FÍSICA I: BFIOIC

2022-1

Prof. Dr. Marco Cuyubamba

SEMANA 14

Ondas sonoras

La perturbación acústica en los sólidos pueden darse tanto transversal como longitudinalmente.

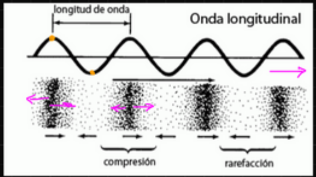
En cambio, en los fluidos (ya que no soportan fuerzas de cizalladura) son solo longitudinales, por tanto, las partículas del medio oscilan en la misma dirección de propagación

La perturbación acústica se propaga en todas las direcciones

frente de onda

* Consideremos una perturbación acústica que se propaga en tubo lleno de aire

La densidad del medio no perturbado será ρ_0



La densidad en el tubo varía en el espacio y tiempo

$$\rho = \rho(x,t)$$

Una perturbación lineal $\Delta\rho(x,t)$ genera fluctuaciones en la densidad siempre que

$$|\Delta\rho(x,t)| \ll \rho_0$$

La onda sonora satisface la ecuación de onda, teniendo como solución válida la armónica

$$\boxed{\Delta\rho(x,t) = \Delta\rho_m \operatorname{sen}(kx - \omega t)}$$

donde:

$\Delta\rho_m$: amplitud de densidad alrededor de ρ_0 (kg/m^3)

k : número de onda (m^{-1})

ω : frecuencia angular (rad/s)

De manera similar ocurre para la presión en el fluido, donde

$$\boxed{\Delta p(x,t) = \Delta p_m \,\text{sen}(kx - \omega t)}$$

Δp_m : amplitud del cambio de presión

Si tenemos en cuenta un elemento de fluido

en el caso homogéneo : $\rho = \frac{m}{V}$

$$d\rho = -\frac{m}{V^2}\,dV$$

$$\boxed{d\rho = -\rho\,\frac{dV}{V}}$$

tal que los pequeños cambios de densidad ante el paso de una perturbación del medio sea tal que

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = -\frac{\Delta V}{V} \quad ; \quad \text{en el límite lineal} \quad |\Delta\rho(x,t)| \ll \rho_0$$

Se define el módulo volumétrico B como ;

$$\boxed{B = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V}} \quad (Pa)$$

$\frac{\Delta V}{V}$: cambio unitario volumétrico

donde B describe el cambio de volumen en un elemento de fluido en respuesta a una modificación de presión ; entonces

$$B = +\frac{\Delta P}{\frac{\Delta\rho}{\rho}} \quad \rightarrow \quad \boxed{\Delta\rho_m = \frac{\rho_0}{B}\,\Delta p_m}$$

siendo esta relación aplicable a todas las ondas sonoras en cualquier fluido

El sonido como onda de desplazamiento

Vamos a estudiar el desplazamiento de las partículas de un fluido debido a la propagación de una perturbación acústica

Sea un elemento de fluido, dentro de un tubo por donde se propaga la onda

Se tiene un elemento de fluido de espesor dx que se desplaza en $S(x,t)$

$S = S(x,t)$: función desplazamiento del fluido el paso de una perturbación del medio sea tal que

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = -\frac{\Delta V}{V}$$; en el límite lineal $|\Delta\rho(x,t)| << \rho_0$

Se define el módulo volumétrico B como;

$$\boxed{B = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V}} \quad (Pa)$$

$\frac{\Delta V}{V}$: Cambio unitario volumétrico

de una perturbación acústica

Sea un elemento de fluido, dentro de un tubo por donde se propaga la onda

Se tiene un elemento de fluido de espesor δx que se desplaza en $S(x,t)$

$S = S(x,t)$: función desplazamiento del fluido

Obs

La onda sonora al desplazarse por el elemento de fluido, cambia también su espesor

$$\delta x' = (S(x+\delta x,t) + \cancel{x} + \delta x) - (S(x,t) + \cancel{x})$$

$$\delta x' = \delta x + S(x+\delta x,t) - S(x,t)$$

$$\Rightarrow \delta x' = \delta x \left[1 + \frac{S(x+\delta x,t) - S(x,t)}{\delta x}\right]$$

en el límite ; $\delta x \to 0$

$$\delta x' = \delta x \left[1 + \frac{\partial s}{\partial x}\right] \quad \cdots (*)$$

entonces la densidad

$$\rho(x,t) = \frac{\delta m}{A\,\delta x'} = \frac{\delta m}{A\,\delta x(1 + \partial s/\partial x)} = \frac{\rho_0}{1 + \partial s/\partial x}$$

Debido a que las variaciones de densidad son pequeñas;

$$\left(1 + \frac{\partial s}{\partial x}\right)^{-1} \approx 1 - \frac{\partial s}{\partial x}$$; luego

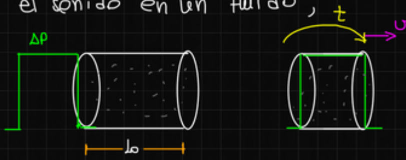
$$\rho(x,t) = \rho_0\left(1 - \frac{\partial s}{\partial x}\right) \rightarrow \boxed{\Delta\rho(x,t) = -\rho_0\frac{\partial s}{\partial x}}$$

Luego; integrando sobre x, se tiene

$$\boxed{S(x,t) = \underbrace{\frac{\Delta\rho_m}{\rho_0 K}}_{S_m}\cos(Kx - \omega t)} \Rightarrow \boxed{S_m = \frac{\Delta\rho_m}{\rho_0 K} = \frac{\Delta P_m}{KB}}$$

Rapidez del sonido

Para estudiar la rapidez con que se propaga el sonido en un fluido,



El pulso de la onda comprime al elemento de fluido

Se puede demostrar que

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}}} \quad (m/s)$$

velocidad de propagación de una onda sonora en un fluido

B: módulo de compresibilidad (Pa)

ρ_0: densidad del fluido no perturbado (kg/m^3)

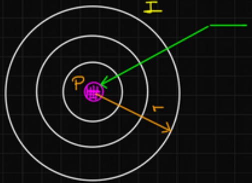
OBS Para el caso del aire;

$B = 1{,}42 \times 10^5 \ Pa$

$\rho_0 = 1{,}2 \ kg/m^3$

$\Longrightarrow v_{sonido} \approx 343 \ m/s$

Potencia e intensidad de las ondas sonoras



fuente que genera la perturbación $f; P$ siendo P la potencia entregada por la fuente

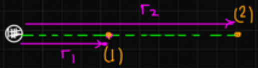
$$\boxed{I = \frac{P}{A}} \quad \frac{W}{m^2}$$

frente de onda esférico

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

P: potencia es la rapidez con que se propaga la energía en el medio (W)

OBS



$$I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2}$$

$$I_2 = \frac{P}{4\pi r_2^2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$$

Nivel de intensidad

Debido a la enorme sensibilidad del oído humano, se mide el nivel de intensidad en escala Logarítmica

$$\boxed{\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)}$$

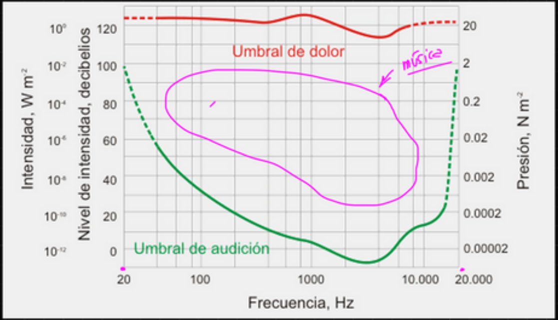
I_0 : intensidad referencial (umbral auditivo) $= 10^{-12}\ W/m^2$

donde β se mide en decibeles (dB)

$\Rightarrow \quad I = I_0 \longrightarrow \beta = 0\ dB$

$I = 1 \longrightarrow \beta = \underbrace{120\ dB}_{}$

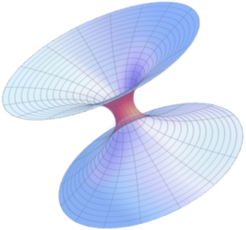
límite del dolor



frecuencias audibles : $20 Hz < f < 20 kHz$

GRACIAS

Y MUCHOS ÉXITOS



$$G_{\alpha\beta} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\alpha\beta}$$