



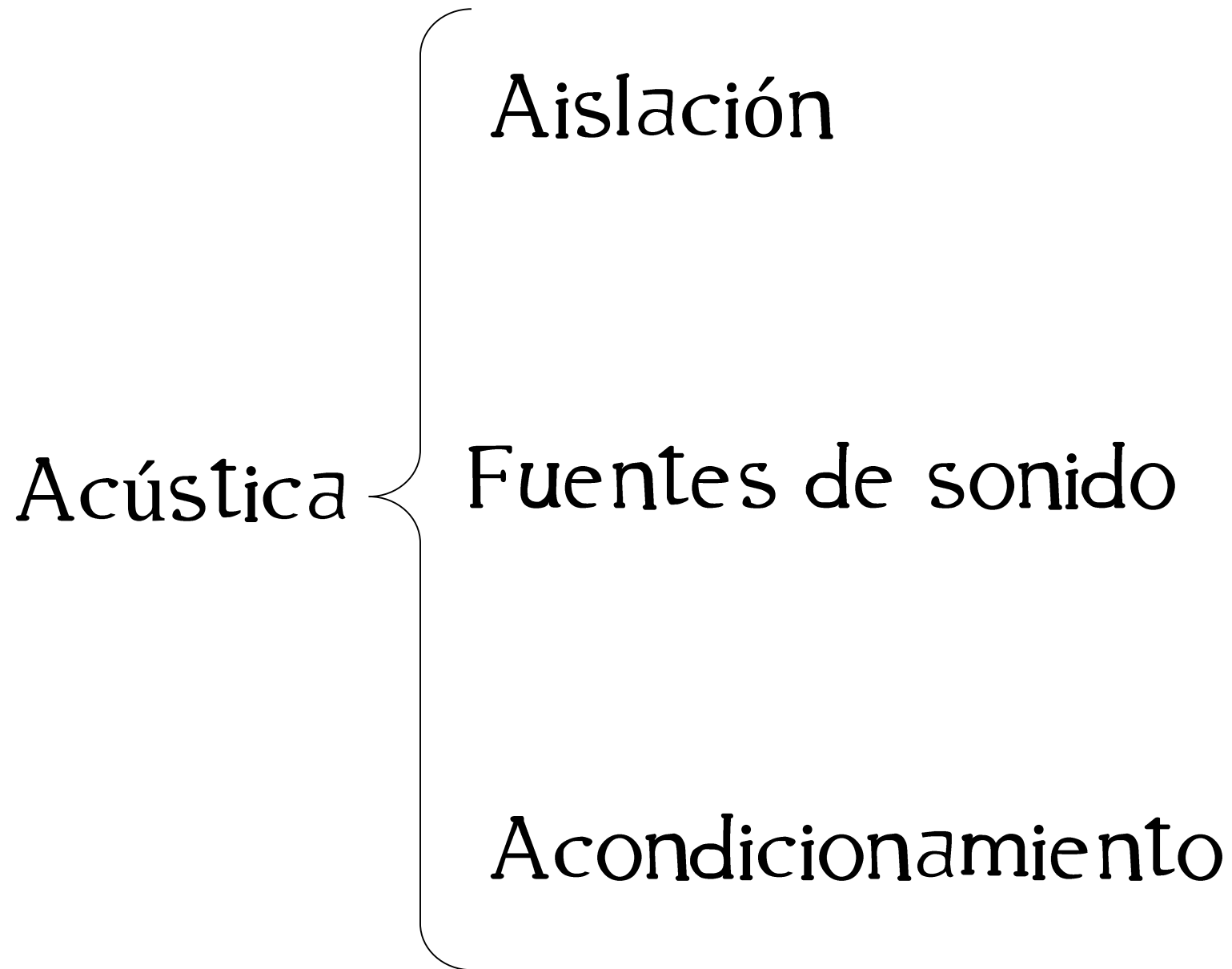
“Introducción a la Acústica”

Ing. Juan Bertrán

*Ingeniero en Electrónica
Especialista en Audio y Sonido*

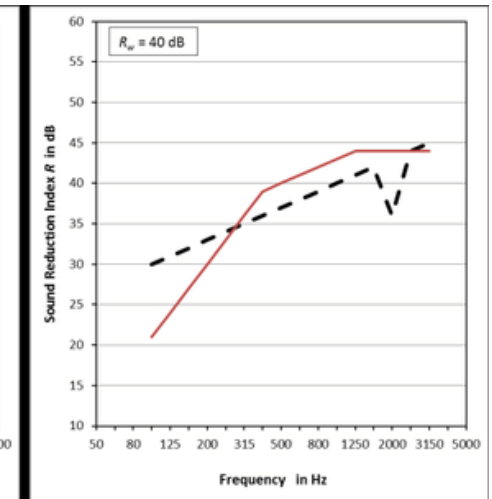
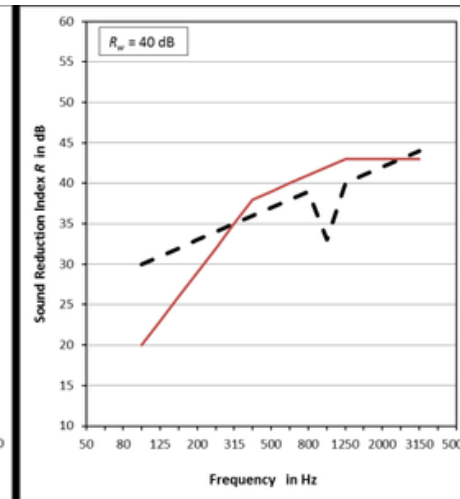
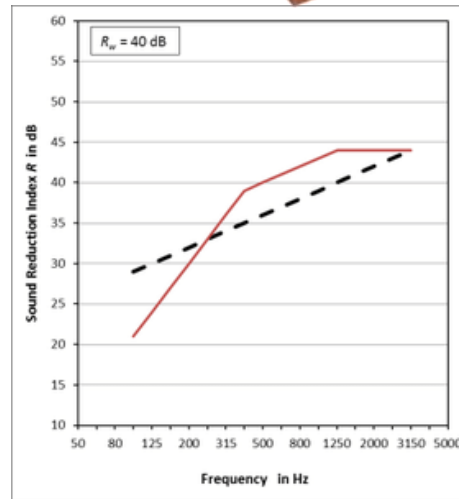
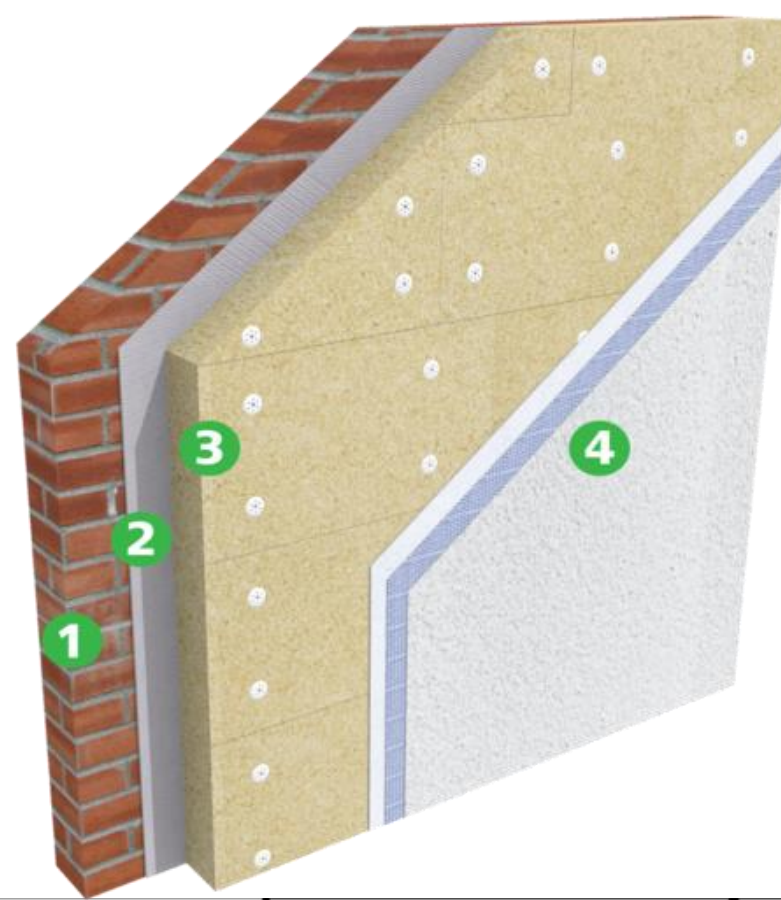
Mg. Ing. Adriano Sabez

*Ingeniero en Acústica
Mg. en Acústica Arquitectónica y Medioambiental*

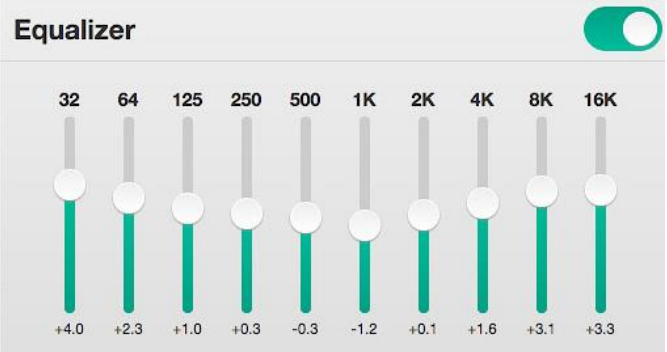


Aislación acústica

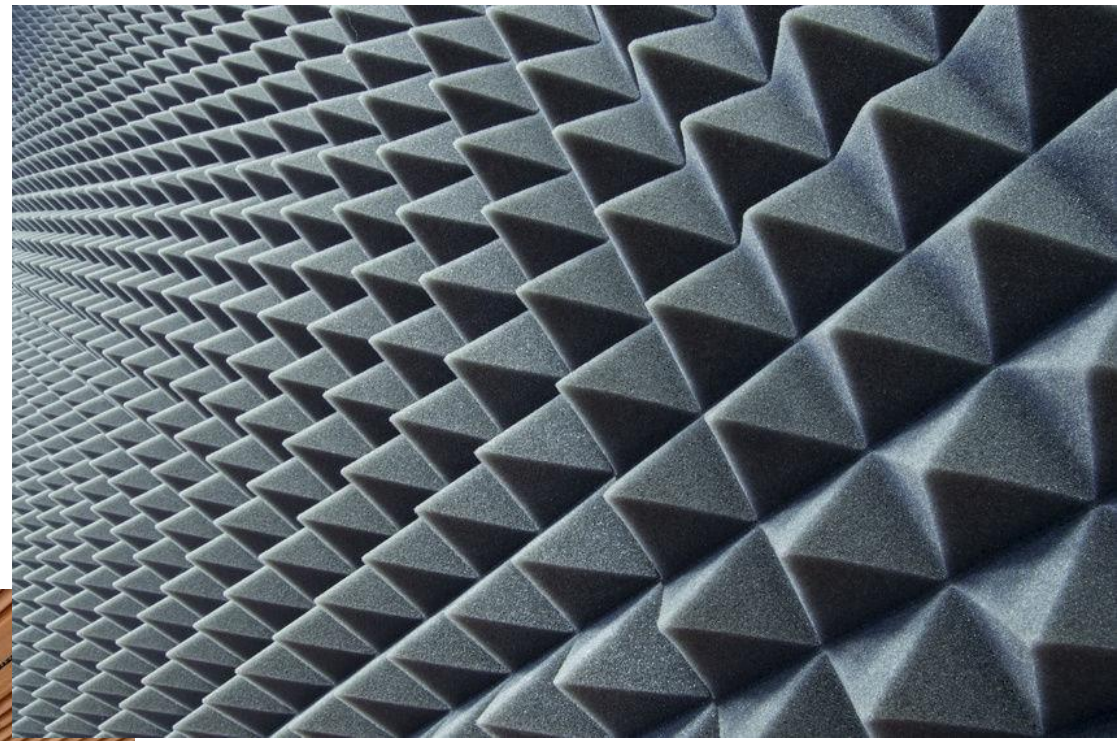
Frequency	Measurement result	ISO 717-1 reference curve	Unwanted deviation
f (Hz)	R (dB)	(dB)	(dB)
50	22.0		
63	19.2		
80	22.1		
100	26.6	31	4.4
125	29.1	34	4.9
160	32.5	37	4.5
200	35.4	40	4.6
250	39.6	43	3.4
315	42.2	46	3.8
400	45.5	49	3.5
500	47.0	50	3.0
630	52.4	51	0.0
800	54.2	52	0.0
1000	56.8	53	0.0
1250	61.7	54	0.0
1600	62.0	54	0.0
2000	57.9	54	0.0
2500	61.7	54	0.0
3150	62.6	54	0.0
4000	64.0		
5000	62.6	sum	32.0



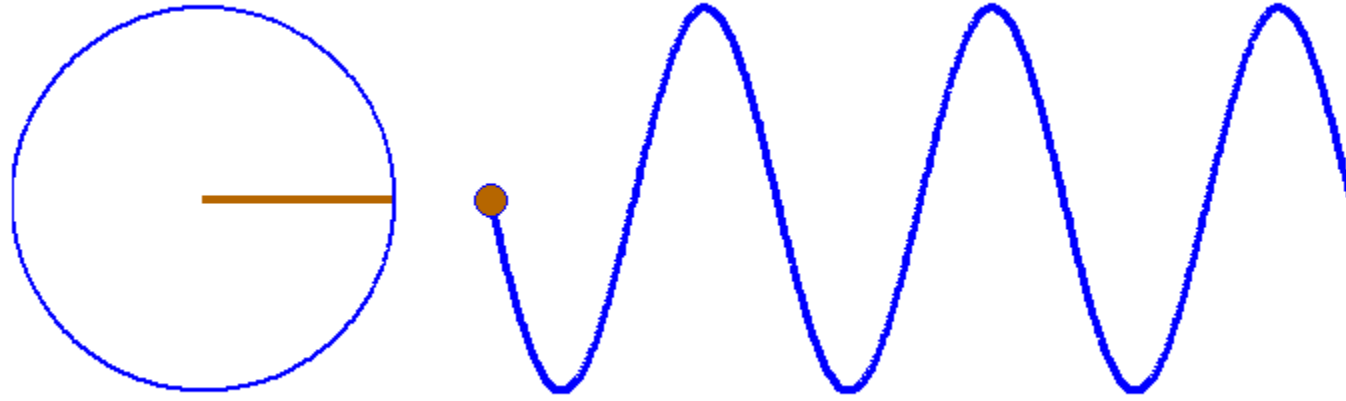
Fuentes de Sonido



Acondicionamiento Acústico

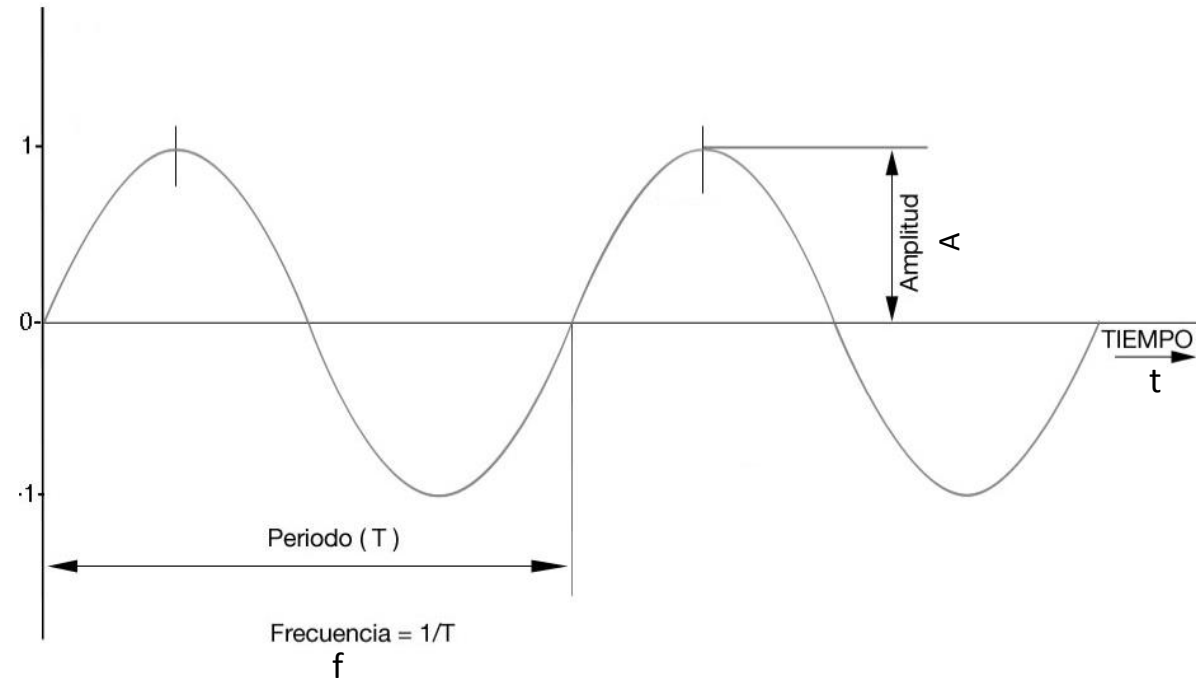


Representación del fenómeno Ondulatorio



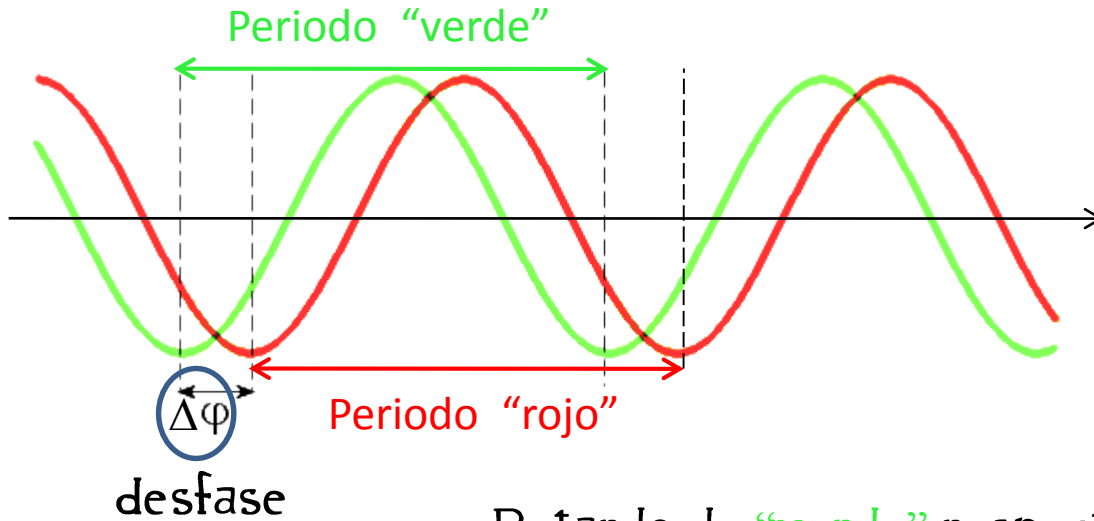
Función senoidal

¿Qué variables me dan información?



$$v(t) = A \cdot \text{sen}(2\pi \cdot f \cdot t)$$

Otra variable importante: Desfasaje



Retardo de "verde" respecto de "rojo"

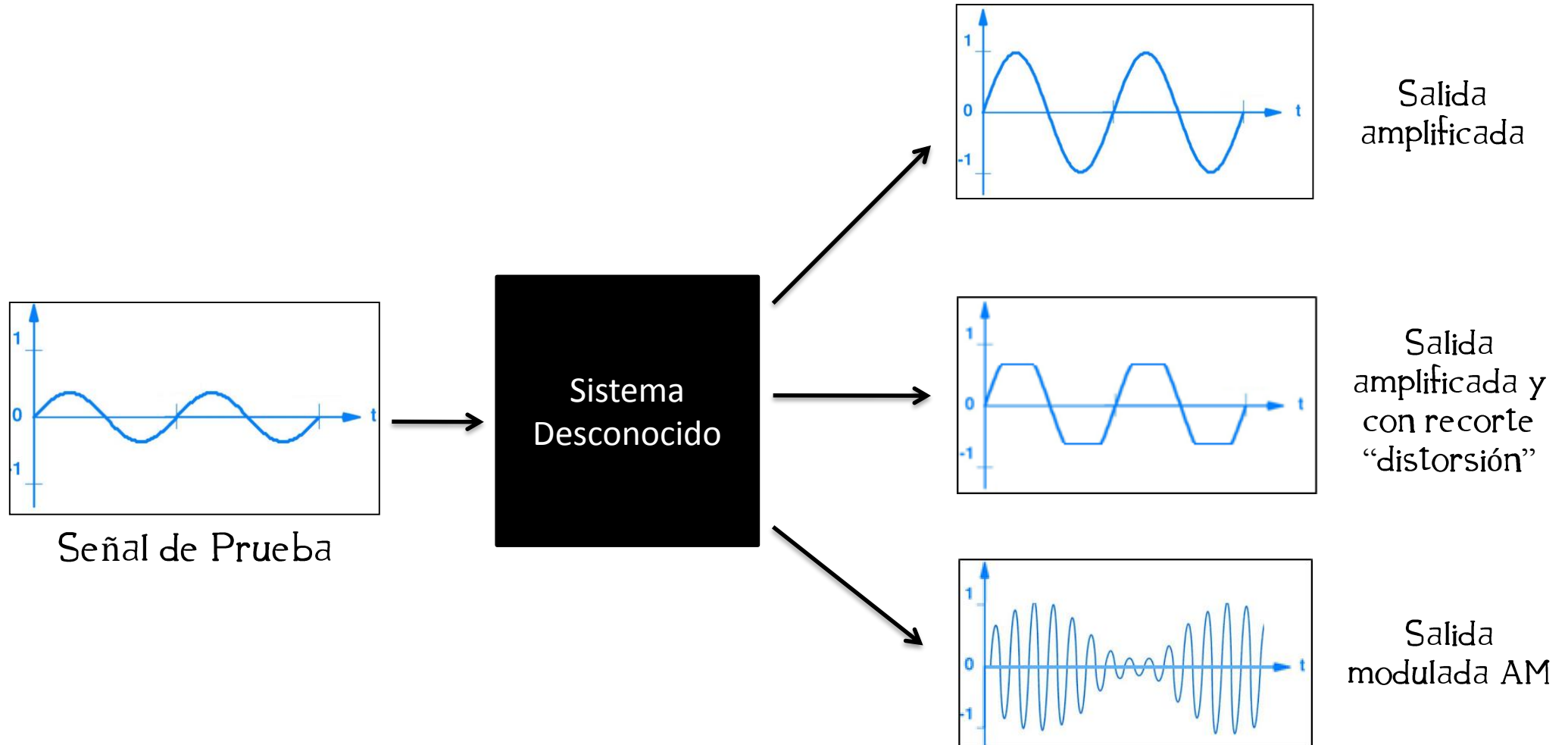
Casos extremos:

$\Delta\phi = 0$, están en fase

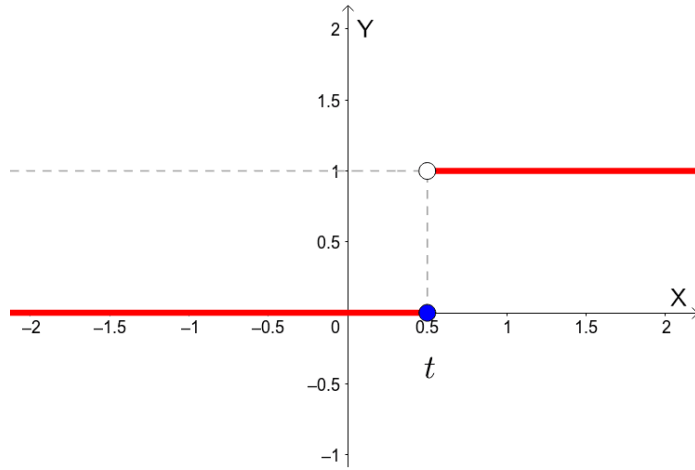
$\Delta\phi = 180^\circ (= \pi)$, están en contrafase

Evaluación de un Sistema

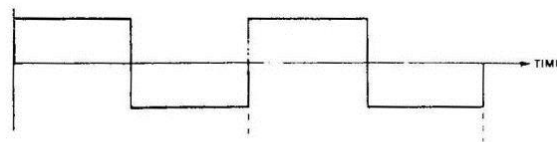
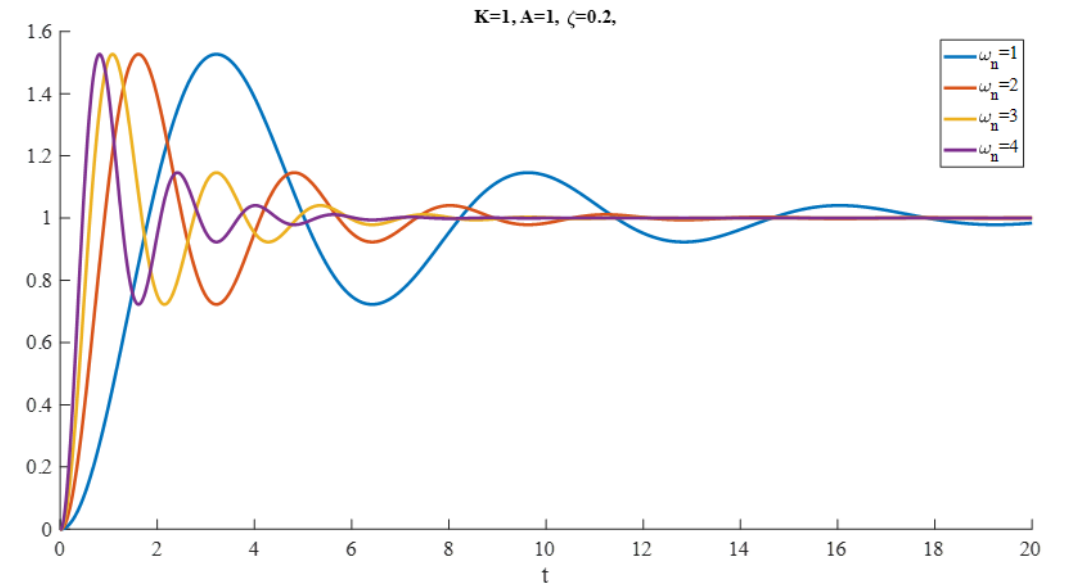
Ejemplos de resultados



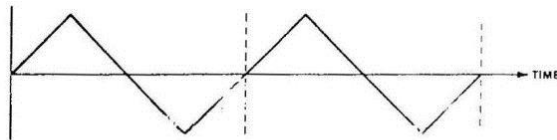
Otras funciones



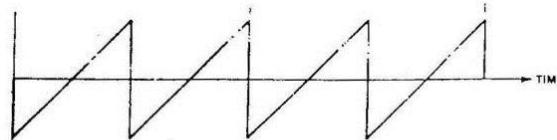
Función Escalón



Ondas Cuadradas

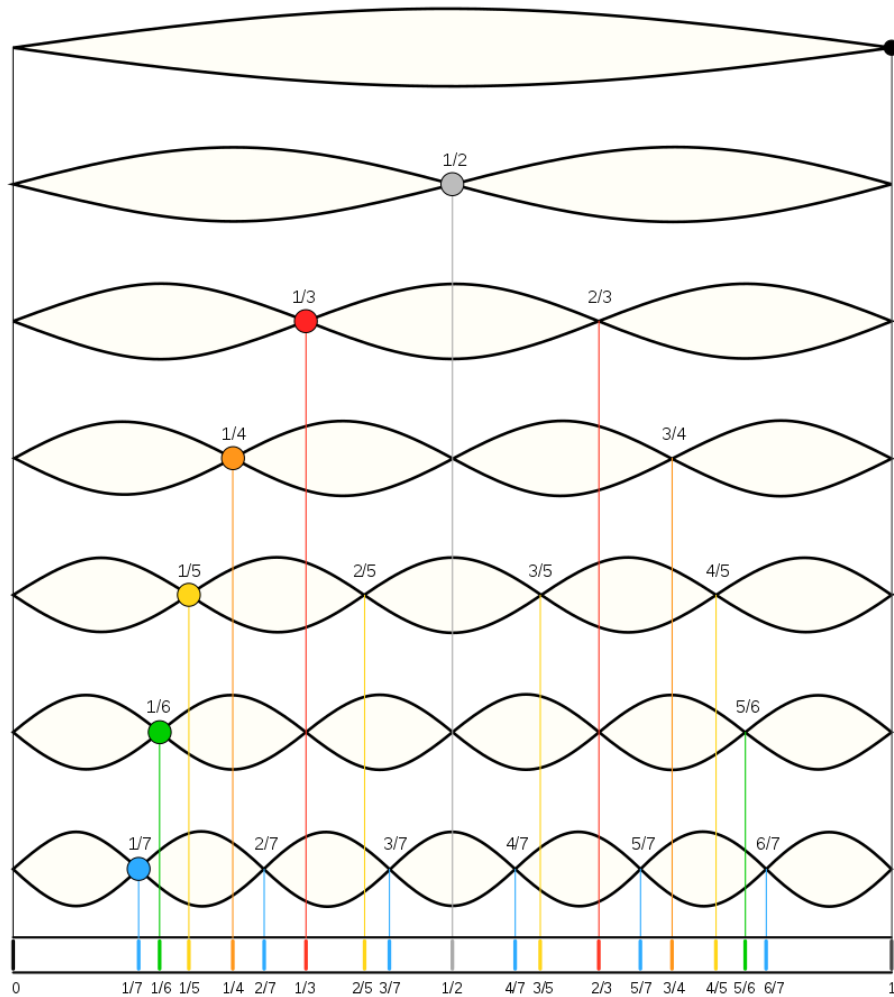


Ondas Triangulares

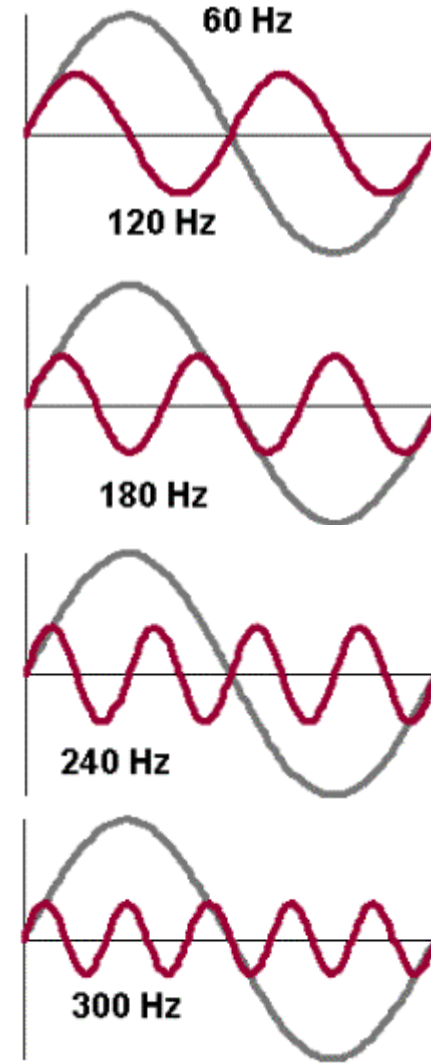


Ondas de Dientes de Sierra

Armónicos

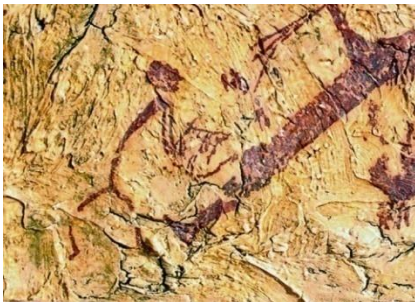
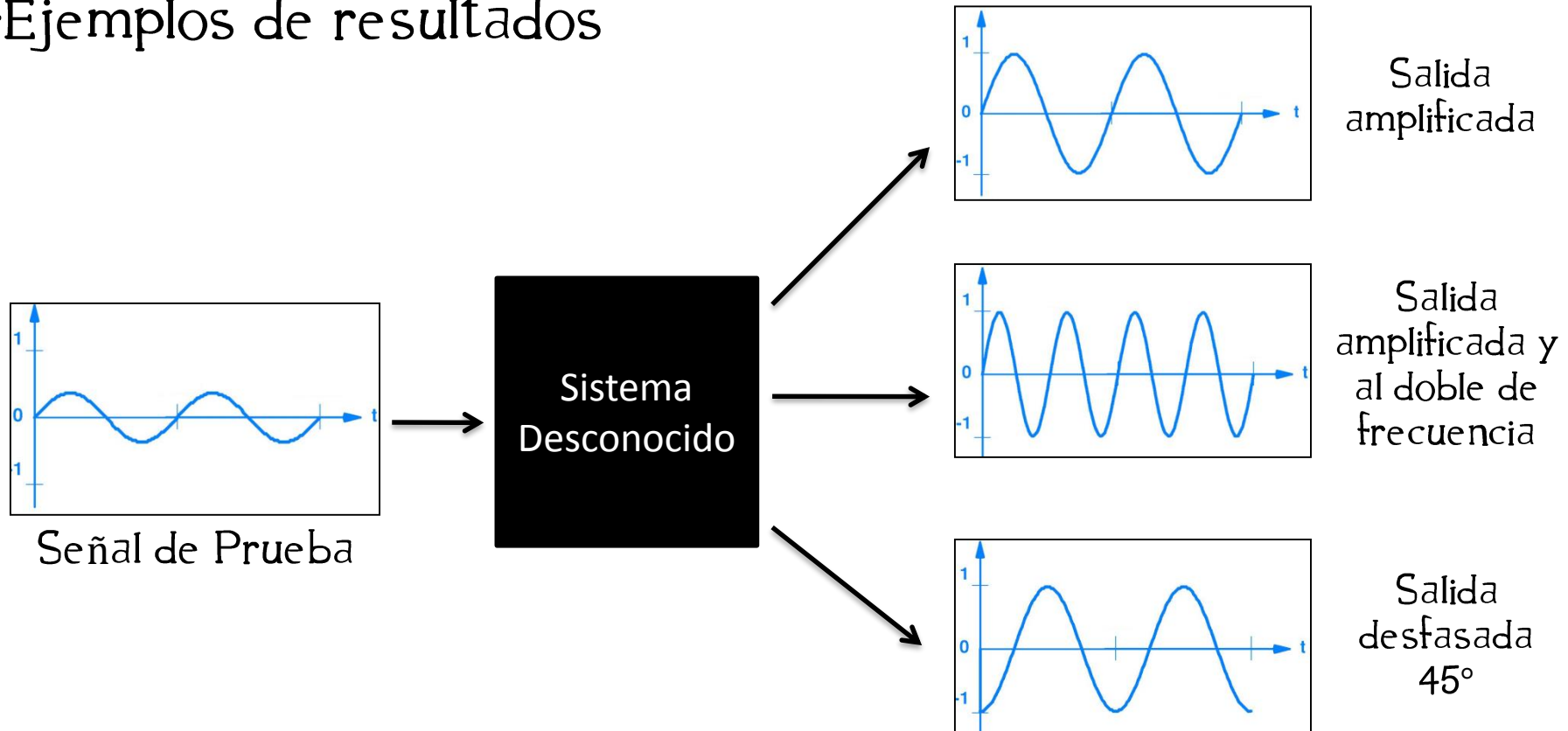


Armónicos en una Cuerda vibrante



Evaluación de un Sistema

1-Ejemplos de resultados

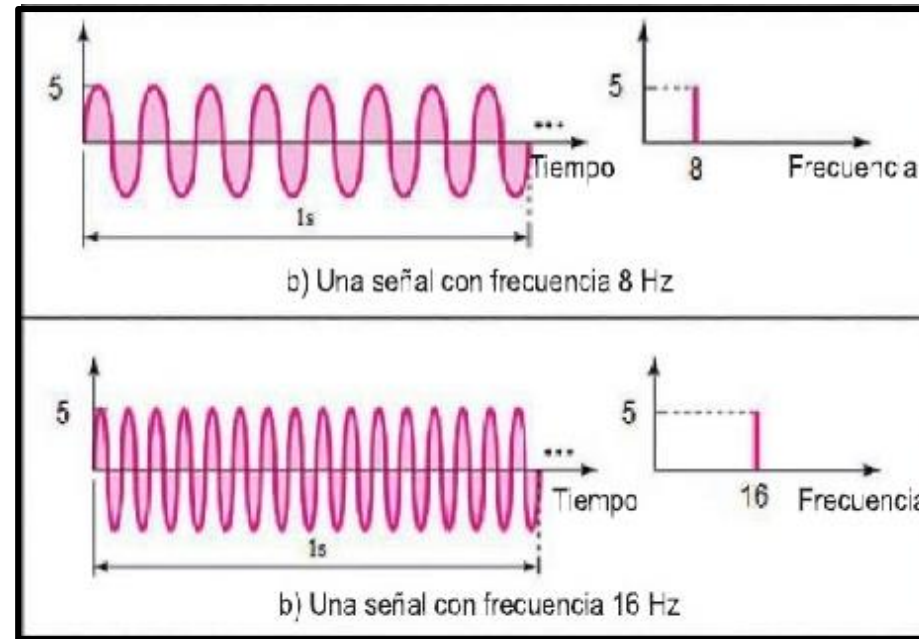


Acústica en la antigüedad

- ✓ Restos arqueológicos de instrumentos musicales (cuerda, viento, percusión)
- ✓ Cuevas con pinturas rupestres son las que cuentan con mejor acústica

*Imagen de lo que podría ser un hombre tocando la lira en una pintura rupestre de El Cerrao (Obón, Teruel)

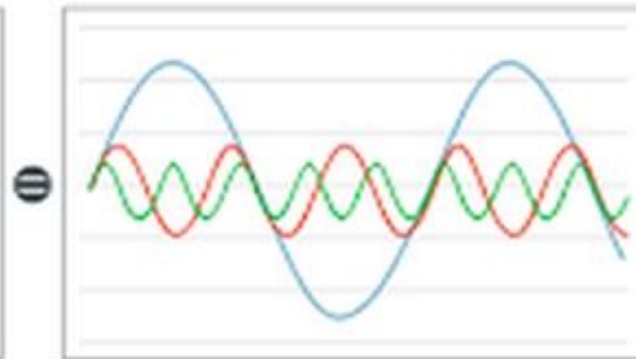
2-Otra forma de representar resultados



Descargar
App
"Spectdroid"



Señal compleja



Armónicos en el
dominio del tiempo



Armónicos en el dominio
de la frecuencia

AS



ICAS

MÚSICA



ACTUAL

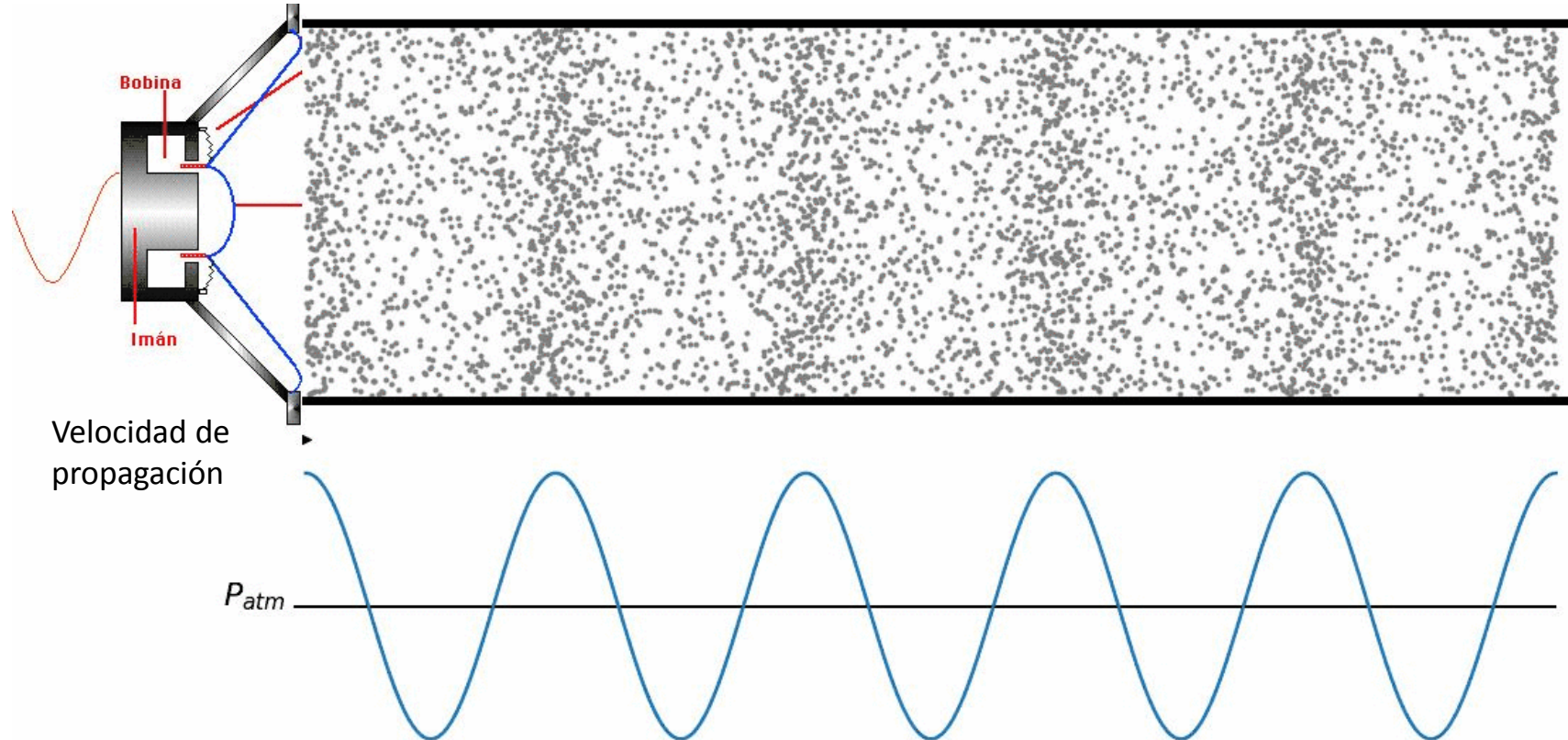
Onda de sonido

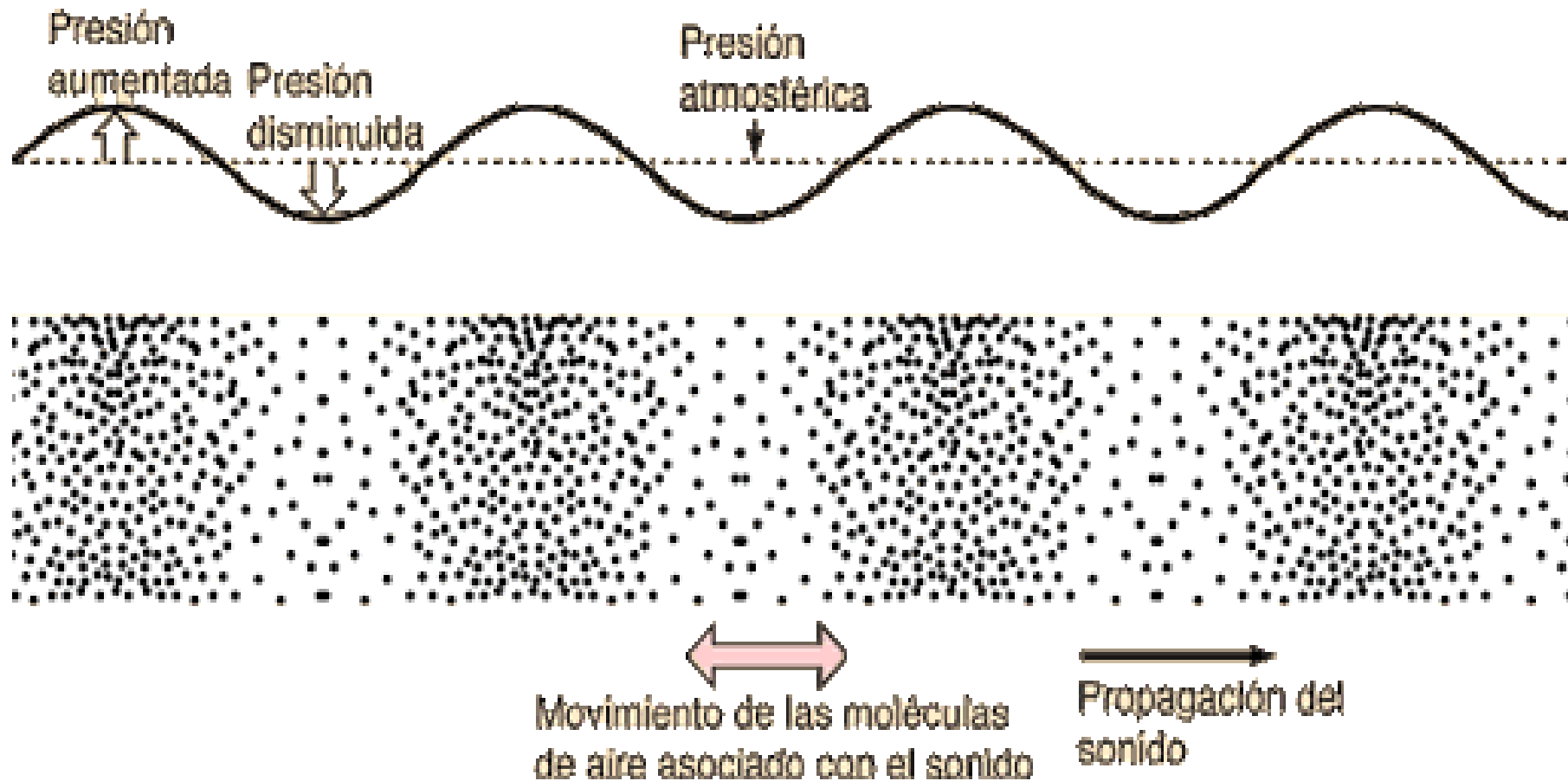
1- Características generales

Onda MECANICA: necesita de un medio para existir

Rango de Frecuencia del oído humano: 20Hz a 20.000Hz

Velocidad de Propagación: 344 metros por segundo(*) (a 20 °C y nivel de mar)

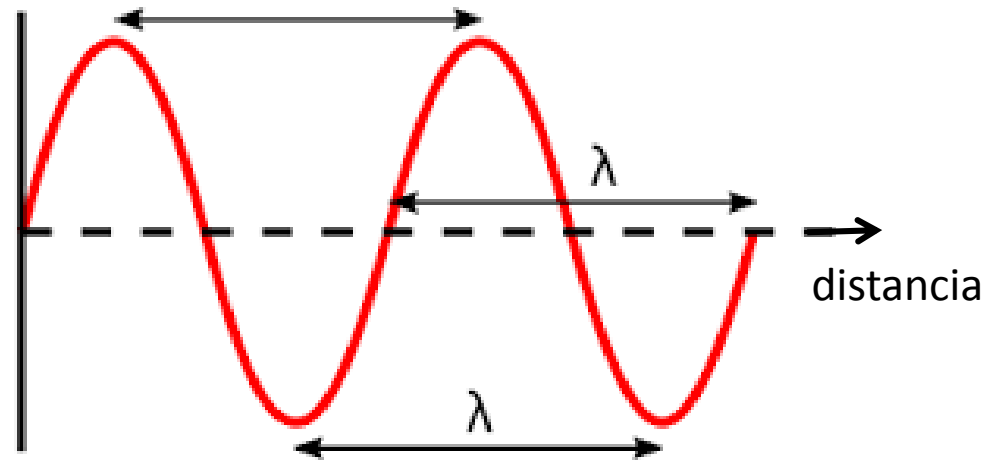




Onda mecánica de compresión y descompresión



“Tamaño” de una onda



$$\text{Longitud de onda: } \lambda = \frac{\vec{v}}{f} = \frac{344 \left[\frac{m}{s} \right]}{f \left[\frac{1}{s} \right]} = \boxed{\frac{344}{f} [m]}$$

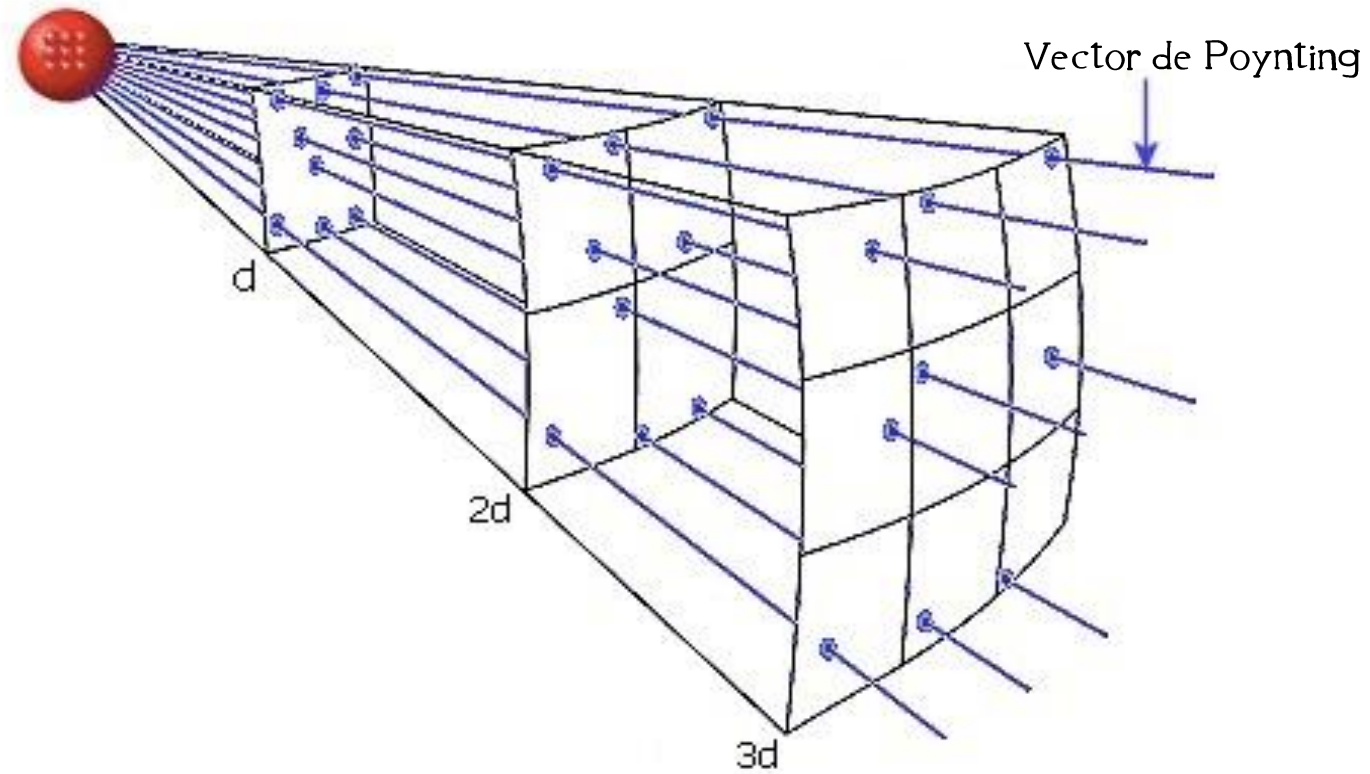
$$\lambda \text{ de } 20\text{hz} = \frac{344}{20} = 17,3 [m]$$

$$\lambda \text{ de } 10.000\text{hz} = \frac{344}{10.000} = 0.0344 [m] \rightarrow 3.44 [cm]$$

$$\lambda \text{ de } 20.000\text{hz} = \frac{344}{20.000} = 0.0172 [m] \rightarrow 1.72 [cm]$$

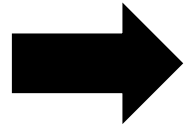
Propagación en Espacio Libre

Frente de Onda – Vector de Poynting



El sonido como diferencia de presión

Sonido

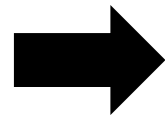


Ondas de Compresión
y Descompresión



¿Cómo medimos la presión?

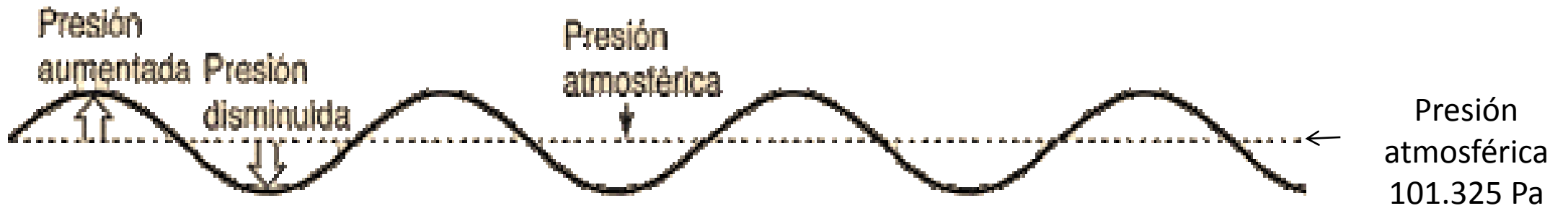
PASCALES



$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

[Fuerza]

[Superficie]



Mínima diferencia de presión percibida por el hombre

$$P_0 = 20 \mu\text{Pa}$$

Presión de referencia

$$= 0,000020\text{Pa} = 20(10^{-6})\text{Pa}$$

Mosquito volando a 3 metros

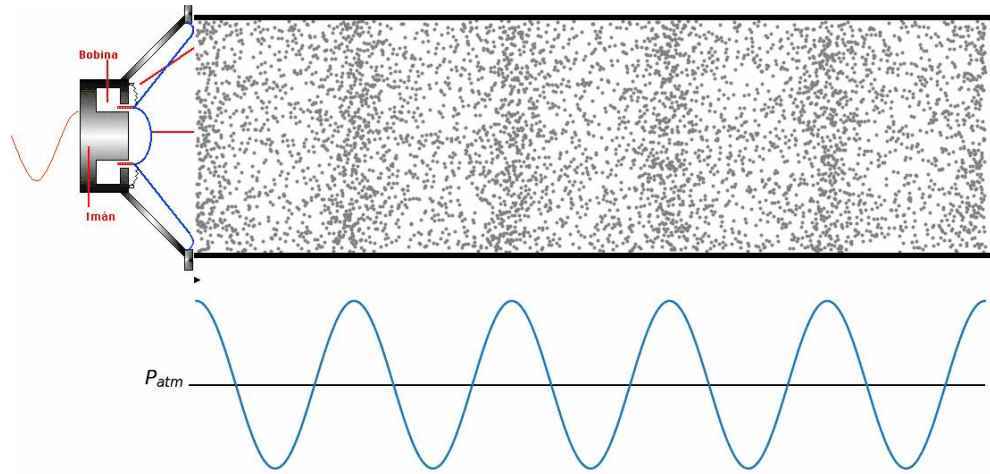


un millón de veces

$$P_{dolor} = 20 \text{ Pa}$$



El sonido como energía



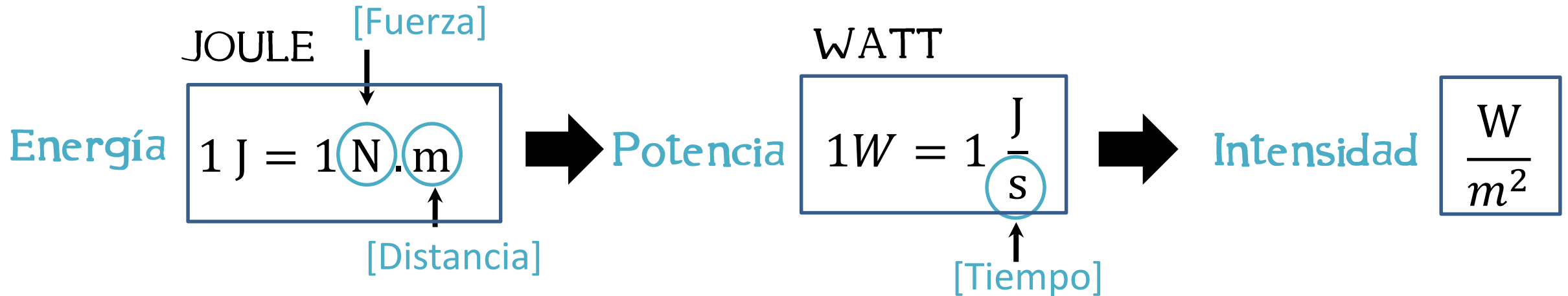
Energía potencial

+

Energía cinética

Energía total

¿Cómo medimos la energía?

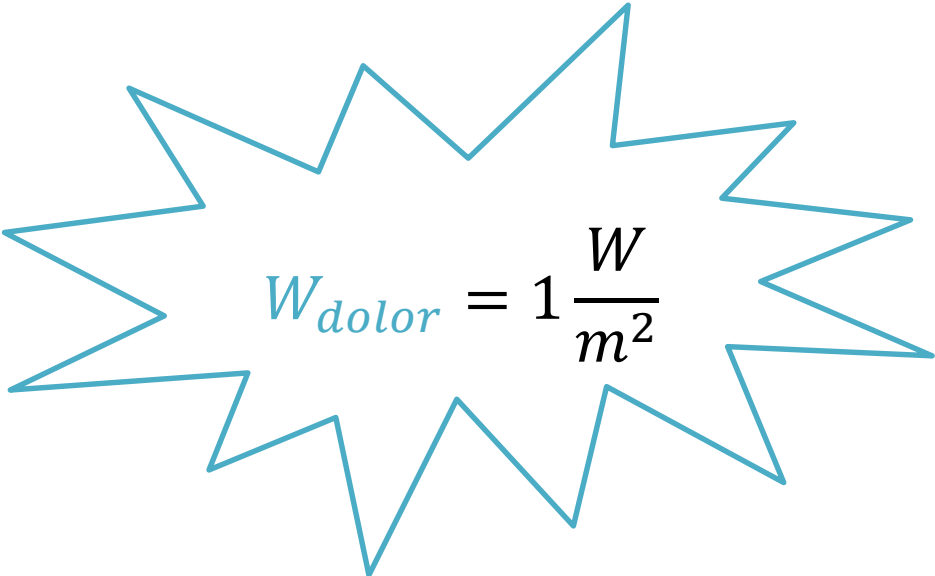


Mínima intensidad
percibida por el
hombre

$$I_0 = 1 \frac{pW}{m^2} = 0,000\ 000\ 000\ 001 \frac{W}{m^2} = 1(10^{-12}) \frac{W}{m^2}$$

Potencia de
referencia

un billón
de veces



$$W_{dolor} = 1 \frac{W}{m^2}$$

¿Cómo medimos el nivel sonoro?

$$\text{Rango Dinámico} = \frac{\text{Valor Máximo}}{\text{Valor Mínimo}}$$

Presión

$$\frac{\text{Valor Máximo}}{\text{Valor Mínimo}} = \frac{20\text{Pa}}{20\mu\text{Pa}} = 1.000.000 \text{ Veces}$$




La presión sonora del recital es **8,933Pa** y la municipalidad me pide que baje a **6,324Pa**



Potencia

$$\frac{\text{Valor Máximo}}{\text{Valor Mínimo}} = \frac{1\text{W/m}^2}{10\text{pW/m}^2} = 1.000.000.000.000 \text{ Veces}$$

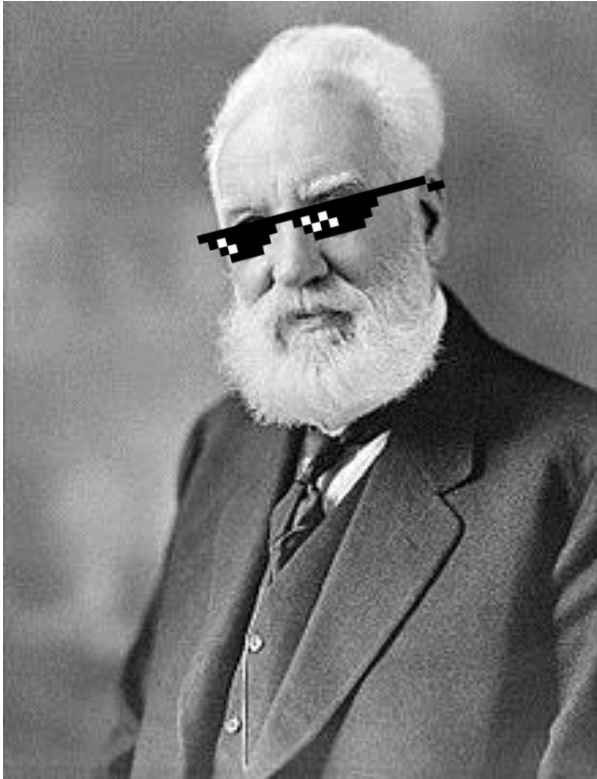


Este stereo tiene **0.0063095 W/m²** y molesta al vecino. El muro debería atenuarlo a **0.0031547 W/m²**

El Decibel

“unidad de medición del nivel sonoro”

Alexander Graham Bell



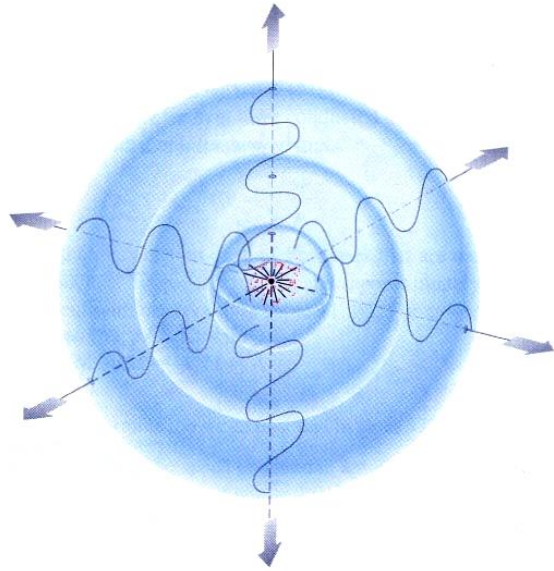
$$B = \log \frac{X}{X_0}$$

Magnitud que queremos medir
“Actual”

Magnitud conocida
(de Referencia)

$$dB = 10 \log \frac{X}{X_0}$$

Decibeles de “Nivel de Potencia Sonora” (PWL)



Recordemos que intensidad sonora es:

$$I = \frac{[W]}{[m^2]}$$



$$\text{Onda esferica} = \frac{P_{fuente}}{4\pi \cdot r^2} = \frac{W}{4\pi \cdot r^2}$$

$$\text{Nivel sonoro en decibeles [dB]} = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{\frac{W}{\cancel{4\pi \cdot r^2}}}{\frac{W_0}{\cancel{4\pi \cdot r^2}}} = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

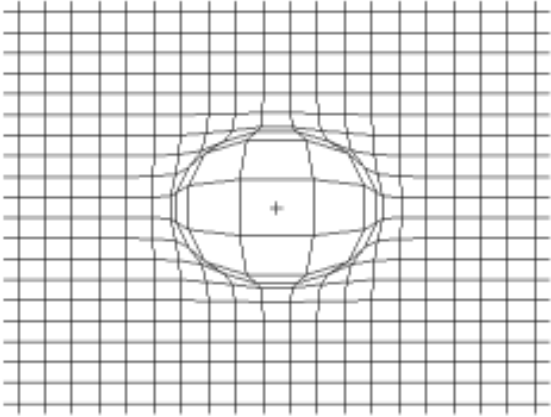
Nivel de potencia sonora

$$\text{PWL}_{[dB]} = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

Comparación de dB con Watts

Intensidad	Decibeles
$0,0000000000000001 \text{ W/m}^2$	0 dB
$0,00000000001 \text{ W/m}^2$	20 dB
$0,0000000316 \text{ W/m}^2$	55 dB
$0,01 \text{ W/m}^2$	100 dB
$0,02 \text{ W/m}^2$	103 dB
1 W/m^2	120 dB

Decibeles de “Nivel de Presión Sonora” (SPL)



$$\text{Intensidad Acústica a } 20^\circ\text{C} = \frac{P^2}{\delta \cdot \vec{v}}$$

A 20 °C:

$$\delta = 1,204 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\vec{v} = 344 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Nivel sonoro en decibeles [dB]} = 10 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{\frac{P^2}{\cancel{\delta \cdot \vec{v}}}}{\frac{P_0^2}{\cancel{\delta \cdot \vec{v}}}} = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2$$

Nivel de presión sonora $SPL_{[dB]} = 20 \log \frac{P}{P_0}$

Comparación de dB con Pascales

Pascales	Decibeles
0,00002 Pa	0 dB
0,0002 Pa	20 dB
0,01124 Pa	55 dB
2 Pa	100 dB
20 Pa	120 dB

Resumiendo...

Potencia de Referencia

$$I_0 = 1 \text{ pW/m}^2$$



$$L_{[dB]} = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Diez veces el logaritmo de la intensidad sonora con respecto a la intensidad de referencia

Presión de Referencia

$$P_0 = 20 \mu P_a$$



$$L_{[dB]} = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

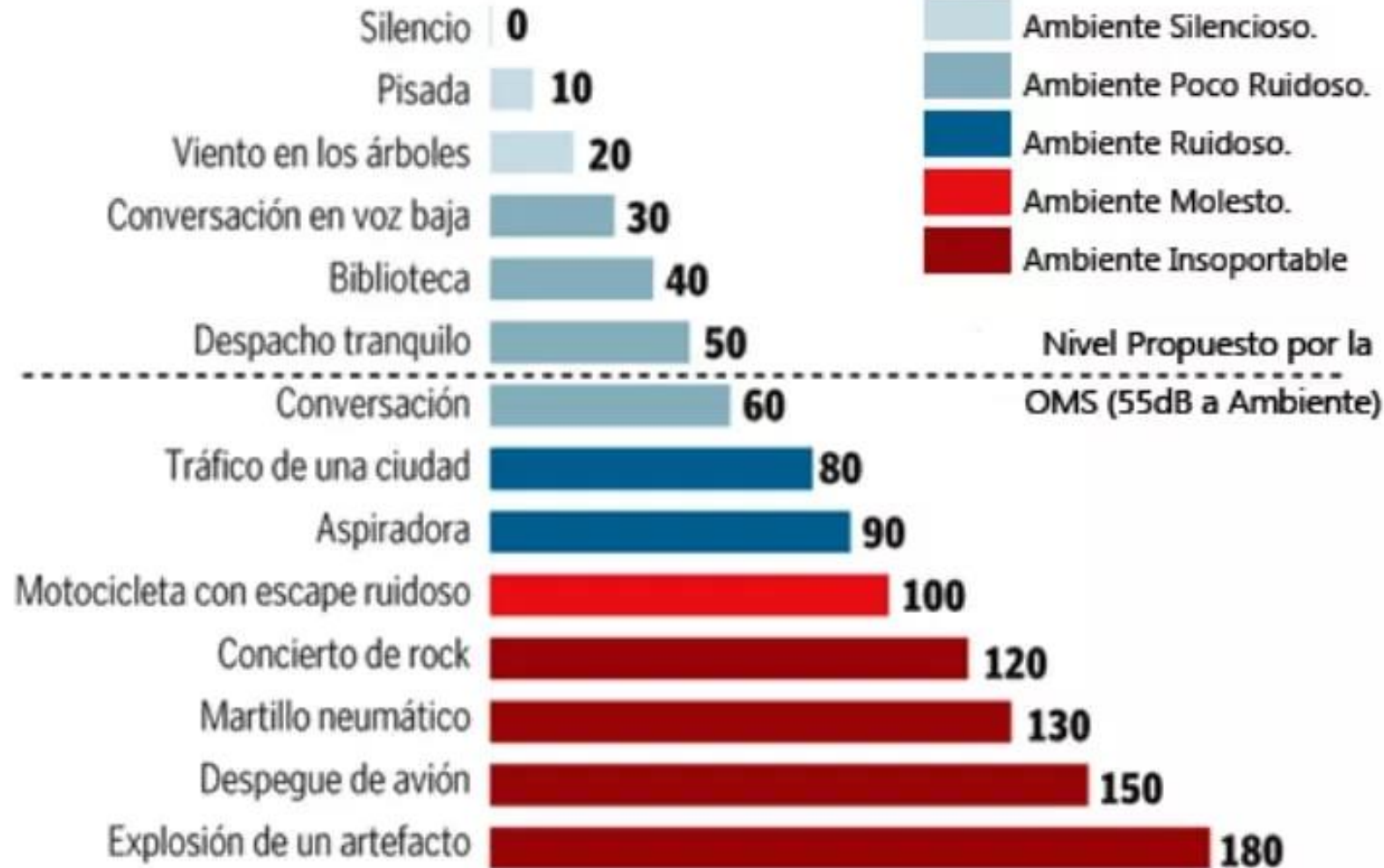
Veinte veces el logaritmo de la presión con respecto a la presión de referencia

=

Niveles conocidos en decibeles

En decibelios (dBs)

Tipo de Ambientes



$0,000000316 W/m^2$

$0,01124 Pa$

¿Por que usamos dB?

La escala está comprimida y se aproxima a la respuesta del oído



$$\begin{array}{c} \text{60} \\ \text{60} \end{array} + \begin{array}{c} \text{60} \\ \text{60} \end{array} = \begin{array}{c} \text{63} \\ \text{63} \end{array}$$

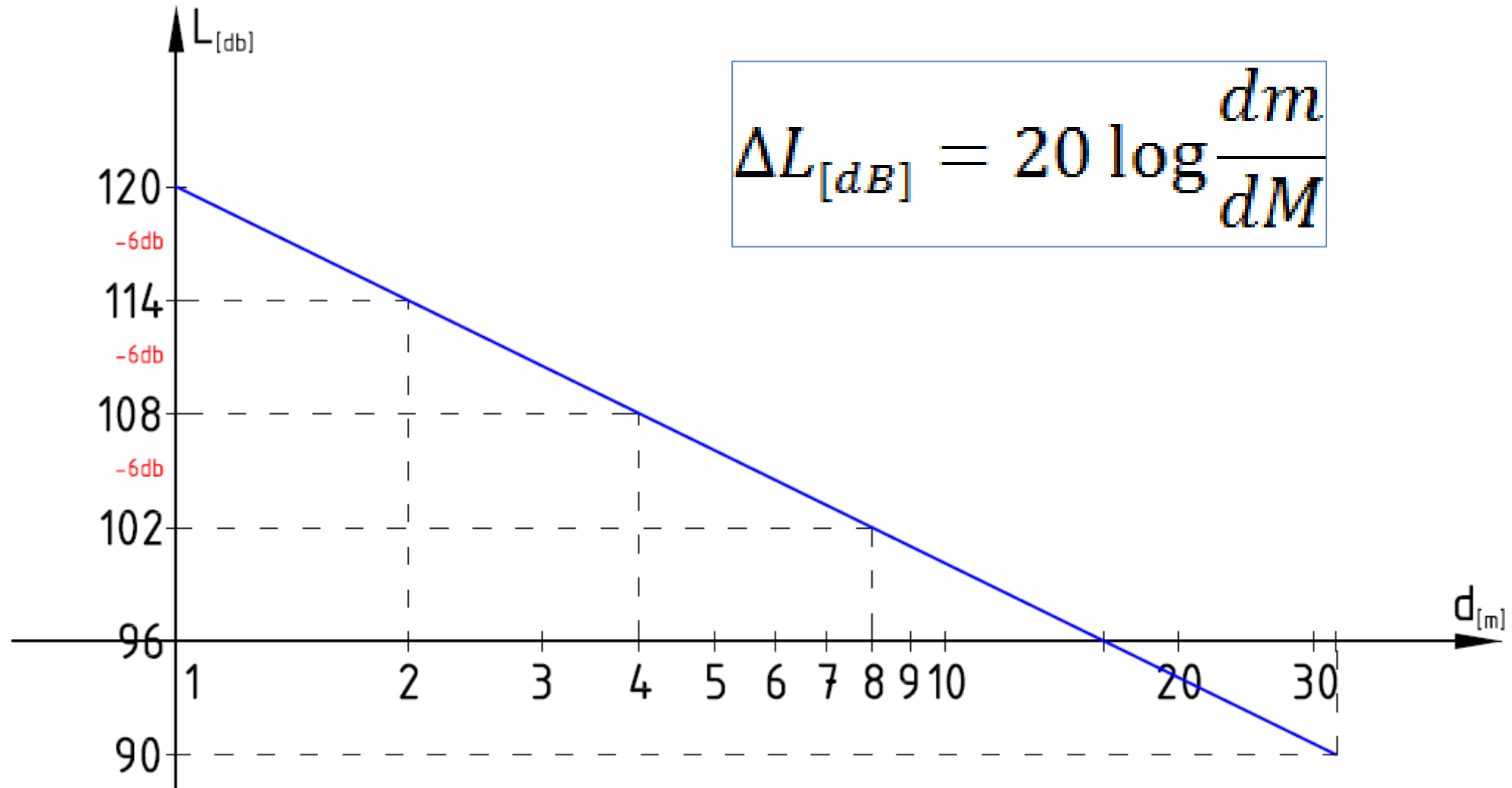
Las operaciones son simples

$$\begin{array}{c} \text{70} \\ \text{70} \end{array} + \begin{array}{c} \text{60} \\ \text{60} \end{array} = \begin{array}{c} \text{70} \\ \text{70} \end{array}$$

Niveles conocidos en decibeles



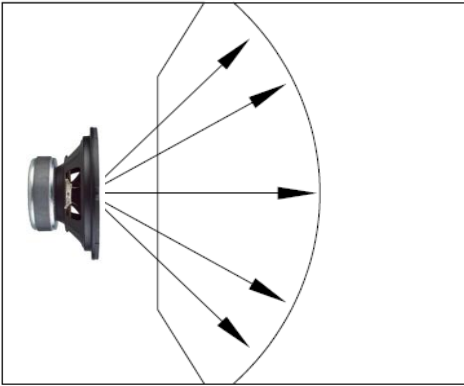
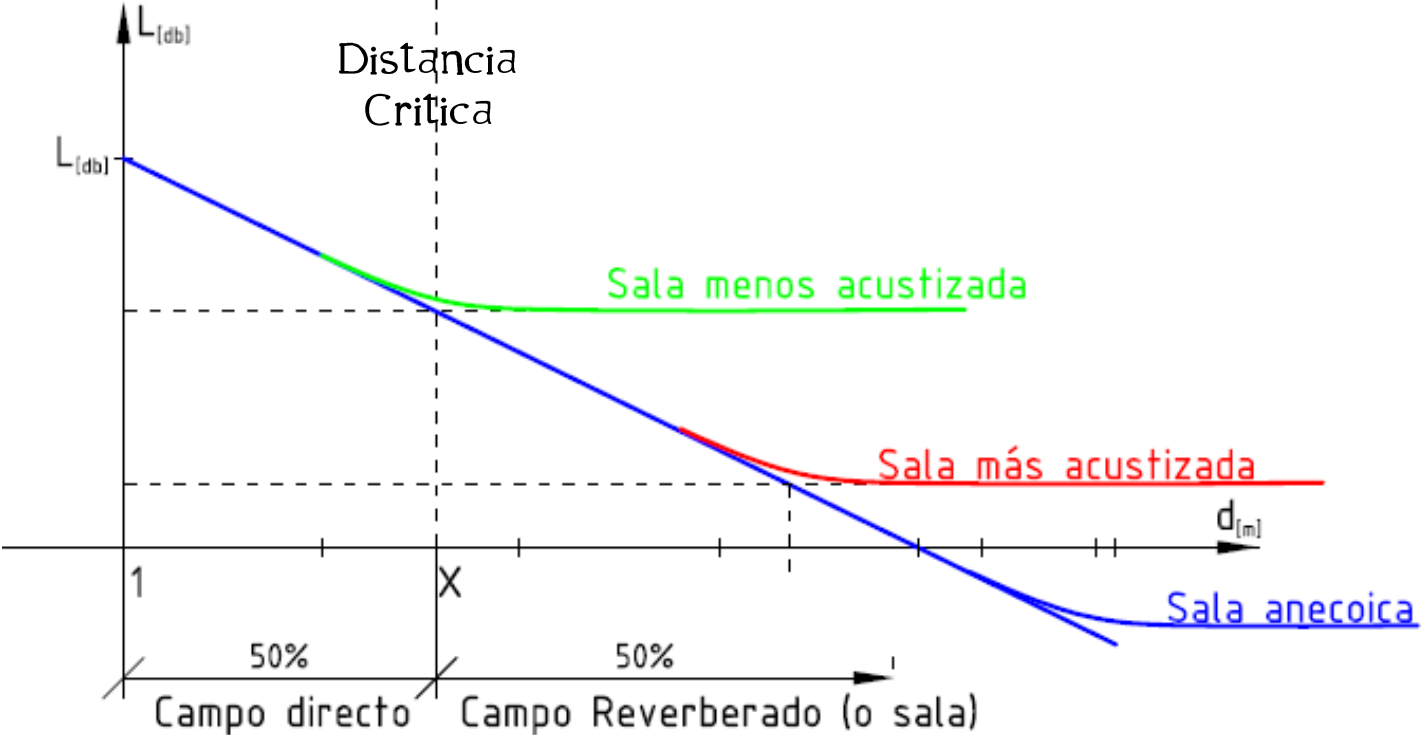
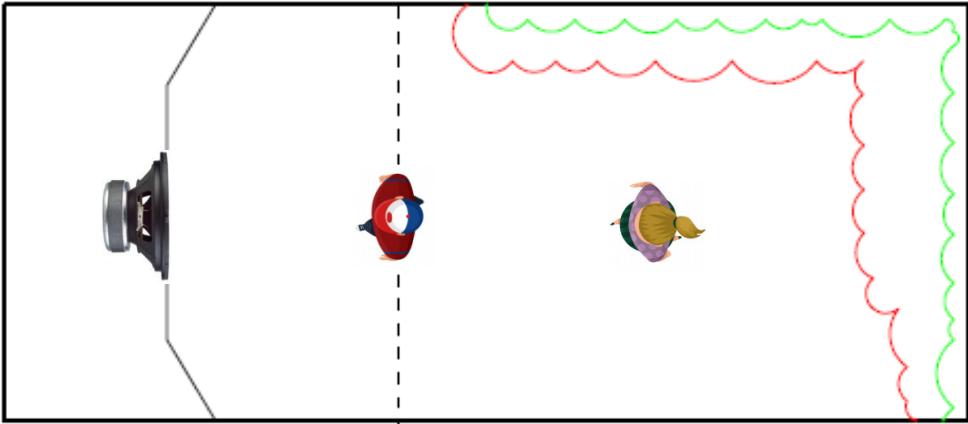
Propagación en espacio libre



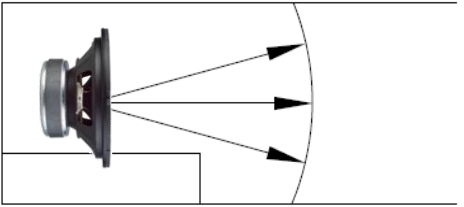
$$\Delta L_{[dB]} = 20 \log \frac{d_m}{d_M}$$

Si se duplica la distancia, la caída es de 6db

Propagación en Espacio cerrado

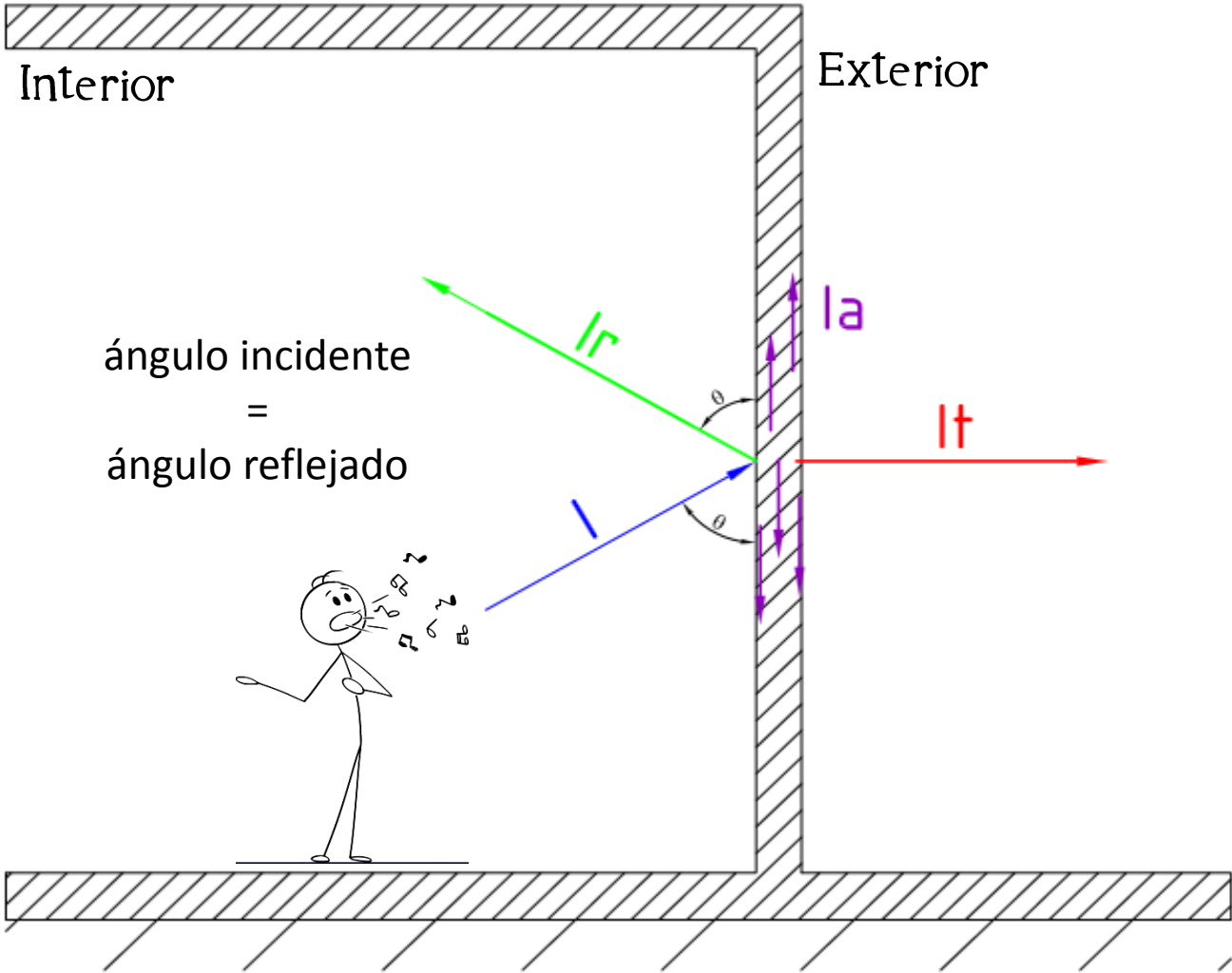


Vista en planta



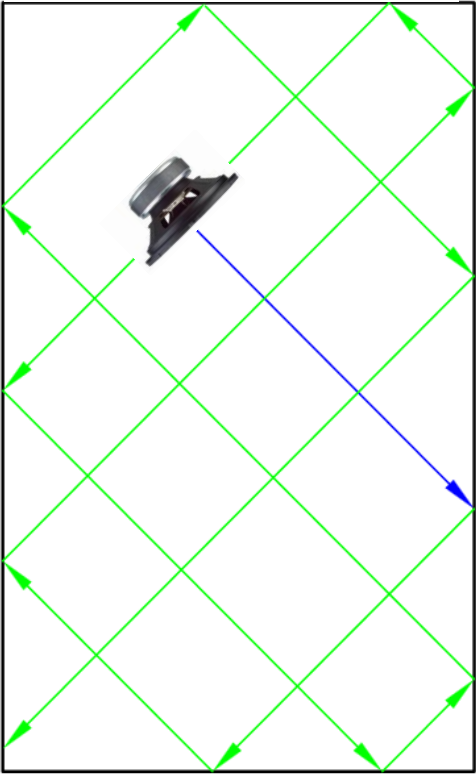
Vista lateral

Parámetros Acústicos Fundamentales



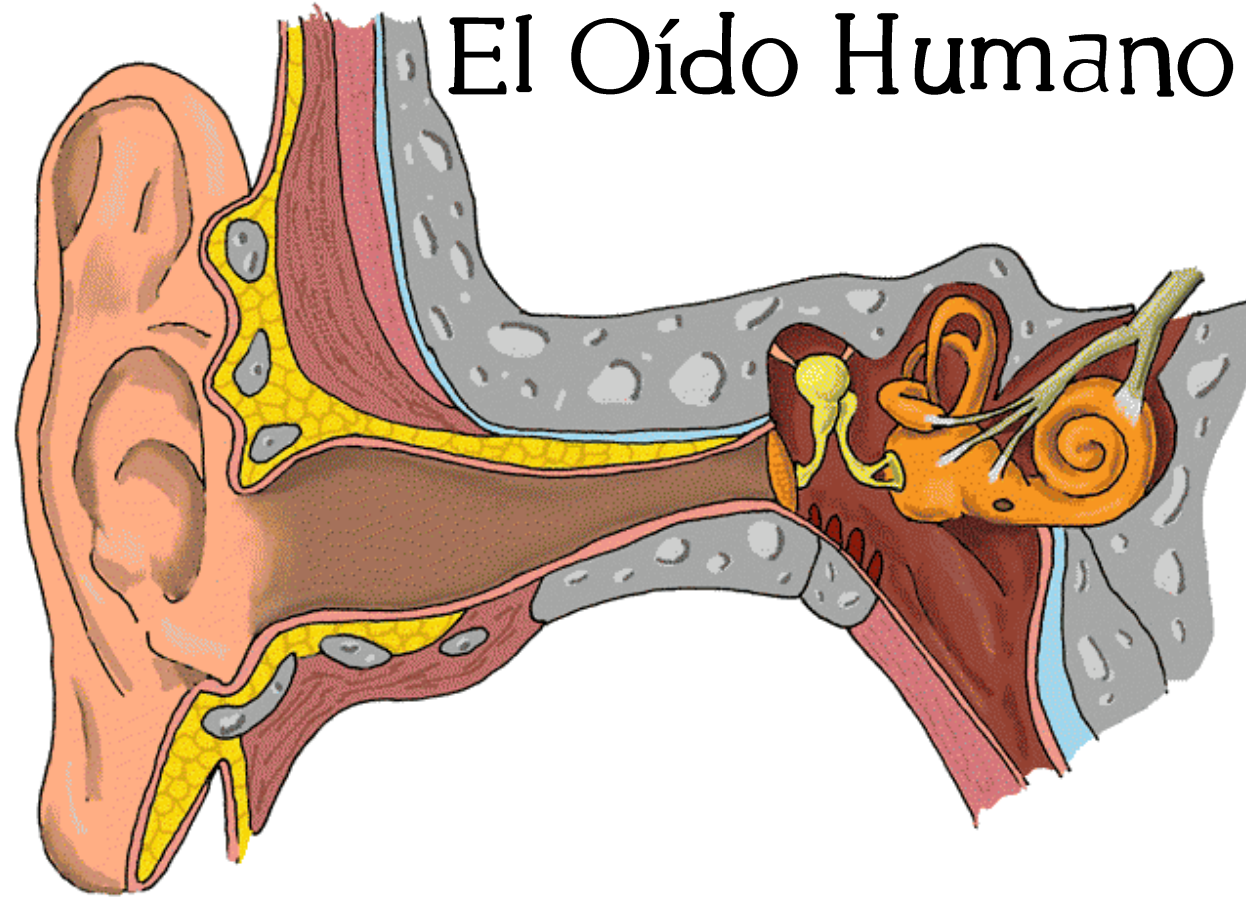
$$I_i = I_r + I_a + I_t$$

$$I_i = r + \alpha + \tau$$



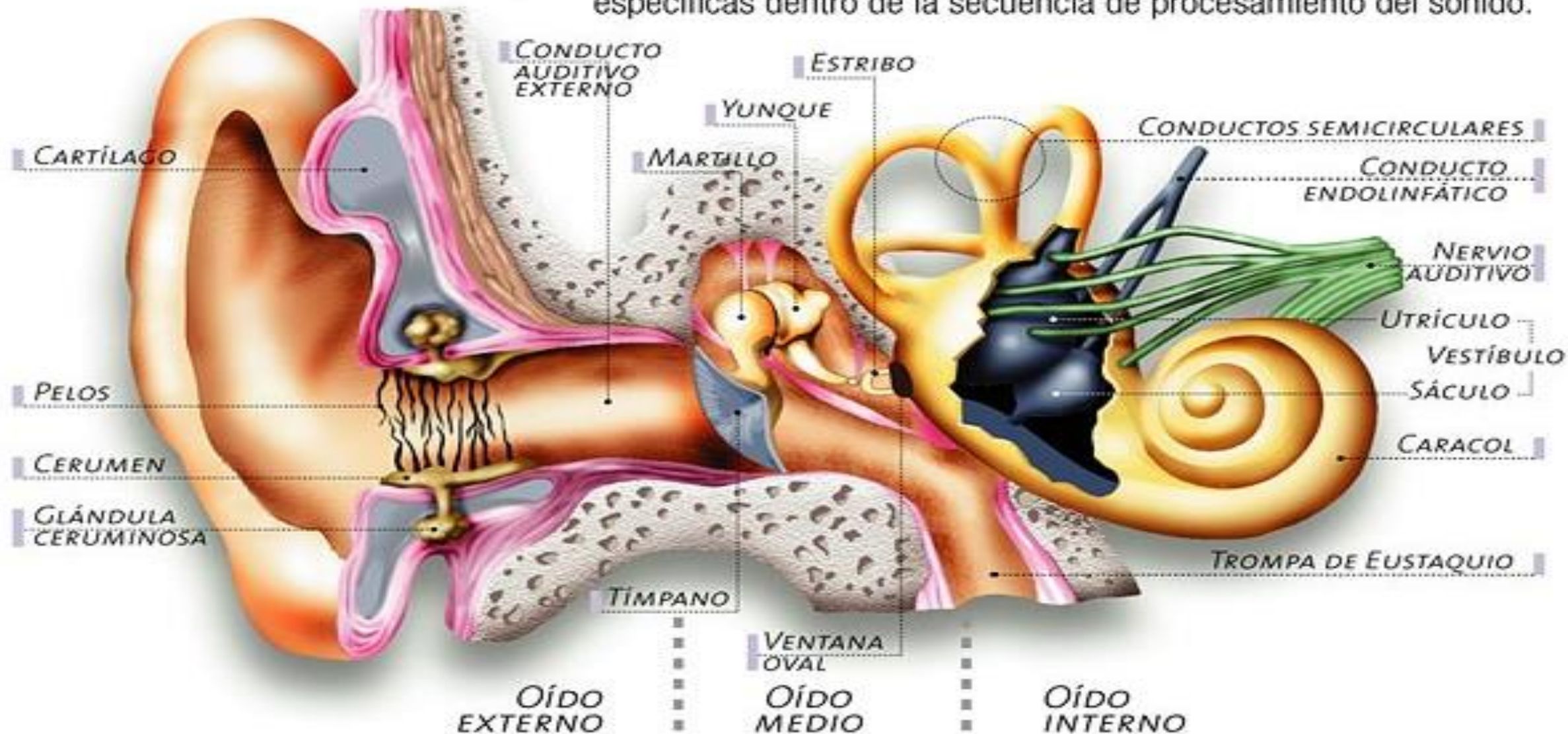
Reflexión en salas cerradas

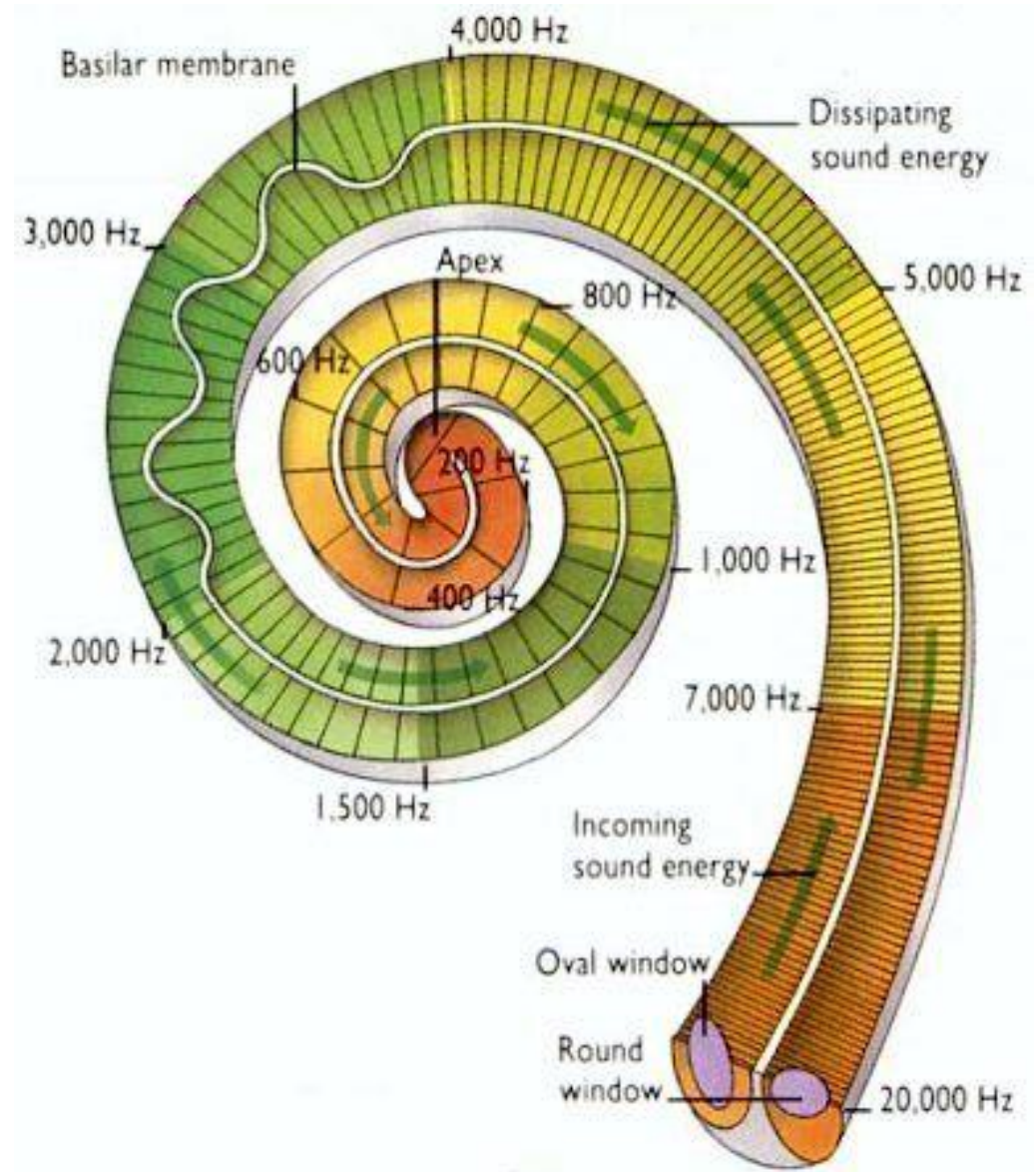
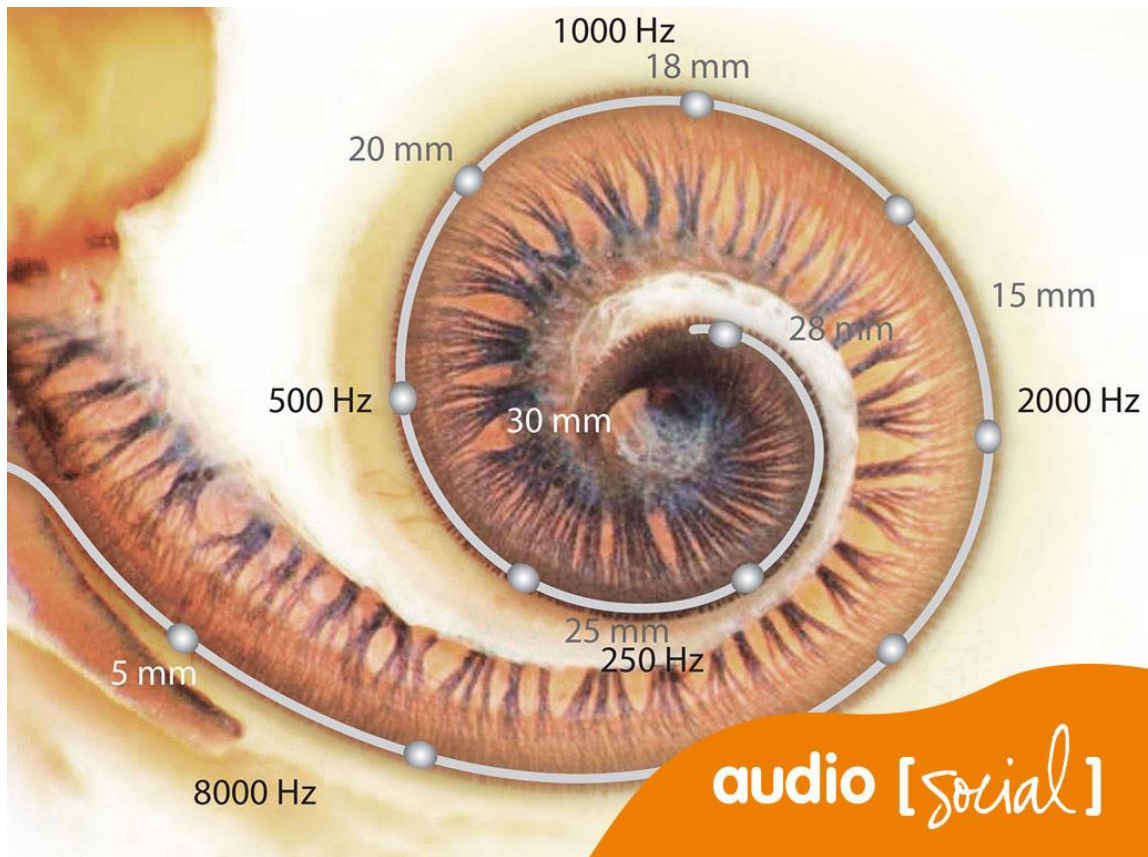
El Oído Humano



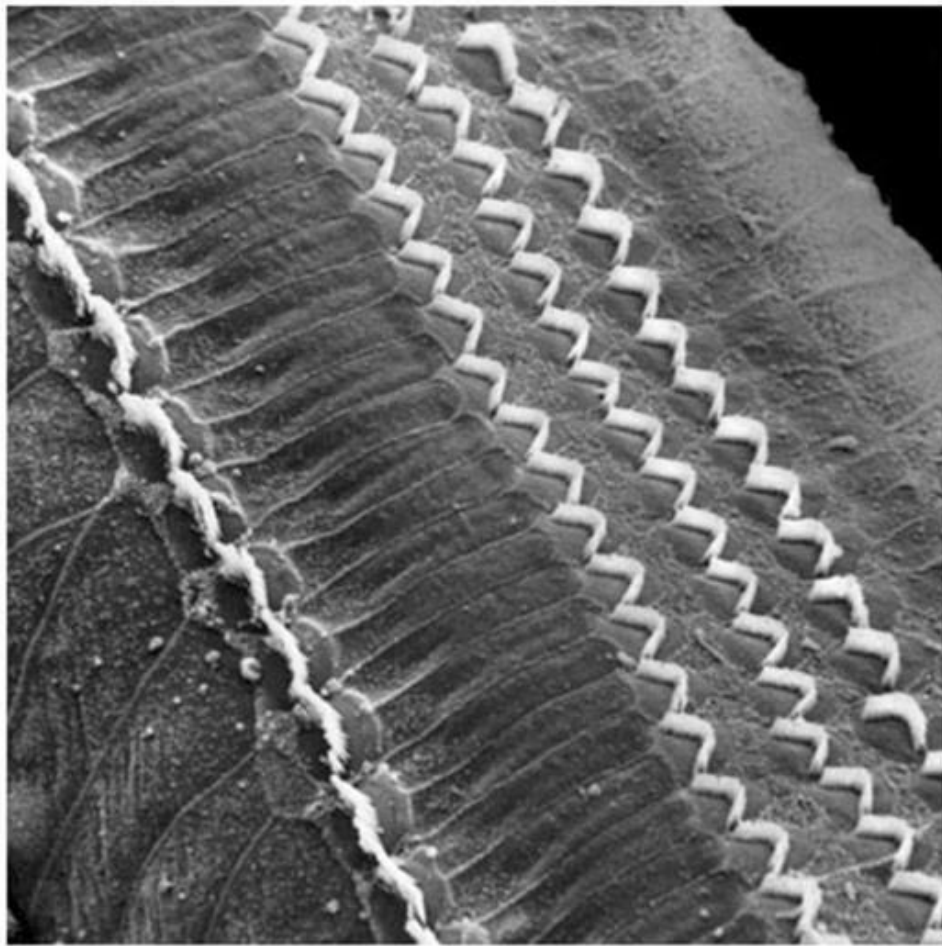


Una de las funciones principales del oído es la de convertir las ondas sonoras en vibraciones que estimulen las células nerviosas, para ello el oído tiene tres partes claramente identificadas. Estas secciones están interconectadas y son el oído externo, el medio y el interno. Cada parte tiene funciones específicas dentro de la secuencia de procesamiento del sonido.

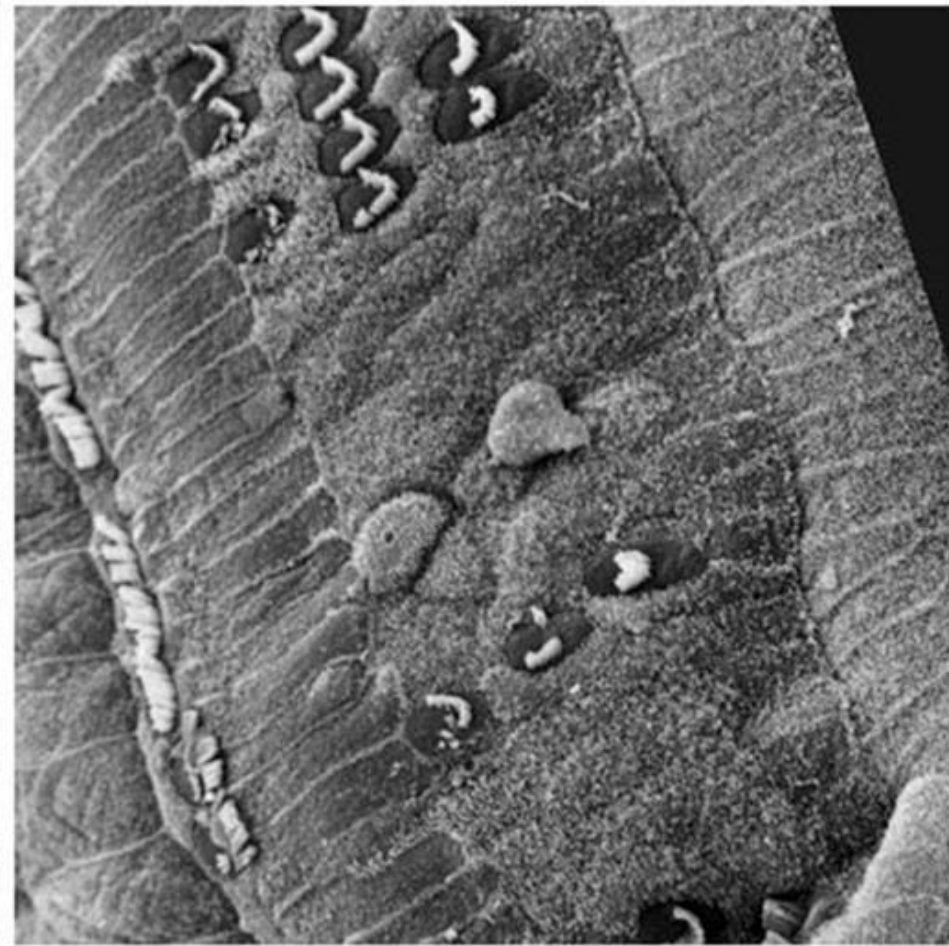




Líquido interior del Oído: Endolinfa

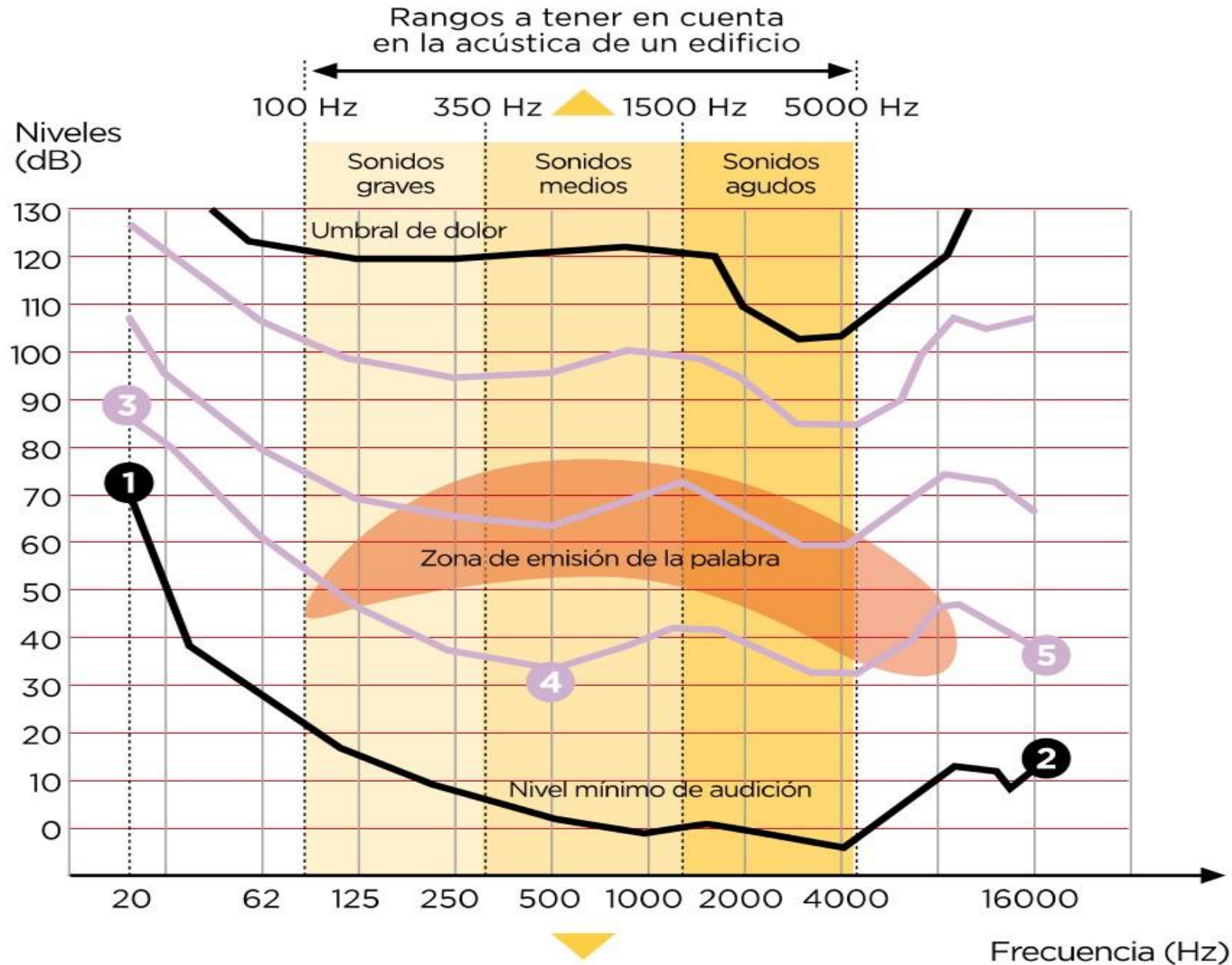


Intact cochlea

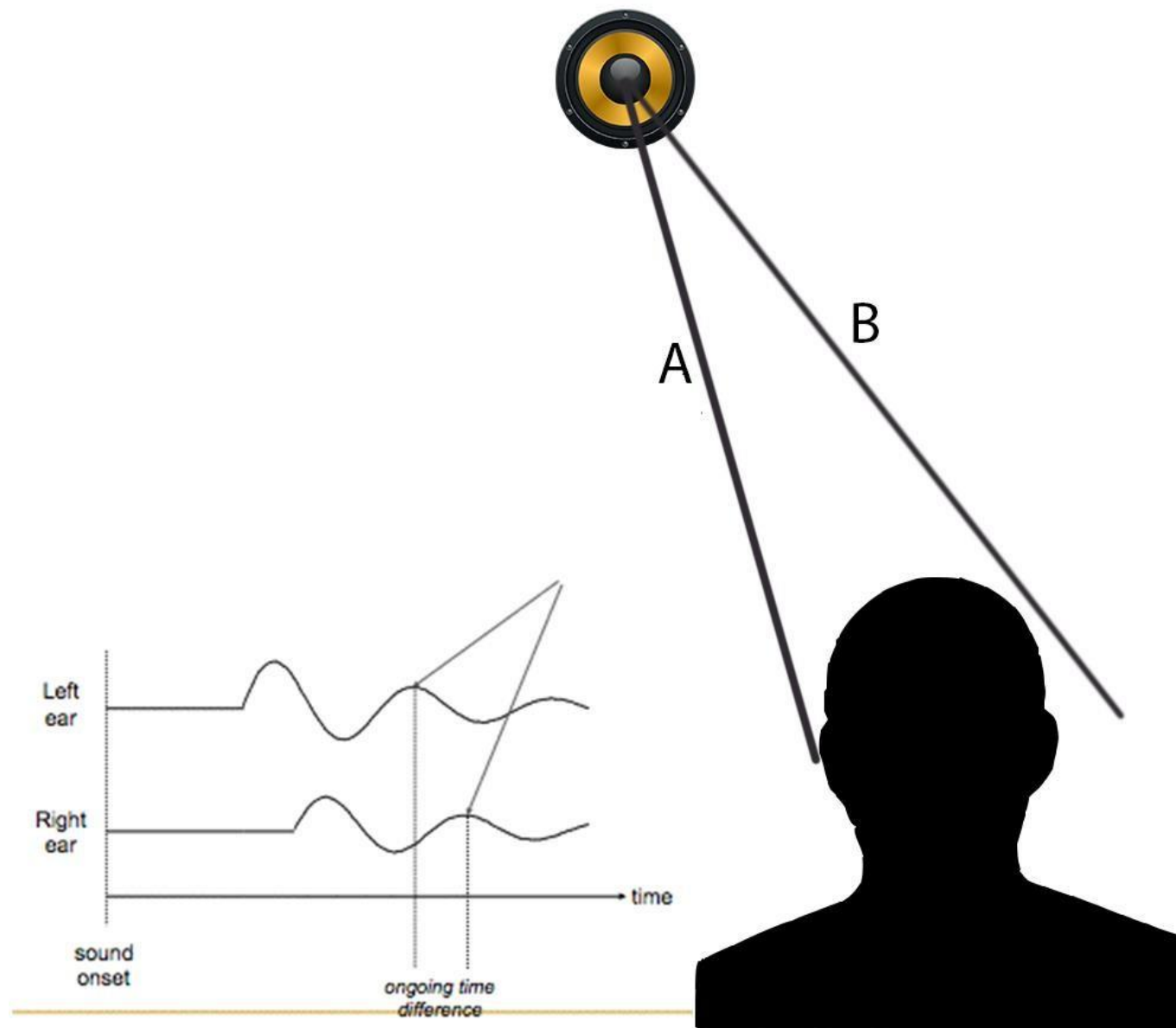


Damaged cochlea

Curvas de Fletcher y Munson



Percepción Espacial






Patologías del Oído

Exposición a Intensidades superiores a 65db

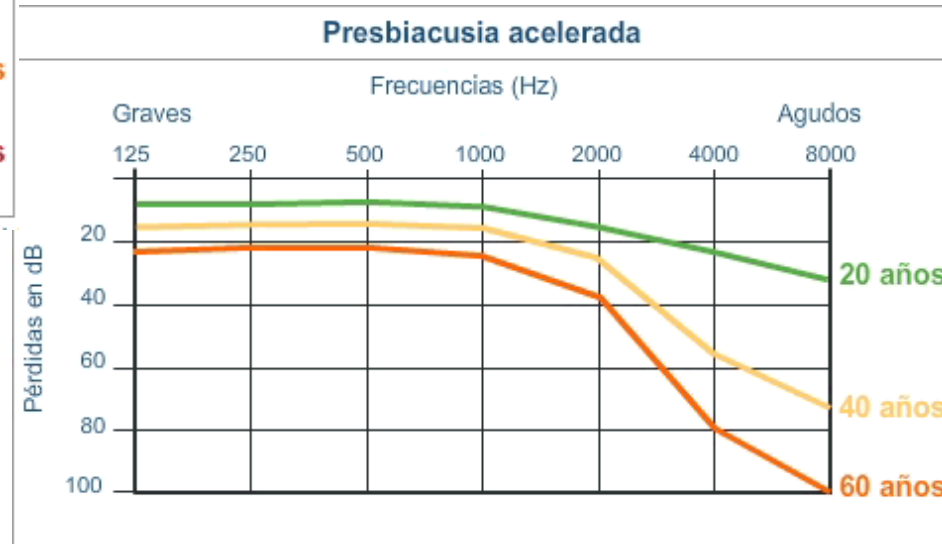
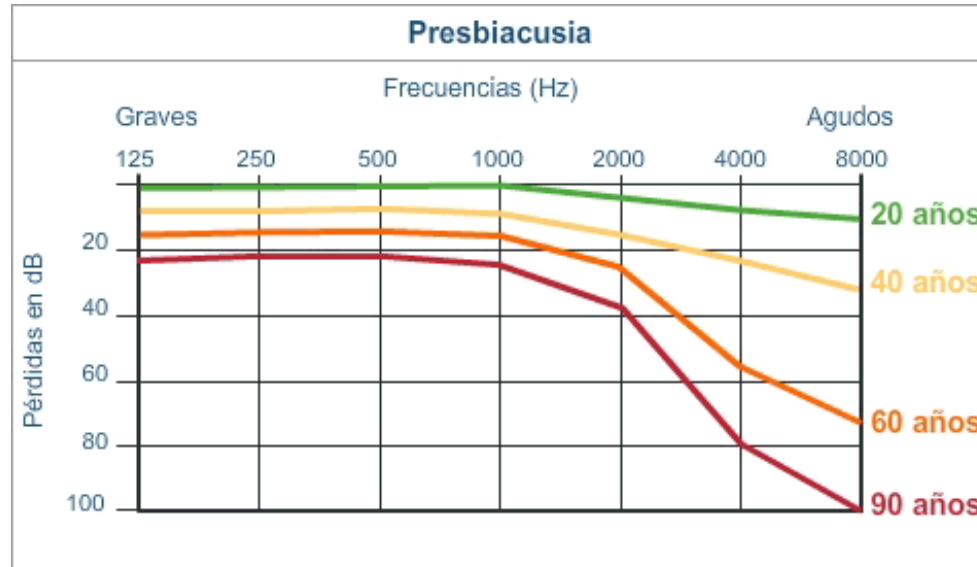


- **Alteraciones físicas**
 - alteraciones del ritmo cardiaco
 - hipertensión arterial
 - aumento de la secreción de adrenalina
 - alteraciones gástricas
- **Alteraciones psíquicas**
 - estrés
 - irritabilidad y agresividad
 - dificultad de concentración
 - disminución del rendimiento
- **Tinítus**
 - sonido sibilante y persistente por horas
- **Hiperacusia**
 - muerte de algunas células ciliadas
 - células restantes trabajando al máximo

Efectos en el Organismo

→	A partir de 30 dB	Dificultad para conciliar el sueño.	
→	A partir de 40 dB	Probable interrupción del sueño.	
→	A partir de 45 dB	Malestar diurno moderado.	
→	A partir de 50 dB	Malestar diurno intenso.	
→	A partir de 55 dB	Comunicación verbal extremadamente difícil.	
→	A partir de 65 dB	Pérdida de oído a largo plazo.	
→	A partir de 110-140 db	Pérdida de oído a corto plazo.	

Ruidos y Presbiacusia



- Normal con la edad (60 años o más)
- Acelerada por condiciones laborales y otras exposiciones a altas intensidades
- Muy acelerada por exposición excesiva a ruidos/sonidos intensos de más de 90 dB

Conceptos para Recordar

- Los sonidos que escuchamos no son puros (sinusoidales), están compuestos por una onda **fundamental** y **múltiples armónicos**
- Al **alejarnos** de la fuente, en el espacio libre la intensidad sonora cae **cuadráticamente**
- La acústica debe **garantizar una equilibrada distribución de sonido**
- La **inteligibilidad de la palabra hablada** y la **percepción de una interpretación musical** dependen de la **calidad acústica de una sala**