



DIEGO PABLO RUIZ PADILLO
 Profesor del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Granada.
 Coordinador del Laboratorio de Acústica y Física Ambiental de la Universidad de Granada.
 Tel: 958 244161 e-mail: dpruiz@ugr.es



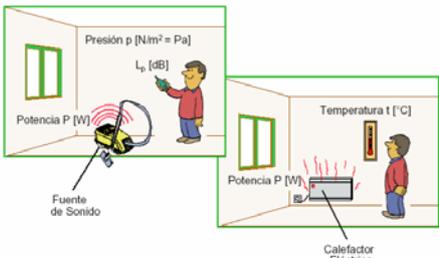
Contaminación Acústica

Unidad didáctica 1: Fundamentos físicos del sonido



ACÚSTICA AMBIENTAL





Fuente de calor:
Produce una cierta cantidad de **energía** (calorífica) por unidad de tiempo.

Potencia: indicativo de la cantidad de CALOR que puede generar con independencia del ambiente que le rodea.

El **flujo de energía** da lugar a una cierta **temperatura MEDIBLE** en cualquier parte de la habitación en la que esté situado el calefactor.

Temperatura: depende del proceso de transferencia de calor que tenga lugar entre el radiador y entorno.

Fuente de sonido:
Produce una determinada cantidad de **energía** (sonora) por unidad de tiempo.

Potencia sonora: medida de la cantidad de energía sonora que es capaz de producir.

El **flujo** de esta energía da lugar a **variaciones de presión que es posible MEDIR** en cualquier punto de la habitación. Magnitud: NPS

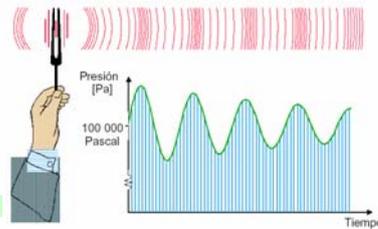
Factores que pueden influir: distancia a la fuente, capacidad de absorción/transmisión de paredes, ventanas y suelos, atenuación que pueda tener lugar en el aire, etc.



ACÚSTICA AMBIENTAL



El **sonido** es una alteración física en un medio (sólido, líquido o gaseoso) que puede ser detectada por el oído humano. El medio debe poseer masa y elasticidad y las vibraciones del mismo se propagan en forma de **ondas de presión**.



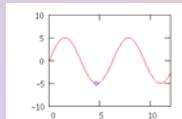
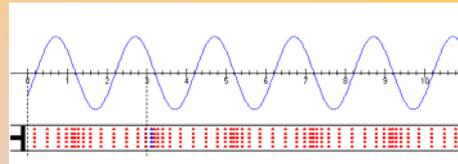
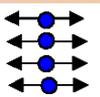
ACÚSTICA AMBIENTAL



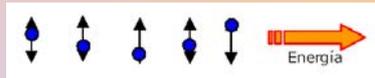
Clases de movimientos ondulatorios

Longitudinal

Movimiento partícula



Transversal



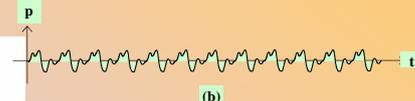
ACÚSTICA AMBIENTAL



El sonido es consecuencia de la aparición de una **presión incremental:**

$$p = P - P_{atm}$$


(a)



(b)

Presión [Pa]

Presión Atmosférica
100 000
Pascal

New York

Mexico City

Variaciones de Presión Sonora

$P_{atm} \approx 10^5 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$
 $30 \times 10^{-6} \text{ Pa} < p < 30 \text{ Pa}$

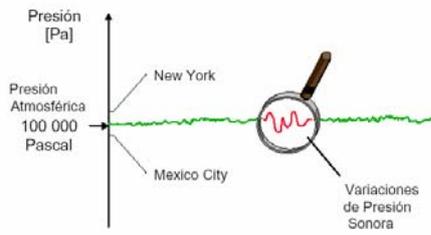
$p \ll \ll P_{atm}$



ACÚSTICA AMBIENTAL



Cómo el valor medio de la onda sonora es nulo, se toma como indicador la presión sonora eficaz (Prms) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$


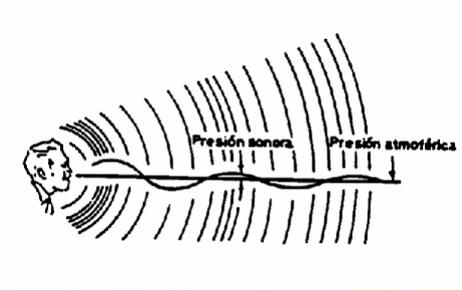
Presión [Pa]

Presión Atmosférica
100 000
Pascal

New York

Mexico City

Variaciones de Presión Sonora



Presión sonora

Presión atmosférica



ACÚSTICA AMBIENTAL

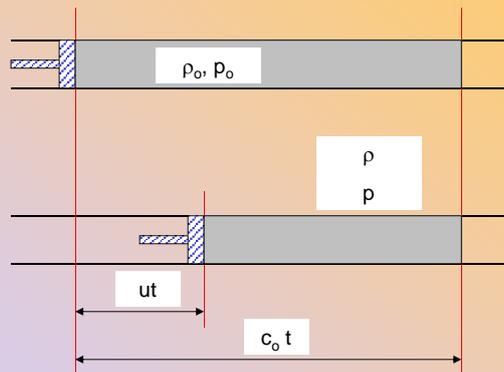


ECUACIÓN DE LAS ONDAS ACÚSTICAS

Como fenómeno ondulatorio, la propagación de la fluctuación de densidad (variación de presión) viene descrita por la ecuación de ondas:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c_o^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$$

Ecuación de ondas en una dimensión (x) Movimiento ondulatorio sin distorsión y velocidad c_o



ACÚSTICA AMBIENTAL

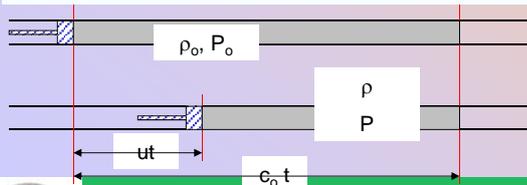


ECUACIÓN DE LAS ONDAS ACÚSTICAS LINEALIZADA Y SIN PÉRDIDAS

Definición: Partícula de un fluido.

Hipótesis:

- No se consideran los efectos gravedad
- Fluido es homogéneo e isótropo
- No hay efectos disipadores (viscosidad, transmisión calor)
- Cambios de densidad son pequeños.



$$|s| = \left| \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right|$$



ACÚSTICA AMBIENTAL



ECUACIÓN DE LAS ONDAS ACÚSTICAS LINEALIZADA Y SIN PÉRDIDAS

Ecuaciones de la física del problema.

1. Ecuación del proceso: ADIABÁTICO

$$P - P_0 = B s$$

$$B = \rho_0 \left. \frac{\partial P}{\partial \rho} \right|_{P_0}$$

Módulo de compresibilidad adiabático

2. Ecuación de continuidad

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$



ACÚSTICA AMBIENTAL



ECUACIÓN DE LAS ONDAS ACÚSTICAS LINEALIZADA Y SIN PÉRDIDAS

Ecuaciones de la física del problema.

3. Ecuación de Euler (fluidos no viscosos)

$$-\nabla P = \rho \left\{ \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} \right\}$$



combinándolas

$$\nabla^2 P = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2}$$

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho_0}}$$



ACÚSTICA AMBIENTAL



Para un gas ideal



$$B = \gamma P$$

Combinando resultados obtenemos una expresión para la velocidad del sonido en el aire (gas ideal)

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_m}}$$



ACÚSTICA AMBIENTAL



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

$\gamma = C_p/C_v$; $R = 8,31 \text{ J/mol}^\circ\text{K}$
 $M =$ masa de 1 mol en kg/mol
 $T =$ temperatura en K

Aire: $\gamma = 1,4$; $M = 0,0288 \text{ kg/mol}$

$$c = 20,05 \sqrt{T} \text{ (m/s)}$$

Para temperaturas cercanas a la ambiente (t en $^\circ\text{C}$)

Aire a $20 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$c = 332 + 0,608 t \text{ (m/s)}$$

$\rho_o = 1.2 \text{ kg/m}^3$; $c_o = 344 \text{ m/s}$

$Z = 413 \text{ rayls}$



ACÚSTICA AMBIENTAL

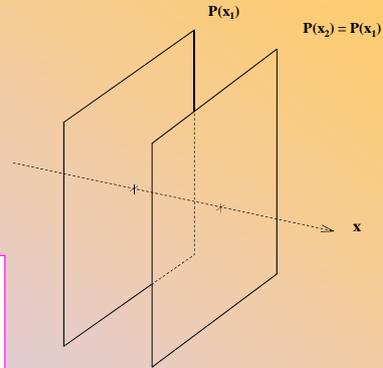


Ondas planas: una simplificación muy útil

$$P(x) = \text{constante}$$

La presión sólo depende de una variable.

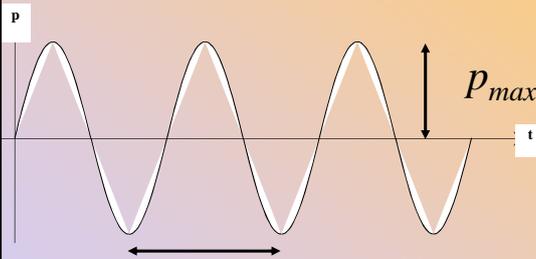
Las superficies de igual fase son planos. Extensión idealmente infinita. Una buena aproximación sería una onda esférica o cilíndrica a gran distancia del centro o eje de la fuente



ACÚSTICA AMBIENTAL



Ondas planas y armónicas: una descripción muy conveniente



➔ **TONO PURO**

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

$$P_{rms} = p_{ef} = \frac{P_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$p = p_{max} \text{ sen}(\omega t)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$\lambda = c T = \frac{c}{f}$$



ACÚSTICA AMBIENTAL



Una solución especialmente importante de la ecuación de onda es aquella en que la variación de presión es una función armónica (onda plana):

$$p = p_o \text{ sen}(\omega t - kx) \quad \Rightarrow \text{TONO PURO}$$

$$\begin{aligned} \omega T &= 2\pi \\ k\lambda &= 2\pi \end{aligned}$$

$$c_o = \frac{\lambda}{T} = \frac{2\pi/k}{2\pi/\omega} = \frac{\omega}{k}$$



ACÚSTICA AMBIENTAL



Magnitudes importantes en una onda sonora: Intensidad acústica

INTENSIDAD SONORA:

Energía por unidad de tiempo (potencia) transmitida por una onda por unidad de área

$$I = \frac{P_{rms}^2}{\rho c}$$



ACÚSTICA AMBIENTAL

