

UT03. Psicoacústica (I). Percepción de la intensidad

UT03. Psicoacústica (I). Percepción de la intensidad



Materiales formativos de FP en línea, propiedad del Ministerio de Educación y Formación Profesional

[Aviso legal](#)

1. Mecanismo de compresión coclear

El oído está adaptado de forma natural para percibir sonidos de un amplio rango de intensidades, y que estas intensidades son diferentes según la frecuencia del sonido. Hay circunstancias en las que este rango se ve disminuido.

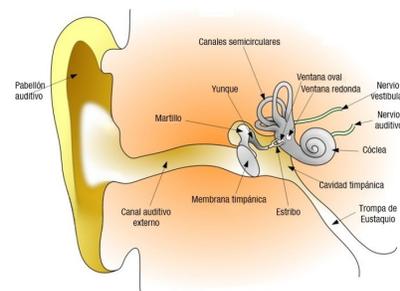
Para saber más

El descubridor de la mecánica coclear fue Georg Békésy. Por sus descubrimientos acerca de la mecánica coclear le concedieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1961.

[Georg Békésy y su aportación al conocimiento de la audiolología](#)

1.1 Mecánica coclear

La audición se inicia cuando una onda de presión sonora hace vibrar el tímpano, esta vibración se transmite a través de la cadena de huesecillos hasta el oído interno. La platina del estribo está encajada en la [ventana oval](#), los movimientos del estribo hacia delante y hacia atrás hacen que la platina entre y salga del interior de la cóclea, este movimiento provoca un aumento de presión en el líquido endolinfático que se transmite en forma de onda por todo el líquido.

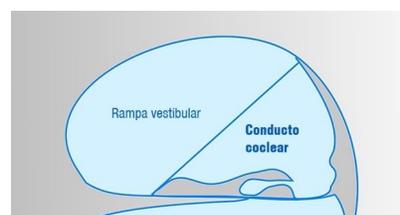


La cóclea está dividida en tres secciones, la [rampa vestibular](#) está separada del conducto coclear, o [rampa media](#), por la [membrana de Reissner](#), membrana muy tenue, que no dificulta el paso de la vibración del líquido desde una rampa a la otra. La [membrana basilar](#) separa el conducto coclear de la [rampa timpánica](#).

La onda producida hace que la membrana basilar adquiera un movimiento ondulatorio sincrónico con la frecuencia de la onda sonora que llegó al tímpano. Este movimiento ondulatorio de la membrana basilar va aumentando su amplitud desde la ventana oval hasta un punto en el que adquiere la amplitud máxima, y desde este punto la amplitud disminuye rápidamente hasta desaparecer.

Las frecuencias altas encuentran este punto de máxima amplitud en las cercanías de la base, mientras que las frecuencias bajas lo encuentran cerca del helicotrema, es decir, la membrana basilar se comporta como un filtro paso bajo.

A lo largo de su viaje por la membrana basilar, la onda sólo es capaz de estimular el órgano de Corti en el lugar en el que la membrana basilar adquiere la máxima amplitud en su vibración.

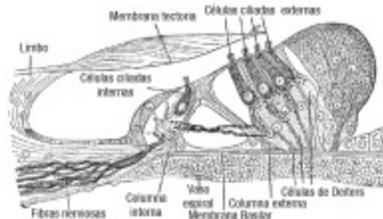




El oído interno es una estructura completamente cerrada y llena de líquido, cada movimiento del estribo provoca un aumento de la presión en el interior de esta estructura, por lo que hace falta un sistema que disminuya la presión para evitar que se rompa. La onda líquida al llegar al helicotrema continúa su viaje por la rampa timpánica hasta la [ventana redonda](#), una lámina elástica que favorece la pérdida de la presión residual de la onda viajera. De esta forma cuando la ventana oval se introduce hacia el interior de la cóclea cuando es presionada por la platina del estribo, la ventana redonda sale hacia fuera para compensar el aumento de la presión, a este fenómeno se le conoce como «juego de las ventanas».

1.2 Micromecánica coclear

Cuando la onda llega al punto en el que la vibración de la membrana basilar es máxima, el [órgano de Corti](#) se mueve arriba y abajo, acompañando el movimiento de la membrana basilar. En el órgano de Corti hay una serie de células que están unidas entre sí y que en la zona apical tienen unos cilios que están unidos entre sí y a la [membrana tectoria](#). Cuando la membrana basilar se desplaza hacia arriba, también lo hacen estas células, las [células ciliadas externas](#), y esto provoca que los cilios se compriman sobre la membrana tectoria. Esta compresión hace que los cilios se doblen, este movimiento provoca la entrada de potasio en la célula ciliada externa produciendo la despolarización de la célula. Esta despolarización se traslada hasta la zona apical y allí se abren los canales de calcio entrando calcio en la célula y provocando la salida del neurotransmisor glutamato. El glutamato es captado por la neurona postsináptica y se origina un potencial de acción en el nervio que viaja hasta el cerebro. Cuando la membrana basilar se mueve hacia abajo los cilios recuperan su forma original, y se produce la inhibición del sistema.



Las [células ciliadas internas](#) también tienen una serie de cilios en su parte apical pero, al contrario que los de las células ciliadas externas no se encuentran unidas a la membrana tectoria sino que se mueven desplazados por los remolinos de la [endolinfa](#) en la que se encuentran inmersos. Estos remolinos son producidos por la vibración de la membrana basilar.

En las células ciliadas externas hacen sinapsis el 10 % de las fibras del nervio coclear. Y el resto se encuentran unidas a las células ciliadas internas, que son las auténticas receptoras de los estímulos sonoros y las encargadas de la transducción. La [transducción](#) es la conversión de la energía mecánica transportada por la onda sonora desde el aire, a través de la vibración del oído medio y del oído interno, en energía eléctrica que será transmitida por los nervios hasta los centros de recepción e interpretación localizados en el cerebro.

Debes conocer

En este vídeo se pueden ver detalles de la micromecánica coclear.

[La micromecánica coclear](#)

Autoevaluación

Las células encargadas de transformar la señal mecánica del oído interno en una señal eléctrica son:

- Las células ciliadas externas.
- Las células de soporte.
- Las neuronas del nervio coclear.
- Las células ciliadas internas.

No. Estas células se encargan de amplificar la señal recibida.

Incorrecto. Estas células, en el órgano de Corti, se encargan de sostener a las células ciliadas.

No es correcto. Las neuronas son las encargadas de transportar la energía eléctrica.

Sí. Las células ciliadas internas son las encargadas de la transducción.

Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Incorrecto
4. Opción correcta

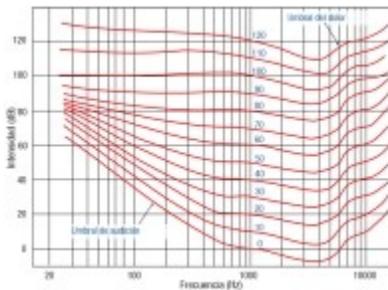
2. Percepción de la intensidad

Se definirá la sonoridad y la forma de medirla. Así como la Ley de Weber-Fechner, que es una forma de estimarla.

2.1 Sonoridad

La [sonoridad](#) es una característica cualitativa relacionada con la energía transmitida por la onda sonora. A mayor intensidad de la onda sonora, mayor será la sonoridad percibida. También aumenta la sonoridad con el aumento de la duración temporal del estímulo sonoro. Y también se produce un aumento de la sonoridad con el aumento del número de frecuencias que constituyen el estímulo sonoro.

Fletcher y Munson, en la década de los años 30 del siglo pasado, sometieron a varios oyentes al experimento de comparar un tono puro de frecuencia 1 000 Hz y una intensidad fija, con otro tono de prueba en el que se iban variando tanto las frecuencias como sus intensidades. Al oyente se le preguntaba cuándo percibía que ambos estímulos, el tono fijo y el tono de prueba, como igualmente sonoros o intensos.

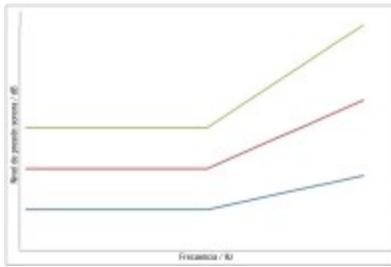


El resultado de este experimento son las [curvas isofónicas](#), o curvas de igual sonoridad, que representa sonidos de diferente frecuencia e intensidad que se perciben como idénticamente intensos.

Años después, en la década de los años 50, Robinson y Dadson realizaron una revisión de los resultados de Fletcher y Munson. Esta revisión se convirtió en la base de la norma ISO 226, que se revisó por última vez en 2003.

La medida de la sonoridad se ve influida tanto por el ambiente, que debe estar perfectamente aislado para evitar interferencias con las señales sonoras con las que se realiza la prueba, como por la respuesta a la frecuencia de los auriculares. Además, se puede observar que la forma de las curvas isofónicas va cambiando al aumentar el nivel de presión sonora; estas curvas se van aplanando.

Cuando el tono de prueba es un tono puro la unidad de medida es el [phon](#), que se define como el nivel de presión sonora de un tono de 1 000 Hz que produce una sensación subjetiva igual. Y un [son](#) es el valor de sonoridad de una frecuencia de 1 000 Hz que tiene un nivel de presión de 40 dB.



Cuando se utilizan dos tonos puros cercanos en frecuencia no se produce un aumento de la sonoridad, pero si las frecuencias de los tonos están separadas sí se produce un incremento de la sonoridad.

También se puede medir la sonoridad comparando dos ruidos que tengan la misma energía, centrados en la misma frecuencia, conteniendo cada frecuencia el mismo nivel de presión sonora, pero con diferente ancho de banda. Cuando se representa el ancho de banda frente al nivel de presión sonora, hay un ancho de banda por debajo del cual no se produce aumento de la sonoridad. Y a partir de este punto sí se produce un incremento de la sonoridad. Este es el **ancho de banda crítico**. Además, cuando el nivel de presión sonora es bajo, la pendiente es menor que cuando el nivel de presión es mayor

2.2 Ley de Weber–Fechner

En 1834, Ernst Heinrich Weber describía la relación existente entre un estímulo y la percepción del mismo. Hay un umbral diferencial, UD , o diferencia mínima perceptible, DMP , un incremento mínimo del estímulo para que este sea perceptible. A esta relación se la conoce como ley de Weber, y se formula:

$$UD = DMP = K \cdot E \quad (3.1)$$

donde:

- K es una constante de proporcionalidad.
- E es la intensidad del estímulo.



Años después, en 1860, Gustav Theodor Fechner publica el libro *Elementos de psicofísica*, en el que describe que la intensidad de una sensación crece en progresión geométrica, mientras que el estímulo lo hace en progresión aritmética, lo que se puede formular:

$$S = c + (k \cdot \ln E) \quad (3.2)$$

donde

- S es la sensación.
- E es el estímulo.
- k y c dos constantes que dependen del estímulo.





La ecuación 3.2 es conocida como [ley de Weber–Fechner](#). Esta ley empírica sólo se cumple en el rango central de las intensidades de los estímulos y este cumplimiento no es muy bueno, por lo que en la actualidad esta ley está siendo revisada.

Para saber más

Puedes aprender más de la ley de Weber–Fechner visitando esta página.

[Ley de Weber–Fechner](#)

Autoevaluación

La sonoridad aumenta:

- Cuando aumenta el número de frecuencias que componen el estímulo sonoro.
- Todas las respuestas son ciertas.
- Cuanto mayor sea la intensidad de la onda.
- Cuando aumenta la duración del estímulo.

No. La respuesta es cierta, pero hay que leer todas las respuestas antes de responder.

Sí. En efecto el aumento de la sonoridad se produce en todas las situaciones descritas.

No. No solamente, lea todas las respuestas.

No. Este es uno de los factores que hacen aumentar la sonoridad, busque más.

Solución

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto
4. Incorrecto

3. Rango dinámico normal y patológico

El rango dinámico es la diferencia entre el umbral absoluto de audición, y el umbral de dolor. En este apartado se definirán los umbrales psicoacústicos y el rango dinámico, diferenciando entre el normal y el patológico.

3.1 Umbrales psicoacústicos de audición

A continuación vamos a definir los umbrales psicoacústicos, los niveles de presión acústica que indican la frontera entre la percepción de un sonido y la ausencia de percepción del mismo, o entre una percepción normal y una percepción incómoda o dolorosa. Estos umbrales dependen de muchos factores como la edad, el sexo, patologías previas, las circunstancias diarias a las que se ve sometida la persona antes de la prueba...

Son medidas psicoacústicas porque están mediadas por la voluntad del paciente, que tiene que realizar una acción, levantar la mano, apretar un botón... esta acción es la respuesta frente al estímulo sonoro que se le presenta.

UMBRAL ABSOLUTO DE AUDICIÓN

El umbral absoluto de audición es el mínimo nivel de presión de un sonido para que pueda ser detectado por un individuo, en ausencia de otros sonidos externos.

Este umbral cambia con la frecuencia y depende de las condiciones ambientales en las que se produzca su determinación, las cuales hay que indicar con detalle.

La medida se puede realizar en campo libre o con auriculares. En el campo libre la persona se sitúa a un metro del centro de un altavoz, y por tanto la medida del umbral se ve afectada por la interacción de la onda sonora con la cabeza, con el pabellón auricular y con el canal auditivo externo. De esta manera se puede observar que tanto a bajas frecuencias como a altas frecuencias el umbral es más alto que a las frecuencias centrales. Encontramos un mínimo en torno a los 3 000 Hz, que coincide con las resonancias que se producen en el canal auditivo alrededor de estas frecuencias.

En el caso de utilizar auriculares para la determinación del umbral absoluto de audición hay que tener en cuenta el tipo de auriculares que se utilice, ya que las interacciones del sonido en cada uno de ellos son diferentes.





UMBRAL PROMEDIO DE AUDIBILIDAD

Es la presión sonora que puede ser detectada por el 50 % de los individuos de 18 a 25 años audiológicamente sanos. El sonido de prueba es un tono puro de larga duración, es decir, debe ser presentado durante más de doscientos milisegundos y se debe propagar en condiciones de campo libre y en ausencia de cualquier otro tipo de sonido.

La diferencia entre el umbral promedio y el umbral absoluto consiste en que el promedio es una medida estadística, mientras que el umbral absoluto es una medida individual.

UMBRAL DIFERENCIAL

Es el nivel de presión, o de intensidad, que debe superar un estímulo para ser reconocido como diferente en presencia de otro, en el 50 % de las pruebas que se realicen. Es importante especificar todas las condiciones del ensayo, en particular la intensidad del sonido de menor nivel.

UMBRAL DE INCOMODIDAD

Es el nivel de presión, o de intensidad, al que el paciente empieza a sentir molestias con las sucesivas presentaciones, este umbral se suele alcanzar alrededor de los 100 dB. Este umbral tiene una variación menor con la frecuencia que el umbral absoluto de audibilidad, presentando una gráfica casi plana.

UMBRAL DE DOLOR

Este es el límite en el que el paciente indica dolor en las presentaciones, y suele alcanzarse a partir de los 120 dB, en ocasiones antes.

Autoevaluación

El nivel de presión acústica al que el tímpano empieza a vibrar:

- Umbral de dolor.
- Umbral promedio de audibilidad.
- Umbral absoluto de audición.
- Umbral diferencial.

No. Este umbral se alcanza por encima de los 120 dB.

No. Esta es una medida estadística.

Sí. En efecto, es la energía mínima que necesita el tímpano para empezar a vibrar.

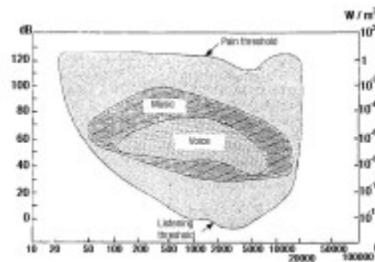
No. Este umbral es la diferencia que se tiene que producir para diferenciar dos sonidos.

Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta
4. Incorrecto

3.2 Rango dinámico

El umbral absoluto de audibilidad depende de la frecuencia, entre otras cosas, y que el umbral de incomodidad tiene una gráfica casi plana. Así, se denomina [rango dinámico](#) a todos los niveles de presión acústica comprendidos entre estos dos umbrales.



Se observa que este rango es mayor en las frecuencias comprendidas entre 1 kHz y 6 kHz, mientras que por encima y por debajo de estas frecuencias este rango es mucho más estrecho. Por supuesto que el rango va a depender de cada persona y de las circunstancias vitales y de patologías tanto previas como presentes en el momento de la medición.

Cuando se produce alguna alteración en los umbrales psicoacústicos se observa el cambio correspondiente en el rango dinámico. Este cambio se suele dar hacia la disminución del rango. Dicha disminución puede ser transitoria o permanente. En el caso de la reducción transitoria del rango dinámico se puede deber a sucesos puntuales de exposición del oído a sonidos con niveles muy elevados, aunque de corta duración, o a niveles suficientemente elevados pero durante más tiempo. Por ejemplo, un disparo, un golpe fuerte o una explosión pueden producir una disminución del rango dinámico durante un tiempo, que dependerá del sonido al que se haya estado expuesto. Por otro lado, un concierto de rock, una carrera de coches o motos puede, también, dar lugar a una reducción del rango dinámico.

Las reducciones permanentes del rango dinámico se deben a algún tipo de hipoacusia tanto de transmisión como neurosensorial. En el caso de las hipoacusias de transmisión se observará en el audiograma una reducción del rango dinámico similar en todas las frecuencias, mientras que en el caso de las hipoacusias neurosensoriales se podrá observar que las frecuencias que se encuentren perjudicadas presentarán una disminución del rango dinámico, y las frecuencias que no estén dañadas mantendrán su rango original.

La capacidad de responder a rangos de intensidad tan diferentes se debe a la **compresión** de la membrana

basilar. Fenómeno que se estudió en el primer apartado de la unidad.

Reflexiona

¿Qué significa que el rango dinámico de una determinada frecuencia sea de 120 dB?

Mostrar retroalimentación

Significa que la membrana basilar es capaz de diferenciar para esa frecuencia un rango de energías de 12 B, lo que significa 12 órdenes de magnitud.

4. Enmascaramiento

Se va a estudiar en qué consiste el enmascaramiento y los tipos que se pueden encontrar.

4.1 Definición

Cuando un sonido produce la elevación del umbral de audición (UA) de otro sonido se dice que lo está enmascarando. El sonido que provoca el aumento se denomina máscara. El [enmascaramiento](#) se mide mediante el umbral de enmascaramiento (UE), que se define como el «nivel de presión sonora de un sonido de prueba para que sea audible, en presencia de otro sonido que actúa como máscara». Es decir, en ausencia de máscara el umbral de audición y el de enmascaramiento tienen el mismo valor.

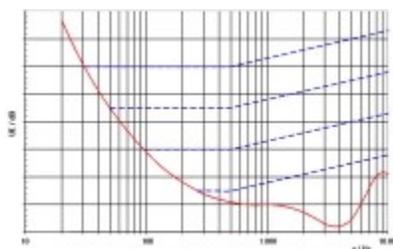
El umbral de enmascaramiento se representa frente a la frecuencia, ya que éste va a depender, entre otras cosas, de la frecuencia, tanto de la máscara como del sonido de prueba. Este tipo de representaciones recibe el nombre de patrón de enmascaramiento.

El nivel de sensación de una señal de prueba es la diferencia entre los umbrales de enmascaramiento y de audición cuando ambos se miden en dB:

$$NS = UE - UA \quad (3.3)$$

Como máscara se pueden utilizar tonos puros, el problema surge cuando entre la máscara y la señal de prueba la diferencia de frecuencias es pequeña ya que en este caso se presenta el fenómeno de los batidos o pulsaciones. Las pulsaciones pueden favorecer o entorpecer la percepción de la señal, por lo que los resultados del estudio no son concluyentes. En 1950 Egan y Hake trataron de solucionar este problema y fijaron la máscara en 400 Hz.

Cuando se utiliza para enmascarar [ruido blanco](#), se observa un umbral de enmascaramiento constante e independiente de la frecuencia hasta los 500 Hz, a cualquier nivel de presión de la máscara. A frecuencias por encima de 500 Hz, el umbral de enmascaramiento aumenta de 10 dB por década. Una década significa multiplicar por diez la frecuencia, o en el caso de representaciones logarítmicas de aumentar la frecuencia un orden de magnitud.



Autoevaluación

En una determinada prueba audiológica se utiliza como máscara ruido blanco, con un nivel de intensidad de 45 dB. El umbral de enmascaramiento para la frecuencia de 250 Hz es de 55 dB. ¿Cuál será el umbral de enmascaramiento para la frecuencia de 1 000 Hz?:

- 58,01 dB.
- 55,00 dB.
- 65,00 dB.
- 52,78 dB.

En efecto. Está por encima del límite de 500 Hz.

No. Hay que tener en cuenta la frecuencia.

No. Este sería el umbral de enmascaramiento a la frecuencia de 5 000 Hz.

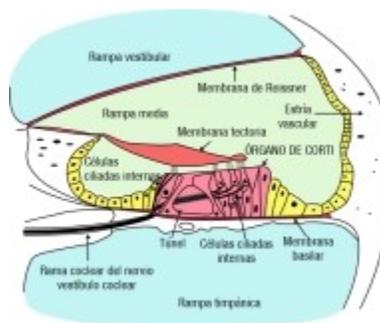
No. El umbral de enmascaramiento no va a ser menor que el dado por el enunciado en las circunstancias descritas.

Solución

1. Opción correcta
2. Incorrecto
3. Incorrecto
4. Incorrecto

4.2 Tipos de enmascaramiento

Cuando la máscara y la señal de prueba se presentan al mismo tiempo estamos hablando de [enmascaramiento simultáneo](#). La presencia de la máscara va a producir un aumento del umbral de audición de la señal para que pueda ser detectada. Si como máscara se utiliza un ruido blanco, los receptores de la cóclea se van a encontrar todos ocupados excitados por el ruido blanco y la señal va a encontrarse en un mar de señales del ruido.



Cuando se presenta en primer lugar la máscara y después el tono de prueba nos encontramos en el caso del [postenmascaramiento](#). El umbral de enmascaramiento es mayor cuanto menor el tiempo que transcurre entre la máscara y el tono de prueba. El límite se encuentra cuando la máscara y el tono se suceden en el tiempo, entonces el umbral de enmascaramiento tiene el mismo valor que en el enmascaramiento simultáneo. A medida que aumenta el tiempo que transcurre entre la máscara y el tono de prueba el umbral de enmascaramiento disminuye y, alrededor de los 200 ms, el umbral de enmascaramiento coincide con el umbral de audición, es decir, la máscara deja de enmascarar. Además, se puede observar que cuando la máscara y el tono de prueba tienen frecuencias cercanas el enmascaramiento es mayor, por lo que la máscara es capaz de enmascarar con un nivel menor de presión sonora. Por otra parte, el tiempo de duración de la máscara también hay que tenerlo en cuenta ya que se puede observar que cuando aumenta el tiempo de presentación de la máscara aumenta el umbral de enmascaramiento, hasta los 200 ms, a partir de este tiempo de presentación no aumenta el umbral de enmascaramiento.

Se puede explicar el postenmascaramiento por alguno de los siguientes hechos o por una combinación de ellos:

- La vibración de la membrana basilar continúa durante un tiempo, aun cuando la señal acústica ya

haya cesado, este tiempo se ha calculado en unos 20 ms. Si la señal del tono de prueba se envía durante este tiempo, va a quedar enmascarada. A este fenómeno se le conoce como «[ringing](#)». Y es mayor cuanto menor sea la frecuencia debido al comportamiento paso bajo de la membrana basilar.

- Las fibras nerviosas necesitan un tiempo para poder repolarizarse y estar disponibles para enviar otra señal. La recuperación de las fibras se ha calculado en unos 5 ms. Lógicamente si el tono de prueba se envía cuando las fibras nerviosas no están en disposición de enviar la señal, esta se pierde.

Finalmente, si primero se presenta el tono de prueba y después la máscara nos encontramos ante el [preenmascaramiento](#). De este fenómeno se desconoce cuál es su fisiología, pero sí se sabe que, independientemente del nivel de presión de la máscara que se aplique, no se extiende más allá de 20 ms.

Para saber más

En esta página se pueden ampliar conocimientos acerca del enmascaramiento.

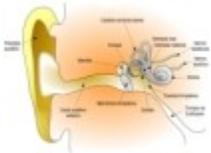
[El enmascaramiento sonoro](#)

Anexo. Licencias de Recursos

Licencias de recursos utilizados en la Unidad de Trabajo

Recurso

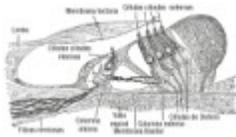
Datos del recurso



Autoría: Dan Pickard

Licencia: Dominio público

Procedencia: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:HumanEar.jpg>



Autoría: Arcadian

Licencia: Dominio público

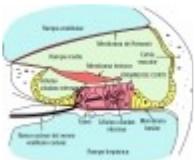
Procedencia: Montaje sobre <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray931.png>



Autoría: Андрей Романенко

Licencia: Dominio público

Procedencia: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schlick-Weber.jpg>



Autoría: PhilippN

Licencia: Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license.

Procedencia: Montaje sobre <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cochlea-crosssection-de.png>



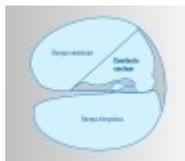
Autoría: Didier Descouens

Licencia: Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported, 2.5

Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic license.

Procedencia: Montaje sobre http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oreille_Interne.png

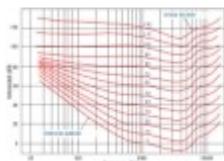
Autoría: Welleschik



Licencia: Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license.

Procedencia: Montaje sobre http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ductus_cochlearis_schema.jpg

Autoría: Albuseer



Licencia: Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.

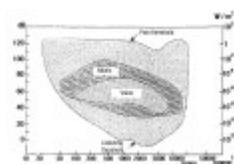
Procedencia: Montaje sobre http://commons.wikimedia.org/wiki/File:FletcherMunson_ELC_es.svg



Autoría: Gdr

Licencia: Dominio público

Procedencia: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gustav_Fechner.jpg



Autoría: Bot (Magnus Manske)

Licencia: Dominio público.

Procedencia: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Audible.JPG>