

TEMA 3

Percepción del sonido y su medida

3.1. Niveles acústicos

Magnitudes: presión, intensidad y potencia sonora

ESCALA LOGARÍTMICA:

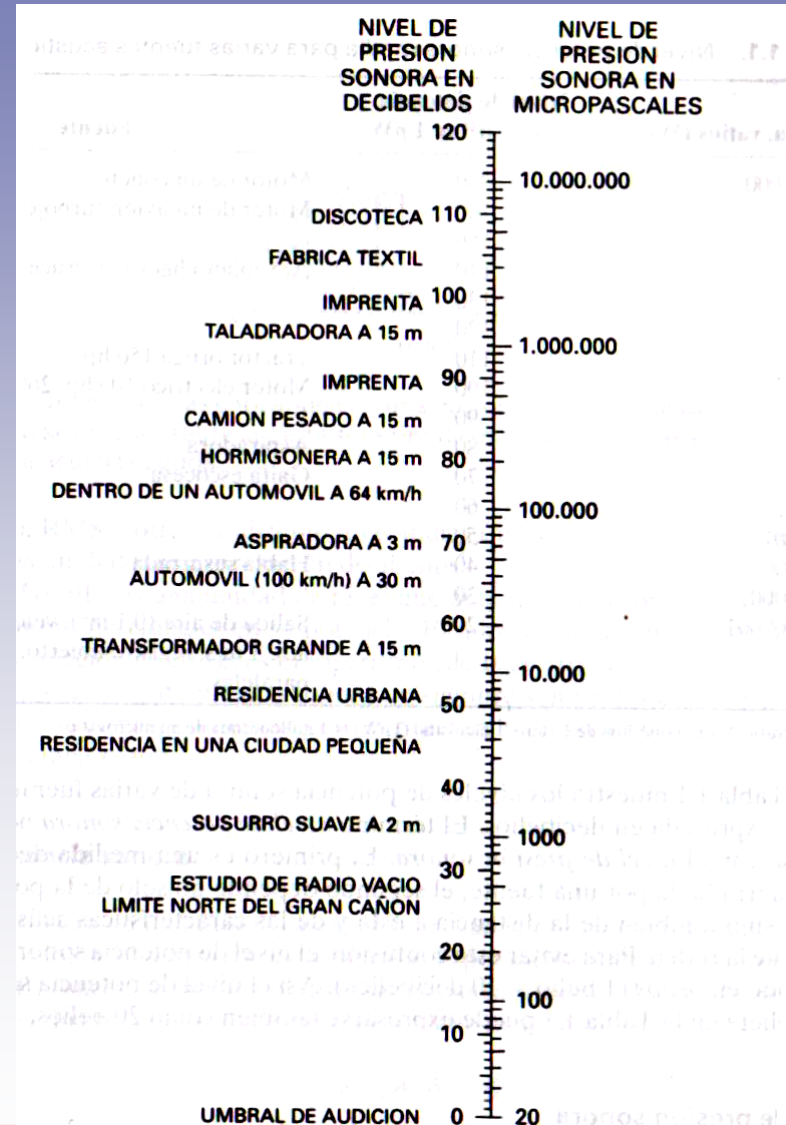
- **comodidad:** el rango de presiones sonoras es muy amplio
- **respuesta del oído humano**
- **NIVELES** de presión, intensidad y potencia sonora

Nivel de referencia:

frecuencias: 20 - 20.000 Hz

presiones: 2×10^{-5} - 10^3 Pa

intensidades: 10^{-12} - 200 W/m²



NIVEL DE INTENSIDAD ACÚSTICA:

Intensidad: energía por unidad de área perpendicular a la dirección especificada

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W / m}^2$$

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{L_I}{10}}$$

BELIO (unidad adimensional):

$$n = \log \frac{E_1}{E_2} \Rightarrow 10 \log \frac{E_1}{E_2}$$

NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA:

Magnitud más utilizada y medible:

$$L_p = 10 \log \frac{p_{ef}^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p_{ef}}{p_0}$$

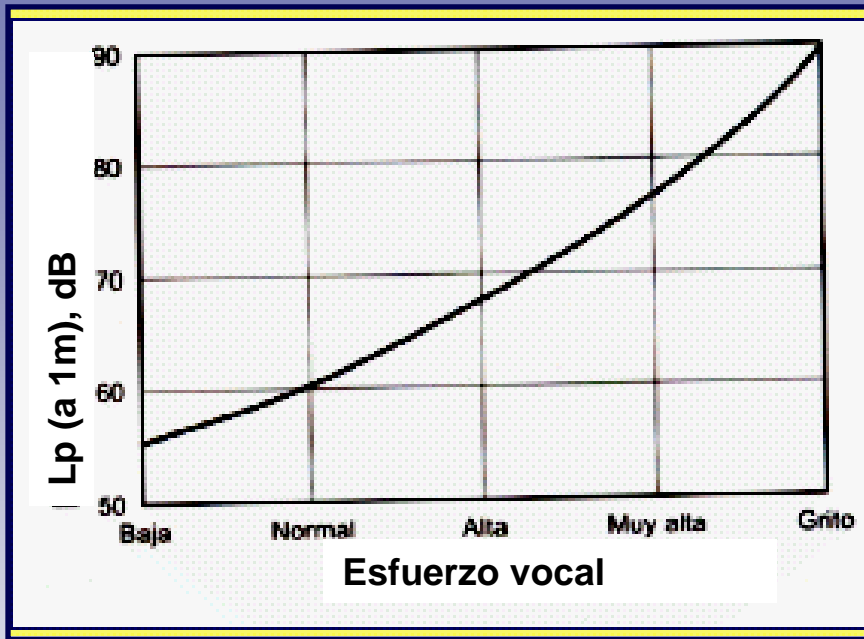
$$p_0 = 2 \times 10^{-5} Pa$$

$$L_p = 20 \log p_{ef} + 94 \quad p_{ef} = p_0 \cdot 10^{\frac{L_p}{20}}$$

NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA:

FUENTE SONORA	NIVEL DE PRESIÓN SONORA (dB)	VALORACIÓN SUBJETIVA DEL NIVEL
Despegue avión (a 60 m)	120	Muy elevado
Edificio en construcción	110	
Martillo neumático	100	
Camión pesado (a 15 m)	90	Elevado
Calle (ciudad)	80	
Interior automóvil	70	
Conversación normal (a 1 m)	60	Moderado
Oficina, aula	50	
Sala de estar	40	
Dormitorio (noche)	30	Bajo
Estudio de radiodifusión	20	

NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA:



Umbral de dolor: 130 dB

Voz en conversación normal: 70 dB

Cambio de nivel claramente perceptible: 5 dB

La sensación sonora se duplica: 10 dB

NIVEL DE POTENCIA ACÚSTICA:

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} \Rightarrow L_W = 10 \log W + 120$$

$$W_0 = 10^{-12} \text{ vatios}$$

$$W = W_0 \cdot 10^{\frac{L_W}{10}}$$

Relación entre niveles acústicos de presión, intensidad y potencia:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$L_P = 20 \log \frac{p_{ef}}{p_0}$$

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

Relación entre niveles, ¿bajo que condiciones?

CAMPO ACÚSTICO LIBRE O DIRECTO: ondas directas

Sin reflexiones, se consigue en cámara anecoica

a) RELACIÓN ENTRE NIVELES DE PRESIÓN E INTENSIDAD ACÚSTICA:

$$I = \frac{p_{ef}^2}{\rho c}$$

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} = 10 \log \frac{p_{ef}^2}{\rho c I_{ref}} = 10 \log \frac{p_{ef}}{p_0} + 10 \log \frac{p_0^2}{\rho c I_{ref}}$$

$$L_I = L_p + 10 \log K$$

$$\frac{p_0^2}{\rho c I_{ref}} = 1 \Rightarrow \rho c = \frac{p_0^2}{I_{ref}} = \frac{(2 \times 10^{-5})^2}{10^{-12}} = 400 \text{ N} \times \text{s} / \text{m}^3$$

$$\text{Aire : } 410 \text{ N} \times \text{s} / \text{m}^3 + 22^\circ \text{C} \Rightarrow L_I \approx L_p$$

b) RELACIÓN ENTRE NIVELES DE INTENSIDAD Y POTENCIA ACÚSTICA:

Fuente omnidireccional o isótropa:

$$W = I \cdot S$$

$$L_W = 10 \log \frac{W}{10^{-12}} = 10 \log \frac{I \cdot S}{10^{-12}} = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} + 10 \log S = L_I + 10 \log S$$

$$L_{P,I} = L_W + 10 \log \frac{1}{S} = L_W + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2}$$

FUENTE DIRECCIONAL:

$$L_P = L_W + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right) \quad Q = \frac{I}{I_{iso}} = \frac{p^2}{p_{iso}^2}$$

EXTERIOR:

$$L_P = L_W + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right) + A_{aire} + A_{suelo} + A_{vegetación}$$

INTERIOR:

$$L_P = L_W + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{\mathfrak{R}}\right)$$

\mathfrak{R} : constante de la sala

3.2. Composición de niveles acústicos

Fuentes incoherentes:

$$p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t)$$

$$p_{ef}^2 = p_{1ef}^2 + p_{2ef}^2 + \dots + p_{nef}^2$$

$$L_p = 10 \log \left[\frac{p_{ef}}{p_0} \right]^2 = 10 \log \frac{p_{1ef}^2 + p_{2ef}^2 + \dots + p_{nef}^2}{p_0^2} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{p_{i,ef}^2}{p_0^2} \right]$$

$$L_{p,i} = 10 \log \left[\frac{p_{i,ef}}{p_0} \right]^2 \Rightarrow \left[\frac{p_{i,ef}}{p_0} \right]^2 = 10^{0,1L_{p,i}}$$

$$L_p = L_1 \oplus L_2 \oplus \dots \oplus L_n = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{p,i}} \right]$$

3.3. Análisis espectral del sonido. Ruido blanco y ruido rosa

ANÁLISIS ESPECTRAL: determinación de la presión sonora en función de la frecuencia



BANDAS DE FRECUENCIA:

$$f_1, f_2 \quad f_2 - f_1$$

$$\frac{f_2}{f_1}$$

ACÚSTICA:

- BANDAS DE OCTAVA
- BANDAS DE TERCIO DE OCTAVA

a) Bandas de octava:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2$$

$$f_C = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = f_1 \sqrt{2}$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 0.7 f_C$$

$$f_{C2} = 2 \cdot f_{C1} = 2 \cdot 1000 \text{ Hz}$$

$$f_{C3} = 2(2 \cdot f_{C1}) = 2^2 \cdot 1000 \text{ Hz}$$

$$f_{C4} = 2f_{C3} = 2(2(2 \cdot f_{C1})) = 2^3 \cdot 1000 \text{ Hz}$$

$$f_C = 1000 \cdot 2^n$$

$$-6 \leq n \leq 4$$

$$f_C = 1000 \cdot 2^n$$

$$-6 \leq n \leq 4$$

n	$f_C(\text{Hz})$	$f_1(\text{Hz})$	$f_2(\text{Hz})$	$f_2-f_1(\text{Hz})$
-6	15.6	11	22	11
-5	31.5	22.3	44.6	22.3
-4	63	44.5	89	44.5
-3	125	88.4	176.8	88.4
-2	250	176.8	353.6	176.8
-1	500	353.6	707.1	353.5
0	1000	707.1	1414.2	707.1
1	2000	1414.2	2828.5	1414.3
2	4000	2828.6	5656.9	2828.3
3	8000	5656.9	11313.8	5656.9
4	16000	11313.8	22627.6	11313.8

**Frecuencias centrales en ACÚSTICA DE LA EDIFICACIÓN:
125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 Hz**

b) Bandas de tercio de octava:

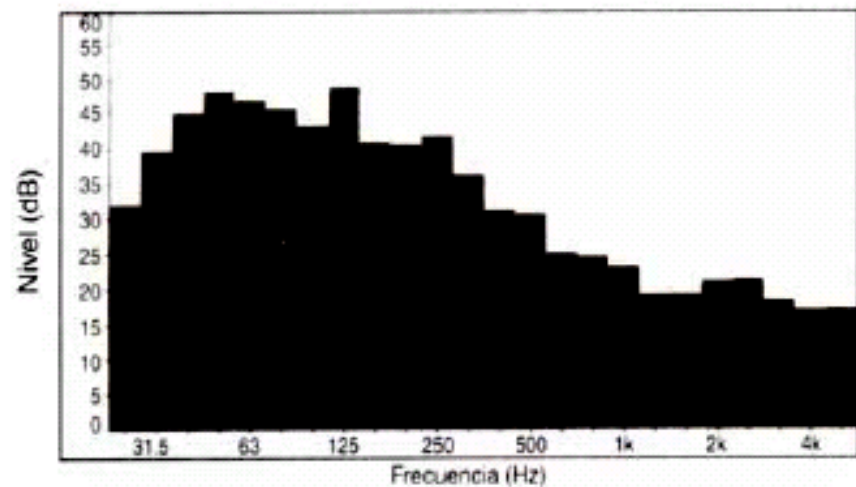
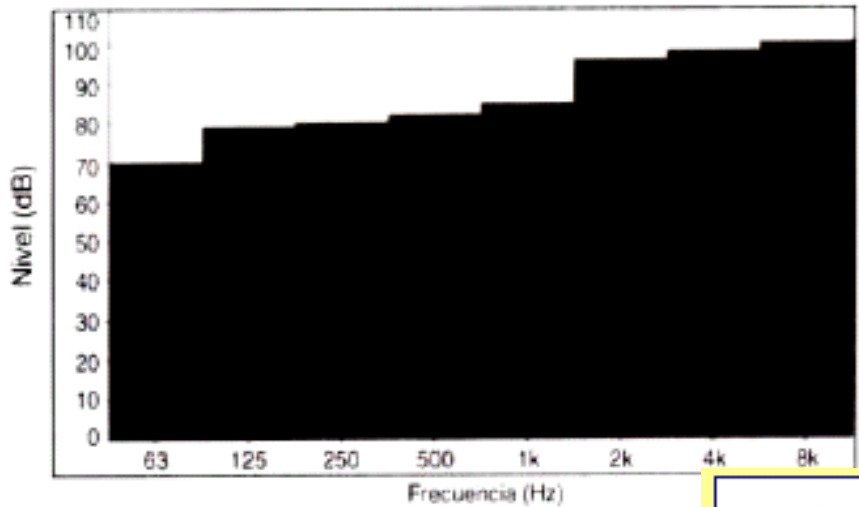
$$\frac{f_2}{f_1} = 2^{\frac{1}{3}} \Rightarrow f_2 = 1,26f_1$$

$$f_C = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 0,23f_C$$

Frecuencias centrales de las bandas de tercio de octava en ACÚSTICA DE LA EDIFICACIÓN:

100	400	1600
125	500	2000
160	630	2500
200	800	3150
250	1000	4000
315	1250	5000 Hz

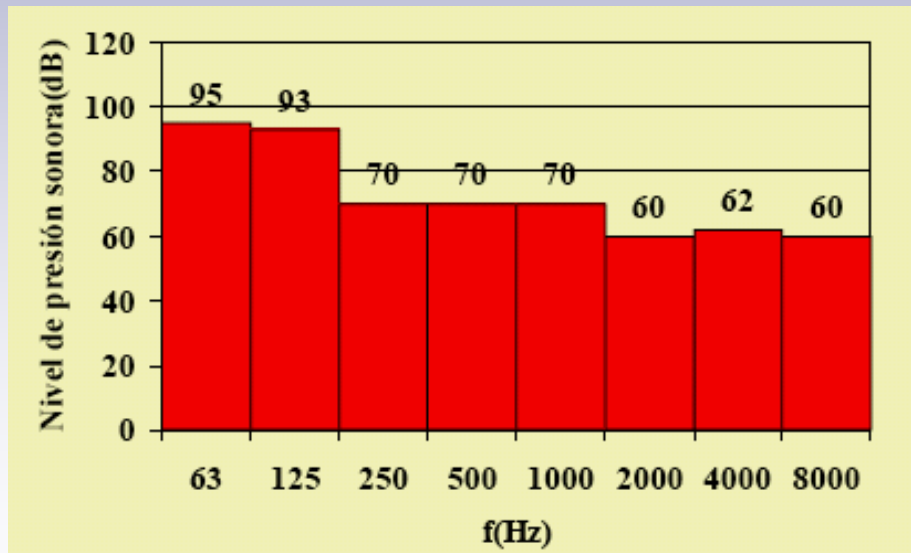


Para más precisión bandas de 1/12 y 1/24 de octava

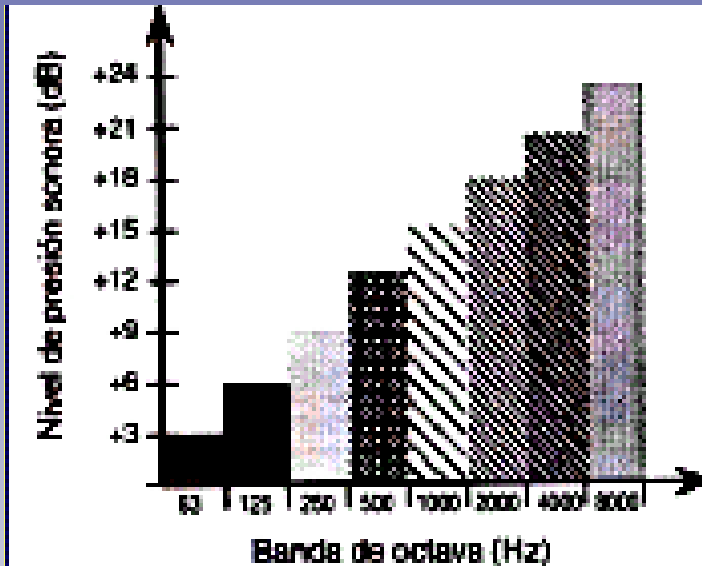
Nivel global:

$$L_{GLOBAL} = L_1 \oplus L_2 \oplus \dots \oplus L_n = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{p,i}}{10}} \right]$$

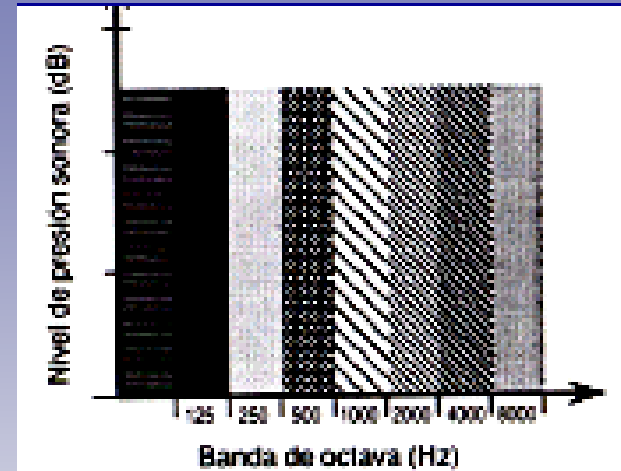
$$L_{GLOBAL} = 10 \log \left[10^{9,5} + 10^{9,3} + 10^7 + 10^7 + 10^6 + 10^{6,2} + 10^6 \right] \cong 10 \log \left[10^{9,5} + 10^{9,3} \right] = 97 \text{ dB}$$



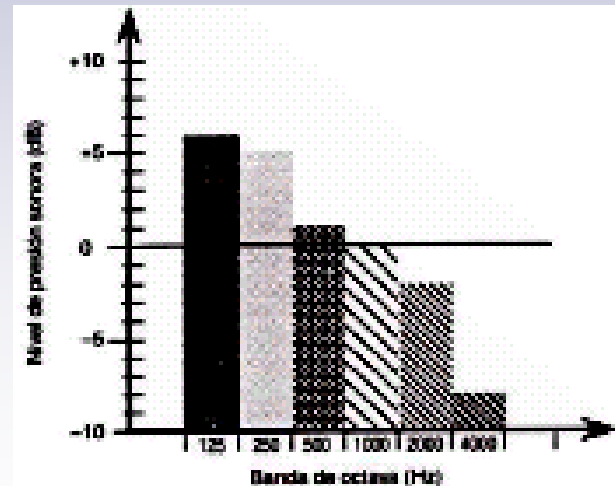
RUIDO BLANCO:



RUIDO ROSA:



RUIDO DE TRÁFICO:



3.4. Redes de ponderación

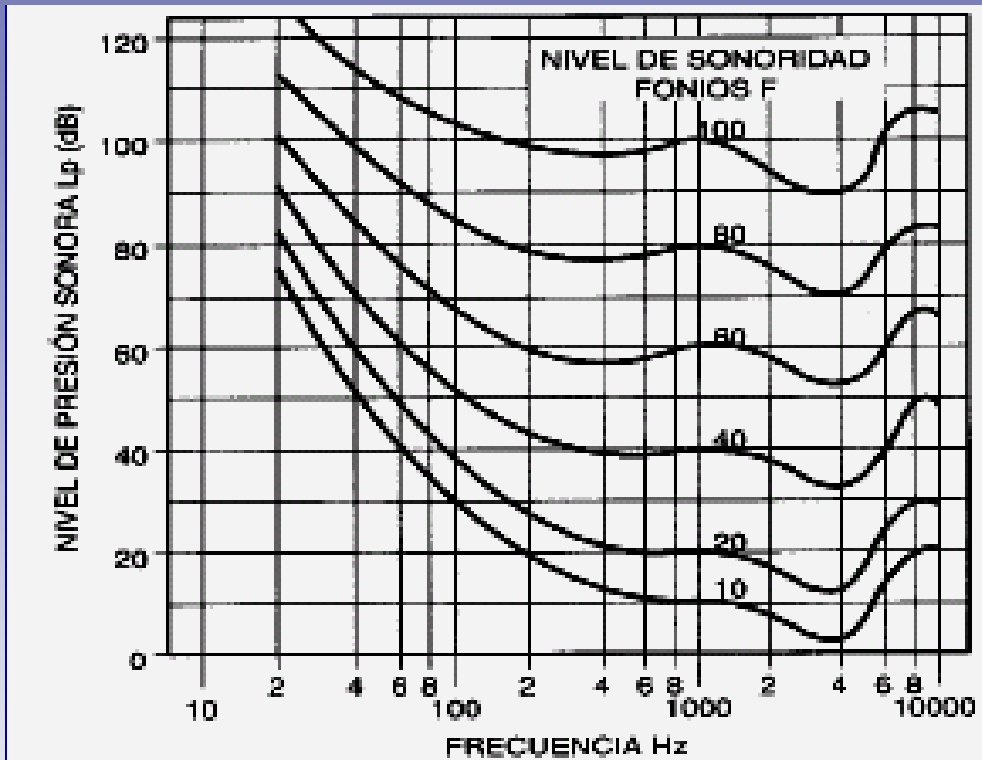
PSICOACÚSTICA: estímulos provocados por las ondas sonoras e interpretación que hace el cerebro (Fechner y Weber)

SONORIDAD O INTENSIDAD SUBJETIVA: sensación que permite ordenar de forma subjetiva los sonidos de débiles a fuertes

1 kHz y 0 dB, 100 Hz y 37 dB

RED DE PONDERACIÓN: red en sistemas de medida para que sea representativa de la sonoridad asociada a un sonido

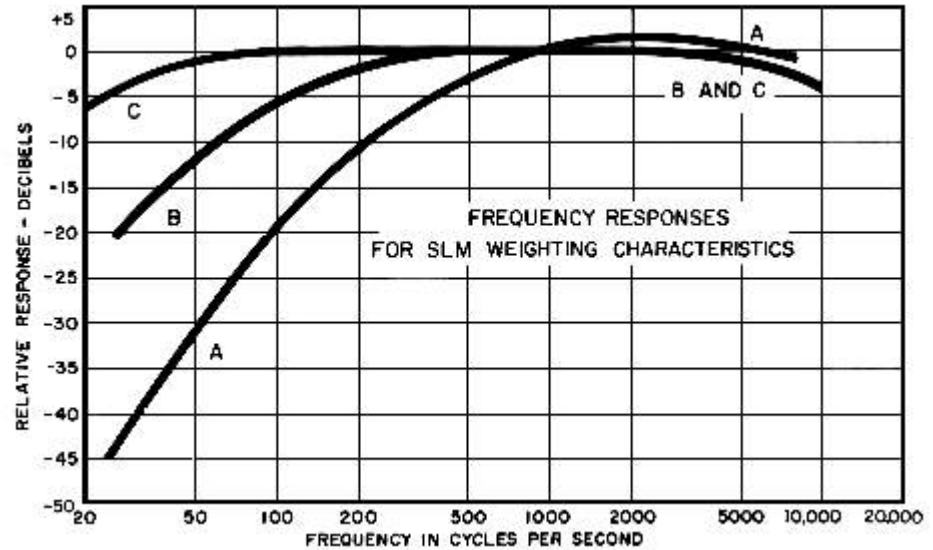
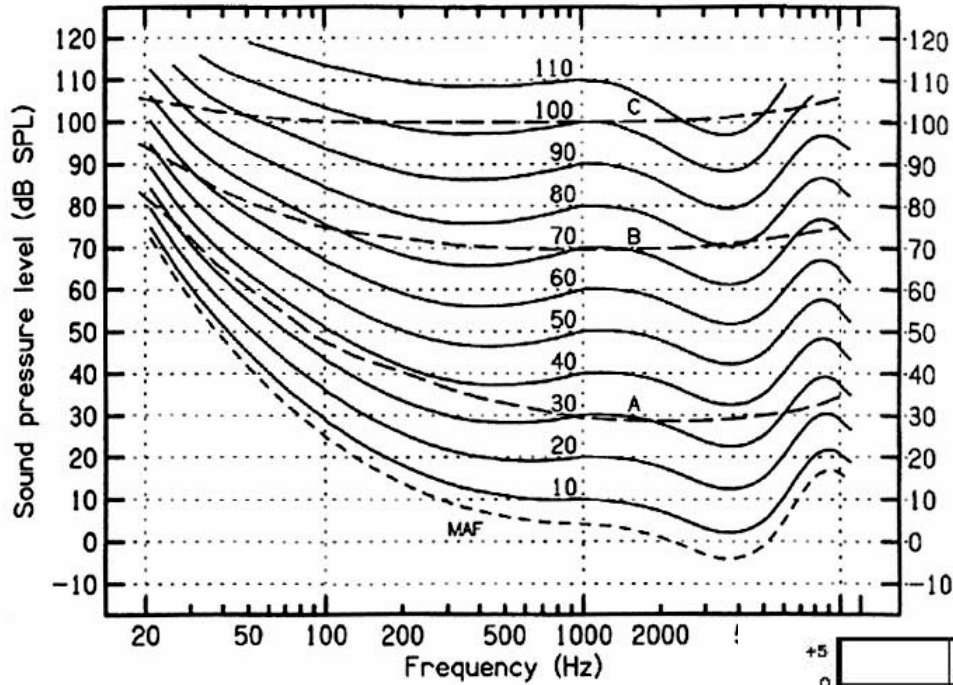
LÍNEAS ISOFÓNICAS O ISÓFONAS: líneas con igual nivel de sonoridad



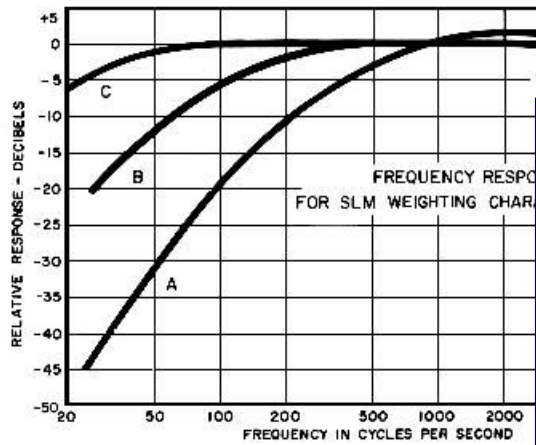
Conclusiones sobre el oído humano:

- más sensible a medias y altas frecuencias
- niveles bajos de presión: sensible a bajas frecuencias
- niveles altos de presión: respuesta homogénea

Red de ponderación: A, B, C \Rightarrow dBA, dBB, dBC

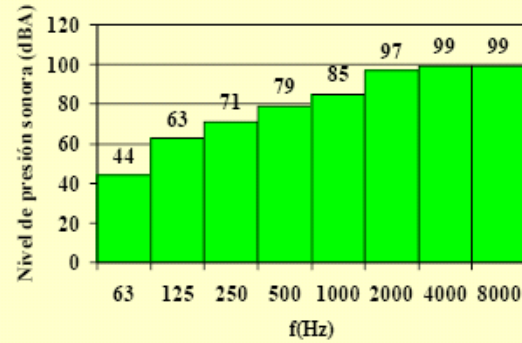
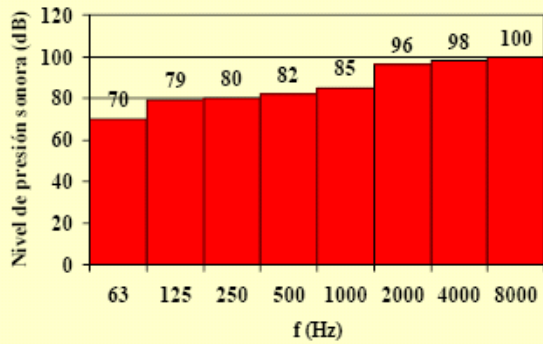


3.4. Redes de ponderación



Frecuencia central, Hz	Corrección, dB		
	A	B	C
25	-44	-20,4	-4,4
31,5	-39,4	-17,1	-3,0
40	-34,6	-14,2	-2,0
50	-30,2	-11,6	-1,3
63	-26,2	-9,3	-0,8
80	-22,5	-7,4	-0,5
100	-19,1	-5,6	-0,3
125	-16,1	-4,2	-0,2
160	-13,4	-3,0	-0,1
200	-10,9	-2,0	0
250	-8,6	-1,3	0
315	-6,6	-0,8	0
400	-4,8	-0,5	0
500	-3,2	-0,3	0
630	-1,9	-0,1	0
800	-0,8	0	0
1000	0	0	0
1250	+0,6	0	0
1600	+1,0	0	-0,1
2000	+1,2	-0,1	-0,2
2500	+1,3	-0,2	-0,3
3150	+1,2	-0,4	-0,5
4000	+1,0	-0,7	-0,8
5000	+0,5	-1,2	-1,3
6000	-0,1	-1,9	-2,0
8000	-1,1	-2,9	-3,0
10000	-2,5	-4,3	-4,4
12500	-4,3	-6,1	-6,2
16000	-6,6	-8,4	-8,5
20000	-9,3	-11,1	-11,2

Respuestas normalizadas A, B y C de filtros de frecuencias



f	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	70	79	80	82	85	96	98	100
Corre.	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
dBA	44	63	71	79	85	97	99	99

Nivel global ponderado A:

$$L_{pA} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{\frac{(L_{p,i} + A_i)}{10}} \right]$$

