



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

ESPE – LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN AUDIOMETRO
VIRTUAL CON LA APLICACIÓN DEL ANALISIS DEL EFECTO
AURAL EN LOS HABITANTES DE LA CIUDAD DE
LATACUNGA”**

MARCELA PAZMIÑO

PAOLA VELASCO

Latacunga-Ecuador

2005

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica del Ejército y a sus docentes, por los conocimientos impartidos día a día durante el transcurso de mi carrera.

Al Doctor Lázaro Dueñas, por compartir con nosotras su valioso conocimiento y experiencia en el campo de la Otorrinolaringología.

A mis amigos, por estar siempre a mi lado y por todos y cada uno de los momentos compartidos.

Marcela

A Dios, porque ha sido la fuerza que me ha impulsado a continuar todos los días hasta alcanzar esta meta.

A mi familia, por su amor, paciencia y apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

A mis amigos, porque me han brindado su amistad sincera y desinteresada.

A mis profesores por compartir su conocimiento y experiencia durante estos años.

Al doctor Lázaro Dueñas, por la apertura brindada al compartir su experiencia profesional con nosotras.

Paola

DEDICATORIA

El presente proyecto de Tesis esta dedicado de manera especial, a Dios, por haberme concedido el don de la vida y ser mi guía en todo momento.

A mis padres, por brindarme su apoyo y su confianza de manera incondicional.

A mi familia, quienes supieron darme el aliento y la fuerza necesaria para continuar y alcanzar la meta anhelada.

Marcela

A mis padres, Edison y Marcia, mis hermanos Gabriela, Diego y Edison Patricio, quienes en todo momento supieron darme una palabra de aliento para continuar en el camino. Y mi sobrinito Ismael quién ha sido mi compañía durante la culminación de mi carrera.

Paola

INDICE

PÁG.

INTRODUCCION

CAP. I ASPECTOS BASICOS SOBRE EL SONIDO

1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO.....	2
1.2.1. Tono o altura.....	3
1.2.2. Intensidad.....	3
1.2.2.1. Ley de Fechner.....	4
1.2.3. Timbre.....	4
1.2.4. Refracción, reflexión e interferencias.....	5
1.3. GENERACION DE SONIDOS.....	5
1.3.1. Sonidos en general.....	6
1.3.2. La voz.....	8
1.4. PERCEPCION DEL SONIDO.....	9
1.4.1. Anatomía y Fisiología del oído humano.....	9
1.4.1.1.El oído externo.....	10
1.4.1.2.El oído medio.....	11
1.4.1.3.El oído interno.....	11
1.4.2. Capacidad auditiva.....	14
1.4.2.1. Área de audición.....	15
1.4.3. Pérdida auditiva.....	18
1.4.4. Enfermedades del oído.....	20
1.4.4.1 Enfermedades del oído externo.....	21
1.4.4.2 Enfermedades del oído medio.....	22
1.4.4.3 Enfermedades del oído interno.....	23
1.4.5. Exploración funcional de la audición.....	24
1.4.5.1. Audiometría fónica.....	26
1.4.5.2. Audiometría instrumental.....	26
1.4.5.3. Audiometría electrónica.....	26
1.4.6. Audiómetros.....	27
1.4.6.1. El audiómetro.....	27
1.4.6.2. Tipos de audiómetros.....	29
1.5. EFECTO AURAL.....	30
1.5.1. Bandas críticas.....	30
1.5.2. Enmascaramiento.....	33

CAP. II. INSTRUMENTACION VIRTUAL

2.1. INSTRUMENTO VIRTUAL.....	36
2.2. HARDWARE	36
2.2.1. PC.....	37
2.2.2. Tarjeta de sonido.....	37
2.2.3. Puertos.....	38
2.2.4. Auriculares.....	38
2.2.5. Botón de respuesta.....	39
2.3. SOFTWARE.....	39
2.3.1. MATLAB.....	39
2.3.2. Entorno de Trabajo de MATLAB.....	42
2.3.3. Funciones de procesamiento de sonido.....	47
2.3.2.1. Sesión de Adquisición de datos. Ejemplos.....	50

CAP. III. DISEÑO E IMPLEMENTACION

3.1. RECOMENDACIONES MEDICAS PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL AUDIOMETRO.....	52
3.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL AUDIOMETRO A IMPLEMENTAR.....	57
3.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	58
3.3.1. Diagrama del sistema.	58
3.3.2. Especificaciones de requisitos del sistema.....	58
3.3.3. Diseño del hardware/software.....	59

CAP. IV. ANALISIS, PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1. CALIBRACION Y PUESTA A PUNTO.....	72
4.2. SELECCIÓN DE LA MUESTRA PARA EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS CON EL AUDIOMETRO VIRTUAL AMP 1000...	74
4.3. PRUEBAS CON EL INSTRUMENTO VIRTUAL.....	74
4.4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	75
4.5. ANALISIS DEL EFECTO AURAL.....	77

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES.....	81

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INTRODUCCION

Alrededor de un 10% de la población padece problemas de audición, esta alteración afecta de forma especial a las personas que la padecen, ya que su integración en la sociedad es muy difícil. Si una persona tiene problemas auditivos, estos influirán en su comunicación, afecta a todas las edades y sus consecuencias son leves o graves. Algunas personas con pérdida auditiva pueden experimentar problemas de participación, aislamiento, sentirse solas y deprimidas

La detección de la pérdida de audición es muy importante, sobre todo en niños, ya que oír bien significa aprender bien (adquirir el lenguaje o evitar retraso escolar). En los adultos, un diagnóstico precoz puede significar la recuperación auditiva en muchos casos. Algunas enfermedades de oído medio-interno dejadas a su evolución pueden significar la pérdida irreversible de la audición o la aparición de complicaciones intracraneales.

Es importante que los familiares ayuden y animen a quien padece de pérdida auditiva, a visitar a un especialista para poder mejorar su calidad de vida.

Para determinar un problema auditivo es necesario realizar un examen de audiometría, el que es aplicado con equipos especializados. Gracias a los exámenes de audiometría se pueden cifrar las pérdidas auditivas y a su vez determinar la magnitud de estas en relación con las vibraciones acústicas. El instrumento para efectuar dicho examen, es conocido como audiómetro.

El propósito fundamental de la presente Tesis es el de, diseñar e implementar un audiómetro virtual, aprovechando las herramientas existentes en el campo

computacional, que le permita al especialista realizar pruebas de manera confiable y eficiente, para diagnosticar problemas auditivos.

El audiómetro es un instrumento sencillo que produce tonos puros de varias frecuencias determinadas que pueden ser escuchados a través de auriculares. La persona que está siendo examinada se suele encerrar en una cabina insonorizada que elimina los ruidos externos y está provista de un interruptor. Cada oído se estudia de forma independiente. La sensibilidad se examina a frecuencias de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz, 4.000 Hz, 8.000 Hz. E intensidades de 0 a 100dB. (Valores estandarizados).

Para alcanzar el fin anteriormente citado, se han desarrollado cuatro capítulos.

El capítulo I comprende la información teórica de los Aspectos Básicos sobre el Sonido tales como, características, generación, percepción y efecto aural.

Dentro de la percepción del sonido se hace un estudio de la anatomía y fisiología del oído humano, capacidad y pérdida auditiva, enfermedades auditivas, exploración funcional de la audición y se trata acerca de los audiómetros.

El capítulo II se realiza un estudio acerca de los conceptos principales de Instrumentación Virtual. Así como de los componentes de hardware y software que se van a utilizar.

El capítulo III comprende el Diseño e Implementación del audiómetro virtual, se presenta las recomendaciones médicas en las que se basa el funcionamiento del audiómetro, diagrama del sistema, especificaciones técnicas y de requisitos del sistema.

En el diseño de software se indican las pantallas y la programación realizadas en MATLAB.

En el capítulo IV se realizan las pruebas experimentales, para determinar los alcances y limitaciones que tiene el instrumento virtual. Además se hace un análisis del efecto aural.

Finalmente se da a conocer las conclusiones y recomendaciones que verifican lo planteado al inicio de ésta investigación.

CAPITULO I

ASPECTOS BASICOS SOBRE EL SONIDO

1.1. GENERALIDADES

Sonido, fenómeno físico que estimula el sentido del oído. En los seres humanos, esto ocurre siempre que una vibración con frecuencia comprendida entre unos 20 y 20.000 Hz (banda acústica) llega al oído interno. El Hertz (Hz) es una unidad de frecuencia que corresponde a un ciclo por segundo. Estas vibraciones llegan al oído interno transmitidas a través del aire, y a veces se restringe el término “sonido” a la transmisión en este medio. Sin embargo, en la física moderna se suele extender el término a vibraciones similares en medios líquidos o sólidos. “Los sonidos no audibles se clasifican en *infrasonidos*, con frecuencias inferiores a 20 Hz, y *ultrasonidos* con frecuencias superiores a unos 20.000 Hz”¹.

En general, las ondas pueden propagarse de forma transversal o longitudinal. En ambos casos, sólo la energía y la cantidad de movimiento se propagan en el medio; ninguna

¹ ENCICLOPEDIA “Guía del estudiante”, Física, Madrid, 1995, pág. 130

parte del propio medio se mueve físicamente a una gran distancia. Una onda de sonido es una serie de compresiones y enrarecimientos sucesivos del aire. Cada molécula individual transmite la energía a las moléculas vecinas, pero una vez que pasa la onda de sonido, las moléculas permanecen más o menos en la misma posición.

1.2. CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO

Cualquier sonido sencillo, como una nota musical, puede describirse en su totalidad especificando tres características de su percepción: el tono, la intensidad y el timbre. Estas corresponden exactamente a tres características físicas: la frecuencia, la amplitud y la composición armónica o forma de onda. El ruido es un sonido complejo, una mezcla de diferentes frecuencias o notas sin relación armónica.

1.2.1. Tono o altura

“Es dado por la cantidad de vibraciones, vibraciones dobles o ciclos en la unidad de tiempo. Por eso se llama también frecuencia, de acuerdo con su baja o alta frecuencia los sonidos se denominan graves o agudos. Si se practica una audiometría a una persona joven normal, se comprueba que su oído es sensible a todos los sonidos entre 20 Hz y 20.000 Hz. El oído de las personas mayores es menos agudo, sobre todo en las frecuencias más elevadas.

La unidad de frecuencia es la octava, la misma que se obtiene duplicando el número de vibraciones por segundo a partir de 16, umbral en que se perciben las vibraciones con carácter de sonido. La octava no es una unidad absoluta sino relativa.

El límite artificial entre los sonidos graves y los agudos puede situarse en los 1024 ciclos por segundo, es lógico adoptar este punto límite pues tiene, dentro del espectro de frecuencias tantas octavas por debajo como por encima, y está en plena zona de la palabra hablada.

Esta zona es de mayor importancia práctica dentro de la gama o espectro de las frecuencias, se encuentra entre los 1000 y 4000 ciclos por segundo. Dentro de esta zona la voz masculina ocupa la parte grave, la femenina la aguda, y las distintas letras se van situando en ella de acuerdo con el número de ciclos por segundo que representa aproximadamente cada una².

1.2.2. Intensidad

“Es la magnitud de la sensación auditiva producida por la amplitud de las perturbaciones que llegan al oído. La sonoridad de un sonido es una cualidad subjetiva y no puede medirse exactamente con instrumentos. No se ha establecido una escala absoluta para medir la sonoridad de un sonido, se usa una escala relativa, basada en el logaritmo de la relación de dos intensidades.

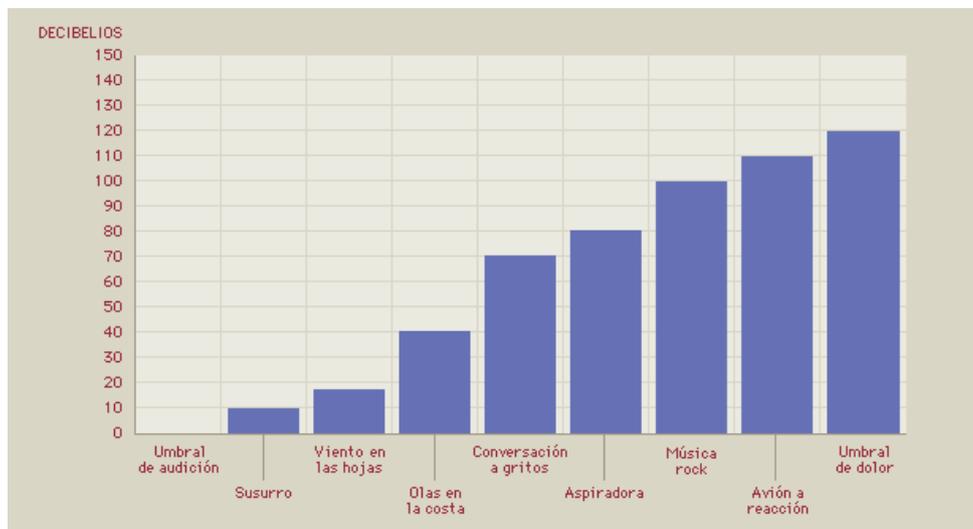


Figura I.1. Intensidad fisiológica de un sonido

La intensidad fisiológica o sensación sonora de un sonido se mide en decibelios (dB). Por ejemplo, el umbral de la audición está en 0 dB, la intensidad

² THOMSON V - BERTELLI J, “Clínica Otorrinolaringológica”, segunda edición, Cuba 1973, pág. 21-22.

fisiológica de un susurro corresponde a unos 10 dB y el ruido de las olas en la costa a unos 40 dB. La escala de sensación sonora es logarítmica, lo que significa que un aumento de 10 dB corresponde a una intensidad 10 veces mayor: por ejemplo, el ruido de las olas en la costa es 1.000 veces más intenso que un susurro, lo que equivale a un aumento de 30 dB³.

La máxima intensidad que es posible percibir sin causar daño se denomina umbral de sensación desagradable 1w/m^2 mientras que el más débil es un billón de veces más pequeño (10^{-12}w/m^2).

1.2.2.1. Ley de Fechner.- Establece que mientras las sensaciones auditivas crecen en proporción aritmética, las excitaciones crecen en proporción geométrica, no es directamente proporcional es logarítmica.

Por estas razones se usan los logaritmos de las intensidades de las ondas sonoras. La unidad de intensidad sonora es el dB, que es igual a 10 veces el logaritmo del cociente entre la intensidad del sonido (I) y la intensidad del sonido audible más débil ($I_0=10^{-12}\text{w/m}^2$).

$$I \text{ decibel} = 10 \log_{10} (I / I_0) [\text{w/m}^2] \quad (I.1)$$

1.2.3. Timbre

“El timbre es la característica del sonido que nos permite distinguir los tonos producidos por instrumentos distintos aunque las ondas sonoras tengan la misma amplitud y frecuencia. Los armónicos son componentes adicionales de la onda que vibran con múltiplos enteros de la frecuencia principal y dan lugar a

³ SETO, William W. “Teoría y problemas de Acústica”, México, McGraw-Hill, 1973, pág. 140.

diferencias de timbre. El oído distingue por su timbre la misma nota producida por un diapasón, un violín o un piano”⁴.

1.2.4. Refracción, reflexión e interferencias

El sonido avanza en línea recta cuando se desplaza en un medio de densidad uniforme. Sin embargo, igual que la luz, el sonido está sometido a la refracción, es decir, la desviación de las ondas de sonido de su trayectoria original. La excelente recepción del sonido a favor del viento y la mala recepción en contra del viento se deben a la refracción. La velocidad del aire suele ser mayor en las alturas que cerca del suelo; una onda de sonido ascendente que avanza a favor del viento se desvía hacia el suelo, mientras que una onda similar que se mueve en contra del viento se desvía hacia arriba, por encima de la persona que escucha.

El sonido también se ve afectado por la reflexión, y cumple la ley fundamental de que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Un eco es el resultado de la reflexión del sonido.

El sonido también experimenta difracción e interferencia. Si el sonido de una única fuente llega a un oyente por dos trayectorias diferentes; por ejemplo, una directa y otra reflejada, los dos sonidos pueden reforzarse; sin embargo, si no están en fase pueden interferir de forma que el sonido resultante sea menos intenso que el sonido directo sin reflexión. Las trayectorias de interferencia son distintas para sonidos de diferentes frecuencias, con lo que la interferencia produce distorsión en sonidos complejos.

1.3. GENERACION DE SONIDOS

⁴ ENCARTA.© 1993-2003 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

El sonido se produce por una vibración de los cuerpos, que se transmite al aire que los rodea. Dos experiencias sencillas permitirán confirmar lo dicho:

a) Se toman dos pandeetas, y estas se colocan paralelas, enfrentadas y cercanas. De una de ellas se suspende un pequeño péndulo. Al golpear la otra, el péndulo de la anterior comienza a vibrar.

b) Se coloca a un despertador dentro de una campana de vacío, cuando aquel suene no se oirá desde el exterior.

Resultados.- Según la experiencia A, el sonido se produce por la vibración de un cuerpo, y según la B, el sonido se propaga en el aire, aunque nunca en el vacío. Las vibraciones se transmiten de zona en zona en el aire, hasta llegar a nuestro tímpano, el cual vibra transmitiendo dicho movimiento a los huesecillos que se apoyan suavemente sobre él, lo que da por resultado la sensación que llamamos sonido.

1.3.1. Sonidos en general

“El ruido, la música y la conversación son las tres manifestaciones básicas del sonido. La voz humana como fuente de sonido y el oído como receptor constituyen el sistema natural del fenómeno sonoro. La acústica es la parte de la física que se ocupa del estudio del sonido en sus aspectos cualitativo y cuantitativo.

- 1. Ruido.-** Es todo lo que oímos y subjetivamente podríamos definirlo como un sonido desagradable o indeseado. Técnicamente el ruido es el resultado de la combinación de sonidos de una sola frecuencia o tonos puros, y tiene esencialmente un espectro de frecuencia continuo, de amplitud y longitud de ondas irregulares, por tanto, puede compararse con la luz blanca, que se compone de una mezcla de luces de los distintos colores. Los distintos ruidos se distinguen por sus diferentes distribuciones de energía en los distintos rangos de frecuencias.

El ruido en el aire se debe a fluctuaciones de la presión del aire con respecto a la presión atmosférica media, el ruido en las estructuras se debe a vibraciones mecánicas de cuerpos elásticos y el ruido en los líquidos se debe a pulsaciones de la presión del líquido con relación a la presión estática media.

El ultrasonido es un ruido de frecuencia mayor a los 20000Hz y el infrasonido ruido de frecuencia menor que 20Hz.

- 2. Música.-** Puede describirse como una sensación mental altamente subjetiva y compleja experimentada al escuchar una sucesión o combinación de sonidos diferentes producidos por cuerpos en vibración, tales como cuerdas, membranas y columnas de aire.

A diferencia del ruido, los tonos musicales tienen estructura armónica simple de formas de onda regulares y consta de la frecuencia fundamental y de los armónicos enteros. La acústica musical encierra leyes psicológicas, físicas y también fenómenos y aspectos de producción de tonos.

- 3. Conversación.-** Los sonidos de la conversación son ondas acústicas audibles complejas que proporcionan al oyente gran información. La conversación está relacionada con la estructura del lenguaje y se caracteriza por el aspecto interpretativo, sonoridad, tono, timbre y tiempo.

La claridad de la conversación es un indicador de cuánto se entiende, y depende de la potencia acústica liberada durante la conversación. La claridad con que se escucha depende de la agudeza auditiva y de los ruidos del ambiente.

La articulación del sonido representa el porcentaje del número total de sonidos pronunciados registrados e identificados correctamente. La articulación generalmente crece en forma rápida con el nivel de conversación hasta 70dB.

La perturbación de un sonido puede describirse como el cambio del umbral de audición del sonido presente debido a la existencia del sonido enmascarante. Es la reducción de la habilidad de un oyente para escuchar un sonido en presencia de otros sonidos. Para una frecuencia dada, la diferencia en dB entre el ruido de fondo y el umbral de audición normal, se define como grado de perturbación.

En general, para que se entienda el habla y se comprenda satisfactoriamente un tema musical basta reproducir las frecuencias entre 250 y 3.000 Hz (el rango de frecuencias de un teléfono normal), aunque algunos sonidos —como la zeta— requieren frecuencias de hasta 6.000 Hz. Sin embargo, para que el efecto sea natural hay que reproducir el rango que va aproximadamente de 100 a 10.000 Hz. Los sonidos generados por unos pocos instrumentos musicales sólo pueden reproducirse con naturalidad con frecuencias algo más bajas, y algunos ruidos necesitan frecuencias más altas”⁵.

1.3.2. La voz

“Ondas sonoras producidas en la laringe por la salida del aire (espiración) que, al atravesar las cuerdas vocales, las hace vibrar. La voz se define en cuanto a su tono, calidad e intensidad o fuerza. El tono óptimo o más adecuado para el habla, al igual que su rango de variación, depende de cada individuo y está determinado por la longitud y masa de las cuerdas vocales. Por tanto, el tono puede alterarse, variando la presión del aire exhalado y la tensión sobre las cuerdas vocales. Esta combinación determina la frecuencia a la que vibran las cuerdas: a mayor frecuencia de vibración, más alto es el tono.

Otro aspecto de la voz es la resonancia. Una vez que ésta se origina, resuena en el pecho, garganta y cavidad bucal. La calidad de la voz depende de la

⁵ SETO, William W. “Teoría y problemas de Acústica”, México, McGraw-Hill, 1973, pág. 139.

resonancia y de la manera en que vibran las cuerdas vocales, mientras que la intensidad depende de la resonancia y de la fuerza de vibración de las cuerdas.

La articulación se refiere a los movimientos de los órganos vocales para producir los sonidos del lenguaje. Los instrumentos de la articulación son: los labios, la lengua, los dientes, las mandíbulas y el paladar. Los sonidos del lenguaje se articulan mediante la interrupción o modelación de los flujos de aire, vocalizados y no vocalizados, a través del movimiento de la lengua, los labios, los dientes, la mandíbula inferior y el paladar.

En general la intensidad de la voz humana la da la corriente de aire forzada que viene desde los pulmones a través de las cuerdas vocales. La frecuencia de la voz humana es controlada por la elasticidad y la vibración de las cuerdas vocales, mientras que los resonadores gobiernan la calidad del sonido producido"⁶.

1.4. PERCEPCION DEL SONIDO

El mecanismo de audición humana es esencialmente un transductor electroacústico altamente sensible que responde a ondas sonoras de un vasto alcance de frecuencias, intensidades y formas de onda. Este transforma las fluctuaciones de presión acústica en pulsos en el nervio auditivo. Estos pulsos son llevados al cerebro, el cual los interpreta e identifica, y los convierte en sensaciones.

1.4.1. Anatomía y Fisiología del Oído Humano

“El oído es el órgano responsable de la audición y el equilibrio. Se divide en tres zonas: externa, media e interna.

⁶ ENCARTA.© 1993-2003 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Las partes más externas del oído son el pabellón auditivo, que es la zona visible del oído, y el conducto auditivo, que está encerrado y atrapa la suciedad. Este canal transmite los cambios de presión de aire y las ondas sonoras al tímpano, o membrana timpánica. En el tímpano comienza el oído medio, que también incluye la trompa de Eustaquio y los tres pequeños huesos vibrantes del oído: martillo, yunque y estribo. La cóclea y los canales semicirculares constituyen el oído interno. La información pasa desde el oído interno al cerebro vía nervio auditivo.

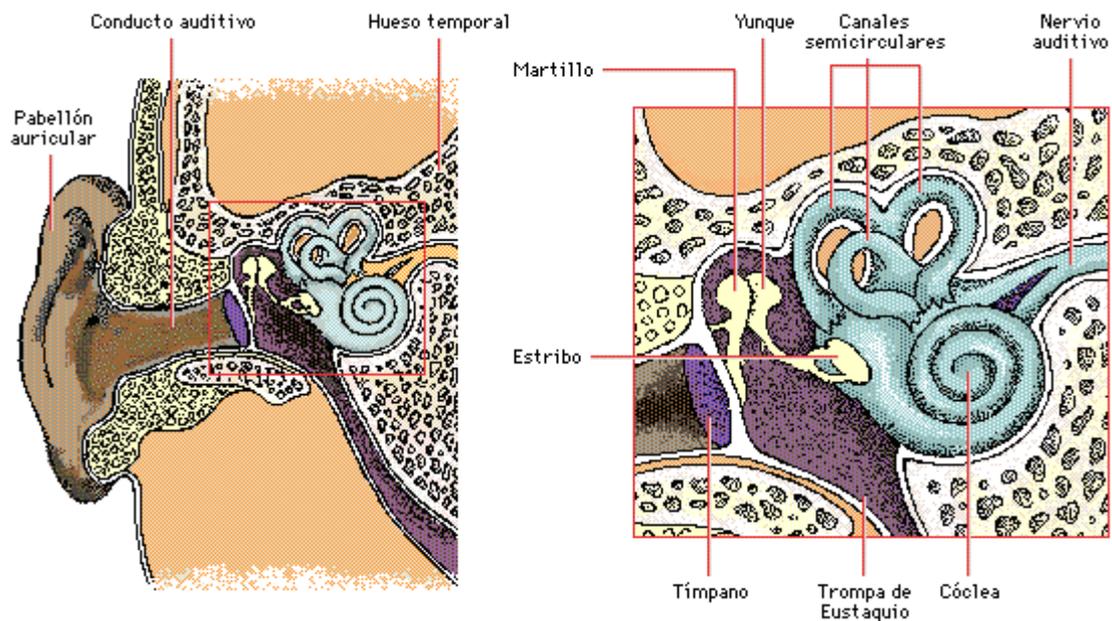


Figura I.2. Anatomía del Oído Humano

1.4.1.1. El oído externo

Es la parte del aparato auditivo que se encuentra en posición lateral al tímpano o membrana timpánica. Comprende la oreja o pabellón auricular o auditivo (lóbulo externo del oído) y el conducto auditivo externo, que mide aproximadamente tres centímetros de longitud y presenta dos zonas: una externa que es fibrocartilaginosa y otra interna que es ósea.

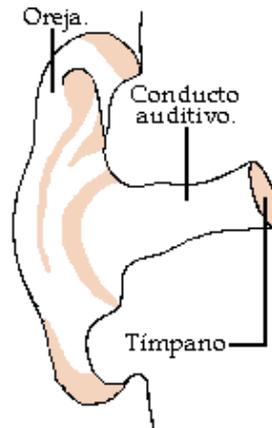


Figura 1.3. Oído externo

1.4.1.2. El oído medio

Se encuentra situado en la cavidad timpánica llamada caja del tímpano, cuya cara externa está formada por la membrana timpánica, o tímpano, que lo separa del oído externo. Incluye el mecanismo responsable de la conducción de las ondas sonoras hacia el oído interno. Es un conducto estrecho, o fisura, que se extiende unos quince milímetros en un recorrido vertical y otros quince en recorrido horizontal.

El oído medio está en comunicación directa con la nariz y la garganta a través de la trompa de Eustaquio, que permite la entrada y la salida de aire del oído medio para equilibrar las diferencias de presión entre éste y el exterior. Hay una cadena formada por tres huesos pequeños y móviles (huesecillos) que atraviesa el oído medio. Estos tres huesos reciben los nombres de martillo, yunque y estribo. Los tres conectan acústicamente el tímpano con el oído interno, que contiene un líquido.

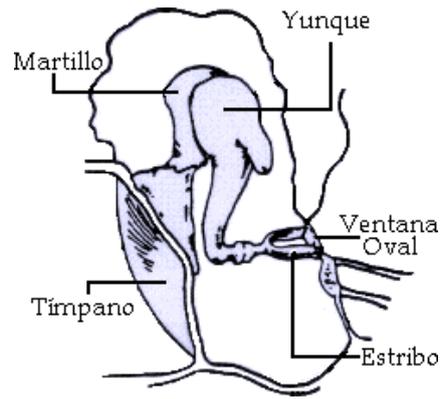


Figura I.4. Oído medio

1.4.1.3. Oído interno

a. Oído interno: El Caracol

Diferentes regiones del oído interno se encargan del sonido y del equilibrio. La audición es obra del caracol, tubo espiral similar a una concha de caracol, lleno de líquido y dividido a lo largo por la membrana basilar en las cámaras superior e inferior, separadas del oído medio por las ventanas oval y redonda, respectivamente.

En el caracol, las vibraciones transmitidas por los huesecillos disparan señales hacia un nervio que comunica con el cerebro. El estribo vibra contra la ventana oval, que transmite entonces las ondas de presión por el líquido de la cámara superior del caracol. La ventana redonda vibra libremente para igualar la presión del caracol y del oído medio. Las ondas producen en la membrana basilar y en su agregado, el órgano de corti, un túnel flanqueado por células piliformes que sirven de receptores auditivos. La perturbación de estas células estimulan las fibras del nervio coclear. Esta forma parte del nervio auditivo, que transmite señales a los centros auditivos situados en los lóbulos temporales del cerebro.

El hecho de que oigamos un sonido en un tono más alto o más bajo se debe a la parte de la membrana basilar que más resuena. Las ondas de presión de frecuencia baja se detectan donde la membrana es más ancha, y las de frecuencia alta ejercen su efecto cerca del extremo angosto de aquella.

Así como los ojos trabajan juntos para permitirnos evaluar la profundidad y la distancia, los dos oídos combinan su acción para indicarnos de donde viene un sonido. La capacidad de los oídos para medir distancias y localizar direcciones es mucho menos que la de los ojos. La edad, lesiones internas o enfermedades pueden hacer perder la audición de un oído o la de ambos, pero también existen varias maneras de superar la sordera en diferentes circunstancias.

Una afección que impide por ejemplo, el paso de las vibraciones sonoras por el oído medio, no es de por sí suficiente para acabar con la audición porque algunas audiciones se abren paso hasta el caracol por los huesos del cráneo. Los audífonos insertados en estos huesos utilizan este mecanismo. Los que se colocan en el oído externo compensan a menudo las lesiones del oído interno. Algunas fibras acústicas cruzan de un lado del cerebro al otro en su camino hasta los lóbulos temporales, si uno de estos resulta lesionado, no aparece necesariamente la sordera en el oído correspondiente.

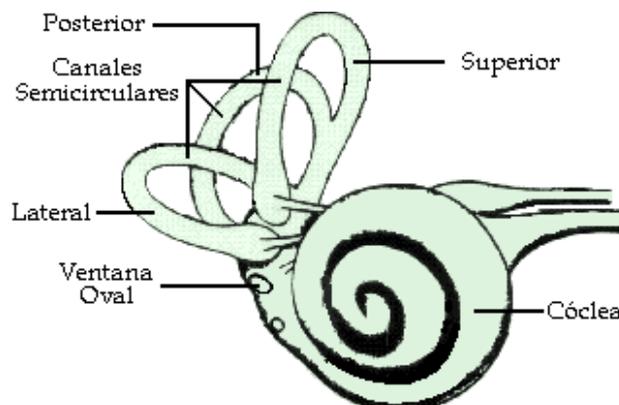


Figura 1.5. Oído interno

b. Oído interno: El Sistema Vestibular

El sistema vestibular del oído interno nos permite guardar el equilibrio aun con los ojos cerrados. Este sistema se compone de tres tubos semicirculares, perpendiculares entre sí y dos sacos, el utrículo y el sáculo, llenos todo de líquido y situados cerca del caracol. Los canales se ensanchan en un extremo, originando cámaras en forma abotellada. Cada cámara tiene una cápsula gelatinosa que contiene las células piliformes de un órgano receptor.

El canal semicircular superior registra las inclinaciones hacia delante, el posterior las inclinaciones hacia los lados, y el lateral, los giros de la cabeza. El utrículo y el sáculo registran las diferentes posiciones de la cabeza, debido a que estas causan distintas distribuciones de peso de los otolitos que afectan a las terminaciones nerviosas situadas en esas partes del sistema vestibular.

Desde el sistema vestibular las señales pasan a través de una 20000 fibras que forman el nervio vestibular, el cual se une al nervio coclear para constituir el nervio auditivo. Muchas fibras pasan directamente del nervio vestibular al cerebelo, donde ayudan a coordinar las extremidades, los ojos y el tronco⁷.

1.4.2. Capacidad auditiva

Muchos animales oyen una gama de frecuencias más amplia que la que somos capaces de oír los seres humanos. Por ejemplo, los silbatos para perros vibran a

⁷ ENCICLOPEDIA “El hombre”, Cuerpo, mente, salud, Círculo de Lectores S.A., 1985, págs. 38-40.

una frecuencia alta, que los seres humanos no somos capaces de detectar; mientras que ciertas evidencias sugieren que los delfines y las ballenas se comunican con frecuencias fuera del alcance del oído humano (ultrasonidos).

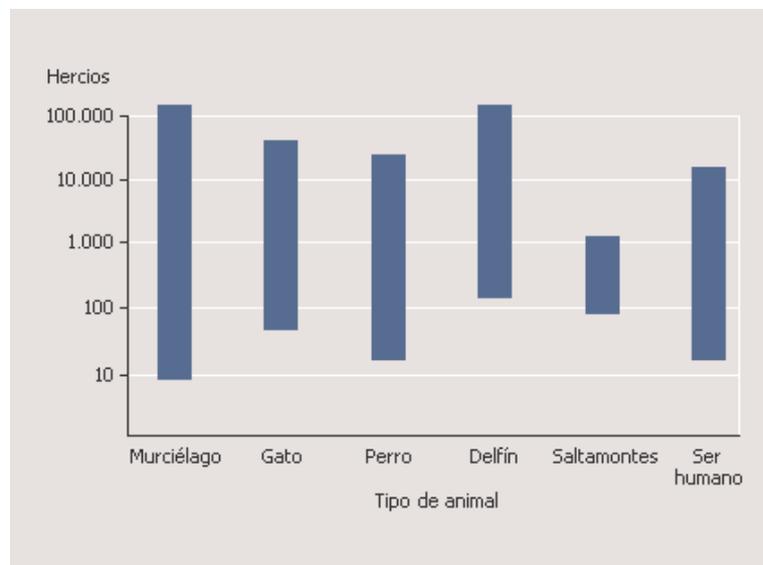


Figura I.6. Gama de frecuencias Audibles

1.4.2.1. Área de Audición

El ser humano es capaz de detectar únicamente aquellos sonidos que se encuentren dentro de un determinado rango de amplitudes y frecuencias. En este sentido, se puede establecer una analogía entre el aparato auditivo y un sistema electrónico de audio: en base al concepto convencional del rango dinámico.

“Se define el rango dinámico del oído como la relación entre la máxima potencia sonora que éste puede manejar y la mínima potencia necesaria para detectar un sonido. Así mismo, el rango de frecuencias asignado convencionalmente al sistema auditivo va desde los 20 Hz hasta los 20 kHz, aun cuando este rango puede variar de una persona a otra o disminuir en función de la edad de la persona, de trastornos auditivos o

de una pérdida de sensibilidad (temporal o permanente) debida a la exposición a sonidos de elevada intensidad.

Ahora bien, la sensibilidad del sistema auditivo no es independiente de la frecuencia; por el contrario, dos sonidos de igual presión sonora pueden provocar distintas sensaciones de intensidad o "sonoridad", dependiendo de su contenido espectral.

Estos tres parámetros del oído (rango dinámico, respuesta en frecuencia y sensibilidad en función de la frecuencia) se resumen en la siguiente figura, que ilustra el área de audición.

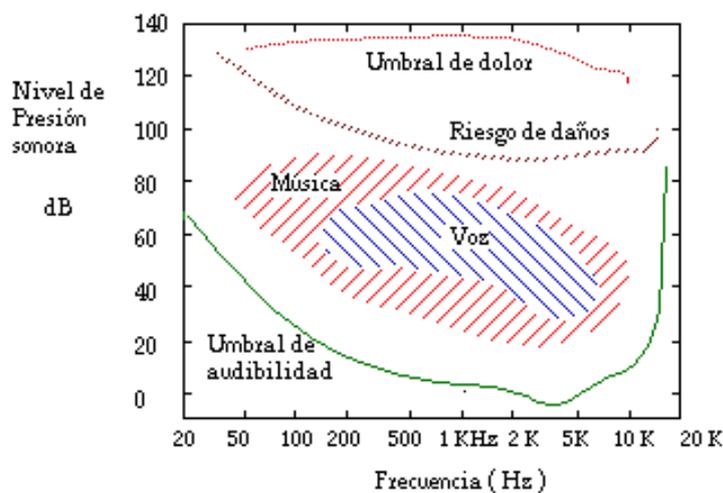


Figura I.7. Área de audición.

El extremo superior del rango dinámico está dado por el umbral de dolor, el cual define las presiones sonoras máximas que puede soportar el oído. Más abajo de este nivel, se encuentra el límite de riesgo de daños, el cual representa un umbral de presión sonora que no debe sobrepasarse por más de un cierto período de tiempo (ocho horas diarias por día laboral), o de lo contrario puede producirse un pérdida de sensibilidad permanente.

El extremo inferior, denominado umbral de audibilidad (UA), representa la sensibilidad del aparato auditivo, es decir, el valor mínimo de presión sonora que debe tener un tono para que éste sea apenas perceptible. La sensibilidad depende de la frecuencia de la señal sonora; a modo de

ejemplo, un tono de 1 kHz y 20 dB será audible (está por encima de la curva), mientras que un tono de 50 Hz e igual nivel será inaudible (está por debajo de la curva).

El aparato auditivo es capaz de operar sobre un rango de presiones sonoras muy amplio (unos 150 dB). En general, el oído humano es más sensible a los cambios de frecuencia que a los de intensidad y más sensible a sonidos de baja intensidad que a los de alta intensidad.

La sensibilidad del aparato auditivo puede variar considerablemente de una persona a otra; además, puede cambiar según las condiciones de propagación del sonido. Por esta razón, resulta conveniente definir un umbral de audibilidad promedio, también llamado mínimo campo audible promedio; éste se representa mediante una curva que indica la presión sonora de un tono puro de larga duración (> 200 ms), el cual se propaga en condiciones de campo libre y en ausencia de cualquier otro sonido, y que puede ser detectado por el 50% de una población de personas jóvenes (entre 18 y 25 años) y audiológicamente normales.

Los valores medios del umbral de audibilidad han sido objeto de un proceso de estandarización, descrito en un documento de la ISO.

Dado que el UA así definido representa un promedio, algunos sujetos serán capaces de percibir tonos que se encuentren por debajo de esta curva, como se ve en la figura I.9. Algunos individuos jóvenes pueden detectar tonos que se encuentran 20 dB por debajo del UA promedio. Asimismo, si bien la curva del UA promedio es razonablemente "suave", mediciones cuidadosas revelan que en cada sujeto dicha curva de sensibilidad puede presentar fluctuaciones del orden de 10 dB en intervalos de frecuencia pequeños (de menos de 100 Hz).

Por lo tanto, es preciso tener en mente que el umbral de audibilidad promedio no representa un límite absoluto, sino una medida estadística asociada con la probabilidad de detección de un tono de determinada frecuencia y amplitud y que, por ende, debe ser empleado con cautela;

por ejemplo, si el UA promedio se utiliza en un sistema que evalúa la calidad del sonido sometido a algún proceso de codificación, puede proporcionar resultados optimistas e inducir a errores”⁸.

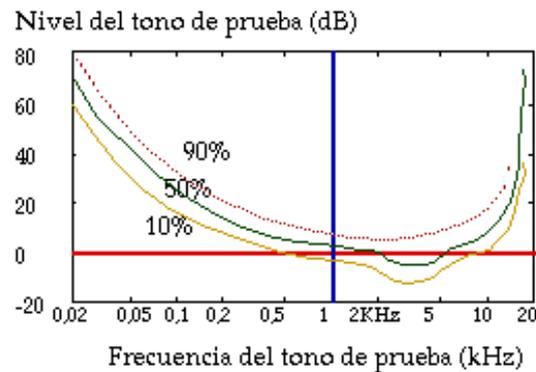


Figura I.8. Umbrales de audibilidad para el 10%, 50%(umbral promedio)y 90% de una población.

1.4.3. Pérdida auditiva

“La pérdida de la audición puede definirse como la diferencia en decibelios entre los umbrales de audición de una persona de audición deficiente y una que oye normalmente a una frecuencia dada.

$$PA = 10 \log \frac{I}{I_0} dB \quad (1.2)$$

Donde I es el umbral de la intensidad del sonido del oído deficiente e I₀ es el umbral de intensidad del oído normal.

La sordera, también conocida como hipoacusia es la incapacidad para oír; esta alteración afecta de forma especial a las personas que la padecen ya que su integración en la sociedad es muy difícil. Alrededor de un 10% de la población

⁸ <http://www.labc.usb.ve/EC4514/AUDIO/PSICOACUSTICA/Psicoacustica.html>

padece problemas de audición. Afecta a todas las edades y sus consecuencias son leves o graves. Un 1% de la población es sordo profundo, es decir, tiene una pérdida de audición tan importante que no se beneficia de aparatos de amplificación. Los duros de oído o sordos leves y moderados pueden beneficiarse, en grado variable, de los audífonos”⁹.

Se distinguen 4 tipos de sordera: de conducción, neurosensorial, mixta y central. La sordera de conducción se produce por enfermedades u obstrucciones del oído externo o medio y no suele ser grave; puede mejorar con audífonos y puede corregirse con tratamiento médico o quirúrgico.

La sordera neurosensorial se produce por lesión de las células sensitivas o de las terminaciones nerviosas del oído interno; puede ser desde leve hasta grave. La pérdida auditiva es mayor en unas frecuencias que en otras y queda distorsionada la percepción sonora aunque el sonido se amplifique. En este caso, los audífonos no son útiles. La sordera mixta se produce por problemas tanto en el oído externo o medio como en el interno. La sordera central se debe a la lesión del nervio auditivo (octavo par craneal) o de la corteza cerebral auditiva.

La sordera puede ser debida a una enfermedad, a un accidente, o congénita. La exposición continua o frecuente a niveles de sonido superiores a 85 decibelios (dB) puede causar sordera neurosensorial progresiva.

En un examen de audición, se emplean audiómetros, atenuadores, interruptores y audífonos para determinar el umbral de audición, los defectos y los deterioros de la audición.

1. Pérdida por envejecimiento

⁹ SETO William W. “Teoría y problemas de Acústica”, México, McGraw-Hill, 1973, pág. 143-144.

“Las personas al envejecer presentan una pérdida auditiva a partir de los 30 años, la misma que se manifiesta a frecuencias por encima de los 1000Hz.

Por lo que en las audiometrías, será necesario realizar las correcciones correspondientes a cada frecuencia para eliminar el efecto de la pérdida auditiva debido a la edad y obtener de este modo el daño real debido a la exposición al ruido.

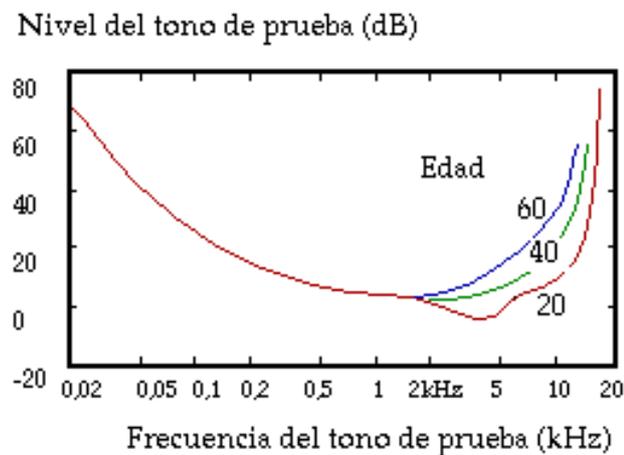


Figura 1.9. Umbrales de audibilidad según la edad de los sujetos

2. Pérdida inducida

Si el oído de una persona se somete durante un corto tiempo a niveles altos de ruido se notará un deterioro transitorio del umbral de audición inmediatamente. En cambio si un nivel alto de ruido se aplica en forma prolongada producirá en la persona una pérdida de audición permanente, así: un trabajador sometido a altos niveles de ruido ocho horas diarias a lo largo de varios años. El deterioro se notará con una pérdida de sensibilidad del oído alrededor de los 4KHz¹⁰.

1.4.4. Enfermedades del oído

¹⁰ TAPIA V. PROAÑO W., “Diseño y Construcción de un Audiómetro”, ESPE-Latacunga 1997, pág. 21.

“Las enfermedades del oído externo, medio o interno pueden producir una sordera total o parcial; además, la mayor parte de las enfermedades del oído interno están asociadas a problemas con el equilibrio. Entre las enfermedades del oído externo se encuentran las malformaciones congénitas o adquiridas; la inflamación producida por quemaduras, por congelación o por alteraciones cutáneas, y la presencia de cuerpos extraños en el canal auditivo externo.

Entre las enfermedades del oído medio se encuentran la perforación del tímpano y las infecciones. En el oído interno pueden producirse alteraciones tales como las producidas por trastornos congénitos y funcionales, por drogas y por otras sustancias tóxicas, problemas circulatorios, heridas y trastornos emocionales. La otalgia, o dolor de oídos, no siempre está relacionada con alguna enfermedad del oído; a veces la causa se encuentra en un diente dañado, sinusitis, amigdalitis, lesiones nasofaríngeas o adenopatías cervicales.

El tratamiento depende de cuál sea la causa principal. El acúfeno es un zumbido persistente que se percibe en los oídos y puede producirse como consecuencia de alguna de las alteraciones anteriores; otras causas pueden ser la excesiva cantidad de cera en el oído, alergias o tumores. Con frecuencia, el acúfeno persistente se debe a la exposición prolongada a un ruido excesivo que daña las células pilosas de la cóclea. A veces las personas que padecen esta alteración pueden utilizar un enmascarador de sonido para paliar el problema.

1.4.4.1. Enfermedades del oído externo

Entre las malformaciones congénitas del oído externo destaca la ausencia del pabellón auditivo, e incluso la ausencia de abertura del canal auditivo externo. Si las estructuras del oído medio son anormales es posible realizar una cirugía reconstructora de la cadena de huesecillos para restablecer parte de la capacidad auditiva.

Entre las malformaciones adquiridas del oído externo se encuentran los cortes y las heridas. El otematoma, conocido como oído en forma de coliflor y típico de los boxeadores, es el resultado frecuente de los daños que sufre el cartílago del oído cuando va acompañado de hemorragia interna y una producción excesiva de tejido cicatrizante.

La inflamación del oído externo puede aparecer como consecuencia de cualquier enfermedad que produzca a su vez inflamación de la piel; es el caso de las dermatitis producidas por quemaduras, lesiones y congelaciones. Enfermedades cutáneas como la erisipela o la dermatitis seborreica afectan al oído con mucha frecuencia. Tuberculosis y sífilis cutánea son algunas de las enfermedades más raras que también afectan al oído externo.

La presencia de cuerpos extraños en el canal auditivo externo (insectos, algodón y cerumen —la cera que segrega el oído—) produce alteraciones auditivas y deben ser extraídos con cuidado.

1.4.4.2. Enfermedades del oído medio

La perforación del tímpano puede ocurrir por una lesión producida por cualquier objeto afilado, por sonarse la nariz con fuerza, al recibir un golpe en el oído, o a causa de cambios súbitos en la presión atmosférica.

La infección del oído medio, aguda o crónica, se denomina otitis media. En la otitis media supurativa aguda se incluyen todas las infecciones agudas del oído medio producidas por bacterias piógenas. Por lo general, estas bacterias llegan al oído medio a través de la trompa de Eustaquio.

La otitis media supurativa crónica puede producirse como consecuencia de un drenaje inadecuado del pus durante una infección aguda.

Las otitis medias no supurativas, o serosas, agudas y crónicas, se producen por la oclusión de la trompa de Eustaquio a causa de un enfriamiento de la cabeza, amigdalitis, sinusitis, o por viajar en un avión no presurizado.

Uno de cada mil individuos adultos padece una pérdida de su capacidad auditiva debido a una otosclerosis, u otospongiosis, que consiste en la formación de hueso esponjoso entre el estribo y la ventana oval. Como consecuencia de esta formación de tejido, el estribo queda inmovilizado y ya no puede transmitir información hacia el oído interno. Cuando esta alteración progresa, es necesario eliminar los depósitos óseos mediante cirugía, y reconstruir la conexión entre el estribo y la ventana oval. En ocasiones, el estribo se reemplaza por una prótesis similar a un émbolo. Incluso tras haber efectuado una operación quirúrgica con éxito puede continuar depositándose tejido óseo y producirse la pérdida de capacidad auditiva años después.

1.4.4.3. Enfermedades del oído interno

Las enfermedades del oído interno también pueden alterar el sentido del equilibrio e inducir síntomas de mareo. Estos síntomas también pueden deberse a anemia, hipertermia, tumores del nervio acústico, exposición a un calor anormal, problemas circulatorios, lesiones cerebrales, intoxicaciones y alteraciones emocionales.

El vértigo de Ménière aparece como consecuencia de lesiones producidas en los canales semicirculares y produce náuseas, pérdida de la capacidad auditiva, acúfenos o ruido en los oídos y alteraciones del equilibrio. A veces está indicada la destrucción del laberinto pseudomembranoso mediante criocirugía o por irradiación con ultrasonidos para combatir vértigos que no tienen tratamiento.

La destrucción traumática del órgano de Corti en el oído interno es la responsable de una gran proporción de los casos de sordera total. En los

últimos años, los científicos han desarrollado un dispositivo electrónico destinado a adultos que padecen sordera profunda, que se conoce como implante coclear.

Este aparato convierte las ondas sonoras en señales eléctricas que se liberan en unos electrodos implantados en la cóclea, y de esta manera se produce la estimulación directa del nervio auditivo. Sin embargo, los sonidos que produce son poco definidos y hasta ahora el implante coclear se utiliza sobre todo como una ayuda para poder leer en los labios”¹¹

1.4.5. Exploración funcional de la audición

“Acumetría o Audiometría son palabras sinónimas que representan la medición cuantitativa y cualitativa de la audición:

- Según la cantidad de pérdida auditiva:
 - a. **Leve:** 20 – 40dB
 - b. **Moderada:** 41 – 60dB
 - c. **Severa:** 61 – 80dB
 - d. **Profunda:** Mayor de 81dB

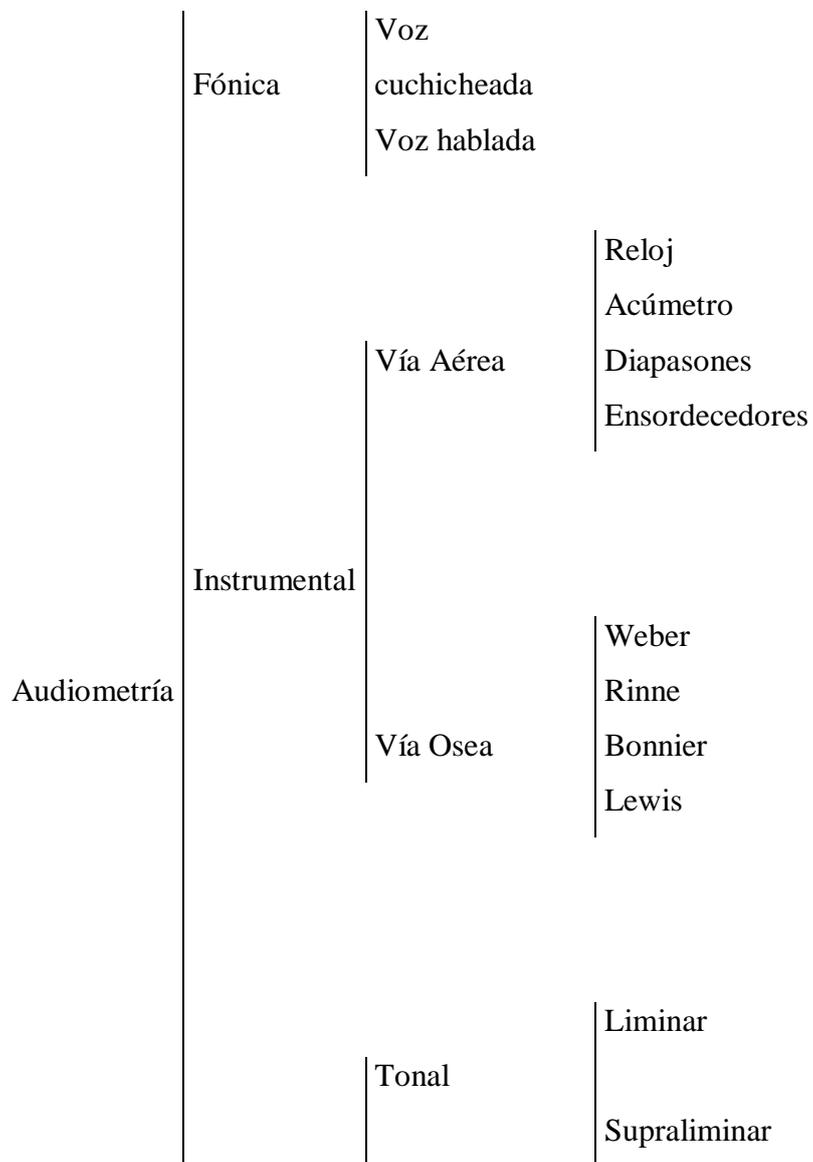
- Según la cualidad de la pérdida auditiva:
 - a. **Conductiva:** Afectado el oído externo y/o medio.
 - b. **Neurosensorial:** Afectado el oído interno y/o las vías nerviosas.
 - c. **Mixta:** Combinación de las dos.

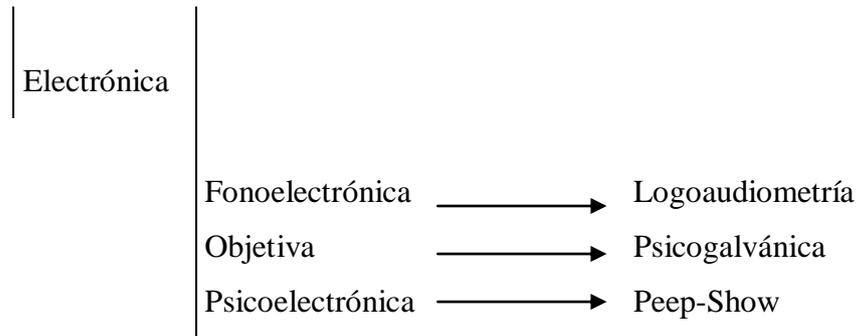
Se denomina *acumetría* al conjunto de pruebas fónicas e instrumentales no eléctricas y *audiometría* a las realizadas con audiómetro radioeléctrico.

Para realizar e interpretar la audiometría es necesario entonces conocer:

¹¹ ENCARTA.© 1993-2003 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

- a. Las vibraciones acústicas.
- b. La fisiología de la audición.
- c. La fisiopatología de la audición.





Cuadro I.1. Clasificación de la Audiometría

1.4.5.1. Audiometría Fónica

En ella nos valemos de la palabra hablada, averiguando su umbral, es decir, a qué distancia comienza a ser captada por el oído explorado. Esta prueba se realiza en primer término con *voz cuchicheada*, siendo el umbral normal aproximadamente 20m, luego con *voz hablada* en que aquél suele hallarse sobre los 50m en un ambiente silencioso.

1.4.5.2. Audiometría Instrumental

Se efectúa con una serie de instrumentos con los cuales se buscan datos cuantitativos y cualitativos. En la *prueba del reloj* muchos pacientes se dan cuenta de su sordera cuando comprueban que son incapaces de oír el tic-tac de su reloj. Este sonido de tono muy alto se usa para probar pacientes con sordera para frecuencias muy altas. Este método es malo para usarlo exclusivamente a causa de que únicamente prueba una pequeña porción de la gama auditiva.

Las *pruebas con los diapasones* sigue siendo una parte importante del examen otológico funcional. El diapasón de 128 vibraciones por segundo, es el más usado para comprobar la presencia del sentido vibratorio. Los diapasones más usados para probar el oído son aquellos con frecuencias vibratorias de 512 a 1024 ciclos por segundo.

1.4.5.3. Audiometría Electrónica

Se efectúa por medio del audiómetro. Este podría definirse como un aparato radioeléctrico que investiga como se comporta la audición por las vías aérea y ósea, en el umbral y en intensidades mayores, dentro de la escala de frecuencias.

La *audiometría tonal* es un estudio subjetivo, sus resultados dependen del equipo utilizado, del técnico que lleva a cabo el estudio y del paciente, cuyas respuestas son imprescindibles para poder obtener resultados.

La audiometría mide los umbrales en cada paciente para los tonos puros presentados por el examinador, según cada frecuencia. La unidad de medida utilizada convencionalmente es el deciBel¹².

1.4.6. Audiómetros

Los audiómetros son utilizados por especialistas del oído, nariz y garganta, otorrinolaringólogos (ORL), técnicos auditivos que trabajan en departamentos de ORL de hospitales y otros centros, médicos generales y todos aquellos relacionados con las pruebas de audición y el diagnóstico selectivo de la sordera, en especial en los niños.

1.4.6.1. El Audiómetro

¹² THOMSON V - BERTELLI J, “Clínica Otorrinolaringológica”, segunda edición, Cuba 1973, pág. 22 – 28.

“Es un instrumento sencillo que produce tonos puros, tiene un dial de frecuencias o tonos en ciclos por segundo, un dial de intensidades en dBs y botones indicadores para uso de los elementos accesorios. Consta especialmente de:

- Fuente de energía eléctrica
- Generador de corriente oscilante
- Atenuador
- Un receptor telefónico, para transformar la energía eléctrica en sonora y dirigirla hacia: a) Un auricular o un altavoz (para la vía aérea) b) Un vibrador (para la vía ósea).

El audiómetro accesoriamente consta de:

- Un ensordecedor
- Un interruptor
- Un doble circuito
- Un modulador

La persona que está siendo examinada se suele encerrar en una cabina insonorizada que elimina los ruidos externos y está provista de un interruptor. Cada oído se estudia de forma independiente.

Cada vez se emite un tono con una intensidad suficiente como para ser escuchado con facilidad. En el instante en el que el tono es escuchado, la persona que está siendo examinada presiona el botón. Esto indica a la máquina el nivel más bajo a partir del cual el sujeto escucha un tono de dicha frecuencia. El operario puede variar las frecuencias y el proceso se repite con cada una de ellas. Por lo general, la sensibilidad se puede examinar a frecuencias de 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz, 4.000 Hz y 8.000 Hz.

Otra forma alternativa a la escucha a través de auriculares es el examen de la audición por conducción ósea. En este caso, los auriculares se sustituyen por vibradores recubiertos de goma que hacen presión contra el hueso por detrás de la zona inferior de la oreja. Estos dispositivos producen vibraciones en un rango de frecuencias similar.

El audiómetro imprime automáticamente los resultados de la prueba en una ficha que se conoce como audiograma. Éste presenta una escala para cada oído que muestra las frecuencias a las cuales se ha efectuado la prueba e indica el nivel inferior normal para cada una de ellas de forma independiente. La audición nunca es uniforme en todas las frecuencias y suele variar mucho con cada una de ellas.

Existen varios tipos de anotación de los umbrales en el audiograma, los más usados son el francés y el americano, el último particularmente. Las frecuencias se anotan sobre el eje horizontal, y las intensidades sobre el eje vertical. Se coloca el 0 dB de intensidad arriba y el 125 Hz a la izquierda. Se utiliza el color rojo para representar el oído derecho y azul para el izquierdo, tomando en cuenta las convenciones del International Committee of Audiology.

- O** Aérea Derecha
- X** Aérea Izquierda
- <** Ósea Derecha
- >** Ósea Izquierda

La sensibilidad se exhibe en decibelios por debajo de lo normal, que viene representado por el 0, que es el valor normal en adultos jóvenes. La escala desciende de 10 en 10 decibelios hasta los 100 decibelios, un nivel indicativo de sordera casi total¹³.

¹³ THOMSON V - BERTELLI J, "Clínica Otorrinolaringológica", segunda edición, Cuba 1973, 28-30.

1.4.6.2. Tipos de audiómetros

Los audiómetros se fabrican en una amplia gama de formas y tamaños, desde instrumentos portátiles, casi de bolsillo, hasta grandes máquinas que requieren su propia mesa o carrito. La tendencia es hacia la disminución del tamaño y la mayor parte se pueden utilizar sobre una mesa. Todos están equipados con botones u otros mecanismos para variar las frecuencias y las amplitudes y con algún tipo de indicador que muestra su posición. También está dotado de un dispositivo que imprime el audiograma, lo que se suele hacer en unas fichas estándar. Esto proporciona un registro exacto y permanente de la prueba realizada al paciente en una fecha determinada.

Los audiómetros comunes indican 7 frecuencias en octavas, algunos modelos agregan frecuencias intermedias (semioctavas) y hay otros que pueden investigar todas las frecuencias en forma continua “barriendo”, por así decirlo, con una intensidad dada, toda la escala tonal.

1.5. EFECTO AURAL

Una característica común de todo sistema de lenguaje codificado es que ellos generan señales que serán percibidos por el oído humano. Si hay alguna información en el lenguaje original de la señal ésta es filtrada externamente por el oído, esta información puede ser omitida de la representación codificada, por consiguiente podrá ser reducida y requerida en un pequeño porcentaje.

Un modelo para el oído que ha sido usado exitosamente por el sistema de lenguaje codificado, es el bien conocido Modelo de Banda Crítica para la percepción aural. En el modelo de banda crítica, el oído es representado por un banco continuo de filtros lineales, en el cual el ancho de banda de los filtros individuales varía con la frecuencia.

1.5.1. Bandas Críticas

“Frecuencias diferentes en la entrada de sonido causan que diferentes áreas de la membrana basilar vibren. Cada área tiene diferentes terminaciones nerviosas para permitir discriminar el tono.

El oído humano percibe un rango de frecuencias entre 20 Hz. y 20 KHz. En primer lugar, la sensibilidad es mayor en la zona alrededor de los 1-4 KHz., de forma que el sonido resulta más difícilmente audible cuanto más cercano a los extremos de la escala. En segundo lugar está el enmascaramiento, cuando la componente a cierta frecuencia de una señal tiene una energía elevada, el oído no puede percibir componentes de menor energía en frecuencias cercanas, tanto inferiores como superiores. A una cierta distancia de la frecuencia enmascaradora, el efecto se reduce tanto que resulta despreciable; el rango de frecuencias en las que se produce el fenómeno se denomina banda crítica (critical band).

Los anchos de bandas críticas dependen de la frecuencia, como se ilustra en la figura I.10. Por debajo de los 500 Hz, el ancho de banda crítico es aproximadamente constante, mientras que por encima de los 500 Hz crece en proporción a la frecuencia: el ancho de banda crítica centrada en una frecuencia superior a 500 Hz es de alrededor del 20% de la frecuencia central.

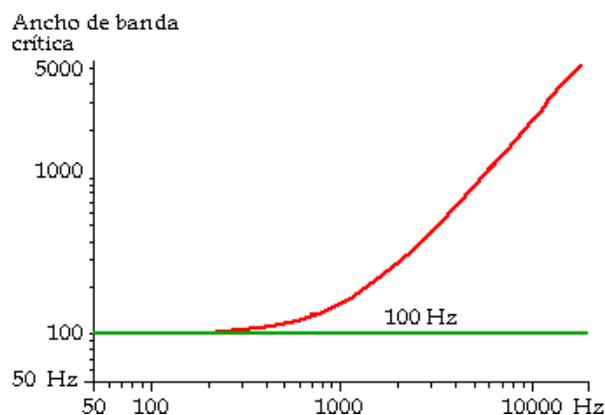


Figura I.10. Ancho de las bandas críticas en función de la frecuencia

En los valores obtenidos mediante la figura I.10, es posible subdividir el rango de frecuencias audibles en intervalos adyacentes de una banda crítica de ancho, que no se solapan entre sí. Esta subdivisión se presenta en la figura I.11; en el rango audible de 20 Hz a 20 KHz se encuentran 25 bandas críticas adyacentes.

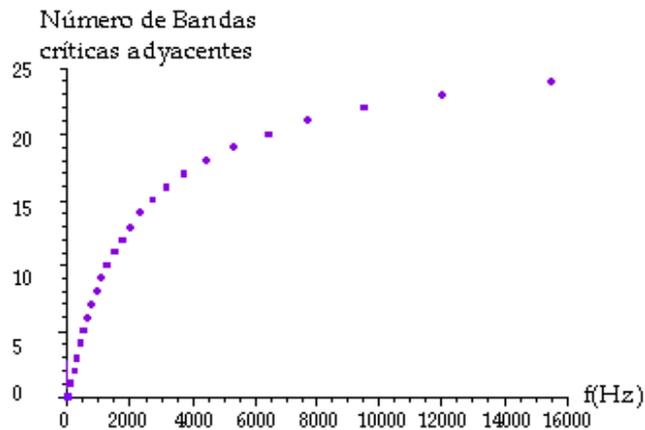


Figura I.11. Bandas críticas adyacentes en el rango de frecuencias audibles

En el cuadro I.2. se muestran los valores que definen las primeras 24 bandas críticas, los cuales se han convertido en un estándar para describir la distribución de las bandas críticas en función de la frecuencia.

Nº de banda crítica	Frecuencia central (Hz)	Frecuencia superior (Hz)	Ancho de la Banda crítica (Hz)
1	50	100	100
2	150	200	100
3	250	300	100
4	350	400	100
5	450	510	110
6	570	630	120
7	700	770	140

8	840	920	150
9	1000	1080	160
10	1170	1270	190
11	1370	1480	210
12	1600	1720	240
13	1850	2000	280
14	2150	2320	320
15	2500	2700	380
16	2900	3150	450
17	3400	3700	550
18	4000	4400	700
19	4800	5300	900
20	5800	6400	1100
21	7000	7700	1300
22	8500	9500	1800
23	10500	12000	2500
24	13500	15500	3500

Cuadro I.2. Distribución de las bandas críticas en función de la frecuencia

El oído es incapaz de registrar energía en algunas bandas cuando existe más energía en otra banda cercana. La vibración de la membrana en sintonía con una sola frecuencia no puede ser localizada en una zona infinitamente pequeña, por lo que las zonas cercanas se ven obligadas a vibrar a la misma frecuencia con una amplitud que decrece con la distancia. Otras frecuencias son excluidas a menos que la amplitud sea lo bastante alta como para dominar la vibración local de la membrana”¹⁴.

¹⁴http://www.fuac.edu.co/autonoma/pregrado/ingenieria/ingelec/proyectosgrado/compre_svideo/audicion.htm

1.5.2. Enmascaramiento.

“Se denomina enmascaramiento a la reducción total o parcial de la sensibilidad de un oyente para percibir un determinado sonido, provocado por la presencia simultánea de otro. Cuando un sonido hace que otro sea menos audible, porque ambos se producen al mismo tiempo, se dice que se produjo un fenómeno de enmascaramiento.

a) Enmascaramiento en frecuencia.

Funciona de manera que un sonido en determinada frecuencia puede enmascarar o disminuir el nivel de otro sonido en las frecuencias adyacentes, siempre y cuando el nivel del sonido enmascarante sea más alto (un sonido más intenso, más fuerte) que el nivel del sonido adyacente.

Ejemplo. La curva de sensibilidad que representa el umbral de audición de una señal en función de su frecuencia en ausencia de señal perturbadora se representa en la figura I.12, donde la señal A es audible, puesto que sobrepasa el umbral de percepción.

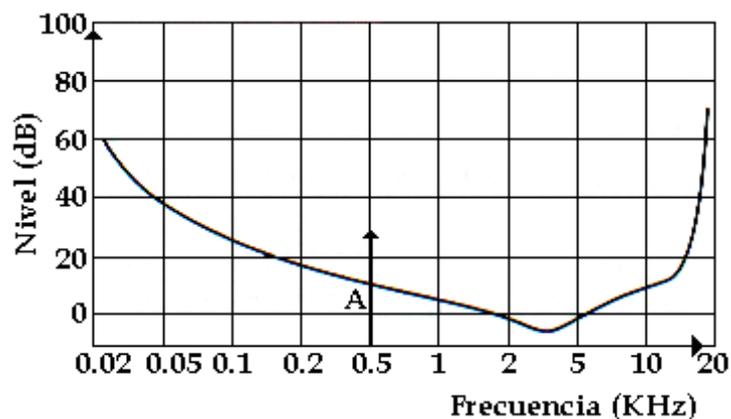


Figura I.12. Umbral de audibilidad en función de la frecuencia

En el caso de dos señales de frecuencias relativamente cercanas, la señal más fuerte hace subir el umbral de audición en sus proximidades, cuyo

efecto es disminuir la sensibilidad del oído alrededor de estas frecuencias. La Figura I.13 representa este caso, donde la señal A, antes audible, es ahora enmascarada por la cercana señal B, más potente que A.

En presencia de una entrada de espectro complejo, como la música, el umbral aumenta en casi todas las frecuencias. Una consecuencia de este comportamiento es que el siseo de un casete de audio análogo es solo audible durante los pasajes silenciosos de la música.

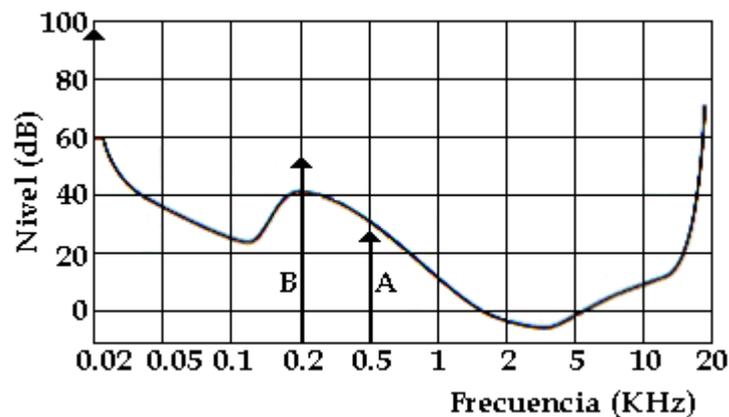


Figura I.13. Enmascaramiento frecuencial (A enmascarado por B)

b) Enmascaramiento temporal.

Se presenta cuando un tono suave está muy cercano en el dominio del tiempo (unos cuantos milisegundos) a un tono fuerte. Si se está escuchando un tono suave y aparece un tono fuerte, el tono suave será enmascarado por el tono fuerte, antes de que el tono fuerte efectivamente aparezca (preenmascaramiento). Posteriormente, cuando el tono fuerte desaparece, el oído necesita un pequeño intervalo de tiempo (entre 50 y 300 ms) para que se pueda seguir escuchando el tono suave (post-enmascaramiento)”¹⁵.

¹⁵ <http://members.fortunecity.com/alex1944/psicoacustica/psycoasp.html>

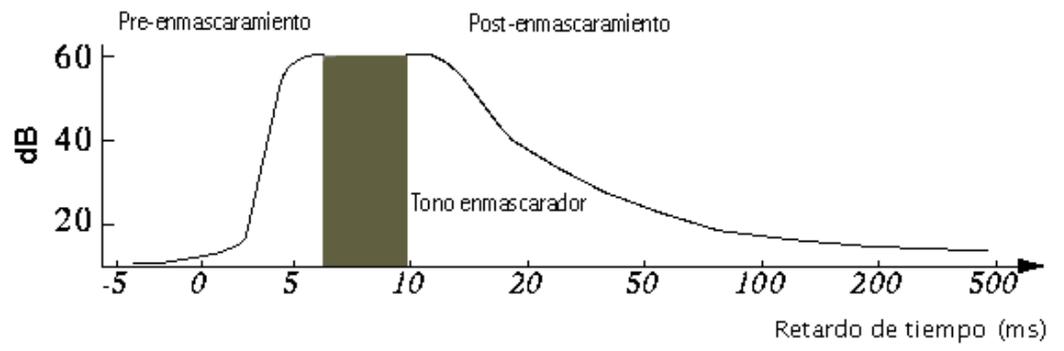


Figura I.14. Enmascaramiento Temporal

CAPITULO II

INSTRUMENTACION VIRTUAL

2.1. INSTRUMENTO VIRTUAL

“Es un módulo de software que simula el panel frontal de un instrumento, apoyándose en elementos de hardware accesibles por el computador (tarjetas DAQ, DSP, instrumentos GPIB, RS232, etc.), el cual realiza una serie de medidas como si se tratase de un instrumento real.

Por tanto cuando se ejecuta un programa que funciona como instrumento virtual, el usuario ve en la pantalla de su computador un panel cuya función es idéntica a la de un instrumento físico, facilitando la visualización y el control del aparato. A partir de los datos reflejados en el panel frontal, el instrumento virtual debe actuar recogiendo o generando señales, como lo haría su homólogo físico”¹⁶.

2.2. HARDWARE

Una vez que se ha efectuado el estudio del sonido y de sus principales parámetros, se realiza un análisis previo de los elementos necesarios para el hardware del audiómetro virtual.

¹⁶ LAZARO, Antonio Manuel, “LABVIEW Programación Gráfica para el control de Instrumentación”, pág. 11.

2.2.1. PC

Ordenador o Computadora, dispositivo electrónico capaz de recibir un conjunto de instrucciones y ejecutarlas realizando cálculos sobre los datos numéricos, o bien compilando y correlacionando otros tipos de información.

El mundo de la alta tecnología nunca hubiera existido de no ser por el desarrollo del ordenador o computadora. Toda la sociedad utiliza estas máquinas, en distintos tipos y tamaños, para el almacenamiento y manipulación de datos. Los equipos informáticos han abierto una nueva era en la fabricación gracias a las técnicas de automatización, y han permitido mejorar los sistemas modernos de comunicación. Son herramientas esenciales prácticamente en todos los campos de investigación y en tecnología aplicada.

2.2.2. Tarjeta de Sonido

Es una tarjeta de expansión en un ordenador o computadora que permite grabar sonidos procedentes de un micrófono u otra fuente externa como un sintetizador, reproducirlos utilizando unos altavoces o un amplificador externo y, en ocasiones, manipular los archivos de sonido almacenados en el disco. La tarjeta de sonido debe tener un convertidor analógico digital (ADC), que transforme el sonido entrante, de naturaleza analógica, en dígitos que puedan ser almacenados y tratados por el ordenador. Además, debe tener un convertidor digital analógico (DAC), que vuelva a convertir los sonidos almacenados de forma digital en una onda analógica, que se envía a los altavoces.

Aunque no se ha dado una definición oficial, existe un estándar de facto para las tarjetas de sonido: son las tarjetas Sound Blaster, creadas por la empresa Creative Labs. La mayor parte de las tarjetas de sonido que se pueden adquirir en el mercado son compatibles Sound Blaster, lo que significa que pueden procesar los comandos escritos para esas tarjetas.

En 1989 apareció la primera tarjeta de la familia Sound Blaster en modalidad monoaural; la versión estéreo apareció en 1992 (era la Sound Blaster Pro). Desde entonces, ha habido una evolución muy importante en este campo, que ha llevado a las tarjetas de sonido 3-D, que dan una gran sensación de realismo. También existen tarjetas que permiten la comunicación bidireccional (tarjetas full-duplex), con las que se puede hablar y oír al mismo tiempo, lo que presenta grandes posibilidades en la utilización del teléfono a través de Internet.

2.2.3. Puertos

Los microprocesadores disponen de puertos para enviar y recibir bits de datos; dependiendo de cómo se realice la transmisión hablaremos de puertos serie (o puertos COM), puertos paralelo (o puertos LPT) y, más recientemente, puertos PS/2 y puertos USB (Universal Serial Bus). Estos puertos se utilizan generalmente como direcciones de memoria con dedicación exclusiva. Los sistemas completos de computadoras disponen de varios puertos para la conexión de dispositivos periféricos, como la impresora, el ratón o mouse, el teclado o el módem. Un puerto USB se puede conectar una gran diversidad de periféricos que van desde el propio teclado al escáner o una cámara digital. Cada puerto USB es capaz de gestionar hasta 127 dispositivos, cuya conexión y desconexión se podrá realizar en caliente, es decir, sin necesidad de apagar la computadora.

2.2.4. Auriculares

Transductor que convierte la energía eléctrica en energía acústica. Los auriculares para audiometrías tienen las siguientes características:

- Elevada sensibilidad
- Buen aislamiento a ruidos
- Bajo peso
- Adaptación para la cabeza.
- Respuesta 20 - 20000 Hz

- Principio transductor dinámico
- Impedancia nominal en ohmios.
- Nivel máximo de presión acústica 120 dB

Para la conducción por vía aérea los auriculares más utilizados son aquellos que cumplen con las normas: ISO 389-1/ANSI S3.6 (TDH39), ISO 389-2/ANSI S3.6 (EARTone 3A).

2.2.5. Botón de Respuesta

Está diseñado para abrir o cerrar un circuito al apretar el botón y para regresar a su posición original cuando se suelte la presión en algunos interruptores de botón, los contactos permanecen abiertos o cerrados después que el botón ha regresado a su posición (son del tipo de acción alternada). En los de tipos de acción alternada, se debe apretar dos veces el botón para regresar a la posición original. En otros tipos, se cierra o se abre el contacto solo cuando el botón esté oprimido. Los interruptores de botón son especialmente útiles cuando se aplican en espacios reducidos, también son fáciles de activar rápidamente. Algunos de sus usos son: interruptores selectores de los radios de automóvil, interruptor de los timbres en las puertas, interruptor de seguridad en los motores, etc.

2.3. SOFTWARE

En lo referente al software se pueden utilizar algunos paquetes computacionales, para la realización del presente proyecto se ha optado por el software de MATLAB por sus características y diversas aplicaciones.

2.3.1. MATLAB

“Es un entorno de computación técnica que posibilita la ejecución del cálculo numérico y simbólico de forma rápida y precisa, acompañado de características gráficas y de visualización avanzadas, aptas para el trabajo científico y la

ingeniería. Es un entorno interactivo para el análisis y modelado que implementa más de 500 funciones para el trabajo en distintos campos de la ciencia.

En cuanto al hardware, el programa exige características básicas como un PC- Compatible con microprocesador Pentium o AMD para trabajar sobre Windows 95, 98, Me, NT, XP o Windows 2000, con tarjeta gráfica VGA y monitor a color. Son imprescindibles 64Mbytes de memoria RAM, disco duro con un espacio libre de 1Gbyte si se va a utilizar todo el sistema, un ratón y unidad de CD-ROM.

En cuanto al software, el programa exige disponer del sistema operativo Windows 95, 98, Me, NT, XP o Windows 2000. También existen versiones del programa para UNIX, Linux y MAC. Si se va a utilizar MATLAB Notebook, es necesario disponer de Microsoft Word 7.0 o versión superior. También es necesario disponer de Adobe Acrobat Reader si se quiere ver la ayuda en línea de MATLAB en formato PDF.

Por otra parte, MATLAB presenta un lenguaje de programación de muy alto nivel basado en vectores, arreglos y matrices. La arquitectura de MATLAB es abierta y ampliamente extensible, permitiendo la relación con Excel, C, Fortran y otras aplicaciones externas muy utilizadas e importantes. El código escrito en lenguaje Matlab puede ser traducido a C. MATLAB puede ser operativo en una red con protocolo TCP/IP.

Matlab es un software en continuo crecimiento y muy adaptable a los avances científicos, que resuelve los problemas que presenta la ingeniería en el desarrollo de productos innovadores. En el campo de las comunicaciones, MATLAB permite realizar modelado y diseño de sistemas DSP, trabajar con sistemas conmutados, con telefonía fija/móvil o ADSL y con modelado de canal/emisor/receptor.

Su entorno básico se complementa en una amplia colección de toolboxes que contienen funciones específicas para determinadas aplicaciones en diferentes ramas de la ciencia y la ingeniería. Los toolboxes con los que cuenta MATLAB son los siguientes:

1. Toolboxes de MATLAB de aplicación en matemática general.- Consisten en paquetes de ampliación al software básico y son aplicables a determinados campos de la ciencia.

- *Symbolic Math*
- *Extended Symbolic Math*
- *Database Toolbox*
- *Excel Link Toolbox*
- *Statistics Toolbox*
- *Optimization Toolbox*
- *Spline Toolbox*
- *Partial Differential Equation Toolbox*
- *Neural Network Toolbox*

2. Toolboxes de MATLAB de adquisición de datos

- *Data Acquisition Toolbox*
- *Instrument Control Toolbox*
- *Curve Fitting Toolbox*

3. Toolboxes de MATLAB para procesamiento de señales

- *Signal Processing Toolbox*
- *Filter Design Toolbox*
- *Communication Toolbox*
- *Wavelet Toolbox*
- *System Identification Toolbox*

4. Toolboxes de MATLAB para procesamiento de imágenes

- *Image Processing Toolbox*

- *Mapping Toolbox*

5. **Toolboxes de MATLAB en el área financiera**

- *Financial Toolbox*
- *Financial Time Series Toolbox*
- *Financial Derivatives Toolbox*
- *Garch Toolbox*
- *Datafeed Toolbox*

Otro de los campos tratados especialmente por MATLAB, y de gran aplicación en la ingeniería, es la automatización del diseño mediante simulación de sistemas dinámicos. Dentro de los productos más importantes en el área de simulación de sistemas esta *Simulink*.

Simulink es un entorno gráfico interactivo para el modelado, análisis y simulación de una gran variedad de sistemas dinámicos (discretos, analógicos e híbridos) mediante la utilización de diagramas de bloques. Permite la incorporación de los algoritmos y controles que se hayan desarrollado en C previamente a la utilización de Simulink. Trabaja totalmente integrado con MATLAB. Simulink también presenta aplicaciones adicionales con extensiones de simulación de sistemas denominadas Blocksets. A continuación se mencionan los más importantes:

- *DSP Blockset*
- *Communications Blockset*
- *CDMA Referente Blockset*
- *Power System Blockset*
- *Sym Mechanics Blockset*

2.3.2. **Entorno de Trabajo de MATLAB**

La pantalla de entrada de MATLAB constituye el marco de trabajo general del programa. Los elementos más importantes son:

- *Command Window*.- Ejecuta las funciones MATLAB.
- *Command History*.- Presenta una historia de todas las funciones introducidas en la ventana de comandos y permite copiarlas y ejecutarlas.
- *Launch Pad*.- Ejecuta herramientas y documentación de acceso para todos los productos de MathWorks instalados actualmente en el computador.
- *Current Directory*.- Muestra ficheros MATLAB y ejecuta operaciones de ficheros tales como abrir y buscar contenido.
- *Help*.- Muestra y busca documentación de MATLAB.
- *Workspace*.- Muestra y realiza cambios en el contenido del espacio de trabajo.
- *Array Editor*.- Muestra contenido de arrays en formato de tabla y edita sus valores.
- *Editor/Debugger*.- Crea, edita y compruebe M-ficheros¹⁷.

“MATLAB cuenta con un constructor de interfaces de usuario GUI, con objetos gráficos como botones, cuadros de texto, deslizadores, menús, etc. Para acceder al GUI, en el Escritorio de MATLAB se selecciona File – New – GUI, como se muestra en la figura.

¹⁷ PEREZ L. César, Matlab y sus Aplicaciones en la Ciencia y la Ingeniería, pág. 135-140.

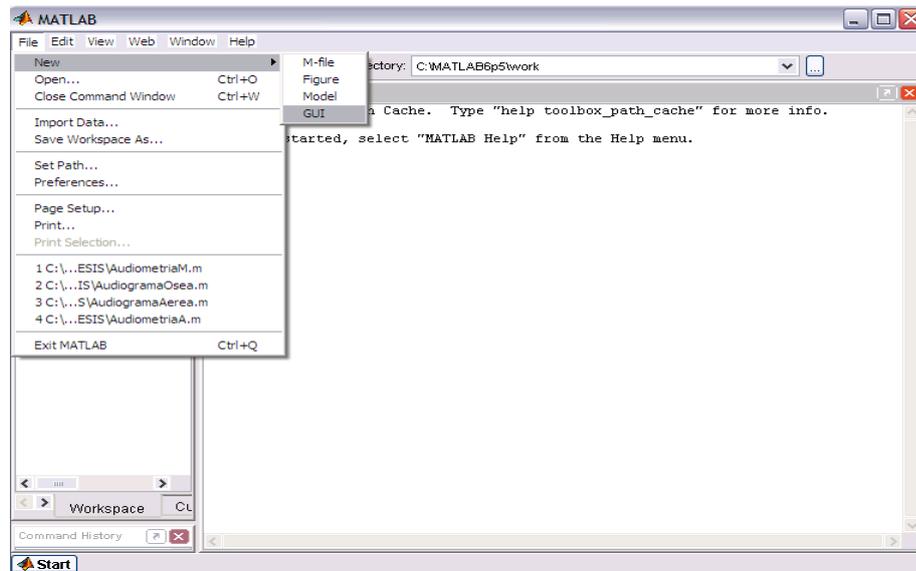


Figura II.1. Abriendo GUI

MATLAB incluye un set de herramientas que simplifican los procesos de creación de las interfaces de usuario (GUIs). Estas herramientas incluyen:

- **Arreglo de Editor.**- Añade y arregla objetos en la ventana de la figura.
- **Barra de Alineación.**- Alinea objetos uno con respecto al otro.
- **Inspector de Propiedades.**- Inspecciona y fija los valores de las propiedades.

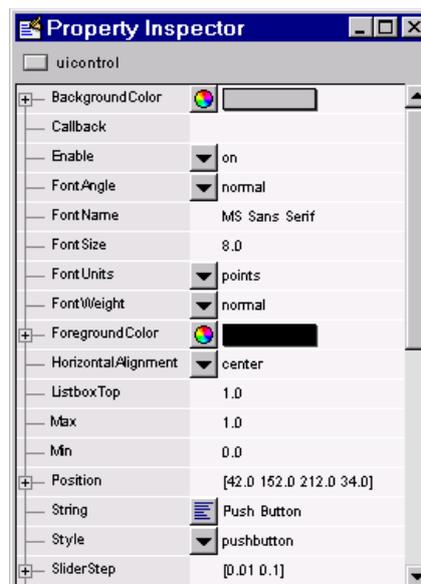


Figura II.2. Inspector de Propiedades

- **Listado de Objetos.-** Examina una lista jerárquica del manejador de objetos gráficos mientras se está corriendo una sesión en MATLAB.
- **Editor de Menú.-** Crea menú de ventanas y contextos.

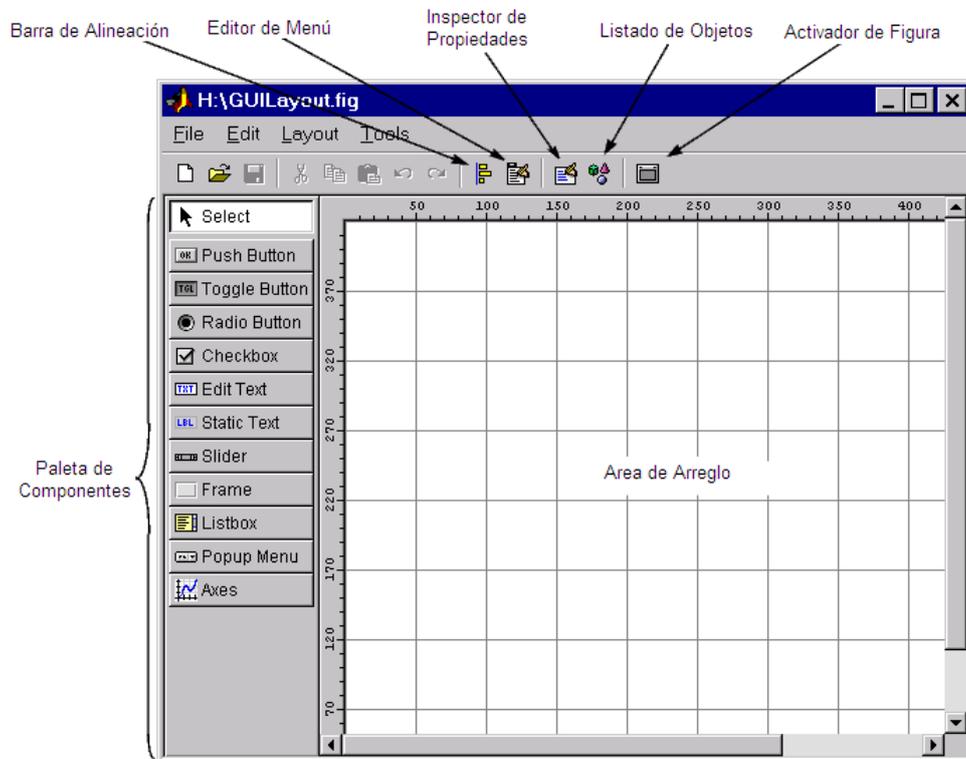


Figura II.3. Ventana del GUI

Después de haber creado un arreglo GUI, se puede guardar este como un archivo FIG (archivo binario que guarda el contenido de una figura), usando **Guardar** o **Guardar como** del archivo del menú.

GUIDE crea la aplicación como un archivo M (archivo que contiene la funciones que controlan y ponen en marcha el GUI) automáticamente cuando se guarda o activa la figura.

Para programar un GUI se deben tomar en cuenta algunos tópicos:

- MATLAB genera la aplicación M-file para proporcionar un pantalla de trabajo para programar los controles GUI. Esta pantalla fomenta un estilo

de programación eficiente y robusta. Todo código incluyendo los *callbacks* están contenidos en la aplicación M-file. Cada *callback* es implementado como una subfunción en el M-file.

- La estructura *handles* proporciona un fácil acceso a todas las componentes del manejador en el GUI. Además puede usar esta estructura para almacenar todos los datos globales requeridos por la aplicación M-file.
- Se puede usar la fijación de propiedades específicas para crear un GUI que funcione más consistentemente cuando corra sobre diferentes plataformas.
- El primer mecanismo para implementar un GUI es programar el *callback* del objeto usado para construir la interfase.

Todos los objetos gráficos tienen tres propiedades que habilitan la definición de las rutinas.

- *ButtonDownFcn* .- MATLAB ejecuta este callback cuando el usuario hace clic sobre el objeto.
- *CreateFcn*.- MATLAB ejecuta este callback cuando crea el objeto.
- *DeleteFcn*.- MATLAB ejecuta este callback justo antes de borrar el objeto.

Las figuras tienen propiedades adicionales que ejecutan las rutinas.

- *CloseRequestFcn* .- Tiene un callback definido por defecto. MATLAB ejecuta este callback cuando se cierra la figura.
- *KeyPressFcn*.- MATLAB ejecuta este callback cuando el usuario presiona una tecla, cuando el cursor esta en la ventana de la figura.
- *ResizeFcn*.- MATLAB ejecuta este callback cuando el usuario minimiza la ventana de la figura.
- *WindowButtonDownFcn*.- MATLAB ejecuta este callback cuando el usuario hace click sobre la figura, pero no sobre un control habilitado.
- *WindowButtonMotionFcn*.- MATLAB ejecuta este callback cuando el usuario mueve el Mouse dentro de la ventana de la figura.

- *WindowButtonUpFcn*.- MATLAB ejecuta este callback cuando el usuario libera el botón del Mouse después de haber presionado el botón en la figura¹⁸.

2.3.3. Funciones de Procesamiento de Sonido

Dentro de las funciones del entorno de desarrollo de MATLAB se encuentran las funciones de procesamiento de sonido, que leen y escriben ficheros de sonido. Las cuales se presentan a continuación:

Funciones generales de sonido	
$\mu = \text{lin2mu}(y)$	Convierte señal lineal de audio de amplitud $-1 \leq y \leq 1$ a señal μ - codificada de audio con $0 \leq \mu \leq 255$
$Y = \text{mu2lin}(\mu)$	Convierte la señal de audio μ - codificada ($0 \leq \mu \leq 255$) a señal lineal de audio ($-1 \leq y \leq 1$).
<i>Sound</i> (y, Fs)	Convierte la señal del vector y en sonido con frecuencia de muestreo Fs.
<i>Sound</i> (y)	Convierte la señal del vector y en sonido con ta de muestreo 8192 Hz.
<i>Sound</i> (y, Fs, b)	Usa b bits/muestra al convertir y en sonido con frecuencia de muestreo Fs.

Funciones específicas de estaciones SPARC	
<i>Auread</i> ('f.au')	Lee el fichero de sonido NeXT/SUN f.au
$[y, Fs, bits] = \text{auread}$	Da la tasa de muestreo en Hz y el número de bits por

¹⁸ MATLABHelp

$(f.au')$	muestra usados para codificar los datos en el fichero f.au
$auwrite(y, 'f.au')$	Escribe el fichero de sonido NeXT/SUN f.au
$Auwrite(y, Fs, 'f.au')$	Escribe el fichero de sonido f.au y especifica la tasa de muestreo en Hz.

Funciones de sonido .WAV	
$wavplay(y, Fs)$	Reproduce la señal de audio almacenada en el vector y con tasa de muestreo Fs.
$Wavread('f.wav')$	Lee el fichero de sonido f.wav.
$[y, Fs, bits] = wavread('f.wav')$	Devuelve la tasa de muestreo Fs y el número de bits por muestra al leer el fichero de sonido f.wav.
$wavrecord(n, fs)$	Graba n muestras de señal digital de audio muestreada a tasa fs.
$Wavwrite(y, 'f.wav')$	Escribe el fichero de sonido f.wav
$Wavwrite(y, Fs, 'f.wav')$	Escribe el fichero de sonido f.wav con tasa de muestreo Fs.

Cuadro II.1. Funciones de Procesamiento de Sonido

Otra manera de generar sonidos en MATLAB es usando el Toolbox de Adquisición de Datos. El propósito de un sistema de adquisición de datos, es proveer de las herramientas y los recursos necesarios para esto. Un sistema de adquisición de datos es una colección de software y hardware que se conectan en un mundo físico. Un típico sistema de adquisición de datos consta de las siguientes componentes:

1. **Hardware de adquisición de datos.-** La función principal es convertir señales análogas a digitales y viceversa.
2. **Sensores y actuadores.-** Son dispositivos que convierten una energía de entrada en otra forma de energía de salida.
3. **Señal de acondicionamiento de hardware.-** Las señales sensadas frecuentemente son incompatibles con el hardware de adquisición de datos, para solucionar esta incompatibilidad, la señal debe ser acondicionada.
4. **Computador.-** Es un sistema que posee un procesador, una memoria para almacenar datos y programas, y controladores I/O (puertos de comunicación).
5. **Software de adquisición de datos.-** Permite intercambiar información entre el computador y el hardware de adquisición.

Los componentes de adquisición de datos guardan relación uno con otro como se muestra a continuación.

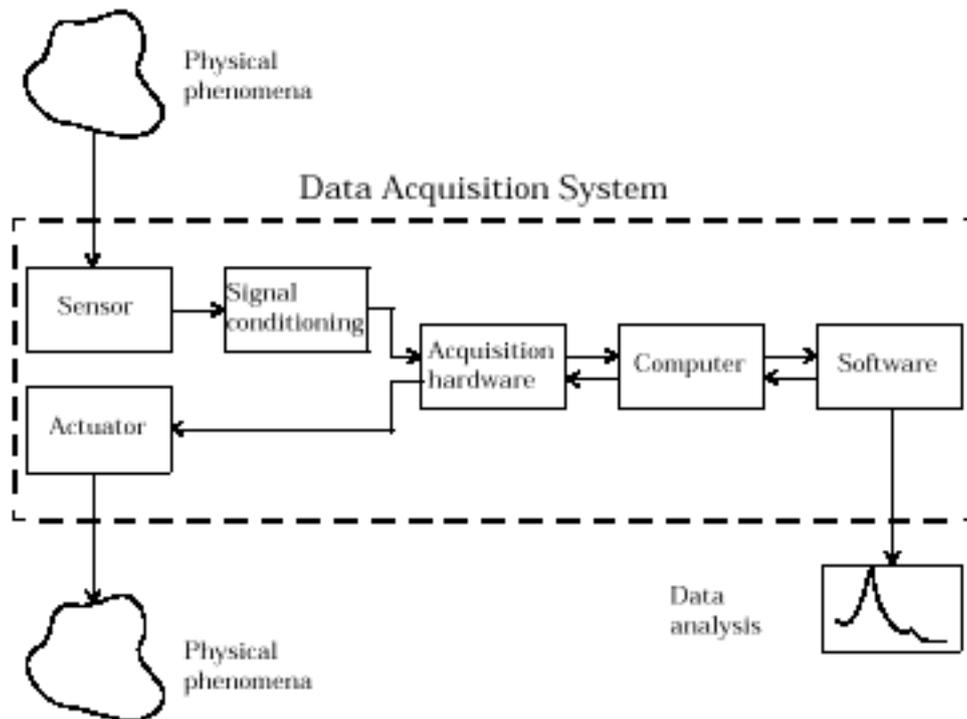


Figura II.4. Sistema de Adquisición de Datos

La figura II.4 describe dos características importantes de un sistema de adquisición de datos.

- Una señal ingresa al sensor, es acondicionada, luego convertida en datos digitales que el computador lee, y se analiza la información.
- Los datos procesados serán convertidos en señales analógicas para ser enviadas a un actuador.

2.3.3.1. Sesión de Adquisición de Datos.- Comprenden todos los pasos que se deben seguir para adquirir o sacar datos.

1. **Crear un objeto.-** Para crear un objeto se usan las siguientes funciones: `analoginput`, `analogoutput` o la función de creación `digitalio`. Los objetos son los elementos básicos del toolbox que se usan para acceder a su dispositivo hardware.

Ejemplo. Crear un objeto de entrada analógica AI para una tarjeta de sonido.

```
AI = analoginput('winsound');
```

Ejemplo. Crear un objeto de salida analógica AO para una tarjeta de sonido

```
AO = analogoutput('winsound');
```

2. **Añadir canales o líneas.**- Después de crear un objeto, se deben añadir canales o líneas a éste. Los canales son añadidos para objetos de entrada y salida analógica, mientras que las líneas son añadidas a objetos de entrada y salida digital. Los canales y las líneas son los elementos básicos del dispositivo hardware con el que se adquieren o sacan datos.

Ejemplo. Añadir dos canales al objeto AI.

```
addchannel(AI, 1:2);
```

Ejemplo. Añadir dos canales al objeto AO.

```
addchannel(AO, 1:2);
```

3. **Configurar propiedades.**- Para establecer el funcionamiento del objeto, se asignan valores a propiedades usando el set de funciones. Varias propiedades son configurables únicamente cuando el objeto no está ejecutándose, dependiendo de los parámetros del hardware y de los requerimientos de la aplicación se pueden aceptar valores predefinidos en las propiedades y omitir este paso.

Ejemplo. Configure para una frecuencia de muestreo de 11025Hz y defina 2 segundos de adquisición.

```
set(AI, 'SampleRate', 11025)
set(AI, 'SamplesPerTrigger', 22050)
```

Ejemplo. Configure para una frecuencia de muestreo de 11025Hz.

```
set(AO, 'SampleRate', 11025)
```

- 4. Adquisición de datos.-** Para adquirir datos se ejecuta el objeto mediante la función `start`. Mientras el objeto está corriendo este se comporta de acuerdo a la configuración previamente establecida. Después de la adquisición se debe recuperar el dato con la función `getdata`.

Ejemplo.

```
start (AI)
data = getdata (AI);
plot(data)
```

Ejemplo.

```
start (AO)
```

- 5. Borrado.-** Cuando no se necesite por más tiempo el objeto se debe remover de la memoria usando la función `delete`, y remover éste del Workspace de MATLAB usando el comando `clear`.

Ejemplo.

```
delete (AI)
clear AI
```

Ejemplo.

```
delete (AO)
clear AO
```

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACION

3.1. RECOMENDACIONES MÉDICAS PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL AUDIOMETRO.

Para determinar los parámetros de funcionamiento del audiómetro virtual que se va a implementar, se procedió a formular una encuesta dirigida a los especialistas en oído, nariz y garganta (Otorrinolaringólogos) y a personas encargadas de realizar exámenes audiométricos (Audioprotesista). El cuestionario está compuesto de 12 preguntas, de elección, mixtas y abiertas, planteadas con el objeto de obtener información que permita determinar los requerimientos del sistema, y a su vez justifiquen la realización de este proyecto de tesis. Las preguntas de la encuesta se presenta en el Anexo A.

Con la información obtenida a través de la encuesta, se realizó un diagnóstico, para efectos de la interpretación se consideró una muestra de 15 especialistas (localizados en las ciudades de Latacunga, Ambato y Quito). Cuyos resultados se presentan a continuación.

Pregunta N° 1

Registro de los casos de sordera

FRECUENCIA	NUMERO	PORCENTAJE
SI	7	46.7
NO	8	53.3

El 46.7% de los especialistas encuestados lleva un registro de los casos de sordera presentados en sus pacientes, mientras que el 53.3 no lleva ningún registro.

Pregunta N° 2

Funcionamiento del audiómetro

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
Manual	10	66.7
Automática	0	0.0
Manual y Automática	5	33.3

EL 66.7% de los encuestados recomienda usar el audiómetro en forma manual para detectar sordera por ser una prueba subjetiva, mientras que el 33.3% recomienda usarlo en forma manual y automática.

Pregunta N° 3

Duración del tono

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
1 – 2 seg.	7	46.7
2 – 3 seg.	6	40.0
Más de 3 seg.	2	13.3

El 46.7% de los encuestados recomienda que la duración del tono debe estar en el rango de 1-2 segundos al momento de realizar la audiometría para no causar fatiga en el oído; un 40% recomienda el rango de 2-3 segundos y el 13.3% sugiere una duración del tono mayor a 3 segundos en pacientes distraídos.

Pregunta N° 4

Tipo de tono

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
Intermitente	6	40.0
Continuo	9	60.0

El 40% de los encuestados recomienda que el tipo de tono sea intermitente, mientras que el 60% sugiere sea del tipo continuo. Cabe indicar que el tipo de tono dependerá del paciente, pues hay personas que tardan en dar la respuesta ante el estímulo ó están distraídos, generalmente cuando se trata con niños.

Pregunta N° 5

Rangos de frecuencia e intensidad

VIA AEREA - FRECUENCIA

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
125 – 8000Hz	15	100.0
Otro rango	0	0.0

El 100% de los encuestados trabaja con el rango de 125-8000Hz, por estar bajo un estándar.

VIA AEREA - INTENSIDAD

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
0 – 120dB	3	20.0
0 – 100dB	12	80.0
Otro rango	0	0.0

El 20% de los encuestados usa el rango de 0-120dB, mientras que el 80% trabaja

con el rango de 0-100dB.

VIA OSEA - FRECUENCIA

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
125 – 8000Hz	10	66.7
Otro rango	5	33.3

El 66.7% de los encuestados usa el rango de 125-8000Hz, mientras que el 33.3% trabaja con otro rango (250-6000 ó 500-2000).

VIA OSEA - INTENSIDAD

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
0 – 120dB	0	0.0
0 – 100dB	2	13.3
Otro rango	13	86.7

El 13.3% de los encuestados usa el rango de 0-100dB, mientras que el 86.7% trabaja con otro rango (0-70dB).

Pregunta N° 6

Frecuencia e intensidad recomendadas para iniciar una audiometría.

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
F:1000Hz	13	86.7
Otro valor	2	13.3

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
I: 40 – 60dB	13	86.7
Otro valor	2	13.3

El 86.7% de los encuestados sugiere que la frecuencia e intensidad para iniciar una audiometría sean F.1000Hz e I: 40dB, puesto que estos valores están dentro del rango de conversación.

Pregunta N° 7

Audiometría vía aérea y vía ósea.

FRECUENCIA	NUMERO	PORCENTAJE
SI	15	100.0
NO	0	0.0

El 100% de los encuestados recomienda realizar el examen audiométrico tanto para la vía aérea como para la vía ósea, con el fin de saber si se procede a un acto quirúrgico.

Pregunta N° 8

Influencia de la cámara insonora

FRECUENCIA	NUMERO	PORCENTAJE
SI	13	86.7
NO	2	13.3

El 86.7% de los encuestados dice que la utilización de la cámara insonora es indispensable, pues influye en los resultados del examen audiométrico. De no contar con la cámara insonora habrá que realizar una compensación de 5dB.

Pregunta N° 9

Precisión de un audiómetro convencional

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
95 – 100%	15	100.0
Menos del 95%	0	0.0

El 100% de los encuestados tienen audiómetros con una eficiencia del 95-100%, pues los calibran continuamente.

Pregunta N° 10

Beneficios del audiómetro virtual

ASPECTO	NUMERO	PORCENTAJE
Precisión	15	100.0
Confiabilidad	15	100.0
Eficiencia	15	100.0
Portabilidad/Maniobrabilidad	12	80.0
Rapidez	13	86.7
Simplicidad	8	53.3
Base de Datos (Registros)	10	66.7

El 100% de los encuestados recomiendan como beneficios del audiómetro virtual la precisión, confiabilidad y eficiencia; además sugieren otros beneficios como: Portabilidad/Maniobrabilidad, rapidez, simplicidad, Base de Datos (Registros).

3.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL AUDIOMETRO A IMPLEMENTAR.

En base a los resultados obtenidos a través de la encuesta, el Audiómetro Virtual AMP1000 consta de las siguientes especificaciones:

- **Tipo de audiometría:** Manual/Automática
- **Vía Auditiva:** Aérea / Ósea
- **Generación de tonos:** Algoritmo programado (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz). Continuo.
- **Rango dinámico de niveles:** 0 a 100 dB en pasos de 5 dB
- **Accesorios:** Auriculares CD-9000 y Botón de respuesta (Mouse)

3.3.DISEÑO E IMPLEMENTACION

3.3.1. Diagrama del Sistema



Figura III.1. Diagrama Esquemático del Sistema

3.3.2. Especificaciones de Requisitos del Sistema

El Audiómetro Virtual AMP1000 requiere para su funcionamiento las siguientes especificaciones.

1. PC

- Puerto libre (impresora)
- Resolución de 800 x 600 pixels
- Mouse

2. Software de Aplicación MATLAB Versión 6.5

En cuanto al hardware:

- PC-Compatible con microprocesador Pentium o AMD para trabajar sobre Windows 95, 98, Me, NT, XP o Windows 2000.
- Tarjeta de sonido SoundMAX Digital Audio
- Tarjeta gráfica VGA y monitor a color.

- 64Mbytes de memoria RAM.
- Disco duro con un espacio libre de 1Gbyte.
- Mouse y unidad de CD-ROM.

En cuanto al software:

- Sistema operativo Windows 95, 98, Me, NT, XP o Windows 2000.

3. Auriculares CD-9000

Marca: NIPPON AMERICA

Modelo: CD-9000

Especificaciones:

- Auriculares STEREO
- Frecuencia: 20 – 20000Hz
- Sensibilidad: 102dB/mW (1KHz)
- Impedancia: 32ohms
- Longitud de Cable: 3m

4. Botón de Respuesta

Para aprovechar un dispositivo de entrada del computador, se utilizó el Mouse como botón de respuesta del paciente.

3.3.3. Diseño del Hardware / Software

Una vez estudiados los beneficios con los que cuenta MATLAB para el procesamiento de sonido, se seleccionó el Toolbox de Adquisición de Datos para diseñar el software del audiómetro virtual, porque cumple con los requisitos necesarios para esta aplicación.

En la adquisición de datos se creó un objeto analógico que trabaje como salida a través de la tarjeta de sonido del computador. Al objeto se añadieron dos

canales, pues se requiere que el sonido salga por los dos parlantes en forma independiente (canal 1 – oído izquierdo, canal 2 – oído derecho). Los canales se configuraron con una frecuencia de muestreo de 22050Hz. Para lo cual se utilizan las siguientes instrucciones en la programación.

`AO=analogoutput('winsound');` Crea el objeto analógico para la tarjeta de sonido.

`addchannel(AO,[1 2])` Añade canales al objeto analógico.

`AO.samplerate=22050;` Configura la frecuencia de muestreo del

AO.

Generación del Tono.

Para obtener en el audiómetro virtual tonos puros, se debe utilizar una función sinusoidal:

$$y=V*\text{sen}(2*\pi*f*t/Fs) \quad (III.1)$$

Donde: V = Amplitud en dB

f = Frecuencia en Hz

Fs = Frecuencia de muestreo en Hz

t = Tiempo de muestreo en seg.

El algoritmo utilizado para generar la amplitud en dBs se basa en las siguientes ecuaciones:

Ley de Fechner (Nivel de Intensidad Sonora IL).

$$I \text{ decibel} = 10\log_{10} (I / I_0) [w/m^2] \quad (I.1)$$

Nivel de Presión Sonora SPL

$$SPL = 10\log_{10} (P / P_0)^2 = 20\log_{10}(P / P_0) \quad (III.2)$$

Como para ondas planas se cumple que:

$$(P/P_o)^2 = (I/I_o) \quad (III.3)$$

Entonces: IL = SPL

Aunque la igualdad se cumple únicamente para ondas planas, en general, los valores de IL y SPL pueden considerarse aproximadamente iguales.

$$I \text{ decibel} = 20 \log_{10}(P/P_o) \quad (III.4)$$

Por otra parte, como se cumplen las siguientes relaciones entre los cocientes de los módulos de potencias, tensiones y corrientes:

$$(P/P_o) = (V/V_o)^2 = (I/I_o)^2 \quad (III.5)$$

Al pasar la ecuación III.4 en función del voltaje se obtiene la siguiente expresión:

$$I \text{ decibel} = 20 \log_{10}(P/P_o) = 20 \log_{10}(V/V_o)^2$$

$$I \text{ decibel} = 40 \log_{10}(V/V_o)$$

Despejando V:

$$V = V_o * 10^{IdB/40} \quad (III.6)$$

Uno de los parámetros que se debe considerar cuando se trabaja con la tarjeta de sonido, es que el rango de salida de la función no debe sobrepasar ± 1 Voltio. Por lo tanto se determinó que 1 Voltio represente 120dB. Así:

$$1 \text{ Voltio} = V_o * 10^{120/40}$$

Despejando V_o , se tiene:

$$V_o = 10^{-3} \quad (III.7)$$

Reemplazando la ecuación III.7 en III.6, se obtiene:

$$V = 10^{-3} * 10^{IdB/40}$$

$$V = 10^{(IdB/40) - 3} \quad (III.8)$$

Donde IdB es el valor que se ingresa para la intensidad.

A continuación se presentan las ventanas que conforman el instrumento virtual.

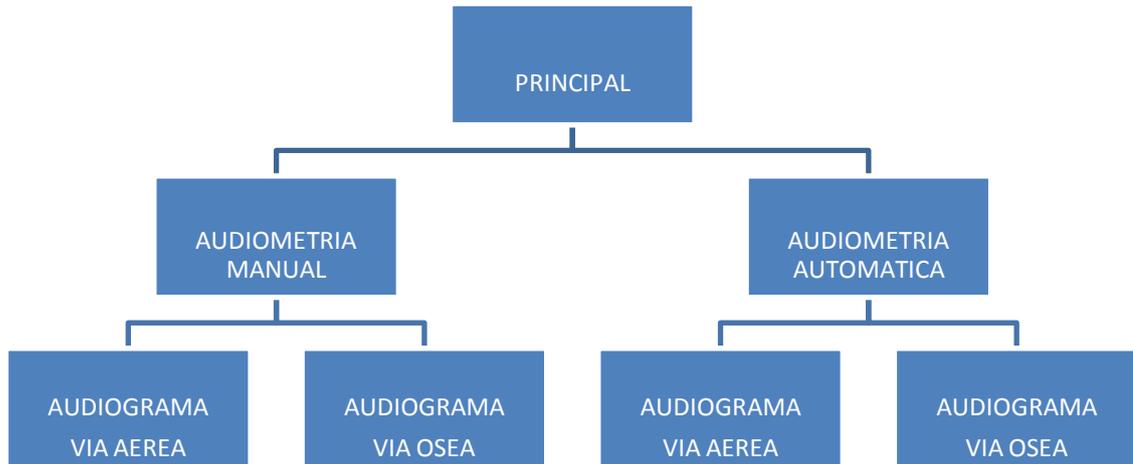


Figura III.2. Diagrama de Bloques del Audiómetro Virtual

Las ventanas fueron desarrolladas con la Interfase Gráfica de Usuario (GUI).

1. Ventana Principal.- Consta de los siguientes elementos:



Figura III.3. Ventana Principal

Datos Informativos.- Permite ingresar el nombre y la edad del paciente, además la fecha en la que se realiza el examen audiométrico. Estos datos son almacenados en una variable, la cual es llamada en las ventanas de los audiogramas. Usando las siguientes instrucciones.

```
nombre = get(handles.nombre, 'String');
```

```
fecha = get(handles.fecha, 'String');
```

```
edad = get(handles.edad, 'String');
```

```
save datos nombre fecha edad
```

Tipo de Audiometría.- Selecciona a través de un menú la audiometría a realizar ([MANUAL](#) o [AUTOMATICA](#))

Ejecutar.- Accede al tipo de audiometría seleccionada.

Además esta ventana cuenta con una barra de herramientas en la que podemos encontrar las siguientes funciones:

Archivo

- **Abrir.-** Abre los archivos de los audiogramas almacenados. (*.aer para V.A. y *.ose para V.O.). Utilizando la función:

```
[fname,pname]=uigetfile({'*.aer','Audiograma(*.aer)'; ...
                        '*.ose','Audiogramas (*.ose)'}, 'Abrir
archivo');
```

La función *uigetfile* despliega una caja de diálogo con título 'Abrir archivo', que contiene la lista de los archivos de todo el directorio.

En *fname* obtenemos el nombre del archivo, y en *pname* el nombre del path del archivo.

- **Salir.-** Cierra la ventana.

Ayuda.- Ingresa a la ayuda de la información de esta ventana.

2. Ventana Audiometría Manual.- Consta de los siguientes elementos:

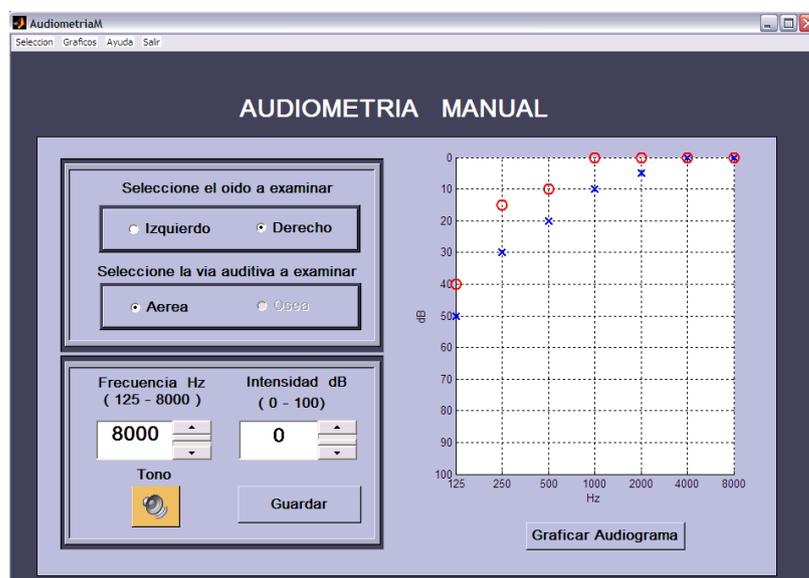


Figura III.4. Ventana Audiometría Manual

Oído a examinar.- Selecciona el oído que va a ser examinando en la prueba audiométrica, pues cada oído se estudia de forma independiente. (Izquierdo ó Derecho)

Vía auditiva a examinar.- Selecciona la vía auditiva que va a ser examinada en la prueba audiométrica. (V.A. ó V.O.)

Frecuencia.- Ingresas el valor de frecuencia con la cual se va a realizar la prueba audiométrica.

- 125 – 8000Hz Vía aérea
- 1000 – 6000Hz Vía ósea

Intensidad.- Ingresas el valor de intensidad con la cual se va a realizar la prueba audiométrica.

- 0 – 100dB Vía aérea
- 0 – 70 dB Vía ósea

Tono.- Una vez ingresados los valores de frecuencia e intensidad, comienza la prueba audiométrica. La duración del tono es de 0.5seg. Para lo cual se usan las siguientes instrucciones.

```
F=str2num(get(handles.frecuenciam,'string'));
I=str2num(get(handles.intensidadm,'string'));
t=0:22050*0.5;
V=10^(I/40 - 3)
y=V*sin(2*pi*f*t/22050);
```

Dependiendo del oído que haya sido seleccionado la función *putdata* pone los datos en el canal correspondiente, formando una matriz de dos vectores columna. En uno de los vectores van los datos de la función sinusoidal (y), y en el otro *ceros*. El vector de *ceros* está en función del tiempo de muestreo. Como lo indican las siguientes instrucciones.

```
Z=zeros(size(t));
putdata(AO,[y' Z]);          Oído izquierdo
```

putdata(AO,[Z y]); *Oído derecho*

Guardar.- Almacena en una variable los datos de frecuencia e intensidad de respuesta del paciente, mientras se realiza el examen audiométrico.

Graficar audiograma.- Guarda en nuevas variables los datos almacenados anteriormente, para graficar los audiogramas de acuerdo a la vía seleccionada. Como se muestra a continuación:

```
via='aerea';  
save valoresia valoresi  
save valoresda valoresd  
AudiogramaAerea(handles)
```

Además la ventana cuenta con una barra de herramientas que consta de las siguientes funciones:

Selección

Oído.- Elige el oído que va a ser examinado.

- Izquierdo
- Derecho

Vía Auditiva.- Elige la vía que va a ser examinada.

- Aérea
- Ósea

Gráficos

- **Audiograma vía aérea.-** Ingresa a la ventana del audiograma de la V.A.
- **Audiograma vía ósea.-** Ingresa a la ventana del audiograma de la V.O.

Ayuda.- Ingresa a la ayuda de MATLAB y a la de esta ventana.

Salir.- Cierra la ventana.

3. **Ventana Audiometría Automática.**- Consta de los siguientes elementos:

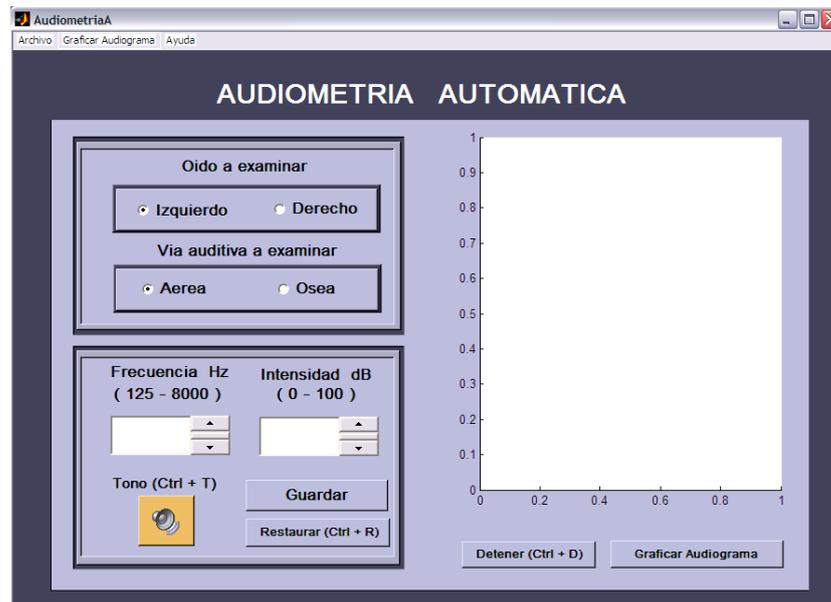


Figura III.5. Ventana Audiometría Automática

Oído a examinar, Vía auditiva a examinar, Frecuencia, Intensidad.- Indican los parámetros que están siendo evaluados, los cuales han sido establecidos en la programación.

Tono (Ctrl + T).- Comienza la prueba audiométrica en forma automática, a través de un *timer*. La función *tiempo* creada en el *timer* permite barrer el rango de frecuencias e intensidades de acuerdo a la vía y el oído que estén indicados, dentro de un lazo. Como se muestra a continuación:

```

if Aerea_Osea==1
    via_aerea(handles,obj)
else
    via_osea(handles,obj)
end

```

```

function via_aerea(handles,obj)
I=0:10:100;
F=2.^(0:6)*125;
t=0:22050*0.5;
V=10^(I(INTENSIDAD)/40 - 3);
y=V*sin(2*pi*F(FRECUENCIA)*t/22050);
Z=zeros(size(t'));
putdata(AO,[y' Z]);
start(AO)

```

El tiempo de duración del tono es de 0.5seg, y el tiempo de cambio entre frecuencias de 2seg.

Guardar.- Almacena en una variable los datos de frecuencia e intensidad de respuesta del paciente, a través del Mouse mientras se realiza el examen audiométrico. La posición del Mouse se fija sobre el botón guardar, una vez que se ejecuta el tono. Con la siguiente instrucción:

```
set(0,'PointerLocation',[370 220])
```

Graficar Audiograma.- Funciona igual que en la Audiometría Manual.

Restaurar (Ctrl + R).- Inicializa la ventana.

Detener (Ctrl + D).- Detiene el objeto (*stop (AO)*) y el timer (*stop (T)*) en cualquier momento de la prueba.

Además la ventana cuenta con una barra de herramientas que consta de las siguientes funciones:

Archivo

- **Detener.-** Detiene la prueba en cualquier instante
- **Restaurar.-** Inicializa la ventana.
- **Tono.-** Inicia el examen audiométrico.

Gráficos

- **Audiograma vía aérea.-** Permite ingresar a la ventana del audiograma de la V.A.
- **Audiograma vía ósea.-** Permite ingresar a la ventana del audiograma de la V.O.

Ayuda.- Ingresa a la ayuda de esta ventana.

Salir.- Cierra la ventana.

4. Ventanas Audiograma Aérea / Audiograma Ósea

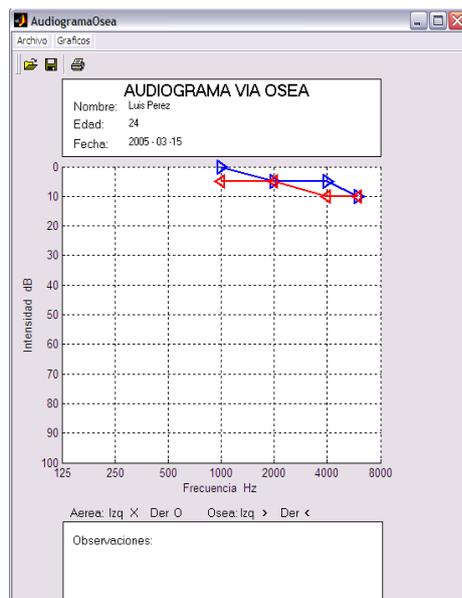
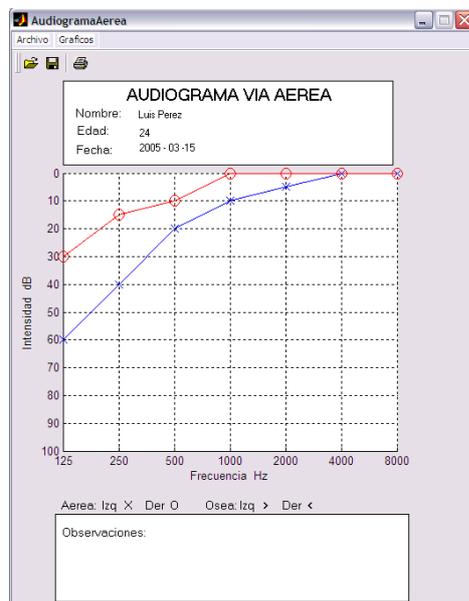


Figura III.6. Ventanas Audiogramas Aérea/Ósea

Estas ventanas muestran los datos informativos del paciente y el audiograma respectivo. Los cuales son cargados con la función *load*, y fijados en estas ventanas por la función *set*. Con las siguientes instrucciones:

```
load datos  
set(handles.nombrea,'String',nombre)  
set(handles.edada,'String',edad)  
set(handles.fechaa,'String',fecha)
```

Constan de una barra de herramientas con las siguientes funciones:

Archivo

- **Abrir.-** Permite abrir los archivos de los audiogramas almacenados con extensión *.aer. para la V. A. y con *.ose para la V.O. Como se indica:

```
[fname,pname]=uigetfile({'*.aer','Audiograma(*.aer)'; 'Abrir archivo');
```

```
[fname,pname]=uigetfile({'*.ose','Audiograma(*.ose)'; 'Abrir archivo');
```

La función *uigetfile* despliega una caja de diálogo con título '*Abrir archivo*', que contiene la lista de los archivos de todo el directorio.

En *fname* obtenemos el nombre del archivo, y en *pname* el nombre del path del archivo.

- **Guardar.-** Guarda los archivos de los audiogramas realizados con extensión *.aer. para V.A. y *.ose para V.O. Como se indica:

```
[fname pname]=uiputfile({'*.aer','Audiograma (*.aer)'; 'Guardar  
archivo como','Audiograma 1');
```

```
[fname pname]=uiputfile({'*.ose','Audiograma (*.ose)'; 'Guardar  
archivo como','Audiograma 1');
```

La función *uiputfile* despliega una caja de diálogo con título '*Guardar archivo como*', que contiene la lista de los archivos de todo el directorio.

Por defecto el nombre del archivo a guardar será '*Audiograma I*'.

En *fname* va el nombre del archivo, y en *pname* el nombre del path del archivo.

- **Imprimir.-** Imprime el audiograma.
- **Salir.-** Cierra la ventana.

Gráficos

- **Audiograma vía ósea/ vía aérea.-** Accede al audiograma de la vía ósea/vía aérea, respectivamente.

En base a los algoritmos empleados en el Audiómetro Virtual, se desarrolló una ventana para el Análisis del Efecto Aural, el objetivo de este análisis es comprobar el enmascaramiento en frecuencia. El mismo que funciona de manera que, un sonido en determinada frecuencia puede disminuir el nivel de otro sonido en las frecuencias adyacentes siempre y cuando el nivel del sonido enmascarante sea más alto que el nivel del sonido adyacente.

La ventana consta de los siguientes elementos:

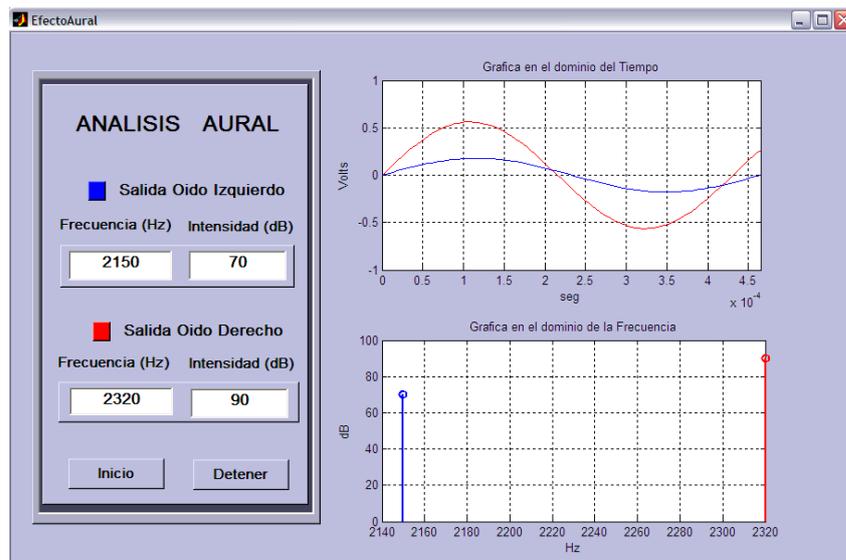


Figura III.7. Ventana Efecto Aural

- **Salida oído izquierdo/ oído derecho.-** Ingresar los valores de frecuencia e intensidad, para generar el tono.
- **Inicio.-** Una vez ingresados los valores respectivos genera los tonos, y grafica sus formas de onda tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia, para establecer el enmascaramiento.
- **Detener.-** Detiene el análisis en cualquier instante.

CAPITULO IV

ANALISIS, PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1. CALIBRACION Y PUESTA A PUNTO

La calibración del Audiómetro Virtual AMP1000, se basó en los requisitos de la tarjeta de sonido SoundMAX Digital Audio (Salida de voltaje $\pm 1V$). Se utilizó el osciloscopio y el sonómetro como instrumentos de medida y calibración.

Para la calibración se realizaron los siguientes pasos:

1. Comprobamos que la onda sinusoidal generada por el instrumento virtual sea una señal pura, sin interferencia de ruido.
2. Aplicamos carga al equipo a través de los auriculares ($Z = 32\Omega$) para establecer el voltaje de salida del instrumento.
3. Como el valor obtenido de voltaje disminuyó por la carga, se procedió a manipular los controles de volumen del computador, para obtener a la salida un voltaje de 1V con 120dB.
4. Puesto que el instrumento virtual se desarrolló en un computador portátil, los controles de volumen se ajustaron de la siguiente manera.

- **Botón de control de volumen:** Nivel máximo.
- **Controles de Volumen SoundMAX Digital Audio:**

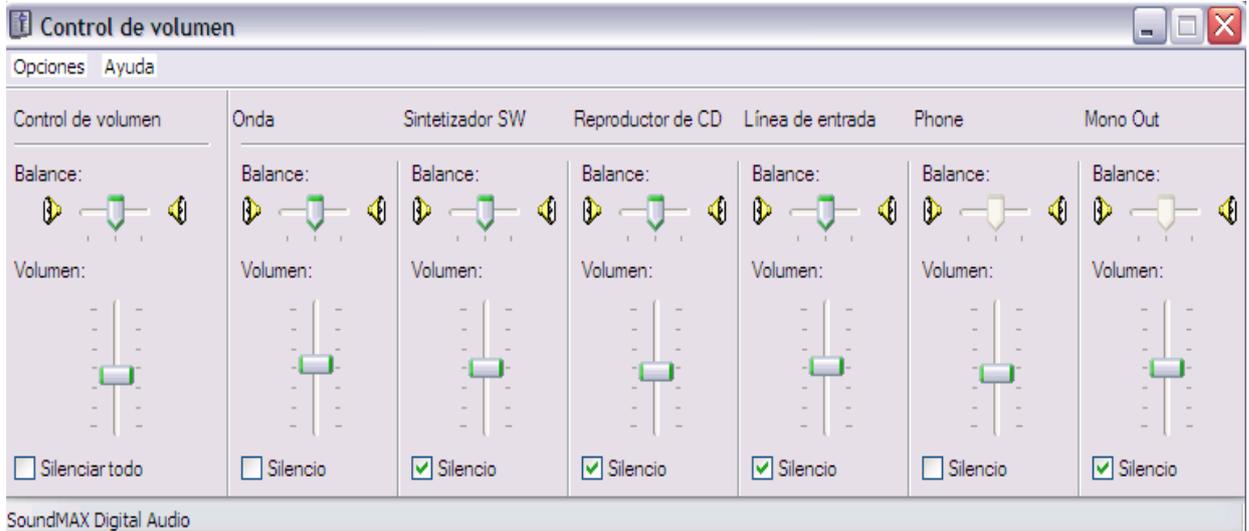


Figura IV.1. Controles de Volumen

5. Con ayuda del sonómetro verificamos que a la salida de los auriculares, se generen los niveles de intensidad indicados.
6. De esta manera se consiguió calibrar el instrumento de acuerdo a los requerimientos deseados.

LIMITACIONES DEL INSTRUMENTO

- El proceso de calibración del Audiómetro Virtual AMP1000, dependerá de las características del computador en el cual sea instalado.
- El instrumento está limitado a realizar pruebas únicamente por la vía aérea, puesto que el costo del transductor osteotimpánico (vía ósea) es elevado (aproximadamente 500dólares) y no se encuentra al alcance.
- Existe interferencia de ruidos provocados por el computador (ventilador, mouse, teclado), causando molestia al paciente. Y al no contar con una

cámara silente para realizar las pruebas, se compensa en 5dB el umbral de audición del paciente.

- Necesariamente el instrumento virtual requiere del software de MATLAB para su funcionamiento.

4.2. SELECCIÓN DE LA MUESTRA PARA EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS CON EL AUDIOMETRO VIRTUAL AMP 1000.

Siendo la “población de la ciudad de Latacunga 51689 habitantes”¹⁹, se consideró realizar un muestreo estratificado. Como se muestra a continuación:

No DE CAPA	HABITANTES	PORCENTAJE	EDADES
1	20511	39.68	Menores de 20
2	17659	34.16	De 20 a 40
3	13519	26.16	Mayores de 40
TOTAL	51689	100.00	

4.3. PRUEBAS CON EL INSTRUMENTO VIRTUAL.

Se han realizado 50 pruebas para determinar la calidad de audición de los habitantes de la ciudad de Latacunga. Distribuidas de la siguiente manera:

EDAD	PRUEBAS	PORCENTAJE
Menores de 20	20	39.68
De 20 a 40	17	34.16
De 40 en adelante	13	26.16
TOTAL	50	100.0

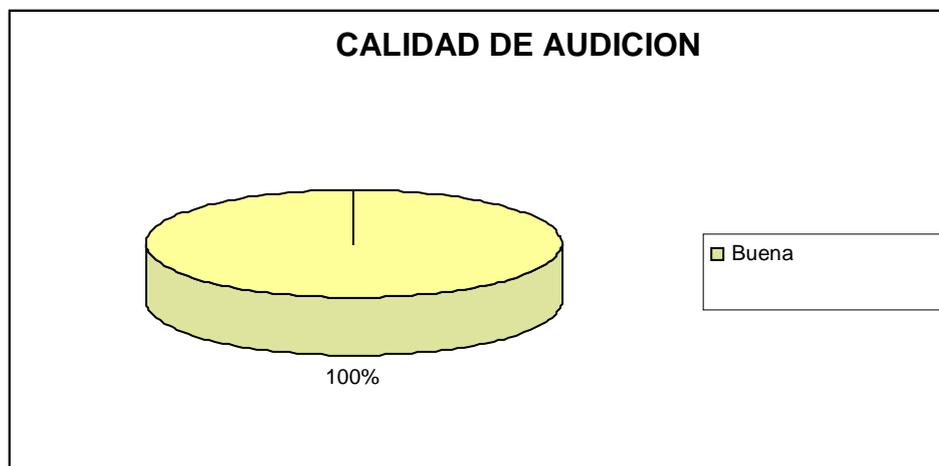
4.4. ANALISIS DE RESULTADOS

¹⁹ INEC, “VI Censo de Población y V de Vivienda 2001”, Resultados definitivos, Tomo I, Población Cotopaxi.

Según las pruebas obtenidas con el Audiómetro Virtual AMP1000 y la evaluación auditiva confidencial (Anexo D), se tienen los siguientes resultados:

CAPA 1: MENORES DE 20 AÑOS

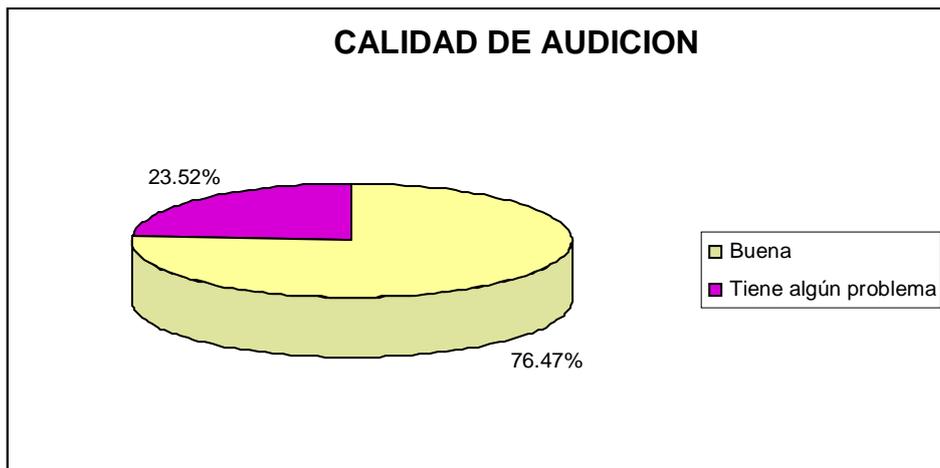
CALIDAD DE AUDICION	PERSONAS	PORCENTAJE
Buena	20	100
Tiene algún problema	0	0



El 100% de las personas sometidas a la prueba audiométrica tiene una buena audición, ya que su umbral tanto en el oído izquierdo como en el derecho esta dentro del rango normal (0 -20dB).

CAPA 2: DE 20 A 40 AÑOS

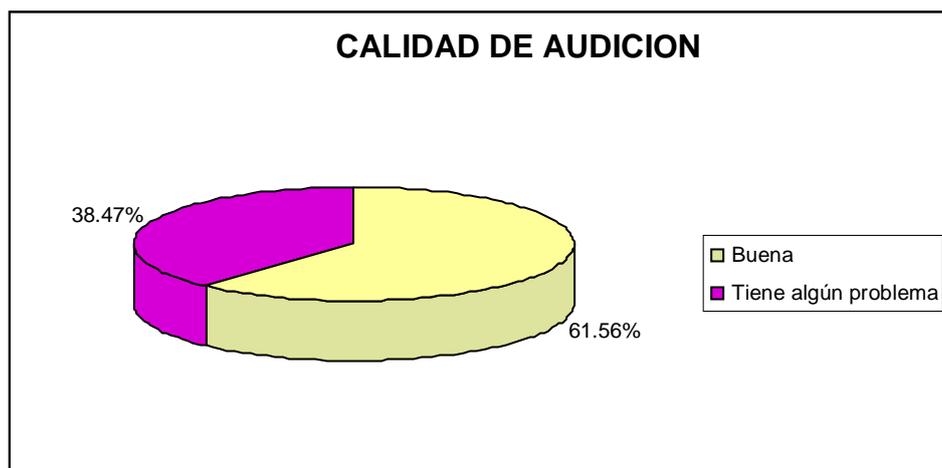
CALIDAD DE AUDICION	PERSONAS	PORCENTAJE
Buena	13	76.47
Tiene algún problema	4	23.53



El 76.47% de las personas tiene una buena audición, pues su umbral esta dentro del rango establecido. Un 23.53% de las personas presenta problemas en su audición debido a traumas acústicos y enfermedades adquiridas.

CAPA 3: MAYORES DE 40 AÑOS

CALIDAD DE AUDICION	PERSONAS	PORCENTAJE
Buena	8	61.56
Tiene algún problema	5	38.46



El 61.53% de las personas tienen una buena audición, en vista que su umbral está dentro del rango establecido. Y un 38.47% de las personas tienen problemas auditivos debido a la edad que presentan, por antecedentes familiares y por traumas acústicos.

PERDIDA AUDITIVA EN FRECUENCIAS GRAVES/AGUDAS

FRECUENCIAS	PERSONAS	PORCENTAJE
Graves	3	6.0
Agudas	6	12.0
TOTAL:	9	18.0

De las pruebas realizadas tenemos un 18% de personas con problemas auditivos, de las cuales el 12% presenta problemas en las frecuencias agudas, principalmente debido a la edad, ruido industrial. Mientras que el 6% tiene problemas en las frecuencias graves, por enfermedades adquiridas.

4.5. ANALISIS DEL EFECTO AURAL

Para comprobar el efecto aural, se realizó 10 pruebas a personas audiológicamente sanas, considerando los valores obtenidos en las audiometrías. Utilizando el concepto del enmascaramiento en frecuencias, se escogieron distintas bandas críticas con valores iguales y diferentes de intensidad. Como se muestra en el Anexo E. De las pruebas se han obtenido los siguientes resultados:

- Cuando dos frecuencias tienen un nivel de intensidad igual, la frecuencia enmascaradora es la de mayor valor. Sin embargo es más difícil determinar el enmascaramiento cuando se trabaja con frecuencias cercanas, por ejemplo al aplicar frecuencias de 90Hz y 150Hz, el 20% de las personas sometidas a la prueba no supieron distinguir el sonido enmascarante.

FREC. ENMASCARANTE	INTENSIDAD	PERSONAS	PORCENTAJE
90 Hz	40	0	0
150 Hz	40	8	80
90Hz – 150Hz	40	2	20

- Cuando una frecuencia tiene un elevado valor de intensidad, está puede enmascarar a otra frecuencia mayor ó menor que tenga un valor de intensidad menor, por ejemplo al comparar la frecuencia de 1000Hz con una de 700Hz y 2200Hz, el 100% de las personas sujetas a la prueba distinguieron 1000Hz como la frecuencia enmascarante.

FREC. ENMASCARANTE	INTENSIDAD	PERSONAS	PORCENTAJE
700 Hz	5	0	0
1000 Hz	15	10	100
2200 Hz	0	0	0

- El efecto de enmascaramiento en frecuencia es más notorio si se compara una frecuencia grave con una aguda, a un mismo nivel de intensidad.

FREC. ENMASCARANTE	INTENSIDAD	PERSONAS	PORCENTAJE
600 Hz(grave)	5	0	0
1300 Hz(aguda)	5	10	100

- Cuando se analizan un tono grave con un agudo, el tono grave deberá tener una intensidad elevada con respecto al tono agudo, para poder enmascararle.

FREC. ENMASCARANTE	INTENSIDAD	PERSONAS	PORCENTAJE
250 Hz (grave)	65	10	100
1000 Hz(aguda)	5	0	0

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se ha diseñado e implementado un audiómetro virtual el mismo que a más de realizar pruebas audiométricas, permite hacer un análisis del efecto aural en los habitantes de la ciudad de Latacunga.
- Por medio de la investigación y la ayuda de especialistas en otorrinolaringología se ha incursionado en el campo de la instrumentación en medicina aprovechado las herramientas tecnológicas. Cumpliendo de esta manera con los objetivos trazados en el presente proyecto de tesis.
- El audiómetro virtual se ha implementado en base al entorno de computación MATLAB, que es un software en continuo crecimiento y muy adaptable a los avances científicos, permitiendo resolver los problemas que presenta la ingeniería en el desarrollo de productos innovadores.
- MATLAB al tener una amplia colección de Toolboxes es muy versátil, pues a partir de una determinada aplicación se puede extender su utilidad a proyectos que contengan características similares.

- Una ventaja del Audiómetro Virtual AMP1000 es que puede investigar todas las frecuencias e intensidades establecidas en un examen audiométrico (125 – 8000Hz y 0 – 100dB), lo que no sucede con algunos equipos existentes.
- Al realizar las pruebas con el instrumento virtual, los resultados obtenidos muestran una similitud con los generados por otros audiómetros.
- El Audiómetro Virtual AMP1000 cuenta con las características necesarias que requiere un equipo que mide la sensibilidad auditiva, por lo que puede ser utilizado en el Departamento Médico de la ESPEL para realizar audiometrías colectivas, brindando de esta manera un servicio a la comunidad politécnica.
- El proceso del examen audiométrico es teóricamente sencillo, pero en la práctica requiere paciencia, experiencia y sagacidad por parte de quien la realiza; e inteligencia, atención y buena fe por parte del paciente.
- En base a los resultados obtenidos en las pruebas audiométricas se puede concluir que el nivel de audición de los habitantes de la ciudad de Latacunga es bueno, debido a que nuestra ciudad no se encuentra afectada por la contaminación ambiental producida por la emisión de ruido.
- Se ha comprobado que el nivel de audición de los habitantes de la ciudad de Latacunga va disminuyendo conforme avanza la edad, pues a partir de los 40 años se tiene el mayor porcentaje de pérdida auditiva.
- Mientras más nos preparemos los profesionales aportando con conocimientos y aplicaciones, muchas personas con pérdida auditiva y cualquier otra deficiencia se beneficiarán con nuevas tecnologías que les ayudarán a superar su problema y podrán desarrollar su vida integrada a la sociedad.

RECOMENDACIONES

- Es importante que todo niño que ingresa al jardín o escuela se haga un examen audiométrico para evitar retraso escolar, pues oír bien significa aprender bien. Y con más razón toda persona expuesta a traumas acústicos.
- Se recomienda precautelar la salud, el bienestar humano y el estado psicológico de las personas previniendo y controlando la emisión de ruidos. Para mantener un buen nivel de audición.
- Considerando que la pérdida auditiva esta sujeta a diversos factores como la herencia, traumas sonoros, enfermedades, accidentes, edad, drogas ototóxicas, etc. Es deber del ser humano concientizar sobre el cuidado que merece el aparato auditivo.
- Se recomienda realizar el examen audiométrico en el modo manual, pues el modo automático no es tan exacto, existe un porcentaje de falla ya que se necesita de mayor concentración por parte del paciente mientras se realiza la prueba. Por lo tanto los resultados son más confiables cuando es el médico quien manipula el instrumento.
- Es necesario que quienes realicen un examen audiométrico cuenten con una cámara insonora para obtener mejores resultados.

- Se recomienda comenzar la prueba audiométrica por la vía aérea del oído mejor, luego la del peor, siguiendo con la ósea del mejor, para concluir de la ósea del peor.
- Se recomienda leer el manual de operación antes de realizar la audiometría con el fin de no cometer errores en la realización del examen y en la utilización del audiómetro virtual.
- Es importante considerar los niveles de intensidad que se deben aplicar para cada frecuencia, al momento de realizar la prueba de enmascaramiento, para no causar lesiones auditivas.

GLOSARIO

- **Acúfeno** es un zumbido persistente que se percibe en los oídos.
- **Amplitud.-** Grado de movimiento de las moléculas de aire en la onda.
- **AMP1000.-** Nombre del Audiómetro Virtual.
- **Audiograma.-** Gráfico del umbral de audición en el que se imprimen los resultados de la prueba audiométrica.
- **Audiometría.-** Medición cuantitativa y cualitativa de la audición
- **Audiómetro.-** Instrumento para medir la sensibilidad auditiva.
- **Cámara insonora.-** Cabina insonorizada que elimina los ruidos externos.
- **Decibel (dB).-** Unidad de intensidad sonora.
- **Enmascaramiento.-** Limitación del oído humano para responder a todas las componentes de un sonido complejo.
- **GUI.-** Interfase Gráfica de Usuario.
- **Hertz (Hz).-** Unidad de frecuencia.
- **Infrasonidos.-** Sonidos no audibles, menores a 20Hz.
- **Intensidad.-** Magnitud de la sensación auditiva producida por la amplitud de las perturbaciones que llegan al oído.
- **Oído.-** Órgano responsable de la audición y el equilibrio.
- **Octava.-** Unidad de frecuencia que se obtiene duplicando el número de vibraciones por segundo a partir de 16, umbral en que se perciben las vibraciones con carácter de sonido. La octava no es una unidad absoluta sino relativa.
- **ORL.-** Otorrinolaringólogo.
- **P.A.-** Pérdida auditiva.
- **Ruido.-** Es todo lo que oímos y subjetivamente podríamos definirlo como un sonido desagradable o indeseado.
- **Sonido.-** Una onda de sonido es una serie de compresiones y enrarecimientos sucesivos del aire.

- **Sonómetro.-** Aparato que se utiliza para medir el nivel sonoro. Consta de micrófono, un amplificador y un indicador del nivel de potencia.
- **Sordera.-** Conocida como hipoacusia es la incapacidad para oír.
- **Timbre.-** Característica del sonido que permite distinguir los tonos producidos por instrumentos distintos.
- **Tono.-** Cantidad de vibraciones en la unidad de tiempo.
- **U.A.-** Umbral de audibilidad.
- **Ultrasonidos.-** Sonidos no audibles, mayores a 20000Hz.
- **V.A.-** Vía aérea.
- **V.O.-** Vía ósea.

BIBLIOGRAFIA

- THOMSON V - BERTELLI J, “Clínica Otorrinolaringológica”, segunda edición, Cuba 1973
- PEREZ L. César, “Mathlab y sus Aplicaciones en la Ciencia y la Ingeniería”, Madrid 2002.
- ENCARTA.© 1993-2003 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- SETO, William W. “Teoría y problemas de Acústica”, México, McGraw-Hill, 1973. Schaum.
- ENCICLOPEDIA “Guía del estudiante”, Física, Madrid, 1995
- ENCICLOPEDIA “El hombre”, Cuerpo, mente, salud, Círculo de Lectores S.A., 1985
- TAPIA V. PROAÑO W., “Diseño y Construcción de un Audiómetro”, ESPE-Latacunga 1997.
- LAZARO, Antonio Manuel, “LabVIEW Programación Gráfica para el control de Instrumentación”, editorial PARANINFO, 1997.

ENALACES

- <http://members.fortunecity.com/alex1944/psicoacustica/psycoasp.html>
- <http://www.labc.usb.ve/EC4514/AUDIO/PSICOACUSTICA/Psicoacustica.htm>
- <http://www.fuac.edu.co/autonoma/pregrado/ingenieria/ingelec/proyectosgrado/compresvideo/audicion.htm>
- <http://members.fortunecity.com/alex1944/psicoacustica/psycoasp.html>

ANEXO A

ENCUESTA

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA

ENCUESTA

Señor(a) Doctor(a)

Conocedoras de que si una persona tiene problemas auditivos, puede experimentar problemas de participación, aislamiento, sentirse sola y deprimida, es importante que los familiares le ayuden y animen a visitar a un especialista para poder mejorar su calidad de vida.

El objetivo de esta encuesta es establecer los parámetros de funcionamiento de un audiómetro virtual que deseamos construir, para lo cual esperamos contar con su valioso aporte.

Especialidad:.....

Preguntas:

1. ¿Cuáles podrían ser las causas para que una persona pierda su capacidad auditiva?

2. ¿A que edad recomienda usted realizar el examen audiométrico, para la detección precoz de la sordera?

3. ¿Lleva usted un registro de los casos de sordera presentados en sus pacientes?

SI____ NO____ Ayudemos estadísticamente.

- -----
4. ¿Si usted cuenta como elemento de diagnóstico con el audiómetro, recomienda usarlo en forma manual (prueba dirigida por el médico) y/o automática(de acuerdo a un algoritmo programado)?
- a) Manual _____
- b) Automática _____
- c) Manual y automática _____
5. ¿Qué tiempo recomienda usted debe durar el tono, cuando se realiza una audiometría?
- a) 1 – 2seg _____
- b) 2 – 3seg _____
- c) Más de 3seg _____
6. ¿Qué tipo de tono recomienda usar?
- a) Intermitente _____
- b) Continuo _____
7. ¿Bajo que rangos de frecuencia e intensidad recomienda realizar una audiometría?

Vía aérea

- | Frecuencia | | Intensidad | |
|-------------------|-------|-------------------|-------|
| a) 125 – 8000Hz | _____ | a) 0 – 120dB | _____ |
| b) Otro rango | _____ | b) 0 – 100dB | _____ |
| | | c) Otro rango | _____ |

Vía ósea

- | Frecuencia | | Intensidad | |
|-------------------|-------|-------------------|-------|
| a) 125 – 8000Hz | _____ | a) 0 – 120dB | _____ |
| b) Otro rango | _____ | b) 0 – 100dB | _____ |
| | | c) Otro rango | _____ |

8. ¿Con qué valores de frecuencia e intensidad recomienda empezar la audiometría?

F: _____ I: _____

9. ¿Es recomendable realizar el examen audiométrico tanto para la vía aérea como para la vía ósea?

SI _____ NO _____

10. ¿Influye en el resultado del examen audiométrico la utilización de la cámara insonora?

SI _____ NO _____

11. En base a los exámenes realizados con su audiómetro, indique cual es la precisión de su equipo.

a) 95% - 100% _____

b) Menor al 95% _____

12. Si usted contara con un software de aplicación para su computador, para diagnosticar sordera en sus pacientes. ¿Qué beneficios debería tener éste para satisfacer sus necesidades al momento de realizar una audiometría?

Recomendaciones y/o sugerencias.

Gracias por su colaboración.

ANEXO B

MANUAL DE OPERACION

MANUAL DE OPERACIÓN

INSTALACION DEL SOFTWARE

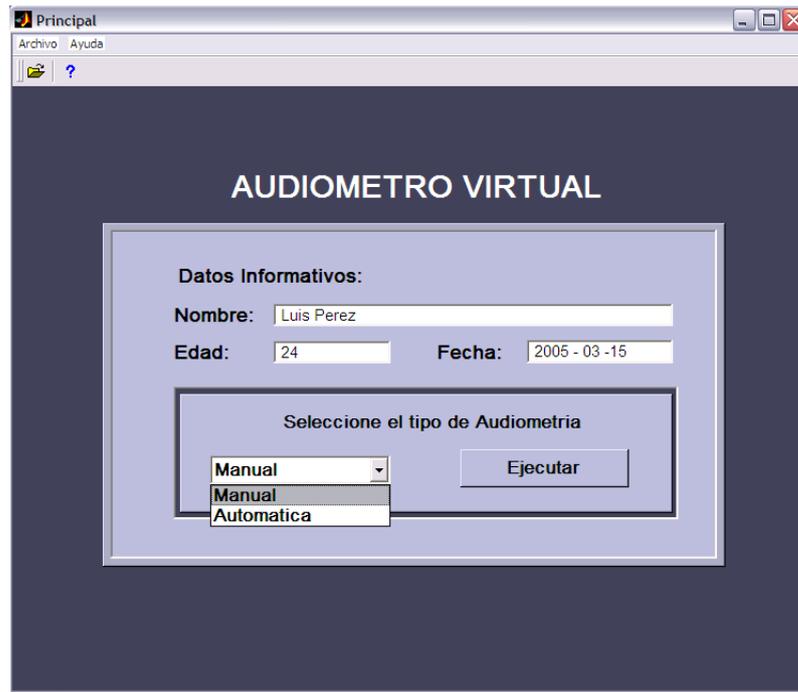
- Inserte en su computador el CD del Audiómetro Virtual AMP1000 (Su computador debe contar con el software MATLAB)

INSTALACION DEL HARDWARE

- Identifique en su PC los dispositivos de audio y sonido. (Verifique el funcionamiento de la tarjeta de sonido, para opciones avanzadas consulte la guía de configuración de su PC).
- Verifique que el Mouse y su impresora estén conectados.
- Inserte en el conector de audífonos los Auriculares CD-9000.

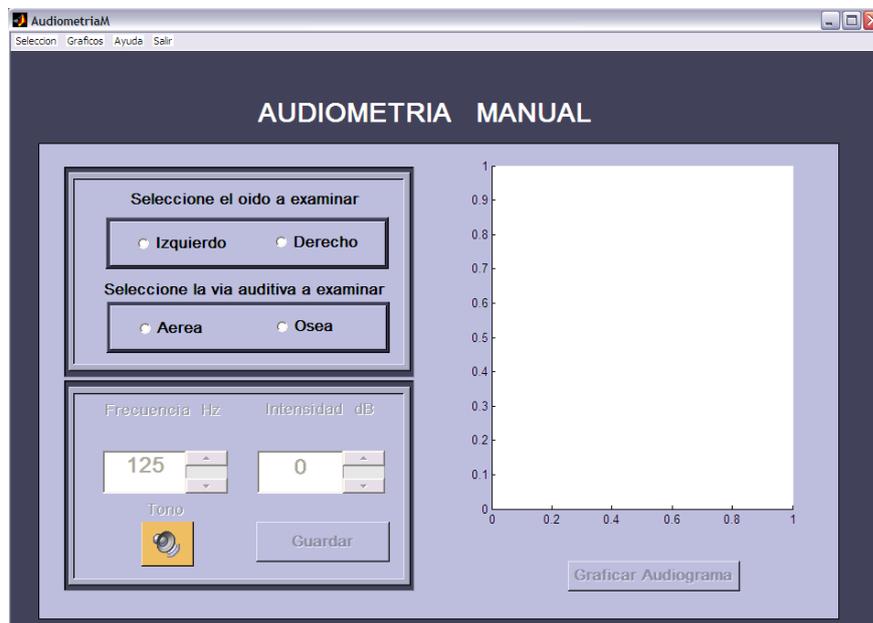
INSTRUCCIONES DE USO

- Instalado el Software del Audiómetro Virtual AMP1000.
- En el Escritorio haga doble clic sobre el icono del Audiómetro AMP1000
- Una vez visualizada la ventana PRINCIPAL
 1. Ingrese los datos informativos del paciente.
 2. Seleccione el tipo de Audiometría.



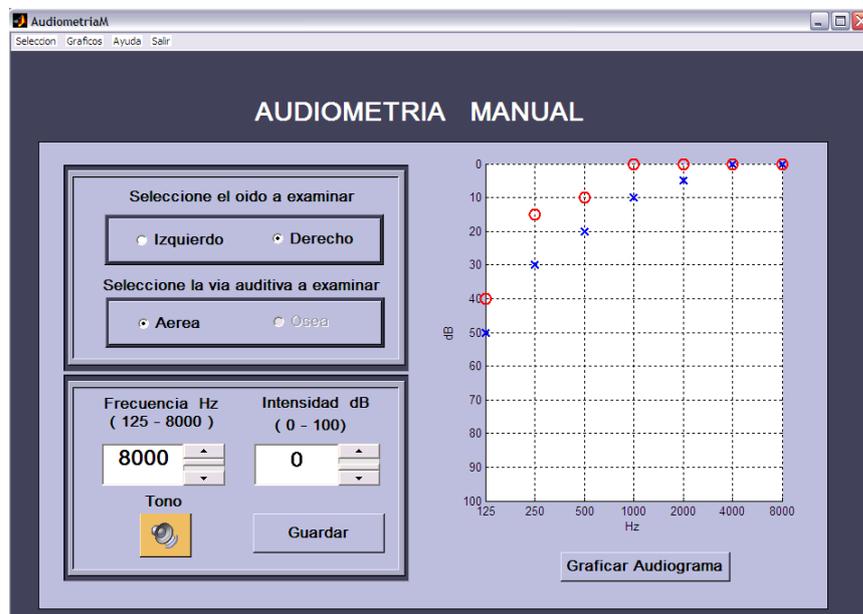
3. Presione el botón **Ejecutar**.

- Si eligió una **Audiometría Manual**, aparecerá la siguiente ventana.

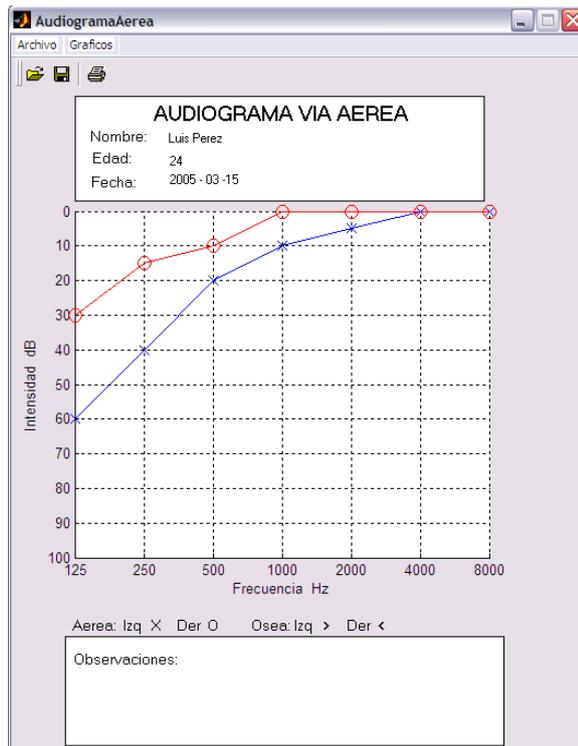


1. Seleccione el oído a examinar. (Se recomienda comenzar por el oído sano).
2. Seleccione la vía auditiva a examinar. (Se recomienda comenzar por la vía aérea).

3. Una vez seleccionados el oído y la vía auditiva, ingrese los valores de frecuencia e intensidad dentro de los rangos establecidos.
4. Haga clic en el botón **Tono** para generar el sonido.
5. Establezca el tono audible del paciente, variando los niveles de intensidad.
6. Presione el botón **Guardar** para almacenar el valor de frecuencia e intensidad del tono audible. (Visualice el dato en el graficador)
7. Repita los pasos del 3 al 6, variando los niveles de frecuencia.
8. Una vez concluido el examen en un oído, se procede a evaluar el otro de la misma manera.

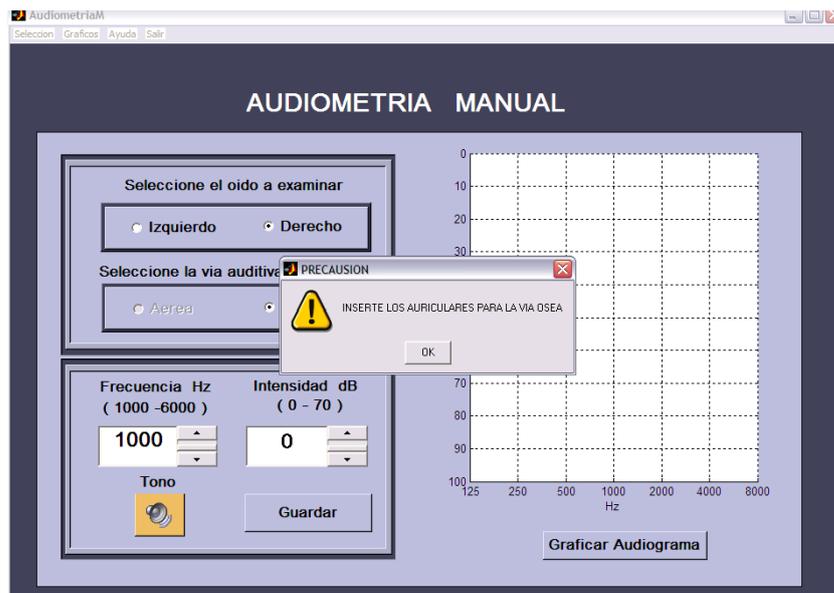


9. Pulse el botón **Graficar Audiograma**, para ver el umbral de audición del paciente, una vez evaluados los dos oídos.



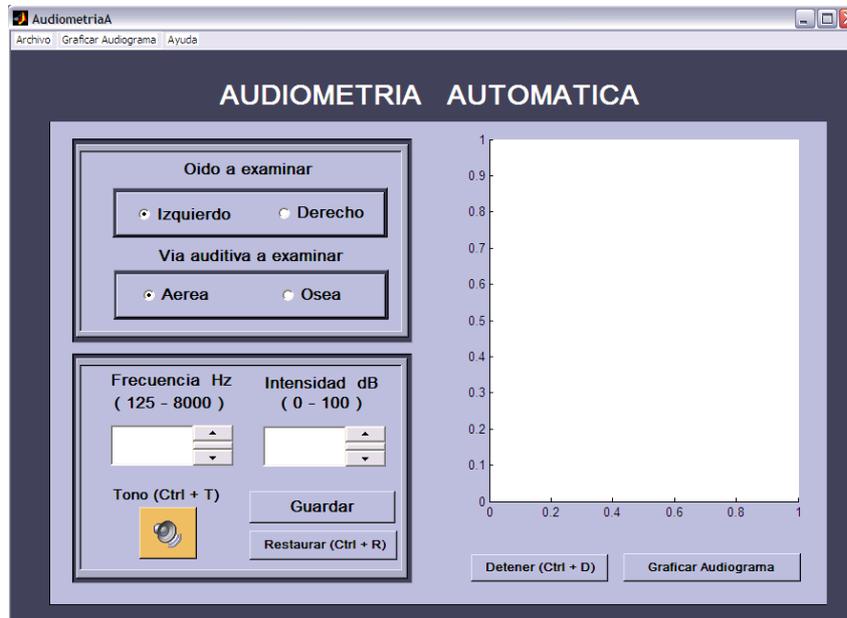
Para realizar el examen por la vía ósea es necesario contar con los auriculares osteotimpánicos (vibrador).

Al elegir la vía ósea aparecerá un mensaje que indica que se deben insertar los auriculares correspondientes.



Una vez insertados los auriculares en el conector de audífonos, presione **OK** para continuar con la prueba. (Seguir los pasos anteriores)

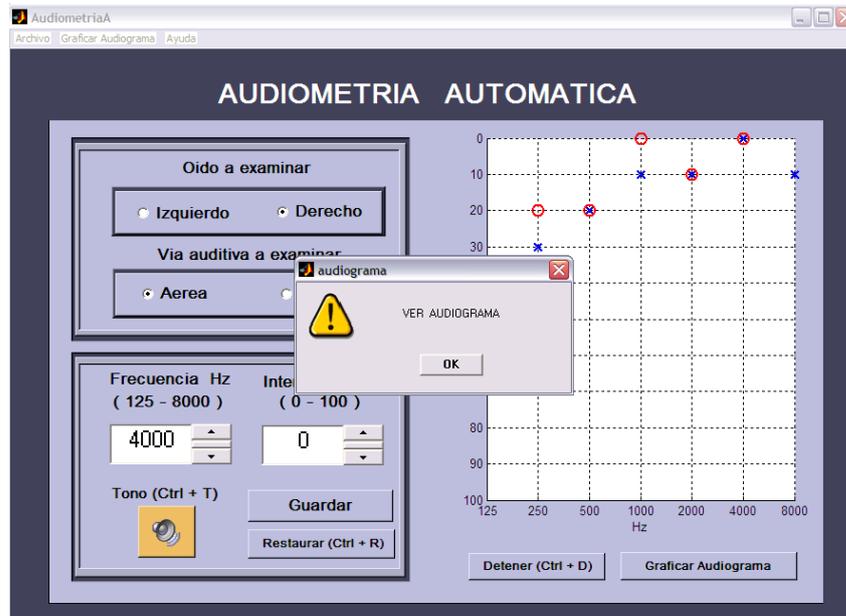
- Si eligió una **Audiometría Automática**, aparecerá la siguiente ventana.



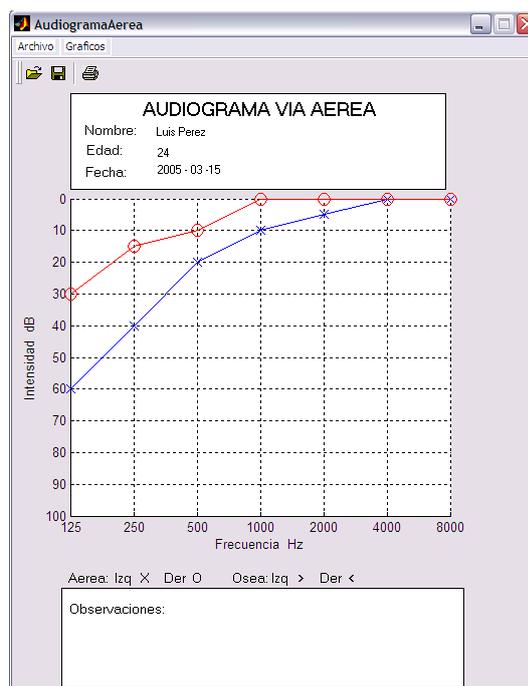
Por ser una prueba automática, los parámetros de inicio están fijados de la siguiente manera:

OIDO	VIA	FRECUENCIA (Hz)	INTENSIDAD (dB)
Izquierdo	Aérea	125 - 8000	0 - 100
Derecho	Aérea	125 - 8000	0 - 100
Izquierdo	Ósea	1000 - 6000	0 - 70
Derecho	Ósea	1000 - 6000	0 - 70

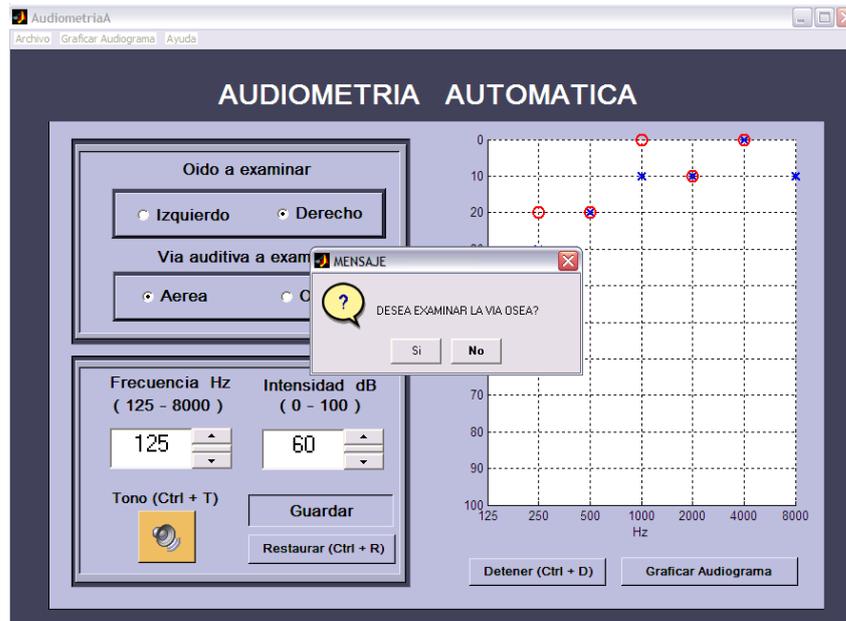
1. Pulse el comando **Ctrl + T** para empezar la prueba.
2. Para Guardar los valores de frecuencia e intensidad audibles, el paciente deberá pulsar el Mouse. (Visualice el dato en el graficador).
3. Una vez terminada la prueba por la vía aérea, aparecerá un mensaje para ver el audiograma.



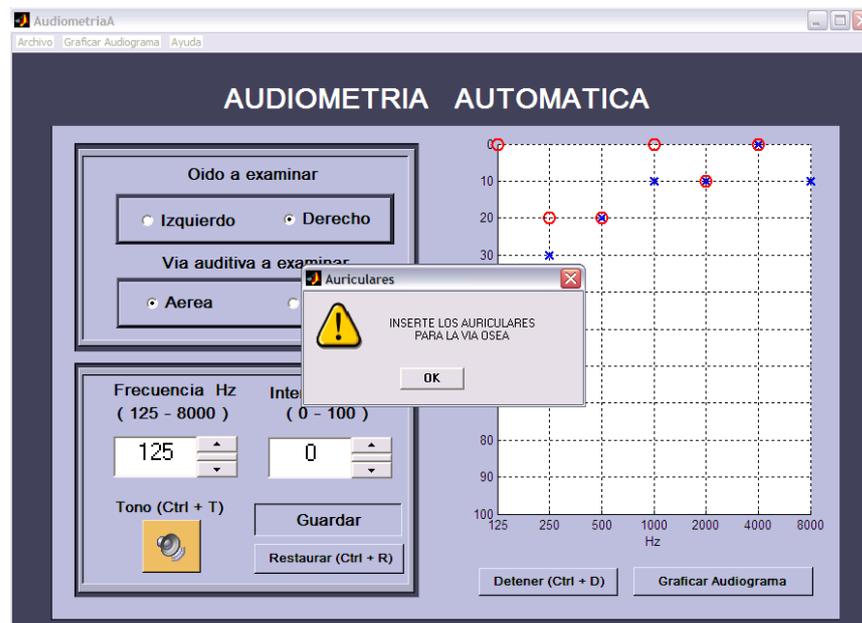
4. Presione **OK** para ver el umbral de audición del paciente.



5. Al cerrar la ventana del audiograma, aparecerá el siguiente cuadro de diálogo.



1. Al presionar **SI** aparecerá el siguiente mensaje.



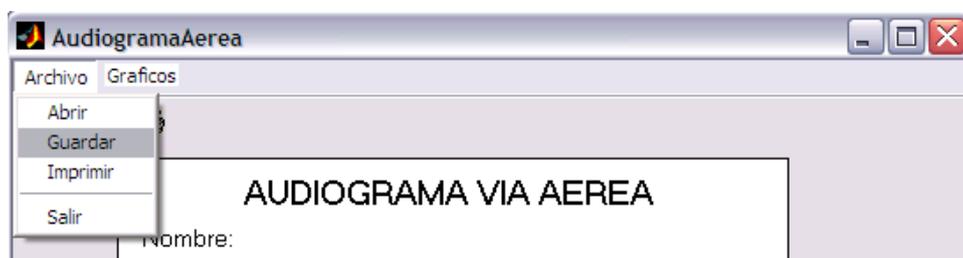
Presione **OK** para continuar con el examen por la vía ósea. (Para realizar el examen por la vía ósea es necesario contar con los auriculares osteotimpánicos (vibrador)).

2. Al presionar **NO**, se concluirá con el examen.

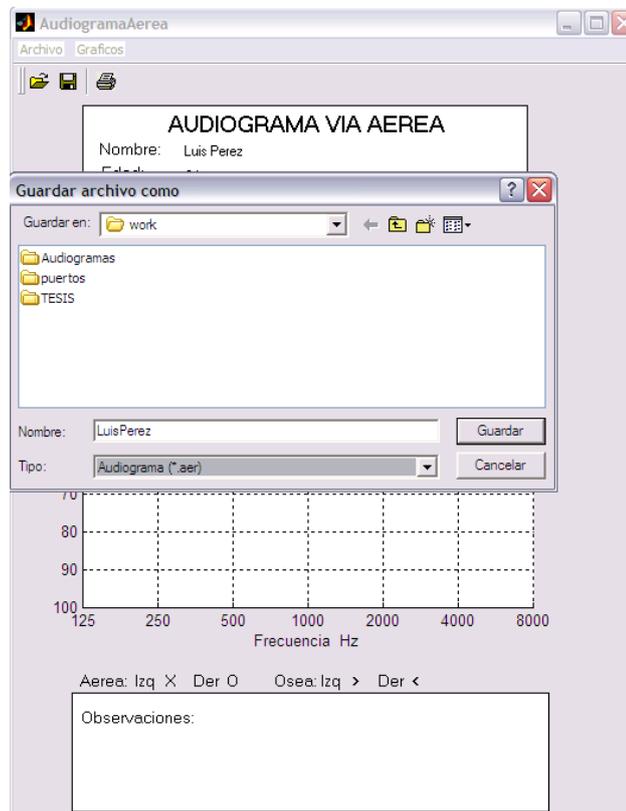
- Pulse el comando **Ctrl + D** en caso de error, para detener la prueba.
- Pulse el comando **Ctrl + R** para iniciar nuevamente la audiometría.

GUARDAR ARCHIVOS

- Para registrar las audiometrías se usan fichas denominadas Audiogramas.
- En la barra de herramientas seleccione **Guardar**. O haga click sobre el icono



Aparecerá un cuadro de diálogo:



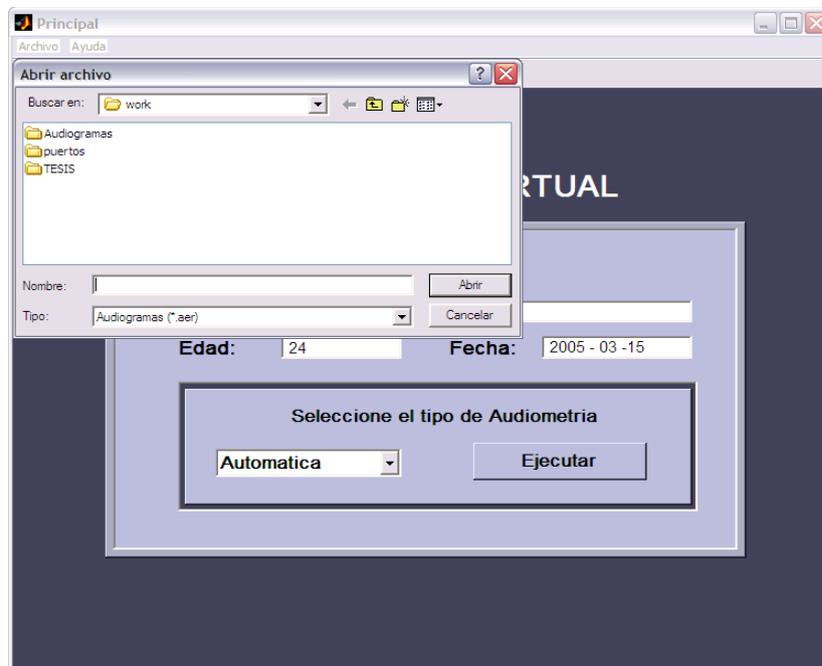
- Dentro de la casilla **Nombre**, deberá introducir el nombre con el que desea guardar el audiograma.
- En la casilla **Tipo**, aparecerá la extensión con la que se guardará el audiograma. (*.aer para audiogramas vía aérea y *.ose para audiogramas vía ósea).
- En la casilla **Guardar en**, elija la dirección donde desea almacenar el archivo.
- Presione **Guardar** para que el archivo sea almacenado.

ABRIR ARCHIVOS

Desde la ventana PRINCIPAL.

- En la barra de herramientas seleccione **Abrir**. O haga click sobre el icono  .

Aparecerá un cuadro de diálogo:



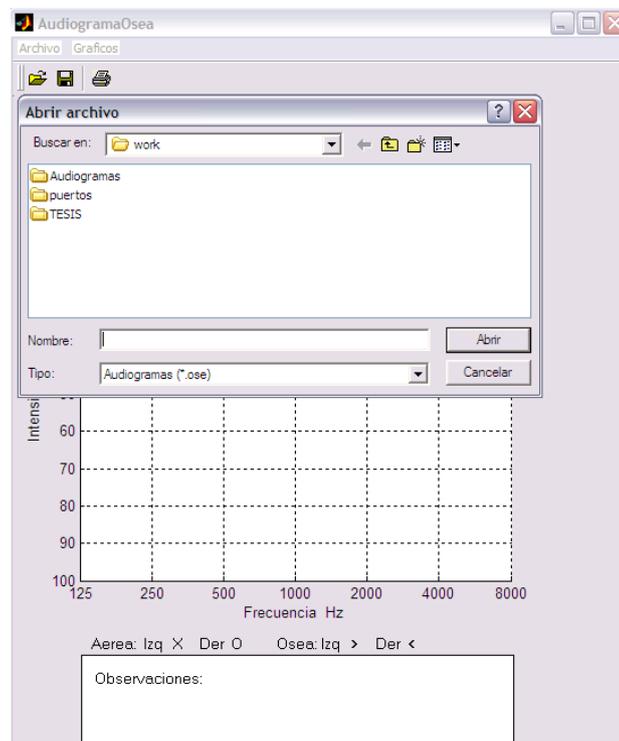
- Dentro de la casilla **Nombre**, deberá introducir el nombre del audiograma que desea abrir.

- En la casilla **Tipo**, seleccione la extensión del audiograma. (*.aer para audiogramas vía aérea y *.ose para audiogramas vía ósea).
- En la casilla **Buscar en**, elija la dirección donde está almacenado el archivo.
- Presione **Abrir** para que acceder al archivo.

Desde la ventana AUDIOGRAMA VIA AEREA ó VIA OSEA.

- En la barra de herramientas seleccione **Abrir**. O haga click sobre el icono .

Aparecerá un cuadro de diálogo:



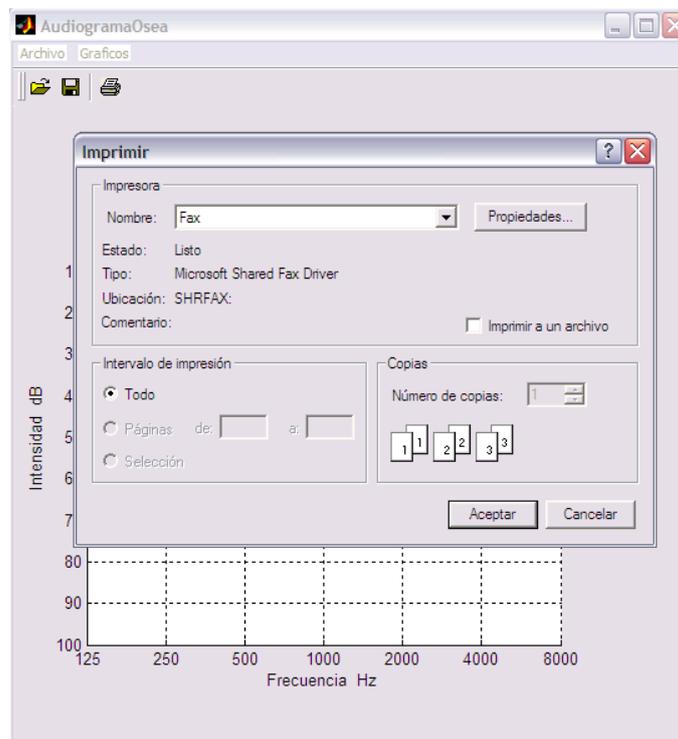
- Dentro de la casilla **Nombre**, deberá introducir el nombre del audiograma que desea abrir.
- En la casilla **Tipo**, aparece la extensión del audiograma. (*.aer para audiogramas vía aérea y *.ose para audiogramas vía ósea).
- En la casilla **Buscar en**, elija la dirección donde está almacenado el archivo.
- Presione **Abrir** para que acceder al archivo.

IMPRIMIR ARCHIVOS

- En la barra de herramientas seleccione **Imprimir**. O haga click sobre el icono



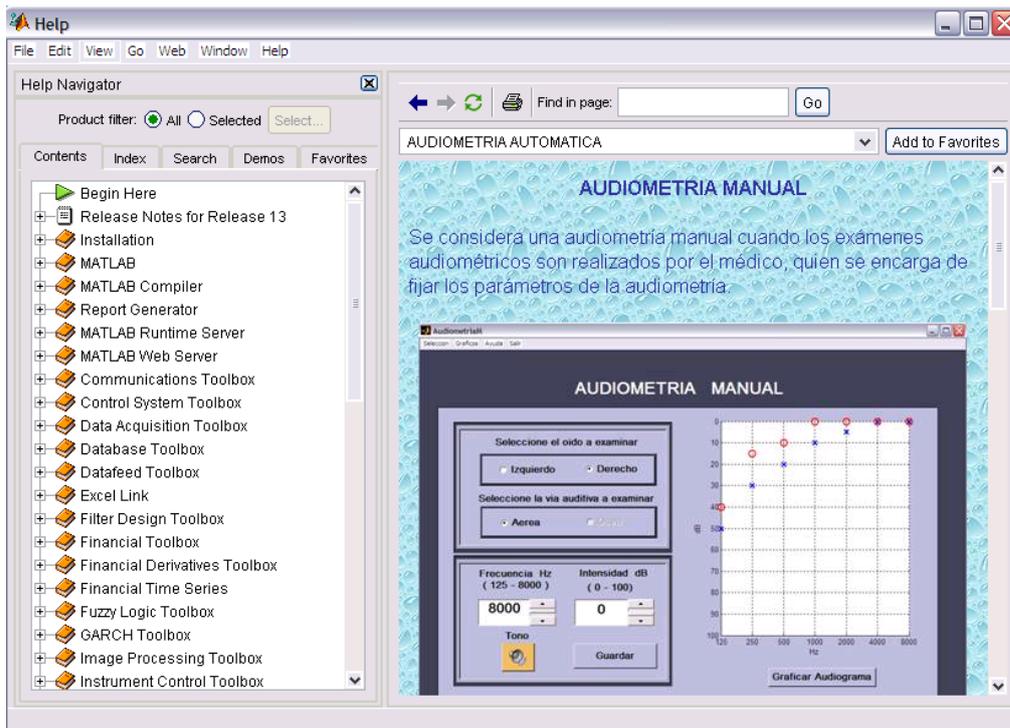
Aparecerá el cuadro de diálogo del Imprimir del Windows de su PC. (Configure de acuerdo a su impresora).



AYUDAS

Para acceder a la ayuda de cada una de las ventanas, en la barra de herramientas seleccione **Ayuda**. O haga click sobre el icono

Aparecerá la siguiente ventana:



PRECAUCIONES

Advertencia.- Utilícese únicamente intensidades de estímulo aceptables para el paciente.

- **Frecuencias e intensidades máximas**

Frecuencia Hz	Conducción Aérea dB	Conducción Ósea dB
125	90	
250	120	40
500	120	65
1000	120	70
2000	120	75
4000	120	60
8000	110	40

Advertencia.- El transductor (Auricular CD-9000) está calibrado de acuerdo a las condiciones del computador donde está instalado el instrumento virtual.

ANEXO C

PROGRAMACION

PROGRAMACION DE LAS VENTANAS

PROGRAMA VENTANA PRINCIPAL

function Principal_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

```
handles.output = hObject;  
guidata(hObject, handles);
```

*****PROGRAMA PARA CREAR BARRA DE HERRAMIENTAS*****

```
uipushtool('cdata',          iconos('open'),...  
          'tooltipstring',  'abrir',...  
          'tag',            'abrirp',...  
          'ClickedCallback', @abrirp1)
```

```
uipushtool('cdata',          iconos('help'),...  
          'tooltipstring',  'ayuda',...  
          'separator',     'on',...  
          'tag',            'ayudap',...  
          'ClickedCallback', @ayudap1)
```

```
handles=guihandles(hObject)
```

*****PROGRAMA PARA CENTRAR LA VENTANA*****

```
FigPos=get(0,'DefaultFigurePosition');  
OldUnits = get(hObject, 'Units');  
set(hObject, 'Units', 'pixels');  
OldPos = get(hObject,'Position');  
FigWidth = OldPos(3);  
FigHeight = OldPos(4);  
if isempty(gcf)  
    ScreenUnits=get(0,'Units');  
    set(0,'Units','pixels');  
    ScreenSize=get(0,'ScreenSize');  
    set(0,'Units',ScreenUnits);  
    FigPos(1)=1/2*(ScreenSize(3)-FigWidth);  
    FigPos(2)=2/3*(ScreenSize(4)-FigHeight);  
else  
    GCBFOldUnits = get(gcf,'Units');  
    set(gcf,'Units','pixels');  
    GCBFPos = get(gcf,'Position');  
    set(gcf,'Units',GCBFOldUnits);  
    FigPos(1:2) = [(GCBFPos(1) + GCBFPos(3) / 2) - FigWidth / 2, ...  
                  (GCBFPos(2) + GCBFPos(4) / 2) - FigHeight / 2];  
end  
FigPos(3:4)=[FigWidth FigHeight];  
set(hObject, 'Position', FigPos);  
set(hObject, 'Units', OldUnits);
```

function ejecutar1_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****SELECCION TIPO DE AUDIOMETRIA*****

```
A=get(handles.menu1,'value');
if A==1
    AudiometriaM
else
    AudiometriaA
end
```

*****GUARDA EN UN ARCHIVO 'DATOS' EL NOMBRE,EDAD,FECHA *****

```
nombre=get(handles.nombre,'String');
fecha=get(handles.fecha,'String');
edad=get(handles.edad,'String');
```

```
save datos nombre fecha edad
```

function abrir1_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****PROGRAMA PARA ABRIR ARCHIVOS*****

```
[fname pname]=uigetfile({'*.aer','Audiogramas (*.aer)';*.ose','Audiogramas (*.ose)'},...
    'Abrir archivo');
```

```
if fname==0
    return
end
```

```
cd(pname)
s=load(fname,'-mat');
tipo=fname(strfind(fname, '.'):end);
```

```
if strcmp(tipo, '.aer')
    set(handles.nombre,'String',s.nombre)
    set(handles.edad,'String',s.edad)
    set(handles.fecha,'String',s.fecha)
```

```
nombre=s.nombre;
edad=s.edad;
fecha=s.fecha;
save ('datos', 'nombre', 'edad', 'fecha')
```

```
valoresd=s.valoresd2;
valoresi=s.valoresi2;
save ('valoresia', 'valoresi')
save ('valoresda', 'valoresd')
```

```
AudiogramaAerea
```

```
else
```

```
set(handles.nombre,'String',s.nombre)
set(handles.edad,'String',s.edad)
set(handles.fecha,'String',s.fecha)
```

```
nombre=s.nombre;
edad=s.edad;
fecha=s.fecha;
save('datos','nombre','edad','fecha')
```

```
valoresd=s.valoresd2;
valoresi=s.valoresi2;
```

```
save('valoresio','valoresi')
save('valoresdo','valoresd')
```

```
    AudiogramaOsea
end
```

```
function salir1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
close(handles.figure1)
```

```
function ayuda1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
web 'C:\Documents and Settings\Poli\Mis documentos\ayudas\principal.htm'
```

```
function figure1_CloseRequestFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
delete(hObject);
quit
```

```
*****FUNCIONES PARA PROGRAMAR BARRA DE HERRAMIENTAS*****
```

```
function ayudap1(obj, eventdata)
```

```
handles=guihandles(gcf);
ayuda1_Callback([],[], handles)
```

```
function abrirp1(obj, eventdata)
```

```
handles=guihandles(gcf);
abrir1_Callback([],[], handles)
```

```
PROGRAMA VENTANA AUDIOMETRIA MANUAL
```

```
function AudiometriaM_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
```

```
*****INVISIBLES RANGOS AL ABRIR ESTA VENTANA*****
```

```
set ([handles.intensidad,handles.intensidado,...
     handles.frecuencia,handles.frecuenciao], 'visible', 'off')
```

```
*****DESHABILITA PARTE INFERIOR DE ESTA VENTANA*****
```

```
set([handles.frecuenciam,handles.sfrecuenciam,handles.fre,...
    handles.intensidadm,handles.sintensidadm,handles.int,...
    handles.tono,handles.guardarm,handles.audiogramam], 'enable', 'off')
```

*****PROGRAMA PARA CREAR UNA SALIDA ANALOGICA*****

```
global valoresi
global valoresd
global AO
```

```
AO=analogoutput('winsound');
addchannel(AO,[1 2])
AO.samplerate=22050;
valoresd=[];
valoresi=[];
```

```
AO.stopFcn=@detener
AO.Userdata=handles;
```

function izquierdom_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****SELECCIONA OIDO IZQUIERDO*****

```
set(handles.izquierdom, 'value', 1)
set(handles.derechom, 'value', 0)
```

function derechom_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****SELECCIONA OIDO DERECHO*****

```
set(handles.derechom, 'value', 1)
set(handles.izquierdom, 'value', 0)
```

function aeream_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****SELECCIONA VIA AEREA*****

```
set(handles.aeream, 'value', 1)
set(handles.oseam, 'value', 0)
```

*****DESHABILITA VIA OSEA*****

```
x= get(handles.aeream, 'value');
if x==1
    set(handles.oseam, 'enable', 'off')
end
```

*****VISIBLES LOS RANGOS DE FRECUENCIA E INTENSIDAD VIA AEREA*****

```
set(handles.frecuencia, 'visible', 'on')
set(handles.frecuenciao, 'visible', 'off')
set(handles.intensidad, 'visible', 'on')
set(handles.intensidado, 'visible', 'off')
```

*****VALOR DE INICIO DE AUDIOMETRIA*****

```
set(handles.frecuenciam,'String','125')
set(handles.sfrecuenciam,'Value',125)
```

*****HABILITA PARTE INFERIOR DE ESTA VENTANA*****

```
set([handles.frecuenciam,handles.sfrecuenciam,handles.fre,...
handles.intensidadm,handles.sintensidadm,handles.int,...
handles.tono,handles.guardarm,handles.audiogramam, handles.tonom], 'enable','on')
```

function oseam_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****SELECCIONA VIA OSEA*****

```
set(handles.oseam,'value',1)
set(handles.aeream,'value',0)
```

*****DESHABILITA VIA AEREA*****

```
y= get(handles.oseam,'value');
if y==1
    set(handles.aeream,'enable','off')
end
```

*****VISIBLES RANGOS DE FRECUENCIA E INTENSIDAD VIA OSEA*****

```
set(handles.frecuencia,'visible','off')
set(handles.intensidad,'visible','off')
set(handles.frecuenciao,'visible','on')
set(handles.intensidado,'visible','on')
```

*****VALOR DE INICIO DE AUDIOMETRIA*****

```
set(handles.frecuenciam,'String','1000')
set(handles.sfrecuenciam,'Value',1000)
```

*****HABILITA PARTE INFERIOR DE ESTA VENTANA*****

```
set([handles.frecuenciam,handles.sfrecuenciam,handles.fre,...
handles.intensidadm,handles.sintensidadm,handles.int,...
handles.tono,handles.guardarm,handles.audiogramam, handles.tonom], 'enable','on')
```

*****MENSAJE PARA INSERTAR AURICULARES VIA OSEA*****

```
O=get(handles.oseam,'value')
if O==1
    warndlg('INSERTE LOS AURICULARES PARA LA VIA OSEA','PRECAUSION','modal')
end
```

function guardarm_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****MENSAJE DE ERROR CUANDO EL DATO NO ES NUMERICO*****

```
fm=str2num(get(handles.frecuenciam,'string'));
im=str2num(get(handles.intensidadm,'string'));
if isempty (fm) | isempty (im)
    errordlg ('VALOR NO VALIDO','ERROR','modal')
    return
end
```

*****GUARDA LOS DATOS DE FRECUENCIA E INTENSIDAD*****

```
global valoresi
global valoresd
```

```
F=get(handles.sfrecuenciam,'value');
I=get(handles.sintensidadm,'value');
H=get(handles.izquierdom,'value')
J=get(handles.derechom,'value')
```

```
axes(handles.auxiliarm)
set(handles.auxiliarm,'ydir','reverse','xtick',[125 500 2000 4000 8000],'xscale','log')
```

```
O=get(handles.oseam,'value')
A=get(handles.aaream,'value')
```

```
if A==1
    if H==1
        valoresi=[valoresi;F I]
        axis([125 8000 0 100])
        plot(F,I,'b','marker','x','markersize',10)
    end
    if J==1
        valoresd=[valoresd;F I]
        axis([125 8000 0 100])
        plot(F,I,'r','marker','o','markersize',10)
    end
end
```

```
if O==1
    if H==1
        valoresi=[valoresi;F I]
        axis([125 8000 0 100])
        plot(F,I,'b','marker','>','markersize',10)
    end
    if J==1
        valoresd=[valoresd;F I]
        axis([125 8000 0 100])
        plot(F,I,'r','marker','<','markersize',10)
    end
end
```

function audiogramam_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****GRAFICA LOS AUDIOGRAMAS*****

```
global valoresi
```

global valoresd

```
H1=get(handles.aaream,'value')
J1=get(handles.oseam,'value')
```

```
if isempty(valoresi) | isempty(valoresd)
    return
end
```

```
if H1==1 & J1==0
```

```
    via='aerea';
```

```
    save valoresia valoresi
```

```
    save valoresda valoresd
```

```
    AudiogramaAerea(handles)
```

```
    valoresi=[];
```

```
    valoresd=[];
```

Llama al Opening_Fcn AudiogramaAerea
Encera las variables despues de un audiograma

```
elseif J1==1 & H1==0
```

```
    via='osea';
```

```
    save valoresio valoresi
```

```
    save valoresdo valoresd
```

```
    AudiogramaOsea(handles)
```

```
    valoresi=[];
```

```
    valoresd=[];
```

Llama al Opening_Fcn AudiogramaOsea
Encera las variables despues de un audiograma

```
end
```

function frecuenciam_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****MENSAJE DE ERROR AL INGRESAR UN DATO FUERA DE RANGO*****

```
A=get(handles.aaream,'value')
```

```
O=get(handles.oseam,'value')
```

```
if A==1 & O==0
```

```
    F=str2num(get(hObject,'string'))
```

```
    if F<125
```

```
        set(handles.frecuenciam,'string','125')
```

```
    elseif F>8000
```

```
        set(handles.frecuenciam,'string','8000')
```

```
    end
```

```
elseif A==0 & O==1
```

```
    F=str2num(get(hObject,'string'))
```

```
    if F<1000
```

```
        set(handles.frecuenciam,'string','1000')
```

```
    elseif F>6000
```

```
        set(handles.frecuenciam,'string','6000')
```

```
    end
```

```
end
```

```
F=str2num(get(hObject,'string'))
```

```
set(handles.sfrecuenciam,'value',F)
```

function sintensidadm_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****RELACIONA EL SLIDER CON EL STRING*****

```
V=num2str(get(hObject,'Value'));
set(handles.intensidadm,'String',V)
```

*****MENSAJE DE ERROR CUANDO EL DATO NO ES NUMERICO*****

```
fm=str2num(get(handles.frecuenciam,'string'));
im=str2num(get(handles.intensidadm,'string'));
if isempty (fm) | isempty (im)
    errordlg ('VALOR NO VALIDO','ERROR','modal')
    return
end
```

*****PROGRAMA PARA GENERAR TONOS*****

```
global AO
```

```
C=get(handles.tonom,'value');
```

```
if C==1
    f=str2num(get(handles.frecuenciam,'string'));
    D=str2num(get(handles.intensidadm,'string'));
    t=0:22050*0.5;
    V=10^(D/40 - 3)
    y=V*sin(2*pi*f*t/22050);
    Z=zeros(size(t));
```

```
I=get(handles.izquierdom,'value')
F=get(handles.derechom,'value')
```

```
if I==1 & F==0
    putdata(AO,[y' Z]);
    start(AO)
elseif I==0 & F==1
    putdata(AO,[Z y]);
    start(AO)
end
else
    stop(AO)
end
```

function salir2_Callback(hObject, eventdata, handles)

```
close(handles.figure1)
```

function izquierdo2_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****SELECCIONA OIDO IZQUIERDO*****

```
set(handles.izquierdom,'value',1)
set(handles.derechom,'value',0)
```

function derecho2_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****SELECCIONA OIDO DERECHO*****

```
set(handles.derechom,'value',1)
set(handles.izquierdom,'value',0)
```

function aerea2_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****SELECCIONA VIA AEREA*****

```
set(handles.aeream,'value',1)
set(handles.oseam,'value',0)
```

function osea2_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****SELECCIONA VIA OSEA*****

```
set(handles.oseam,'value',1)
set(handles.aeream,'value',0)
```

function sfrecuenciam_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****RELACIONA EL SLIDER CON EL STRING*****

```
V=num2str(round(get(hObject,'Value')));
set(handles.frecuenciam,'String',V)
```

*****CAMBIA EL ESTADO DEL BOTON DETENER*****

```
function detener(hObject, eventdata)
handles=hObject.Userdata
set(handles.tonom,'value',0)
```

PROGRAMA VENTANA AUDIOMETRIA AUTOMATICA

function AudiometriaA_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

```
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
```

*****VALORES INICIALES PARA LA AUDIOMETRIA AUTOMATICA*****

```
set(handles.izquierdoa,'value',1)
set(handles.aereaa,'value',1)
set(handles.derechoa,'value',0)
set(handles.oseaa,'value',0)
```

*****APARECEN LOS RANGOS DE FRECUENCIA E INTENSIDAD AL ABRIR LA VENTANA*****

```
set(handles.frecuencia,'visible','on')
set(handles.intensidad,'visible','on')
```

```
set(handles.frecuenciao,'visible','off')
set(handles.intensidado,'visible','off')
```

```
*****PROGRAMA QUE CREA UNA SALIDA ANALOGICA*****
```

```
global valoresi
global valoresd
```

```
global AO
```

```
AO=analogoutput('winsound');
addchannel(AO,[1 2])
AO.samplerate=22050;
valoresd=[];
valoresi=[];
```

```
*****VARIABLES DEL SISTEMA*****
```

```
global DETENER
global T
global INTENSIDAD
global FRECUENCIA
global PAUSA
global G
```

```
DETENER=1;
T=timer('TimerFcn',@tiempo,'ExecutionMode',...
'FixedRate','Period',0.5,'UserData',handles);
```

```
INTENSIDAD=1;
FRECUENCIA=1;
PAUSA=0;
G=0;
```

```
function audiogramaau_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
*****GRAFICA LOS AUDIOGRAMAS*****
```

```
global valoresi
global valoresd
```

```
H1=get(handles.aareaa,'value')
J1=get(handles.oseaa,'value')
```

```
if isempty(valoresi) | isempty(valoresd)
    return
end
```

```
if H1==1 & J1==0
    via='aerea';
    save valoresia valoresi
    save valoresda valoresd
```

```
AudiogramaAerea(handles)
valoresi=[];
```

```

valoresd=[];

elseif J1==1 & H1==0
    via='osea';
    save valoresio valoresi
    save valoresdo valoresd

    AudiogramaOsea(handles)
    valoresi=[];
    valoresd=[];
end

```

function frecuenciaa_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****RELACION ENTRE EL SLIDER Y EL VALOR*****

```

F=str2num(get(hObject,'string'))
set(handles.sfrecuenciaa,'value',F)

```

function intensidad_a_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****RELACION ENTRE EL SLIDER Y EL VALOR*****

```

G=str2num(get(hObject,'string'))
set(handles.sintensidada,'value',G)

```

function sintensidada_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****RELACION ENTRE EL SLIDER Y EL VALOR*****

```

V=num2str(get(hObject,'Value'));
set(handles.intensidada,'String',V)

```

function tonoa_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

global AO
global T
global INTENSIDAD
global FRECUENCIA
global ID
global PAUSA
global Aerea_Osea

global DETENER
DETENER=0;
if get(handles.tonoa,'Value')
    start(T)
    set(0,'PointerLocation',[370 220])

    INTENSIDAD=1;
    FRECUENCIA=1;
    ID=1;
    Aerea_Osea=1;

```

```

    PAUSA=0;

else
    stop(AO)
    stop(T)
    delete(T)
end

function audiogramaa_Callback(hObject, eventdata, handles)

global valoresi
global valoresd

H1=get(handles.aareaa,'value')
J1=get(handles.oseaa,'value')

if isempty(valoresi) | isempty(valoresd)
    return
end

if H1==1 & J1==0
    via='aerea';
    save valoresia valoresi
    save valoresda valoresd

    AudiogramaAerea(handles)
    valoresi=[];
    valoresd=[];
end

function audiogramao_Callback(hObject, eventdata, handles)

global valoresi
global valoresd

H1=get(handles.aareaa,'value')
J1=get(handles.oseaa,'value')

if isempty(valoresi) | isempty(valoresd)
    return
end

if J1==1 & H1==0
    via='osea';
    save valoresio valoresi
    save valoresdo valoresd

    AudiogramaOsea(handles)
    valoresi=[];
    valoresd=[];
end

function sfrecuenciaa_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```
V=num2str(round(get(hObject,'Value')));  
set(handles.frecuenciaa,'String',V)
```

```
function guardar_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
global AO  
global PAUSA  
global INTENSIDAD  
global FRECUENCIA  
global T  
global valoresi  
global valoresd  
global ID  
global Aerea_Osea  
global G
```

```
INTENSIDAD=1;  
FRECUENCIA=FRECUENCIA+1;
```

```
stop(AO)  
PAUSA=4;
```

```
axes(handles.auxiliara)  
set(handles.auxiliara,'ydir','reverse','xtick',[125 250 500 1000 2000 4000 8000],'xscale','log')
```

```
F=get(handles.sfrecuenciaa,'value')  
I=get(handles.sintensidada,'value')  
H=get(handles.izquierdoa,'value')  
J=get(handles.derechoa,'value')  
O=get(handles.oseaa,'value')  
A=get(handles.aereaa,'value')
```

```
if A==1  
    if H==1  
        valoresi=[valoresi;F I]  
        axis([125 8000 0 100])  
        hold on  
        plot(F,I,'b','marker','x','markersize',10,'LineWidth',2)  
        xlabel('Hz');  
        ylabel('dB');
```

```
    end
```

```
    if J==1  
        valoresd=[valoresd;F I]  
        axis([125 8000 0 100])  
        hold on  
        plot(F, I,'r','marker','o','markersize',10,'LineWidth',2)  
        xlabel('Hz');  
        ylabel('dB');
```

```
    end
```

```
end
```

```
if O==1
```

```

if H==1
    valoresi=[valoresi;F I]
    axis([125 8000 0 100])
    hold on
    plot(F ,I,'b','marker','>','markersize',10,'LineWidth',2)
    xlabel('Hz');
    ylabel('dB');

end

if J==1
    valoresd=[valoresd;F I]
    axis([125 8000 0 100])
    hold on
    plot(F, I,'r','marker','<','markersize',10,'LineWidth',2)
    xlabel('Hz');
    ylabel('dB');

end

end

grid on

if Aerea_Osea==1
    if FRECUENCIA==8 & ID==1
        ID=0;
        INTENSIDAD=1;
        FRECUENCIA=1;
        set(handles.derechoa,'Value',1)
        set(handles.izquierdoa,'Value',0)
    elseif FRECUENCIA==8 & ID==0
        set(handles.tonoa,'Value',0)
        stop(AO)
        stop(T)

audiograma
audiogramaau_Callback(hObject, eventdata, handles)
button = questdlg('DESEA EXAMINAR LA VIA OSEA?','MENSAJE','Si','No','No');

if strcmp(button,'Si')

    auriculares
    Aerea_Osea=0;
    ID=1;
    start(T)
    set(handles.tonoa,'Value',1)
    set(handles.derechoa,'Value',0)
    set(handles.izquierdoa,'Value',1)
    set(handles.oseaa,'Value',1)
    set(handles.aereaa,'Value',0)

    O=get(handles.oseaa,'value')
    if O==1
        set(handles.frecuencia,'visible','off')
        set(handles.intensidad,'visible','off')

```

```

        set(handles.frecuenciaio,'visible','on')
        set(handles.intensidado,'visible','on')
    end

    INTENSIDAD=1;
    FRECUENCIA=1;
    axes(handles.auxiliara)
    cla

end

end

else

    if FRECUENCIA==5 & ID==1
        ID=0;
        INTENSIDAD=1;
        FRECUENCIA=1;
        set(handles.derechoa,'Value',1)
        set(handles.izquierdoa,'Value',0)
    elseif FRECUENCIA==5 & ID==0
        set(handles.tonoa,'Value',0)
        stop(AO)
        stop(T)
    end

end

*****CAMBIA EL ESTADO DEL BOTON DETENER*****
function detener(hObject, eventdata)
handles=hObject.Userdata
set(handles.tonoa,'value',0)

function tiempo(obj,eventdata)
handles=get(obj,'UserData');

global INTENSIDAD
global FRECUENCIA
global AO
global PAUSA
global ID
global Aerea_Osea

if Aerea_Osea==1
    via_aerea(handles,obj)
else
    via_osea(handles,obj)
end

function via_aerea(handles,obj)
global INTENSIDAD
global FRECUENCIA
global AO
global PAUSA

```

```

global ID
global G
I=0:10:100;
F=2.^(0:6)*125;

if PAUSA==0
    t=0:22050*0.5;
    V=10^(I(INTENSIDAD)/40 - 3);
    y=V*sin(2*pi*F(FRECUENCIA)*t/22050);
    Z=zeros(size(t));
    set(handles.frecuenciaa,'String',num2str(F(FRECUENCIA)))
    set(handles.intensidada,'String',num2str(I(INTENSIDAD)))
    set(handles.sfrecuenciaa,'value',(F(FRECUENCIA)))
    set(handles.sintensidada,'value',(I(INTENSIDAD)))

    if ID==1
        putdata(AO,[y' Z]);
        if INTENSIDAD==11;
            INTENSIDAD=1;
            FRECUENCIA=FRECUENCIA+1;
        else
            INTENSIDAD=INTENSIDAD+1;
        end

        if FRECUENCIA==8
            ID=0;
            INTENSIDAD=1;
            FRECUENCIA=1;
            set(handles.derechoa,'Value',1)
            set(handles.izquierdoa,'Value',0)
        end

    else

        putdata(AO,[Z y']);
        if INTENSIDAD==11;
            INTENSIDAD=1;
            FRECUENCIA=FRECUENCIA+1;
        else
            INTENSIDAD=INTENSIDAD+1;
        end

        if FRECUENCIA==8
            stop(obj)
            stop(AO)
            set(handles.tonoa,'Value',0)
            audiograma
            audiogramaau_Callback(hObject, eventdata, handles)
            button = questdlg('DESEA EXAMINAR LA VIA OSEA?','MENSAJE','Si','No','No');
            if strcmp(button,'Si')

                auriculares
                start(obj)
                set(handles.derechoa,'Value',0)
                set(handles.izquierdoa,'Value',1)
            end
        end
    end
end

```

```

set(handles.oseaa,'Value',1)
set(handles.aareaa,'Value',0)

O=get(handles.oseaa,'value')
if O==1
    set(handles.frecuencia,'visible','off')
    set(handles.intensidad,'visible','off')
    set(handles.frecuenciao,'visible','on')
    set(handles.intensidado,'visible','on')
end

ID=1;
INTENSIDAD=1;
FRECUENCIA=1;
axes(handles.auxiliara)
cla
end

end
end

if strcmp(AO,Running,'Off')
    start(AO)
end

else
    PAUSA=PAUSA-1;
end

function via_osea(handles,obj)
global INTENSIDAD
global FRECUENCIA
global AO
global PAUSA
global ID

I=0:10:70;
F=[1000 2000 4000 6000];

if PAUSA==0
    t=0:22050*0.5;
    V=10^(I(INTENSIDAD)/40 - 2.5);
    y=V*sin(2*pi*F(FRECUENCIA)*t/22050);
    Z=zeros(size(t));
    set(handles.frecuenciaa,'String',num2str(F(FRECUENCIA)))
    set(handles.intensidadada,'String',num2str(I(INTENSIDAD)))
    set(handles.sfrecuenciaa,'value',(F(FRECUENCIA)))
    set(handles.sintensidadada,'value',(I(INTENSIDAD)))

if ID==1
    putdata(AO,[y' Z]);
    if INTENSIDAD==8;
        INTENSIDAD=1;
        FRECUENCIA=FRECUENCIA+1;

```

```

else
    INTENSIDAD=INTENSIDAD+1;
end

if FRECUENCIA==5
    ID=0;
    INTENSIDAD=1;
    FRECUENCIA=1;
    set(handles.derechoa,'Value',1)
    set(handles.izquierdoa,'Value',0)
end

else

    putdata(AO,[Z y]);
    if INTENSIDAD==8;
        INTENSIDAD=1;
        FRECUENCIA=FRECUENCIA+1;
    else
        INTENSIDAD=INTENSIDAD+1;
    end

    if FRECUENCIA==5
        stop(obj)
        stop(AO)
        set(handles.tonoa,'Value',0)

    end
end

if strcmp(AO.Running,'Off')
    start(AO)
end

else
    PAUSA=PAUSA-1;
end

```

```

function restaurar_Callback(hObject, eventdata, handles)
inicio_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

function detenera_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

global AO
global T

```

```

stop(T)
stop(AO)
set(handles.tonoa,'Value',0)

```

PROGRAMA VENTANA AUDIOGRAMA AEREA/OSEA

```

function AudiogramaAerea_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

```

```

global handles2
try
    handles2=varargin{1}
end

load datos

set(handles.nombrea,'String',nombre)
set(handles.edada,'String',edad)
set(handles.fechaa,'String',fecha)

*****PERMITE GRAFICAR LOS DATOS*****
global valoresi2
global valoresd2

hold on
load valoresia
[frec I]=sort(valoresi(:,1));
izq=valoresi(:,2);

if ~isempty(valoresi)
    plot(frec,izq(I),'b','marker','x','markersize',10,'LineWidth',1)
    xlabel('Frecuencia Hz');
    ylabel('Intensidad dB');
end

load valoresda
[frec I]=sort(valoresd(:,1));
der=valoresd(:,2);

if ~isempty(valoresd)
    plot(frec,der(I),'r','marker','o','markersize',10,'LineWidth',1)
    xlabel('Frecuencia Hz');
    ylabel('Intensidad dB');
end

hold off
set(handles.audiogramava,'ydir','reverse','xtick',[125 250 500 1000 2000 4000
8000],'xscale','log')
axis([125 8000 0 100])

grid on

if(nargin > 3)
    for index = 1:2:(nargin-3),
        if nargin-3==index break, end
        switch lower(varargin{index})
            case 'title'
                set(hObject, 'Name', varargin{index+1});
            case 'string'
                set(handles.text1, 'String', varargin{index+1});
            end
        end
    end
end

```

end

uiwait(handles.figure1);

function abrir4_Callback(hObject, eventdata, handles)

*****ABRIR LOS ARCHIVOS CON EXTENSION*****

cla

global valoresi

global valoresd

[fname pname]=uigetfile({'*.aer','Audiogramas (*.aer)'},'Abrir archivo');

if fname==0

 return

end

cd(pname)

s=load(fname,'-mat');

set(handles.nombrea,'String',s.nombre)

set(handles.edada,'String',s.edad)

set(handles.fechaa,'String',s.fecha)

hold on

[frec I]=sort(s.valoresi2(:,1));

izq=s.valoresi2(:,2)

if ~isempty(s.valoresi2)

 plot(frec,izq(I),'r','marker','x','markersize',10,'LineWidth',1)

 xlabel('Frecuencia Hz');

 ylabel('Intensidad dB');

end

[frec I]=sort(s.valoresd2(:,1));

der=s.valoresd2(:,2)

if ~isempty(s.valoresd2)

 plot(frec,der(I),'b','marker','o','markersize',10,'LineWidth',1)

 xlabel('Frecuencia Hz');

 ylabel('Intensidad dB');

end

hold off

set(handles.audiogramava,'ydir','reverse','xtick',[125 250 500 1000 2000 4000

8000],'xscale','log')

axis([125 8000 0 100])

grid on

ANEXO D

EVALUACION AUDITIVA

EVALUACION AUDITIVA CONFIDENCIAL

DATOS DEL PACIENTE

Apellidos: _____

Nombres: _____

Estado civil: _____

Edad: _____ Fecha de nacimiento: _____

Ocupación: _____ ¿Trabaja en un lugar ruidoso? _____

¿Usa alguna protección? _____

EVALUACIÓN MÉDICA

	Sí	No
Cirugía de oído	_____	_____
Acúfeno	_____	_____
Deformidad del oído	_____	_____
Abundante cerumen	_____	_____
Supuración	_____	_____
Mareos frecuentes	_____	_____
Dolor en el oído	_____	_____
Antecedentes Familiares	_____	_____
Otros: _____		

HISTORIAL DE AMPLIFICACIÓN

¿Ha usado o usa usted audífono? _____

¿En que oído usa? _____

Tiempo de uso: _____

EVALUACIÓN DEL PROBLEMAS EN LA COMUNICACIÓN

¿Hace que tiempo no oye bien?_____

¿Con cual oído oye mejor?_____

ANEXO E

EFECTO AURAL

ANALISIS DEL EFECTO AURAL

Bandas	Fi (Hz)	li (dB)		Fd (Hz)	Id(dB)	
1 - 2	90	40		150	40	
		60			10	
		15			30	
3 - 4	200	10		400	10	
		50			10	
		10			50	
3 - 5	200	15		500	15	
		50			30	
		30			50	
4 - 5	350	15		500	15	
		15			50	
		55			15	
7 - 9	700	5		1000	5	
		40			5	
		5			15	
10 - 14	1000	0		2200	0	
		15			0	
		0			15	
6 - 11	600	5		1300	5	
		5			10	
		55			5	
3 - 9	250	5		1000	5	
		65			5	
		5			10	