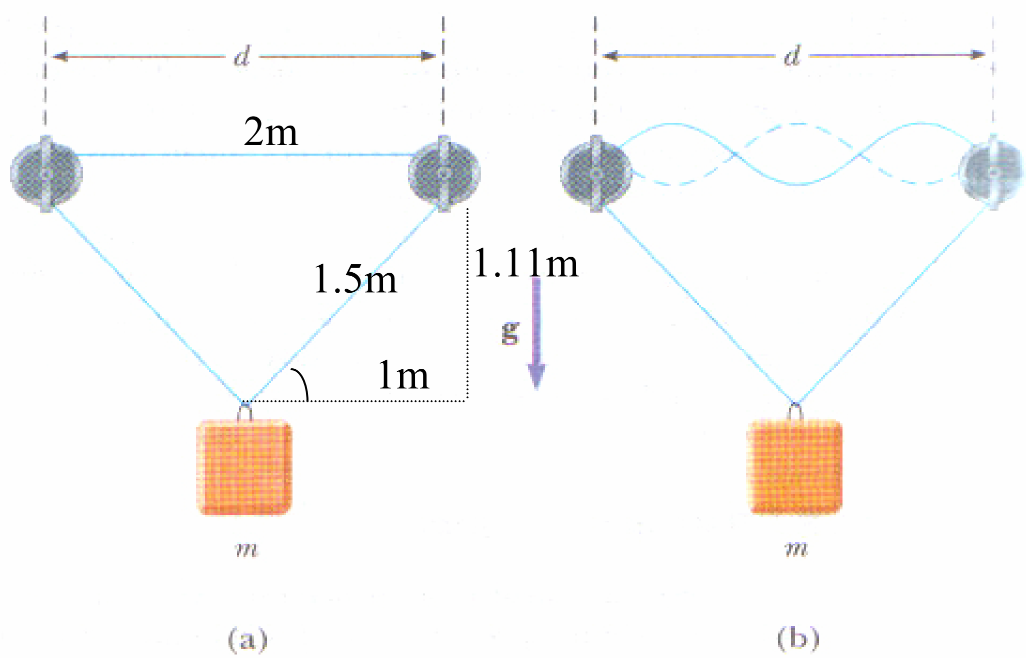
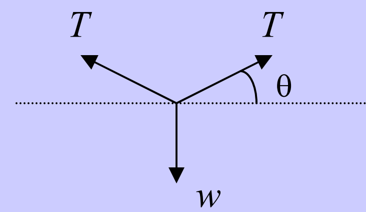



Figura P18.69

**a)** Diagrama de fuerzas




$$\sum F_y = 0$$

$$2T\sin\theta = w \qquad \boxed{T = \frac{w}{2\sin\theta}}$$

$$\sqrt{1.5^2 - 1^2} = 1.118 \qquad \sin\theta = 0.745$$

$$\boxed{T = 78.97\,N}$$

**b)**

$$f_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{Tensión}{\mu}}$$

$$f_3 = \frac{3}{2L}\sqrt{\frac{Tensión}{\mu}}$$

$$f_3 = \frac{3}{2(2m)}\sqrt{\frac{78.97\,N}{0.001\,kg/m}} = 210.76\,Hz$$

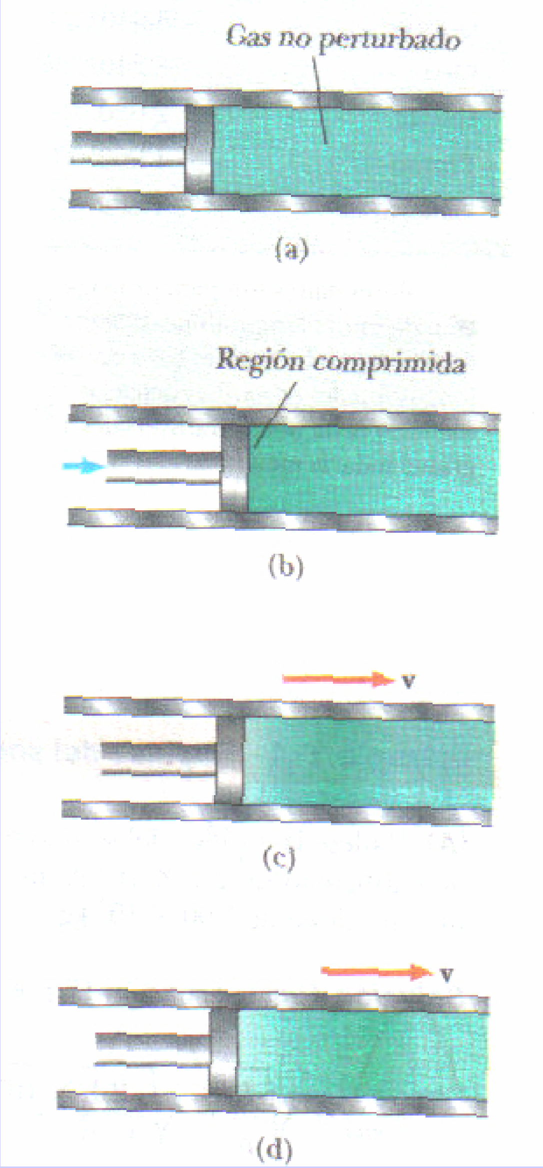
# Ondas de Sonido

Considerando un pulso longitudinal que se mueve por un largo tubo que contiene un un gas compresible.

Se crea una perturbación con el émbolo.

La rapidez de la onda de sonido en un medio depende de la compresibilidad y la desnidad del medio. Si el medio es un líquido o gas y tiene un módulo volumetrico $B$ y desnidad $\rho$, la rapidez de las ondas de sonido en ese medio es

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



**Módulo de elasticidad:** mide la resistencia de un sólido a cambiar en su longitud.

**Módulo de volumen:** mide la resistencia de un sólido a cambiar en su volumen.

Coeficiente de elasticidad

$$Y = \frac{resistencia \quad a \quad la \quad tensión}{defromación \quad por \quad tensión} = \frac{F / A}{\Delta L / L_0}$$

Módulo de volumen

$$B = \frac{Esfuerzo \quad de \quad volumen}{defromación \quad de \quad volumen} = -\frac{\Delta F / A}{\Delta V / V_0} = -\frac{\Delta p}{\Delta V / V_0}$$

Rapidez del sonido en varios medios

| Rapidez del sonido en varios medios | |
|---|---|
| **Medio** | **$v$ (m/s)** |
| **Gases** | |
| Hidrógeno (0°C) | 1 286 |
| Helio (0°C) | 972 |
| Aire (20°C) | 343 |
| Aire (0°C) | 331 |
| Oxígeno (0°C) | 317 |
| **Líquidos a 25°C** | |
| Glicerol | 1 904 |
| Agua de mar | 1 533 |
| Agua | 1 493 |
| Mercurio | 1 450 |
| Petróleo | 1 324 |
| Alcohol metílico | 1 143 |
| Tetracloruro de carbono | 926 |
| **Sólidos**[a] | |
| Vidrio pyrex | 5 640 |
| Hierro | 5 950 |
| Aluminio | 6 420 |
| Bronce | 4 700 |
| Cobre | 5 010 |
| Oro | 3 240 |
| Lucita | 2 680 |
| Plomo | 1 960 |
| Caucho | 1 600 |

La rapidez de todas las ondas mecánicas en general

$$v = \sqrt{\frac{propiedad \quad elástica}{propiedad \quad inercial}}$$

La rapidez también depende de la atemperatura del medio, *por ejemplo:* En el aire

$$v = (331 m/s)\sqrt{1 + \frac{T_C}{273^0 C}}$$

**(A)** Hállese la rapidez del sonido en agua, que tiene un módulo de elasticidad de $2.1 \times 10^9\ \mathrm{N/m^2}$ a una temperatura de 0°C y una densidad de $1.00 \times 10^3\ \mathrm{kg/m^3}$.

$$v_{agua} = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{2.1 \times 10^9\ \mathrm{N/m^2}}{1.00 \times 10^3\ \mathrm{kg/m^3}}} = \boxed{1.4\ \mathrm{km/s}}$$

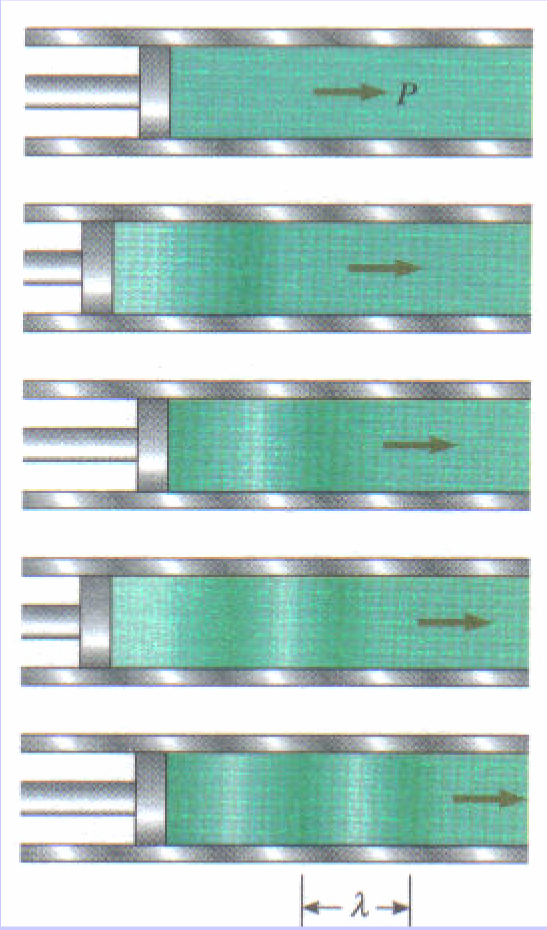
En general, las ondas de sonido se desplazan más lentamente en líquidos que en sólidos, porque los líquidos son más compresibles que los sólidos. Nótese que la rapidez del sonido en agua es menor a *0°C que a 25°C (tabla 17.1).*

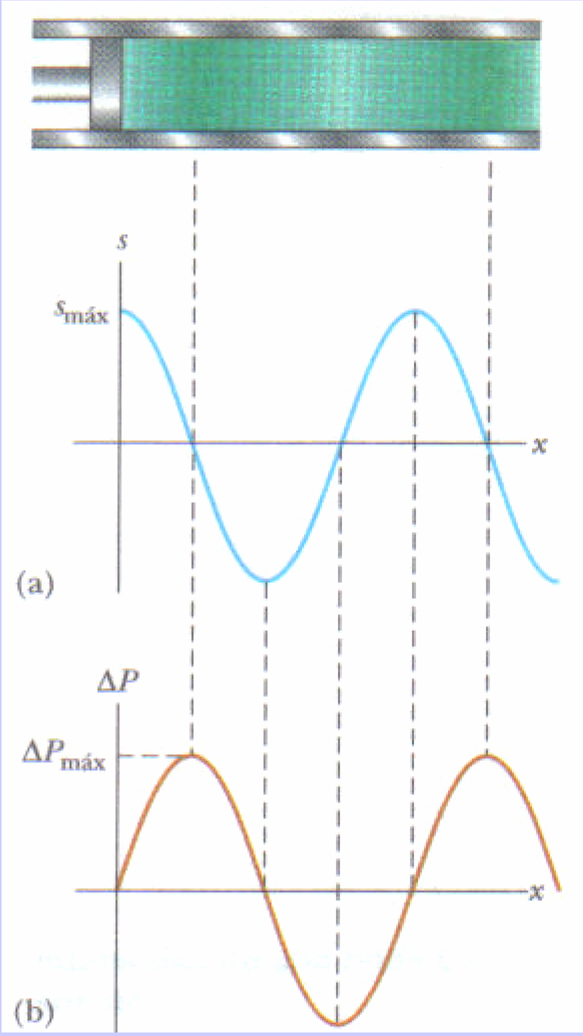
**(B)** Los delfines usan ondas de sonido para localizar alimento. Experimentos han demostrado que un delfín puede detectar un blanco de 7.5 cm a 110 m de distancia, incluso en agua turbia. Para un trozo de "comida" a esa distancia, ¿cuánto tiempo pasa entre el momento en que el delfín emite un pulso de sonido y el momento en que escucha su reflexión y detecta el blanco distante?

**Solución** La distancia total cubierta por la onda de sonido cuando se desplaza del delfín al blanco y regresa es $2 \times 110\text{ m} = 220\text{ m}$. De la ecuación 2.2 tenemos

$$t = \frac{d}{v} = \frac{220m}{1533m/s} = 0.14s$$

# Ondas periódicas



$$\Delta P = -B\,\frac{\Delta V}{V_i}$$

$$\Delta P = -B\,\frac{\Delta V}{V_i} = -B\,\frac{A\,\Delta s}{A\,\Delta x} = -B\,\frac{\Delta s}{\Delta x}$$

$$\Delta P = -B\,\frac{\partial s}{\partial x}$$

$$\Delta P = -B\,\frac{\partial}{\partial x}\left[s_{\text{máx}}\cos(kx - \omega t)\right] = B s_{\text{máx}} k \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

$$\Delta P = \rho v^2 s_{\text{máx}} k \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

$$\Delta P = \rho v \omega s_{\text{máx}} \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

$$\Delta P = \Delta P_{\text{máx}} \operatorname{sen}(kx - \omega t)$$

# Intensidad de ondas de sonido periódicas

**Intensidad de una onda de sonido (*I*)**

Potencia por unidad de área

$$I = \frac{P}{A} \qquad\qquad P = \frac{E_\lambda}{T} = \frac{1}{2}\rho A\left(\omega s_{\max}\right)^2 \lambda$$

$$\boxed{I = \frac{1}{2}\rho\left(\omega s_{\max}\right)^2 \lambda}$$