

Capítulo 2

Psicoacústica

José Luis Castaño Bernal
jose.castano00@usc.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-0001-8636>

Cita este capítulo

Castaño Bernal, J. L. (2018). Psicoacústica. En: Campo Cañar, C. X.; Castaño Bernal, J. L.; Chaves Peñaranda, M. C.; Escobar Franco, E. P.; & González Salazar, L. *Audiología básica para estudiantes*. (pp. 27-46). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali.

Capítulo 2

Psicoacústica

José Luis Castaño Bernal

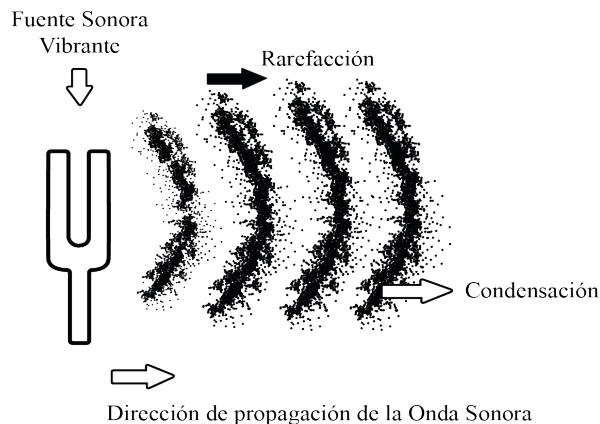
Este capítulo introduce el concepto de psicoacústica, su fenomenología y principios básicos. Se describen fenómenos tales como sonoridad, intensidad, tono y relaciones básicas con la percepción sensorial.

1. Conceptos básicos.

¿Qué es una Onda Sonora?

Imaginemos un sistema que vibra (un altavoz, un diapasón, la cuerda de una guitarra, la membrana de un tambor, la voz humana, etc.) que denominaremos *fente sonora*. Esta vibración provoca una interacción entre el aire que circunda con el sistema vibrante que transfiere al aire energía mecánica. Esta interfaz entre la fuente sonora y el medio provoca que el aire cambie su presión muy brevemente y se genere una perturbación que se transfiere por choques sucesivos de unas moléculas de aire con otras. A este fenómeno lo denominaremos *onda sonora*.

Figura 1. Esquema de propagación de una onda sonora donde se destacan las zonas de bajas presiones (rarefacciones) y las zonas de altas presiones (condensaciones).



Fuente: Castaño, 2018

De tal manera que *el sonido* puede describirse como las fluctuaciones de la presión (compresión y rarefacción) del aire a partir de la vibración mecánica de cualquier tipo de fuente sonora (ver Figura 1). La sensación de sonido sólo será audible si se guardan ciertas condiciones tales como unos rangos específicos de amplitud y de frecuencia. Si por ejemplo el sonido propagado tiene una amplitud baja, no será audible. Por el contrario, si la onda sonora tiene una alta amplitud (como las turbinas de un avión o un cohete), la sensación será de dolor. Por otro lado, si una frecuencia es baja (infrasonido) o muy alta (ultrasonido), no podrá ser detectada por el oído humano. Por lo que la zona donde puede ser detectada una onda sonora se denomina *rango audible*.

La frecuencia más alta audible es altamente dependiente de la edad. Niños pequeños pueden escuchar frecuencias más altas que las que podría detectar un adulto, sin embargo, a medida que se avanza en edad, estas frecuencias caen hasta cerca de los 15 kHz (Rossing, 2007). La pérdida de sensibilidad se incrementa con la edad (presbiacusia) que empieza a notarse más en frecuencias altas que en bajas.

Entonces resumiendo, una onda sonora audible requiere tres elementos fundamentales para ser detectada: el primero es una fuente sonora vibrante; el segundo un medio por el cual se propague la onda sonora¹; y tercero un receptor como el oído. Este último es un sensor bastante sensible: tiene la capacidad de separar y distinguir frecuencias de manera muy nítida y puede detectar amplitudes muy pequeñas.

¿Qué es la psicoacústica?

La psicofísica describe los estímulos físicos y su relación con nuestros sentidos. En el caso de la percepción del sonido, esta área se denomina *Psicoacústica*. Podemos definir la psicoacústica como la relación que une

¹.En nuestro caso siempre trabajaremos en aire, pero una onda puede propagarse por cualquier medio elástico.

². Se advierte aquí el uso de la palabra *volumen*. En física, volumen es la extensión en tres dimensiones de un cuerpo en una región del espacio. Por lo que se evitará el uso de esta palabra y se usará la palabra **intensidad**, siendo esta mucho más adecuada y precisa para el fenómeno psicoacústico.

la acústica y la psicología, de tal modo que su campo de estudio se orienta al estudio de los fenómenos acústicos y su unión con las sensaciones auditivas. Por lo que la psicoacústica requiere que las relaciones causales entre el estímulo físico entrante y su respuesta psicológica sean establecidas a partir de experimentos (Roederer, 1997), como en el caso de la percepción de cuan “agudo” o “grave” podría ser un sonido particular para una persona, que será discutido más adelante.

En el caso acústico, si se estableciera una relación entre un estímulo acústico y su respuesta sensorial directa (es decir uno a uno), se podrían cuantificar las características del estímulo acústico sin necesidad de intervenir la respuesta sensorial. Lo que implicaría que cualquier cambio en la magnitud del estímulo resultaría en un cambio con la misma magnitud en su percepción (Gelfand, 2010). Sin embargo sabemos que esto no es cierto. Por ejemplo, al subir el tono puro (frecuencia definida) de un sonido, notaremos que se incrementa su intensidad o “volumen”²² (sonoridad) sin haber subido la potencia acústica de la fuente.

De tal manera que, en el caso de la audiolología es importante destacar que la percepción sonora de algún parámetro acústico es dependiente del sujeto al cual se le hace una prueba audiológica. Esto es clave para cualquier tipo de prueba de evaluación auditiva en individuos.

2- Ley de Weber-Fechner.

Los fenómenos de la audición están regidos por la Ley psicofísica de Weber-Fechner, que se resume en el siguiente enunciado: la sensación crece en progresión aritmética y la excitación crece en progresión geométrica (la sensación crece como el logaritmo de la excitación medido en unidad física) (Roederer, 1997).

Un ejemplo de esta Ley que cuantifica el cambio de percepción consiste en tomar la luz de una lámpara y compararla con dos lámparas. Claramente la sensación de luminosidad en el ojo cambiará. Pero, si se tienen 100 lámparas, no se notará el cambio a 101 o 99 lámparas. La percepción de cambio se dará al tener 200 lámparas. Análogamente, al tener una flauta siendo soplada en la nota do a la que se le sobrepone otra flauta con la nota

fa, será percibida la diferencia de notas. Sin embargo, si una flauta toca una nota do y 100 flautas tocan otra muy distinta, la percepción sensorial no permitirá distinguir la nota de esta única flauta.

Así, para entender mejor los cambios en la sensación auditiva en frecuencia (o tono) e intensidad, se describirán a continuación ambas con sus diferentes implicaciones perceptuales.

3- Frecuencia y tono.

Físicamente, la frecuencia representa el número de ciclos, vueltas, oscilaciones vibratorias repetidos en un intervalo de tiempo. Para el caso específico de la Psicoacústica, la frecuencia dará la sensación de “agudos” o “graves” en una onda sonora particular. En el momento que se discute si la frecuencia percibida es más alta o baja que otra *por el oído*, la percepción de la frecuencia se denomina *tono*.

La unidad física de la frecuencia es el ciclo o período por segundo o Hertz (Hz). En una persona normal, los rangos de audición se encuentran entre 16 Hz y 16 000 Hz. Sin embargo, estos rangos dependen de factores como la edad, la fisiología del oído y la percepción musical individual entre otros.

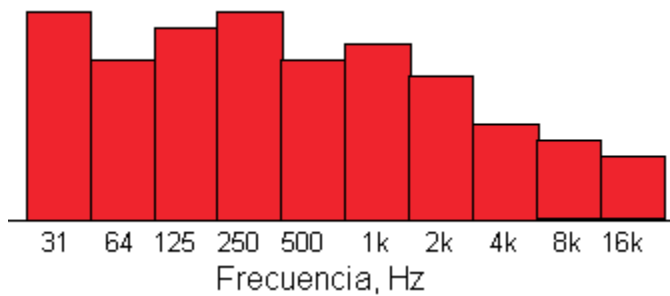
Adicionalmente, definamos el término *octava*. Este se utiliza para designar un intervalo de frecuencias comprendido entre una determinada y otra igual al doble de la anterior. Se llama así porque la escala musical es de siete notas y la siguiente, es decir, la octava, tiene la frecuencia igual al doble de la primera. Ejemplo: la frecuencia de la nota la es de 440 Hz. Las frecuencias de 880 Hz y 1760 Hz también corresponden a la nota la pero en octavas superiores.

Ahora bien, al tener un tono determinado y, se dobla su frecuencia (es decir que se aumenta una octava), la región de resonancia en la membrana basilar se mantiene constante (alrededor de 3.5 ± 0.3 mm). Por este motivo, al multiplicar la frecuencia por un factor determinado, por ejemplo, pasar de 440 Hz a 880 Hz la zona de resonancia se mantendrá trasladándose cierta distancia constante.

Por esta razón, la unidad audiométrica conveniente es la *octava*. De tal manera que la octava está relacionada con el ciclo/segundo por una relación logarítmica: se puede decir, en efecto, que la sensación de altura crece como el logaritmo (de base 2) de la frecuencia.

Ahora bien, el grupo de frecuencias audibles se ha dividido en diez bandas o segmentos de frecuencias. La frecuencia central de cada banda es el doble de la frecuencia central de la banda inmediatamente anterior (se denominan también bandas de octavas de frecuencia), y la frecuencia superior de cada banda es el doble de la frecuencia inferior. Las bandas de octavas se definen por su frecuencia central son: 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16 000 (ver Figura 2).

Figura 2. Espectro típico por bandas de frecuencias en octavas.



Fuente: Castaño, 2018.

Ahora bien, ¿cómo un individuo discrimina y ordena dos tonos diferentes con la misma intensidad? Es claro que, si la diferencia entre las frecuencias es muy pequeña, la sensación de ambos tonos será igual. El rango de sensibilidad de percepción en el cambio en la frecuencia depende de la duración del tono, la intensidad y de la frecuencia. Además de variar de individuo a individuo, es dependiente de la preparación musical y del método de medición empleado (Roederer, 1997).

4- Intensidad y sonoridad.

Antes de introducir el concepto de intensidad, discutamos previamente el concepto de presión. Sabemos que una fuerza puede generar la deformación de un cuerpo cualquiera y para demostrar esto tomaremos el siguiente ejemplo. Tomemos un globo que presionaremos con un dedo y con la palma de la mano. Al presionar con un dedo, la presión sobre el dedo será completamente diferente a hacerlo con la palma de la mano, ya que la fuerza que ejercemos es dependiente del área donde hacemos la fuerza y el globo se deformará más o menos dependiendo del área elegida. Podemos decir entonces que:

$$Pr = \frac{F}{A}$$

donde Pr es la presión ejercida con una fuerza F aplicada a un área A determinada. Sus unidades físicas serán Newton [N] para la fuerza, metros cuadrados [m²] y la presión se dará en Pascales [Pa].

El concepto de presión es muy importante para entender las ondas sonoras. Si una onda sonora genera cambios en la presión, a partir de las rarefacciones y las condensaciones en el aire, estos cambios serán detectados por el oído. Específicamente al llegar al tímpano (membrana altamente sensible a los cambios de presión) transformará los cambios de presión en movimientos mecánicos transportados por los huesecillos (martillo, yunque y estribo) hasta la cóclea. El proceso de transformar los cambios de presión hasta el movimiento mecánico en el tímpano y pasarlo a la cóclea requiere *energía*. Cualquier sistema gasta su energía en un tiempo determinado, de tal manera que es posible determinar qué tan *rápido* es el gasto de la energía en un tiempo determinado. Esta razón de cambio entre la energía y el tiempo se denomina *potencia*. Siendo:

$$Pt = \frac{E}{t}$$

donde E es la energía dada en Joules [J], t es el tiempo en segundos [s] y la potencia tiene unidades de Watts [W]. Con el fin de dar a entender los gastos de energía mírese la Tabla 1; en ella se muestran algunos ejemplos de la potencia usada en cada caso. Es interesante destacar la potencia del

grito humano (de 1 mW, léase “un mili Watt”). Si se uniera la población de Bogotá y se le pidiera un grito al unísono, se daría una potencia completa promedio entre 60 y 80 W, ¡apenas para encender una bombilla!

Tabla 2. Ejemplos de potencia suministrada en diversas situaciones.

Ejemplo	Potencia
Subir un piso corriendo por escaleras	~320 W
Bombillo de filamento	40-200 W
Carro a máxima velocidad	~130 W
Trompeta a máximo soplido	~ 6 W
Grito humano	~10 ⁻³ W

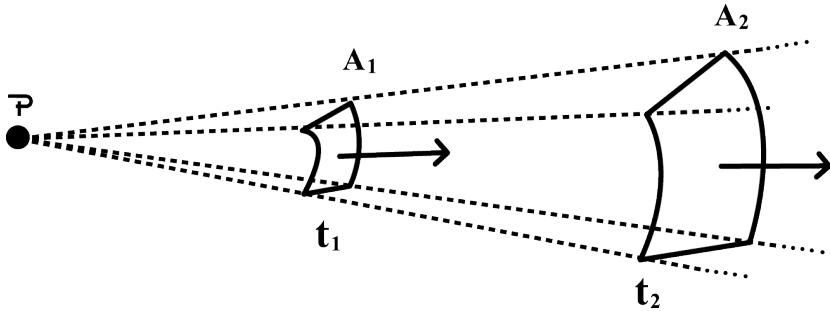
Fuente: Seeber (2016)

Ahora, introduzcamos un concepto complementario a la potencia denominado *intensidad* o flujo de energía. Se define como la cantidad de energía transferida por unidad de tiempo y por unidad de área. En el caso específico de una onda sonora, esta propaga una energía que fluye en un segundo a través de una unidad de área (ver Figura 3). Esto es equivalente a tomar la potencia Pt y dividirla por el área A :

$$I = \frac{Pt}{A}$$

donde la intensidad I se da en [W/m²]. El Gráfico 2 muestra la manera en que puede fluir la energía desde una fuente sonora ubicada en P y que cambia en el tiempo inicial t_1 con área A_1 a otro tiempo t_2 con área A_2 . En general una fuente sonora transmite ondas sonoras en todas direcciones y la cantidad de energía que fluye depende de la dirección de propagación considerada.

Figura 3. Flujo de energía sonora de una fuente cualquiera.



Fuente: Castaño, 2018.

Nótese la Tabla 3, donde se comparan intensidades en diferentes situaciones en el habla humana. Si se toma como ejemplo el habla humana, la intensidad de un susurro es mucho menor que la intensidad de un grito. Desde el momento en que se cierran los labios para susurrar, el área y la presión ejercida sobre las cuerdas vocales es mucho menor que para un grito donde la apertura de la boca y la fuerza para gritar será mayor.

Tabla 3. Gama de intensidades del habla y su respectiva intensidad. (Elejalde, 2003)

Tipos de habla	Intensidad [W/m ²]
Nivel mínimo voz humana	10^{-10}
Mujer conversando en voz baja	3.16×10^{-10}
Hombre conversando en voz baja	10^{-9}
Mujer conversando normalmente	10^{-7}
Hombre conversando normalmente	3.16×10^{-7}
Mujer hablando públicamente	10^{-6}
Hombre hablando públicamente	3.16×10^{-6}
Mujer hablando en ambiente ruidoso	10^{-5}
Mujer hablando en ambiente ruidoso	3.16×10^{-5}

Mujer cantando	10^{-4}
Hombre cantando	3.16×10^{-4}
Grito (Intensidad máxima de la voz)	10^{-3}

4.1 Nivel de intensidad y presión sonora

La intensidad mínima detectada por el oído humano está en 10^{-12} W/m². Mientras que el umbral de dolor se encuentra en 1 W/m². Sin embargo el rango que usa la intensidad de pasar el umbral de audición al umbral de dolor es muy grande, ya que el cambio del exponente es notable. Por lo que se usará una función logarítmica que permite describir mejor el cambio entre las intensidades tomando como referencia el umbral de audición humana. Por lo que podremos definir el nivel de intensidad sonora L_w como

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

Donde I es la intensidad del sonido particular e $I_0=10^{-12}$ W/m² se define como la intensidad mínima detectada por un humano o umbral audible. El nivel de intensidad sonora tiene unidades de decibeles. Es importante tener presente que el decibel siempre es una medida respecto a un valor de referencia por lo que, en nuestro caso, se usará el umbral auditivo como patrón referencial.

Un aumento en un factor de diez veces en la intensidad I con respecto a la referencia implica un aumento de 10 unidades (10 dB) aditivas en la escala logarítmica (intensidad subjetiva). Y, al aumentar al doble (un factor de 2), la intensidad I con respecto a I_0 significa un aumento aditivo de 3 dB en la escala logarítmica ($\log_{10} 2=0.301$ B=3.01 dB)

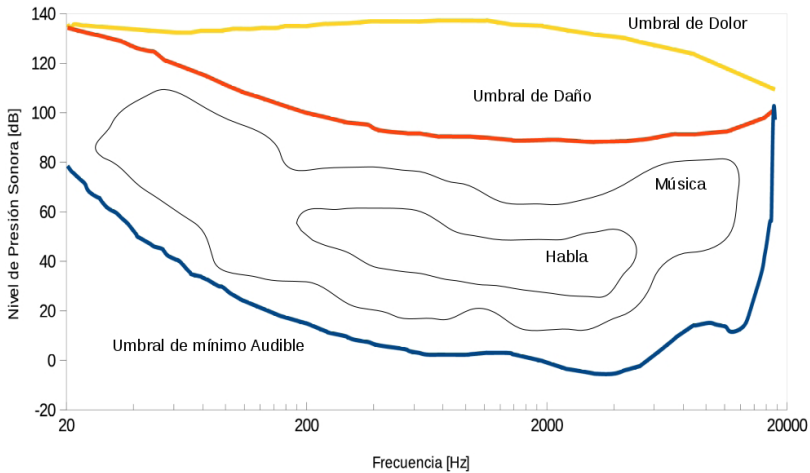
Ahora bien, las *ondas sonoras* producen un aumento de presión en el aire, por lo que otra manera de medir físicamente la amplitud sonora es en unidades de presión (Pascuales [Pa]). Entonces puede definirse el *nivel de presión sonora*, L_p , como:

$$L_w = 10 \log \frac{P_1^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P_1}{20 \times 10^{-6} \text{ Pa}}$$

En donde P_i es la presión del sonido a estudiar, y P_o es el valor de referencia que, para sonido en el aire es igual a 20×10^{-6} Pa ($20 \mu\text{Pa}$). Este valor de referencia se aproxima al umbral de audición en el aire (Schuler, 1994).

En la Figura 4 se dan algunos rangos de referencia para la música y el habla. Se ubican los umbrales de mínima audición, daño y dolor en función del nivel de presión sonora. Nótese en la línea del umbral audible el cambio de nivel de presión sonora con la frecuencia. A frecuencias medias (entre 600 Hz y 2000 Hz), el oído no requiere de mucha intensidad sonora para escuchar este campo de frecuencias, comparado con la zona entre los 20 Hz y los 40 Hz, donde la intensidad es más alta. Se destaca que el habla se encuentra entre 200 Hz y 2200 Hz

Figura 4. Rango audible donde se muestran los rangos de frecuencias y nivel de presión sonora audible para el habla humana, la música y los umbrales de dolor, daño y dolor.



Fuente: Seeber, 2016

A continuación, en la Tabla 3 se muestran algunos rangos de valores para la presión sonora con una descripción aproximada de la sensación audible experimentada. Algunas comparaciones pueden variar con dependencia del lugar y de las normativas ambientales; sin embargo los umbrales de presión audible y de dolor son completamente independientes del lugar y varían de persona a persona.

Tabla 4. Descripción comparativa de algunos niveles de presión sonora junto con su presión sonora.

Presión Sonora [Pa]	Nivel de Presión Sonora [dB]	Descripción
2×10^{-5}	0	Umbral audible
2×10^{-4}	20	Habitación silenciosa en la madrugada
2×10^{-3}	40	Biblioteca
2×10^{-2}	60	Ruido de oficina/ conversación normal
2×10^{-1}	80	Calle congestionada de una ciudad
2×10^0	100	Sirena de una ambulancia/ Martillo hidráulico
2×10^1	120	Turbina de Avión
2×10^2	140	Umbral de Dolor

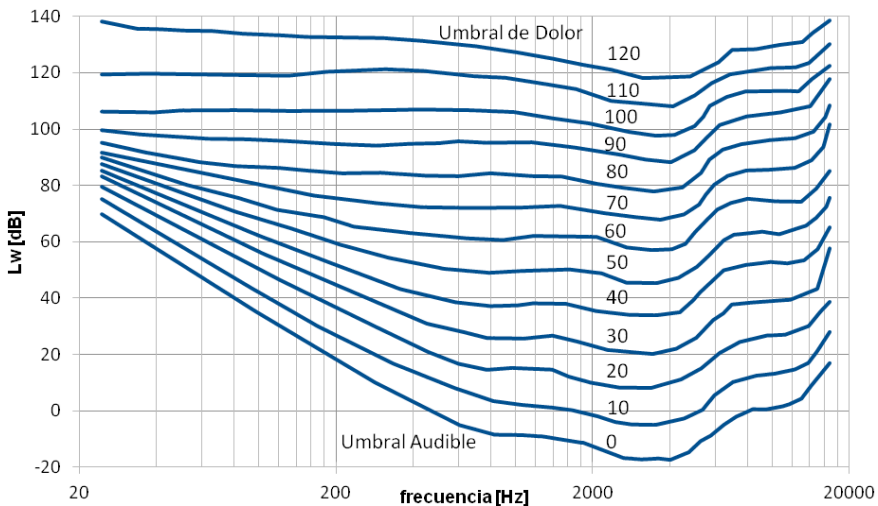
Para las aplicaciones acústicas, se asigna el valor de 0 dB al *umbral de audición* del ser humano que, como hemos enunciado anteriormente, se estima a una presión de 20 *micro pascales* (μPa), algo así como un cambio de la presión atmosférica normal de 1/5.000.000.000. Aun así, el verdadero umbral de audición varía entre distintas personas y para una misma persona y, claramente, depende de la *frecuencia* del sonido (ver Figura 4). Además, se considera el *umbral del dolor* para el ser humano a partir de 140 dB.

4.2 Sonoridad.

La figura 5 muestra los cambios en los niveles de intensidad respecto al cambio en tonos simples. Claramente los niveles de intensidad cambian respecto a la frecuencia escuchada, por lo que se escuchará con mayor intensidad una frecuencia que otra. Nótese el caso de la línea de 70 dB (que sería el caso del nivel de intensidad sonora de una conversación en una fiesta) a 2000 Hz; sin embargo, para una frecuencia de 40 Hz, la frecuencia apenas sería audible.

La gráfica de la Figura 5 muestra que, a medida que la frecuencia baja, el oído se vuelve mucho menos sensible y requiere una intensidad sonora mayor para ser escuchada. Mientras que para frecuencias entre 2kHz y 3kHz el oído es altamente sensible debido a las características de resonancia del canal auditivo y de los huesecillos (Roederer, 1997). De lo anterior entonces podemos definir la *sonoridad* como la capacidad de cada individuo de ordenar la intensidad sonora de la más alta a la más baja o viceversa. La sonoridad es dependiente no sólo de la frecuencia, sino de la duración del tono (la gráfica de la Figura 5 fue realizada con tonos continuos), del individuo, del enmascaramiento con otros tonos o ruidos, entre otros.

Figura 5. Diagrama de Fletcher y Munson que destaca los niveles de intensidad sonora y su cambio con la frecuencia aplicada entre los umbrales de dolor y audible.



Fuente: Fletcher H. y Munson, 1933.

Audiogramas y medidas de nivel de presión sonora.

En un audiograma se parte de una “línea cero”, es decir, del umbral de audición humana promedio: dB HL o bien la referencia se hace respecto del umbral individual de la persona evaluada para cada frecuencia correspondiente: sensación de audición = dB SL. En la clínica, la regulación del volumen o intensidad se realiza desde lo inaudible hasta el límite del volumen alcanzable por el audiómetro.

Como se mencionó anteriormente, el valor de la presión acústica de base (P_0) constituye la magnitud de referencia para todas las frecuencias y corresponde al “cero dB” absoluto. En la práctica audiométrica es interesante considerar la pérdida auditiva en decibeles por relación con el umbral auditivo de un sujeto normal tomado como nivel de referencia. El valor de la presión acústica necesaria para obtener el umbral para una frecuencia dada corresponde al “cero dB relativo” o dB de pérdida y es variable según sea la frecuencia del sonido. Para las frecuencias graves y más agudas, la sensibilidad del oído es mucho menor que para las frecuencias medias o del lenguaje y la presión acústica que será necesaria entonces desarrollar para alcanzar el umbral de una persona normal estará mucho más elevada. El cero relativo sólo coincide con el cero absoluto en la frecuencia de 1000 Hz.

Si una persona presenta en una determinada frecuencia una pérdida auditiva, es decir, una elevación de su umbral, la presión acústica P_2 necesaria para obtener este umbral será superior a la presión P_1 correspondiente al umbral de la persona normal. La pérdida auditiva estará definida por:

$$n = \log \frac{P_2}{P_1}$$

siendo n la pérdida auditiva en decibeles.

4.3 Campo auditivo normal

Si se estimula con un sonido de una determinada frecuencia (ejemplo 2kHz o 4kHz) con una intensidad creciente a partir de cero absoluto (ejemplo 0 dB, 5 dB, 10 dB), llega un momento en que la persona empieza a percibir el sonido. Este momento se define como “umbral de audición” o “umbral de audibilidad mínima”. Si se sigue aumentando la intensidad del sonido, se llega al momento en que la persona manifiesta molestia e incluso dolor por el estímulo. A esto se le denomina “umbral de molestia” o “umbral de audibilidad máximo”.

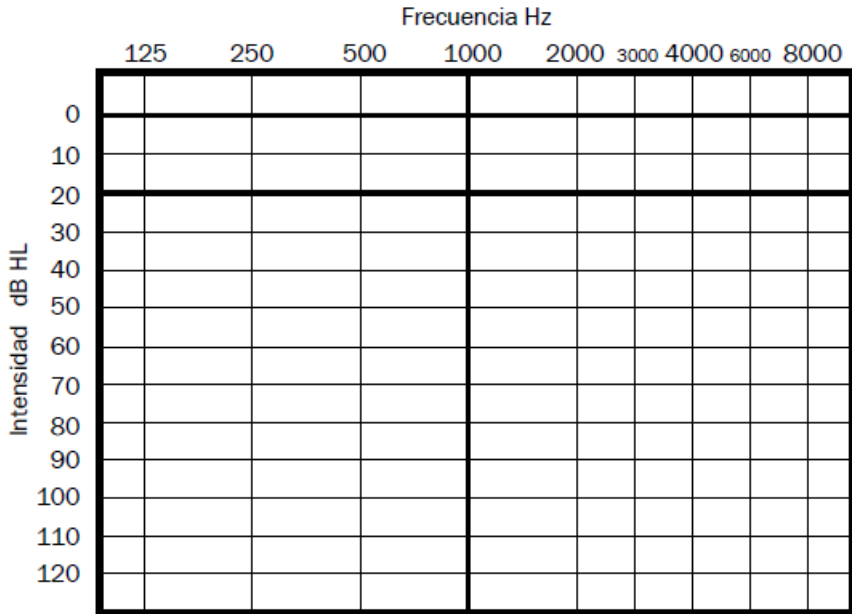
La zona conversacional la constituye la gama de frecuencias emitida en el momento de un sonido enunciado como palabra. Esta palabra humana está constituida por múltiples ruidos, unión de diversos sonidos puros transitorios de determinada frecuencia (unión de consonantes, vocales, sinfonías, etc.). Esta zona conversacional coincide con la zona hipersensible del campo auditivo y se extiende desde alrededor de la frecuencia de 250 hasta la frecuencia de 4000 Hz (ver Figura 4), con un máximo de utilización de las frecuencias medias 1000 y 2000 Hz. En cuanto a la intensidad, la palabra es emitida habitualmente entre 30 y 70 dB (35 dB con voz débil, 55 dB con voz normal y 70 dB con voz alta).

En la clínica o en el caso de una persona con patología auditiva, se puede utilizar la gráfica de base para transcribir los resultados, para comparar la curva de umbral auditivo obtenido con la curva de umbral mínimo normal. Sin embargo, esta gráfica es difícil de leer y no permite juzgar a simple vista una pérdida auditiva. Ésta es la causa por la cual se toman las gráficas clínicas en forma de pérdida de audición en relación con el umbral normal; es decir, con relación a un cero diferente para cada frecuencia evaluada: “el cero relativo”.

El eje de abscisas está graduado en octavas, de la misma manera que para la gráfica de base. El eje de las ordenadas, vertical, dirigido hacia abajo y no hacia arriba y está medido en dB en relación con el umbral normal, es decir, una pérdida de audición. El valor obtenido a nivel del umbral de audición de la persona en cada frecuencia evaluada no es la intensidad en relación con el cero dB absoluto, sino la diferencia entre esta intensidad y el umbral normal: la pérdida auditiva en dB.

La ventaja de la gráfica clínica es permitir rápidamente y sin ningún esfuerzo, la determinación de las zonas (graves, medias y agudas) de deficiencia auditiva particular de las personas evaluadas, así como determinar el Promedio de los Tonos Audibles (PTA) o Promedio de Tonos Percibidos (PTP) entre 500, 1000, 2000 y 3000 Hz que corresponden a la zona del lenguaje.

Figura 6. Audiograma



Fuente: Leyton, 2006.

En la práctica clínica se evalúan las frecuencias de 250 Hz a 8kHz. En casos de pérdida de audición congénita y para determinar si hay restos auditivos, se evalúa la frecuencia de 125 Hz. Desde el punto de vista de la intensidad, los audiómetros permiten enviar estímulos hasta de 110 o 120 dB en relación con cero de la gráfica clínica, sólo en la frecuencia de 1000 Hz. Para las demás frecuencias el nivel de salida del estímulo es menor.

En casos solicitados por los médicos otólogos, especialmente en estudios de acúfenos o tinnitus, se evalúa hasta la frecuencia de 16 kHz (audiometría extendida), para lo cual se requiere de un audiómetro clínico que lo permita y un juego de auriculares para evaluar frecuencias altas.

Referencias.

- Beranek, L. (1954). *Acústica* (2a Edición). McGraw Hill Book Company.
- Damaske, P. (2008). *Acoustics and Hearing*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Elejalde García, M. J. Franco García, A., Janariz Larumbe, J., Macho Stadler E. (2003). *Curso Básico de Acústica. La Voz Humana*. Universidad del País Vasco. España. <http://www.ehu.es/acustica/espanol/musica/vohues/vohues.html>
- Fahy, F., & Walker, J. (2004). *Advanced Applications in Acoustics, Noise and Vibration*. New York: Taylor & Francis Group.
- Fant, G. (2004). *Text, Speech and Language Technology* (1a edición). Dordrecht: The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Fletcher H. y Munson, W. A. (1933) Loudness of a Complex Tone, Its Definition, Measurement and Calculation. *Journal of the Acoustical Society of America*. Volumen 5, Issue 1, p. 65.
- Gelfand, S. A. (2010). *Hearing An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics* (5a ed.). London: Informa Healthcare.
- Gerges S.N.Y & Arenas, J.P. (2010). *Fundamentos y Control del Ruido y Vibraciones*. (2a edición). NR Editora.
- Howard, D., & Angus, J. (2009). *Acoustics And Psychoacoustics* (4a edición). Oxford: Elsevier Ltd.
- Leyton, Juan. (2006). *Evaluación Audiológica Subjetiva Básica*. <https://es.scribd.com/doc/270144035/Primera-Parte-Manual-Leyton-1>
- Pisoni, D. B., & Remez, R. E. (2006). *The HandBook of Speech Perception*. (D. B. Pisoni & R. E. Remez, Eds.). Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Roederer, J. G. (1997). *Acústica y Psicoacústica de la Música* (1a edición). Ricordi Americana.

Rossing, T. D. (2007). Springer HandBook of Acoustics. *IEEE Industry Applications Magazine* (First, Vol. 1993). Stanford: Springer Science & Business Media.

Seeber, Bernhard. (2016) RWTHx: CA101 Communication Acoustics. Psychoacoustics. Technical University of Munich. <https://courses.edx.org/courses/course-v1:RWTHx+CA101+3T2016/>

Stach, B. A. (2010). *Clinical Audiology An Introduction* (2a edición). Detroit: Delmar, Cengage Learning.