

## **TEMA 4 ACUSTICA PSICO-FISIOLÓGICA**

*ACÚSTICA es la ciencia que estudia los fenómenos perceptibles por el oído humano. La percepción es el SONIDO. FISIOLÓGÍA es la ciencia que estudia el funcionamiento de los órganos. ACÚSTICA FISIOLÓGICA implica el estudio del oído y la audición de los seres humanos.*

### **Definición del campo de aplicación.**

#### **FUNCIÓN DEL OÍDO.**

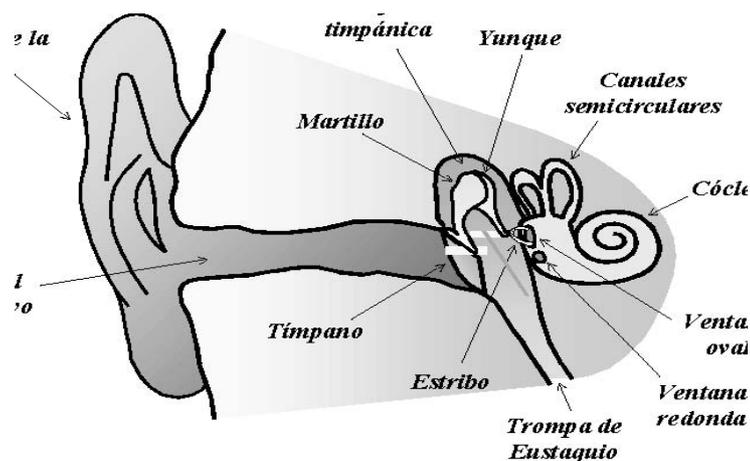
*El oído es un órgano sensorial que transforma variaciones instantáneas de la presión (sonido) del aire en impulsos nerviosos, que, procesados por el cerebro se transforman en información del medio que rodea al sujeto.*

*La información aportada por el sentido del oído, en muchos casos no puede ser percibida por otros órganos. Ejemplo: vehículo en movimiento a la vuelta de la esquina. Esta información se transforma en muchos casos en un código de comunicación.- Ejemplos: el lenguaje hablado, la sirena de una ambulancia, el timbre de finalización de la clase, etc..*

#### **ANATOMÍA DEL OÍDO HUMANO.**

*Para poder iniciar el estudio de la fisiología del oído, es necesario ver algunos aspectos de su anatomía. La transmisión sonora, es una transferencia de la energía producida por el estímulo físico (vibración sonora), hasta su conversión en impulso nervioso que recoge el cerebro.*

*Intervienen en Este mecanismo tres secciones distintas del oído:*



oído Externo, oído Medio y oído Interno.

*El oído externo.- Comprende el pabellón de la oreja y el conducto auditivo.*

*El oído medio.- Comprende el tímpano, la cadena ósea, músculos y la trompa de Eustaquio.*

*El oído interno.- Comprende el laberinto óseo, la cóclea, los canales semicirculares, y los conductos nerviosos auditivos. Desde el punto de vista fisiológico de la audición, se propone otra división que pone más de relieve las distintas funciones del oído. Se considera pues un aparato de recepción que*

*comprende el pabellón, el conducto auditivo y la cara externa del tímpano. Un aparato de transmisión: los huesecillos, ventanas y cóclea. Un aparato de percepción formado: la cadena nerviosa que empieza en las células pilosas y que continúa por las membranas hasta la región cortical del cerebro.*

#### **EL PABELLÓN.**

*Con forma de pantalla receptora construida por una estructura cartilaginosa de relieve irregular que tiene función en la orientación.*

#### **EL CONDUCTO AUDITIVO.**

*Tiene una longitud de 2,7 cm. y 7 mm. de diámetro aproximado, sección circular ligeramente elíptica, un extremo en contacto con el anterior, y otro cerrado por la membrana del tímpano, por esta forma presenta frecuencias propias, características.*

*Este fenómeno de resonancia en el canal, supone un aumento de 5 a 10 dB., para frecuencias comprendidas entre 2.500 y 5000 Hz, que son las que aportan más a la comprensión de la inteligibilidad de la palabra, (el lenguaje humano).*

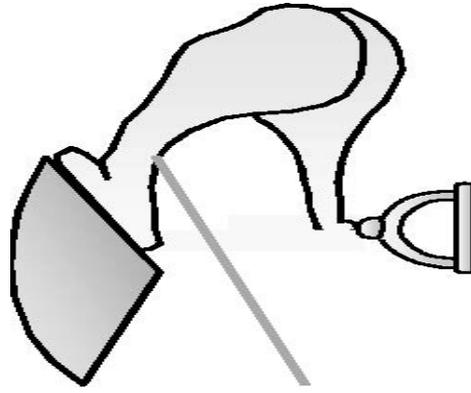
#### **EL OÍDO MEDIO**

*El tímpano.- Separa el conducto auditivo del oído medio. Es una membrana cónica elástica con vértice excéntrico dirigido al exterior y colocado oblicuo, en un ángulo de 120 ° Debido a su forma y colocación, su superficie eficaz queda aumentada. Su espesor es de 0,1 mm. y su superficie de 85 mm<sup>2</sup>. Su parte superior actúa como bisagra, y cuando se presenta la vibración, la parte inferior alcanza el máximo de amplitud. El movimiento del tímpano presenta elongaciones muy pequeñas, invisibles a simple vista, del orden de 10<sup>-8</sup> menor que una molécula de hidrógeno. Su función principal es la de protección del oído, a los efectos de mantener la temperatura y la humedad constante, independientemente del exterior. El oído medio se comunica con el exterior mediante la Trompa de Eustaquio, que es un tubo aplastado que se abre al mover las mandíbulas (masticar). De esa forma se logra igualar las presiones estáticas en las 2 caras del tímpano. Cuando se esta resfriado, el tubo se tapa con mucosidad y se tiene la sensación de "oídos tapados", sensación dolorosa. Cuando se viaja en avión se acostumbra a masticar chicle, para igualar la diferencia de presiones producida por la altura.*

#### **LA CADENA DE HUESECILLOS.**

*La membrana del tímpano en su parte superior e interior, se encuentra vinculada al "martillo", huesecillo con forma de bastón, que se vincula con el "yunque", y éste a su vez con el "estribo", que está unido a la membrana de la ventana oval. La función del sistema de transmisión de ésta cadena ósea es de adaptación y protección. Función Adaptadora.- Estando el oído interno constituido por una cavidad llena de líquido (humor acuoso), la onda sonora ha de pasar de un medio aéreo a otro acuoso, y por lo tanto de distinta impedancia.*

*Oído medio: mecánica de los huesecillos*



$Z_{\text{aire}} = 415 \text{ rayls}$   $Z_{\text{líquido}} = 14 \times 10^5 \text{ rayls}$

Esto se logra por dos mecanismos: 1º) la acción desmultiplicadora de la cadena ósea que es de 1,3 a 3 veces (multiplica la fuerza transmitida -disminuye el desplazamiento entre el tímpano y la ventana oval). 2º) la diferencia de áreas entre el tímpano y la ventana oval que es mucho menor. Mediante estos dos mecanismos, la presión en el tímpano resulta multiplicada entre 15 y 30 veces en la ventana oval, lo que significa entre 20 y 30 dB de ganancia. Función protectora.- Los músculos que ligan los huesecillos amortiguan las vibraciones cuando estas alcanzan elongaciones muy importantes. Además están suspendidos de forma que puedan vibrar de más de una manera o modo. También unos músculos ligados al tímpano y al estribo contribuyen al mecanismo de protección. Los mecanismos de protección no actúan instantáneamente. Explosiones o fenómenos sonoros instantáneos pueden afectar el oído rompiendo el tímpano, pero éste puede regenerarse al cicatrizar.- Cuando se está expuesto en forma prolongada a altos niveles de ruido, el cansancio de los músculos puede anular la protección y provocar sordera temporal y daños al oído. Puede también producir daños permanentes en el oído por atrofia de estos mecanismos y destrucción de células ciliadas.

#### OÍDO INTERNO:

Se encuentra dentro del laberinto óseo del hueso parietal.

Oído interno: la cóclea

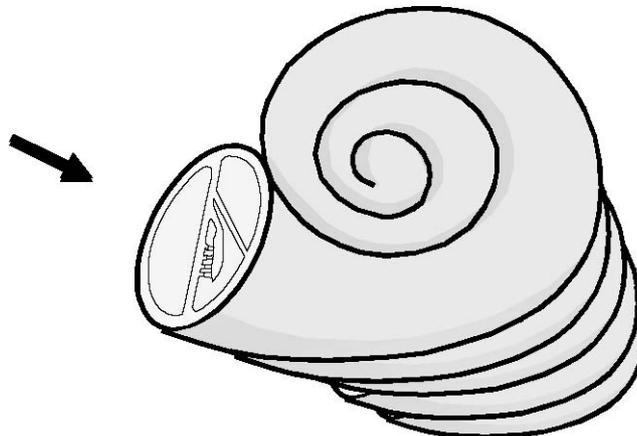


*Ventana oval:*

los movimientos de la platina del "estribo" en la ventana oval son los que originan las vibraciones en los líquidos del oído interno, que a su vez estimulan las células sensoriales. Es una membrana flexible que comunica la cóclea con el oído medio. Tiene un área de 3 mm<sup>2</sup>.- Ventana circular o redonda.- Compensa el movimiento de la ventana oval necesario por la característica de incompresible del humor acuoso que llena la cóclea. Está colocada en un plano perpendicular con la ventana oval para evitar la fase de la onda acústica sobre las dos ventanas.- Funciona como un ecualizador de presiones y tiene un área de 2 mm. aprox.

La cóclea.- Está formada por la parte superior, (canales semicirculares), que están dispuestos en tres planos diferentes en el espacio. Su función intrínseca es mantener el equilibrio el cuerpo, (miden la aceleración angular).

Parte anterior.- Está formada por un conducto de 35 mm. de longitud enrollado sobre un eje oblicuo dos vueltas y media, (2 1/2) y una sección de 4 mm., está dividida longitudinalmente en dos partes por una membrana fibrosa, la membrana Basilar, constituida por 24.000 fibras transversales cuya longitud varía entre 0,04 y 0,05.

*Oído interno: la cóclea*

Los dos espacios debido a su forma, se llaman: rampa vestibular, rampa superior, y rampa timpánica, interconectadas entre sí al final de la espiral, por la elicotrema, de 2mm. Está llena de un líquido, (humor acuoso), llamado perilinfa.

A su vez la rampa vestibular presenta una membrana oblicua llamada de Reissner, que con la membrana basilar forman un espacio cerrado lleno con otro humor acuoso, llamado endo-linfa y contiene un conjunto complejo de células pulposas y células ciliares que componen el Órgano de Corti, conectado a las terminales de los nervios auditivos que terminan en las áreas auditivas corticales del cerebro. Es en este lugar donde comenzaría lo que llamamos el Aparato de Percepción.- Es en el órgano de Corti, donde tiene efecto la transformación de la energía mecánica del sonido en impulsos nerviosos.

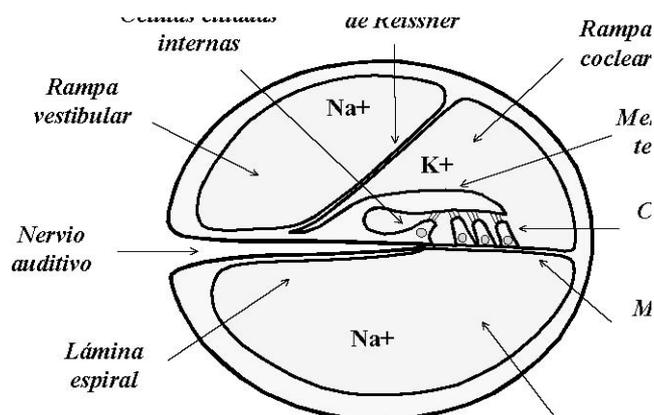
**RANGO AUDIBLE.**

El oído percibir sensaciones sonoras cuando las ondas incidentes están comprendidas en el rango de frecuencias de 20 a 20.000 Hz con presiones eficaces comprendidas entre  $2 \times 10^{-5}$  P (Pascal) y 20 P, por debajo de 20 Hz estamos en presencia de infrasonidos y por encima de los 20.000 Hz de los ultrasonidos que si bien resultan de interés para otras tecnologías están fuera del campo de estudio de esta materia. Sonidos con presión eficaz menor a  $2 \times 10^{-5}$  P no producen sensación sonora en la mayoría de los individuos en condiciones normales, cuando la presión eficaz supera los 20 P la sensación empieza a ser de fuerte molestia y de continuar aumentando se transforma en francamente dolorosa.

**FISIOLOGÍA.**

Funcionamiento.- Al moverse rápidamente la ventana oval (instantáneamente), produce una alteración en la endolinfa que tiende a equilibrarse en la ventana redonda, pero como el movimiento es rápido se produce un "cortocircuito. Cuanto más rápida es la vibración, más cerca de la ventana oval se produce el cortocircuito, como se aprecia en la figura. Cuanto mayor es la frecuencia, más cerca se produce el punto de excitación en el órgano de Corti, debido al desplazamiento de la membrana basilar, que resuena con perturbación. De ésta forma, la "teoría del lugar" o "sitio" explica la discriminación de las distintas frecuencias por el lugar que ocupan los terminales nerviosos a lo largo de la membrana basilar. El sistema nervioso está constituido por un conglomerado de células y fibras nerviosas, cuyo elemento funcional es la neurona.

2.1 Umbrales.- Para que la perturbación del aire puede ser percibida por el oído humano debe estar comprendida entre determinados valores, tanto de presión como de frecuencia.- Es una situación ideal de ausencia de ruido de fondo (cámara anecoica). Una persona joven con el oído sano es capaz de percibir un tono de 1000 Hz, con una presión eficaz de  $2 \times 10^{-5}$  Pascal, lo que es igual a  $2 \times 10^{-5}$  Nw/m<sup>2</sup>. Para éste valor se define la  $P_0$  de referencia. Se observa que para 3000 ciclos/seg., el umbral de audibilidad disminuye en algo, (recordar resonancia del canal auditivo). Cuando la presión del sonido alcanza o sobrepasa los 120 Pas., se produce sensación de dolor. Para 50 Hz. se necesitan 45 dB del NSP. Con la edad se pierde la audición sobre todo en altas frecuencias. Para frecuencias menores de 16 Hz. se pierde la sensación de sonido, (infra-sonido), y para frecuencias superiores a 20.000Hz., sucede lo mismo, (ultra-sonido).



### *Rampa timpánica*

*Esta, a su vez, está formada por un cuerpo de característica celular, con prolongaciones protoplasmáticas de dos clases: los dentritos, por los que el impulso llega hasta la célula y por un cilindro eje o axona, que transmite la excitación a otras neuronas o a un músculo. Las neuronas se articulan en un punto llamado sinapsis. Las neuronas situadas en el órgano de Corti y las áreas auditivas corticales forman una cadena que transmite señales. El impulso nervioso obedece a una determinado número de leyes y circulan por los nervios en forma de tren de oscilaciones de frecuencia limitada de 20 a 300 c.p.s., con velocidad de circulación de 1 a 100 mts/s. (1/20 sg -1/300 sg. máximo de pulsos que puede descargar un nervio). El nervio responde a la excitación, cuando ésta alcanza una cierta intensidad, y a partir de ésta, para cualquier intensidad, la respuesta es siempre completa, (ley del "todo o nada"), como en los semiconductores de los equipos electrónicos, el estímulo origina una despolarización de la membrana nerviosa, cuyo potencial eléctrico tiene un valor determinado potencial de acción, por lo tanto necesita un tiempo para la recarga electrolítica, tiempo refractario o de recuperación.*

### *DISCRIMINACION DE LA INTENSIDAD.*

*Es así que el oído traduce las variaciones de intensidad sonora en variaciones de frecuencias de los impulsos nerviosos en cada fibra y en un aumento de las fibras en servicio. Es decir, expresivamente el número de impulsos nerviosos que llega al córtex por unidad de tiempo, (velocidad), lo que determina la intensidad de la sensación.*

### *ENMASCARAMIENTO.*

*Es la pérdida de audición de un sonido en presencia de otro. El sonido enmascararte excita las mismas zonas de la membrana basilar para hacer audible el sonido enmascarado deberá aumentarse su intensidad. Este fenómeno resulta explicable por la teoría del lugar, no obstante, si F1 y F2 están muy cercanos la teoría del lugar no resulta del todo satisfactoria, pues F2 se escucha como con fluctuaciones o batidos. Los mecanismos del "lugar" se dan a nivel nervioso, pero se dan distintos mecanismos que no son siempre iguales para todas las frecuencias y todas las intensidades. El sonido enmascararte sólo enmascara con las frecuencias cercanas al sonido enmascarado. El ancho de banda crítico expresa el intervalo de frecuencias sobre el cual las sensaciones producidas por dos sonidos no se experimentan en forma independiente, sino que están influidas entre sí. Además la contribución de diversas bandas de frecuencia a la inteligibilidad del habla, parece variar del mismo modo con la frecuencia.*

### *PERCEPCIÓN DE GRAVES.*

*La teoría del lugar presente inconvenientes para explicar el alto poder de discriminación del oído, para las frecuencias por ejemplo: menos del 1% para 1000 Hz., e incluso no puede explicar la percepción de frecuencias menores de 50 Hz., para las cuales la membrana basilar vibra al unísono. La Teoría de las descargas.- Esta teoría supone que la intensidad del sonido puede ser percibida como la velocidad promedio de los impulsos nerviosos, el tono está asociado con su agrupación, es decir, tiene en cuenta la variación periódica de la velocidad de las pulsaciones. Según esta teoría de descargas, lo que se envía al cerebro es una sucesión de impulsos que se propaga a lo largo de las*

*neuronas que constituyen el nervio. Los impulsos juntos, forman una reproducción algo distorsionada del movimiento vibratorio de la membrana basilar. La percepción puede ser mejor para las bajas frecuencias, puesto que el grupo de neuronas podrá proporcionar varios pulsos para cada ciclo y será más pobre para frecuencias muy altas, para las cuales una neurona individual puede, a lo sumo, suministrar un pulso, sólo luego de varios ciclos, posiblemente el mecanismo de la percepción utilice algo parecido a la teoría del lugar, para discriminar las ondas de alta frecuencia, y algo similar a la teoría de las descargas para las frecuencias menores. En oportunidades, el mecanismo de las descargas permite percibir y recomponer la " fundamental" de un grupo de armónicos.*

#### *DISCRIMINACIÓN TEMPORAL.*

*La noción de descargas nerviosas resulta también muy útil para explicar la interacción biauricular producida por la diferente coloración de los oídos en la cabeza. Cada oído recibe la misma onda sonora, pero uno la recibe un poco más tarde que el otro, si suponemos que cada onda está representada en el sistema nervioso mediante una serie de descargas en el tiempo, en dos cadenas nerviosas paralelas, con sentido de propagación inverso, produciéndose el contacto en neuronas comunes cuando existe coincidencia de los impulsos en ambas cadenas para excitarse. De esta manera, las diferencias de tiempo pueden representarse mediante una coordenada especial, tendiéndose a localizar la fuente hacia el oído que recibe la señal más intensa. Este aspecto resulta muy importante en la percepción del sonido en los espacios cerrados, efecto de precedencia, según el cual escuchamos un sonido como si nos llegara de una fuente más cercana al oído que recibe primero la señal, aún cuando el sonido retrasado sea 8 dB más intenso que el primero.*

#### *DISCRIMINACIÓN.*

*INTENSIDADES: en función del nivel y la frecuencia. Una persona es capaz de reconocer una variación del NSP de 1 dB para cualquier tono comprendido entre 50 y 10.000 Hz., por encima del umbral correspondiente. Para niveles inferiores a 40 dB , se requieren cambios de 1 a 3 dB para notar el cambio.*

*DISCRIMINACIÓN DE FRECUENCIAS. Para frecuencias superiores a 1000 Hz. y niveles de presión superiores a 40 dB la variación mínima resulta del orden del 0.3% para frecuencias inferiores a los 1000 Hz. y 40 dB, es de 3 Hz. En condiciones favorables y en una secuencia ordenada, el oído puede discriminar entre 40.000 combinaciones de sonidos entre la frecuencia y la intensidad, pero le resulta imposible cuando la frecuencia es aleatoria y rápida, como sucede por ejemplo en una conversación normal. En esas condiciones, el oído sólo discrimina 49 combinaciones de frecuencia e intensidad. Número similar al de fonemas ( sonidos fundamentales) de los lenguajes.*

#### *DISCRIMINACIÓN ESPACIAL.*

*HORIZONTAL.- La audición biaural, la colocación de los oídos al costado de la cabeza, y el fenómeno de difracción acústica, producen la posibilidad de discriminación espacial en el plano horizontal D -I.- los sonidos agudos permiten una mejor captación de la dirección de donde proviene el sonido. La cabeza arroja sombra acústica de modo que el sonido es más fuerte en el oído vuelto a la fuente.*

*VERTICAL .- En el plano vertical, la discriminación resulta más difícil, por lo cual la colocación de altavoces fuera del plano de audiencia.*

*DISCRIMINACIÓN DE TIEMPOS.- El oído humano tiene una cierta inercia tal, que los sonidos iguales son percibidos como uno solo , cuando la diferencia de tiempo es menor a 65 milisegundos para sonidos breves. En el caso de sonidos prolongados, presenta una mayor inercia 200 me. 0,1 s.- Esto implica que cuando la sucesión de sonidos sobrepasa esta velocidad, se produce una escucha defectuosa. Debido al fenómeno de enmascaramiento de un sonido en presencia de otro.*

#### *Teoría del Lugar.*

*Explica la discriminación de las frecuencias por el lugar de máxima oscilación de la membrana basilar. No obstante esta teoría no explica la discriminación de frecuencia menores a 50 Hz. ni para la discriminación de la intensidad*

*Esta teoría se complementa con la de las Descargas.*

#### *Teoría de las Descargas*

*Establece que la intensidad del sonido puede ser percibida como la velocidad promedio de los impulsos nerviosos. El tono está asociado con su agrupación, tiene en cuenta la variación periódica de la velocidad de las pulsaciones.*

*Bajas frecuencias  $\implies$  varios pulsos para cada ciclo*

*Altas frecuencias  $\implies$  un pulso para varios ciclos*

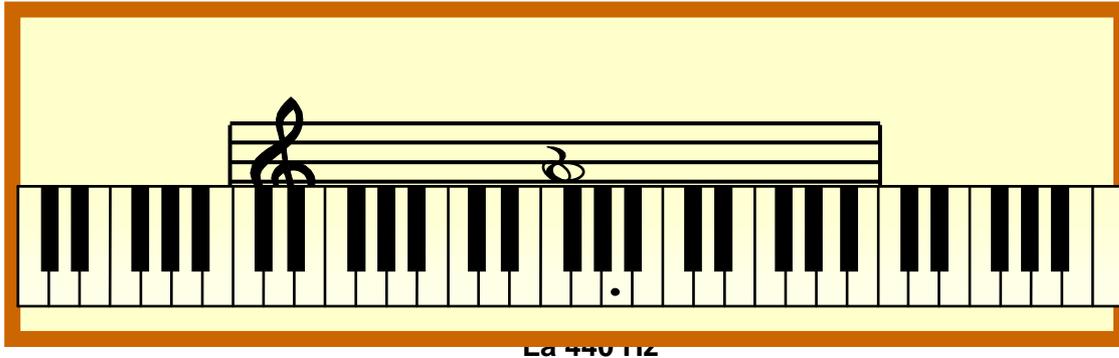
#### *Discriminación de la intensidad*

*El oído traduce las variaciones de intensidad sonora en variaciones de frecuencias de los impulsos nerviosos de cada fibra y un aumento de las fibras en servicio.*

*La intensidad de la sensación está determinada por el número de impulsos nerviosos que llegan al córtex por unidad de tiempo*

#### *Percepción de la altura*

*La relación entre la frecuencia y la altura percibida es simple, al menos para la cultura basada en la música occidental. La frecuencia patrón de 440 Hz corresponde a la altura del la de la octava central del piano.*



*En general a mayor frecuencia se tiene mayor altura.*

*Podemos clasificar los sonidos según su altura como altos, medios y bajos o como agudos, medios y bajos.*

*Percepción de la sonoridad*

*La presión sonora audible abarca un rango muy amplio:*

**De  $2 \times 10^{-5}$  Pa a 20 Pa**

*Conviene expresarla como nivel de presión sonora, Lp, decibeles.*

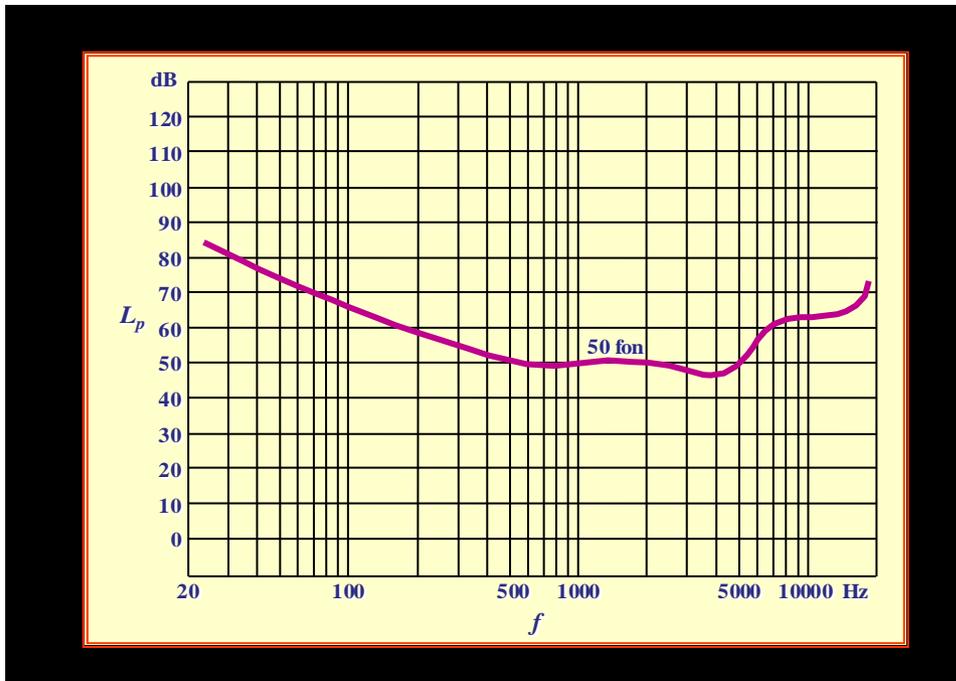
*P: presión sonora eficaz Pref :  $2 \times 10^{-5}$  Pa*

*Los valores inferiores a 20 dB son muy inusuales, y muchas personas no los escuchan.*

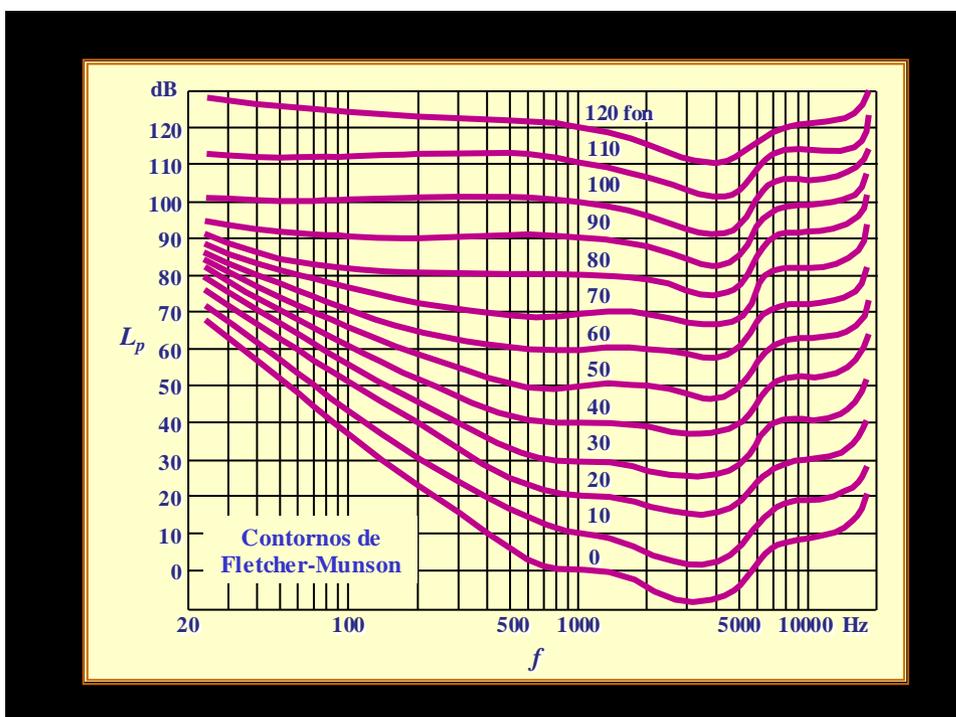
*Los valores superiores a 80 dB son peligrosos para la audición humana.*

*La relación entre el Lp y la sensación de sonoridad no es sencilla fue investigada por Fletcher y Munson en 1930.*

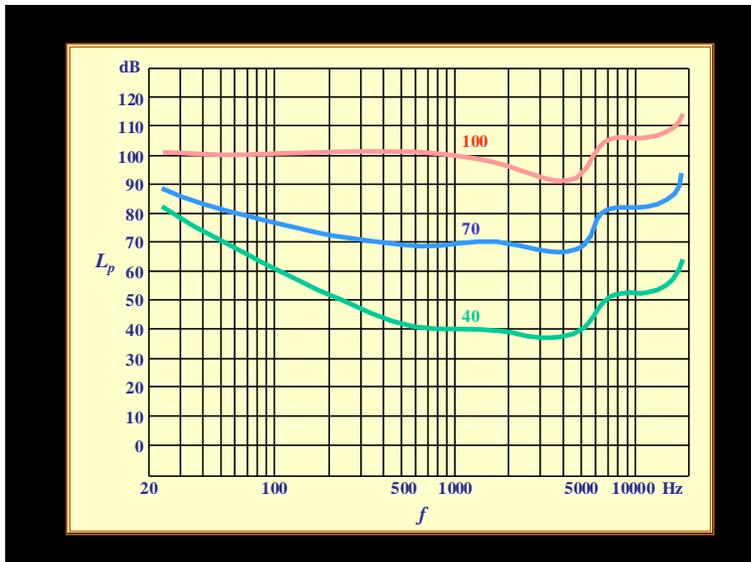
*Haciendo escuchar a un sujeto un tono puro de 1000 Hz y determinado nivel de presión sonora, inmediatamente después se le hacía escuchar un tono puro de otra frecuencia. El sujeto debía ajustar el nivel del segundo tono hasta que lo percibiera igualmente sonoro como el primero.*



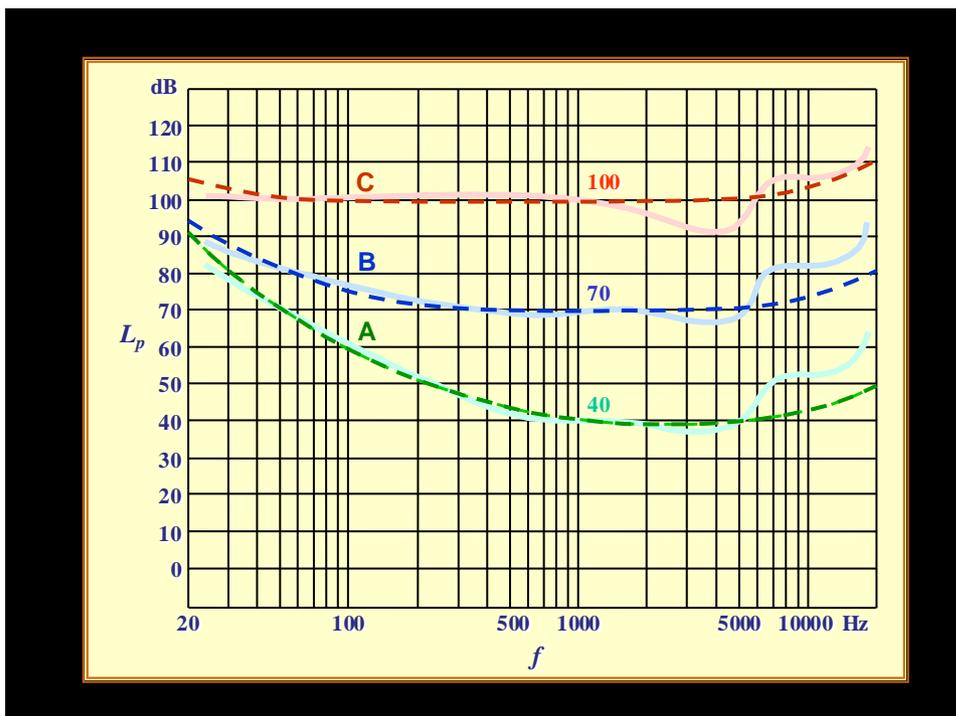
Repetiendo el procedimiento para otros niveles de presión sonora del tono de referencia de 1000 Hz, se obtuvo la familia de curvas de contorno de igual sonoridad



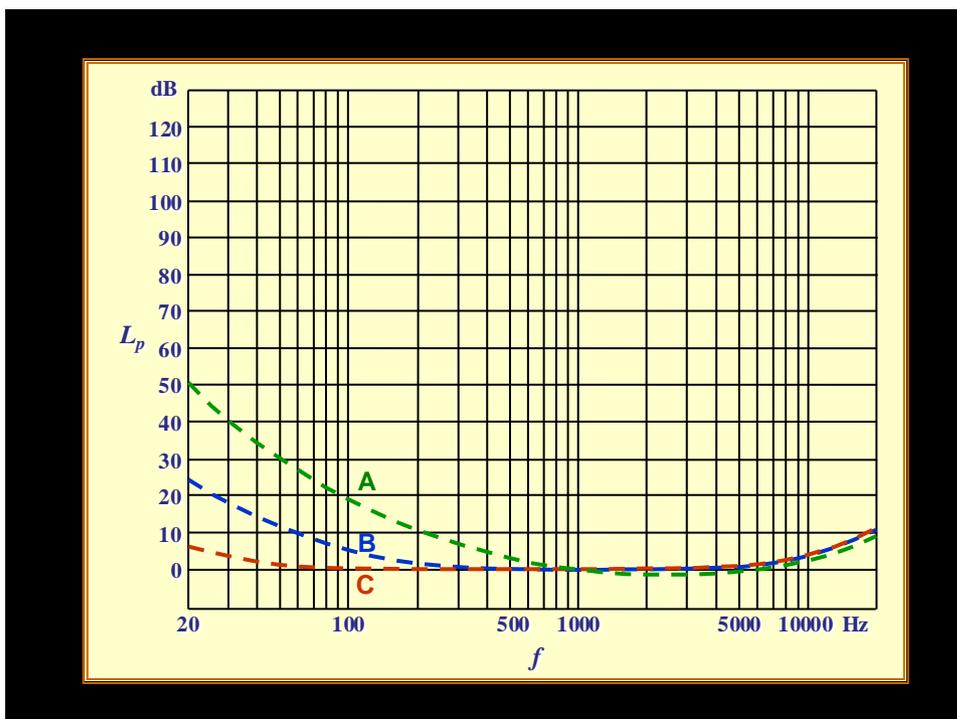
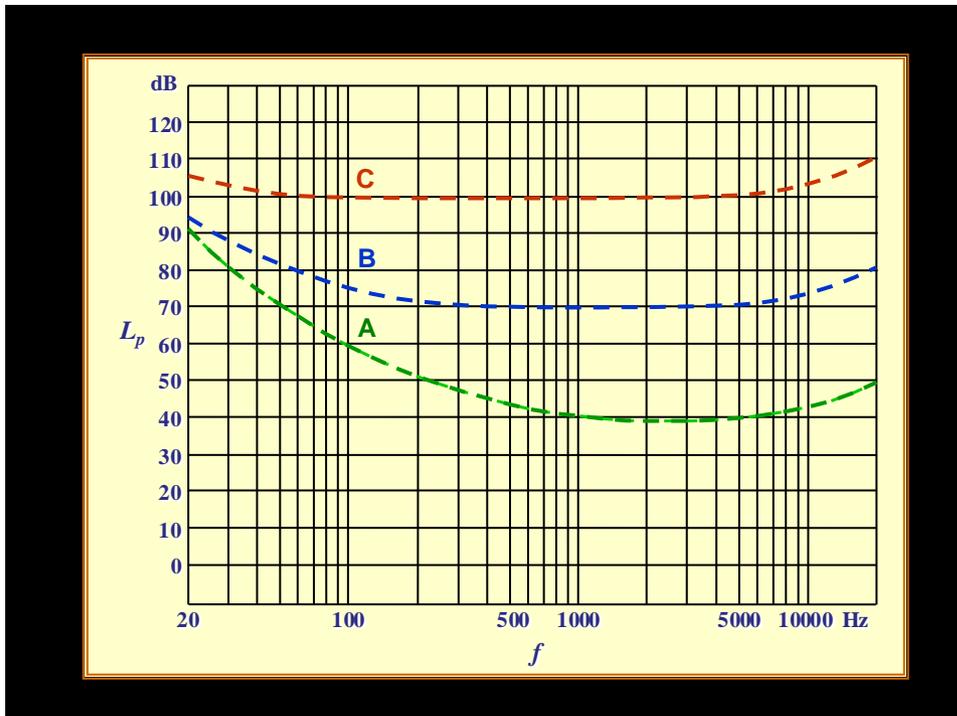
A partir de estos contornos se pretendió diseñar un equipo que midiera la sensación de sonoridad. Para ello se propuso aplicar al medidor de nivel de presión sonora un filtro que compensara la respuesta del oído humano pero como la respuesta era diferente según el nivel de sonoridad en fones, se resolvió utilizar tres filtros diferentes, que se denominaron A, B y C. y presentan un andamio similar pero simétrico a las curvas siguientes.



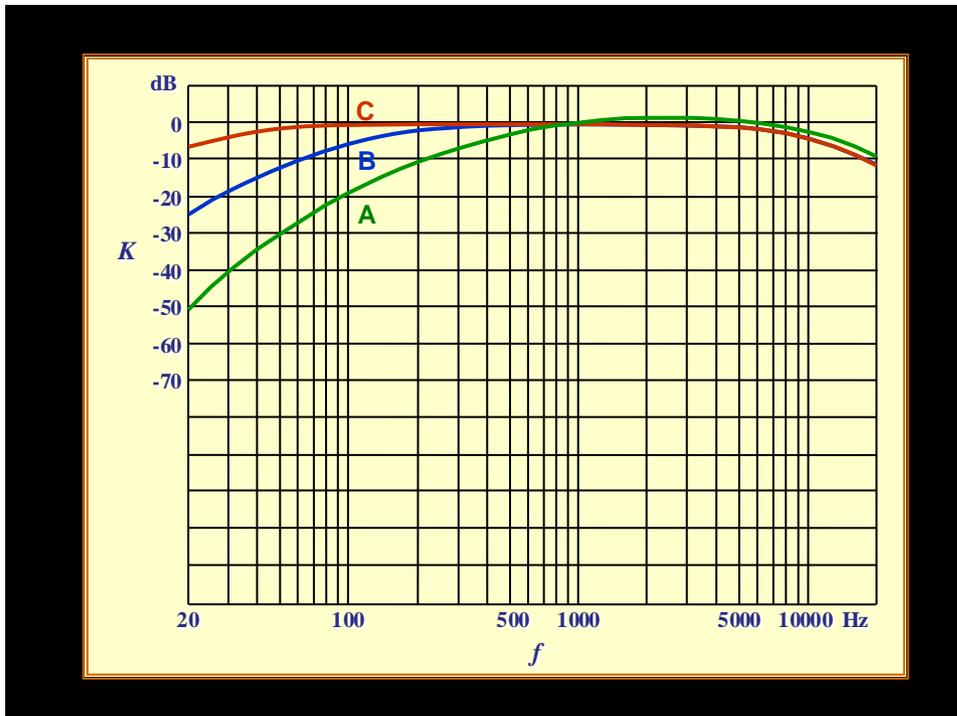
Que fueron “regularizadas” por razones técnicas de la siguiente forma:



Quedando finalmente, según la siguiente secuencia:



Obteniéndose finalmente las siguientes correcciones.



<b>Banda de Octava</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>	<b>Hz..</b>
<b>Ponderación A</b>	<b>-26</b>	<b>-16</b>	<b>-9</b>	<b>-3</b>	<b>0</b>	<b>+1</b>	<b>+1</b>	<b>-1</b>	

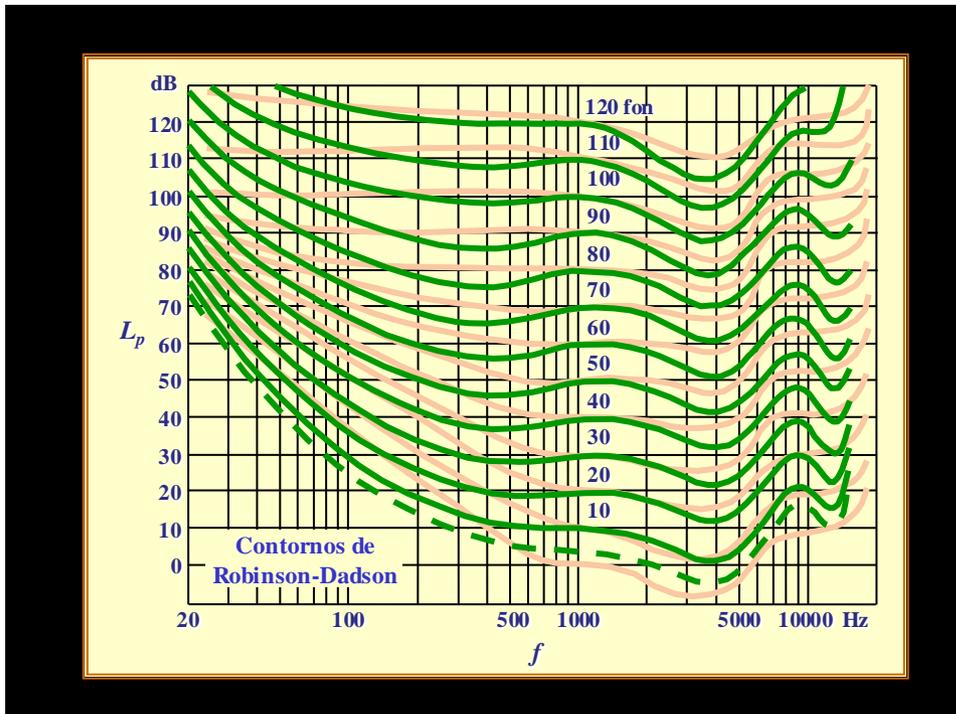
**EJEMPLO DE APLICACIÓN PARA UN RUIDO R:**

<b>Banda de Octava</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>	<b>Hz. Nivel de R</b>
<b>(dB)</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>62</b>	<b>67</b>	<b>75</b>	<b>80</b>	<b>82</b>	<b>dB. Ponderación</b>
	<b>-26</b>	<b>-16</b>	<b>-9</b>	<b>-3</b>	<b>0</b>	<b>+1</b>	<b>+1</b>	<b>-1</b>	
<b>L (dBA)</b>	<b>24</b>	<b>39</b>	<b>51</b>	<b>59</b>	<b>67</b>	<b>76</b>	<b>81</b>	<b>81</b>	<b>dBA.</b>

*El intento no tuvo éxito, porque las curvas de contornos de Fletcher y Munson fueron obtenidos para tonos puros y los ruidos del ambiente, están mayoritariamente formados por una gran cantidad de tonos de diferentes frecuencias, sin embargo, la curva A ha tenido aceptación por su correlación con la molestia y con el riesgo auditivo, así como la facilidad de realizar las mediciones aplicando este filtro.*

Las mediciones obtenidas intercalando este filtro se expresan en decibeles A, abreviados dBA.

Las curvas de Fletcher y Munson posteriormente fueron redeterminadas por Robinson y Dadson, y más tarde normalizadas por la ISO 226.



Los contornos de Fletcher - Munson, así como los de Robinson - Dadson proporcionan una magnitud psicofísica denominada nivel de sonoridad,  $LS$

El nivel de sonoridad se expresa fon.

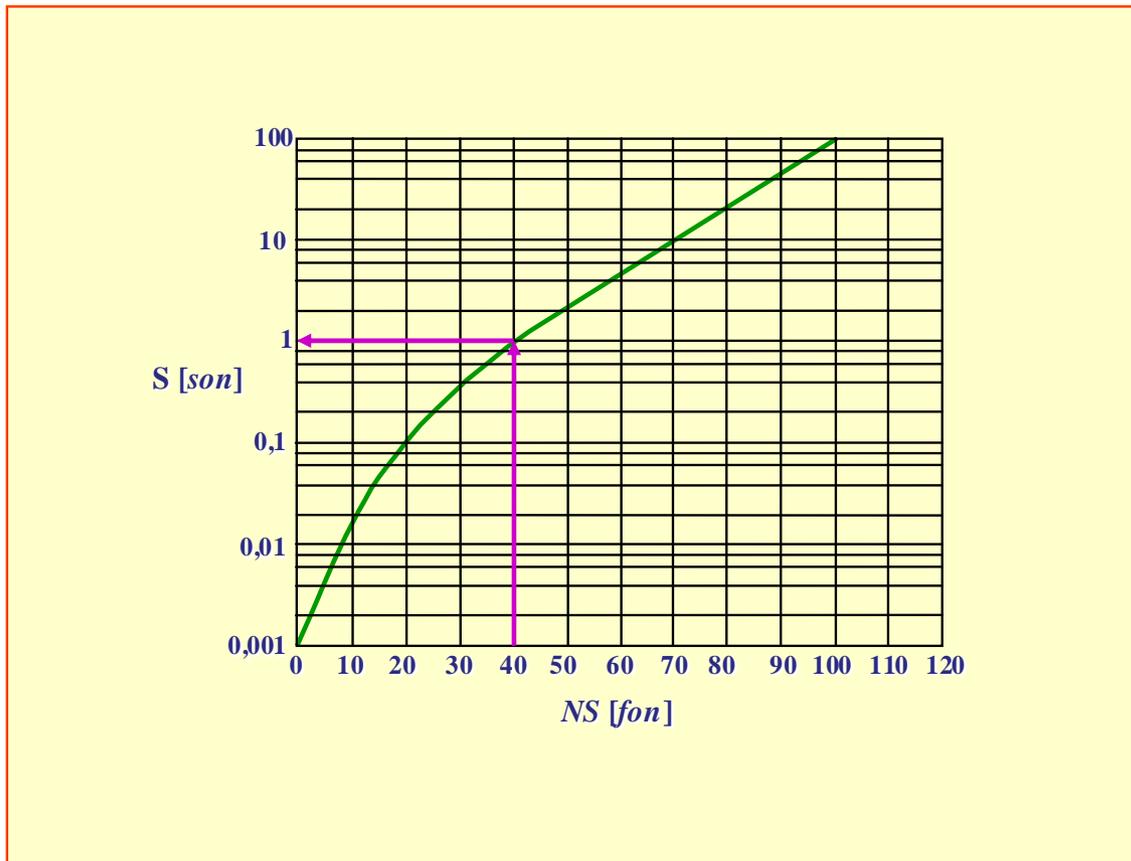
Si bien el nivel de sonoridad permite ordenar los sonidos según su sonoridad en forma independiente de la frecuencia, no constituye una verdadera escala.

Por ejemplo, un sonido que tenga el doble de nivel de sonoridad que otro sonido, no se percibe como doblemente sonoro.

Se realizaron nuevos experimentos comparando la audición de un tono escuchado monoauralmente y binauralmente.

El resultado de estos experimentos fue la obtención de una nueva magnitud, la sonoridad,  $S$ , que sí constituye una escala. Que se expresa en una nueva unidad, el son.

La sonoridad se relaciona con el nivel de sonoridad mediante la siguiente función.



Un sonido de 2 son es doblemente sonoro que uno de 1 son.

Por encima de 40 fon la curva anterior es lineal. Esto permite obtener:

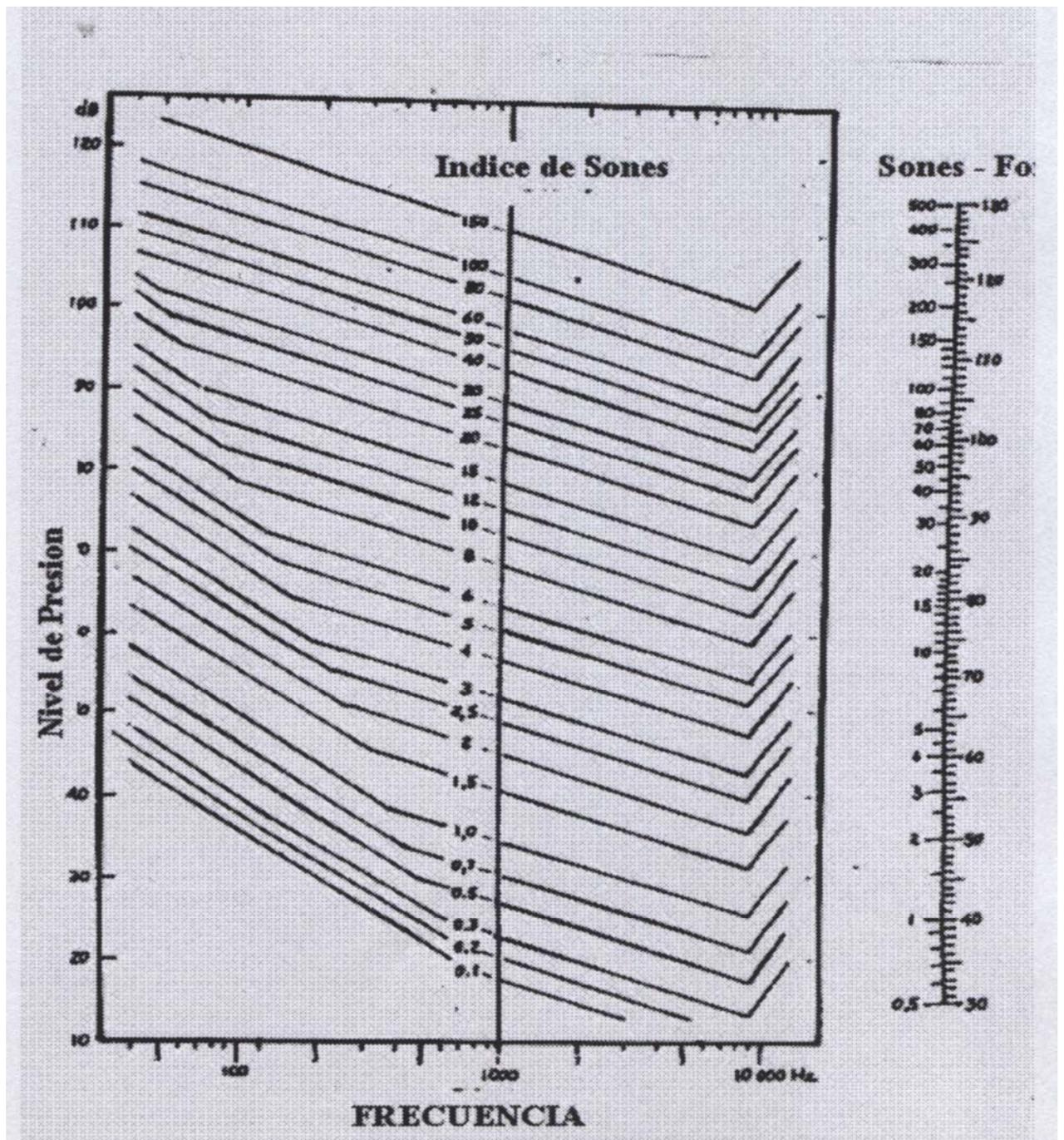
$$S = 10^{(L_s - 40) / 30}$$

Hasta ahora hemos analizado la sonoridad de los tonos puros, se han propuesto métodos simplificados para llevar a cabo esta idea, el más simple es el de Stevens. Este método requiere disponer del espectro de bandas de octava del sonido a analizar. Utiliza las bandas centradas en 31,5 Hz hasta 8000 Hz.

Por medio de los contornos de Robinson-Dadson se determina, para cada banda, el nivel de sonoridad y luego la sonoridad.

Finalmente, se aplica la siguiente fórmula:

$$S_T = S_{\text{máx}} + 0,3 \sum S_i$$



Frente a un sonido complejo, continuo o de banda continua, el Método de Stevens comienza con el cálculo de la sonoridad de cada banda y posteriormente se aplica la fórmula anterior para obtener la sonoridad del sonido complejo  $S_T$ .

$$S_T = S_{\text{máx}} + 0,3 \sum S_i$$

**$S_{\text{máx}}$**  : Sonoridad de la banda de octava con mayor sonoridad

**Si** : Sonoridad de las restantes bandas de octava.

### Ejemplo

Bandas Oct.	125	250	500	1000	2000	4000	Hz.
Nivel	81	82	89	83	76	77	dB.
Sones	10	12	25	20	15	20	Son

$$Stot = 25 + 0.30 ( 10+12+20+15+20)$$

$$Stot = 48.10 \text{ sones}$$

$$48.10 \text{ sones} = 95 \text{ fones.}$$

$$Nss = 95 \text{ fones}$$

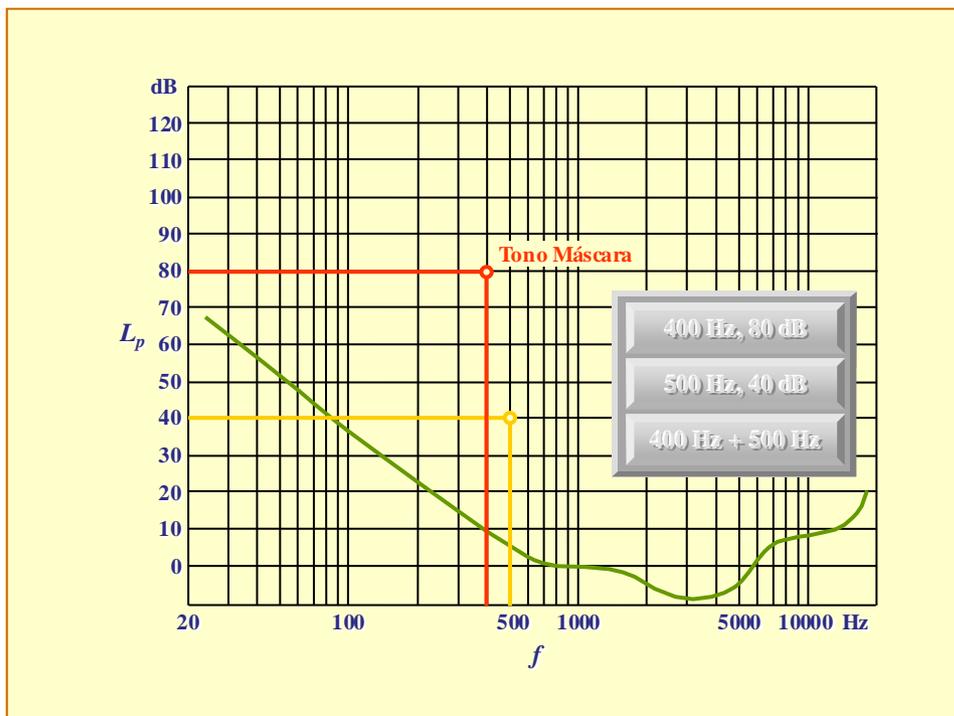
En la actualidad la utilización de la sonoridad y el nivel de sonoridad se ha dejado para casos especiales y se han definido curvas de ponderación (A, B, y C vistas anteriormente) que intentan simular en los sonómetros las características de la audición del oído humano. Siendo de aplicación casi universal la curva A.

### ENMASCARAMIENTO

En condiciones de silencio un determinado tono se percibirá hasta un nivel de presión sonora bastante bajo, llamado umbral de audición.



*Si se agrega otro sonido, se encuentra que algunos sonidos, que en condiciones de silencio se percibían, ya no se perciben.*



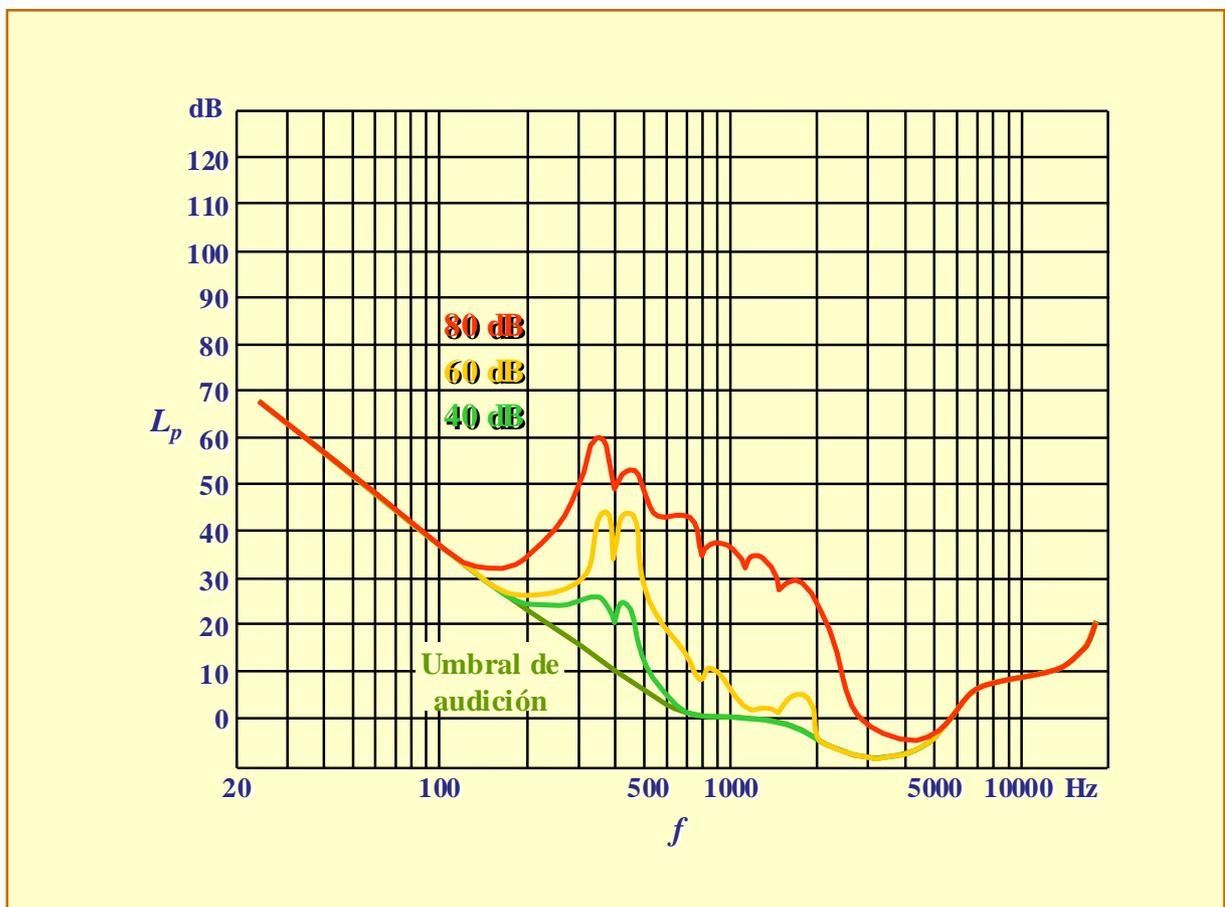
*El sonido externo enmascara a los otros sonidos. Por esa razón se lo denomina sonido enmascarante. El umbral de audición en este caso ha aumentado, es decir, otros sonidos requieren un mayor nivel de presión sonora para que se los pueda percibir.*

*El umbral de audición en este caso ha aumentado, es decir, otros sonidos requieren un mayor nivel de presión sonora para que se los pueda percibir.*

*Cuanto mayor sea el nivel del sonido enmascarante, tanto mayor será el aumento del umbral en las diversas frecuencias.*

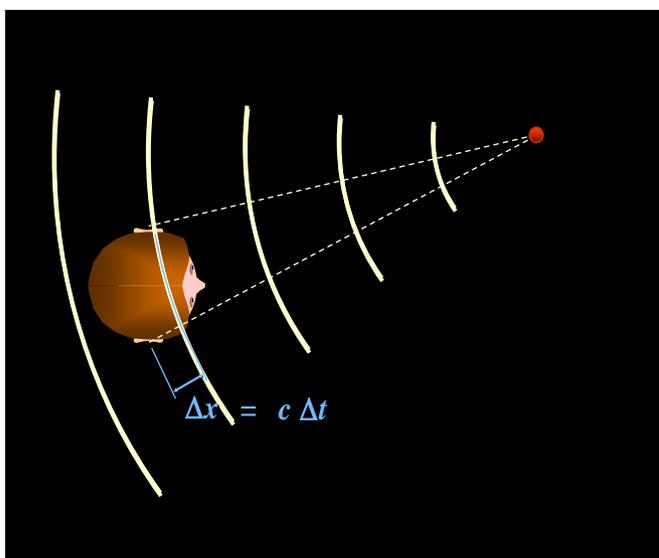
*El siguiente ejemplo corresponde a un tono enmascarante de 400 Hz a tres diferentes niveles: 40 dB, 60 dB y 80 dB*

Resultan tres curvas de umbral de audición sucesivamente más elevadas y más anchas.



En muchos casos, el enmascaramiento, resulta perjudicial. Por ejemplo, dificulta la inteligibilidad de la palabra o de la música en presencia de ruido ambiente.

### Directividad



En la figura se observa que los recorridos entre la fuente y los oídos son de diferente longitud, por lo que se produce una diferencia de tiempo interaural,  $\Delta t$ .

También hay una diferencia de intensidad interaural, que obedece a dos factores: la diferencia de distancia y la atenuación de la propia cabeza.

La diferencia de distancia influye debido a la divergencia geométrica del campo sonoro (atenuación con la distancia).

La divergencia geométrica es importante cuando la fuente se encuentra muy cerca. Así, una diferencia de 10 cm en una distancia de 1 m implica una diferencia de apenas 1 dB.

Para distancias mayores este factor pierde importancia frente a la atenuación de la propia cabeza. La atenuación de la cabeza se debe al efecto pantalla que la misma causa en el oído menos expuesto

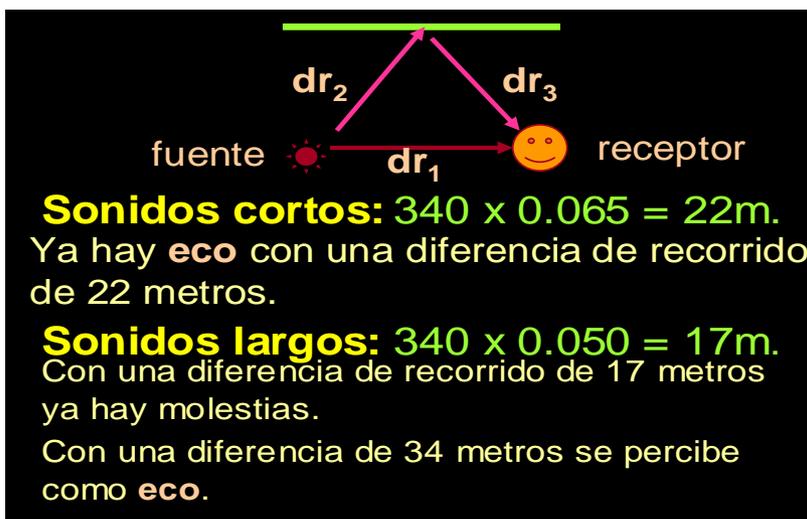
También por causa del fenómeno de la difracción se producen variaciones del sonido percibido en un mismo oído.

#### Discriminación temporal

El oído humano tiene cierta inercia tal, que los sonidos iguales son percibidos como uno solo cuando la diferencia de tiempo es menor a 65 milisegundos para sonidos breves. Para sonidos prolongados presenta una inercia 50 a 100 milisegundos.

Retardo: diferencia de tiempo entre la llegada de un sonido y otro

Eco: Recepción repetida de un sonido proveniente de una fuente por efecto de reflexión.



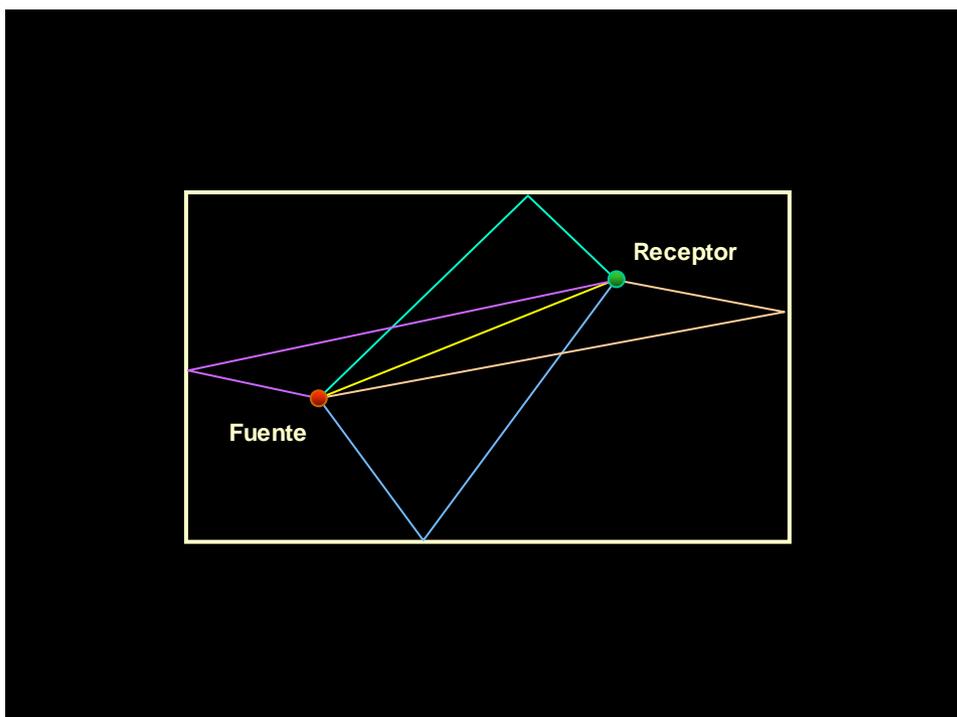
*Discriminación espacial*

*El oído no sólo permite determinar la procedencia del sonido sino obtener una imagen sorprendentemente precisa del entorno acústico.*

*Las personas con vista normal no prestan en general demasiada atención a la información espacial provista por el sonido.*

*Los ciegos, en cambio, al faltarles la información visual, aprovechan muy bien esta capacidad.*

*La percepción espacial del sonido está determinada fundamentalmente por el patrón de reflexiones del sonido.*



*El camino más corto es siempre el directo. Esto da origen al efecto de precedencia, por el cual la dirección percibida corresponde a la del primer frente de onda recibido.*

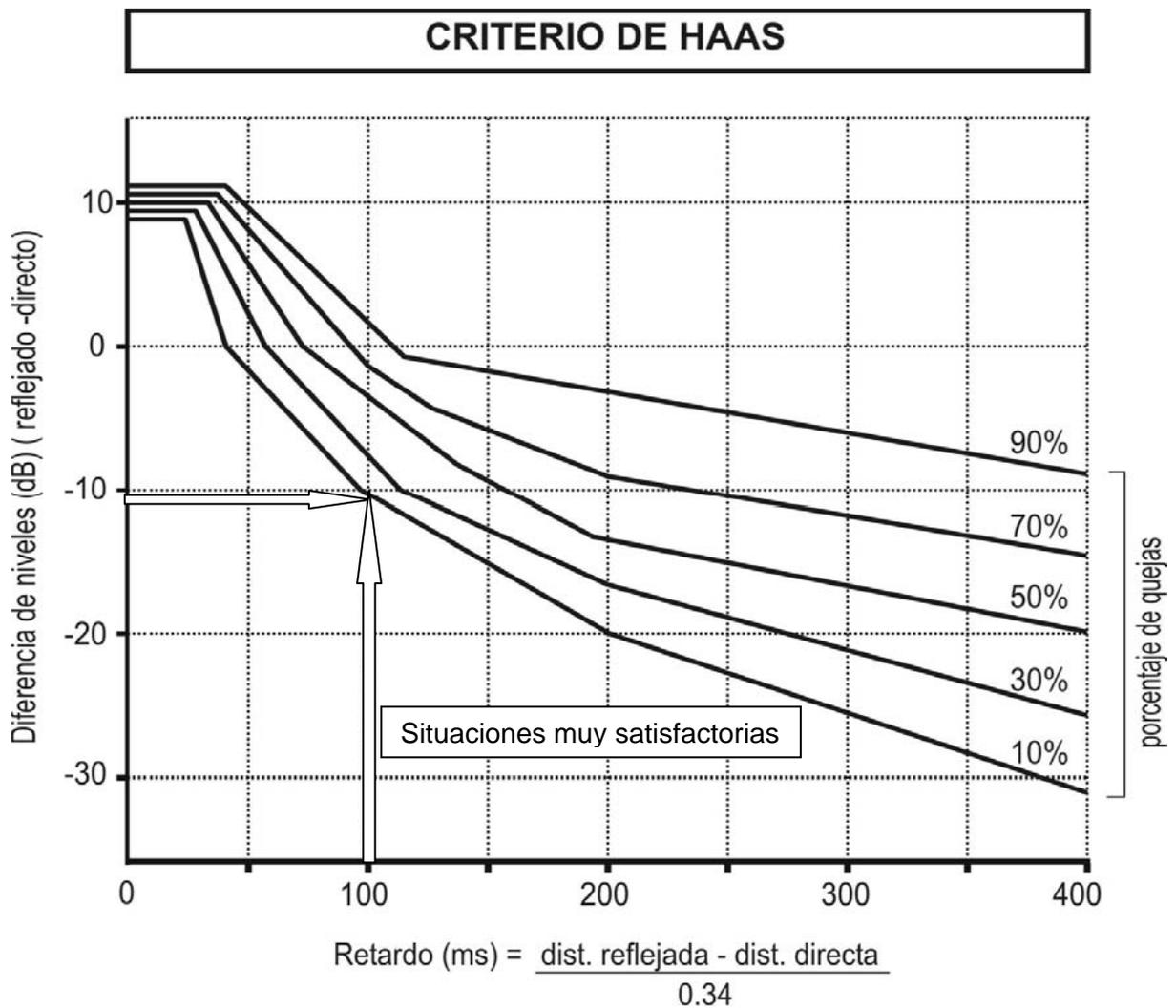
*El efecto de precedencia, también llamado efecto Haas, explica por qué en un ambiente reverberante la ubicación de la fuente en general se percibe correctamente, pese a las múltiples reflexiones.*

*El retardo con el cual llega el sonido reflejado respecto al sonido directo, y la diferencia de niveles entre ellos, determinan un importante parámetro de calidad de la audición en espacios donde se produce el fenómeno de la reflexión múltiple del sonido.*

*Esto es debido al poder de integración temporal del sentido del oído.*

*A mayor retardo se requiere una diferencia de niveles menor para mantener la calidad de la audición.*

*Haas determinó experimentalmente en función del retardo y la diferencia de niveles, la molestia producida por la reverberación.*



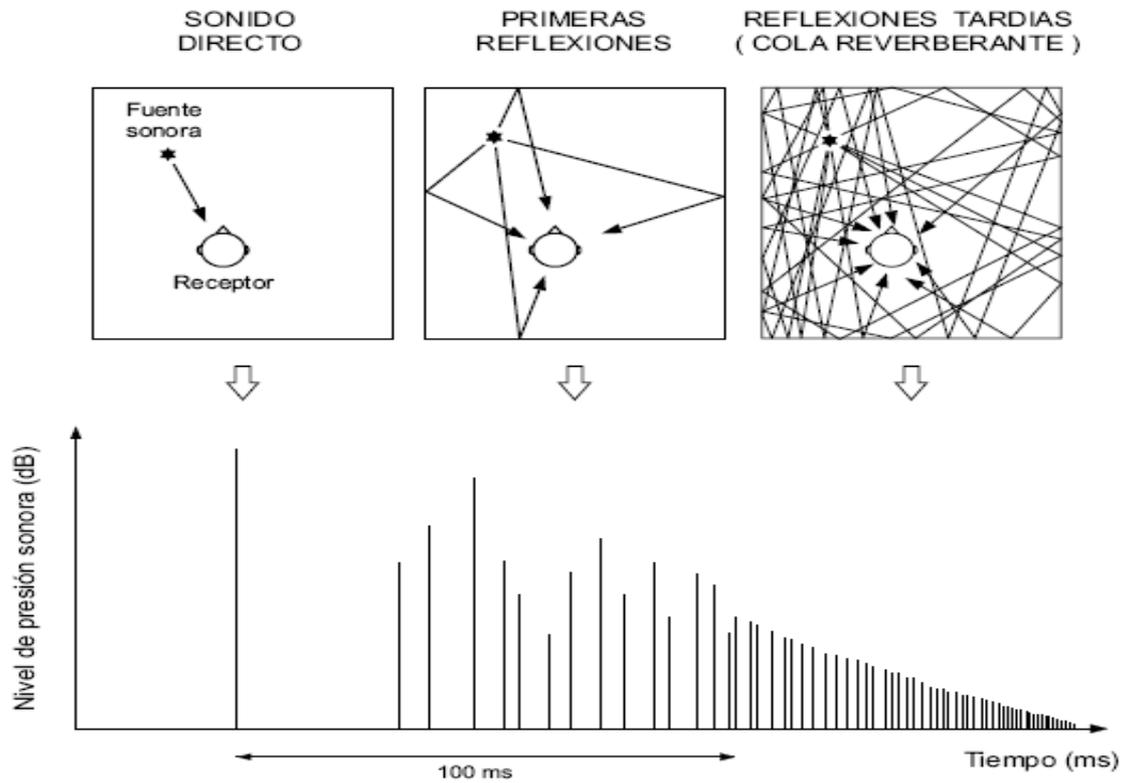
Ejemplo: Un 10% del conjunto de oyentes percibirán molestias cuando el retardo sea de 100 ms y la diferencia de niveles de 10 dB. Si el retardo es de 200 ms para mantener el mismo % de oyentes molestos, la diferencia de niveles no podrá ser menor de 20 dB.

### Reverberación

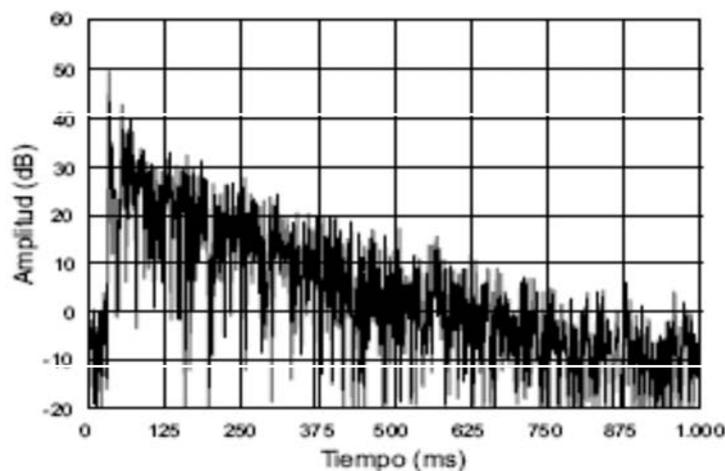
*La energía radiada por una fuente sonora en un recinto cerrado llega a un oyente ubicado en un punto cualquiera del mismo de dos formas diferentes: una parte de la energía llega de forma directa*

(sonido directo), es decir, como si fuente y receptor estuviesen en el espacio libre; mientras que la otra parte lo hace de forma indirecta (sonido reflejado).

En un punto cualquiera del recinto, la energía correspondiente al sonido directo depende exclusivamente de la distancia a la fuente sonora y la potencia de esta, mientras Obteniéndose finalmente las siguientes correcciones.



En la figura siguiente se muestra una curva medida en un punto de un recinto. En abscisas se indica el tiempo, expresado en ms (milisegundos), mientras que en ordenadas se indica el nivel, expresado en dB.





*Para ampliar estos conceptos ver el tema de Acústica de Recintos.*

### **Referencias Bibliográficas**

***Barron, Michael: "Auditorium Acoustics and Architectural Design". E & FN Spon. Londres (UK), 1993.***

***Beranek, Leo L.: "Concert Opera Halls: How they Sound". Acoustical Society of America. New York (USA), 1996.***

***Everest, F. Alton: "The Master Handbook of Acoustics". McGraw-Hill. Blue Ridge Summit (USA) 1989.***

***Haas, Helmut: "The influence of a single echo on the audibility of speech". Journal of the Audio Engineering Society, Vol 20, No 2, March 1972, pp 146-159.***

***ISO TC 43 "Ruidos. Procedimiento para su evaluación utilizando las curvas 'NR'"***