

Capítulo I. Psicoacústica.

Capítulo I. Psicoacústica.

1.1 Preámbulo

La audición humana es un proceso extraordinariamente complejo. Escuchar no es meramente un fenómeno mecánico de la propagación de la onda, posteriormente conlleva también un tratamiento sensorial y perceptivo. Cuando una persona escucha algún sonido, este llega al oído a través de un medio de propagación, normalmente el aire, como una onda acústica, la cual se transforma en impulsos eléctricos neurológicos que son percibidos después por el cerebro.

1.2 Objetivos de la psicoacústica

La psicoacústica es la disciplina encargada de estudiar la interconexión entre las propiedades físicas del sonido y la interpretación que el ser humano hace de estas propiedades.

La ciencia de la psicoacústica tiene por objeto:

- Caracterizar la respuesta de nuestro sistema auditivo, es decir, cómo se relaciona la magnitud de la sensación producida por el estímulo con la magnitud física del estímulo.
- Obtener el umbral absoluto de la sensación.
- Obtener el umbral diferencial de determinado parámetro del estímulo (mínima variación y mínima diferencia posible).
- Comprender y obtener la capacidad de resolución del sistema auditivo para separar estímulos simultáneos, o para conjugar estímulos separados para crear sensaciones.

- Entender la variación en el tiempo de la sensación del estímulo.

La realización de experimentos a efectos de obtener valores y escalas que puedan reflejar las propiedades del sistema auditivo es solo una rama de la ciencia de la psicoacústica. La otra componente es la de diseñar modelos que permitan explicar los resultados obtenidos experimentalmente.

1.3 El oído humano

El órgano que representa el mecanismo auditivo humano es el oído, que, a pesar de su pequeño tamaño, es un órgano muy complejo. El oído humano está formado por tres secciones: el oído externo, el oído medio y el oído interno.

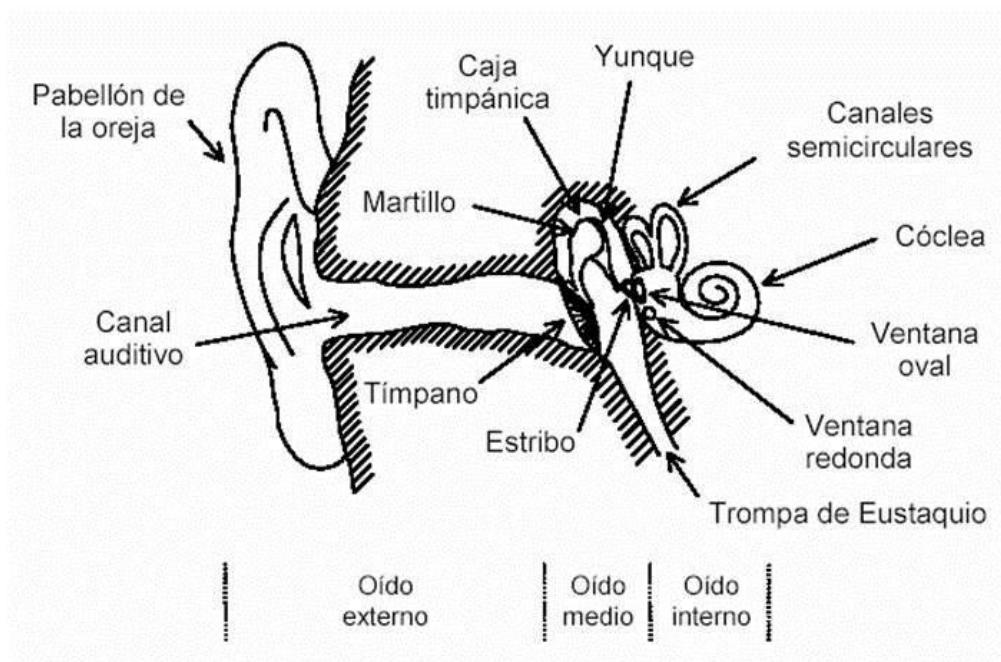


Figura 1.1 Corte transversal del oído humano [19]

El oído externo consta del pabellón y el canal auditivo. El pabellón recoge las ondas sonoras y las conduce hacia el canal auditivo mediante reflexiones y difracciones. Finalmente, el canal auditivo es el encargado de conducir el sonido al tímpano. Debido

a la forma y las dimensiones físicas del oído externo, este posee una resonancia cuya frecuencia está en las proximidades de los 3000 Hz.

El oído medio está ubicado en la caja timpánica y lo integran el tímpano, los huesecillos u osículos y la trompa de Eustaquio. El tímpano recibe las vibraciones del aire y las comunica a los huesecillos (martillo, yunque y estribo), los cuales las dirigen hacia el oído interno. La trompa de Eustaquio es un pequeño conducto que comunica la caja timpánica con la laringe. Su función es la de igualar la presión del oído medio con la presión atmosférica.

Por último, el oído interno, el cual está constituido por el laberinto (cavidad ósea que contiene los canales semicirculares), el vestíbulo y el caracol, transforma los impulsos mecánicos en excitaciones nerviosas que llegan al cerebro a través de las neuronas, el cual reconoce la información recibida en función de las referencias previas de los sistemas de memoria.

1.4 Conceptos básicos de psicoacústica

1.4.1 Umbrales de la audición

El ser humano es capaz de detectar aquellos sonidos que se encuentren dentro de un determinado rango de amplitudes y frecuencias. El rango de frecuencias asignado convencionalmente al sistema auditivo humano va desde los 20 Hz hasta los 20 kHz; no obstante, este rango puede variar de una persona a otra en función de la edad, de trastornos auditivos o de una pérdida de sensibilidad (temporal o permanente).

La siguiente figura ilustra el área de audición humana:

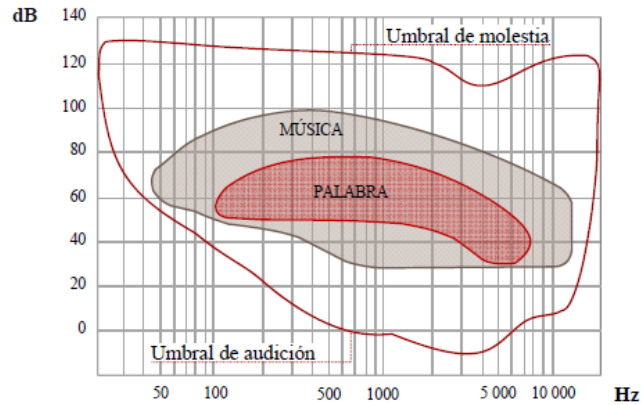


Figura 1.2 Área de audición humana [17]

Por lo general, los umbrales de la audición son fáciles de medir y corresponden al mínimo nivel que un determinado estímulo debe tener para provocar una reacción en el sujeto bajo ensayo. Existen dos tipos diferentes de umbrales: el umbral absoluto y el umbral diferencial.

El umbral absoluto es la mínima intensidad de un estímulo para la cual en un 50% de los intentos el sujeto considera que el estímulo está presente. Es necesario especificar las condiciones en las cuales se determina el umbral. Por ejemplo, para el umbral absoluto de frecuencia debe indicarse la intensidad del sonido, si el sujeto se encuentra en un recinto acústicamente aislado, si está descansando auditivamente, etc. Son dos los métodos que existen para determinar este tipo de umbral: el método de mínimos cambios y el de los estímulos constantes.

El método de mínimos cambios consiste en acercarse gradualmente de manera ascendente hasta que el sujeto exprese que el estímulo está presente, y luego, descendientemente, bajando hasta que el sujeto indique que el estímulo no está presente. Finalmente se promediarán los valores que el sujeto ha declarado.

En el método de los estímulos constantes, el experimentador escoge un número constante de estímulos, que van desde estímulos fácilmente detectables hasta estímulos débiles, y los presenta en orden aleatorio y de forma constante. El umbral es determinado con el valor que el sujeto indique como presente un 50% de las veces.

Respecto al umbral diferencial, es la mínima intensidad con que un estímulo debe exceder a otro para que el sujeto los reconozca como diferentes en un 50% de las pruebas. Al igual que en el caso anterior, son importantes las condiciones de ensayo, entre las cuales debe especificarse la intensidad del estímulo más débil. Para la determinación del umbral diferencial pueden utilizarse los dos métodos anteriores, o bien el método del error promedio. En este, el sujeto controla la intensidad del estímulo variable y la ajusta hasta hacerla “igual” a la de un estímulo fijo. El error promedio cometido es el umbral diferencial.

Cabe notar que los umbrales no son valores perfectamente determinados. No solo los diversos métodos pueden arrojar valores diferentes sino que además un mismo método puede variar de un momento a otro, ya que el sujeto puede cansarse, o bien agudizar su percepción al realizar más intentos.

1.4.2 Enmascaramiento sonoro

El enmascaramiento sonoro es otro de los parámetros estudiados en psicoacústica. Se puede definir como un proceso en el cual el umbral de audibilidad correspondiente a un sonido se eleva debido a la presencia de otro sonido, es decir, el proceso en el que un sonido impide la percepción de otro. Podemos apreciar frecuentemente este fenómeno, por ejemplo, cuando dos personas conversan y el sonido urbano impide que una escuche total o parcialmente lo que dice la otra persona.

El enmascaramiento depende del nivel de presión de las señales enmascarante y enmascarada, así como de la separación en frecuencia y en tiempo entre las mismas. Existen básicamente dos tipos de enmascaramiento, el enmascaramiento simultáneo y el enmascaramiento no simultáneo.

- **Enmascaramiento simultáneo**

Este tipo de enmascaramiento se presenta cuando el sonido de prueba y el sonido enmascarante coinciden temporalmente.

- **Enmascaramiento no simultáneo**

El enmascaramiento no simultáneo es aquel que se produce cuando el sonido de prueba no se superpone temporalmente con el sonido enmascarador, distinguiéndose entonces dos tipos de enmascaramiento no simultáneo: pre-enmascaramiento y post-enmascaramiento.

- **Pre-enmascaramiento**

Es un fenómeno inesperado, pues pareciera implicar que el sistema auditivo es no causal: una señal puede enmascarar a otra antes de ser aplicada. En otras palabras, sonidos que aún no existen pueden enmascarar sonidos ya existentes, algo difícil de imaginar.

Sin embargo, un estudio más minucioso permite justificar la existencia del pre-enmascaramiento. Para ello, tenemos que recordar que cualquier sensación, y en este caso la sensación sonora, no se produce instantáneamente, sino que se requiere de un cierto tiempo para que se origine. De tal forma que diversos estudios han revelado que las señales de gran intensidad requieren de un tiempo de formación de la sensación menor que el de las señales de baja intensidad. Esto último quiere decir que si después

de una señal de baja intensidad se presenta una de gran intensidad, la sensación asociada a la primera puede ser enmascarada. El fenómeno de pre-enmascaramiento dependerá de la relación de tiempo entre el sonido de prueba y el sonido enmascarante.

La comprensión que se tiene del pre-enmascaramiento es muy vaga, ya que los resultados experimentales obtenidos solo son reproducibles con sujetos altamente entrenados, y en muchos casos no permiten concluir con certeza acerca de sus propiedades.

No obstante, se sabe que este fenómeno se extiende hasta unos 20 ms antes de la aparición de la señal enmascarante, independientemente del nivel de esta.

- Post-enmascaramiento

El post-enmascaramiento, por el contrario, es un efecto fácil de medir aún en sujetos no entrenados. Por regla general, se determina experimentalmente mediante señales de prueba de corta duración, aplicadas luego de una señal enmascarante de duración variable. El efecto de post-enmascaramiento existe durante un intervalo máximo de unos 200 ms después de la desaparición de la señal enmascarante, presentándose también para sonidos de prueba de unas pocas centenas de milisegundos.

La siguiente figura muestra las regiones temporales en las cuales ocurren los fenómenos de pre-enmascaramiento, post-enmascaramiento y enmascaramiento simultáneo, así como la evolución en el tiempo de los mismos.

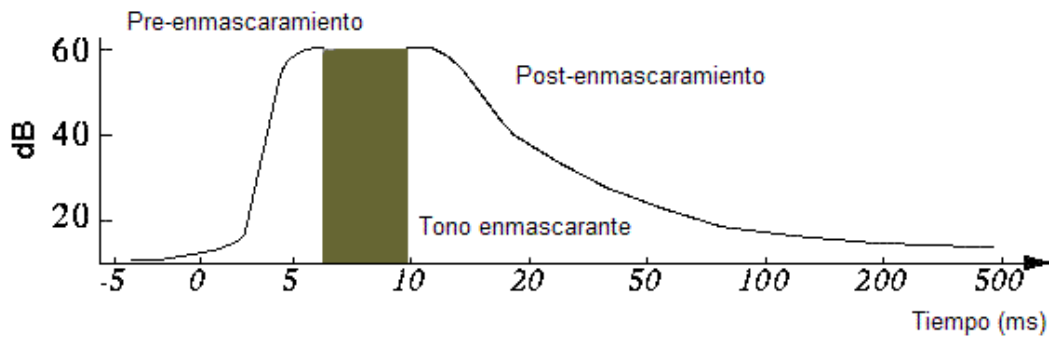


Figura 1.3 Nivel de sensación de una señal de prueba apenas audible en función del tiempo

Una magnitud muy útil para medir la magnitud del enmascaramiento es el umbral de enmascaramiento, definido como “el nivel de presión sonora de un sonido de prueba necesario para que este sea apenas audible en presencia de una señal enmascarante”.

1.4.3 Bandas críticas

Las bandas críticas son rangos de frecuencia dentro de los cuales un tono bloquea la percepción de otro tono.

Las siguientes figuras nos permiten comprender mejor el concepto de banda crítica.

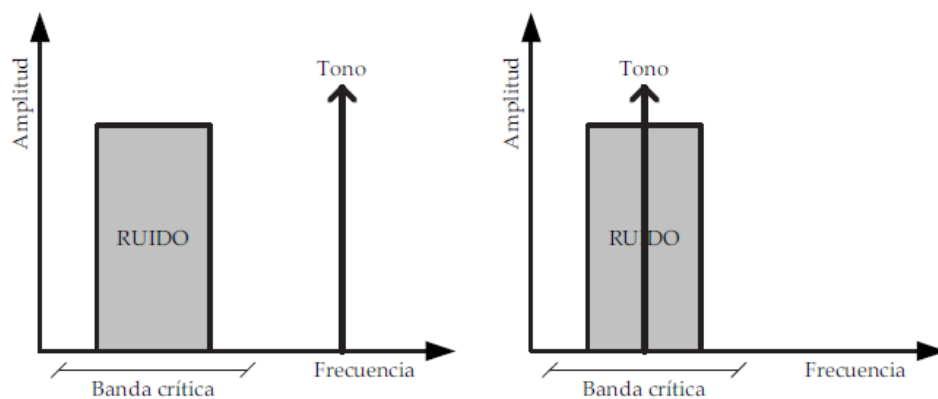


Figura 1.4 Representación de un tono enmascarado

En la figura de la izquierda se puede observar como el tono no será enmascarado por el ruido de banda angosta ya que este está fuera de la banda crítica, motivo por el cual el umbral de enmascaramiento del tono seguirá siendo el mismo que si el ruido no existiera e independientemente del nivel sonoro del ruido. En la segunda figura, a la derecha, contrariamente a la primera, tenemos al tono enmascarado por el ruido, el cual está centrado en la frecuencia del tono. En este caso, el umbral de enmascaramiento se verá afectado y aumentará en función del aumento del ancho de banda del ruido, sin embargo, existe un punto a partir del cual el aumento del ancho de banda del ruido no cambiará el umbral de enmascaramiento del tono, siendo este ancho de banda el ancho de banda crítico.

Mientras que el umbral diferencial representa la capacidad del sistema auditivo de detectar la mínima variación en una sola frecuencia, la banda crítica determina la capacidad de resolución del oído para dos o más frecuencias simultáneas.

De ahí que se define la banda crítica como aquel intervalo de frecuencias que representa la máxima resolución en frecuencia del sistema auditivo en diferentes experimentos psicoacústicos. También se suele decir que las bandas críticas constituyen el intervalo en el cual se “suma” la energía de las distintas componentes espectrales de la señal.

1.4.4 Sonoridad

La sonoridad es un parámetro perceptivo fundamental del sonido. Es el atributo que nos permite ordenar sonidos en una escala del más fuerte al más débil. La sonoridad o sensación de intensidad es propia de la presión acústica; cuanto más alta es la presión, más intenso parece el sonido, por lo cual, es indicativa del grado de amplificación que produce un recinto sobre un mensaje oral emitido. Pese a ello, la sonoridad no depende

sólo de su intensidad sino también de su frecuencia, del ancho de banda, del contenido espectral y de la duración del sonido, de manera que al igual que con otras magnitudes psicológicas se debe prestar especial atención a las condiciones en que se determina o específica.

Los instrumentos de medida utilizados para medir niveles de presión sonora son los sonómetros. Estos tienen unos filtros de ponderación para acomodarse a la sensibilidad del oído, donde el filtro A es para sonidos débiles, el B para sonidos medios y el C para sonidos intensos, aunque el que se utiliza habitualmente es el filtro A por ser este el complementario del umbral de audición. El dB (A) es la unidad con la que se expresa un nivel de presión acústica cuando se ha sometido a la ponderación del filtro (A) de los sonómetros.

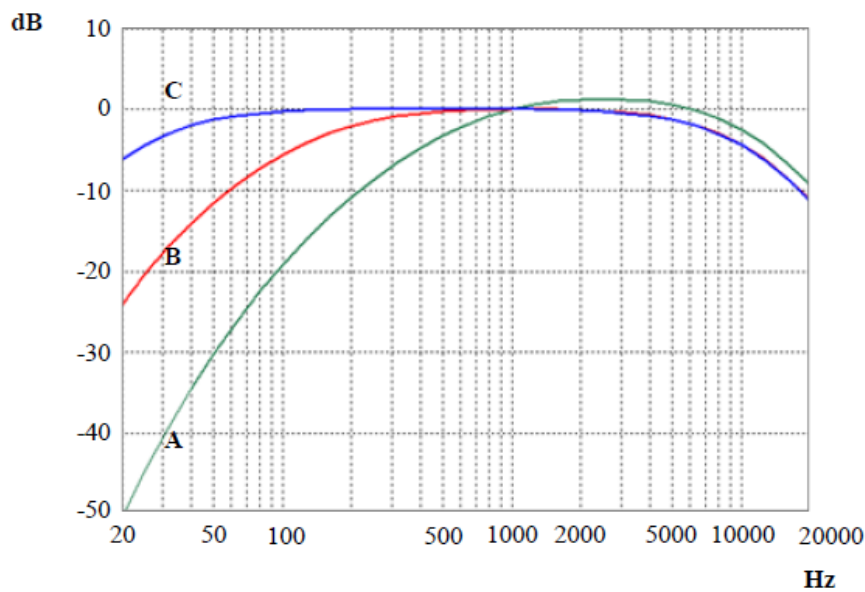


Figura 1.5 Curvas de ponderación de un sonómetro