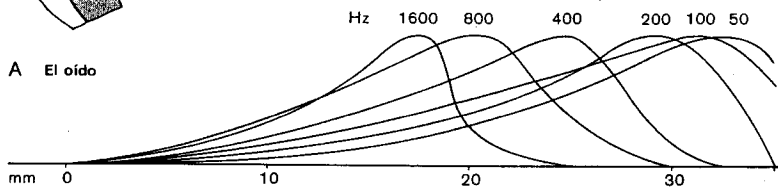
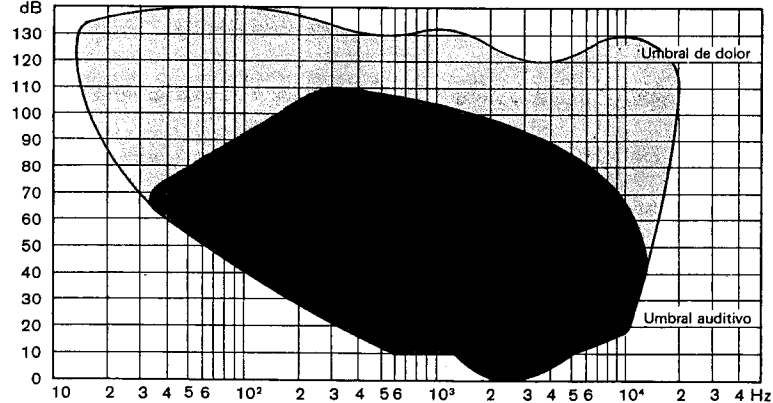


A El oído



B Arqueamientos de la membrana basilar a diferentes frecuencias



C Campo auditivo (ordenamiento logarítmico de las frecuencias)

El oído y el ámbito auditivo

### Anatomía del oído

El oído comprende tres grandes divisiones: oído externo, oído medio y oído interno (fig. A).

El oído externo capta el sonido, proceso en el cual el conducto auditivo, actuando como resonador, intensifica al doble o al triple las ondas sonoras.

El oído medio transmite el sonido: el timpano transmite las fluctuaciones de presión a los huesecillos del oído en el ático, lleno de aire. Reacciona incluso a amplitudes de  $10^{-9}$  cm (1/10 del diámetro de un átomo de hidrógeno) en un tono *ppp* de 3.000 Hz. Los huesecillos auditivos *martillo*, *yunque* y *estríbo* amortiguan las oscilaciones en una proporción de 1,3:1 con un aumento de fuerza de 1:20, y las conducen hacia la ventana oval.

El oído interno consta del aparato vestibular, con los tres conductos semicirculares del equilibrio, y del caracol (cóclea), con el órgano auditivo. El caracol contiene dos conductos llenos de perilinfa:

- el conducto o *rampa vestibular (scala vestibuli)*, que parte desde la ventana oval, en la cual se asienta el estríbo, y
- el conducto o *rampa timpánica (scala timpani)*, que parte desde la ventana redonda, con cierre membranoso hacia el oído medio.

Ambos conductos sólo están vinculados entre sí en el extremo del caracol (*helicotrema*), mientras que en el resto del trayecto están separados entre sí por el así llamado *canal coclear*, de tres secciones llenas de endolinfa. En este canal se encuentra la *membrana basilar*, de 35 mm de longitud y de un ancho de 0,04 mm en la ventana oval y 0,49 mm en el extremo del caracol, techada por una membrana tectorial, y provista de unos 3.500 grupos de células ciliadas, cada uno de los cuales tiene una célula interna y 3 ó 4 células externas yuxtapuestas: son las células sensoriales del *órgano de Corti*.

### La percepción de la altura del sonido

Las ondas de presión en la perilinfa del conducto vestibular producen un arqueamiento del conducto coclear. Este arqueamiento se transmite, como una onda sumamente amortiguada, desde la ventana oval hasta el extremo del caracol (sin reflexión). En el punto de convexidad máxima, es también máxima la excitación de las células sensoriales del órgano de Corti. En los tonos agudos, dicha convexidad se halla cerca de la ventana oval y viceversa. La sensación de altura del sonido depende, en consecuencia, del lugar en que se hallen situadas las células sensoriales máximamente excitadas sobre la membrana basilar, que vibra en su totalidad (fig. B).

El *ámbito de audición* está situado entre 16 y 20.000 Hz (fig. C). Disminuye poderosamente con la edad. La distribución espacial sobre la membrana basilar corresponde aproximadamente al logaritmo de la frecuencia, siendo mayor la separación en el ámbito medio. De ahí que la diferenciación de la altura del sonido se logre en forma óptima entre 1.000 y 3.000 Hz ( $0,3\% = 1/40$  sonido entero).

El oído medio sólo transmite frecuencias de hasta 2.000 Hz. Todas las superiores son transmitidas por los huesos. La membrana basilar se pone en vibración por diferencia de presión entre las rampas y sinuosidades del cierre movable de la *scala timpani*, en caso de

- compresión desde todas partes de la pared ósea del caracol, o de
- desplazamiento relativo de huesecillos auditivos y caracol, por aceleración del oído interno en caso de vibración de los huesos craneanos.

La transmisión ósea puede sentirse con particular claridad al oír la propia voz. En la perilinfa se originan oscilaciones adicionales a partir de distorsiones no lineales, asimétricas, en los oídos medio e interno, que se oyen como sonidos parciales subjetivos o auditivos. En forma similar, se originan oscilaciones adicionales por superposición, los denominados *sonidos de combinación*; los *sonidos de diferencia* y los *de suma* corresponden a la diferencia o suma del número de oscilaciones de los sonidos fundamentales. La altura del sonido resulta determinada por la oscilación más prolongada en cada caso.

Como unidad de medición específica para la percepción de la altura del sonido se utiliza el *mel*, siendo, por definición, 1.000 mel = 1.000 Hz a 0,002 Pa (40 dB).

### La percepción de intensidad sonora

El oído distingue aproximadamente 325 grados de intensidad sonora. La intensidad sonora subjetiva (*sonoridad*) se mide en fonios. Por definición, a 0 fonios, el sonido normal de 1.000 Hz deja justamente de ser audible. En ese caso son: la *presión sonora* en el timpano,  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (= 0 dB), la *potencia sonora*,  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>, la *amplitud sonora* en el timpano,  $10^{-9}$  cm, en la membrana basilar,  $10^{-10}$  cm, en los huesos craneanos  $5 \cdot 10^{-10}$  cm. El valor en fonios *L* de una fuente sonora se obtiene por comparación con el sonido normal, establecido en igual sonoridad, de intensidad sonora *J*, según  $L = 10 \lg J/J_0$ . Por consiguiente, la escala fónica es proporcional al logaritmo de la intensidad sonora verdadera.

**Límites de nocividad:** Carga breve a 90 fonios, carga permanente a 75 fonios. Umbral de dolor: 130-140 fonios.

La unidad de medida específica de la sensación de sonoridad es el *sonio*: 1 sonio = sonoridad del tono normal a 40 dB, 2 sonios = sonoridad doblemente intensa, etc. La sensación de sonoridad depende asimismo del tiempo. El tiempo de iniciación de la audición hasta llegar a la plena intensidad sonora asciende a 0,2 seg, y el tiempo de extinción de la audición a 0,14 seg. Después de 2 min, la sonoridad desciende en 10 dB (*adaptación*), permaneciendo luego aproximadamente constante. A veces, un proceso auditivo extingue a otro por adaptación en el órgano de Corti y por influencia oscilatoria mecánica en la perilinfa (*encubrimiento*).

### Transmisión al cerebro

30.000 fibras nerviosas transmiten, mediante impulsos eléctricos (denominados *potenciales de acción*, hasta 900 Hz por fibra), 1.500 diferencias de altura de tono y 325 grados de intensidad, es decir, alrededor de 340.000 valores desde las localizaciones en la membrana basilar, a través del nervio auditivo, hacia el cerebro. En este proceso, la suma de todas las frecuencias de los impulsos da por resultado la sonoridad.