



**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

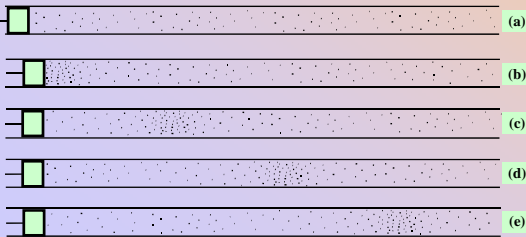
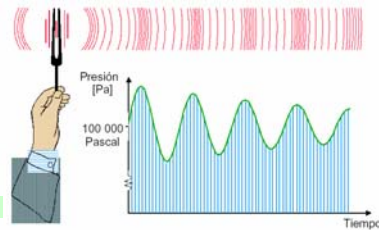
Factores que pueden influir: distancia a la fuente, capacidad de absorción/transmisión de paredes, ventanas y suelos, atenuación que pueda tener lugar en el aire, etc.



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**.



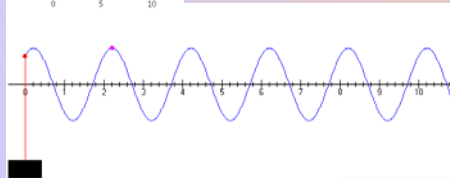
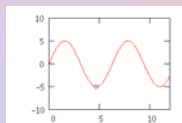
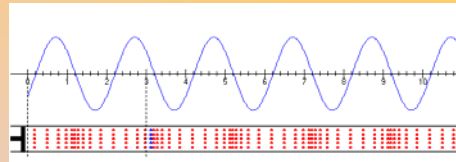
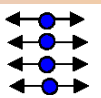
ACÚSTICA AMBIENTAL



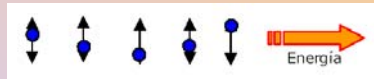
Clases de movimientos ondulatorios

Longitudinal

Movimiento partícula



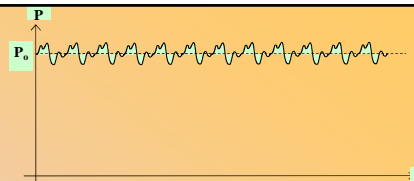
Transversal



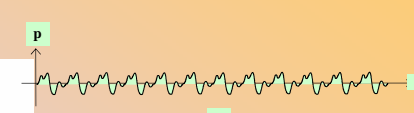
ACÚSTICA AMBIENTAL



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

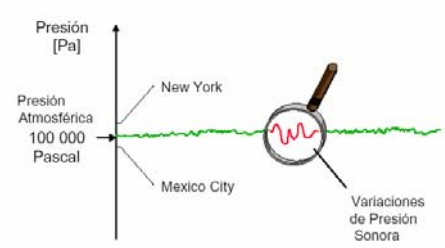
$P_{atm} \approx 10^5 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$   
 $30 \times 10^{-6} \text{ Pa} < p < 30 \text{ Pa}$   
 $p \ll \ll P_{atm}$



**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:

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


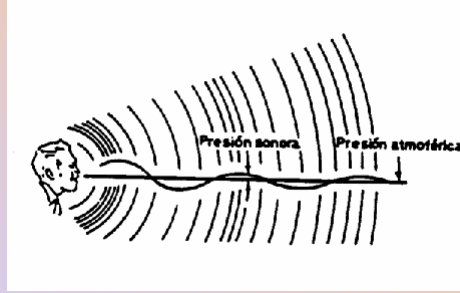
Presión [Pa]

Presión Atmosférica  
100 000  
Pascal

New York


Mexico City

Variaciones de Presión Sonora




Presión sonora

Presión atmosférica



**ACÚSTICA AMBIENTAL**

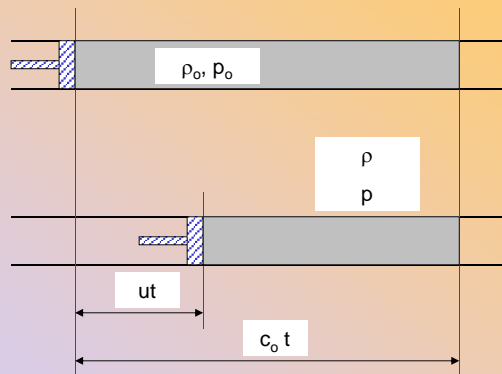


## ECUACIÓN DE LAS ONDAS ACÚSTICAS

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

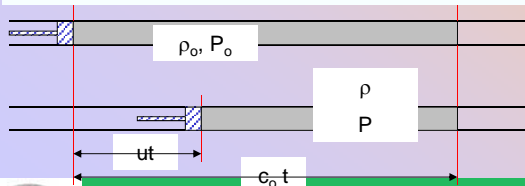


## ECUACIÓN DE LAS ONDAS ACÚSTICAS LINEALIZADA Y SIN PÉRDIDAS

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



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

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

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

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

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

$Z = 413 \text{ rayls}$



ACÚSTICA AMBIENTAL

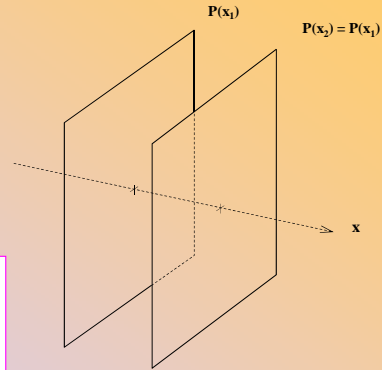


## Ondas planas: una simplificación muy útil

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

La presión sólo depende de una variable.

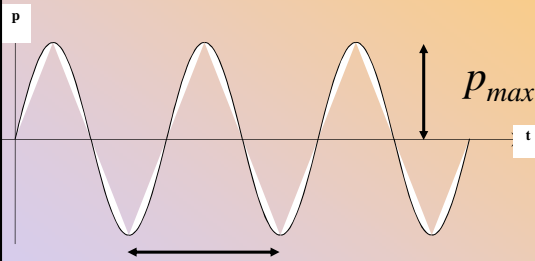
Las superficies de igual fase son planos. Extensión idealmente infinita. Una buena aproximación sería una onda esférica o cilíndrica a gran distancia del centro o eje de la fuente



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

