

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE GANDÍA

I.T. Telecomunicación (Sonido e Imagen)



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE GANDÍA

**ESTUDIO PSICOACÚSTICO Y
ESTADÍSTICO DE LA AUDICIÓN EN
LA PROFESIÓN DEL DJ.
CARACTERÍSTICAS Y PÉRDIDAS
AUDITIVAS DE LOS INDIVIDUOS**

**TRABAJO FINAL DE
CARRERA**

Autor:
Gabriel Moreno Ibarra

Director:
D. Fco. Javier Redondo Pastor

A la memoria de mi padre.

GANDIA, 2011

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi profesor Javier Redondo el ser como es. Fue la persona que me inculcó el amor por la Acústica, y su genial manera de entender e impartir la docencia, que siempre me ha resultado provechosa, placentera, y muy útil para la asimilación de conceptos.

A Joan Mora, por su colaboración desinteresada hacia mi persona.

Importantísimo agradecer a todos los voluntarios, tanto deejays como no, que se ofrecieron generosamente para hacerse pruebas audiométricas, ya que sin ellos, no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

A Valeria García de GAES, por su colaboración desde la distancia, que me ha sido de gran utilidad para corroborar los métodos utilizados por un referente nacional en cuanto a las mediciones audiométricas, y terminar así de abstraer los algoritmos para realizar las audiometrías de un modo eficaz y preciso.

Y por supuesto, a mi buen amigo y compañero de piso, Juanri, que siempre ha estado a mi lado en todo momento. Tanto en los ratos malos, como en los buenos, y siempre me ayuda a resolver mis problemas de toda índole.

Gabi Nimble

ÍNDICE

1. OBJETIVO Y ANTECEDENTES	7
2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA	8
2.1. El sonido	8
Sonoridad.....	8
Tono.....	10
Timbre	11
2.2. El oído.....	11
2.3. Recepción binaural	13
Intensidad relativa entre los dos oídos.....	13
Intervalo de tiempo de llegada a los dos oídos.....	14
2.4. Audiología	14
Acumetría	15
Audiometría.....	15
2.5. Audición estándar e hipoacusia	16
Hipoacusias de transmisión:	17
Hipoacusias de percepción:	17
2.6. Fenómenos auditivos	17
Impedancia acústica.....	17
Lateralización	18
Enmascaramiento.....	18
Reclutamiento.....	19
Adaptación.....	20
Fatiga	20
2.7. Causas de las pérdidas auditivas.....	20
Pabellón	20
Oído medio	21
Oído interno.....	22
Pérdidas debidas al ruido.....	24
2.8. Psicoacústica. Audiometrías	24
En función de la adaptación:	25
En función de la objetividad:.....	27
Audiometría vocal:	27
3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	28
3.1. Calibración.....	29
Equipo utilizado.....	30
Procedimiento.....	30

3.2.	Criterio seguido para realizar el estudio	35
4.	DESARROLLO DEL EXPERIMENTO.....	37
4.1.	Medidas de los Djs.....	37
4.2.	Medidas de los No Djs.....	39
4.3.	Gráficas de los individuos modelos	40
4.4.	Parámetros de los Djs	41
	Edad.....	41
	Años.....	42
	Horas.....	43
	Días.....	44
4.5.	Ecualización compensada	44
	Resultados.....	45
4.6.	Precauciones y soluciones	46
5.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	47
6.	REFERENCIAS	48
6.1.	Bibliografía	48
6.1.	Recursos electrónicos	49
6.2.	Otros recursos	49
6.3.	Normativas.....	50
7.	ANEXOS.....	53
7.1.	Dosis de ruido	53
7.1.	Audiogramas de los Djs explorados	53
	Dj 1	54
	Dj 2.....	55
	Dj 3.....	56
	Dj 4.....	57
	Dj 5.....	58
	Dj 6.....	59
	Dj 7.....	60
	Dj 8.....	61
	Dj 9.....	62
	Dj 10.....	63
	Dj 11.....	64
	Dj 12.....	65
	Dj 13.....	66
	Dj 14.....	67
	Dj 15.....	68

7.2. ADM 1.0	69
Manejo	69
Código fuente del programa	70

1. OBJETIVO Y ANTECEDENTES

Evaluar las pérdidas auditivas de un sector laboral que dada su actividad, puede ser muy interesante a considerar su estudio, dado que se somete a unos niveles de presión sonora muy elevados.

Nos referimos a la profesión del ambientador musical, más conocido como disc-jockey. A partir de ahora, los nombraremos de muchas maneras diferentes: Dj, deejay, Djs, deejays...

Debido a mi implicación en este mundo laboral, ya que llevo pinchando desde el año 1995, me resultó muy interesante la elaboración de un estudio sobre este tema. Aparte de la suerte de poder conseguir la colaboración de individuos del sector para las audiometrías.

En este proyecto trataré de caracterizar un perfil de individuo mediante un umbral de audición genérico obtenido a partir de todos los deejays explorados, para poder apreciar de este modo las características auditivas generalizadas. Éstas estarán estrechamente en función de ciertos parámetros, tales como tiempo en la profesión, costumbres, exposición a altos niveles de presión sonora...

Se harán tanto medidas a deejays, como a personas que no lo sean, para así de este modo, poder comparar los resultados, y también como no, con los del perfil estándar de audición.

Otra tarea a realizar será la elaboración de una gráfica de ecualización compensada (con el estándar) individualizada para su estudio psicoacústico. Esto goza de cierto interés para ver las respuestas subjetivas de los explorados al escuchar con una ecualización exclusiva para su audición, si bien hay que tener en cuenta la complejidad del tema, ya que el cerebro se habitúa a los estímulos recibidos, describiendo una especie de entrenamiento.

Por último según los resultados, sería conveniente facilitar las posibles precauciones y soluciones para impedir los daños en el órgano auditivo a largo plazo.

2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

2.1. *El sonido*

La acústica es la rama de la física que se dedica a estudiar todo lo que se refiere al sonido. Su formación, propagación, propiedades y aplicaciones.



Fig. 1. El sonido

Un sonido es una alteración física de un medio que puede ser percibida por el oído humano. Hay que tener en cuenta que es un efecto que se produce dentro de nuestro cerebro, y por tanto, tiene un carácter subjetivo. Para poder estudiarlo con precisión necesitaremos ciertos parámetros.

Para estudiar el sonido, hay que diferenciar su naturaleza física, de su naturaleza fisiológica. La parte física puede ser interpretada con la teoría ondulatoria, pero la parte fisiológica, dependerá de cada individuo en particular, ya que cada uno tendrá unas características auditivas exclusivas.

Una manera de clasificación y caracterización de los sonidos, puede ser mediante los siguientes tres parámetros:

- *Sonoridad*
- *Tono*
- *Timbre*

Sonoridad

El oído humano es capaz de distinguir sonidos de mayor o menor intensidad. Subjetivamente hablando, la sonoridad es el atributo por el cual se percibe los sonidos con mayor o menor vigor, o lo que es lo mismo, más o menos fuerte.

Objetivamente hablando, la intensidad sonora es la cantidad de energía por unidad de tiempo que alcanza una superficie unitaria colocada en la dirección perpendicular de la onda sonora.

$$I = \frac{E/t}{S} [W/m^2] \quad (1)$$

Como conocemos que la energía por unidad de tiempo es la potencia, también podemos definir la sonoridad del siguiente modo:

$$I = \frac{P}{S} [W/m^2] \quad (2)$$

La sensación sonora depende de la intensidad del sonido, pero también depende de la sensibilidad del oído del individuo.

El rango de sonidos que percibimos el ser humano va desde el umbral de audición, hasta el umbral del dolor (que puede acarrear daños irreparables en el oído del sujeto).

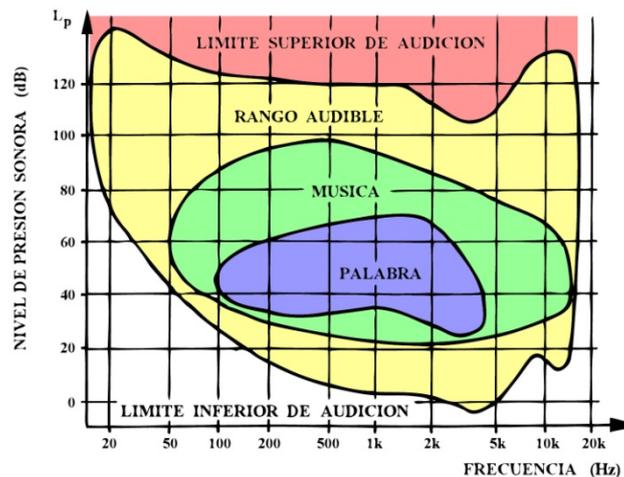


Fig. 2. Área auditiva estándar

Nuestro aparato auditivo no funciona de manera lineal. Lo hace de manera más bien logarítmica. El nivel de intensidad viene dado por la ecuación siguiente, donde S es la sonoridad expresada en decibelios:

$$S = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) [dB] \quad (3)$$

Cabe destacar que esto no funciona igual para todo el rango de frecuencias. Las curvas de Fletcher-Munson, calculadas de manera experimental, relacionan como de fuerte se percibe un sonido a lo largo del rango de frecuencias audible. Estas curvas tienen la característica de que tienen igual sonoridad, es decir, son isofónicas. Se miden en fonios, que es una unidad para medir la sonoridad.

Estas curvas realmente están algo obsoletas, pero las incluyo porque son las más conocidas, y en la línea que marca el umbral de audición no dista mucho de las registradas en la última norma ISO que contempla estos menesteres (ISO 226:2003).

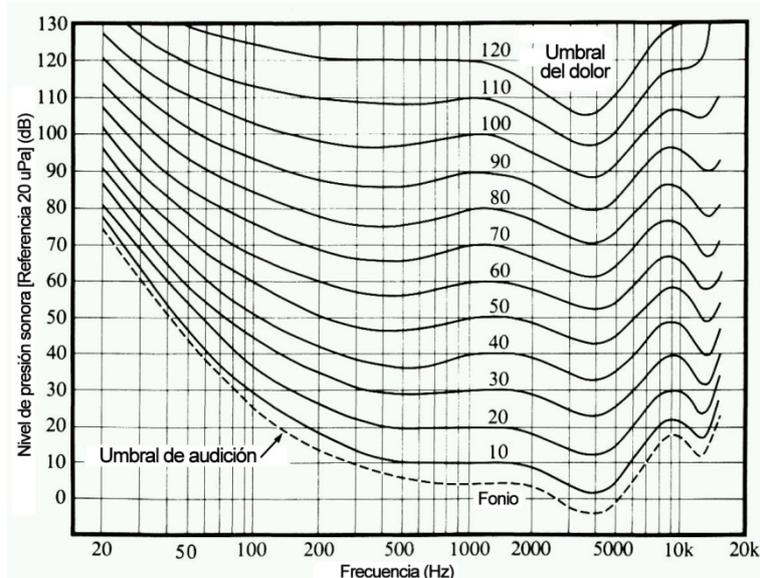


Fig. 3. Curvas de Fletcher-Munson

A simple vista se puede apreciar que el oído humano es más sensible a las frecuencias medias y medias-altas que a las graves y agudas. Otro dato a destacar es que conforme aumenta la intensidad sonora, las curvas se hacen más planas. Esto es debido al mecanismo de defensa natural que tiene el tímpano (se tensa) para protegerse de los altos niveles de presión sonora.

Estas curvas se obtuvieron mediante un estudio realizado con auriculares. Más tarde, Robinson y Dadson realizaron un estudio parecido, quizá más preciso, pero con altavoces. Por eso serán las primeras, las que utilizemos en este trabajo.

Como dato curioso me gustaría citar, que estas curvas se traducen en que apreciemos mejor la dinámica de una canción a un volumen moderado, que a un volumen exagerado.

Tono

Viene condicionado por la frecuencia del sonido emitido, y como es normal, por el rango de frecuencias que el ser humano es capaz de percibir, alrededor de 20 a 20KHz.

El tono es el atributo del sonido mediante el cual el oído le otorga un lugar en la escala musical. De esta manera, podemos distinguir entre tonos graves y agudos. La magnitud física que viene asociada al tono es la frecuencia. Hay que tener en cuenta, que la frecuencia es una magnitud objetiva, y que el tono es algo subjetivo.

La tonalidad de un sonido aumenta (o disminuye) conforme aumentamos (o disminuimos) la frecuencia, pero no en la misma medida.

Timbre

Lo normal es que los sonidos que escuchamos no sean tonos puros. Podemos definir al timbre como la personalidad de un sonido. Es lo que nos hace distinguir unos instrumentos de otros (incluso aunque tengan el mismo tono y sonoridad), una voz de otra, etc. Es debido al contenido de armónicos que presenta dicho sonido. El timbre se compone de la suma de su frecuencia fundamental más sus múltiplos o armónicos. La proporción e intensidad de estos armónicos varían en cada voz o instrumento, proporcionando su timbre característico. La descomposición de un sonido en armónicos se puede hacer mediante Series de Fourier.

2.2. El oído

Una onda acústica es una fuerza física. Cuando el oído se expone a niveles de presión acústica durante periodos prolongados, se pueden dar pérdidas de audición. Lamentablemente, estas pérdidas en la mayoría de los casos no se pueden recuperar.

El oído es un órgano muy potente, y es capaz de captar sonidos en un margen dinámico muy amplio.

Está dividido en tres partes:

- *Oído externo*
- *Oído medio*
- *Oído interno*



Fig. 4. Partes del oído

El sonido llega en un principio al oído externo, donde es captado y dirigido al conducto auditivo. El conducto auditivo canaliza estas ondas sonoras a la membrana timpánica, que comienza a vibrar. Las vibraciones de éste son transmitidas por tres huesos diminutos (martillo, yunque y estribo) desde el oído medio al oído interno. El oído interno contiene una espiral (cóclea) llena de líquido. En su interior tiene una membrana que contiene el final del nervio auditivo. Las vibraciones en el fluido excitan

el final del nervio, que transmite los impulsos a lo largo del nervio auditivo hasta el cerebro.

Para lo que nos ocupa, la delgada estructura en forma de caracol llamada cóclea, es la que mayor importancia va a tener, ya que el daño producido por los volúmenes altos, castigan a ésta. La cóclea es un tubo con forma de espiral lleno de líquido.

Como base, y prolongándose a todo lo largo de la espiral, se halla la membrana basilar. El resto de las estructuras del oído, transmiten vibraciones. En cambio, esta membrana transforma vibraciones mecánicas en impulsos eléctricos. La membrana basilar contiene células capilares que son receptores sensoriales para escuchar, y son parte del órgano de Corti. Estas células poseen diferentes durezas, con lo que así se puede explicar por qué podemos diferenciar las tonalidades. Las células capilares sensitivas llevan los impulsos eléctricos a las células nerviosas, que a su vez vuelven a transmitirlos al cerebro. Cuanto más vibre la membrana basilar, más se estimularán las células capilares. Cuantas más células capilares estén estimuladas, el sonido escuchado será más fuerte. Por lo tanto, cuando estas células se dañan, serán menores los impulsos eléctricos que alcancen el centro auditivo del cerebro y la escucha empeorará.

Dentro del oído medio hay un pequeño músculo que se contrae cuando hay un sonido con volumen alto, y se encarga de mover la cadena de huesecillos. Esto es un mecanismo de defensa para proteger el oído interno, ya que se reduce el nivel del sonido antes de que llegue a éste.

El deterioro originado por la acción de los altos niveles de presión sonora (SPL), varía según el tiempo de exposición y el individuo. La acción prolongada de un sonido fuerte, hace que la sensibilidad del oído se reduzca, y por tanto, crea una falsa percepción de que el sonido no es tan fuerte como realmente es.

Un claro ejemplo de esto es cuando se lleva muchas horas en una discoteca, el volumen de la sala parece no estar tan alto. Si acabas de llegar, si se nota.

Un detalle sobre este caso es que algunos Djs tienen el mal vicio de ir subiendo el volumen del equipo de sonido cada vez un poco más, conforme van cambiando de canción y avanzando en el tiempo.

En muchas ocasiones, un timbrazo, un silbido, o un zumbido en el oído u oídos, significan que se están dañando las células capilares. Hay que tener en cuenta, que a exposiciones prolongadas, aunque estos síntomas no se presenten, es posible que lo que sucede, es que se están enmascarando esas sensaciones, y no percatarse de los síntomas hasta llegar a un sitio tranquilo y libre de ruidos.

El final del nervio auditivo se deteriora también de modo natural con la edad. Normalmente, se va perdiendo audición en las frecuencias altas o agudos, y luego en las frecuencias más graves.

Los impulsos nerviosos que se crean en el oído interno, contienen información sobre la amplitud y la frecuencia de la señal sonora captada. Estos dos parámetros, se interpretan mediante la tasa de impulsos y la distribución de estos en las diferentes fibras nerviosas, que llevan la información a distintos lugares del cerebro, que se encarga de sintetizar los impulsos eléctricos recibidos.

2.3. Recepción binaural

El hecho de tener dos oídos no es mera casualidad, es el fruto de la evolución. La audición binaural permite determinar la posición de una fuente sonora gracias a las diferencias entre tiempo e intensidad de un oído y otro.

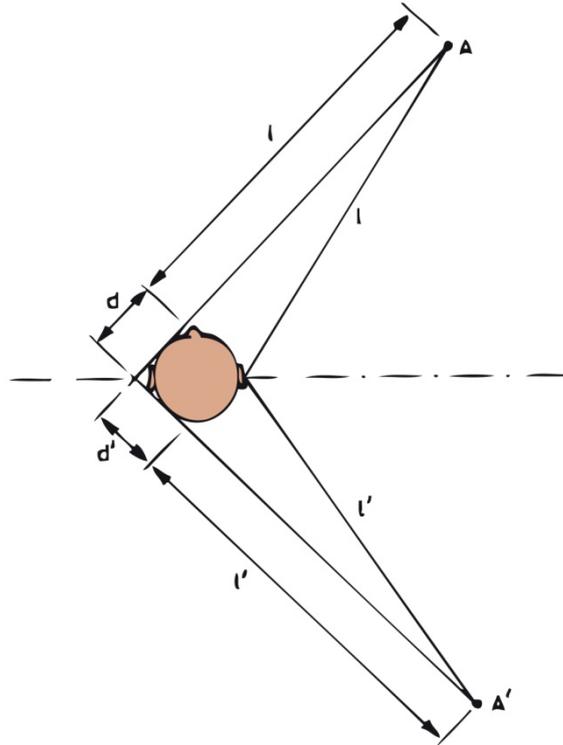


Fig. 5. Recepción binaural

En los seres humanos, los oídos son básicamente dos receptores independientes el uno del otro. No existen interferencias entre ellos, ni combinaciones de frecuencias de lo que recibe cada uno. Lo que recibe uno, es independiente de lo que recibe el otro, y crean efectos distintos en diferentes partes del cerebro. Únicamente para niveles muy altos, pequeñas partes de energía sonora, pasan de un oído a otro. Esto se debe a la conducción de los huesos del cráneo. La información que recibe el cerebro es procesada comparando los impulsos nerviosos que se reciben por cada uno de los oídos, interpretándose finalmente todos los aspectos de la onda sonora (fusión binaural).

El oído derecho y el izquierdo son muy parecidos anatómicamente y funcionalmente. Cada uno de ellos es capaz de dar suficiente información al cerebro para poder distinguir intensidad, tono y timbre.

Intensidad relativa entre los dos oídos

Un sonido que sale desde cierto punto, lo más probable es que llegue antes al oído que está más cerca que al otro.

Cuando una onda acústica se encuentra con un obstáculo, las frecuencias con longitud de onda menores que dicho obstáculo, chocan contra él, mientras que las que tienen una longitud de onda mayor lo rodean (difracción). La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia, con lo que esto se traduce en que habrá un umbral de frecuencias marcado por la longitud de onda del objeto, para las cuales, las más agudas chocarán contra el objeto y las más graves se desviarán.

El tamaño medio de la cabeza de las personas adultas es de unos 18 cm.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{343}{0.18} \approx 1.9 \text{ KHz} \quad (4)$$

Por lo tanto, las frecuencias a partir de los 1.9 KHz hacia arriba, cuando llegan a un oído, lo refleja la cabeza, alcanzando una “sombra de sonido” en el oído opuesto. En definitiva, lo que sucede es que en el oído al que ha llegado primero el sonido se recibe con una intensidad mayor. Las frecuencias más bajas, lo que les sucede es que llegan con un desfase, al desviarse alrededor de la cabeza. Aunque realmente esto no es exactamente así, ya que hay un rango de frecuencias bastante amplio alrededor de este valor en el que las ondas pueden chocar o difractarse parcialmente en la cabeza.

Como conclusión, las frecuencias altas, son más directivas y fáciles de localizar que las bajas.

Intervalo de tiempo de llegada a los dos oídos

También tenemos que añadir algo más, y es el efecto de anticipación, o efecto Haas. Consiste en que cuando un sonido se emite en un espacio que está cerrado por algún sitio (que se pueda reflejar), el sonido directo, como es de esperar, llega antes a nuestros oídos que el sonido reverberado. El sonido reverberado o indirecto, llega a nosotros después de reflejarse en una o varias superficies. Si la diferencia entre sonido directo e indirecto es inferior a 20 milisegundos, los sonidos se fusionan (fusión temporal) y nos parece que procedan del mismo punto. Si diferencia es mayor, nos es más difícil percibir la dirección de la que vienen.

Una cosa destacable es que si la diferencia es superior a 50 milisegundos, ya lo percibimos como un eco (límite entre reverberación y eco).

2.4. Audiología

Es la ciencia que se dedica a estudiar los fenómenos auditivos. Desde tiempos inmemorables, el ser humano ha tenido interés por estos. Pero hasta el año 1922, cuando Wester Electric construyó el primer audímetro nunca se había podido estudiar de un modo objetivo.

La audiolología utiliza recursos provenientes de la electrónica, la programación, anatomía, fisiología, otología, psicología, patología del lenguaje, neurología... Actualmente, en lo que a exploración se refiere, está centrado en la audiometría como conjunto de exploraciones con los que se puede estudiar la audición.

Acumetría

Llamamos acumetría a los métodos de de exploración de la audición que se llevan a cabo por medios no radioeléctricos (diapasones, silbatos...). En la actualidad están en desuso y por lo tanto no les dedicaremos más tiempo.

Audiometría

Las audiometrías consisten en el estudio de la audición con medios electrónicos. Actualmente existen muchas técnicas para la realización de audiometrías, siendo algunas más fiables y/o convenientes que otras según sea el caso.

De las audiometrías es de lo que nos vamos a ocupar en nuestro caso, y es por ellos que vamos a proceder a hacer una clasificación a continuación.

Clasificación de las pruebas audiométricas:

Primeramente haremos una clasificación primaria, según el estímulo que estemos empleando. Las clasificaremos en dos grandes grupos:

- **Audiometría tonal:**
Cuando hacemos una audiometría mediante tonos puros.

- **Audiometría vocal:**
Si en vez de usar tonos, hacemos uso de palabras.

Dentro del gran grupo de la audiometría tonal, podemos hacer una división acerca de las técnicas empleadas:

- **Audiometría tonal liminar:**

Es la técnica en la que se explora el umbral de audición de las diferentes frecuencias (es de vital importancia. De hecho será la que utilicemos en nuestro estudio.)

- **Audiometría tonal supraliminar:**

Cuando se emplean tonos por encima del umbral de la audición del individuo. Para realizarla disponemos de técnicas para el estudio de:

- ✓ Reclutamiento:
Es el aumento anormalmente rápido de la sensibilidad para pequeñas variaciones de intensidad. En ocasiones va acompañado con sensación de distorsión.

- ✓ Adaptación:
Es el fenómeno que se produce cuando estamos sometidos a un estímulo continuado en el umbral de audición, que consiste un

leve deterioro del umbral auditivo. Se recupera al poco tiempo de parar dicho estímulo.

✓ Fatiga auditiva:

Es la sensación que se produce después de un estímulo auditivo prolongado e intenso.

▪ **Audiometría automática de Békésy:**

Es una técnica que está entre liminar y supraliminar.

▪ **Audiometría infantil:**

Se emplean tonos puros, tonos complejos, ruido blanco... pero lo que está bien definido es que está enfocada al estudio de los niños.

▪ **Audiometría por respuestas evocadas:**

No precisan de colaboración por parte del individuo a explorar.

Otro estudio que se realiza, aunque realmente no es una audiometría, es la impedanciometría, que revela el estado del oído del individuo.

2.5. Audición estándar e hipoacusia

Hablar del término estándar dentro del campo de la audición es algo difícil de precisar, ya que se trata de algo que en muchas ocasiones es subjetivo. De cualquier modo, se han establecido unas normas que precisan el estado de normoacusia, o en su defecto, la mayor o menor pérdida del sentido de la audición (hipoacusia).

Básicamente, el estado de audición estándar viene marcado por una serie de parámetros físicos de estímulo, tanto en frecuencia como en intensidad de la onda acústica.

El rango de frecuencias que el ser humano es capaz de discernir abarca desde los 20 a los 20 KHz aproximadamente. A partir de los 25 años más o menos, y conforme se va avanzando en edad, se va perdiendo la capacidad de percepción de los agudos. También se puede agravar debido a las condiciones de trabajo con alta exposición y/o prolongada a niveles altos de presión sonora, como es el caso que nos concierne, ya que en los deejays tienen que soportar un elevado volumen musical durante periodos prolongados.

El oído está formado anatómicamente por tres partes. Externo, medio e interno. Si una parte se ve dañada, esto puede conllevar a una pérdida de audición, es decir, una hipoacusia.

Se dan diferentes maneras de nombrar los tipos de hipoacusias, no obstante, los que vienen a continuación son de los más frecuentes. Los oídos medio y externo, transmiten la onda acústica hasta el oído interno, por lo que cuando existen lesiones en alguna de estas dos partes, se dice que hay una *hipoacusia de transmisión*. Si lo que

está dañado es el oído interno, lo que se produce es una *hipoacusia de percepción*. Si están involucradas tanto partes encargadas de la transmisión, como de la percepción, diremos que nos encontramos con un caso de *hipoacusia mixta*.

Hipoacusias de transmisión:

Las causas que provocan una hipoacusia de transmisión son diversas. Desde un tapón de cerumen, que lo que hace es obstruir el conducto auditivo externo, hasta malformaciones. A veces, de lo que se trata, es de inflamaciones (otitis externas), que producen el mismo efecto.

En la mayor parte de las ocasiones, el problema se da en el oído medio, y lo más típico suelen ser infecciones, ya sean agudas o crónicas.

La cadena de huesecillos, formada por martillo, yunque y estribo, también suele ser atacada con lesiones de hipoacusia de transmisión, debidas principalmente a inflamaciones o fijaciones.

En ocasiones, se puede producir una hipoacusia de transmisión por lesión en el oído interno, que suelen ser debidas a un aumento en la presión de los líquidos laberínticos del vértigo de Ménière. Esto puede conllevar un fuerte vértigo (recordemos que en el oído está el sentido del equilibrio), zumbido y pérdida de audición.

Hipoacusias de percepción:

A las primeras también se les denomina hipoacusias de recepción ya que se localizan en los receptores auditivos. Las causas por las que se dañan las células neurosensoriales del oído interno son múltiples: laberintotoxias (muchas de ellas producidas por antibióticos), traumatismos craneoencefálicos, hipoacusias degenerativas (suelen ser hereditarias)...

A nivel del nervio auditivo, las causas principales de la pérdida de audición suelen ser tóxicos y enfermedades metabólicas.

Dentro de este tipo de hipoacusias, las llamadas centrales, que suelen afectar a vías, núcleos o centros auditivos, no suelen ser comunes. Lo que suele suceder es una dificultad en la discriminación de sonidos complejos (entre ellos la voz), por lo que lo que les sucede a los individuos que padecen este tipo de patología es que no entienden lo que oyen.

2.6. Fenómenos auditivos

Impedancia acústica

Es la impedancia que opone el oído para que atraviese energía acústica a través de él. El sistema por el cual pasa dicha energía para acceder al oído interno es el oído medio. El término opuesto se conoce como compliancia, que es la facilidad que presenta para ser atravesado.

La mayor parte de la energía sonora que llega a través del tímpano, sigue a través de la cadena de huesecillos y alcanza el oído interno por la platina del estribo. Muy poco es reflejado. Es obvio que cuanto más eficaz sea la transmisión, menos se reflejará, y más cantidad de energía pasará al otro lado. Cuando la impedancia aumenta, ya sea debido a enfermedades, desgaste, de nacimiento... más cantidad de sonido será reflejado y por tanto menos pasará al oído interno, con lo que la recepción será menor.

Para estudiar este fenómeno se utiliza la impedanciometría (impedancia) y la timpanometría (compliancia).

Lateralización

Es el efecto que se produce cuando al hacer una audiometría, se envía sonido a un oído y puede ser captado en parte por el otro.

Se produce cuando la diferencia de umbral auditivo entre los dos oídos alcanza una cierta proporción, que para la vía ósea es muy pequeña. En ocasiones cuando hay una diferencia entre 5 y 7 dB entre las dos, puede darse una lateralización, pero lo normal es que haya por lo menos una discrepancia de 15 dB o más.

Este fenómeno se produce en las vías óseas, y es raro que se produzca por el aire (se necesitan más de 40 dB de diferencia).

Hay veces que aunque a priori no se aprecien diferencias entre la audición de ambos oídos, el individuo a explorar, puede notar perfectamente el efecto de la lateralización.

Cabe destacar que en ocasiones puede suceder que una persona sometida a exploración esté sufriendo una lateralización sin darse cuenta de ello y que los resultados de las curvas audiométricas no reflejen el estado real de su audición (curva fantasma).

Para evitar caer en este tipo de medidas erróneas, existen medidas de enmascaramiento o ensordecimiento auditivo.

Enmascaramiento

La percepción de un sonido determinado viene condicionada por la presencia o no de otros, que puedan influir en que escuchemos el sonido en cuestión de cierto modo. De este modo, un sonido emitido en dos lugares distintos, con niveles de ruido de fondo diferente, puede resultar audible o no.

Cuando no tenemos ruido de fondo (idea feliz), podemos definir el umbral de audición. En presencia de un ruido parásito, el mismo sonido, debe de tener un nivel mayor para que pueda ser distinguido. En este caso se dice que el ruido parásito enmascara al sonido en cuestión. El enmascaramiento es la diferencia que hay entre el nivel de intensidad que debe tener el sonido para ser oído en presencia del ruido, y el umbral de audición para ese mismo sonido.

El enmascaramiento de un tono por otro se da en mayor medida cuando los tonos tienen frecuencias próximas, y normalmente, un tono suele enmascarar frecuencias más altas, pero no al revés.

En la Fig. 6, se presenta en lo que se convierte el umbral de audibilidad en presencia de un ruido de banda estrecha (intervalo pequeño). En el caso considerado la frecuencia central de la banda es de 1 KHz. Se verifica, que para ser audibles, los sonidos cuya frecuencia se encuentra en la banda de ruido tienen que tener un nivel de presión sonora que no sea inferior al nivel de presión de la banda de ruido disminuido en 4 dB. Fuera de esta banda, el efecto de enmascaramiento disminuye rápidamente, y mucho más deprisa para los sonidos de frecuencia inferior.

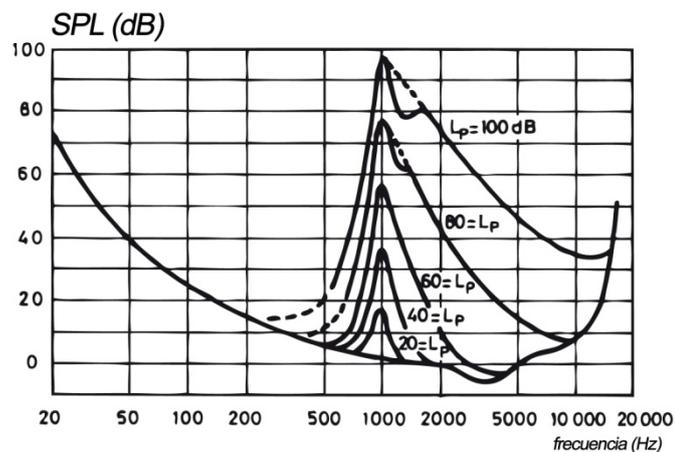


Fig. 6. Enmascaramiento

Conocidas estas propiedades fisiológicas del oído, podemos utilizar técnicas mediante las cuales tratemos de evitar las interferencias de sonido a un oído cuando exploramos el otro debidas a la lateralización.

Reclutamiento

También conocido como *recruitment*, consiste en un aumento anormalmente rápido de la sensación sonora para pequeñas variaciones de intensidad. A veces va acompañado con sensación de cierta distorsión.

Esta alteración de la calidad de la percepción, siempre tiene su origen en la cóclea (también conocida como caracol), situada en el oído interno.

Cabe destacar que son oídos que tienen un umbral auditivo más alto y llegan antes al umbral doloroso, o sea que hay un estrechamiento del campo auditivo. Por tanto, las personas con este problema, poseen un rango dinámico de audición menor al estándar.

Adaptación

Es un fenómeno que tiene lugar durante los estímulos cercanos al umbral de audición. Se trata de un ligero deterioro del umbral auditivo (recuperable), y que cede unos pocos instantes después de hacerlo el estímulo que lo había provocado.

Normalmente, la adaptación es complicada de evidenciar, bien sea por su pequeño valor, o porque necesite que se ejerza un estímulo durante un tiempo considerable.

Fatiga

Al contrario que la adaptación, la fatiga se produce después del estímulo, que además debe de ser intenso.

Podemos clasificarla en dos grados:

Fatiga auditiva I:

Es fisiológica. Se detecta subjetivamente por el individuo que la padece como una disminución del umbral auditivo (ensordecimiento), y se recupera con el reposo.

Cuando el oído sometido a fatiga grado I no llega al suficiente tiempo de descanso, y por lo tanto no se ha recuperado del todo, se pasa al grado II de fatiga.

Fatiga auditiva II:

Es patológica. Se caracteriza porque tiene un tiempo de necesario de recuperación para llegar al umbral normal más largo.

A partir de aquí, lo que tendríamos sería ya un trauma acústico, caracterizado por la persistencia de la pérdida de audición, sin que sea posible una recuperación.

2.7. Causas de las pérdidas auditivas

Podemos clasificar las causas de las pérdidas de audición ateniéndonos a la parte del oído en la que tenemos el problema: pabellón, conducto auditivo externo, oído medio u oído interno.

Pabellón

Realmente, aunque el pabellón (oreja) no tiene prácticamente importancia acústicamente hablando, una deformidad de nacimiento o un accidente posterior, podría suponer un problema a la hora de canalizar las ondas sonoras hacia el interior del oído.

Conducto auditivo externo

Es muy poco frecuente que por causas congénitas, las patologías del conducto auditivo externo produzcan pérdidas auditivas, lo normal es que éstas sean adquiridas.

Las dos causas principales son:

Cerumen:

Es muy habitual que ocasione pérdida auditiva, ya que puede endurecerse dentro del conducto formando un obstáculo que hace que el sonido llegue en menor nivel al interior del oído.

Otitis externas:

La piel que recubre el conducto se hincha provocando mucho dolor y salida de pus. Esto puede provocar una pérdida auditiva recuperable cuando ceda la inflamación.

Oído medio

El oído medio es el hueco que hay justo después del tímpano. Sólo se comunica con el exterior (con la faringe) a través de la trompa de Eustaquio. El oído medio se puede inflamar debido a una otitis, y ello provocar una pérdida de audición.

Existen diversas patologías de esta parte del oído:

Otitis media aguda:

Se produce cuando la trompa de Eustaquio se obstruye a consecuencia de un catarro. Se acumulan mucosidades en el oído medio que son incapaces de salir al exterior, y se infectan.

Otitis media serosa:

Al contrario que la anterior, ésta no se trata de una infección, sino una acumulación de mucosidades en la parte media del oído. Como la trompa de Eustaquio es muy estrecha, dificulta la salida del moco. Pueden producir un poco de sordera, zumbidos o sensación de presión en el oído.

Aerotitis:

Se debe a los cambios repentinos de presión ambiental, como los que se generan cuando un avión despegue o aterriza o al entrar un tren en un túnel. La presión a cada uno de los lados del tímpano es diferente. Lo normal es que sean inofensivos y cuando se restablece la presión el oído vuelve a la normalidad.

Colesteatoma:

Es un crecimiento de la piel localizado en un punto anormal detrás del tímpano (oído medio). Esta malformación puede afectar a la capacidad auditiva del sujeto.

Otosclerosis:

Se debe a que el hueso esponjoso que rodea el laberinto del oído y la cadena de huesecillos pierde la capacidad de conducir el sonido. Es una enfermedad crónica.

Alergias:

Debido a la hipersensibilidad a ciertas proteínas extrañas en el aire o la corriente sanguínea, puede provocar zumbidos o incluso pérdidas auditivas al comer determinados alimentos.

Oído interno

Presbiacusia

La presbiacusia es la disminución progresiva del umbral de audición debida a la edad (suele tener su origen en problemas del oído interno y/o el nervio auditivo, por eso la he incluido en este apartado). Puede empezar a partir de los cuarenta años en personas hereditariamente predisuestas.

La podemos clasificar en cuatro tipos:

➤ ***Sensorial:***

Es debida a la atrofia del órgano de Corti, traduciéndose en una caída brusca de las frecuencias altas y aumenta a partir de la tercera edad del afectado.

➤ ***Nerviosa:***

Ésta es originada por una atrofia del ganglio espiral. La mayor parte de las veces empieza a edades avanzadas y se asocia con una deficiente discriminación verbal.

➤ ***Por atrofia de la estría vascular:***

Es de carácter familiar (hereditaria), y a grandes rasgos, se caracteriza porque la curva audiométrica tiene características de horizontalidad.

➤ ***De conducción coclear:***

Se debe a una rigidez de la membrana basilar. Comienza normalmente a la mediana edad. Se caracteriza por perder sensibilidad a los agudos.

Signos funcionales de la presbiacusia

Normalmente, la evolución de una presbiacusia es lenta pero progresiva. No existen manifestaciones ni signos clínicos hasta los 60 años, pero en la cuarta edad la sordera es evidente.

Se pueden diferenciar tres estadios de la presbiacusia:

➤ ***Sin traducción clínica:***

Suelen pasar desapercibidas, y se caracterizan por una leve modificación de la percepción en las frecuencias agudas.

➤ ***De incidencia social:***

Se da en el caso de que a partir de los 2 KHz hay una pérdida de treinta dB o más. Va avanzando con la edad, y dado el rango de frecuencias afectadas, se observa

una clara disminución de la inteligibilidad de las conversaciones (una voz normal y una voz telefónica se asemejarán cada vez más).

➤ ***De aislamiento:***

Este lamentable caso, se presenta cuando la hipoacusia afecta de modo importante a la comunicación del individuo en cuestión.

Signos acompañantes de la presbiacusia

Los más frecuentes son los dos siguientes:

➤ ***Acúfenos:***

También llamados tinnitus y vulgarmente pitidos en el oído u oídos. Normalmente las presbiacusias no van acompañadas de estos fenómenos en un principio, pero no es raro que en el transcurso de éstas vayan apareciendo. Los pitidos suelen tener una tonalidad aguda.

➤ ***Vértigos:***

El sentido del equilibrio está íntimamente relacionado con el órgano auditivo. Realmente, no es propiamente correcto afirmar que el presbiacúsico padece vértigos, sino más bien se trata de dificultades estáticas y relacionadas normalmente con la dinámica del desplazamiento.

Patología de la presbiacusia

A grandes rasgos se puede dividir en cuatro apartados:

➤ ***Presbiacusia precoz:***

Podemos determinar 3 casos de presbiacusia en edades tempranas:

▪ **Terreno familiar:**

Este caso está relacionado con las distintas formas de sorderas familiares. Por lo tanto está fijado genéticamente.

▪ **Fragilidad adquirida de tipo coclear:**

Se puede deber a multitud de patologías: otitis, antecedentes traumáticos, tóxicos, etc.

▪ **Causas agravantes más significativas:**

Pueden deberse a alteraciones metabólicas, modificaciones de tipo cardiovascular, intoxicaciones exógenas (producida por tóxicos fuera del organismo), exposición a fuertes ruidos...

➤ ***Sordera profesional:***

Relacionado muy estrechamente con este proyecto, realmente, una sordera profesional no comporta una presbiacusia, pero es posible que afecte al oído aportándole cierta fragilidad debida al ruido. La mayoría de los trabajadores expuestos a intensos ruidos, presentan una clara pérdida auditiva a partir de los 50 o 55 años.

➤ **Sordera coclear:**

Se halla sumamente ligado a las diversas incidencias vasculares por modificación de la irrigación coclear y por desórdenes metabólicos secundarios. En este caso, es evidente una hipoacusia muy superior a la característica de la edad.

➤ **Dificultades de discriminación:**

Como la sordera coclear se halla unida al estado vascular del oído interno, el problema de la integración auditiva, depende del estado del sistema nervioso central y el deterioro psicológico e intelectual del individuo.

Pérdidas debidas al ruido

El ruido afecta negativamente a nuestra audición. Cuando nos exponemos a sonidos de alta intensidad sonora, o que duran mucho tiempo, las estructuras sensibles del oído interno pueden ser lastimadas ocasionando pérdidas auditivas. Las células ciliadas del oído interno y el nervio de la audición son dañados. Esta pérdida puede estar acompañada de tinnitus, que normalmente remite con el tiempo.

Si durante años, se está sometido a una exposición continua al ruido fuerte, el daño que se puede ocasionar a los oídos es considerable, ya que las células ciliadas cambian su estructura. Esto conlleva pérdidas y acúfenos.

Por el contrario, la exposición a un sólo ruido, sea este repentino o continuo, puede causar solamente una pérdida de audición temporal, que se suele recuperar en un periodo no superior a dieciséis horas. Este fenómeno se conoce como cambio temporal del umbral de audición.

Los síntomas de las carencias auditivas debidas al ruido por exposición continua, aumentan gradualmente. La percepción puede modificarse de manera que los sonidos puedan escucharse con menos nivel o incluso distorsionados, pudiendo afectar negativamente en el entendimiento del habla. Además, es muy posible que el individuo ni siquiera sea consciente de ello en un principio, y que ello sólo sea detectable mediante una prueba audiométrica.

Normalmente, las consecuencias del ruido no se manifiestan hasta pasados varios años.

El trauma acústico, se puede clasificar en dos grados según su daño:

Primer grado:

Aparece un molesto zumbido agudo, que con el reposo se ve mermado, pero que si el individuo continúa expuesto durante mucho tiempo, permanece.

Segundo grado:

El acúfeno es más intenso y viene acompañado de una pérdida de audición. En casos graves, el pitido perdura.

2.8. Psicoacústica. Audiometrías

La audición en los seres humanos es un proceso constituido tanto por el oído

(refiriéndonos únicamente a la parte física formada por externo, medio e interno) como por la mente, que es donde procesa los estímulos nerviosos provenientes del exterior. Por lo tanto, es un fenómeno con parte psicológica.

A grandes rasgos podemos decir que la psicoacústica se dedica a estudiar la relación entre las propiedades físicas del sonido y como el ser humano interpreta estas propiedades. Por lo tanto, nos sirve para caracterizar auditivamente a las personas.

Más concretamente, para determinar el perfil auditivo de un individuo, lo que se hace es utilizar una herramienta muy útil, la audiometría. Consiste en un conjunto de métodos psicofísicos para medir las sensaciones sonoras y relacionarlas con los estímulos recibidos.

Los métodos para calcular la audición los podemos clasificar de dos maneras:

En función de la adaptación:

Métodos audiométricos no adaptativos

También denominados clásicos, son una serie de procedimientos con ciertas ventajas e inconvenientes que se detallan a continuación:

➤ ***Método de los límites:***

En este primer método, el estímulo al que se somete el individuo está bajo el control del que se encarga de hacer la audiometría. El individuo responde después de cada prueba.

Lo que se hace es enviarle tonos con diferente nivel a la persona a la que se está haciendo la audiometría. Primero, desde una intensidad que le sea perfectamente perceptible hacia abajo, y luego hacia arriba.

El sujeto tendrá que responder (hacer un gesto, tocar un botón...) cuando deje de escuchar el tono en la parte descendente, y luego, en la parte ascendente, indicar cuándo lo oye. Para cada frecuencia se van anotando los resultados, que no tienen por qué coincidir. Lo más normal es calcular la media.

Este método tiene la ventaja de que es bastante rápido, a no ser que se utilicen intervalos muy pequeños entre tonos para conseguir mayor precisión. Es muy útil para localizar la región donde estará el umbral antes de usar el método constante.

Tiene una desventaja evidente, que es que el sujeto puede establecer una diferencia sistemática entre los umbrales “engañando” al experimentador, y por lo tanto, obtener unas lecturas no válidas.

Éste, básicamente es el método que usaremos para establecer el umbral auditivo aproximado mediante el ADM. Lo único, que sólo iremos de abajo hacia arriba ya que los intervalos entre amplitudes en esta parte del software irán de 10 dB en 10 dB y sería redundante ir en las dos direcciones.

Luego precisaremos el umbral mediante una combinación del método de los estímulos constantes y los métodos adaptativos.

➤ ***Método de ajustamiento:***

En esta ocasión, el estímulo es controlado por el sujeto al que se le está

realizando la audiometría. Esta estimulación es continua, no discreta (por saltos). Para conseguir el umbral auditivo, lo que se hace es un proceso descendente hasta que el individuo deja de oír la señal, y ascendente, hasta que se vuelve a percibir. El umbral se calcula como la media entre estas dos medidas.

Es un método muy rápido, pero nada fiable.

➤ ***Método de los estímulos constantes:***

Aquí lo que se hace es presentarle al paciente varios niveles de intensidad de un estímulo de manera aleatoria alrededor del umbral, que se puede haber calculado aproximadamente con anterioridad con el método de los límites.

Éste es diferente de los otros métodos, ya que aquí no se trabaja de manera secuencial.

A priori, el método constante es más preciso. Pero al ser más largo, este método puede provocar fatiga auditiva, ocasionando unas medidas erróneas. No obstante, aunque requiera un gran número de pruebas para obtener resultados correctos, nos proporciona un audiograma válido.

Métodos audiométricos adaptativos

En este tipo de métodos, como su propio nombre indica, lo que hacemos es ir adaptándonos al umbral. Los tonos que se le presentan al sujeto dependen de la respuesta de éste, y el nivel puede ser superior o inferior en cualquier momento.

Una de las principales ventajas de los métodos adaptativos es que no tenemos que conocer a priori el umbral del paciente.

En general son unos métodos bastante rápidos y precisos. A continuación citamos algunos de los más usados:

➤ ***Método automático de Békésy:***

Este método puede ser realizado únicamente por el paciente, sin ayuda de nadie. Consiste en emitir un estímulo continuado. Éste va cambiando de manera fija. Dependiendo de si el paciente aprieta o no un botón, el nivel sube o baja.

Por este método es muy sencillo obtener directamente la curva psicométrica.

➤ ***Método de la escalera:***

Se parece mucho al del límite, pero en vez de hacer un salto al haber un cambio de respuesta, lo que se hace es pasar de subida a bajada y viceversa.

Una vez se han obtenido unos seis u ocho cambios en la respuesta, desestimamos el primer cambio, y sacamos la media de los siguientes, obteniendo de este modo el umbral.

➤ ***Método PEST:***

Siglas de Parameter Estimation by Sequential Testing (estimación de parámetros mediante evaluación secuencial).

Es una variante del método anterior. En este caso, los incrementos dependen de las respuestas anteriores del sujeto. Normalmente, los pasos se dividen entre dos por cada retorno. Adicionalmente, tras un número determinado de respuestas del mismo tipo, se aumenta el paso.

En función de la objetividad:

Métodos objetivos

➤ **Respuestas eléctricas**

Al sujeto a explorar se le envían una serie de estímulos acústicos, que determinan en el encefalograma una modificación de la actividad realizada por el cerebro. Este método recoge potenciales de neuronas de los diversos niveles de la vía auditiva y las fibras del nervio acústico, explorando así de este modo el oído periférico y central, diferenciándose claramente de otros medios, que no pueden obtener este tipo de datos.

➤ **Impedanciometría**

Miden la impedancia del oído medio (masa, elasticidad y resistencia).

➤ **Timpanometría**

Mide la compliancia del tímpano bajo la alteración de presión de aire.

➤ **Reflejo estapedial o cócleoestapedial**

Cuando se aplica un sonido de alrededor 70 dB mayor que el umbral de audición se produce una contracción refleja del músculo del estribo, llamado estapedio. Esto modifica la impedancia del tímpano.

Si no se produce una contracción, puede que exista un problema grave. Pero si por el contrario, sí que se produce (de hecho es fácil que se produzca a niveles de intensidad casi normales), es un modo de descubrir una sordera simulada por parte del explorado.

➤ **Fatiga**

La fatiga auditiva patológica es un indicio de una variación retrococlear de la audición.

Métodos subjetivos

➤ **Tonal**

Se utilizan tonos puros para estimular los oídos. Suelen ir de 250 Hz hasta 8000 Hz, aunque en nuestro estudio he querido aumentar este rango frecuencia para ver que resultados se obtenían.

▪ **Liminar**

Tonos por debajo del mínimo audible. Es la medición del umbral del explorado.

▪ **Supraliminar**

Tonos por encima del mínimo audible. En este caso se usa para obtener datos sobre el rango dinámico y/o reclutamiento del paciente.

Audiometría vocal:

Es otro de los métodos de exploración audiométricos. Está basado en la palabra en lugar de los tonos. Nos ofrece información acerca de la capacidad de comunicación del paciente.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para realizar el estudio audiométrico de la población de deejays, vimos muy útil diseñar un software para realizar las audiometrías.

El programa lo he desarrollado bajo el entorno MATLAB. Esencialmente, se basa en la implementación de una combinación de métodos audiométricos. Principalmente el de los límites, el de los estímulos constantes y una asociación de métodos adaptativos.

Primeramente, para obtener una curva audiométrica aproximada, se ejecuta el método de los límites de modo ascendente. Con los resultados obtenidos con ésta, tenemos un umbral aproximado, que sirve de base para afinar un audiograma mucho más preciso mediante el método de los estímulos constantes y la agrupación de métodos adaptativos.

Para sintetizar el procedimiento de los algoritmos empleados, dibujaré unos diagramas de flujo del diseño del audiómetro virtual que he llamado ADM.

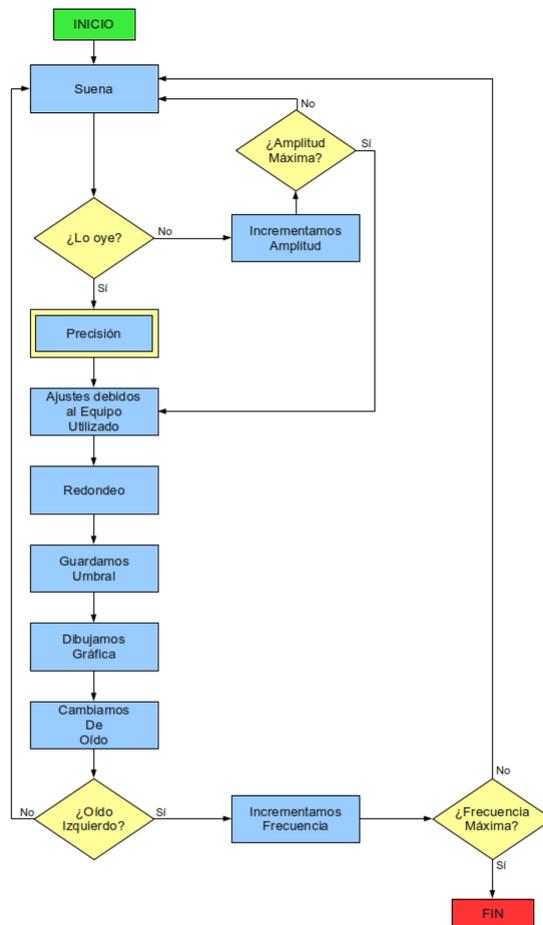


Fig. 7. Diagrama de flujo del ADM 1.0

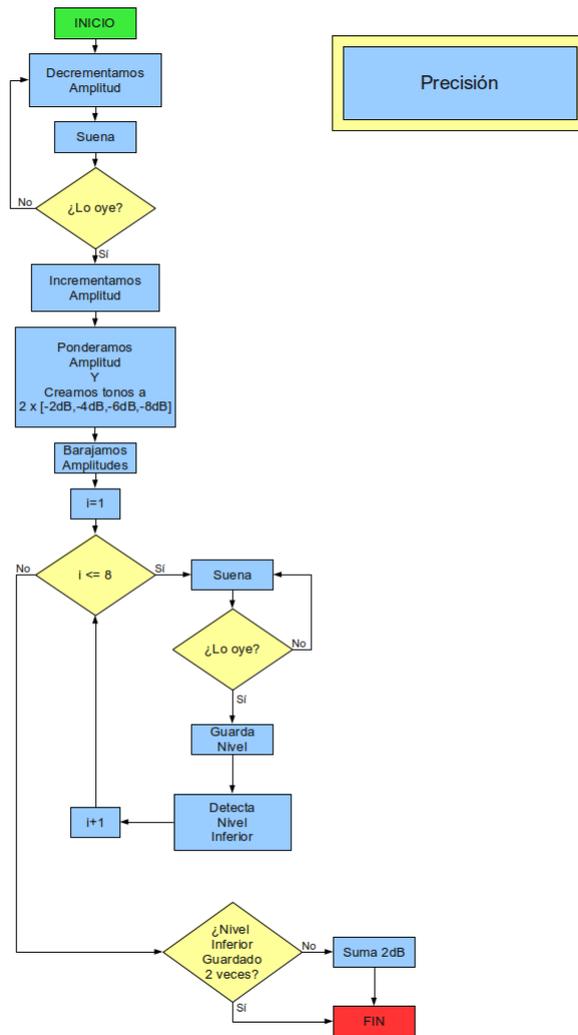


Fig. 8. Diagrama de flujo de la precisión. Algoritmo incluido dentro del ADM 1.0

3.1. Calibración

Normalmente, en las audiometrías convencionales sólo se suele ir desde los 500 Hz hasta los 8KHz. Los tonos generados para efectuar las exploraciones de este estudio están en un rango mucho más amplio, ya que nos interesa observar la respuesta auditiva de nuestro sector profesional en estudio tanto en las frecuencias más graves, como en las más agudas.

Las frecuencias en cuestión son las siguientes:

[125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 12000, 16000, 20000] (Hz)

Por cada frecuencia se han generado distintos archivos de sonido con diferentes amplitudes, nueve en total.

[0, -10, -20, -30, -40, -50, -60, -70, -80] (dB)

Es de vital importancia apreciar que estas amplitudes corresponden a valores relativos, ya que dependerán de las condiciones del hardware que vayamos a utilizar. Factores tales como el volumen sometido por la tarjeta de sonido, impedancia y respuesta en frecuencia de los auriculares, etc., son los condicionantes finales del volumen recibido por los oídos.

Por lo tanto tuvimos que realizar una calibración para calcular el nivel de presión sonora que mandamos realmente por los auriculares a los individuos explorados al hacer las mediciones. Para hacer la calibración hicimos uso de lo que acontece.

Equipo utilizado

- Tarjeta de sonido *Digidesign Mbox2 mini*
- Auriculares *Sennheiser HD25-C II*
- Ordenador portátil *LG E500*
- Dummie *B&K 4100*
- Amplificador *B&K Nexus 2690*
- Calibrador *B&K 4231*
- Osciloscopio *Hameg HM305*
- Cables de conexión

Procedimiento

Colocamos un auricular (que vendrá de la tarjeta de sonido conectada al ordenador portátil) por un oído del dummie, y por el otro, el calibrador.



Fig. 9. Dummie

Dentro de los oídos del dummie hay unos micrófonos *B&K 4190*, que están conectados a los canales del osciloscopio en modo dual. Izquierdo por un lado, y derecho por otro.

Como el calibrador sabemos exactamente que emite 114 ± 0.2 dB con referencia $20 \mu\text{Pa}$ a 1 KHz (ya que estaba apretado el botón de +20 dB), lo único que tendremos que hacer, es compararlo con lo que emitamos desde el PC, y calcular la relación existente.

Realmente, podríamos simplemente haber medido los voltios que llegaban al osciloscopio por un auricular y pasarlos a dB. Pero de este modo conseguiremos mayor precisión, ya que usamos el calibrador como referencia.

Otro detalle es que no sabemos si el amplificador y el cableado van a influir en los voltios que midamos. Y además, aparte de todo esto, aunque el manual del osciloscopio indica que tiene mucha precisión, estos aparatos del laboratorio pasan por muchas manos...

Fijamos los niveles tanto de software como de hardware, que marcaremos y anotaremos para utilizarlos como referencia en las futuras mediciones.

O lo que es lo mismo, dejamos el volumen del ordenador al 100% y no lo tocamos (o nos aseguramos que en cada audiometría que hagamos se encuentre a esa amplitud), y en el potenciómetro de la salida de auriculares de la tarjeta de sonido le hacemos una marca con un rotulador fino para guiarnos en las mediciones posteriores.

Enviamos desde el PC, un tono de 1KHz con 0dB (creado con un editor de audio, al igual que todos los usados en el software creado) relativos por un canal, y por el otro le enviamos el tono conocido del calibrador.

Medimos con el osciloscopio, obteniendo los siguientes resultados:

- **Señal PC:**
6.4 divisiones pico a pico (V) [2 V/div] = 12,8 V_{pp} = 6.4 V
- **Señal calibrador:**
4.6 divisiones pico a pico (V) [5V/div] = 23 V_{pp} = 11.5 V

La señal del PC no podemos comprobarla, porque no tenemos una referencia. Pero la del calibrador sí que es conocida.

$$20 \log \left(\frac{11.5}{2 \cdot 10^{-5}} \right) = 115.1934 \text{ dB} \quad (5)$$

Usamos el 20log porque estamos tratando con tensiones (presiones).

Como suponíamos, no mide exactamente los 114 dB. Puede que el error en la medida venga del calibrador, de los cables, del osciloscopio... o de lo más probable, de una fusión de todos los elementos que intervienen en la medida (incluidos nosotros mismos). No obstante, vamos a suponer que lo correcto son los 114 dB del calibrador.

Por lo tanto, para obtener el nivel de presión que emitimos por el auricular basta con hacer una sencilla relación:

$$20 \log \left(\frac{6.4}{11.5} \right) = -5.0904 \text{ dB} \quad (6)$$

Es decir, que los cascos emiten unos 5 dB menos que el calibrador. Para ser más exactos:

$$\text{Volumen del auricular} = 114 - 5.0904 = 108.9096 \text{ dB} \quad (7)$$

Después de hacer las primeras medidas, me di cuenta que el volumen de la tarjeta estaba demasiado alto para las frecuencias en las que el oído humano es más sensible.

Para no tener que repetir la calibración, opté por una sencilla pero muy válida solución, reducir el volumen. Como en la tarjeta de sonido contamos con un potenciómetro, el cual ya lo teníamos marcado, simplemente le hacemos una marca en un valor más pequeño (que calculamos que será correcto para hacer las audiometrías) y comparamos los niveles de presión entre estos con otro ordenador.

El experimento a realizar es bien sencillo. Mandamos un tono de 1KHz y 0dB desde el portátil donde ejecutaremos el ADM, a la tarjeta de sonido *Creative Sound Blaster Audigy 2 NX* de otro ordenador, y lo medimos en un editor de audio. Lo hacemos con los dos volúmenes previamente marcados en el potenciómetro de la tarjeta *Digidesign* y los comparamos. Repetiremos la medida por lo menos tres veces para asegurarnos de estar haciendo bien las medidas.

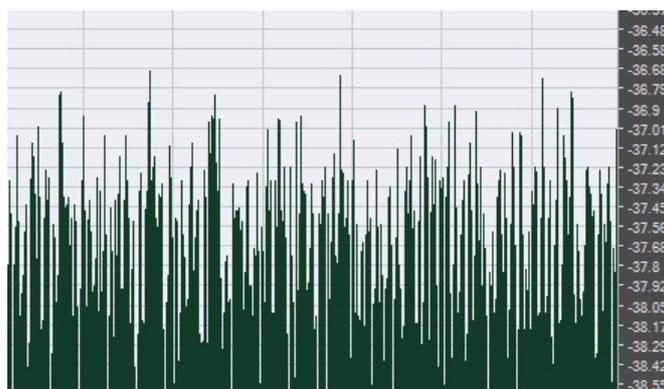


Fig. 10. Medida con el volumen alto

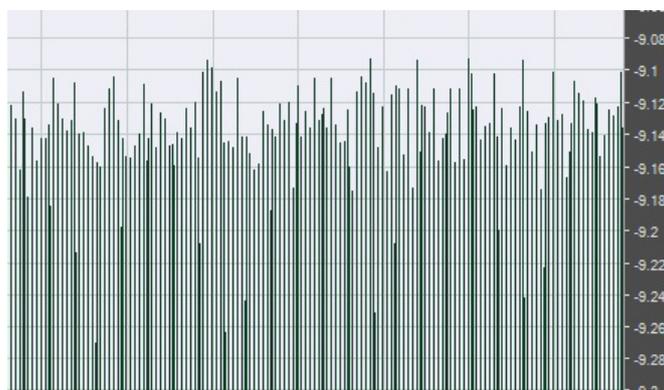


Fig. 11. Medida con el volumen bajo

Las medidas obtenidas fueron las siguientes:

Tabla 1. Medidas de corrección del volumen de la tarjeta

VOLUMEN ALTO (dB)	VOLUMEN BAJO (dB)	Diferencia (dB)	0 dB PC (dB)
-9,12	-37,23	28,11	80,7996
-10,12	-37,50	27,38	81,5296
-10,23	-37,12	26,89	82,0196
		MEDIA =	81,4496

Donde la última columna, sale directamente de restarle la diferencia de dB entre los dos volúmenes (alto y bajo) a los 108.9096 dB que era el volumen emitido por los auriculares.

Hay que tener en cuenta que podemos escoger como valor verdadero la media aritmética de las tres medidas, porque el porcentaje de dispersión es menor del 5%.

$$\tilde{x} = 81.4496 \text{ dB} \tag{8}$$

$$D = 82,0196 - 80,7996 = 1.22 \text{ dB} \tag{9}$$

$$\%D = \frac{100 \cdot D}{\tilde{x}} = \frac{100 \cdot 1.22}{81.4496} = 1.4979\% \tag{10}$$

De hecho obtenemos una dispersión realmente pequeña.

Por lo tanto, el tono a 1KHz creado a 0dB relativos para nuestro software, con el volumen que vamos a darle a la tarjeta son 81.45 dB re 20µPa en los oídos.

Pero también hay que observar que tendremos que hacer también una ponderación del equipo utilizado para hacer las medidas. Sobre todo debido a la respuesta frecuencial no plana de los auriculares (muy pronunciada tanto en las frecuencias agudas como graves).

Para realizar esto calculamos la respuesta en frecuencia del sistema total con un asistente de audio personal *Phonic PAA3* que nos sirve como analizador de espectro.

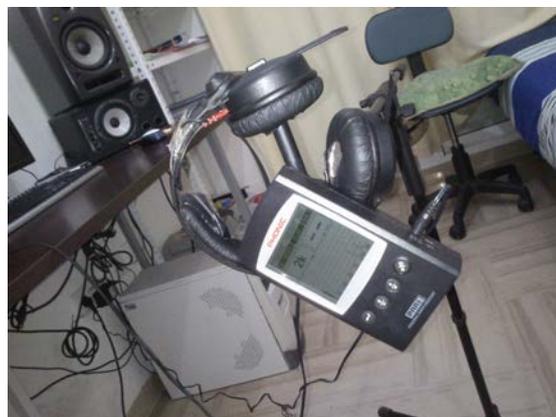


Fig. 12. Calibración de la respuesta en frecuencia del equipo de las medidas

En esta ocasión, para hacer las medidas, creamos un script (ver en anexos ADM 1.0) que emite tonos de tres segundos de duración a las frecuencias que usaremos para hacer las audiometrías.

Al igual que antes, siguiendo el método científico, realizamos tres medidas. No nos hará falta repetir más si conseguimos una dispersión inferior al 5%.

Las medidas son las siguientes:

Tabla 2. Calibración de la respuesta en frecuencia del equipo para realizar las medidas audiométricas

Auricular (dB) / Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000	20000
Izquierdo	62,1	61,9	66,2	77,8	74,2	77,8	76,9	75,9	66,1	62,5
	63	62,4	66,2	78,7	75,3	78,9	79,2	76	66,1	65,3
	65,2	64,7	68,4	79	75,8	79,9	78,2	79	68,7	63,9
Media	63,4333	63,0000	66,9333	78,5000	75,1000	78,8667	78,1000	76,9667	66,9667	63,9000
Dispersión	3,1	2,8	2,2	1,2	1,6	2,1	1,3	3,1	2,6	2,8
Dispersión (%)	4,8870	4,4444	3,2869	1,5287	2,1305	2,6627	1,6645	4,0277	3,8825	4,3818
Derecho	61,3	61,6	69	79,3	75,4	78,7	78,9	76	68,4	64,3
	60,4	60,9	68,1	78,3	74,4	76,2	76,5	76,4	65,6	61,5
	61,5	61,3	68	80,8	77,7	80,1	77,7	78,7	66,5	63,3
Media	61,0667	61,2667	68,3667	79,4667	75,8333	78,3333	77,7000	77,0333	66,8333	63,0333
Dispersión	1,1	0,7	1	2,5	3,3	3,9	2,4	2,7	2,8	2,8
Dispersión (%)	1,8013	1,1425	1,4627	3,1460	4,3516	4,9787	3,0888	3,5050	4,1895	4,4421

Aunque no con tanta exactitud como antes, conseguimos unos porcentajes de dispersión aceptables, con lo que las medias aritméticas las podemos considerar como los valores reales para ponderar las frecuencias.

Recordemos que el tono de referencia era a 1KHz. Por tanto, calcularemos la diferencia entre cada una de las frecuencias con respecto a esta tonalidad.

Tabla 3. Coloración del equipo

Auricular (dB) / Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000	20000
Izquierdo	-15,0667	-15,5000	-11,5667	0,0000	-3,4000	0,3667	-0,4000	-1,5333	-11,5333	-14,6000
Derecho	-18,4000	-18,2000	-11,1000	0,0000	-3,6333	-1,1333	-1,7667	-2,4333	-12,6333	-16,4333

Un detalle muy importante, es que esto será lo que tengamos que sumar a lo que obtengamos en las medidas. Es decir, por ejemplo a 500 Hz, hay que restarle 11.1 dB (el umbral realmente estará por debajo de lo que daba el audiograma sin esta ponderación), ya que la respuesta del equipo a esa frecuencia es 11.1 dB menor que a 1KHz (no al revés).

Para dejar más claro esto haremos una representación gráfica, que hará que quede todo más visual y sencillo:

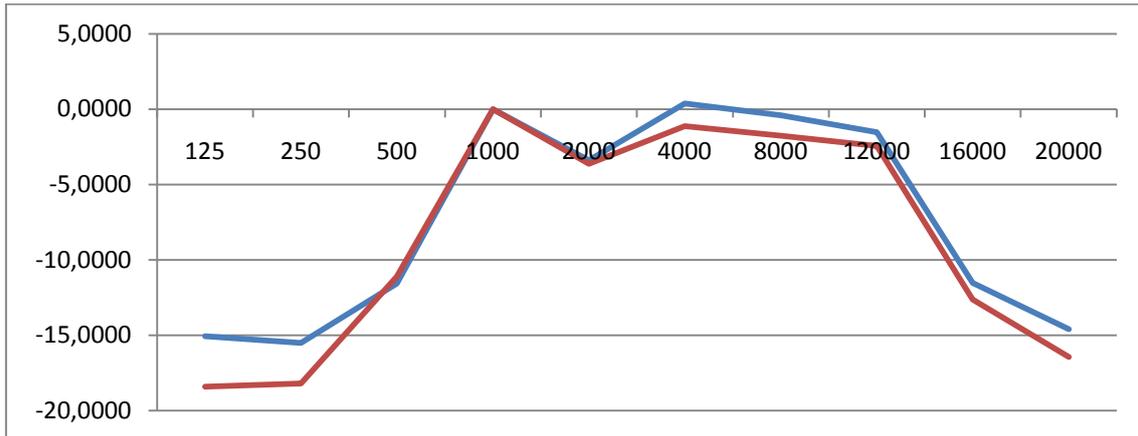


Fig. 13. Coloración del equipo donde se hacen las medidas

Aquí vemos claramente que a pesar de lo expuesto en las especificaciones de los aparatos la respuesta sólo es ligeramente plana en el rango entre 1KHz y 12KHz. Por lo que era ineludible realizar esta calibración para obtener los resultados reales en las audiometrías.

Todas estas ponderaciones, calibraciones, etc., las he incluido directamente en el software para que directamente nos dé el umbral de audición.

Si en un futuro se desea realizar otras medidas en otro equipo, habrá que modificar el script ajuste_equipo.m para que los resultados sean correctos.

3.2. Criterio seguido para realizar el estudio

Recordemos que el objetivo principal de este proyecto final de carrera es caracterizar un perfil de individuo en función de ciertos parámetros. El perfil profesional de estas personas no es otro que el de la profesión del que pone música en locales nocturnos.

A cada uno de los deejays explorados, aparte de las audiometrías, se les hace una serie de preguntas para valorar los resultados de las medidas en función de estas características.

En la siguiente tabla se detallan los parámetros:

Tabla 4. Parámetros de los Djs

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
Nº INDIVIDUO	<i>A cada uno se le asigna un número</i>	Entero positivo
EDAD	<i>Edad del explorado</i>	Años
EXPOSICIÓN	<i>Los años que lleva activamente en la profesión</i>	Años
	<i>Dependerá de si trabaja en una discoteca, en un pub, hace bolos...</i>	Horas
	<i>Cuantos días a la semana pincha (Jueves, Viernes...)</i>	Días
NIVEL EN CABINA	<i>Lo fuerte que se pone los monitores</i>	Nulo (1), Bajo (2), Medio (3), Alto (4), Muy Alto (5)
	<i>Lo fuerte que se pone los auriculares</i>	Nulo (1), Bajo (2), Medio (3), Alto (4), Muy Alto (5)

Finalmente, al explorar un número suficiente de individuos, obtendremos una población que nos permitirá definir un perfil modelo de audición de los deejays.

Podríamos pensar que simplemente con comparar este audiograma modelo con la curva del umbral de audición de Fletcher-Munson, nos bastaría para confrontar con el perfil estándar de audición. Pero no lo vamos a hacer así. No porque estas gráficas fueran realizadas empíricamente hace muchos años. Ya que no difieren realmente mucho de la curva de mínimo nivel audible de las registradas en la última normativa establecida, la ISO 226:2003 (tal y como decíamos en la introducción teórica de este trabajo). La razón es porque si existe algún error en la medida sistemático, lo cometeremos por igual en los individuos de los dos conjuntos de la población (Djs y No Djs). Y al comparar los resultados es más probable que este tipo de fallos se minimicen, y podamos realizar mucho mejor una comparativa.

Además, la edad comprendida de los explorados (de 18 a 25 años) en las exploraciones de las citadas curvas isofónicas, no corresponde exactamente con la de las mediciones que haré en este experimento, que serán un poco más mayores. Por tanto, las curvas, sólo las vamos a tener en cuenta para guiarnos a grosso modo de que estamos obteniendo unas medidas correctas.

Por lo tanto, lo más acertado será realizar también audiometrías a personas que no se dedican a poner música, y que tengan las mismas edades para poder contrastar los audiogramas de manera inequívoca.

Para hacer las medidas hubiera sido ideal haber dispuesto de una cabina audiométrica. En su defecto, habilité en una habitación todo lo necesario para hacer las medidas lo más correctamente posible, y también, así de este modo, que todas las medidas se hicieran en el mismo sitio para que se reunieran las mismas condiciones.

En todas las audiometrías, medí el nivel de ruido de fondo, asegurándome que siempre fuera menor de 30 dBA. Cargué la habitación con 2 colchones dentro, más otro en la puerta, metí un sillón, cerraba las ventanas de climalit, bajaba la persiana... En fin, el acondicionamiento acústico de la sala, favorecía un tiempo de reverberación muy bajo, que aunque no sea propiamente dicho una manera de aislamiento, si ayudaba a que el ruido que se colara dentro de la habitación se atenuara lo más rápido posible.

Y lo que posiblemente más ayudó, fue la inexistencia de vecinos contiguos, y el realizar las medidas a horas nocturnas, cuando el nivel de ruido externo tiene menos poder para enmascarar el umbral.

Otro detalle, que no está de más comentar es que la duración de cada audiometría duraba alrededor de 15 – 20 minutos. Si hubiéramos tardado más, se podría haber producido fatiga auditiva, y por lo consiguiente un error en las medidas.

El ADM mide hasta 20KHz (audible sólo para personas muy jóvenes), pero he rechazado la última frecuencia porque en muchos de los casos, los individuos no llegaban a oír el nivel más alto, y lo que sucede es que el programa guarda el valor más grande por defecto. Con lo cual, no teníamos una estimación correcta.

4. DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Para realizar nuestros cálculos hice audiometrías a una población de 25 personas.

Un conjunto de 15 deejays con edades comprendidas entre 21 y 36 años, todos del sexo masculino (la mujer va poco a poco incorporándose a este sector, pero sigue siendo una profesión con una clarísima tendencia a ser desarrollada por hombres).

Para representar a los no deejays, fue suficiente con un conjunto de 10 personas entre 25 y 38 años, formada por 7 hombres y 3 mujeres.

Un dato a destacar es que a pesar de que la media de edad del conjunto de los deejays (27) fue 2 años menor que la de los no deejays (29), se han apreciado muy claramente las diferencias entre uno y otro conjunto.

Como consecuencia de las pérdidas de audición debidas a la edad, es de suponer que si hubiera sido esta diferencia de edad al revés, aún hubieran sido más destacadas las variaciones al comparar las medias de las medidas (Ver **UNE-EN ISO 7029=2000** Distribución estadística de los umbrales de audición en función de la edad).

A continuación adjunto las tablas con las medidas realizadas a toda la población.

4.1. Medidas de los Djs

Tabla 5. Djs explorados en el experimento (Parámetros)

Nº INDIVIDUO	EDAD	EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
		AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
1	21	5	6	1	3	4
2	33	8	5	4	2	3
3	22	4	5	3	3	3
4	31	2	5	2	1	3
5	24	2	5	2	4	4
6	24	3	5	3	4	3
7	21	4	8	1	2	3
8	24	5	8	1	4	5
9	33	15	6	4	2	4
10	27	6	4	3	1	2
11	28	5	4	1	1	3
12	23	5	2	2	2	5
13	28	14	2	1	1	4
14	36	12	6	2	3	3
15	34	5	4	3	2	3
MEDIA =	27	6	5	2	2	3

Tabla 6. Djs explorados en el experimento (Oído Izquierdo)

	OÍDO IZQUIERDO (f, dB)								
Nº INDIVIDUO	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
1	34	22	18	16	4	18	20	44	64
2	16	22	6	12	6	36	16	52	70
3	56	40	30	20	20	32	22	40	50
4	38	40	24	20	20	46	22	44	71
5	26	26	20	20	18	22	12	30	50
6	28	26	20	32	40	72	22	50	70
7	22	16	4	6	10	16	22	34	34
8	30	12	14	26	22	34	22	26	70
9	26	28	16	20	20	44	66	56	70
10	20	18	14	6	24	56	8	36	46
11	12	16	6	8	6	4	16	4	62
12	20	20	6	10	4	6	-2	24	52
13	22	2	16	6	4	-4	16	16	34
14	38	36	30	22	30	62	72	50	70
15	14	18	4	30	16	36	20	24	70
MEDIA =	27	23	15	17	16	32	24	35	59

Tabla 7. Djs explorados en el experimento (Oído Derecho)

	OÍDO DERECHO (f, dB)								
Nº INDIVIDUO	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
1	26	20	14	10	12	20	20	34	56
2	18	12	6	6	2	28	14	22	64
3	52	34	20	30	18	30	20	30	70
4	52	34	14	30	0	12	20	30	70
5	24	24	20	22	18	20	10	40	58
6	24	24	22	32	48	52	30	80	70
7	24	14	12	12	8	22	20	28	40
8	20	8	16	16	20	26	24	22	42
9	28	20	16	20	10	26	24	42	70
10	20	16	8	8	20	56	14	24	52
11	6	8	8	8	-6	6	18	38	64
12	18	10	12	10	10	4	-2	24	42
13	6	-4	8	6	22	26	10	14	36
14	34	24	32	32	28	32	80	60	50
15	18	18	38	48	32	44	28	16	70
MEDIA =	25	17	16	19	16	27	22	34	57

4.2. Medidas de los No Djs

Tabla 8. No Djs explorados en el experimento (Parámetros)

Nº INDIVIDUO	SEXO	EDAD
1	V	29
2	V	38
3	V	30
4	V	27
5	V	25
6	V	31
7	V	35
8	M	24
9	M	25
10	M	27
MEDIA =		29

Tabla 9. No Djs explorados en el experimento (Oído Izquierdo)

Nº INDIVIDUO	OÍDO IZQUIERDO (f, dB)								
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
1	22	20	10	10	2	16	10	12	70
2	28	22	16	18	14	24	16	14	70
3	22	10	14	14	18	14	8	44	46
4	16	8	6	8	4	30	16	10	44
5	26	20	16	22	14	20	26	38	70
6	22	20	4	8	2	4	16	20	54
7	28	10	14	16	16	20	34	34	52
8	26	38	32	38	34	10	6	24	70
9	32	18	16	24	18	18	26	28	70
10	18	10	8	14	14	8	16	14	42
MEDIA =	23	16	12	16	12	15	16	22	53

Tabla 10. No Djs explorados en el experimento (Oído Derecho)

Nº INDIVIDUO	OÍDO DERECHO (f, dB)								
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
1	18	16	10	14	2	30	12	38	74
2	20	20	22	20	2	6	16	40	74
3	20	22	18	18	16	12	22	28	50
4	14	12	8	10	2	18	10	30	48
5	20	16	12	18	18	14	28	46	74
6	18	14	8	14	8	20	40	34	68
7	18	14	14	24	18	12	30	20	36
8	28	22	8	18	14	10	16	28	74
9	26	14	24	20	24	22	30	38	74
10	12	12	8	22	26	22	22	18	50
MEDIA =	18	15	12	16	12	15	21	29	57

En estas tablas se recogen todas las medidas realizadas, pero la manera más visual de comparar los dos conjuntos de la población es mediante la representación gráfica.

La media de cada una de las frecuencias a dos los oídos nos servirá para la elaboración de individuos modelos.

4.3. Gráficas de los individuos modelos

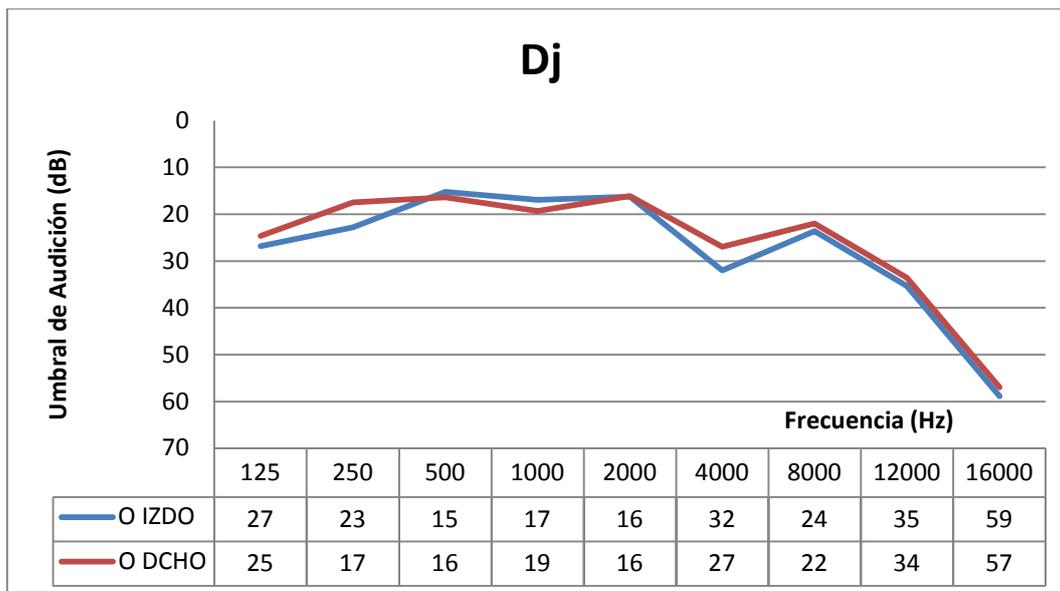


Fig. 14. Gráfica del promedio de los Djs explorados

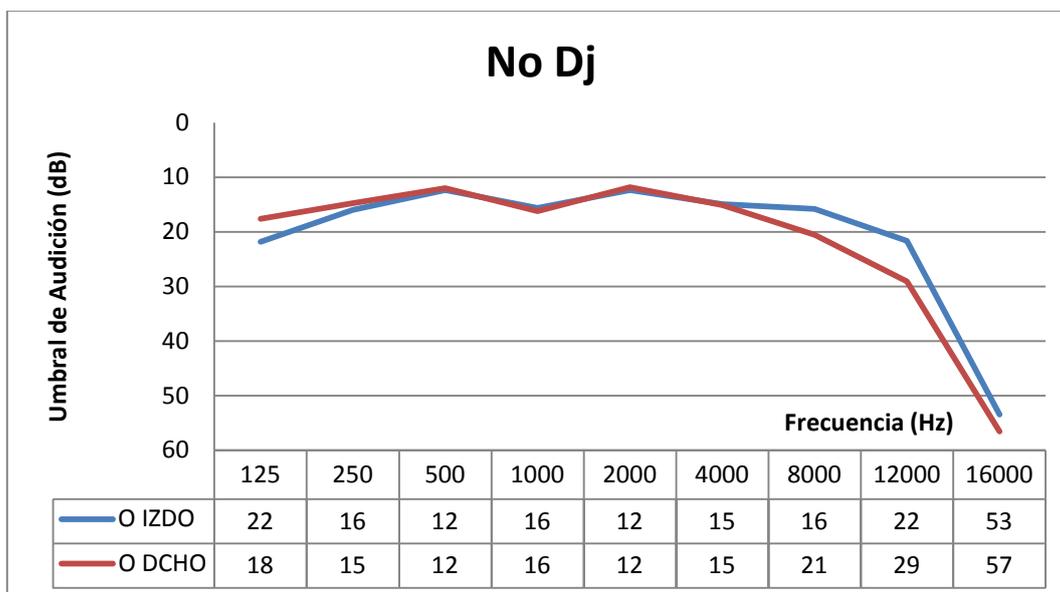


Fig. 15. Gráfica del promedio de los No Djs explorados

Siempre se ha dicho que una imagen vale más que mil palabras... Los resultados no pueden ser más elocuentes.

Se observan 3 tendencias muy claras:

1. Los Djs tienen en general un umbral más alto que los que no lo son. Es decir, necesitan un estímulo de mayor nivel sonoro para escuchar lo mismo.
2. A frecuencias altas tienen peor capacidad auditiva.
3. Existe una clara tendencia al trauma acústico¹ (casi seguro provocado por la exposición prolongada a altos niveles de presión sonora).

4.4. Parámetros de los Djs

Edad

Podemos reordenar las tablas en función de la edad de los individuos, y observar si se aprecia algún resultado aparente.

Realmente con una muestra de 15 personas, algo tan específico debe de ser difícil de apreciar...

Para simplificar, vamos a fusionar los umbrales de ambos oídos en uno.

Tabla 11. Umbral de audición general de los Djs (Izquierdo y Derecho)

UMBRAL DE AUDICIÓN (f, dB)									
Nº INDIVIDUO	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
1	30	21	16	13	8	19	20	39	60
2	17	17	6	9	4	32	15	37	67
3	54	37	25	25	19	31	21	35	60
4	45	37	19	25	10	29	21	37	70,5
5	25	25	20	21	18	21	11	35	54
6	26	25	21	32	44	62	26	65	70
7	23	15	8	9	9	19	21	31	37
8	25	10	15	21	21	30	23	24	56
9	27	24	16	20	15	35	45	49	70
10	20	17	11	7	22	56	11	30	49
11	9	12	7	8	0	5	17	21	63
12	19	15	9	10	7	5	-2	24	47
13	14	-1	12	6	13	11	13	15	35
14	36	30	31	27	29	47	76	55	60
15	16	18	21	39	24	40	24	20	70

¹ Trauma acústico es una lesión del oído debida a ruidos fuertes. Suele darse una pérdida de audición a las frecuencias en torno a 3KHz y 6KHz, con una recuperación hacia los 8KHz. Con el tiempo esta “cuña” se puede ir ensanchando y afectar a un rango frecuencial más amplio, dificultando la inteligibilidad del rango de la palabra escuchado por el afectado.

Y ahora reordenamos los individuos en función de la edad, de menor a mayor.

Tabla 12. Umbral de los Djs en función de la edad

UMBRAL DE AUDICIÓN EN FUNCIÓN DE LA EDAD (f, dB)									
Nº INDIVIDUO	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
1	30	21	16	13	8	19	20	39	60
7	23	15	8	9	9	19	21	31	37
3	54	37	25	25	19	31	21	35	60
12	19	15	9	10	7	5	-2	24	47
5	25	25	20	21	18	21	11	35	54
6	26	25	21	32	44	62	26	65	70
8	25	10	15	21	21	30	23	24	56
10	20	17	11	7	22	56	11	30	49
11	9	12	7	8	0	5	17	21	63
13	14	-1	12	6	13	11	13	15	35
4	45	37	19	25	10	29	21	37	70,5
2	17	17	6	9	4	32	15	37	67
9	27	24	16	20	15	35	45	49	70
15	16	18	21	39	24	40	24	20	70
14	36	30	31	27	29	47	76	55	60

Como ya presuponíamos, con sólo 15 individuos explorados, la edad no nos aporta apenas información.

Años

Recordemos que los el parámetro años, indica el tiempo que lleva el Dj pinchando de manera continuada. Representamos directamente la tabla:

Tabla 13. Umbral de los Djs en función de los años en el oficio

UMBRAL DE AUDICIÓN EN FUNCIÓN DE LOS AÑOS QUE SE LLEVA EN LA PROFESIÓN (f, dB)									
Nº INDIVIDUO	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
5	25	25	20	21	18	21	11	35	54
4	45	37	19	25	10	29	21	37	70
6	26	25	21	32	44	62	26	65	70
7	23	15	8	9	9	19	21	31	37
3	54	37	25	25	19	31	21	35	60
1	30	21	16	13	8	19	20	39	60
12	19	15	9	10	7	5	-2	24	47
8	25	10	15	21	21	30	23	24	56
11	9	12	7	8	0	5	17	21	63
15	16	18	21	39	24	40	24	20	70
10	20	17	11	7	22	56	11	30	49
2	17	17	6	9	4	32	15	37	67
14	36	30	31	27	29	47	76	55	60
13	14	-1	12	6	13	11	13	15	35
9	27	24	16	20	15	35	45	49	70

Al igual que antes, he ido realizando gráficas frecuencia por frecuencia, de menor a mayor tiempo en la profesión, para ver si se vislumbraba alguna tendencia, pero tampoco se ha podido ver nada con tan pocos explorados.

Horas

Vamos a ver qué sucede con este parámetro. Son las horas que pincha de media cada vez que lo hace. Por ejemplo, alguien que pinche en un pub, tendrá una media de 4 horas.

Tabla 14. Umbral de audición en función de las horas

UMBRAL DE AUDICIÓN EN FUNCIÓN DE LAS HORAS (f, dB)									
Nº INDIVIDUO	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
12	19	15	9	10	7	5	-2	24	47
13	14	-1	12	6	13	11	13	15	35
11	9	12	7	8	0	5	17	21	63
15	16	18	21	39	24	40	24	20	70
10	20	17	11	7	22	56	11	30	49
5	25	25	20	21	18	21	11	35	54
4	45	37	19	25	10	29	21	37	70
6	26	25	21	32	44	62	26	65	70
3	54	37	25	25	19	31	21	35	60
2	17	17	6	9	4	32	15	37	67
1	30	21	16	13	8	19	20	39	60
14	36	30	31	27	29	47	76	55	60
9	27	24	16	20	15	35	45	49	70
7	23	15	8	9	9	19	21	31	37
8	25	10	15	21	21	30	23	24	56

En este parámetro ya reconocemos una tímida tendencia hacia aumentar el umbral (oír menos), cuantas más horas se le dedica a la labor.

Días

Para finalizar este parámetro es el promedio de días a la semana que pincha profesionalmente.

UMBRAL DE AUDICIÓN EN FUNCIÓN DE LOS DÍAS (f, dB)									
Nº INDIVIDUO	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
13	14	-1	12	6	13	11	13	15	35
11	9	12	7	8	0	5	17	21	63
1	30	21	16	13	8	19	20	39	60
7	23	15	8	9	9	19	21	31	37
8	25	10	15	21	21	30	23	24	56
12	19	15	9	10	7	5	-2	24	47
5	25	25	20	21	18	21	11	35	54
4	45	37	19	25	10	29	21	37	70
14	36	30	31	27	29	47	76	55	60
15	16	18	21	39	24	40	24	20	70
10	20	17	11	7	22	56	11	30	49
6	26	25	21	32	44	62	26	65	70
3	54	37	25	25	19	31	21	35	60
2	17	17	6	9	4	32	15	37	67
9	27	24	16	20	15	35	45	49	70

Igual que en el caso anterior, también se vislumbra que cuantos más días se fuerzan los oídos, más se hipoacusia se produce.

4.5. Ecuación compensada

Una idea feliz sería pensar que si diseñamos una ecualización que compense las pérdidas que se tienen con respecto al oído estándar de manera individualizada, escucharíamos correctamente.

Para empezar muy posiblemente estaríamos forzando aquellas frecuencias a las que tenemos peor audición con sus posibles secuelas.

Y otro factor importantísimo es que el cerebro se “entrena” a escuchar. Es decir, se acostumbra a percibir los sonidos de un modo determinado y crea sus propias respuestas, con lo que es algo realmente complicado...

No obstante, no creo que esté de más realizar una prueba empírica, ya que en un principio pensaba realizar esto. De modo que vamos a realizar el experimento con mi propia persona y comentaré los resultados.

Para realizar el ensayo, usaré de nuevo la tarjeta *Digidesign Mbox2 mini* y unos monitores de estudio *KRK RP6 G2*, que cuentan con una respuesta en frecuencia muy buena. Según las especificaciones, de 48-20KHz con un rizado de ± 1.5 dB. Dato quizá algo exageradamente bueno por parte del fabricante. Habría que medirlo en laboratorio...

De todos modos, es un buen equipo para hacer las pruebas.

Los resultados de mi audiometría:

Tabla 15. Resultados de audiometría de Gabi Nimble

(Hz/dB)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
O IZDO	16	22	6	12	6	36	16	52	70
O DCHO	18	12	6	6	2	28	14	22	64

Para ver el umbral de audición estándar en esta ocasión si nos fijamos en la curva de nivel mínimo de audición de la norma **ISO 226:2003**. Se leen los siguientes datos de la gráfica:

Tabla 16. Umbral de audición estándar

(Hz/dB)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
O IZDO	14	10	6	2	-2	-6	12	14	20
O DCHO	14	10	6	2	-2	-6	12	14	20

Restamos las dos tablas obteniendo de este modo la ecualización que haría falta para compensar mis oídos para que se igualaran los umbrales.

Tabla 17. Ecualización compensada

(Hz/dB)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	12000	16000
O IZDO	2	12	0	10	8	42	4	38	50
O DCHO	4	2	0	4	4	34	2	8	44

Mediante un software de edición de audio me voy a disponer a ecualizar gráficamente los canales izquierdo y derecho separadamente de una canción producida por mí (en formato *.wav), de modo que la conoceré muy bien. La escucharé sin y con ecualización y comentaré los resultados.

Para poder realizar esto tendré que bajar bastante el volumen de la señal que representa la canción para que cuando le apliquemos la distorsión no se produzca distorsión.

Un detalle muy importante, es que escucharé la música a un volumen muy bajo para poder apreciar mejor el estudio a realizar, ya que a mayor volumen, las curvas isofónicas se van haciendo cada vez más planas y perdemos recepción en dinámica.

Resultados

Hecho. Los resultados han sido quizá incluso más exagerados de lo que podía imaginar. Mi cerebro no está acostumbrado a recibir el sonido de ese modo, y lo que ha escuchado ha sido desagradablemente agudo, e incluso en ocasiones me ha causado cierto mareo y malestar (recordemos que en el oído está el sentido del equilibrio).

Por lo tanto, lo de realizar una ecualización compensada, efectivamente, no era algo trivial...

4.6. Precauciones y soluciones

Para evitar dañarse los oídos, lo más recomendable es no someterse a tiempos prolongados de fuerte presión acústica. En 7.1, hay una tabla que indica los periodos estipulados máximos de exposición al ruido.

Si esto no es posible, pueden usarse protectores auditivos. Ya sean cascos si se está trabajando en un sector que permita (e incluso obligue) su utilización, o tapones.

En los últimos años se ha avanzado mucho al respecto y hay a la venta gran variedad de estos, que atenúan a las frecuencias más perceptibles de ser perjudicadas.

No olvidemos que hoy por hoy, el tema de recuperar audición es muy delicado, y es un tema que necesita mucha investigación aún. Lo que más podemos hacer es prevenir y cuando un oído ya está dañado, tratar de que no se perjudique más aún.

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

La conclusión global de este trabajo final de carrera es que la profesión del Dj, tiene el gran inconveniente de ser muy propensa a generar pérdidas de audición: disminución generalizada del umbral auditivo, traumas acústicos y pérdida de brillo (frecuencias altas) en la escucha.

A mayor exposición a niveles altos y prolongados, mayor probabilidad de daños.

Debido a la elevación de los umbrales, y a que las curvas isofónicas se van haciendo cada vez más planas conforme aumentamos el nivel de intensidad acústica, muchos deejays tienen que elevar mucho el nivel de los cascos para poder escuchar correctamente las canciones.

Para sacar conclusiones sólidas de parámetros como la edad, los años que se lleva en la profesión, días, horas... harían falta tomar medidas a mucha más gente, para conseguir sacar cosas realmente en claro.

Aunque también se podría pensar que no están tan sumamente relacionados estos parámetros con las pérdidas. Puede que sean sucesos independientes...

La realización de este proyecto me ha sido muy útil para investigar sobre un campo apasionante, la audición humana. He adquirido muchos conocimientos muy interesantes y útiles, ya que incluso he sido capaz por mis propios medios de detectar patologías destacadas del oído en varios individuos (incluido yo mismo).

La sugerencia por parte de mi tutor, de realizar una aplicación gráfica para realizar las audiometrías, ha hecho que mi esfuerzo se tuviera que prolongar mucho más tiempo, pero dado que apenas había indagado en este campo, esto me abre futuras líneas de trabajo, ya que ahora me veo mucho capacitado para la elaboración de software no trivial, y ello puede (y seguramente lo haga) valerme en un futuro cercano.

Una futura línea, podría ser realizar el estudio para una muestra mucho mayor de individuos, para poder obtener más conclusiones.

Otra cosa que podríamos hacer, sería el desarrollo del ADM bajo otro lenguaje de programación (por ejemplo para realizar una aplicación para android o iphone), y realizarle algunos cambios. Sobre todo para que el usuario fuera capaz de realizar una calibración muy sencilla, sin quitarle precisión a las medidas.

6. REFERENCIAS

6.1. Bibliografía

- Alten, S. R. (1994). *El manual del Audio en los medios de comunicación*. Andoain: ANtza.
- Austern, L. e. (2005). *Hearing cultures : essays on sound, listening and modernity* . Oxford: BERG.
- Beranek, L. L. (1996). *Acoustics*. Woodbury: Acoustical Society of America.
- Bhanu, B., & Chen, H. (2008). *Human ear reconigtion by computer*. London: Springer.
- Blauert, J. (1996). *Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization*. Cambridge: The MIT Press.
- Carrión Isbert, A. (2006). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: UPC.
- Daumal Domènech, F. (1998). *Arquitectura acústica: I Poètica*. Barcelona : Edicions UPC.
- De Cos Juez, F. J., & al, e. (2001). *Sonometría y contaminación acústica*. Logroño: Universidad de La Rioja (Servicio de publicaciones).
- Durá Doménech, A. (2005). *Temas de acústica*. San Vicente del Raspeig: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Garrido, A. (1997). *Principios de acústica*. Madrid: Sanz y Torres.
- Gelfand, A. A. (1988). *Hearing: An introduction to psychological and physiological acoustics*. New York: Marcel Dekker.
- Ginés, J. C. (2001). *Equipos de sonido*. Madrid: Ciencia 3.
- Howard, D. M. (2003). *Acoustics and psychoacoustics*. London: Focal Press.
- Kinsler, L. E. (1995). *Fundamentos de Acústica*. México: Limusa.
- Labella Caballero, T., & Lozano Ramírez, A. (1988). *Manual de audiometría*. Madrid: Garsi.
- Llinares Galiana, J., Llopis Reina, A., & Sancho, J. (1996). *Acústica arquitectónica y urbanística*. Valencia: SPUPV.
- Pueo Ortega, B., & Romá Romero, M. (2003). *Electroacústica: Altavoces y micrófonos*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Recuero López, M. (2001). *Acondicionamiento Acústico*. Madrid: Paraninfo.
- Recuero López, M. (1990). *Acústica de estudios para grabación sonora*. Madrid: IORTV.
- Recuero López, M. (1994). *Ingeniería Acústica*. Madrid: Paraninfo.
- Recuero López, M., & Gil, C. (1992). *Acústica Arquitectónica*. Madrid: Ártica.
- Rodríguez Rodríguez, F. J., & de la Puente Crespo, J. (2006). *Guía acústica de la construcción*. Madrid: Dossat 2000.
- Torres Goterris, F. (2006). *Acústica*. Valencia: El autor.

Werner, L. A. (1992). *Developmental psychoacoustics*. Washington: American Psychological Association.

6.1. Recursos electrónicos

Aulaclíc. (2011). *Curso de OpenOffice.org*. Recuperado el 25 de Julio de 2011, de <http://www.aulaclíc.es/openoffice/index.htm>

Berlasso, R. (2011). *Domando al escritor*. Recuperado el 13 de Junio de 2011, de <http://sites.google.com/site/ricardoberlasso/home/ooo/domando-al-escriptor/Writer-3ed.pdf?attredirects=0>

Carvajal Estrada, S. M. (s.f.). *El oído y las pérdidas auditivas*. Recuperado el 12 de Junio de 2011, de http://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=2&sqi=2&ved=0CB4QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.sordoceguera.org%2Fvc3%2Fbiblioteca_virtual%2Farchivos%2F99_sistema_auditivo.pdf&ei=eGD3TdWYNo2WhQfztrCCDA&usg=AFQjCNHMIMILJb8iBCi_qyemNMfwIbpCuA

Cursomeca. (2011). *Curso de mecanografía*. Recuperado el 28 de Abril de 2011, de <http://www.cursomeca.com/>

Fernández de Córdoba Martos, G. (Septiembre de 2007). *Creación de Interfaces Gráficas de Usuario (GUI) con MatLab*. Recuperado el 20 de Junio de 2011, de <http://web.usal.es/~gfdc/docencia/GuiSection.pdf>

García Bernal, S. (2011). *Tutorial de Matlab*. Recuperado el 18 de Junio de 2011, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/garcia_b_s/indice.html

Gaynés Palou, E., & Goñi González, A. (Abril de 2003). *Hipoacusia laboral por exposición al ruido: Evaluación clínica y diagnóstico*. Recuperado el 5 de Junio de 2001, de <http://www.siafa.com.ar/notas/nota56/hipoacusialaboral.htm>

Mathworks. (2011). *Mathworks*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2011, de <http://www.mathworks.es>

Pérez de Siles Marín, A. C. (Septiembre de 2001). *Aplicación informática orientada a la formación y evaluación de riesgos derivados de la exposición a ruido en ambientes industriales*. Recuperado el 12 de Mayo de 2011, de <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/presentación.htm>

Proyectos fin de carrera. (2011). *Proyectos fin de carrera*. Recuperado el 19 de Abril de 2011, de <http://www.proyectosfindecarrera.com/>

Real Academia Española. (2011). *Real Academia Española*. Recuperado el Junio de 2011, de <http://www.rae.es>

6.2. Otros recursos

Mora, J. (2010). Contaminación acústica. *Presentaciones*. Gandía, Valencia, España.

Picó Vila, R. (2002). Transductores dinámicos. *Presentaciones*. Gandía, Valencia, España.

Redondo Pastor, F. J. (2011). Psicoacústica. *Presentaciones*. Gandía, Valencia, España.

Varios. (1998). XXIX Jornadas Tecniacústica 98. *Acústica 98. Congreso ibérico de acústica*. Lisboa, Portugal.

Varios. (1997). XXVIII Jornadas nacionales de acústica y encuentro ibérico de acústica. *Conferencias invitadas y comunicaciones*. Oviedo, Asturias, España.

Gallego, H.; Orozco, H. (Mayo 2004). *Diseño y construcción de un audiómetro computarizado*. Scientia et Technica Año X, No 24. UTP.

6.3. Normativas

Para realizar el proceso experimental, he investigado el amplio abanico de legislaciones nacionales e internacionales, y me he guiado con las siguientes normas españolas vigentes:

RD 1316/1989 Protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

ISO 226:2003 Normal equal-loudness-level contours.

- **ACÚSTICA:**
- **CERO DE REFERENCIA PARA LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS AUDIOMÉTRICOS:**
 - **UNE-EN ISO 389-1=2001** Parte 1: Niveles de referencia equivalentes de presión acústica liminar para auriculares de tonos puros y supra-aurales.
 - **UNE-EN ISO 389-2=1997** Parte 2: Niveles de referencia equivalentes de presión acústica umbral para tonos puros y auriculares insertados.
 - **UNE-EN ISO 389-3=1999** Parte 3: Niveles de referencia equivalentes de fuerza umbral para vibradores de tonos puros y vibradores óseos.
 - **UNE-EN ISO 389-4=1999** Parte 4: Niveles de referencia para ruido enmascarador de banda estrecha.
 - **UNE-EN ISO 389-5=2007** Parte 5: Niveles de referencia equivalentes de presión acústica liminar para tonos puros en el intervalo de frecuencias de 8 KHz a 16 KHz.
 - **UNE-EN ISO 389-6=2008** Parte 6: Umbral de audición de referencia para señales de ensayo de corta duración.
 - **UNE-EN ISO 389-7=2006** Parte 7: Umbral de audición de referencia bajo condiciones de escucha de campo libre y campo difuso.
 - **UNE-EN ISO 389-8=2004** Parte 8: Niveles de referencia equivalentes de presión acústica liminar para auriculares circumaurales de tonos puros.

- **UNE-EN ISO 389-9=2010** Parte 9: Condiciones de ensayo preferidas para la determinación.
- **UNE-EN ISO 266=1998** Frecuencias preferentes.
- **UNE-EN ISO 7029=2000** Distribución estadística de los umbrales de audición en función de la edad.
- **UNE-EN ISO 8253-1=2011** Métodos de ensayo audiométricos. Parte 1: Audiometría de tonos puros por conducción aérea y por conducción ósea.
- **UNE-EN ISO 8253-2=2010** Métodos de ensayo audiométricos. Parte 2: Audiometría en campo sonoro con señales de ensayo de tono puro y de banda estrecha.
- **UNE-EN ISO 8253-3=1998** Métodos de ensayo audiométricos. Parte 3: Audiometría vocal.
- **ELECTROACÚSTICA:**
 - **UNE-EN 60318-2=2000** Simuladores de cabeza y oído humanos. Parte 2: Acoplador acústico provisional para la calibración de auriculares utilizados en audiometrías.
 - **UNE-EN 60318-3=2000** Simuladores de cabeza y oído humanos. Parte 3: Acoplador acústico para la calibración de auriculares supra-aurales utilizados en audiometría.
 - **UNE-EN 60645-1=2002** Equipos audiológicos. Parte 1: Audiómetros de tonos puros.
 - **UNE-EN 60645-3=2009** Equipos audiométricos. Parte 3: Señales de ensayo de corta duración.
 - **UNE-EN 60645-5=2006** Equipos audiométricos. Parte 5: Instrumentos para la medición de la impedancia-admitancia acústica auditiva.
 - **UNE-EN 60645-6=2010** Equipos audiométricos. Parte 6: Instrumentos para la medición de emisiones otoacústicas.
 - **UNE-EN 60645-7=2010** Equipos audiométricos. Parte 7: Instrumentos para la medición de las respuestas del tronco cerebral a una estimulación auditiva.
 - **UNE-EN 61672-1=2005** Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.

- **UNE-EN 61672-2=2005** Sonómetros. Parte 2: Ensayos de evaluación de modelo.
- **UNE-EN 61672-3=2009** Sonómetros. Parte 3: Ensayos periódicos.

- **UNE 20624=1980** Guía informativa para los ensayos de evaluación subjetiva por escucha.
- **UNE 20644=1982** Acoplador provisional de referencia para la calibración de auriculares utilizados en audiometría.
- **UNE 74003=1992** Curvas normalizadas de igual sonoridad.
- **UNE 74014=1978** Método de cálculo del nivel de sonoridad.
- **UNE 74023=1992** Determinación de la exposición al ruido en el trabajo y estimación de las pérdidas auditivas inducidas por el ruido.
- **UNE-EN 60645-2=1999** Audiómetros. Parte 2: Equipos para audiometría vocal.
- **UNE-EN 60645-4=1997** Audiómetros. Parte 4: Equipos para la audiometría extendida al dominio de la alta frecuencia.

7. ANEXOS

7.1. *Dosis de ruido*

Según el Real Decreto 1316/1989, los tiempos de exposición permitidos según el nivel de ruido son los representados en la Tabla 18.

Tabla 18. Tiempos máximos de exposición al ruido continuo o intermitente

Nivel de ruido (dBA)	Tiempo máximo de exposición (horas/día)
85	16
90	8
100	4
105	2
110	1
115	0.5
120	0.25

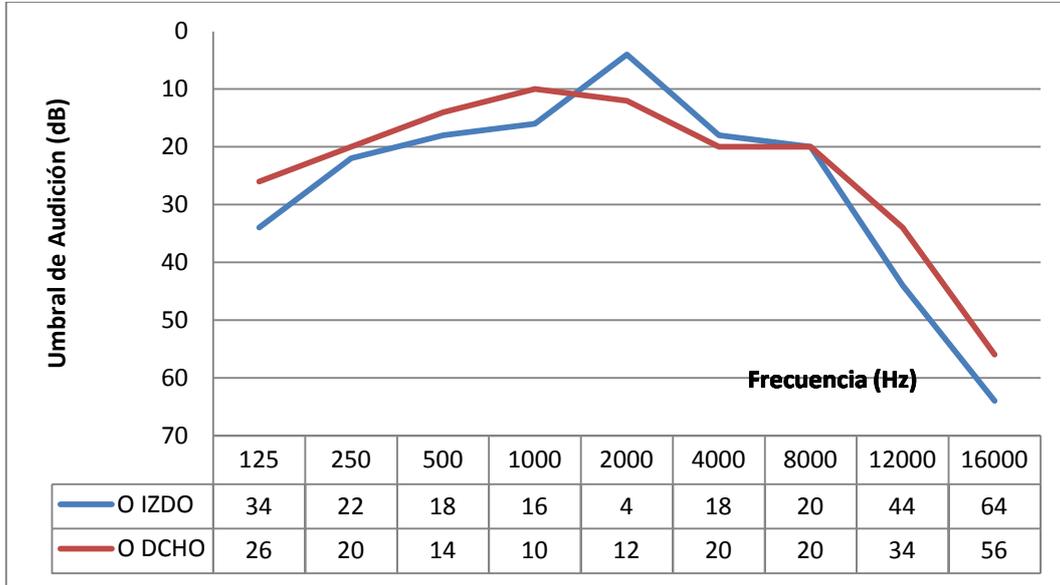
7.1. *Audiogramas de los Djs explorados*

Una manera muy visual de apreciar los resultados de las pruebas, es fijándonos en los parámetros de cada individuo y ver su audiograma personalizado.

A partir de ahora en cada hoja se adjuntarán por separado los resultados de las pruebas realizadas a todos los profesionales del sector.

Dj 1

		<i>EXPOSICIÓN</i>			<i>NIVEL EN CABINA</i>	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
1	21	5	6	1	3	4

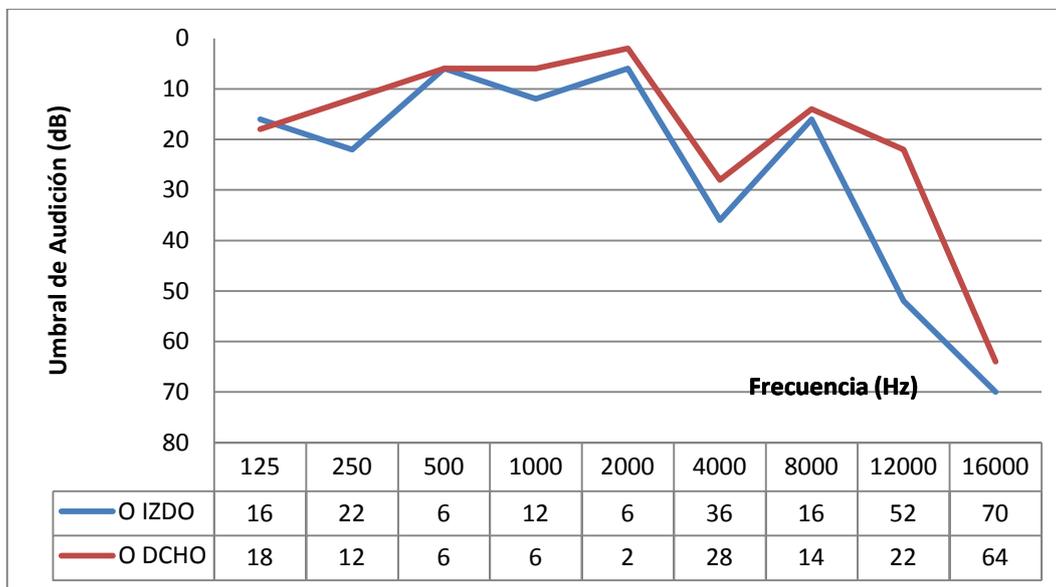


Observaciones

Audición sana.

Dj 2

INDIVIDUO	EDAD	EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
		AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
2	33	8	5	4	2	3

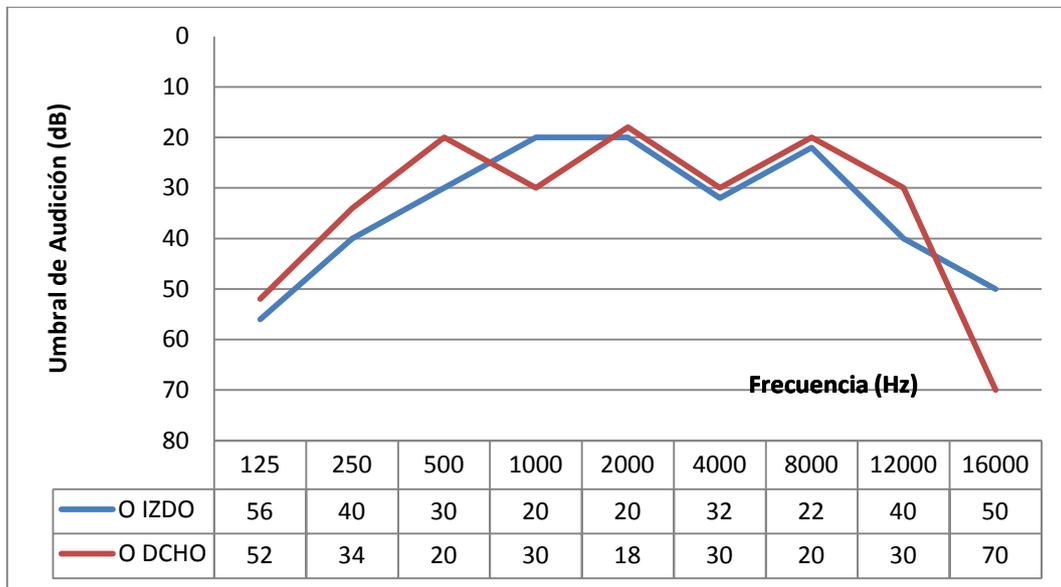


Observaciones

Posee un umbral auditivo, pero presenta un trauma acústico bilateral.

Dj 3

		EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
3	22	4	5	3	3	3

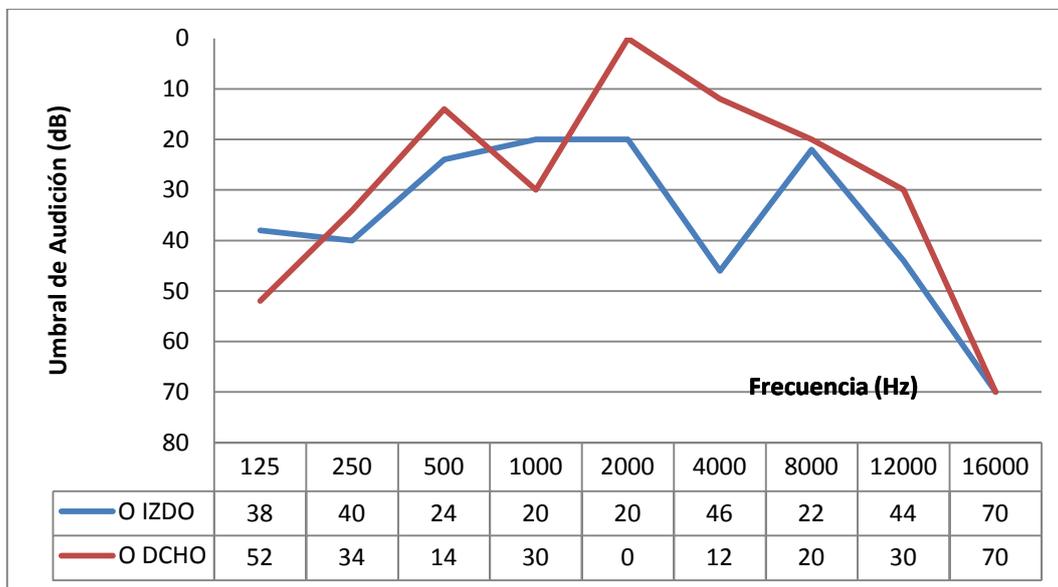


Observaciones

Umbral muy elevado y principio de trauma acústico.

Dj 4

INDIVIDUO	EDAD	EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
		AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
4	31	2	5	2	1	3

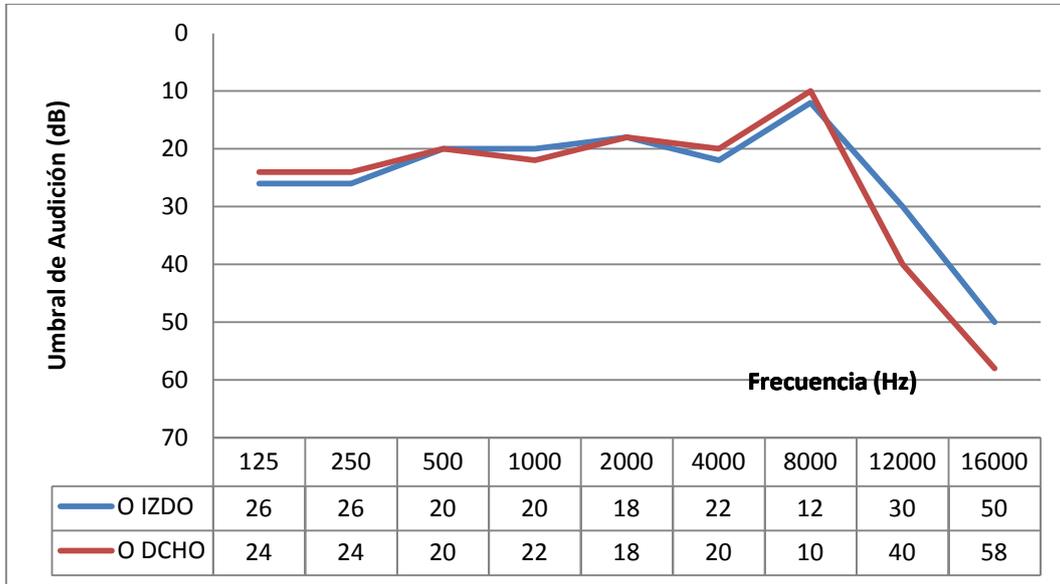


Observaciones

Disconcordancia entre oídos izquierdo y derecho, unido a un trauma unilateral.

Dj 5

		EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
5	24	2	5	2	4	4

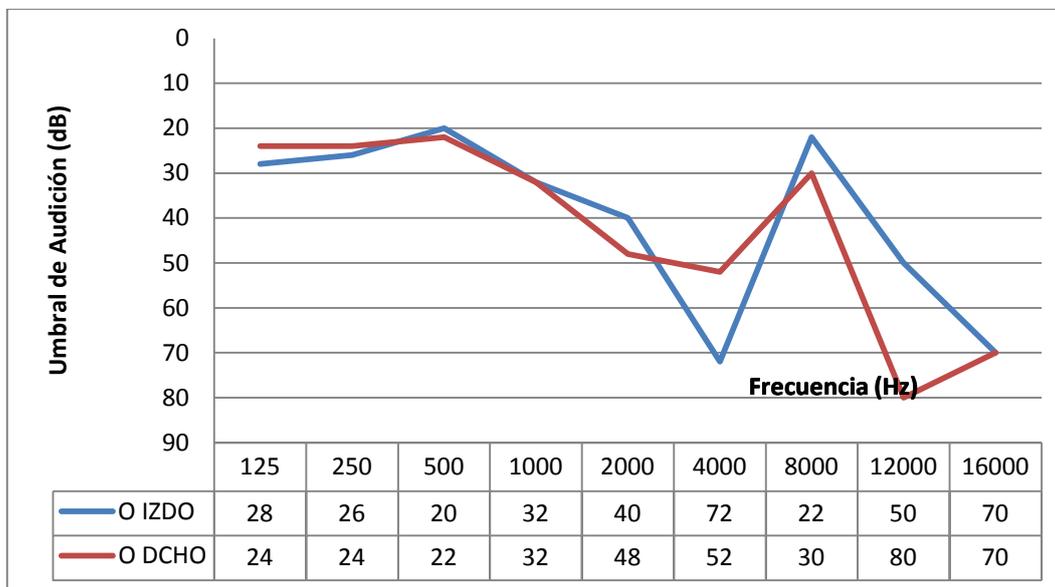


Observaciones

Audición sana.

Dj 6

		EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
6	24	3	5	3	4	3

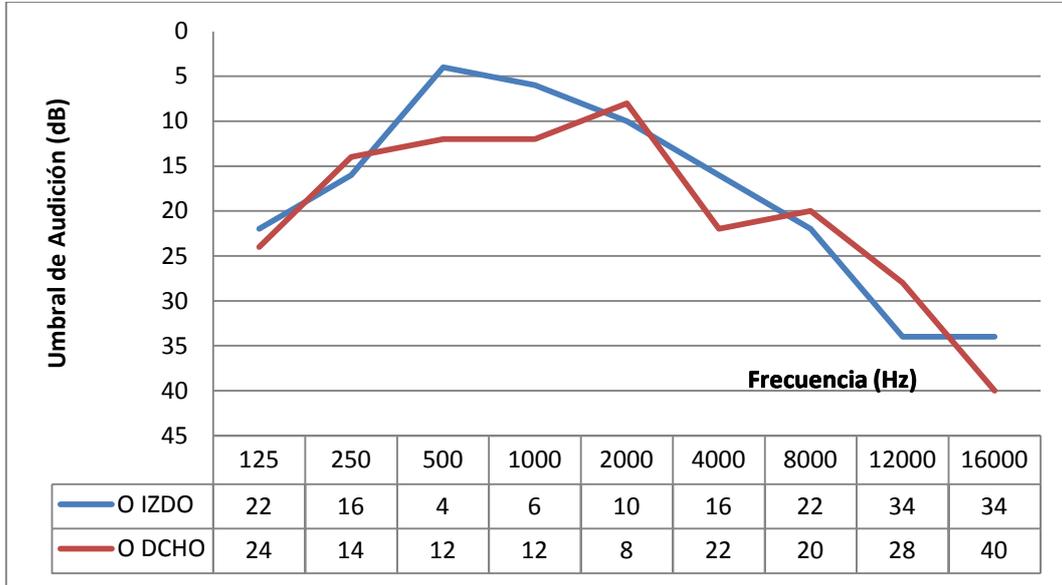


Observaciones

Trauma acústico muy significativo y umbral demasiado elevado.

Dj 7

		EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
7	21	4	8	1	2	3

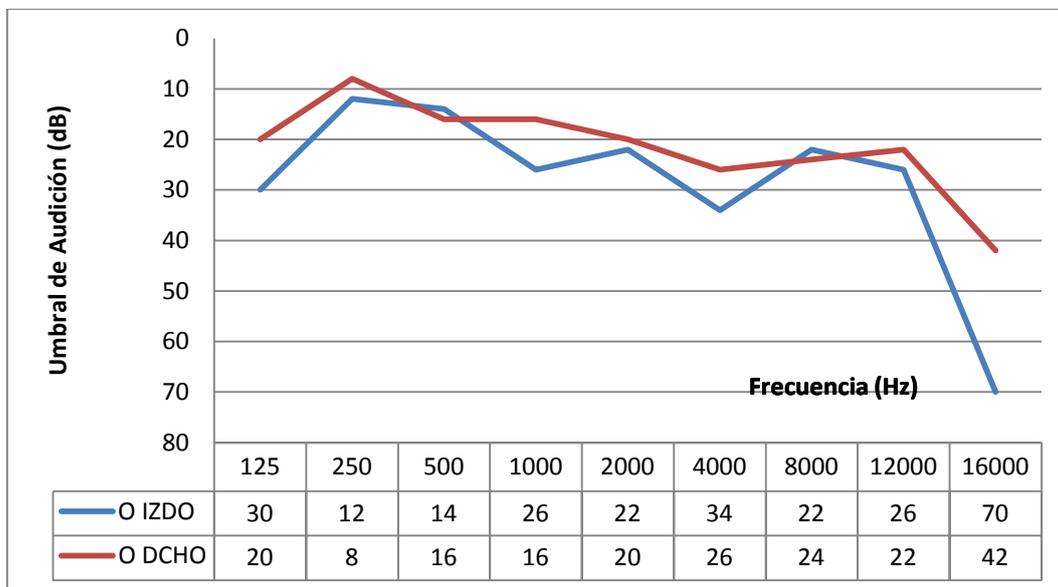


Observaciones

Audición relativamente sana, pero con pérdidas en agudos demasiado elevadas con respecto a su umbral.

Dj 8

		EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
8	24	5	8	1	4	5

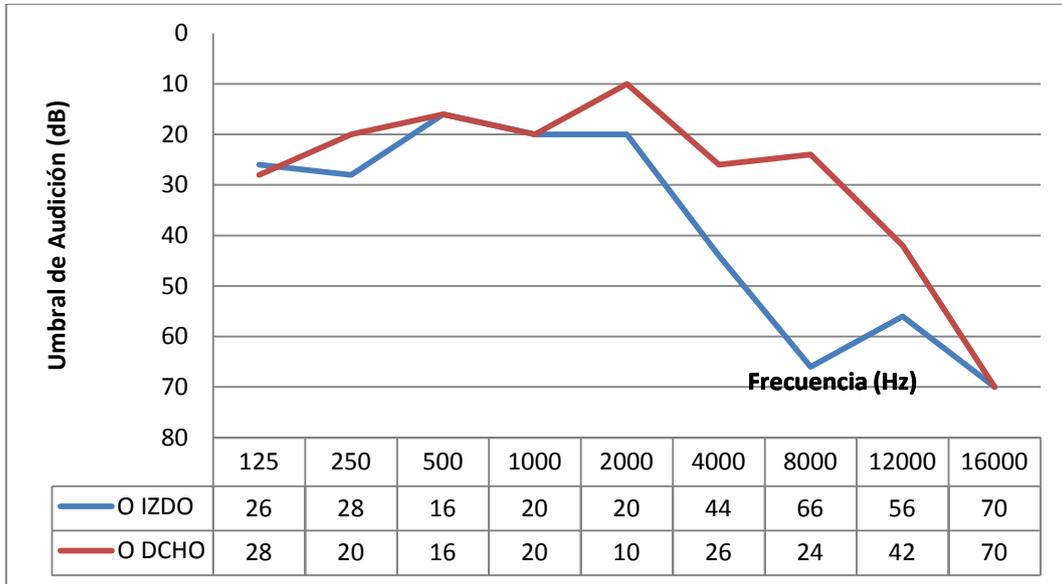


Observaciones

Oído relativamente sano.

Dj 9

INDIVIDUO	EDAD	EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
		AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
9	33	15	6	4	2	4

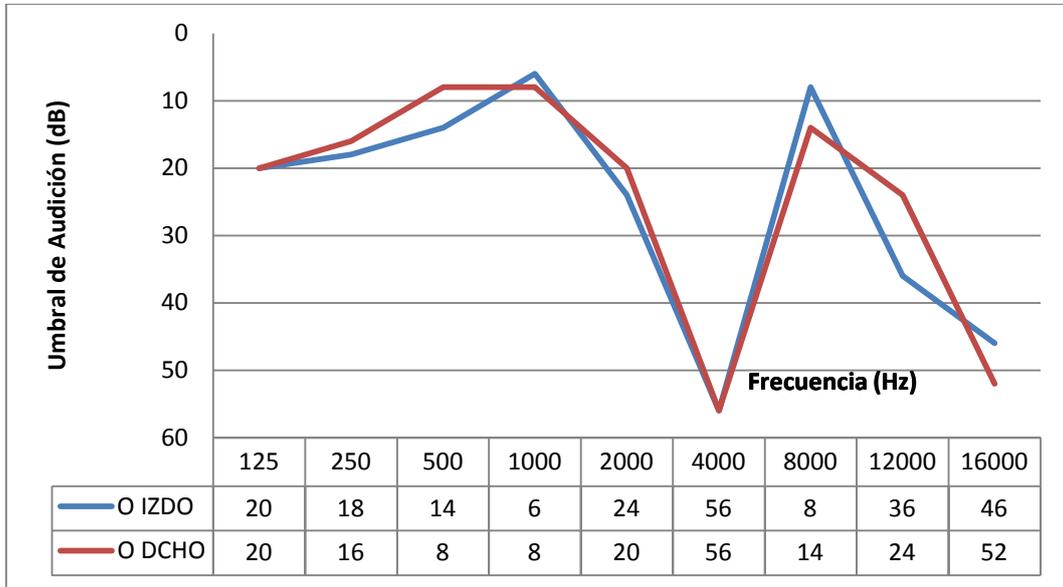


Observaciones

Oído izquierdo muy castigado. Grandes pérdidas en brillo.

Dj 10

		EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
10	27	6	4	3	1	2



Observaciones

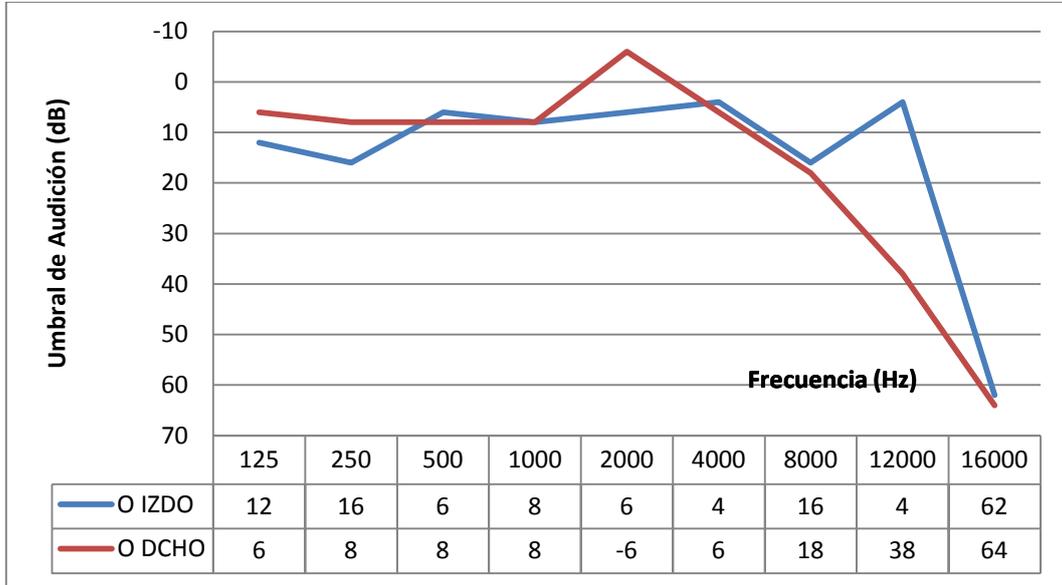
Caso exagerado de trauma acústico bilateral. Este individuo ya padece problemas de inteligibilidad en ambientes con un ruido de fondo elevado.

Un ejemplo claro de problema que tendrá, es seguir perfectamente una conversación en un sala llena de gente hablando, ya que estos enmascararán lo que quiera escuchar de la persona/s con la/s que está manteniendo una conversación.

Sería recomendable sugerirle que aprenda a leer los labios.

Dj 11

		EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
11	28	5	4	1	1	3

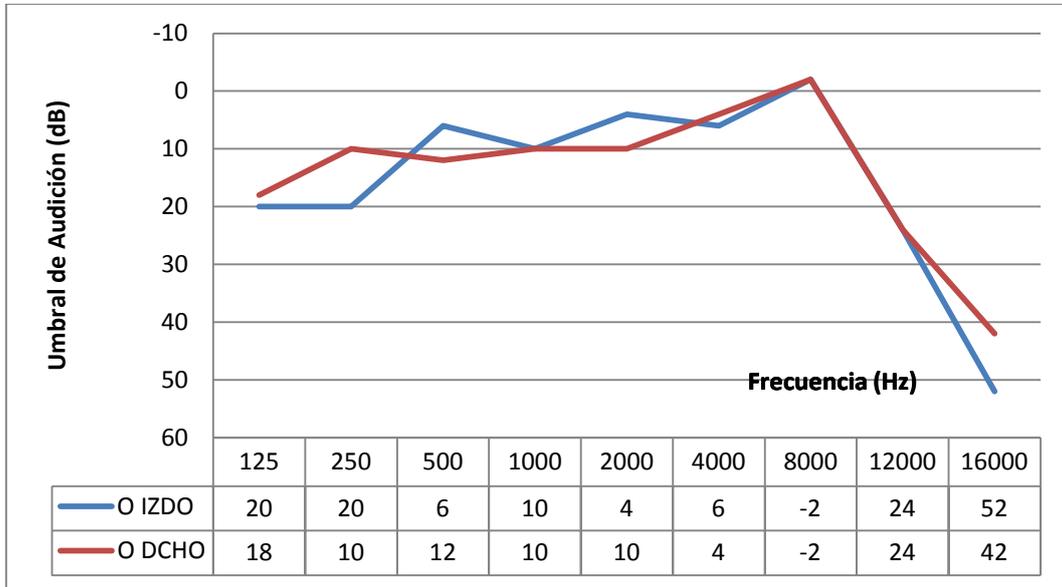


Observaciones

Audición sana. Oído izquierdo notable.

Dj 12

		EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
12	23	5	2	2	2	5

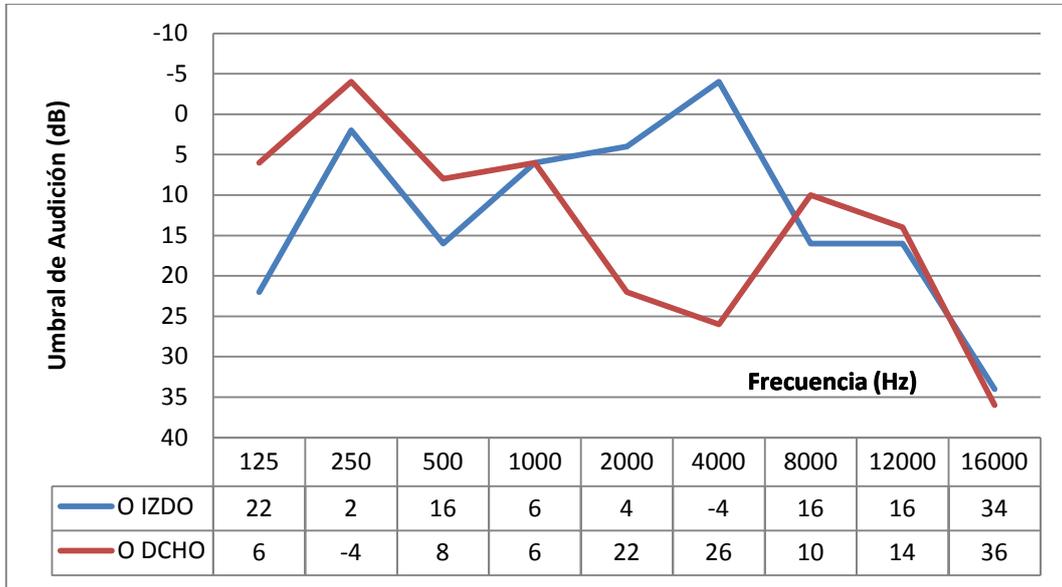


Observaciones

Audición sobresaliente.

Dj 13

		EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
13	28	14	2	1	1	4

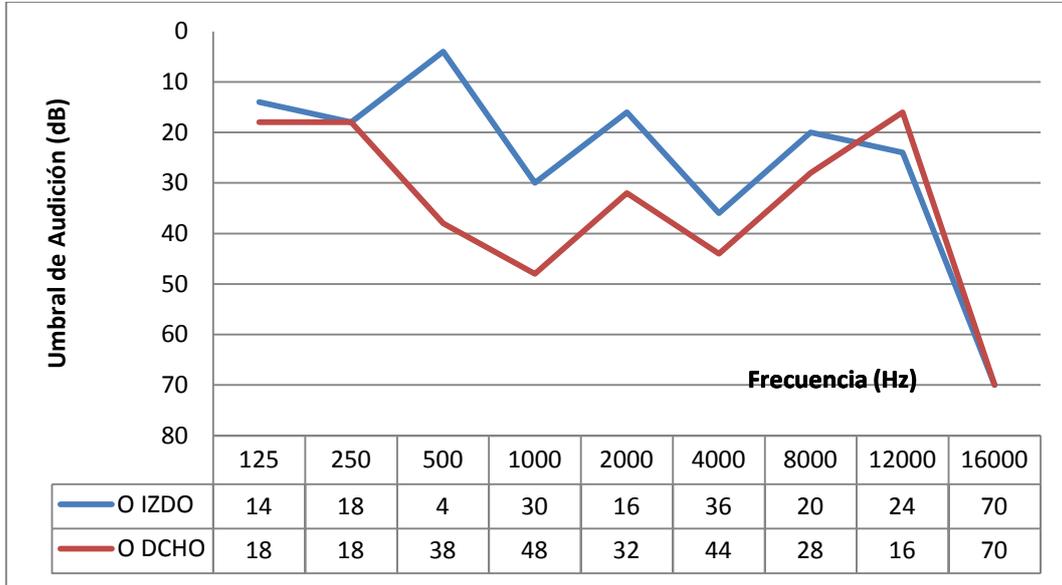


Observaciones

Caos bilateral.

Dj 14

INDIVIDUO	EDAD	EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
		AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
14	36	12	6	2	3	3

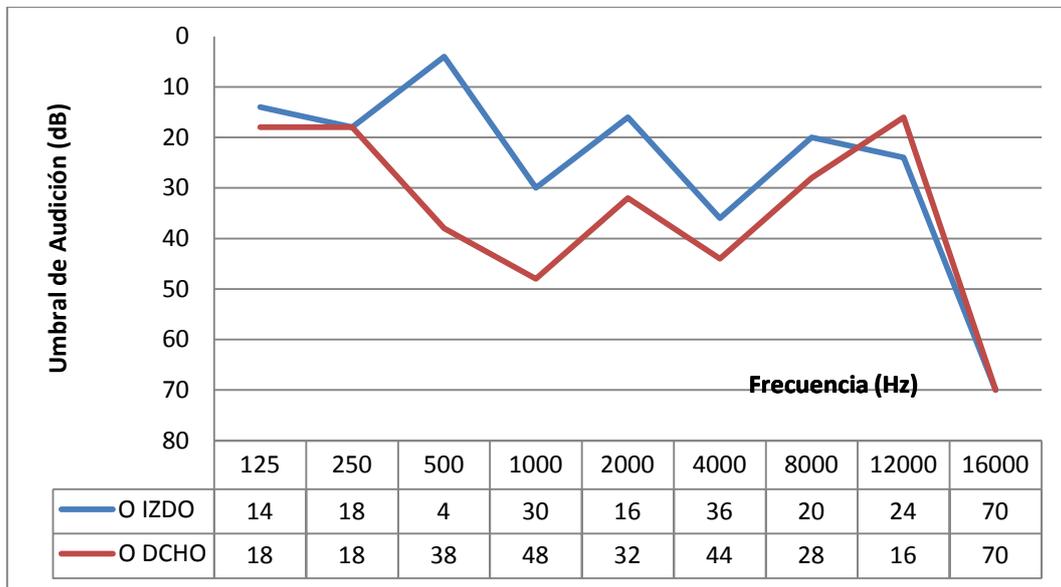


Observaciones

Oído derecho desgastado, y trauma acústico bilateral.

Dj 15

		EXPOSICIÓN			NIVEL EN CABINA	
INDIVIDUO	EDAD	AÑOS	HORAS	DÍAS	MONITORES	AURICULARES
15	34	5	4	3	2	3



Observaciones

Umbral demasiado alto, audición peor con el oído derecho y trauma acústico.

7.2. ADM 1.0

El software que desarrollado, le he llamado ADM, que son una especie de siglas de audiometría.

Está programado en MATLAB, y para ejecutarlo hay que hacerlo bajo dicho entorno.

A continuación voy a hacer una breve explicación, que será más que suficiente para aprender su manejo y realizar una audiometría, ya que he tratado de hacer el programa lo más atractivo, visual y sencillo posible para el usuario, que no tiene por qué entender cómo funciona, sino simplemente poder usarlo.

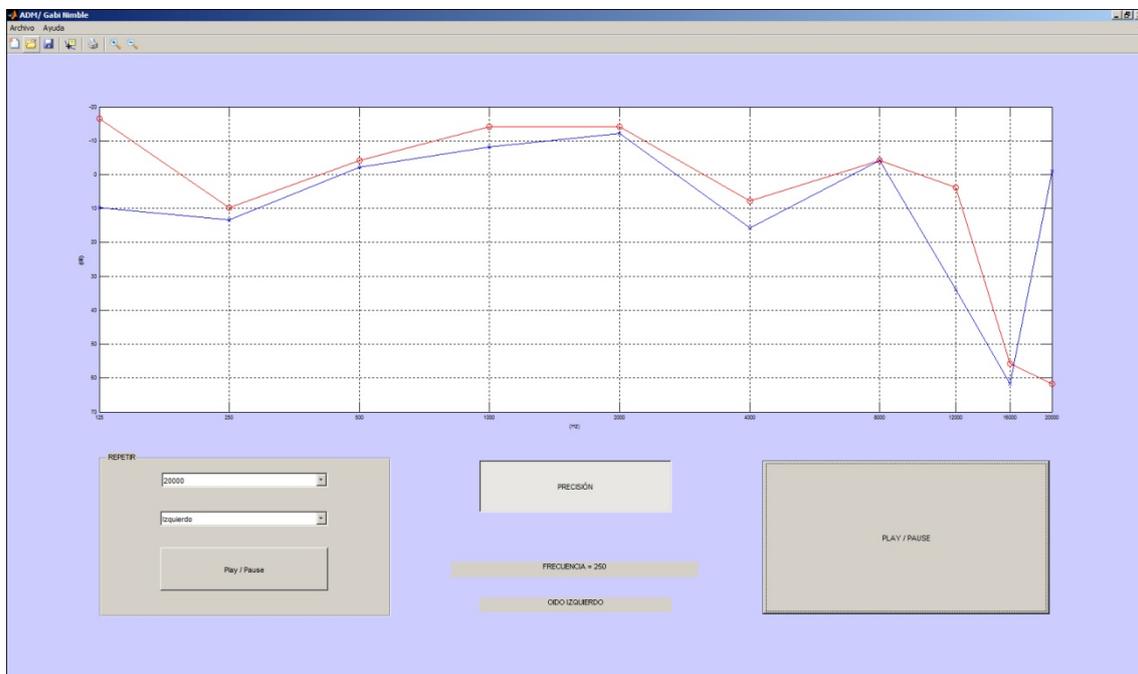


Fig. 16. Captura del software para hacer las audiometrías

Manejo

1. Vamos a **Archivo / Nuevo** y le damos el nombre que queramos a nuestra medida.
2. Si deseamos que sea una medida con precisión de ± 2 dB, dejamos apretado el botón **PRECISIÓN**. Si no, tendremos unas medidas mucho más rápidas, pero también bastante más inexactas.
3. Pulsamos **PLAY / PAUSE** una vez, y el auricular izquierdo comenzará a lanzar tonos de menor a mayor nivel de la frecuencia inferior (125 Hz).

4. Cuando escuchemos el primer pitido, pulsamos de nuevo **PLAY / PAUSE** una vez (en el caso de tener pulsado el botón **PRECISIÓN**, simplemente seguimos las instrucciones que se mostrarán por ventanas).
5. Se visualizarán en la gráfica los resultados de la primera medida.
6. Pasará automáticamente a realizar lo mismo, pero en el oído derecho.
7. Al finalizar los dos oídos pasa a la siguiente frecuencia (250 Hz) y se vuelve a repetir lo realizado en el paso 3.
8. Realiza un barrido de toda la gama de frecuencias y al finalizar, comunica que se han realizado las medidas correctamente, y pide que guardes los resultados. Vamos a **Archivo / Guardar** y se genera un fichero *.txt con los umbrales obtenidos.
9. Si se desea repetir alguna medida, bastará con seleccionarla en **REPETIR**. En esta ocasión habrá que pulsar sobre el botón a la izquierda de menor tamaño **Play / Pause**, y sobrescribirá el umbral para ese oído y frecuencia (le damos de nuevo a **Archivo / Guardar**).

Código fuente del programa

adm_gui.m

Función principal del programa.

```
function varargout = adm_gui(varargin)
% ADM_GUI M-file for adm_gui.fig
%   ADM_GUI, by itself, creates a new ADM_GUI or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = ADM_GUI returns the handle to a new ADM_GUI or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   ADM_GUI('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in ADM_GUI.M with the given input arguments.
%
%   ADM_GUI('Property','Value',...) creates a new ADM_GUI or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before adm_gui_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to adm_gui_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to ayuda adm_gui

% Last Modified by GUIDE v2.5 16-Dec-2011 02:49:06

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @adm_gui_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @adm_gui_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);

if nargin && ischar(varargin{1})
```

```

    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% Declaramos variables globales (sin inicializar)
global o f curva o_aux f_aux nombre_individuo
% Si inicializáramos, cada vez que se devolviera la llamada al main, se
% resetearían. Lo que hacemos es inicializarlas desde una función
% expresamente para eso, "pushbutton3_Callback".
% Como son variables globales, se podrá modificar (y de hecho se hará)
% su valor desde otras funciones.

% --- Executes just before adm_gui is made visible.
function adm_gui_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to adm_gui (see VARARGIN)

% Choose default command line output for adm_gui
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes adm_gui wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = adm_gui_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in play_iniciar.
function play_iniciar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to play_iniciar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of play_iniciar

global o f curva % Tenemos que llamar de nuevo a las variables globales dentro de la
función

boton = get(hObject,'Value'); % "0" Botón sin apretar (pause)
        % "1" Botón apretado (play)
if boton == 0
    return % Si el botón está en pause, no le dejamos ni empezar
end

while (f < 11) % Así nos aseguramos que no se pasa de frecuencia

    switch f % Cargamos los audios de la frecuencia correspondiente cada vez

        case 1, [audios_l, audios_r] = cargatono(125); f_string_out = '125'; % PARA
VISULIZAR POR EL STATIC TEXT COMO TOCA
        case 2, [audios_l, audios_r] = cargatono(250); f_string_out = '250';

```

```

case 3, [audios_l, audios_r] = cargatono(500); f_string_out = '500';
case 4, [audios_l, audios_r] = cargatono(1000); f_string_out = '1000';
case 5, [audios_l, audios_r] = cargatono(2000); f_string_out = '2000';
case 6, [audios_l, audios_r] = cargatono(4000); f_string_out = '4000';
case 7, [audios_l, audios_r] = cargatono(8000); f_string_out = '8000';
case 8, [audios_l, audios_r] = cargatono(12000); f_string_out = '12000';
case 9, [audios_l, audios_r] = cargatono(16000); f_string_out = '16000';
case 10, [audios_l, audios_r] = cargatono(20000); f_string_out = '20000';

otherwise, disp('La frecuencia no existe.')

return % Devuelve el control al entorno de llamada
end

for oido_contador = 0 : 1 % Oídos izquierdo y derecho
% Como máximo recorrerá este "for" 2 veces.
% Si cuando entra aquí, ya está en el oído derecho, sólo lo
% hará una vez, ya que se incrementa la frecuencia y pasa al
% siguiente tono.

if o == 0
o_string_out = 'IZQUIERDO';
else
o_string_out = 'DERECHO';
end

disp(['FRECUENCIA = ' f_string_out]) % 1->125, 2->250...
disp(['OÍDO ' o_string_out]) % 0->Izquierdo, 1->Derecho

set(handles.text1, 'String', ['FRECUENCIA = ' f_string_out]) %
Visualizamos en el STATIC TEXT
set(handles.text2, 'String', ['OÍDO ' o_string_out]) % Visualizamos en
el STATIC TEXT

c1 = 1; % Inicializamos a las 2 primeras columnas
c2 = 2;

for it = 1 : 9 % 9 son las distintas amplitudes de cada tono

if o == 0 % Suenan los tonos
suena = audios_l(:,c1:c2);
else
suena = audios_r(:,c1:c2);
end
sound(suena,44100); % ESTO EN UN PRINCIPIO LO PUSE AQUÍ, PERO HACÍA UN
PITIDO DE MÁS

c1 = c1 + 2;
c2 = c2 + 2;

interrupcion

boton = get(hObject, 'Value'); % Comprobamos el estado del botón

if boton == 0 % Hemos soltado el botón

% Guardamos el umbral. Si no se hubiera apretado el
% botón, el umbral serían los 0dB, ya que es el
% valor de inicialización de la matriz "curva"

disp(' ')
disp('Umbral aproximado')

curva(o+1,f) = -10*(9-(it))+81.4496 % Esto es para convertir 1
en -80, 2 en -70 (así vamos creando la tabla para el audiograma con los SPL que tocan)

%%% IMPORTANTE: El "-1" de "(it-1)", lo PUSE
%%% para cojer el penúltimo pitido, ya que hace un
%%% pitido de más que no sé como quitarlo. EN R2011
%%% funciona como toca

%%% El "+81.4496" es la ponderación para pasar de dB
%%% relativos a dB reales

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
global boton_precision

if boton_precision == 1
estimulos; % Le meto aquí dentro el algoritmo de los estímulos
constantes
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

axes(handles.axes1); % Dibujamos en la gráfica
hg = handles.axes1;

audiograma
grafica(hg, curva) % Llamamos a la función que hace el

o = abs(o-1); % Cambiamos de oído

if o == 0 % Si sucede esta condición es porque estábamos en el
oído derecho, ya que acabamos de cambiarlo
f = f + 1; % Incrementamos la frecuencia
end

return % Terminamos
end

end % "for" que recorre las distintas amplitudes de cada tono

o = abs(o-1); % Cambiamos de oído

end % for oido_contador

f = f + 1; % incrementamos la frecuencia ya que forzosamente tenemos que haber
acabado de hacer el oído derecho

end % while que recorre todas las frecuencias

msgbox('Has finalizado las medidas correctamente. Ahora vamos a proceder a ajustar las
medidas al equipo utilizado y a redondear al entero más cercano. Guarda los
resultados.')
```

uiwait

```

disp(' ')
disp('AJUSTE EQUIPO:')
curva = ajuste_equipo (curva)
disp(' ')
disp(' ')
disp('REDONDEO:')
curva = redondeo(curva)

axes(handles.axes1); % Dibujamos en la gráfica
hg = handles.axes1;
grafica(hg,curva)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to axes1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes1

% --- Executes on button press in guardar.
function guardar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to guardar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```
global curva
global nombre_individuo % Esto lo introducimos al inicio.

fichero_salida = [nombre_individuo, '.txt']; % CONCATENAMOS. Es el nombre de la persona a
explorar con el ".txt"

fi = fopen(fichero_salida, 'w'); % Abrimos el fichero "salida.txt" para almacenar los
resultados obtenidos, es decir, la matriz "curva"

for filas = 1 : 2

    for columnas = 1 : 10

        fprintf(fi, ' %f', curva(filas, columnas));

    end

    fprintf(fi, '\n');

end

fclose (fi); % cerramos el fichero de texto

% --- Executes on button press in play_repetir.
function play_repetir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to play_repetir (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject, 'Value') returns toggle state of play_repetir

global o_aux f_aux curva % Tenemos que llamar de nuevo a las variables globales dentro
de la función

boton = get(hObject, 'Value'); % "0" Botón sin apretar (pause)
        % "1" Botón apretado (play)

if boton == 0
    return % Si el botón está en pause, no le dejamos ni empezar
end

    switch f_aux % Cargamos los audios de la frecuencia correspondiente cada vez

        case 1, [audios_l, audios_r] = cargatono(125); f_string_out = '125'; % PARA
VISUALIZAR POR EL STATIC TEXT COMO TOCA
        case 2, [audios_l, audios_r] = cargatono(250); f_string_out = '250';
        case 3, [audios_l, audios_r] = cargatono(500); f_string_out = '500';
        case 4, [audios_l, audios_r] = cargatono(1000); f_string_out = '1000';
        case 5, [audios_l, audios_r] = cargatono(2000); f_string_out = '2000';
        case 6, [audios_l, audios_r] = cargatono(4000); f_string_out = '4000';
        case 7, [audios_l, audios_r] = cargatono(8000); f_string_out = '8000';
        case 8, [audios_l, audios_r] = cargatono(12000); f_string_out = '12000';
        case 9, [audios_l, audios_r] = cargatono(16000); f_string_out = '16000';
        case 10, [audios_l, audios_r] = cargatono(20000); f_string_out = '20000';

        otherwise, disp('La frecuencia no existe.')

        return % Devuelve el control al entorno de llamada
    end

    if o_aux == 0
        o_string_out = 'IZQUIERDO';
    else
        o_string_out = 'DERECHO';
    end

    end

    disp(['FRECUENCIA = ' f_string_out]) % 1->125, 2->250...
    disp(['OÍDO ' o_string_out]) % 0->Izquierdo, 1->Derecho

    set(handles.text1, 'String', ['FRECUENCIA = ' f_string_out]) %
Visualizamos en el STATIC TEXT
```

```

set(handles.text2, 'String', ['OIDO ' o_string_out]) % Visualizamos en
el STATIC TEXT

c1 = 1; % Inicializamos a las 2 primeras columnas
c2 = 2;

for it = 1 : 9 % 9 son las distintas amplitudes de cada tono

    if o_aux == 0 % Suenan los tonos
        suena = audios_l(:,c1:c2);
    else
        suena = audios_r(:,c1:c2);
    end
    sound(suena,44100); % ESTO EN UN PRINCIPIO LO PUSE AQUÍ, PERO HACÍA UN
PITIDO DE MÁS

    c1 = c1 + 2;
    c2 = c2 + 2;

    boton = get(hObject, 'Value'); % Comprobamos el estado del botón
interruptor

    if boton == 0 % Hemos soltado el botón

        % Guardamos el umbral. Si no se hubiera apretado el
        % botón, el umbral serían los 0dB, ya que es el
        % valor de inicialización de la matriz "curva"
        curva(o_aux+1,f_aux) = -10*(9-(it))+81.4496 % Esto es para
convertir 1 en -80, 2 en -70 (así vamos creando la tabla para el audiograma con los SPL
que tocan)

        %% El "+81.4496" es la ponderación para pasar de dB
        %% relativos a dB reales

        %"
        global boton_precision

        if boton_precision == 1
estímulos constantes
            estimulos_aux; % Le meto aquí dentro el algoritmo de los
        end
        %"

        disp(' ')
        disp('AJUSTE EQUIPO:')

            ajuste = [15.06666667 15.5 11.56666667 0 3.4 -0.366666667
0.4 1.533333333 11.53333333 14.6;
18.4 18.2 11.1 0 3.633333333 1.133333333
1.766666667 2.433333333 12.63333333 16.43333333];

ajuste(o_aux+1,f_aux)
        curva(o_aux+1,f_aux) = curva(o_aux+1,f_aux) -
        disp(' ')
        disp(' ')

        disp('REDONDEO:')
        curva(o_aux+1,f_aux) = int8 (round(curva(o_aux+1,f_aux)))

        axes(handles.axes1); % Dibujamos en la gráfica
        hg = handles.axes1;
        grafica(hg,curva) % Llamamos a la función que hace el audiograma

        return % Terminamos
    end

end % "for" que recorre las distintas amplitudes de cada tono

```

```
% --- Executes on selection change in rep_frecuencia.
function rep_frecuencia_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to rep_frecuencia (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns rep_frecuencia contents as
cell array
%         contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from rep_frecuencia

global f_aux % Aquí almaceno la frecuencia que tengo que modificar en curva

sel = get(handles.rep_frecuencia, 'Value'); % Recojo la elección realizada

switch sel
    case 1, disp('No hago nada')
    case 2, f_aux = 1;
    case 3, f_aux = 2;
    case 4, f_aux = 3;
    case 5, f_aux = 4;
    case 6, f_aux = 5;
    case 7, f_aux = 6;
    case 8, f_aux = 7;
    case 9, f_aux = 8;
    case 10, f_aux = 9;
    case 11, f_aux = 10;

end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function rep_frecuencia_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to rep_frecuencia (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in rep_oido.
function rep_oido_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to rep_oido (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns rep_oido contents as cell
array
%         contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from rep_oido

global o_aux % Aquí almaceno la frecuencia que tengo que modificar en curva

sel = get(handles.rep_oido, 'Value'); % Recojo la elección realizada

switch sel
    case 1, disp('No hago nada')
    case 2, o_aux = 0; % Oído izquierdo
    case 3, o_aux = 1; % Oído derecho

end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function rep_oido_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to rep_oido (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function guardar_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to guardar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% -----
function archivo_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to archivo (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function contexto_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to contexto (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function nuevo_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to nuevo (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc
global o f curva nombre_individuo % Declaramos variables globales

nombre_individuo = char(inputdlg('Nombre del explorado', 'Nueva medición')); % Hay que
pasar de CELL a STRING, ya que es lo que nos devuelve la función INPUTDLG

h=gcf; % Devuelve el manejo de la figura
set(h,'name',['ADM/ ',nombre_individuo])

o = 0; % Metemos los valores de entrada iniciales
f = 1;

% curva = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]; % IZQUIERDO -> (ANTIGUA INICIALIZACIÓN)
%          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]; % DERECHO

curva = [85 85 85 85 85 85 85 85 85 85]; % IZQUIERDO
        85 85 85 85 85 85 85 85 85 85]; % DERECHO

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% -----
function ayuda_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ayuda (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function acerca_de_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to acerca_de (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

msgbox('ADM 1.0 - Gabriel Moreno Ibarra','Versión')

% -----
function abrir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to abrir (see GCBO)

```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

global curva nombre_individuo

nombre_individuo = char(inputdlg('Nombre del archivo a abrir', 'Abrir...')); % Hay que
pasar de CELL a STRING, ya que es lo que nos devuelve la función INPUTDLG

fichero_entrada = [nombre_individuo, '.txt']; % CONCATENAMOS

fi = fopen(fichero_entrada, 'r'); % Abrimos el fichero que queremos leer para extraer los
resultados obtenidos, es decir, la matriz "curva"

if (fi == -1)

    msgbox('El fichero no existe. Vuelve a escribir el nombre.')

else

    curva_bruta = fscanff(fi, '%f'); % Lee el fichero hasta el final. "curva_bruta" es un
sólo vector.

    h=gcf; % Devuelve el manejo de la figura
    set(h, 'name', ['ADM/ ', nombre_individuo]) % Pone el nombre del archivo en el
título de la ventana

end

% Ahora ordenamos "curva"

for i = 1 : 10
    curva(1,i) = curva_bruta(i);
end

for i = 11 : 20
    curva(2,i-10) = curva_bruta(i);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% -----
function guardar_como_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to guardar_como (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
global curva nombre_individuo

nombre_individuo = char(inputdlg('Nombre del archivo a guardar', 'Guardar como...')); %
Hay que pasar de CELL a STRING, ya que es lo que nos devuelve la función INPUTDLG

h=gcf; % Devuelve el manejo de la figura
set(h, 'name', ['ADM/ ', nombre_individuo])

fichero_salida = [nombre_individuo, '.txt']; % CONCATENAMOS

fi = fopen(fichero_salida, 'w'); % Abrimos el fichero "salida.txt" para almacenar los
resultados obtenidos, es decir, la matriz "curva"

for filas = 1 : 2

    for columnas = 1 : 10

        fprintf(fi, ' %f', curva(filas, columnas));

    end

    fprintf(fi, '\n');

end

end
```

```

fclose (fi); % cerramos el fichero de texto
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% -----
function imprimir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to imprimir (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
function salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to salir (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

button = questdlg('¿Estás seguro de cerrar?', ...
    'Salir de la medición', 'Sí', 'No', 'No');
switch button
case 'Sí',
close
case 'No',
quit cancel;
end

% -----
function uipushtool1_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to uipushtool1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc
global o f curva nombre_individuo % Declaramos variables globales

nombre_individuo = char(inputdlg('Nombre del explorado', 'Nueva medición')); % Hay que
pasar de CELL a STRING, ya que es lo que nos devuelve la función INPUTDLG

h=gcf; % Devuelve el manejo de la figura
set(h,'name',['ADM - ',nombre_individuo])

o = 0; % Metemos los valores de entrada iniciales
f = 1;

curva = [85 85 85 85 85 85 85 85 85 85; % IZQUIERDO
         85 85 85 85 85 85 85 85 85 85]; % DERECHO
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% -----
function uipushtool3_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to uipushtool3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

global curva nombre_individuo

nombre_individuo = char(inputdlg('Nombre del archivo a abrir', 'Abrir...')); % Hay que
pasar de CELL a STRING, ya que es lo que nos devuelve la función INPUTDLG

fichero_entrada = [nombre_individuo, '.txt']; % CONCATENAMOS

fi = fopen(fichero_entrada, 'r'); % Abrimos el fichero que queremos leer para extraer los
resultados obtenidos, es decir, la matriz "curva"

if (fi == -1)

```

```

    msgbox('El fichero no existe. Vuelve a escribir el nombre.')
else
    curva_bruta = fscanf(fi,'%f'); % Lee el fichero hasta el final. "curva_bruta" es un
sólo vector.

    h=gcf; % Devuelve el manejo de la figura
    set(h,'name',[ 'ADM/ ',nombre_individuo]) % Pone el nombre del archivo en el
título de la ventana
end

% Ahora ordenamos "curva"

for i = 1 : 10
    curva(1,i) = curva_bruta(i);
end

for i = 11 : 20
    curva(2,i-10) = curva_bruta(i);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% -----
function uipushtool2_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to uipushtool2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

global curva
global nombre_individuo % Esto lo introducimos al inicio.

fichero_salida = [nombre_individuo,'.txt']; % CONCATENAMOS. Es el nombre de la persona a
explorar con el ".txt"

fi = fopen(fichero_salida,'w'); % Abrimos el fichero "salida.txt" para almacenar los
resultados obtenidos, es decir, la matriz "curva"

for filas = 1 : 2

    for columnas = 1 : 10

        fprintf(fi, ' %f', curva(filas, columnas));

    end

    fprintf(fi, '\n');

end

fclose (fi); % cerramos el fichero de texto

% --- Executes on button press in precision.
function precision_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to precision (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of precision

global boton_precision

boton_precision = get(hObject,'Value'); % Comprobamos el estado del botón interruptor de
precisión

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to text2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% -----
function uipushtool4_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to uipushtool4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

ajuste equipo.m

Pondera la respuesta en frecuencia del equipo de medida (modificándola, se puede adaptar a otro equipo para hacer audiometrías).

```

function curva = ajuste_equipo (curva_in)
%
%function curva = ponderacion_equipo (curva_in)

% Debido a la respuesta en frecuencia del equipo (software, tarjeta, auriculares) con el
% que se realizan las
% medidas, hay que hacer una ponderación. Si fuera plana (caso ideal) no haría falta.

% PARA CALIBRAR OTROS AURICULARES VER LA GRÁFICA DE RESPUESTA EN FRECUENCIA Y CREAR
% UNA MATRIZ "ajuste"

ajuste = [15.06666667  15.5  11.56666667  0  3.4 -0.366666667  0.4 1.533333333
11.53333333 14.6;
          18.4 18.2  11.1  0  3.633333333  1.133333333  1.766666667  2.433333333
12.63333333 16.43333333];

curva = curva_in - ajuste;

```

calibrar equipo.m

Script que sirve para calibrar la respuesta frecuencial de los auriculares.

```

% AURICULAR IZQUIERDO

cd tonos_calibrar_equipo

clc
disp('AURICULAR IZQUIERDO')
disp(' ')

x=wavread('125_1.wav');
disp('125 Hz')
pause,sound(x,44100)

x=wavread('250_1.wav');
disp('250 Hz')
pause,sound(x,44100)

x=wavread('500_1.wav');
disp('500 Hz')
pause,sound(x,44100)

x=wavread('1000_1.wav');
disp('1000 Hz')
pause,sound(x,44100)

```

```
x=wavread('2000_l.wav');  
disp('2000 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('4000_l.wav');  
disp('4000 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('8000_l.wav');  
disp('8000 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('12000_l.wav');  
disp('12000 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('16000_l.wav');  
disp('16000 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('20000_l.wav');  
disp('20000 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
disp(' ')  
disp(' ')  
disp('AURICULAR DERECHO')  
disp(' ')
```

```
x=wavread('125_r.wav');  
disp('125 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('250_r.wav');  
disp('250 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('500_r.wav');  
disp('500 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('1000_r.wav');  
disp('1000 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('2000_r.wav');  
disp('2000 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('4000_r.wav');  
disp('4000 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('8000_r.wav');  
disp('8000 Hz')  
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('12000_r.wav');
```

```
disp('12000 Hz')
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('16000_r.wav');
disp('16000 Hz')
pause,sound(x,44100)
```

```
x=wavread('20000_r.wav');
disp('20000 Hz')
pause,sound(x,44100)
```

```
cd ..
```

cargatono.m

Función que carga los archivos de audio para lanzar en las medidas.

```
function [audios_l, audios_r] = cargatono (frecuencia_Hz)
%
% function [audios_l, audios_r] = cargatono (frecuencia_Hz)
%
% Está función sirve para cargar los archivos de audio de todas las
% amplitudes de una frecuencia dada como variable de entrada.
%
% Devuelve 2 matrices que tienen los audios para el canal izquierdo y
% derecho.

% Nos metemos dentro del directorio que tenemos que cargar los audios:
cd (num2str(frecuencia_Hz))

amplitud = -80; % Variable auxiliar para recorrer las distintas amplitudes
l = 1; % Columnas impares --> CANAL IZQUIERDO
r = 2; % Columnas pares --> CANAL DERECHO

for i = 1:9

    audios_l(:,l:r)=wavread([num2str(frecuencia_Hz) 'Hz_' num2str(amplitud)
'dB_ls_l.wav']);
    audios_r(:,l:r)=wavread([num2str(frecuencia_Hz) 'Hz_' num2str(amplitud)
'dB_ls_r.wav']);

    amplitud = amplitud + 10; % Vamos de 10 en 10

    % Pasamos a las siguientes 2 columnas, que será donde guardemos el
    % siguiente audio (que tiene 10 dB más amplitud).
    l = l+2;
    r = r+2;

end

% Volvemos al directorio principal
cd ..
```

estimulos.m

Se usa cuando la precisión está activada, y afina el umbral de audición.

```
msgbox('Vamos a afinar el umbral. Sonarán distintas amplitudes. Conteste si las escucha
pulsando SÍ o NO.', 'Precisión')
uiwait(gcf)

%%% ESCALERA %%%

% Lo primero que hacemos es darle el valor anterior para ver si lo oye,
% porque es muy posible que haya apretado después de tiempo...

bajar_10_dB = 10^(-10/20); % Para ponderarlo a la amplitud anterior sin tener que ir a
buscarla y cargarla de nuevo, que sería un poco rollo...
```

```

suena_anterior = bajar_10_dB.*suena;

sound (suena_anterior,44100)

dialogo = questdlg('¿Has escuchado el tono?', ...
    'Test de precisión','Sí','No','No');
switch dialogo
    case 'Sí',
        suena = suena_anterior; % Era el nivel anterior el más aproximado...
        menor_umbral_preciso = curva(o+1,f)-10; % Inicializamos al nivel
anterior, 10 dB menos)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%55
        suena_segundo_anterior = bajar_10_dB.*suena;
        sound(suena_segundo_anterior,44100)

        dialogo = questdlg('¿Has escuchado el tono?', ...
            'Test de precisión','Sí','No','No');

        switch dialogo
            case 'Sí',
                suena = suena_segundo_anterior; % Era el segundo nivel
anterior el más aproximado... (QUE LENTO ES EL INDIVIDUO... jajaja)
                menor_umbral_preciso = curva(o+1,f)-20; % Inicializamos
al nivel anterior, 20 dB menos)

            case 'No',
                menor_umbral_preciso = curva(o+1,f)-10; %
Inicializamos al nivel anterior, 10 dB menos)
        end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%55

        case 'No',
            menor_umbral_preciso = curva(o+1,f); % Inicializamos al mayor posible
(que es el que teníamos con la aproximación)
        end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PONDERACIÓN %%%%%%%%%
%%% Lo hacemos de 2 en 2 dB

% -2 dB --> 10^(-2/20) = 0.7943
% -4 dB --> 10^(-4/20) = 0.6310
% -6 dB --> 10^(-6/20) = 0.5012
% -8 dB --> 10^(-8/20) = 0.3981

ponderacion = [0.3981 0.5012 0.6310 0.7943]; % Lo ponderamos todo hacia abajo, ya que el
método de los límites lo hacíamos ascendente, y el umbral exacto estará en un sonido más
tenue
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% LO HACEMOS ALEATORIO PARA QUE EL PACIENTE NO PUEDA INTUIR EL FUNCIONAMIENTO
% Y MANIPULAR EL RESULTADO.

% APARTE, TIENE QUE TENER 2 RESPUESTAS POSITIVAS IGUALES DEL MISMO NIVEL.
% SINO NOS QUEDAREMOS CON LA SIGUIENTE DE MAYOR NIVEL.

%%% Si no escucha 2 veces el mismo tono más tenue, es que apenas es capaz de
%%% percibirlo, por lo que puede que el umbral sea una pizca más
%%% alto (Quizá realmente no lo había oído). Nos quedaremos con el
%%% siguiente más alto!

%%% NECESITO CREAR "umbral_esaclera" PARA NO MACHACAR el
%%% "menor_umbral_preciso" CUANDO PASE POR LOS "for"
umbral_escalera = menor_umbral_preciso; % Tenemos que inicializar al umbral
correspondiente después de aplicar el "método de la escalera"

for i = 1 : 2 % Lo repetimos 2 veces

```

```

for j = 1 : 4 % Tamaño del vector de ponderación
    ponderacion = ponderacion(randperm(4)); % ALEATORIOZAMOS LAS PONDERACIONES
    suena_menos = ponderacion(j).*suena;
    sound(suena_menos,44100)
    dialogo = questdlg('¿Has escuchado el tono?', ...
        'Test de precisión', 'Sí', 'No', 'No');
    switch dialogo
        case 'Sí',
            umbral_preciso(j) = 20*log10(ponderacion(j)*(10^(umbral_escalera/20)));
            validez(i,j) = umbral_preciso(j); % Para comprobar

        case 'No',
            umbral_preciso(j) = curva(o+1,f); % Si no le damos ningún valor en el
            vector habrá un cero, y eso no nos interesa...
            validez(i,j) = umbral_preciso(j);
    end
end
% end

for i = 1 : length(umbral_preciso) % Ponemos el valor más pequeño de los dos. Será
el "umbral más preciso"...
    if umbral_preciso(i) <= menor_umbral_preciso;
        menor_umbral_preciso = umbral_preciso(i);
    end
end

end

disp(' ')
disp('Umbral exacto')

umbral_valido = 0;
for i = 1 : 2
    for j = 1 : 4
        if menor_umbral_preciso == validez(i,j)
            umbral_valido = umbral_valido + 1;
        end
    end
end

if umbral_valido == 2
    curva(o+1,f) = menor_umbral_preciso
else
    curva(o+1,f) = menor_umbral_preciso+2 % Le sumamos 2 dB, que es el siguiente nivel más
alto
end
end

```

estimulos_aux.m

Esta función se ejecuta cuando repetimos alguna medición.

```

msgbox('Vamos a afinar el umbral. Sonarán distintas amplitudes. Conteste si las escucha
pulsando SÍ o NO.', 'Precisión')
uiwait(gcf)

```

```

%%% ESCALERA %%%

```

```

% Lo primero que hacemos es darle el valor anterior para ver si lo oye,
% porque es muy posible que haya apretado después de tiempo...

bajar_10_dB = 10^(-10/20); % Para ponderarlo a la amplitud anterior sin tener que ir a
buscarla y cargarla de nuevo, que sería un poco rollo...
suena_anterior = bajar_10_dB.*suena;

sound (suena_anterior,44100)

dialogo = questdlg('¿Has escuchado el tono?', ...
    'Test de precisión','Sí','No','No');
switch dialogo
case 'Si',
    suena = suena_anterior; % Era el nivel anterior el más aproximado...
    menor_umbral_preciso = curva(o_aux+1,f_aux)-10; % Inicializamos al nivel
anterior, 10 dB menos)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%55
suena_segundo_anterior = bajar_10_dB.*suena;
sound(suena_segundo_anterior,44100)

dialogo = questdlg('¿Has escuchado el tono?', ...
    'Test de precisión','Sí','No','No');

switch dialogo
case 'Si',
    suena = suena_segundo_anterior; % Era el segundo nivel
anterior el más aproximado... (QUE LENTO ES EL INDIVIDUO... jajaja)
    menor_umbral_preciso = curva(o_aux+1,f_aux)-20; %
Inicializamos al nivel anterior, 20 dB menos)

case 'No',
    menor_umbral_preciso = curva(o_aux+1,f_aux)-10; %
Inicializamos al nivel anterior, 10 dB menos)
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%55

case 'No',
    menor_umbral_preciso = curva(o_aux+1,f_aux); % Inicializamos al mayor
posible (que es el que teníamos con la aproximación)
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PONDERACIÓN %%%%%%%%%
%% Lo hacemos de 2 en 2 dB

% -2 dB --> 10^(-2/20) = 0.7943
% -4 dB --> 10^(-4/20) = 0.6310
% -6 dB --> 10^(-6/20) = 0.5012
% -8 dB --> 10^(-8/20) = 0.3981

ponderacion = [0.3981 0.5012 0.6310 0.7943]; % Lo ponderamos todo hacia abajo, ya que el
método de los límites lo hacíamos ascendente, y el umbral exacto estará en un sonido más
tenue
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% LO HACEMOS ALEATORIO PARA QUE EL PACIENTE NO PUEDA INTUIR EL FUNCIONAMIENTO
% Y MANIPULAR EL RESULTADO.

% APARTE, TIENE QUE TENER 2 RESPUESTAS POSITIVAS IGUALES DEL MISMO NIVEL.
% SINO NOS QUEDAREMOS CON LA SIGUIENTE DE MAYOR NIVEL.

%%% Si no escucha 2 veces el mismo tono más tenue, es que apenas es capaz de
%%% percibirlo, por lo que puede que el umbral sea una pizca más
%%% alto (Quizá realmente no lo había oído). Nos quedaremos con el
%%% siguiente más alto!

```

```

%%% NECESITO CREAR "umbral_esaclera" PARA NO MACHACAR el
%%% "menor_umbral_preciso" CUANDO PASE POR LOS "for"
umbral_escalera = menor_umbral_preciso; % Tenemos que inicializar al umbral
correspondiente después de aplicar el "método de la escalera"

for i = 1 : 2 % Lo repetimos 2 veces

    for j = 1 : 4 % Tamaño del vector de ponderación

        ponderacion = ponderacion(randperm(4)); % ALEATORIOZAMOS LAS PONDERACIONES

        suena_menos = ponderacion(j).*suena;

        sound(suena_menos,44100)

        dialogo = questdlg('¿Has escuchado el tono?', ...
            'Test de precisión', 'Sí', 'No', 'No');

        switch dialogo
            case 'Sí',
                umbral_preciso(j) = 20*log10(ponderacion(j)*(10^(umbral_escalera/20)));

                validez(i,j) = umbral_preciso(j); % Para comprobar

            case 'No',

                umbral_preciso(j) = curva(o_aux+1,f_aux); % Si no le damos ningún valor
en el vector habrá un cero, y eso no nos interesa...

                validez(i,j) = umbral_preciso(j);

            end

        end

    end

%     end

    for i = 1 : length(umbral_preciso) % Ponemos el valor más pequeño de los dos. Será
el "umbral más preciso"...

        if umbral_preciso(i) <= menor_umbral_preciso;

            menor_umbral_preciso = umbral_preciso(i);

        end

    end

end

disp(' ')
disp('Umbral exacto')

umbral_valido = 0;

for i = 1 : 2
    for j = 1 : 4

        if menor_umbral_preciso == validez(i,j)

            umbral_valido = umbral_valido + 1;

        end

    end

end

if umbral_valido == 2
curva(o_aux+1,f_aux) = menor_umbral_preciso
else
curva(o_aux+1,f_aux) = menor_umbral_preciso+2 % Le sumamos 2 dB, que es el siguiente
nivel más alto
end

```

grafica.m

Genera el audiograma.

```
function grafica(hg, curva)
%
% function grafica(hg, curva)
%
% Crea el audiograma
%
freq=[125 250 500 1000 2000 4000 8000 12000 16000 20000]; % A estas frecuencias irán las
medidas ("x" y "o")
% axis(hg, [125 20000 -80 0]) % Formateamos los ejes

% OÍDO IZQUIERDO
hold off
semilogx(hg, freq, curva(1,:), 'bx') % Marcamos los puntos
grid
hold on
semilogx(hg, freq, curva(1,:), 'b') % Trazamos una línea que pasa por los puntos

% OÍDO DERECHO
semilogx(hg, freq, curva(2,:), 'ro')
semilogx(hg, freq, curva(2,:), 'r')

set (hg, 'YDir', 'reverse') % LE DAMOS LA VUELTA AL EJE Y
set (hg, 'XTick', [125 250 500 1000 2000 4000 8000 12e3 16e3 20e3])
set (hg, 'FontSize', 6)
set(hg, 'XLim', [125 20000])

xlabel('(Hz)')
ylabel('(dB)')
```

redondeo.m

Pasa al entero más próximo (se deshace de los decimales).

```
function curva = redondeo(curva_in)
%
%function curva = redondeo(curva_in)

for i = 1 : 2
    for j = 1 : 10
        curva(i,j) = int8 (round (curva_in (i,j))); % Redondea al entero más cercano y
lo convierte en un numero entero sin decimales (ya no es un double)
    end
end
```

