# 02. ACUSTICA FISICA (segunda parte)

**presentación preparada por:**
Arq. Ricardo Estellés Díaz
**diagramación de impresión:**
Bach. Alejandro Fernández Rodeiro

**2007**

# ACUSTICA FISICA
## (segunda parte)

### 2.1_ Energía sonora

Cuando analizamos el fenómeno sonoro debemos establecerlo en función de la frecuencia *(f)*, el tiempo *(t)* y la energía *(E)*.
Toda fuente sonora transforma algún tipo de energía en energía mecánica con frecuencias comprendidas entre 20 y 20000 Hz capaces de ser captadas por el sentido del oído.

### 2.2_ Potencia sonora

La cantidad de energía sonora que la fuente emite por unidad de tiempo es lo que llamamos potencia sonora de la fuente.
Esta potencia sonora es una característica propia de cada fuente e independiente de la ubicación de la misma.
La potencia se mide en Watios o Watts *(W)*.
Como referencia

1 Watio = 1 Joul / seg. *(W=J/s)*
1 Joule (J*)* es la energía necesaria para desplazar 1metro *(m)* el punto de aplicación de una fuerza de 1 Newton *(N)*.

### 2.3_ Intensidad sonora

Si suponemos una fuente sonora puntual y adireccional (que emite la misma cantidad de energía en todas direcciones) en un medio homogéneo, la energía se difunde en el espacio que la rodea a la misma velocidad en todas las direcciones.
Se forma así un frente de onda esférico que implica que la energía emitida, momento a momento, se está repartiendo en una superficie mayor.
A partir de cierta distancia de la fuente sonora el frente de onda puede considerarse como plano.
Si consideramos una superficie S por la cual pasa una cantidad de energía sonora por unidad de tiempo (potencia sonora), se define la intensidad sonora como el cociente entre la potencia que atraviesa normalmente la superficie S y el área de dicha superficie.

$$I = \frac{W}{S} \qquad (2.1)$$

donde:
*$I$ = intensidad sonora en ($W/m^2$)*
*$W$ = potencia sonora en ($W$)*
*$S$ = Superficie en ($m^2$)*

Si la superficie es esférica:

$$\mathbf{I = \frac{W}{4.\pi.d^2}} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Si la superficie es semi-esférica:

$$\mathbf{I = \frac{W}{2.\pi.d^2}} \qquad \textbf{(2.3)}$$

Si la superficie es cilíndrica (fuete lineal):

$$\mathbf{I = \frac{W}{2.\pi.d.l}} \qquad \textbf{(2.4)}$$

donde:
*I = intensidad sonora en (W/m$^2$)*
*W = potencia sonora en (W)*
*d = radio de la esfera o cilindro (m)*
*l = longitud de la fuente lineal (m)*

## 2.4_ Presión sonora

Definidas la potencia sonora y la intensidad sonora *(I)*, la presión sonora *(P)* surge de aplicar la siguiente expresión:

$$\mathbf{P = \sqrt{I \, . \, \rho \, . \, c}} \qquad \textbf{(2.5)}$$

donde:
*P = presión sonora (Pa)*
*I = intensidad sonora (W/m$^2$)*
ρ = *densidad del medio* (kg/m$^3$)
*c = velocidad de propagación del sonido (m/seg)*

Para una onda libre y progresiva procedente de una sola dirección el producto ρ.c es una característica de un medio dado y se le denomina impedancia acústica característica *(Zc)*, verificándose la siguiente expresión:

$$\mathbf{P = \sqrt{I \, . \, Zc}} \qquad \textbf{(2.6)}$$

donde:
*P = presión sonora (Pa)*
*I = intensidad sonora (W/m$^2$)*
$Z_c$ = *impedancia característica del medio (kg/m$^2$.seg)*

El oído es capaz de percibir las variaciones instantáneas de presión sonora, pero no así las de intensidad sonora.
No obstante, para un medio en condiciones de onda plana o progresiva, conociendo la intensidad sonora (I) podemos hallar el valor de la presión sonora *(P) y* viceversa.
Esta relación no se cumple para puntos cercanos a la fuente, donde la relación entre intensidad y presión es mucho más compleja.

## 2.5_ Rango Audible

$$10^{-12}\ \mathrm{W/m2} < I < 10\ \mathrm{W/m2} \qquad (2.7)$$
$$2\mathrm{x}10^{-5}\ \mathrm{Pa} < P < 2\mathrm{x}10\ \mathrm{Pa}$$

El rango de presión sonora *(P)* es la mitad que el de intensidad sonora *(I)*, pero aún así resulta incómodo de trabajar.
Por ejemplo: si se adopta una escala en la que 1mm equivale a $P_0$ (2x10-5 Pa), harían falta alrededor de 1.600 mts para representar el rango audible.

## 2.6_ Ley de Weber (ley empírica)

La percepción del incremento de una magnitud está en función del porcentaje del incremento.
Ej.: si pasamos de 2 a 3 m o de 20 a 21 m la diferencia es de 1m, no obstante en el primer caso se percibe el 50% de incremento mientras que en el segundo es del 5%.

## 2.7_ Ley de Fletcher

La sensación crece en función aritmética mientras el estímulo crece en función geométrica, es decir que se debe duplicar el estímulo para que la sensación aumente en forma constante.
Estos aspectos así como el manejo de una escala física sumamente extensa determinan la necesidad de manejar una escala logarítmica para las magnitudes acústicas.

## 2.8_ Unidades de medida *(dB)*

La relación entre el umbral de audición y el máximo de audición es, en términos de intensidad, de 1 a $10^{14}$
La razón $10^{14}$ a 1 se puede expresar, en términos logarítmicos, como $\log(10^{14}/1)=14$.
De esta manera se reduce la escala de 0 a 14, y queda definido el Bel aunque, por razones operativas, resulta más cómodo utilizar el decibel (dB)

## 2.9_ Nivel de potencia sonora

La potencia sonora de las fuentes abarca un amplio rango de valores, por lo que resulta también practica la utilización de la escala logarítmica a nivel operativo.
Se define el nivel de potencia sonora *($L_w$)* como diez veces el logaritmo decimal de la relación de dos potencias sonoras:

$$L_W = 10 \log (W / W_0) \quad (2.8)$$

donde:
*$L_W$ = nivel de potencia sonora (dB)*
*$W$ = potencia sonora considerada (W)*
*$W_0$ = potencia sonora de referencia ($10^{-12}$ W)*

## 2.10_ Nivel de intensidad sonora

Se define el nivel de intensidad sonora *(L)* como diez veces el logaritmo decimal de la relación de dos intensidades sonoras:

$$L = 10 \log (I / I_0) \quad (2.9)$$

donde:
*$L$ = nivel de intensidad sonora (dB)*
*$I$ = intensidad sonora considerada ($W/m^2$)*
*$I_0$ = Intensidad sonora de referencia ($10^{-12}$ $W/m^2$)*

## 2.11_ Nivel de presión sonora

Se define el nivel de presión sonora *($L_P$)* como veinte veces el logaritmo decimal de la relación de dos niveles de presiones sonoras:

$$L_P = 20 \log (P / P_0) \quad (2.10)$$

donde:
*$L_P$ = nivel de presión sonora (dB)*
*$P$ = presión sonora considerada (Pa)*
*$P_0$ = presión sonora de referencia ($2x10^{-5}$ Pa)*

## 2.12_ Composición de niveles

El nivel sonoro producido por dos o más fuentes en un punto del espacio surge de hallar el nivel correspondiente a la suma de las intensidades sonoras en dicho punto.
Es erróneo considerar que el nivel sonoro surge de la suma algebraica de los distintos niveles sonoros ya que no debe olvidarse que se trabaja con una escala logarítmica.

$$L_{(1-2)} = 10 \log \frac{(I_1 + I_2)}{I_0} \quad (2.11)$$

donde:
*$L_{(1-2)}$ = nivel compuesto de intensidad sonora (dB)*
*$I_1$ = intensidad sonora a componer*
*$I_2$ = intensidad sonora a componer*
*$I_0$ = intensidad sonora de referencia ($10^{-12}$ $W/m^2$)*

## 2.13_ Procedimientos para la composición de niveles sonoros

Si despejamos la intensidad sonora (I) en función del nivel de intensidad sonora llegaremos a la siguiente expresión:

$$L_{(1+2+...+n)} = 10 \log \left( 10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + ... + 10^{L_n/10} \right) \qquad (2.12)$$

donde:
*$L_{(1+2+...+n)}$ = nivel compuesto de intensidad sonora (dB)*
*$L_i$ = nivel de intensidad sonora i*
*$L_n$ = nivel de intensidad sonora n*

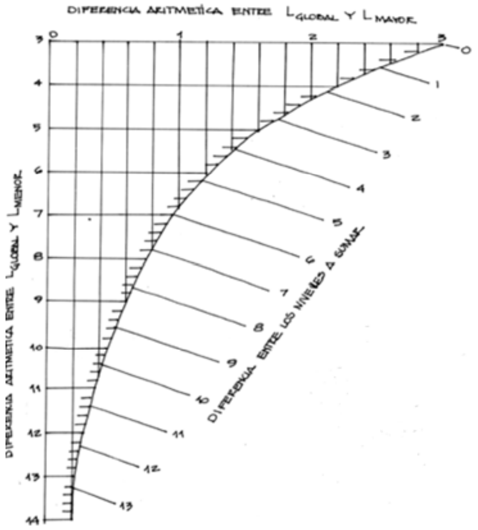
Esta formula resulta ser la forma mas sencilla de abordar la composición de mas de dos niveles sonoros a la vez.
En el caso que se debieran componer solo dos niveles sonoros, o que se abordase la composición múltiple en sucesivos pasos, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$L_{(1-2)} = L_1 + \Delta \qquad (2.13)$$

donde:
*$L_{(1-2)}$ = nivel compuesto de intensidad sonora (dB)*
*$L_1$ = nivel sonoro mayor a componer ($L_1 \geq L_2$) (dB)*
*$\Delta$ = incremento del nivel sonoro debido a composición*

| $L_1 - L_2$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta$ | 3 | 2.5 | 2.1 | 1.7 | 1.4 | 1.15 | 0.95 | 0.6 | 0.4 | 0.25 | 0.15 |

Existe un tercer método que consiste en la utilización del siguiente gráfico.
Se ingresa al mismo con el valor de la diferencia aritmética de los niveles sonoros a componer y se obtienen las diferencias aritméticas entre el nivel compuesto y los distintos niveles sonoros.




Ejemplo

L1= 90dB
L2 = 92 dB

L(1-2) = 90 + 4
o
L(1-2) = 92 + 2

## 2.14_ Referencias bibliográficas específicas

Beranek, Leo L.:
"Acústica" Editorial Hispanoamericana S.A. Buenos Aires (Arg.), 1961

Knudsen, Vern O; Harris, Cyril M.:
"Acoustical Designing in Architecture". American Institute of Physics, 1978

Everest, F. Alton:
"The Master Handbook of Acoustics". McGraw-Hill. Blue Ridge Summit (USA), 1989

Harris, Cyril M.:
"Handbook of Acoustics". McGraw-Hill. Blue Ridge Summit (USA), 1989

Miyara, Federico:
"Acústica y Sistemas de Sonido" UNR Editora. Rosario (Arg.), 1999

Hakas, Jorge:
"Proyecto de Memoria General Constructiva (parte Acondicionamiento Acústico)"
Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003