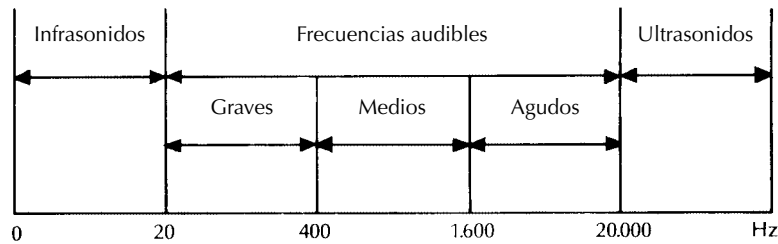


04.02. Percepción y nivel sonoro

04.02.01. AUDICIÓN

El oído percibe las variaciones de presión en forma de sonido cuando su periodicidad está entre las 16 y 16.000 variaciones por segundo (de 20 a 20.000 según otras teorías); es decir, cuando su frecuencia está entre 16 y 16.000 Hz (o 20 a 20.000 Hz).

Esta banda de frecuencias audibles se descompone generalmente en tres regiones: frecuencias graves, medias y agudas.



El modo en que el oído percibe el sonido, es el siguiente (fig. 2):

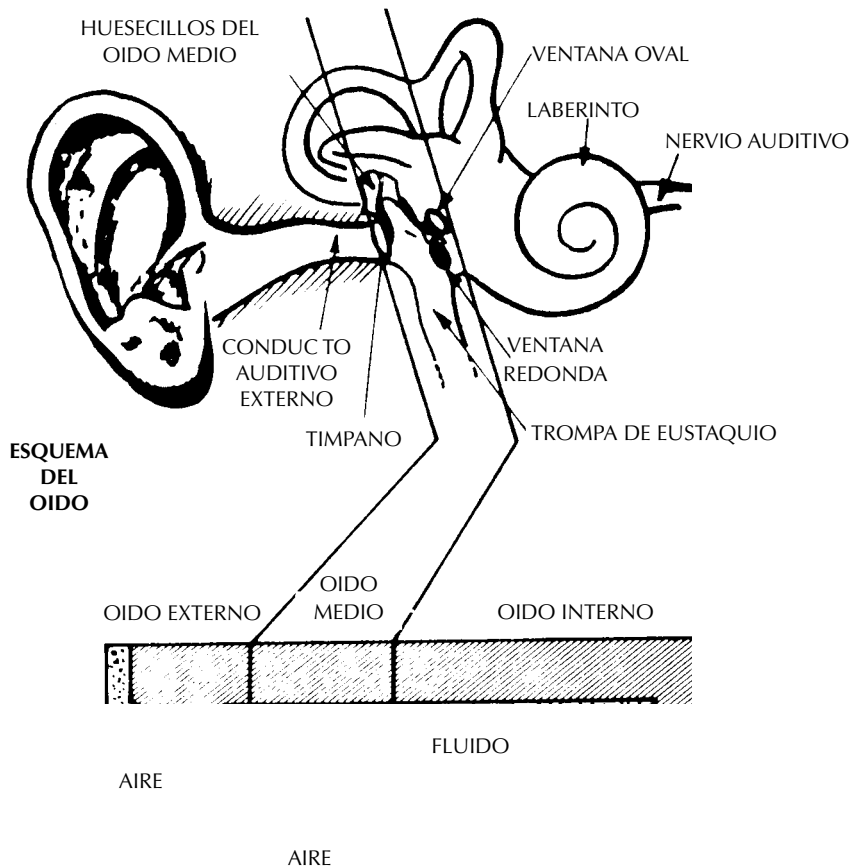


Fig. 2.

- El oído externo, que fundamentalmente tiene una misión de conducción, pero escasa de percepción.
- El oído medio, que arranca en la membrana del tímpano, que es la que recoge las variaciones de presión. Estas son transmitidas por un sistema de huesecillos (martillo, yunque y estribo), que actúan como una sucesión de palancas y que constituyen un amplificador (de 55 a 60 veces).
- El oído interno, con apariencia de caracol, está relleno de un líquido (líquido linfático), que es el que transmite finalmente las variaciones de presión al auténtico órgano receptor que es la membrana basal.

En la membrana basal están las células nerviosas (unas 25.000), son de distinta longitud (similitud con las cuerdas del piano), y según las zonas, recogen los distintos *tonos*.

También y debido al gran número de células, se hace un análisis de la *intensidad*, aunque el análisis más fino se realiza, ya, en el cerebro, al que llega esta señal mediante el nervio acústico.

04.02.02. INTENSIDAD

Las dos sensaciones fundamentales que nos da el oído, como hemos visto, son el tono y la intensidad.

El tono se puede determinar fácil y objetivamente midiendo la frecuencia.

La intensidad es una magnitud, en parte, subjetiva. Está relacionada con la presión sonora, que es objetivamente medible; sin embargo, dos sonidos de igual presión sonora y de distinta frecuencia no producen la misma sensación de intensidad. Se define como la energía por unidad de superficie y se mide en W/m^2 .

Para que el oído comience a percibir un sonido, la presión acústica debe ser, al menos, de $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$. Esto es lo que se denomina Umbral Auditivo.

Cuando la presión acústica supera los $10^3 \mu\text{bar}$, el oído puede sufrir lesiones irreversibles. Esto es lo que se denomina Umbral Doloroso.

En la escala de intensidades, el umbral auditivo es $10^{-12} W/m^2$ y el umbral doloroso es $25 W/m^2$.

Para ver cómo percibe nuestro oído, nos remitimos a la ley de Weber-Fechner: «Nuestras impresiones sonoras varían según una progresión aritmética, cuando las excitaciones físicas que las causan varían según una progresión geométrica». Es decir, que si la excitación varía de 10 a 100, nuestra impresión sonora varía de 1 a 2.

Para simplificar los cálculos y por lo dicho en el párrafo anterior, se recurre a un proceso matemático donde representamos las medidas acústicas en escala logarítmica.

La forma de establecer la medida del nivel sonoro producido por una presión acústica P , se realiza mediante la fórmula:

$$L = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad \text{dB}$$

Siendo: $P_0 = 2 \cdot 10^{-4} \mu\text{bar}$, presión acústica del umbral auditivo

L = Nivel sonoro en dB

Se observa que la unidad dB es adimensional, y no tiene sentido físico.

Por otra parte, como las intensidades sonoras son proporcionales al cuadrado de las presiones, la fórmula anterior puede escribirse:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \text{dB}$$

Siendo $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ la intensidad acústica del umbral auditivo.

Veamos algunos ejemplos:

1. El umbral auditivo, como se ve en la expresión anterior, es el nivel de cero (0) decibelios. Veamos cuántos decibelios es el umbral doloroso ($p=10^3\mu\text{bar}$).

$$L = 20 \log \frac{P}{P_0} = 20 \log \frac{10^3}{2 \cdot 10^{-4}} = 20 \log \frac{10^3 \cdot 10^4}{2} = 20 \log \frac{10^7}{2} =$$

$$= 20 (\log 10^7 - \log 2) = 20 (7 - 0,3) = 20 \cdot 6,7 = \underline{134 \text{ dB}}$$

2. Si un instrumento musical produce 70 dB, dos instrumentos iguales no producirán el doble de decibelios, aunque se produzca el doble de intensidad. Veámoslo:

$$70 = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} = 10 (\log I - \log 10^{-12});$$

$$7 = \log I + 12; \log I = -5; I = 10^{-5} \text{ W/m}^2 \quad [1 \text{ instrumento}]$$

$$[2 \text{ instrumentos}] \rightarrow I = 2 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2;$$

$$L = 10 \log \frac{2 \cdot 10^{-5}}{10^{-12}} = 10 \log (2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{12}) = 10 \log (2 \cdot 10^7) =$$

$$= 10 (\log 2 + \log 10^7) = 10 (0,3 + 7) = \underline{73 \text{ dB}}$$

Se ve que una duplicidad en la intensidad produce un aumento de 3 dB en el nivel acústico.

04.02.03. SONORIDAD

Sensibilidad auditiva

Como dijimos en el apartado anterior, el oído humano no es igual de sensible a todas las frecuencias. Fletcher y Munson estudiaron la variación de la sensibilidad del oído con la presión sonora (o, lo que es lo mismo, con el nivel acústico) y resumieron su estudio en unas curvas que dan esta variación de sensibilidad en función de la frecuencia (ver fig. 3).

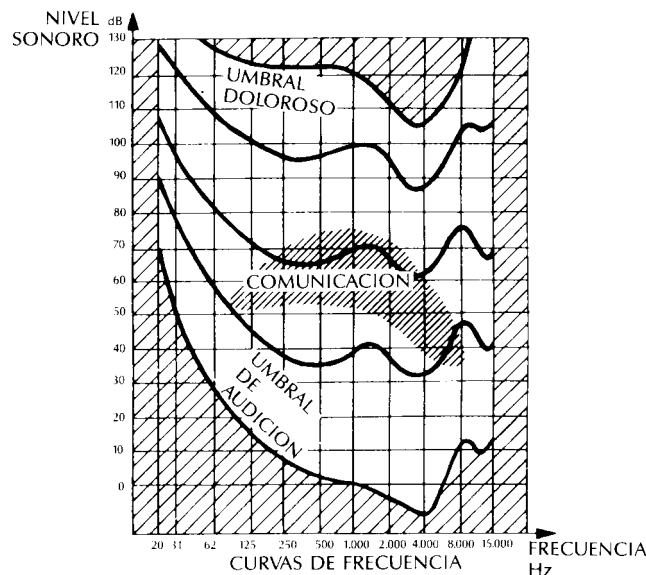


Fig. 3.

Como se ve, la sensibilidad es máxima para 1.000 Hz, es algo menor para frecuencias mayores, y disminuye mucho para bajas frecuencias. Este efecto de sensibilidad depende de las personas y de la edad, la agudeza auditiva disminuye con la edad para frecuencias superiores a los 5.000 Hz.

Efecto de enmascaramiento

La sensibilidad del oído humano que hemos visto para tonos puros no es igual en el caso de sonidos y ruidos compuestos de varios tonos. Esto es lo que se conoce como «efecto de enmascaramiento».

Este fenómeno tiene mucha importancia en la vida cotidiana, y su efecto puede ser ventajoso o perturbador. Por ejemplo, a veces en una casa no se oyen los ruidos de la conversación o de la radio de los vecinos, y no es debido a que los muros o forjados reduzcan tanto los ruidos como para que queden por debajo del umbral auditivo; sino que existe un ruido «enmascarante» que puede ser un ruido de tráfico o de alguna actividad desplegada en la casa; cuando estos «ruidos de fondo» desaparecen, por ejemplo por la noche, se perciben los ruidos perturbadores que antes eran inaudibles.

04.02.04. MOLESTIA

El ruido, por sus efectos fisiológicos, puede ser una fuente de molestia. La aparición repentina de un ruido inhabitual lleva consigo una modificación de la actividad fisiológica: crecimiento del ritmo cardíaco, modificación del ritmo respiratorio, variación de la presión arterial, ...

Desgraciadamente, la perturbación de un ruido que se debe considerar como molesto no está influenciada solamente por las leyes fisiológicas de la sensibilidad sonora, sino también por la disposición psicológica, subjetiva y muy variable con el tiempo de cada observador en particular.

Intentamos definir el concepto de ruido:

Para mucha gente, el ruido no es ni más ni menos que el sonido que producen los demás. Una definición más técnica puede ser: «El ruido es una señal acústica que no muestra claramente ningún tono definido», o «El ruido es una variación de la presión acústica que puede ir acompañada o no de algunos sonidos más o menos musicales».

La molestia objetiva y subjetiva

El concepto de molestia, al que se empareja «in mente» el concepto de ruido, al igual que la intensidad, es un concepto indefinido. Se puede descomponer en una parte estadística, y por ello medible (molestia objetiva); y una segunda parte que no se puede someter básicamente a ninguna medida (molestia subjetiva).

La parte medible se apoya fundamentalmente en la impresión de que las frecuencias altas son más molestas que las bajas, como ya vimos antes.

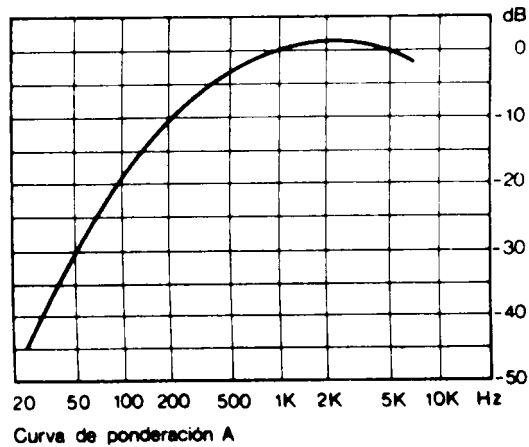
El decibelio A

Debido a la subjetividad, es difícil obtener con un solo valor una medida del nivel acústico; es decir, un valor objetivizado que se aproxima lo más posible a la percepción del oído.

Uno de los sistemas empleados para definir con un solo valor el nivel de presión acústica es el *decibelio A* [dBA]. Esta medida está basada en las curvas antes vistas de Fletcher y Mounson sobre la sensibilidad del oído en función de la frecuencia. Se obtiene mediante la media ponderada entre el espectro del ruido y la curva siguiente, que se conoce como curva de ponderación A.

La medida en dBA se acepta como la valoración simple más aproximada a la sensación producida por música, palabra y ruidos comunitarios más generales, incluidos los de tráfico y electrodomésticos, y siempre que no se trate de ruidos con tonos predominantes.

Esta curva está tomada de la norma UNE 21.314, y se utiliza para compensar las diferencias de sensibilidad que el oído humano tiene para las distintas frecuencias dentro del campo auditivo.



En la siguiente tabla se especifican los valores que toma la curva de ponderación A para un margen de frecuencias común en la realidad.

Frecuencia en Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
Ponderación en dBA	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,0	-0,8
Frecuencia en Hz	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4000	5.000		
Ponderación en dBA	0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5		

04.02.05. VIBRACIONES

Sensación y percepción de vibraciones

Se entiende, en general, por sensación de vibración, la sensación de excitación vibrátil que se produce por contacto directo del cuerpo humano con un cuerpo sólido que vibra.

Como no existe un órgano determinado que perciba este tipo de vibración, no es posible una separación clara entre sonido y sensación de vibración, a menos que limitemos la expresión de *vibración* a las vibraciones por debajo de 16 Hz (o 20 Hz); es decir, los infrasonidos que no se pueden percibir como sonido. Sin embargo, esta limitación no es razonable ni en sentido físico ni en sentido fisiológico, ya que el oído puede percibir los sonidos que alcanzan y excitan la membrana del tímpano, así como las vibraciones de los huesos del cráneo que excitan directamente al oído interno (audición por conducción ósea, audífonos). También, las células sensoriales de la piel pueden sentir las vibraciones y, en el caso de ser fuertes, pueden abarcar todo el cuerpo y extender esta sensación a los órganos internos, fundamentalmente a los pulmones y estómago, ya que las bolsas de aire que contienen dichos órganos hacen las veces de amplificador de vibraciones.