



Física II

clase 12 (27/04)

Profesor: M. Antonella Cid
Departamento de Física, Facultad de Ciencias
Universidad del Bío-Bío

Carrera: Ingeniería Civil Informática



Ejemplo

- Suponga que usted escucha el trueno de un rayo 16,2 [s] después de ver el relámpago. La rapidez del sonido en el aire es 343 [m/s] y la rapidez de la luz es $3,00 \times 10^8$ [m/s] ¿Qué tan lejos de usted se produjo el rayo?

Potencia suministrada

Al viajar una onda sonora (o una onda de presión), cada elemento de fluido ejerce una fuerza sobre el elemento que está delante de él, la magnitud de esta fuerza es dada por:

$$F_{em} = A\Delta p = A\Delta p_m \sin(kx - \omega t)$$

Por otra parte, el movimiento que experimenta un elemento de medio es dado por la función $s(t,x)$, luego la velocidad con la cual se mueve un elemento de medio estará dada por:

$$v_{em} = \frac{\partial s}{\partial t} = s_m \omega \sin(kx - \omega t)$$

La potencia suministrada por un elemento de medio es dada en términos del trabajo mecánico W como:

$$\mathcal{P} = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{F}_{em} \cdot \vec{v}_{em}$$

luego dada la relación entre s_m y Δp_m obtenemos:

$$\mathcal{P} = A\omega\Delta p_m s_m \sin^2(kx - \omega t) = \frac{A}{\rho v} \Delta p_m^2 \sin^2(kx - \omega t) = A\rho v(\omega s_m)^2 \sin^2(kx - \omega t)$$



Potencia e Intensidad

Promediando la potencia para un ciclo de oscilación obtenemos:

$$\bar{\mathcal{P}} = \frac{1}{T} \int_0^T \mathcal{P} dt = \frac{1}{2} A\omega\Delta p_m s_m = \frac{1}{2} \frac{A}{\rho v} \Delta p_m^2 = \frac{1}{2} A\rho v(\omega s_m)^2$$

Al igual que en el caso de una onda en una cuerda (onda transversal), la potencia promedio depende del cuadrado de la amplitud, ya sea de la presión o del desplazamiento.

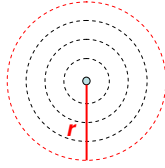
La **intensidad** de una onda o la potencia por unidad de área corresponde a la tasa a la cual la energía transportada por la onda pasa a través de un área A perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

$$\mathcal{I} = \frac{\bar{\mathcal{P}}}{A} = \frac{1}{2} \omega \Delta p_m s_m = \frac{1}{2} \frac{1}{\rho v} \Delta p_m^2 = \frac{1}{2} \rho v (\omega s_m)^2$$



Intensidad de una fuente puntual

Una fuente puntual emite ondas de sonido igualmente en todas direcciones



Frentes de onda esféricos emitidos por una fuente puntual. Los frentes de onda son proyectados como circunferencias en el plano de esta hoja

De la experiencia cotidiana sabemos que la intensidad de sonido decrece cuando nos alejamos de la fuente.

Dado que los frentes de onda son esferas, el área a una distancia r de la fuente corresponderá a $4\pi r^2$, luego la intensidad toma la forma:

$$I = \frac{\bar{P}}{A} = \frac{\bar{P}}{4\pi r^2}$$

La intensidad de la fuente decrece con el cuadrado de la distancia que separa el observador de la fuente.

Intensidad de Sonido en decibeles

- Los sonidos más débiles que el oído humano puede detectar a una frecuencia de 1000 [Hz] corresponden a una intensidad de 10^{-12} [W/m^2] denominado **umbral de audición**. Los sonidos más fuertes que el oído puede tolerar a esta frecuencia corresponden a una intensidad de 1 [W/m^2] conocido como el **umbral del dolor**
- Como el oído humano puede detectar un amplio rango de intensidades, se escoge una escala logarítmica para indicar la intensidad de sonido

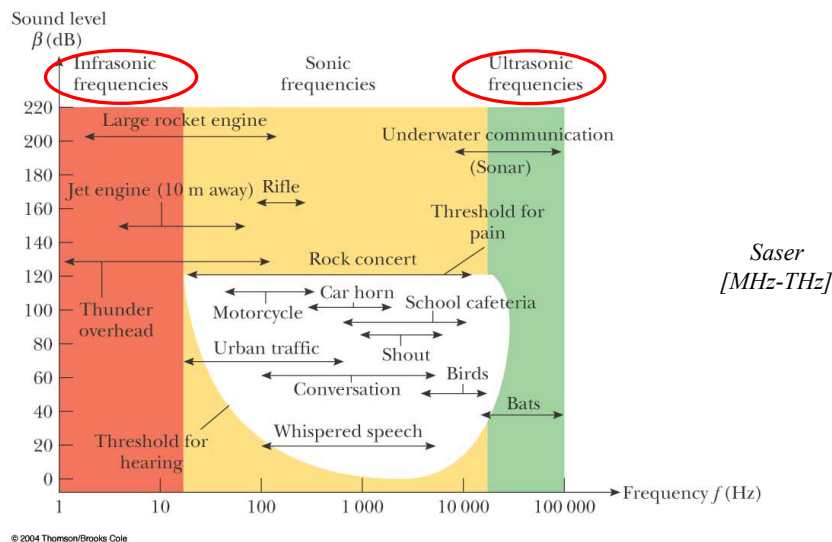
$$\beta \equiv 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) [dB]$$

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

El umbral del dolor corresponde a...
El umbral de audición corresponde a...

Ejemplo

- Dos máquinas idénticas están ubicadas a la misma distancia de un trabajador. La intensidad del sonido entregado por cada máquina en la ubicación del trabajador es de $2 \times 10^{-7} [W/m^2]$. Encuentre la intensidad del sonido en dB en la ubicación del trabajador cuando opera una máquina y cuando operan las dos.
- Como regla, duplicar el volumen (que depende en general de la intensidad y la frecuencia) corresponde a un incremento de 10 dB de intensidad. Si en el ejemplo, el volumen se duplica, ¿cuántas máquinas estarían operando?

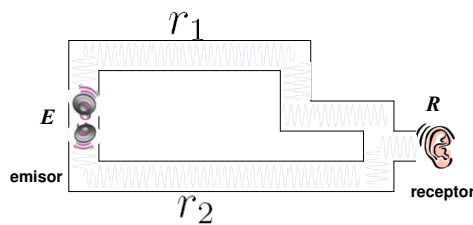


Ejemplo

- El área de un tímpano común es alrededor de $5 \times 10^5 \text{ [m}^2\text{]}$. Calcule la potencia del sonido que incide en un tímpano en (a) el umbral de audición y (b) en el umbral del dolor.



Interferencia de ondas de sonido



Las ondas de sonido emitidas en E siguen dos caminos diferentes. La mitad de la energía del sonido toma el camino r_1 y la otra mitad el camino r_2 . Las ondas de sonido que llegan a R pueden venir de cualquiera de estos dos caminos

Debido a la superposición de las ondas de sonido en R , las cuales siguen diferentes caminos, se presenta interferencia entre estas ondas de sonido.

Si la diferencia de camino es un múltiplo entero de λ (longitud de onda) se presenta interferencia constructiva (la amplitud es el doble de las amplitudes originales). Si la diferencia de camino es un múltiplo semi-entero de λ , se presenta interferencia destructiva (la amplitud es cero).

Puede aparecer una diferencia de fase cuando dos ondas generadas por la misma fuente viajan por caminos diferentes de distinta longitud.



Interferencia de ondas de sonido

Interferencia Constructiva:

$$\Delta r = |r_1 - r_2| = n\lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Las ondas estarán en fase en el receptor. Se detecta un máximo en la intensidad de sonido

En términos de la constante de fase, se presenta interferencia constructiva cuando:

$$\phi = 2n\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Interferencia Destructiva:

$$\Delta r = |r_1 - r_2| = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Las ondas estarán completamente fuera de fase en el receptor (180°). Se detecta un mínimo en la intensidad de sonido.

En términos de la constante de fase, se presenta interferencia destructiva cuando:

$$\phi = (2n + 1)\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Ondas de sonido estacionarias

Es posible encontrar ondas de sonido estacionarias para determinadas frecuencias de vibración. La frecuencia de vibración depende de si tratamos con un tubo abierto o cerrado. Las ondas estacionarias se generan con una onda de sonido viajera incidente y la onda reflejada en el extremo del tubo en el cual se propaga la onda

En un **tubo cerrado** el extremo cerrado corresponde a un nodo de desplazamiento debido a que en el extremo cerrado la pared no permite el movimiento longitudinal de las moléculas de aire. La onda reflejada está 180° fuera de fase con la onda incidente. Este punto corresponde a un antinodo de presión (puesto que la presión y el desplazamiento están 90° fuera de fase)

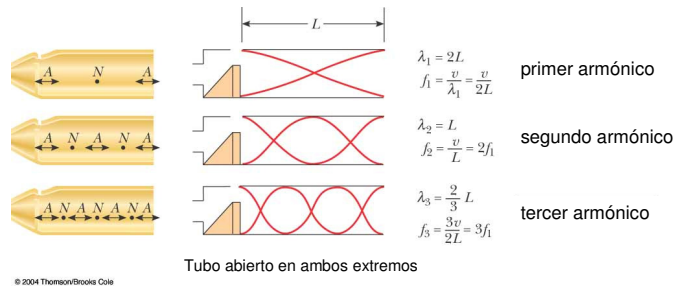
En un **tubo abierto** el extremo corresponde aproximadamente a un antinodo de desplazamiento y un nodo de presión, la presión en el extremo abierto corresponde a la presión atmosférica (cuando el tubo está en contacto con el aire)..

En el extremo de un tubo abierto hay un cambio en la forma del medio, allí el medio es libre de moverse en una región más grande.

Tubo abierto

En este caso la condición es que se presenten antinodos de desplazamiento en los extremos

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{vn}{2L} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

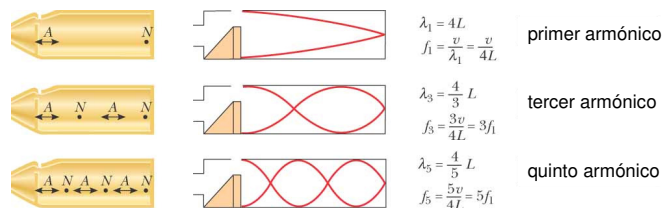


© 2004 Thomson/Brooks Cole

Tubo cerrado

En este caso la condición es que se presente 1 nodo de desplazamiento en el extremo cerrado y un antinodo de desplazamiento en el extremo abierto

$$\lambda_n = \frac{4L}{n} \quad f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{vn}{4L} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$



© 2004 Thomson/Brooks Cole

Tubo cerrado en un extremo

Ejercicios

- Una cuerda de guitarra de 60,0 cm de longitud y 6,00 g de masa esta sometida a una tensión de 50 [N]. ¿Cuál es la frecuencia armónica más alta que puede escuchar una persona con un límite superior de audición de 20 [kHz]?
- Si se determina que dos frecuencias naturales adyacentes de un tubo de órgano (semi-abierto) son 550 [Hz] y 650 [Hz], calcule la frecuencia fundamental y la longitud de este tubo ($v_{\text{sonido}} = 340$ [m/s])
- Se emiten ondas de sonido esféricas uniformemente en todas direcciones a partir de una fuente puntual, siendo 25 [W] la potencia irradiada. ¿Cuál es la intensidad en dB a 2.5 [m] de la fuente?