

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ENSENADA



Maestría en Ingeniería

“AUDIOMETRO VIRTUAL”

Tesis que como requisito parcial para obtener el grado de
Maestría en Ingeniería presenta:

Luz Evelia López Chico

DIRIGIDA POR

Dr. José de Jesús Zamarripa Topete

Ensenada, B. C. Octubre de 2004.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA ENSENADA**



Maestría en Ingeniería

"AUDIOMETRO VIRTUAL"

Tesis que como requisito parcial para obtener el grado de
Maestría en Ingeniería presenta:

Luz Evelia López Chico

Aprobada por:

Dr. José de Jesús Zamarripa Topete
Director de tesis

M.C. Humberto Cervantes De Ávila
Sinodal

M.C. Carlos Gómez Agis
Sinodal

Ensenada, B. C. Octubre de 2004.

AGRADECIMIENTOS.

A la energía vital del Universo.
Sin ella, la vida sería impredecible.

A mi familia, por acompañarme en mi camino.
Sin ustedes, el recorrido no sería tan interesante.

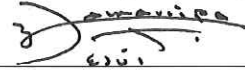
A la Universidad Autónoma de Baja California, Alma Mater.
Sin sus retos, mi desarrollo profesional sería del siglo pasado.

A mis sinodales, por su dirección y apoyo en el cumplimiento de la meta.
Solo me resta agradecerles por compartir sus conocimientos y sabiduría; gracias!

A mis amigos, Víctor, Haydeé, Estela, Pedro, Becky, Tony, Lulú, Cecy, Sonia, Lulú, Luisa.
Sin ustedes, amistad sería solo una palabra más; gracias por su fé en mis superpoderes.

Resumen de la Tesis:
AUDIOMETRO VIRTUAL.

Resumen aprobado por:



Dr. José de Jesús Zamarripa Topete
Director de Tesis

El oído es un órgano sensible que a intensidades altas o por descuidos al no atender de manera correcta los problemas que presente, se daña de manera irrevocable, por lo que las medidas preventivas que se tomen para cuidar la salud del mismo son de suma importancia para mantenerlo en estado óptimo.

La audiometría tonal, por vía aérea, es un procedimiento común e indoloro que se utiliza para detectar posibles problemas en la audición; consiste en la aplicación de series de frecuencias pre-establecidas en un rango de 125 a 8000 Hertz, con una intensidad de -10 a 120 decibeles.

El instrumento de medición utilizado es el audiómetro, que necesita de unos audífonos y un selector de señales; las especificaciones de los audiómetros se encuentran descritas en el estándar ANSI S3.6-1996. También ahí se encuentra especificado el formato para registrar una audiometría tonal; el audiograma debe indicar en el eje horizontal el rango de frecuencias en Hertz y en el eje vertical el rango de intensidad en decibeles, los símbolos "O" roja para el oído derecho y "X" azul para el izquierdo, se anotan en el gráfico para indicar el nivel de pérdida auditiva de cada oído.

Las tarjetas de audio son interfaces conectadas en las computadoras personales encargadas de reproducir sonidos de acuerdo a lo requerido, siempre y cuando no exceda su capacidad. Los requerimientos de reproducción se pueden realizar a través de programas de computadora desarrollados a partir del análisis de necesidades y diseño del mismo, tomando en cuenta las exigencias de almacenar y organizar información en bases de datos.

TABLA DE CONTENIDO.

CAPÍTULO I.	1
INTRODUCCIÓN.	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
1.2 HIPOTESIS.	3
1.3 OBJETIVO.	3
1.4 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.	3
1.5 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.	4
CAPÍTULO II.	5
REVISIÓN DE LA LITERATURA.	5
2.1 EL OÍDO.	5
2.1.1 FUNDAMENTOS ANATÓMICOS.	5
2.1.2 FISIOLÓGÍA Y FISIOPATOLOGÍA DE LA AUDICIÓN Y DEL SENTIDO DEL EQUILIBRIO.	9
2.1.2.1 DISTRIBUCIÓN DEL ESTÍMULO.	11
2.1.2.2 TRANSFORMACIÓN DEL ESTÍMULO.	12
2.1.2.3 FISIOLÓGÍA DEL EQUILIBRIO.	13
2.1.2.4 FUNCIONES FUNDAMENTALES DEL SISTEMA VESTIBULAR.	13
2.2 LA AUDIOMETRÍA TONAL.	14
2.2.1 PROCEDIMIENTO DE LA AUDIOMETRÍA TONAL.	15
2.2.2 SONIDO.	17
2.2.2.1 TONO PURO.	17
2.2.2.2 SONIDO REAL.	18
2.2.2.3 SONORIDAD, AUDIBILIDAD Y RUIDOSIDAD.	18
2.3 LAS ESPECIFICACIONES PARA AUDIÓMETROS.	20
2.3.1 ESPECIFICACIONES PARA AUDÍFONOS.	22
2.3.2 FORMATO DEL AUDIOGRAMA.	23
2.4 EL AUDIO DIGITAL.	26
2.4.1 FUNCIONAMIENTO DE LA TARJETA DE AUDIO.	26
2.4.2 FUNCIONAMIENTO DEL AUDIO 3D.	27
2.5 DESARROLLO DE SOFTWARE.	29
2.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS BASES DE DATOS.	31

CAPÍTULO III.	32
METODOLOGÍA.	32
3.1 SUJETOS.	32
3.1.1 COMPUTADORA (PERSONAL).	32
3.1.1.1 REQUERIMIENTOS DE EQUIPO DE CÓMPUTO.	35
3.1.2 AUDÍFONOS.	35
3.1.3 IMPRESORA.	36
3.2 MATERIAL.	38
3.2.1 HOJA DE REGISTRO DE PRUEBA AUDIOMÉTRICA.	38
3.2.2 ARCHIVO ELECTRÓNICO.	42
3.3 PROCESOS.	42
3.3.1 AUDIOMETRÍA TONAL.	43
3.4 PROGRAMACIÓN.	48
3.4.1 PROGRAMA QUE REALIZA LA AUDIOMETRÍA TONAL.	48
3.5 PROCEDIMIENTO.	51
CAPÍTULO IV.	53
RESULTADOS.	53
4.1. MÍNIMO DE ELEMENTOS REQUERIDOS PARA EL AUDIOMETRO.	53
4.2. FRECUENCIAS Y NIVELES DE AUDICION.	54
CAPÍTULO V.	56
CONCLUSIONES.	56
BIBLIOGRAFÍA.	57
APENDICE I	59
APENDICE II	64

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1.	Sección oblicua del oído externo, oído medio, trompa de Eustaquio y laberinto óseo.	5
Figura 2.	Esquema de un audiograma.	25
Figura 3.	Monigote de Fowler.	25
Figura 4.	Esquema jerárquico de la computadora.	33
Figura 5.	Formato de Audiograma.	39
Figura 6.	Imagen de la pantalla inicial.	43
Figura 7.	Imagen de la guía de funcionamiento.	44
Figura 8.	Ventana de captura de datos.	45
Figura 9.	Listado de verificación antes de la aplicación de la audiometría.	45
Figura 10.	Inicio de audiometría.	46
Figura 11.	Captura de respuestas a la audiometría.	47
Figura 12.	Ventana que muestra las opciones de reporte.	47
Figura 13.	Diagrama a bloques del software de audiometría tonal.	50
Figura 14.	Distorsión presente en las señales generadas.	55

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1.	Especificaciones mínimas de los audiómetros	52
----------	---	----

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN.

El oído es el órgano por excelencia que, a través de la percepción a distancia, pone al ser humano en contacto con sus semejantes y con la naturaleza.

Por consecuencia es de vital importancia conservar este sentido en óptimas condiciones; la rama de la medicina encargada de esto es la audiología, para establecer el estado de audición se realiza una audiometría, la cual consiste en realizar una serie de pruebas audiológicas, que permiten determinar el umbral mínimo de audición, establecer un topodiagnóstico, encontrar los oídos lábiles a la fatiga acústica, medir los acúfenos, descubrir simuladores y disimuladores, determinar en medicina laboral el grado de invalidez auditiva, explorar los restos auditivos, hallar la posible operabilidad, dirigir la prescripción de prótesis.

La prueba audiológica o audiometría más utilizada en medicina y salud laboral, es la audiometría tonal que utiliza un audiómetro para generar tonos puros en un rango de frecuencias que va desde los 250 a los 8,000 Hertz con una intensidad de estímulo desde -10 a 110 decibeles.

La creación del audiómetro se remonta a principios de 1900, se pueden encontrar modelos pre-eléctricos creados en 1910, los primeros eléctricos aparecen a partir de 1923 y los semi-automatizados de 1960 en adelante, hasta llegar a los tiempos actuales y encontrar modelos que utilizan un microprocesador para controlar sus funciones.

El resultado de la prueba se ve reflejado en un audiograma, que es una gráfica que muestra cuanto es capaz de oír el paciente en unas unidades llamadas decibelios (dB) a diferentes tonos o frecuencias que son medidos en Hertz (Hz).

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Actualmente en el país no existe compañía alguna que se dedique al desarrollo de audiómetros, por lo tanto los utilizados en el campo de la audiología son de procedencia extranjera; algunas de las desventajas características que estos equipos presentan son: no están automatizados en su totalidad, es decir se requiere de un mínimo de dos personas para realizar la prueba, el técnico y el paciente; no generan un reporte de la prueba, y si lo hacen no tienen una gran capacidad de almacenamiento, llegando a guardar en promedio un máximo de 10 resultados.

Las anteriores observaciones van en contra de las expectativas de los profesionales del área de medicina y salud laboral, ya que lo ideal sería que el paciente solo o con asistencia mínima pudiera responder a los requerimientos de la prueba y obtener el resultado ya sea en un documento impreso o en un archivo que el personal pertinente analizaría; otro punto importante es el volumen de información almacenada.

Al analizar el funcionamiento de los equipos de cómputo cumple con los requerimientos fundamentales como son el de automatizar el proceso haciendo que el paciente, siguiendo instrucciones sencillas y claras, responda a los requerimientos de la audiometría tonal pura; además es capaz de generar reportes con los resultados en formato impreso o electrónico; y en cuanto a la capacidad de almacenamiento, difícilmente se tienen restricciones.

El trabajo simulará en una computadora las funciones realizadas por un audiómetro, determinando si un equipo de cómputo es capaz de generar las señales de sonido puro requeridas en una audiometría tonal, utilizando sus elementos fundamentales y aquellos elementos periféricos que respondan a los requerimientos establecidos por el procedimiento de la prueba misma.

1.2 HIPOTESIS.

Una computadora personal con tarjeta de sonido y auriculares puede emular la operación de un audiómetro tonal y entregar resultados en un audiograma.

1.3 OBJETIVO.

Se diseñará e implementará un audiómetro tonal en una computadora personal que cumpla con el estándar ANSI S3.6-1996 y entregue el resultado de la audiometría en un audiograma.

1.4 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.

La realización del proyecto aportará una nueva opción en el área de audición y específicamente en medicina y salud laboral. Además, dados los niveles de contaminación por ruido en la industria obliga a tomar con mayor conciencia y responsabilidad las medidas de prevención necesarias para evitar daños al sistema auditivo, posibilitando dar un servicio en forma rápida y eficiente en el mismo lugar de trabajo, disminuyendo los tiempos de diagnóstico y atención.

Pudiendo implantar el sistema en cualquier área que lo requiriera, como por ejemplo escuelas o incluso proponer campañas de revisión del sistema auditivo, promoviendo la prevención y vigilancia del sistema auditivo.

Contribuirá también al desarrollo de la tecnología en el área de instrumentación del país, principalmente, respondiendo a las expectativas de la sociedad en cuanto a la respuesta que debe dar todo profesional formado en una Institución de Educación Superior, atendiendo a las áreas con mayor necesidad de innovación tecnológica.

En el país la instrumentación biomédica es escasa y más aún el desarrollo de la misma por medio de la computadora.

1.5 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

Las limitaciones que presenta el estudio son las siguientes:

- La generación de señales; se tendrá que establecer un procedimiento de verificación o calibración del sistema para asegurar que las señales de tonos puros cumplan con las características establecidas en el estándar ANSI S3.6-1996.
- Computadora personal con las siguientes características mínimas: Microprocesador Intel Pentium 166MHz o AMD 200MHz, 64MB de memoria RAM, disco duro de 8 GB, unidad de CD-ROM, tarjeta de sonido de 24 bits, e impresora.
- Sistema operativo Windows 95 o versiones mayores.
- Audífonos con las siguientes características de acuerdo al estándar ANSI S3.6-1996, debe de identificarse el audífono del lado derecho de color rojo y el izquierdo de color azul, además deben de cumplirse todos los requerimientos indicados en los estándares ANSI S3.7 y IEC 318.

CAPÍTULO II.

REVISIÓN DE LA LITERATURA.

En el presente capítulo se analizan los temas siguientes: (a) El oído, (b) La audiometría tonal, (c) Las especificaciones para audiómetros, (d) El audio digital, (e) Desarrollo de software.

2.1 EL OÍDO.

2.1.1 FUNDAMENTOS ANATÓMICOS.

Los sistemas de la audición y del equilibrio están formados por los órganos receptores periféricos, el oído en sentido estricto, así como por las vías nerviosas y los centros que forman parte del sistema nervioso central, como se presenta en la figura 1. De acuerdo con este planteamiento podemos estudiar dos partes fundamentales:

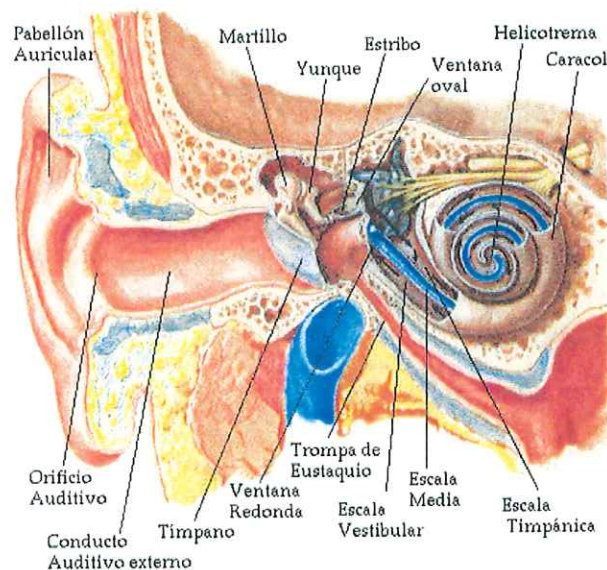


Figura 1. Sección oblicua del oído externo, oído medio, trompa de Eustaquio y laberinto óseo.

La parte periférica, la cual se encuentra compuesta por los oídos externo, medio e interno y el nervio vestibulococlear.

Y la parte central, conformada por la vía auditiva central, centros subcorticales y corticales de la audición central y el sistema vestibular central.

El oído externo es el pabellón que consta de un esqueleto cartilaginoso elástico revestido por piel y está situado entre la articulación de la mandíbula y la mastoides. El conducto auditivo externo, de unos 3 centímetros de longitud, consta de una parte externa conectiva y cartilaginosa, y de una porción interna algo más corta, provista de un esqueleto óseo. La parte cartilaginosa del conducto auditivo externo es sinuosa y presenta una inclinación respecto de la porción ósea; éste conducto se estrecha en forma de embudo hacia el interior, el cartílago del conducto no forma un tubo cerrado, si no que, por el contrario tiene forma de un canal abierto hacia arriba y cerrado por tejido conectivo. El pabellón y la porción cartilaginosa del conducto presentan una rica vascularización linfática cuyos colectores confluyen en una rica red de ganglios linfáticos (ganglios linfáticos parotídeos, retroauriculares, infraauriculares y cervicales profundos superiores).

Los espacios del oído medio, la tuba auditiva (trompa de Eustaquio), la caja de tímpano, el antro mastoideo y el sistema neumático del hueso temporal, forman un conjunto de sistemas huecos, rellenos de aire, el llamado sistema neumático, que se ventila a través de la trompa de Eustaquio. La trompa de Eustaquio consta de una porción cartilaginosa móvil, suspendida de la base del cráneo (dos tercios) y de una porción ósea (un tercio), que en el interior del peñasco forma, junto con el músculo tensor del tímpano, el llamado canal musculotubárico. La trompa sirve para mantener un equilibrio de presiones entre el oído medio y la epifaringe, de este modo equilibra también presiones a uno y otro lado de la membrana timpánica. Tanto la apertura como el cierre de la trompa suceden de manera pasiva, como consecuencia de la contracción de determinados músculos vecinos, así como

por la tendencia a la equilibración de diferencias de presión aérea entre la nasofaringe y la cavidad timpánica. La caja del tímpano, es un espacio hueco lleno de aire, situado entre el oído externo y el oído medio, se divide en tres compartimentos: receso epitimpánico (ático), mesotimpánico y receso hipotimpánico. El receso epitimpánico está ocupado por la cabeza del martillo, el cuerpo del yunque, numerosos ligamentos y nervios (cuerda del tímpano), repliegues y bolsas mucosas. La pared lateral de la caja del tímpano está formada por membrana timpánica. El tímpano consta macroscópicamente de una *pars tensa*, que constituye la porción rígida y vibrátil de la membrana. Esta porción está unida por medio de un anillo fibroso, el anulus fibrosus, al surco óseo timpanal de la porción timpánica del hueso temporal. Las celdillas de la mastoides comunican con la caja del tímpano y surgen alrededor del antro mastoideo como espacios aireados unidos entre sí constituyen el sistema neumático del hueso temporal.

El oído interno o laberinto, consta de dos aparatos receptores funcionalmente distintos: El vestíbulo y los conductos semicirculares (órganos periféricos vestibulares) y el caracol (órgano acústico o coclear).

Morfológicamente se puede distinguir un laberinto óseo y uno membranoso. El primero está constituido por la cápsula laberíntica. Las ventanas redonda y oval representan las comunicaciones del laberinto con la caja del tímpano, estando cerradas por hueso (platina de estribo) y por membranas (membrana de la ventana redonda). El laberinto membranoso se desarrolla a expensas de la vesícula auditiva ectodérmica y forma un espacio hueco, cerrado y relleno de endolinfa. Éste finaliza, a través del conducto endolinfático en un saco ciego, el saco endolinfático, en pleno espacio epidural en la cara posterior de la pirámide, cerca del seno sigmoide. Por el contrario, el sistema perilinfático representa una cavidad integrada por espacios intercelulares que se comunican entre sí y, a través del conducto perilinfático, con el espacio subaracnoideo, estableciendo una comunicación directa entre el laberinto membranoso y los espacios huecos rodeados por la cápsula laberíntica. Además el sistema linfático está en comunicación con las hendiduras o

intersticios linfáticos del mucoperiostio del oído medio, de manera que merced a un gradiente de presión hidrostática puede existir o producirse un intercambio de metabolitos y líquidos entre el oído medio y el oído interno. El acueducto de la cóclea (conducto perilinfático) y el acueducto del vestíbulo (conducto endolinfático) terminan en el foramen jugulare y en la fosa cerebral posterior.

Los órganos del equilibrio lo conforman el utrículo y el sáculo que contienen las máculas, en las cuales están ubicadas las células sensoriales encargadas de captar los estímulos representados por las aceleraciones lineales. Estas máculas están constituidas por células de sostén y células sensoriales ciliadas, cuyos cilios quedan englobados en el interior de una masa gelatinosa (sulfomucopolisacáridos). En su superficie se encuentran los otolitos (estatoconías), que están formados por cristales de carbonato cálcico de aspecto romboide. Las aceleraciones lineales que se producen en el eje vertical o cualquiera de los ejes horizontales conducen a variaciones en la presión de los otolitos y, de esta forma, a inclinaciones de los cilios de las células sensoriales, que representan el estímulo adecuado y desencadenan las reacciones sensoriales apropiadas (variación del potencial de reposo). Los conductos semicirculares nacen y mueren en el utrículo y presentan en uno de sus extremos una dilatación ampollar llamada pars ampullaris. En ésta se encuentran los elementos sensoriales, cuyo estímulo adecuado está representado por las aceleraciones angulares. En el interior de la ampolla se encuentran la cresta ampular, sobre la que se disponen células de sostén y células sensoriales ciliadas. Los cilios de las células sensoriales se encuentran en el interior de la cúpula que llega hasta el techo de la ampolla y la cierra herméticamente como si fuera un tabique movable (péndulo de torsión), impidiendo el paso de la endorfina de una a otra parte del conducto semicircular.

El caracol o cóclea forma dos vueltas y media de espira arrolladas alrededor de un eje óseo de forma cónica. Los espacios perilinfáticos del caracol, rampa timpánica y rampa vestibular, comunican entre sí en la punta del caracol, el helicotrema, así como con el espacio perilinfático del vestíbulo, donde se encuentran el utrículo y el sáculo.

En el órgano de Corti los cilios de las células sensoriales están en contacto permanente con la membrana tectoria y, cuando se producen oscilaciones de la membrana basilar, se originan entre ambas membranas fuerzas radiales que conducen a fuerzas de cizallamiento a nivel de los cilios de las células sensoriales, que de esta manera sufren una inclinación tangencial. Este cizallamiento de los cilios representa el estímulo sensorial adecuado de las células sensoriales, transformándose el estímulo mecánico en una excitación neuronal a nivel del receptor. Las células ciliadas internas están dispuestas en una sola hilera y cada una de sus células se asocia con una sola fibra nerviosa. Estas fibras aferentes, representan el 95% de todas las fibras en la *pars cochlearis* del nervio estatoacústico, en tanto que las células ciliadas externas, que forman entre tres y cinco hileras, están unidas en grupos de varias células con una sola fibra nerviosa aferente en el sentido de una conexión convergente, representan el 5% de todas las fibras del nervio auditivo. El espectro de frecuencias comprendido entre los 18 y 20,000Hz queda representado en las células sensoriales del órgano de Corti a lo largo de toda la membrana basilar, de forma que las frecuencias agudas se localizan en la espira basal de la cóclea, en tanto que los tonos graves se proyectan en la proximidad del helicotrema, a nivel de la espiral epical. Esta disposición constituye la base morfológica de la organización tonotópica de la cóclea, es decir, de la unión punto a punto entre receptores de la señal sonora y neuronas centrales.

2.1.2 FISIOLÓGÍA Y FISIOPATOLOGÍA DE LA AUDICIÓN Y DEL SENTIDO DEL EQUILIBRIO.

Fisiología de la audición: oído medio y oído interno:

- Oído externo y oído medio: órganos de conducción del estímulo.
- Cóclea: órgano de distribución del estímulo sonoro.

- Suma de receptores (células sensoriales): órganos de transformación del estímulo sonoro.

Conducción del estímulo:

- Conducto auditivo. Descenso del umbral de audición por efecto de resonancia entre 2,000 y 3,000 Hz. (porción del campo auditivo correspondiente a las frecuencias conversacionales)
- Tímpano. Receptor y transformador de la presión sonora.
- Cadena de huesecillos. Transformación de la presión sonora.
- Adaptación de impedancias entre oído medio (medio aéreo) y oído interno (medio líquido).
- Transformación de la presión sonora: aumento de la presión 1:17 (relación de superficies entre tímpano y platina del estribo) y 1:13 (relación de brazos de palanca en la articulación incudomaleolar). Aumento total de la presión en la platina del estribo con una relación 1:22.

Las vibraciones moleculares físicas que nosotros percibimos subjetivamente como sonido hacen que el tímpano entre en un movimiento con una frecuencia que coincide con la de las oscilaciones del aire y cuya amplitud es igualmente proporcional a la de aquéllas. La transmisión de las ondas sonoras desde el medio gaseoso que representa el aire el medio líquido de los espacios perilinfáticos y endolinfáticos exige, como consecuencia del aumento de la densidad, una potencia energética importante: *Adaptación de impedancias por medio de la transformación de la presión sonora (impedancia = resistencia acústica).*

2.1.2.1 DISTRIBUCIÓN DEL ESTÍMULO.

La función principal de la cóclea es el análisis mecánico de las frecuencias, posible gracias a la hidromecánica de la cóclea. Se trata de la transformación de las vibraciones periódicas (estribo) en vibraciones no periódicas (ondas migratorias de la membrana basilar). Como los líquidos laberínticos pueden considerarse incompresibles, los desplazamientos de volumen en la platina del estribo conducen a un desplazamiento de volumen semejante en la ventana redonda, es decir, la membrana de la ventana redonda se abomba hacia fuera en la misma medida en que la platina del estribo es introducida hacia adentro en el vestíbulo, y a la inversa. Los desplazamientos de volumen producidos por las vibraciones periódicas de la platina del estribo determinan una inclinación de la membrana de separación entre la rampa vestibular y la rampa timpánica. Como consecuencia de esta desviación inicial, surge un movimiento ondular que recorre este tubo de separación hasta el helicotrema (vibración aperiódica en el sentido de onda migratoria). La longitud de onda se hace cada vez más pequeña a medida que se aproxima al helicotrema; la amplitud es, por el contrario, cada vez mayor. Esta onda migratoria alcanza su máximo en un punto determinado e inmediatamente la amplitud cae a su valor 0; a partir de dicho punto desaparece cualquier movimiento ondular. La onda migratoria determina en el punto de su máxima amplitud un desplazamiento entre la membrana tectoria y la membrana basilar produciéndose en este punto una inflexión de los cilios de las células sensoriales por cizallamiento, lo que representa el estímulo adecuado para tales mecanoreceptores.

La formación del máximo de amplitud de cada onda migratoria está determinada por la frecuencia, lo que a su vez condiciona sobre la membrana basilar un efecto excitante, directamente relacionado con la frecuencia y perfectamente localizado en aquellas células sensoriales del órgano de Corti que se encuentran en la región donde se ha alcanzado dicho máximo de amplitud. De esta forma se realiza un primer análisis del sonido de acuerdo con un patrón de distribución del estímulo frecuencial perfectamente definido.

La desviación máxima producida por la onda migratoria ocurre para cada frecuencia en un punto distinto: para las frecuencias graves en la proximidad del helicotrema, para las frecuencias agudas en la vecindad de la platina del estribo. Cada frecuencia queda así reflejada en un punto distinto y concreto de la membrana basilar; como la distribución de los máximos de amplitud sobre la membrana basilar determina la excitación del órgano de Corti y con ello la actividad de las fibras nerviosas aferentes del nervio coclear.

2.1.2.2 TRANSFORMACIÓN DEL ESTÍMULO.

Las células sensoriales del órgano de Corti transforman la energía mecánica de las ondas sonoras en energía bioeléctrica. La energía necesaria para este proceso de transformaciones suministrada por el metabolismo de las células sensoriales.

La *stria vascularis*, al cargar positivamente la endolinfa, se comporta como una fuente de energía, de manera que puede compararse con una batería eléctrica. Las oscilaciones de la membrana basilar dan lugar a desplazamientos tangenciales de los cilios contra la membrana tectoria, que desencadenan fenómenos de despolarización de las células sensoriales. Se trata, en definitiva, de la consecuencia de una variación de la resistencia eléctrica de la membrana celular. Por ello, se comparan las células sensoriales con un micrófono de carbón con resistencias eléctricas variables. La despolarización de la célula sensorial conduce a una variación de su potencial de reposo. Cuando sobrepasa un determinado valor umbral se libera en la zona de transición entre célula sensorial y segmento inicial de la fibra nerviosa aferente (*relais* polarizado) un potencial de acción en la fibra nerviosa aferente. La excitación intensa de la célula sensorial determinan un aumento de la frecuencia de las descargas (respuesta más frecuente del *relais*: base de la modulación frecuencial para la codificación de la intensidad sonora).

2.1.2.3 FISIOLÓGÍA DEL EQUILIBRIO.

El mantenimiento del equilibrio corporal es el resultado de la actuación conjunta de una serie de mecanismos de regulación visual, cinestésica y vestibular. Estos mecanismos, por una parte, sirven para la orientación en el espacio y, por otra, hacen posible la bipedestación y la marcha, gracias al control y regulación de numerosos grupos musculares, responsables de la estática y de la movilidad, permitiéndoles actuar frente al influjo de la fuerza de la gravedad y de la fuerza centrífuga.

2.1.2.4 FUNCIONES FUNDAMENTALES DEL SISTEMA VESTIBULAR.

Función de medida: informando al sistema nervioso central (SNC) sobre la actuación de aceleraciones lineales y angulares.

Función de coordinación: coordinación de los movimientos, merced al control continuo del tono de la musculatura esquelética; coordinación e integración de las informaciones procedentes de los receptores sensoriales vestibulares con las informaciones procedentes del sistema visual al servicio de la orientación espacial.

El fundamento fisiológico de la función normal de los órganos sensoriales vestibulares radica en la diferencia de potencial entre las células sensoriales y el líquido extracelular. Las fibras nerviosas vestibulares muestran una serie constante de potenciales de acción, incluso cuando el órgano sensorial periférico se encuentra en reposo (actividad de reposo). La inflexión de los cilios de las células sensoriales modifica esta actividad de reposo en el sentido de un aumento de la frecuencia de descarga (despolarización) o de una inhibición (hiperpolarización). Gracias a este mecanismo, es decir, a la modulación de

la actividad de reposo, el cuerpo humano está en condiciones de captar los movimientos, tanto en una dirección como en la dirección opuesta, con un solo receptor.

2.2 LA AUDIOMETRÍA TONAL.

Una audiometría es una prueba funcional de la audición, que se divide en dos partes, por vía ósea y por vía aérea; vía ósea se refiere a evaluar la capacidad para oír el sonido a través de los huesos de la cabeza, utilizando instrumentos especiales que transmiten vibraciones; por vía aérea es cuando se evalúa la habilidad para oír sonidos transmitidos a través del aire, utilizando comúnmente auriculares para presentar los sonidos que son generados por un audiómetro.

Los audiómetros son instrumentos eléctricos generadores de los tonos puros que se necesitan para determinar el umbral de audición. El umbral tonal se registra en un sistema de coordenadas, que es el audiograma en donde se detectan la intensidad sonora, medida en decibelios, y la frecuencia del tono, especificada en Hertzios. El rango de tonos puros o señales periódicas sin armónicos que se presenta en el esquema del audiograma es dentro del espectro de frecuencias comprendidas entre 125 y 8,000 Hz, con un rango de intensidad entre -10 y 110 dB.

El decibelio es un valor de referencia, que expresa relaciones de presión sonora de dos sonidos diferentes. El punto de referencia en audiometría es el umbral de audición del hombre para la frecuencia 1,000 Hz. Para desencadenar una sensación sonora próxima con una frecuencia de 100Hz se necesita una presión sonora de 20 μ Pascal. Esta presión sonora corresponde al valor medio obtenido en jóvenes normoyentes y constituye el punto de referencia para la determinación física o absoluta del umbral de audición tonal en decibelios (SPL). Más sencillo para representar el umbral de audición para tonos puros resulta el empleo del umbral relativo de audición. El punto de referencia ya no es la

presión sonora absoluta, sino lo subjetivamente audible a nivel del umbral de audición: decibelios (HL: hearing level). Esto hace posible el empleo de un sistema de coordenadas con una línea 0 de curso horizontal. A diferencia de lo que sucede con la curva del umbral tonal relativo, la curva de umbral tonal físico tiene un recorrido curvo, puesto que para las frecuencias graves y agudas se requieren presiones sonoras mucho mayores que para obtener o alcanzar sensaciones sonoras equiparables al umbral para las frecuencias medias (1,000 Hz.).

2.2.1 PROCEDIMIENTO DE LA AUDIOMETRÍA TONAL.

Una metodología propuesta para realizar la evaluación de la vía aérea, utilizando la audiometría tonal es la siguiente:

1. Se explica al paciente el motivo de la prueba. Se introduce al paciente en una cabina insonorizada y se le colocan auriculares en ambos oídos. Se le indica que levante la mano u oprima un botón cuando denote la mínima sensación auditiva.
2. Al colocar los auriculares se procura que no compriman demasiado el pabellón auricular.
3. Se inicia la prueba, enviando sonidos a una determinada frecuencia e intensidad a través de los auriculares o vibradores. Se comienza con un tono de una frecuencia media (1,000Hz) a una intensidad media (60 dB) con el objetivo de que el paciente lo identifique. Después, a partir de 0dB se va incrementando la intensidad de 10 en 10dB (curva ascendente) hasta obtener la respuesta. Si el paciente es de edad avanzada o se trata de un niño, dicha frecuencia se presenta a una intensidad media y a partir de ella se va disminuyendo dicha intensidad de 10 en 10dB (curva descendente), hasta determinar el umbral de audición. De esta forma se van probando las diferentes frecuencias agudas: 2000, 3000, 4000, 6000, 8000Hz y

por último las frecuencias graves: 250, 500Hz. La respuesta de cada una de las frecuencias se obtiene accionando un pulsador cada vez que escucha el estímulo sonoro en un paciente adulto. En el niño menor de 6 años de edad se debe realizar la prueba a través del juego, adaptando éste a la edad del niño, así la respuesta puede ser de distracción, orientación visual, actuación. En el adulto tal y como se ha explicado, debe accionar un pulsador cada vez que escucha el estímulo auditivo.

Se continúa hasta obtener el umbral mínimo de audición.

4. Se investiga la condición de un oído y enseguida se investiga la del otro.
5. Se van anotando las respuestas en un gráfico denominado audiograma. A duración de la prueba es de 15 a 20 minutos.

El audiograma es un gráfico que muestra la capacidad auditiva en la frecuencia e intensidad correspondiente; además sirve para presentar los resultados obtenidos en diversas pruebas tomadas a lo largo del campo tonal. Puede presentarse en unidades de audición o bien en pérdida auditiva.

Este gráfico está dividido en decibeles y prácticamente es el único utilizado actualmente en audiometría. El eje de las ordenadas está dividido en decibeles indicando pérdida de audición. Estos van de 10 en 10, comenzando por el 0 que está arriba y termina por 110dB. En el eje de las abscisas se encuentran las frecuencias que percibe el oído humano que pueden ser desde los 128 a los 16,000Hz. El audiograma habitual está representado por frecuencias que van desde los 125 a los 8,000Hz.

2.2.2 SONIDO.

Sonido es un disturbio mecánico, propagado como un movimiento ondulatorio en el aire y otros medios elásticos o mecánicos. En el dominio de las partículas, la onda aparece como una vibración u oscilación alrededor de un punto de equilibrio. En el terreno macroscópico, el movimiento coordinado vibratorio de las partículas individuales conduce a la generación de zonas o superficies de acumulación y otras de enrarecimiento, intercambiables en el tiempo para una misma posición, según la materia se acumula o dispersa respecto a un estado inicial de equilibrio según una dependencia temporal, comprometiendo un cambio periódico de la densidad del medio.

La partícula del medio material, sujeta a vibración, oscila mayormente en la misma dirección en que se produce la propagación del disturbio. El movimiento oscilatorio de las partículas nos lleva al concepto de onda que se propaga en medio elástico. La propagación de tales ondas consiste en la transferencia de la excitación de las vibraciones de las partículas del medio, excitación que se propaga alejándose de la fuente sin que ello implique un desplazamiento neto resultante o cambio final de posición en la partícula individual.

Las ondas sonoras pueden ser planas, divergentes, esféricas, progresivas y estacionarias.

2.2.2.1 TONO PURO.

Las propiedades esenciales que permiten describir una onda sonora resultan ser su frecuencia y su amplitud. La primera magnitud caracteriza el tono, la segunda el volumen del sonido.

Se entiende por tono puro a un sonido al cual se adjudica una frecuencia simple vibratoria única. Este sonido elemental se origina por el paso de la energía mecánica, a un medio material adyacente, de un elemento vibrante que describe un movimiento periódico puro.

2.2.2.2 SONIDO REAL.

Los tonos puros constituyen el sonido elemental y una única frecuencia los caracteriza. En realidad, la mayoría de los sonidos audibles están compuestos por múltiples frecuencias y fluctuaciones irregulares de la presión. A ellos llamamos "sonido real".

Las variaciones de presión se propagan en el medio en todas direcciones y con igual velocidad si las propiedades de éste son iguales en esas direcciones (o sea si el medio es isótropo). Son las características del espacio de propagación las que van a decidir respecto a la velocidad de propagación.

2.2.2.3 SONORIDAD, AUDIBILIDAD Y RUIDOSIDAD.

La amplitud y frecuencia del sonido se dimensionan en dependencia de que refieran el sonido físico (sonoridad), el sonido fisiológico (audibilidad) o el psicológicamente evaluado (ruidosidad).

La sonoridad es la expresión formal descriptiva del sonido desde el ángulo de su existencia objetiva e independiente de toda sensación o representación psicológica. La audibilidad de otra parte expresa el sonido desde el ángulo de su reflejo, como producto final de la transducción del analizador auditivo, y alude a una sensibilización en tanto transforma el fenómeno real en una impresión sensorial (fracción audible del sonido). La ruidosidad finalmente expresa el sonido desde el ángulo de su representación perceptual

negativa, a tenor esencialmente de ciertas estructuras tonales e intensidades que inducen reacciones biológicas de desagrado.

En el marco de la sonoridad, la frecuencia ordinaria del sonido "f" es el número de veces que las variaciones de presión ocurren por segundo. El espectro de ancho de banda constante es aquí usado en cuanto no existen regularidades preferenciales de frecuencia. Es decir, desde la óptica física todas las frecuencias son igualmente importantes. De otra parte, bajo la óptica de la sonoridad la amplitud de la variación de la presión acústica está relacionada a la energía de la onda sonora y por ende a la intensidad del suceso sonoro. La unidad de medida de la intensidad de la sonoridad es el decibel por nivel de presión de sonido.

La audibilidad en sí, como reflejo biológico de un sonido, parece proporcional al número de impulsos que emite la cóclea, de manera que resulta una medida de la carga nerviosa del analizador auditivo. Existe cierta región de frecuencia que delimita las fronteras de la audición humana, tal es la que se encuentra entre 16 y 20,000 Hz. Los sonidos con frecuencias menores a la cota inferior se denominan infrasonidos y con frecuencias mayores a la cota superior ultrasonidos. En cuanto a la amplitud del sonido, la unidad básica de la audibilidad es el sone. De otra parte, la unidad de nivel de audibilidad es el fono. Por razones prácticas como medidas reflejas de audibilidad se toman "isocontornos de ponderación de frecuencia" con los que se definen decibeles A -para bajas audibilidades-, B -para intermedias- y C -para altas-. Por convención, en salud ambiental se emplean los decibeles A.

Algunos experimentos han demostrado que las altas frecuencias tendieron a ser más molestas que las bajas, aun cuando ellas sean igualmente audibles. Bajo el principio de la "molestia subjetiva" se han elaborado curvas de igual ruidosidad. Con evidente paralelismo con los procedimientos del cálculo de la audibilidad, la unidad subjetiva de la ruidosidad percibida es el noy. El nivel de ruido percibido (PNL) constituye en cambio una

medida integral de la ruidosidad en los sonidos de banda ancha. El isocontorno de ponderación de frecuencia D se relaciona a la ruidosidad.

El sonido fluctuante es aquel cuyo nivel oscila en el tiempo en un rango superior a 5 dB, pero los niveles mínimos están por encima de la envolvente del fondo del escenario en que se produce el suceso sonoro. Aquí entenderemos por fondo a la zona de ruido informático, inherente a cualquier escenario sonoro, dentro de la cual no es posible discriminar por energía la existencia de una señal o evento sonoro particular.

La clasificación temporal de los eventos sonoros separa los sonidos continuos de los no continuos. Los sonidos no continuos se subdividen en varios tipos. El sonido intermitente es aquel que oscilando en el tiempo en un rango superior a 5 dB pierde sus mínimos en el fondo de su escenario sonoro (nivel sonoro dentro del fondo), pero el período en el cual es individualizado (nivel sonoro sobre el fondo) es siempre superior a 1 seg.; en tanto el fluctuante presenta niveles sonoros siempre por encima del fondo. El sonido impulsivo es aquel sonido no continuo en el que perdiéndose los mínimos en el fondo del escenario sonoro que le acoge, permanece individualizado (nivel sonoro sobre el fondo) por un lapso inferior a 1 seg. Modernamente los sonidos son clasificados en impulsivos (con cambio del nivel sonoro de más de 40 dB en 0,5 seg.) y no impulsivos (los restantes). En todo caso, debe especificarse el área de definición de magnitudes, precisando si la clasificación opera en sonoridad, audibilidad o ruidosidad.

2.3 LAS ESPECIFICACIONES PARA AUDIÓMETROS.

Las especificaciones para audiómetros, que requieren respuestas conductuales de un oyente y que determinan umbrales de audición, se encuentran establecidas en el estándar ANSI S3.6-1996, referente a bioacústica, del American National Standard Institute, Inc. El

estándar se desarrolló con el propósito de asegurar resultados iguales, en audiómetros diferentes, bajo condiciones similares.

Para la ANSI S3.6-1996 los audiómetros tonales o de tonos puros se encuentran definidos como instrumentos electrónicos desarrollados con la intención de medir la capacidad auditiva de los humanos, para señales de tonos puros, en función de frecuencias. Existe una clasificación en donde encontramos a los audiómetros normales que manejan un rango de frecuencias entre 125 y 8,000 Hz; los de alta frecuencia extendida, son los instrumentos que utilizan frecuencias de 8,000 a 16,000 Hz y por último a los audiómetros Bekesy o de grabación automática en donde la frecuencia, la tasa de repetición, y la tasa de cambio en la amplitud de la señal son controladas automáticamente, pero que la dirección de cambio en el nivel de la señal, ya sea para incrementarse o decrementarse, está controlado por el sujeto cuyas respuestas son registradas automáticamente.

Otro tipo son los audiómetros tonales manuales en donde la presentación de la señal, frecuencia, selección de nivel de intensidad, y registro de resultados son realizadas manualmente.

Los llamados audiómetros tonales controlados por computadora son aquéllos en donde el procedimiento de la prueba es controlado por un microprocesador o computadora.

En los siguientes párrafos se definirán algunos términos comunes utilizados en las audiometrías tonales, iniciando con umbral de audición, es la sensación audible en respuesta al nivel de presión mínimo o fuerza vibratoria que un conjunto de señales pueden evocar en una fracción específica de tiempo.

Enmascaramiento se refiere al proceso por el cual el umbral de audición para un sonido es elevado en presencia de otro sonido, un enmascaramiento de señal efectivo se cumple cuando el nivel de presión de un ancho de banda ruido, cuyo centro geométrico de frecuencia coincide con un tono puro específico, enmascarándolo con una probabilidad del 50% de ser detectado.

2.3.1 ESPECIFICACIONES PARA AUDÍFONOS.

Los audífonos derecho e izquierdo deben de ser identificables fácilmente. El izquierdo debe tener color azul y el derecho color rojo.

Además deben cumplir las siguientes especificaciones:

1. El audífono debe ser axialmente simétrico con su cojín.
2. La construcción y material deben ser capaces de proveer un buen sello acústico entre el audífono y su cojín, así como proveer un buen sello con el oído externo.
3. El círculo de contacto del audífono y su cojín con una superficie plana debe ser de un diámetro comparable a las dimensiones sagitales de la pinnae humana.
4. Ninguna parte del audífono y su cojín deben de exceder más allá del plano de contacto explicado en el punto 3, y el hueco debe tener aproximadamente la forma de un cono truncado.

5. El contorno del audífono y su cojín deben ser de tal forma que el contacto con un oído artificial, de especificaciones especiales, debe tener un diámetro de 25 mm.
6. El cojín no se debe deformar cuando es colocado en un oído artificial. El cumplimiento con este requerimiento se cumple si el nivel de presión de sonido de una señal de 1,000 Hz transformado por el audífono no resulta modificado por más de 0.2 dB cuando la fuerza de aplicación se cambia de 5N a 10 N.
7. El contorno del audífono y su cojín debe ser tal que cuando se coloca en el oído externo el contacto sea solamente con la pinnae y no con la piel de la superficie que cubre el hueso craneal localizado en la parte posterior de la pinnae.
8. Los audífonos deben ser montados en una diadema que los presione al oído externo con una fuerza de 4 y 5 N. Este requerimiento se cumple si la fuerza ejercida por la diadema es de 4.5 ± 0.5 N cuando los audífonos se encuentran separados horizontalmente por 145 mm y el centro superior de la diadema se encuentra a 129 mm arriba del centro de la línea imaginaria entre los audífonos.

2.3.2 FORMATO DEL AUDIOGRAMA.

Cada forma del audiograma debe tener espacios donde se anote la siguiente información: nombre, edad, género, sitio de prueba, y el número del sujeto de prueba, tiempo y fecha de la prueba, nombre del fabricante, tipo y número de serie del audiómetro, y el nombre del probador. Los resultados de una medición de los umbrales de audición deben de ser anotados como una tabulación numérica o en la forma gráfica de un audiograma.

Cada registro de una prueba audiométrica debe incluir una indicación específica en cuanto al nivel de umbral de referencia al que el audiómetro fue calibrado.

En el formato del audiograma, la escala vertical se debe designar la etiqueta "Nivel de audición-dB". Esta escala debe ser lineal y en decibeles. El rango de esta escala debe ser desde -10 dB HL, o -20 dB HL para audiogramas de frecuencia extendida, en incrementos de no más de 10 dB, hasta al menos los límites provistos por el audiómetro.

A escala horizontal se le debe designar la etiqueta "Frecuencia-Hz". Para audiogramas manuales y automáticos de eliminación de frecuencia, la escala horizontal debe ser logarítmica. Para registro automático o de frecuencia fija, la escala debe ser en intervalos iguales por frecuencia de prueba.

Para los audiogramas manuales se recomienda que un octavo en la escala de frecuencia sea linealmente equivalente a la longitud de 20 dB en la escala de nivel de sonido.

Para los de frecuencia de eliminación automática se recomienda que un octavo en la escala de frecuencia sea linealmente equivalente a la longitud de 30 dB en la escala de nivel de sonido.

Y para los de frecuencia alta extendida, se recomienda que 1/6 de un octavo en la escala de frecuencia sea linealmente equivalente a la longitud de 10 dB a lo largo de la escala de sonido. En la figura 2 se presenta el esquema del audiograma.

La anotación de los datos se realiza conforme al estándar de la *American Medical Association*; para recordarlo se utiliza el dibujo de Fowler como regla óptica

mnemotécnica. Es el trazo de una cara humana que tiene indicada el ángulo de la vía aérea en las orejas con el símbolo de "<" en la derecha y el ">" en la izquierda, y

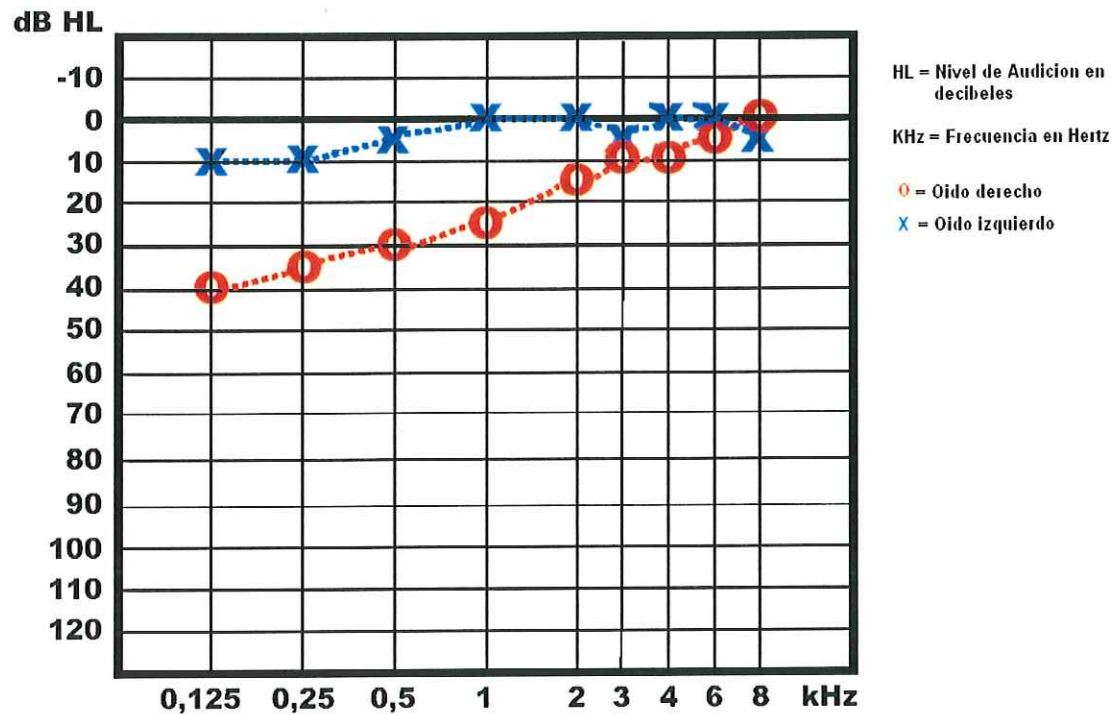


Figura 2. Esquema de un audiograma.

específica que para el oído derecho se utilice una "O" y para el izquierdo una "X". Se seleccionaron estos símbolos debido a que si se escriben en un mismo punto no se superponen, como se indica en la figura 3.

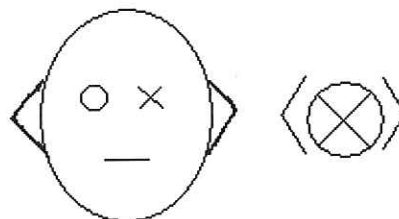


Figura 3. Monigote de Fowler.

2.4 EL AUDIO DIGITAL.

La acústica y la tecnología analógica del audio están relacionadas principalmente a través de funciones matemáticas; sin embargo, el audio digital está formado por valores discretos. Específicamente, la amplitud de una forma de onda se representa con una serie de números; y estos números permiten manejar la información de audio de forma más eficiente. Con técnicas digitales es posible aumentar de manera significativa todo el proceso que se realiza a una señal de audio. La tecnología digital ha permitido desarrollar equipos de grabación, de procesado y reproducción de audio cada vez más complejos.

2.4.1 FUNCIONAMIENTO DE LA TARJETA DE AUDIO.

De los micrófonos o algún otro equipo, como un reproductor de discos compactos, una tarjeta de sonido recibe el sonido en su formato nativo, una señal analógica continua de una onda sonora que contiene frecuencias y volúmenes que constantemente cambian. La tarjeta de sonido puede manejar más de una señal al mismo tiempo, permitiendo grabar sonidos en formato estereofónico.

Las señales van a un circuito integrado que realiza la función de convertidor analógico-digital, el cual cambia la señal analógica continua a los unos y ceros de una señal digital. Un circuito integrado de memoria ROM (Read Only Memory) contiene las instrucciones para manipular a la señal digital. Las versiones nuevas tienen un chip de memoria regrabable. El chip de memoria *flash* permite que la tarjeta sea actualizada con instrucciones mejoradas conforme vayan siendo creadas.

El convertidor analógico-digital envía la información binaria a un circuito integrado llamado procesador de señal digital, que libera al microprocesador de la tarjeta madre de la mayoría de las tareas de procesamiento del sonido. El procesador de señal digital obtiene las instrucciones acerca de que es lo que tiene que hacer con los datos del integrado de memoria. Típicamente, comprime la señal de manera que ocupe menor espacio de almacenamiento.

El procesador de señal digital envía los datos comprimidos al procesador de la tarjeta madre, el cual a su vez, envía los datos al disco duro para que sean almacenados, típicamente en archivos con extensión .WAV o .MP3.

Para reproducir un sonido grabado, el procesador principal busca el archivo que contiene la réplica digital comprimida del sonido de un disco duro o de un disco compacto y envía la información al procesador de señal digital.

El procesador de señal digital descomprime la información conforme va llegando y la envía a un circuito integrado que realiza la función de convertidor digital-analógico, el cual traduce la información digital a una corriente eléctrica ondulatoria. La corriente analógica es amplificada, usualmente por un amplificador integrado a las bocinas del equipo de cómputo. Entonces, la corriente más fuerte activa el electromagneto que forma parte de las bocinas, causando que el cono vibre, recreando el sonido.

2.4.2 FUNCIONAMIENTO DEL AUDIO 3D.

Uno de los aspectos que utiliza el cerebro para determinar la fuente de un sonido es la diferencia de cómo percibe cada oído el sonido. Una *diferencia de intensidad interaural* se

detecta debido a que el sonido es mas intenso en el oído que se encuentra más cercano a la fuente de dicho sonido. Una *diferencia de tiempo interaural* ocurre debido a que el sonido llega a un oído antes que al otro.

Otro aspecto que permite determinar la posición u origen es como el *pinnae*, el cartílago exterior que da forma a la oreja, deforma las ondas de sonido conforme ingresan al oído. Los contornos del *pinnae* repercuten, amortiguan y acentúan de manera diferente los diversos componentes de un sonido complejo, dependiendo del ángulo en que el sonido llega a la oreja.

Un factor ambiental importante son las superficies que rodean a la persona. Ya que reflejan y absorben el sonido. Estas reflexiones se llaman reverberación y esto da más detalles de la dirección en que se origino el sonido. El carácter del sonido es influenciado por el material de los objetos en los que rebota. El carácter del sonido también es influenciado por la composición de los objetos en los que rebota. El eco en una célula acolchada suena diferente que en un cuarto grande embaldosado.

Los ingenieros de sonido capturan el efecto de distancia, posición, *pinnae* y reflexión grabando una prueba de sonido utilizando micrófonos ubicados en los canales de audición de una persona. Conforme la fuente del sonido se mueve en un círculo alrededor de la persona, se realiza un registro de las diferencias entre el sonido fuente y el sonido percibido con los micrófonos. Comparaciones similares se realizan entre un sonido fuente y el sonido después que ha rebotado en una gama de superficies, de duras a suaves y de lisas hasta ásperas.

Los valores del sonido percibido se sustraen del sonido original, creando un filtro matemático. Los filtros se utilizan para crear algoritmos que software utiliza con procesadores de señales digitales para crear sonidos ambientales que pueden ser

aplicados a cualquier sonido para recrear la ilusión de que viene de una dirección específica y reflejada de varias superficies.

2.5 DESARROLLO DE SOFTWARE.

Software en una computadora se refiere a los programas, procedimientos o reglas escritas y la documentación pertinente a la operación de un sistema de cómputo que se encuentran almacenados en una memoria de lectura/escritura.

Desarrollar software para computadoras requiere de un proceso, métodos y herramientas, a esto se le conoce como ingeniería de software.

El proceso es la definición del marco de trabajo, es decir, se establece el curso de acción para lograr un resultado; los métodos son el conjunto de pasos sistemáticos y lógicamente organizados con la finalidad de construir software técnicamente, y las herramientas son el sistema de soporte utilizado para el desarrollo de software.

En resumen el proceso de desarrollo de software propone realizar un análisis y definición de requerimientos, como primera etapa, concluida esa fase inicial pero de gran importancia para el resultado final, se pasa al diseño del sistema, considerado como la descripción de la solución a los requerimientos o la transformación del problema en una solución.

El diseño de programas es la siguiente fase, donde se interpretan el conjunto de descripciones para los componentes del sistema, que deben de ser codificados y

probados. Por lo tanto la escritura o implementación de los programas es el siguiente paso natural en la metodología sugerida.

La prueba unitaria involucra encontrar defectos en los componentes examinando el código, tratando de identificar defectos en los algoritmos, los datos y la sintaxis; comparándolo con las especificaciones y con el diseño. Se compila y se eliminan los defectos de sintaxis que pudieran existir; una vez realizado lo anterior se desarrollan los datos de prueba que demostraran que la entrada del sistema se convierte en la salida esperada.

Una vez que se comprueba que todos y cada uno de los elementos funcionan correctamente de manera individual, se pasa a la prueba de integración de todos ellos. La integración se planea y coordina de manera que se pueda identificar el origen de las posibles fallas; además el orden de prueba de los componentes está relacionado con las opciones de casos de prueba. La estrategia de prueba debe identificar el porqué y cómo se combinan los elementos para probar el sistema total. El objetivo de esta parte es comprobar que el código implemente de manera correcta el diseño.

En la prueba del sistema el objetivo es comprobar que el sistema cumpla los requerimientos del cliente, y si existen fallas es necesario comprender el origen de los defectos del software; para identificar las fallas se realiza un conjunto de pruebas a cada modulo del software y al sistema integrado. Las pruebas realizadas son de función, de rendimiento, de aceptación y de instalación, para controlar la dificultad y complejidad de esta etapa se realiza una documentación de prueba donde se lleva un meticuloso registro de las actividades realizadas.

En la entrega del sistema además de poner el sistema en el lugar destinado por el cliente, se auxilia a los usuarios finales a comprender y a familiarizarse con el sistema, es decir

proporcionar el entrenamiento y la documentación de apoyo, evitando que los usuarios lo utilicen de manera incorrecta y se generen inconformidades causando que no sean tan productivos como podrían serlo, perdiéndose el objetivo de todas las etapas anteriores, la construcción de un sistema de alta calidad.

Se considera que un sistema ha llegado al desarrollo completo cuando alcanza un estadio operacional, es decir es utilizado en un ambiente de producción real por usuarios. Una vez que llega a este punto cualquier modificación que mejore el funcionamiento del sistema se considera como mantenimiento y este es el estado final y permanente de un sistema de software.

2.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS BASES DE DATOS.

Una base de datos es una colección de información organizada de forma que facilita el acceso, análisis y creación de informes; contiene entidades de información que están relacionadas vía organización y asociación.

La arquitectura lógica de una base de datos se define mediante un esquema que representa las definiciones de las relaciones entre las entidades de información. La arquitectura física depende de la configuración del hardware residente. Sin embargo, tanto la descripción lógica como la física deben adecuarse para satisfacer los requerimientos funcionales y de comportamiento para el acceso al análisis y creación de informes.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA.

La metodología que se empleó se describe a continuación, iniciando con la de los elementos identificados como necesarios para realizar el diseño e implementación del audiómetro tonal indicado en el objetivo de la investigación, el material utilizado y las fuentes de procedencia, los procesos a emular, la información respecto a la programación requerida, así como el procedimiento diseñado para lograr la comprobación de la hipótesis formulada al inicio de este trabajo.

3.1 SUJETOS.

El desarrollo del sistema involucró la utilización de ciertos elementos indispensables; dado que el producto final funciona en un medio virtual, uno de estos elementos es una computadora, las señales generadas se deben proporcionar al usuario en unos audífonos con características muy específicas, este es otro de los elementos; y por último se requería un reporte impreso de la audiometría tonal, por lo que se proporcionará información detallada sobre las impresoras capaces cumplir con las exigencias del documento mencionado.

3.1.1 COMPUTADORA (PERSONAL).

Es una máquina de propósito general, compuesta de tres elementos principales: unidad central de proceso, memoria y sistema de entrada/salida; realiza cálculos

automáticamente siguiendo las instrucciones de un programa almacenado en memoria e internamente representa información utilizando el sistema binario; diseñada para ser utilizada por una sola persona a la vez.

A continuación en la figura 4 se presenta un esquema jerárquico de la ubicación de la computadora personal:

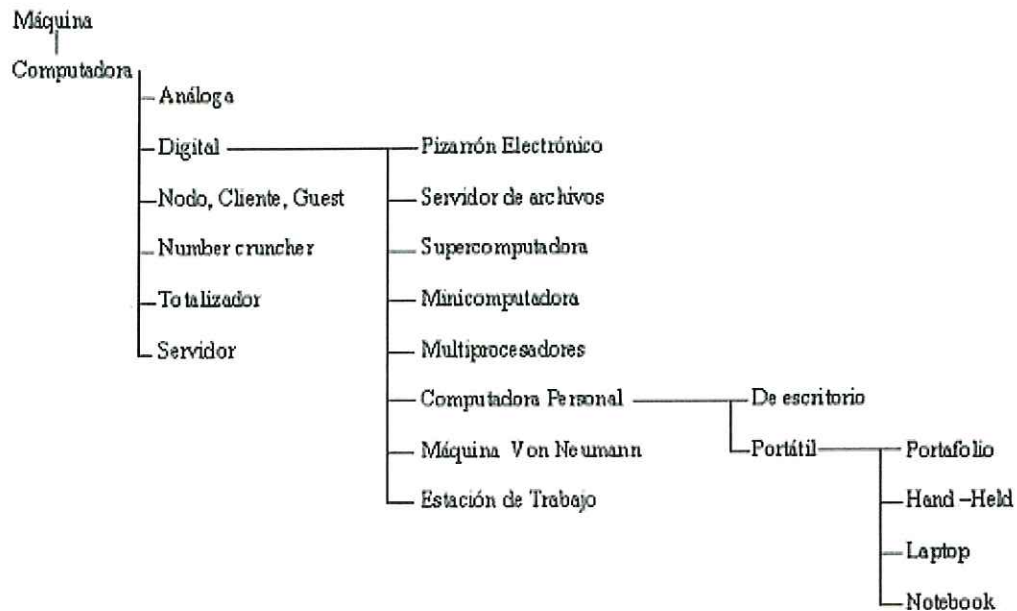


Figura 4. Esquema jerárquico de la computadora.

Observando el esquema se identifican dos tipos de computadoras personales que son susceptibles de utilizar en el proyecto: de escritorio, que está diseñada, como su nombre lo indica, para caber cómodamente sobre un escritorio. Hay dos variantes, con el monitor que se ubica sobre la caja, que es amplia y baja, mientras que las computadoras denominadas de torre son estrechas y altas.

El otro tipo, la portátil, comúnmente son de un tamaño conveniente para que puedan descansar cómodamente sobre las piernas del usuario, a estas se les conoce como "laptop" su término en inglés, que traducido es algo así como "sobre su regazo" o "sobre sus piernas"; miembros de esta familia son las llamadas portafolio debido a que su tamaño es como el de un portafolio y a las "notebook" que son del tamaño y grosor de

una libreta de apuntes, otro modelo de las portátiles son las "hand-held", "palmtop" o "pocket computer" que también hace referencia a su tamaño, éstas son programables, de baterías, capaces de manejar números y texto, que pueden ser utilizadas cómodamente mientras se sostiene en una mano.

Otras computadoras pueden presentar algunas características similares, como los pizarrones electrónicos, que son computadoras cuya única función, con la ayuda de software especial, es permitir a usuarios dejar mensajes y tener acceso a información de interés general; los servidores de archivos cumplen con todas las características excepto que su función es proporcionar acceso controlado de recursos compartidos a estaciones de trabajo en una red, es decir no son utilizadas solo por una persona; las supercomputadoras definitivamente no son utilizadas por una sola persona ya que pueden servir aproximadamente a un rango de entre 100 y 400 usuarios, son de gran tamaño, definitivamente no caben encima de un escritorio y ocupan de un espacio (cuarto) especial refrigerado, estas computadoras típicamente son usados para simulaciones científicas, animaciones gráficas de alta definición, el análisis de datos geológicos, el análisis estructural, la dinámica de los fluidos computacional, la física, la química, el diseño electrónico, la investigación de energía nuclear y la meteorología, es decir todas aquellas aplicaciones cuyos cálculos requieran de grandes volúmenes de números de punto flotante con una precisión muy fina y que debido a ello deban ser realizados a muy altas velocidades de procesamiento.

Revisadas las características de los miembros de la familia de computadoras personales, se elegirán dos modelos: la de escritorio y la laptop.

3.1.1.1 REQUERIMIENTOS DE EQUIPO DE CÓMPUTO.

Las características mínimas necesarias que se identificaron son las siguientes: monitor a colores con un tamaño de al menos 14", microprocesador Intel Pentium II 166MHz o AMD k7 200MHz en adelante, 64MB de memoria RAM, disco duro de 8 GB, unidad de CD-ROM, unidad de floppy, tarjeta de sonido de 24 bits.

3.1.2 AUDÍFONOS.

Los audífonos son transductores electro-acústicos que convierten señales eléctricas a sonidos; en la audiometría tonal son una de las piezas clave ya que son los encargados de proporcionar al sujeto de estudio los tonos puros indicados en el audiograma.

Deben de ser capaces de poder transmitir tonos puros desde -10 a 120 decibeles en el nivel de audición, con frecuencias de 0.125 KHz a 8 KHz. Además debe de cumplir con las características de configuración física especificadas en el estándar ANSI S3.6-1996.

Los audífonos seleccionados para realizar las pruebas brindan alta atenuación a los ruidos de fondo, son capaces de manejar niveles de presión de sonido muy altas y tienen una construcción robusta; funcionan excepcionalmente bien en ambientes ruidosos, monitoreo de estudio y pruebas de equipos de estéreo, gran sensibilidad debido a su construcción en aluminio y peso ligero.

Respecto a su información técnica se encontró lo siguiente: respuesta a la frecuencia en un rango de 16 a 22,000 Hz -3 dB, impedancia nominal de 70 Ω , distorsión total armónica <0.3%, cable de 1.5m con conector de 1/8" con adaptador de 1/4".

3.1.3 IMPRESORA.

Se Considera a la impresora como el dispositivo periférico que podemos conectar a la computadora para producción de texto e imágenes sobre papel; Hay muchos tipos diferentes, ampliamente agrupados en " impresoras de impacto " e "impresoras de no impacto ".

En la categoría de las de impacto se encuentran las impresoras de matriz, que generalmente imprimen en un solo tono de color, cuentan con una cinta que a la vez que va recibiendo los impactos de la cabeza de impresión con los caracteres de relieve, se va recorriendo, son bastante ruidosas, el rango de velocidad de impresión se encuentra entre 330 y 680 caracteres por minuto.

La impresora de inyección de tinta y la láser de encuentran en la categoría de las de no impacto.

Ubicadas entre las matriciales y la láser, las de inyección de tinta poseen una resolución cercana a la de las láser pero el tamaño de la unidad es mucho más compacto, aunque con menor velocidad de impresión, el funcionamiento es similar a la matricial, pero realizan las tareas de impresión de manera silenciosa, solo que los puntos en que deposita la tinta son menores, mejorando la resolución sustancialmente. La velocidad de impresión se encuentra en un rango entre 8 y 30 páginas por minuto en negro, en color el rango es de 8 a 22 páginas por minuto.

El funcionamiento de las impresoras láser se debe al fenómeno de la polarización y atracción de la carga; esto es, durante la impresión ciertos átomos se atraen y repelen. Al recibir la orden de impresión el microprocesador de la impresora ordena al láser prenderse y apagarse. Para abrir el haz de luz del láser se utiliza un espejo poligonal

giratorio, que genera una línea que va y se refleja en un espejo cóncavo-convexo, produciendo una línea recta de luz.

Este haz de luz invierte la carga en algunos puntos de un tambor fotorreceptor, dando forma al dibujo a imprimir. El tambor gira lentamente, invirtiendo la carga línea por línea, al terminar queda en el tambor en positivo el dibujo y en negativo la parte blanca (o puede ser al contrario), quedando el dibujo con la misma carga que el papel, a quien un alambre le ha transferido una carga eléctrica estática con mayor potencial que la del tambor. El toner es mezclado con el revelador, son de cargas distintas por lo que se atraen entre sí. El revelador es de un material metálico, por lo tanto el toner con el revelador se adhieren al rodillo de revelado, que resulta ser un imán. La carga del revelador es igual a la del tambor pero con un potencial menor, por lo que el toner es atraído por el dibujo en el tambor. La hoja pasa presionando al tambor, y como la hoja tiene carga opuesta y mayor potencial; el toner queda adherido a la hoja solo en los puntos donde debe de ir el dibujo. Finalmente se fija el toner a la hoja utilizando alguna fuente de calor.

El proceso es definitivamente mas complejo, pero la calidad es incomparable, la velocidad de impresión se encuentra en un rango de 12 a 26 páginas por minuto en negro, en color el rango es de 10 a 22 páginas por minuto.

Para utilizar una impresora en un sistema operativo se debe contar con los archivos controladores de impresora, que son parte del sistema operativo, de modo que un controlador de impresora de Windows maneja todas las aplicaciones de Windows. Es posible obtener del fabricante el archivo controlador de impresora para su modelo específico, así no se depende de un desarrollador de software de aplicación.

Dado lo anterior el tipo y modelo de impresora que puede utilizar el sistema desarrollado es prácticamente infinito, ya que cada fabricante crea controladores capaces de funcionar en el sistema operativo Windows.

3.2 MATERIAL.

El material utilizado en el proceso de la audiometría son la hoja de registro de prueba audiométrica, y el archivo de computadora donde queda almacenada la información recabada durante la prueba pero que se ha elegido no imprimir.

3.2.1 HOJA DE REGISTRO DE PRUEBA AUDIOMÉTRICA.

Las características o campos del formato de audiograma se encuentran especificados en el anexo E del estándar ANSI S3.6-1996, por lo que se han incluido en la hoja de registro de resultado de la audiometría tonal. La distribución de los campos en el reporte se ilustra en la figura 5.

Cada reporte contiene la siguiente información:

1. **Encabezado.**

Este campo contiene la información de la entidad que aplica la audiometría, como entidad se considera nombre de empresa, consultorio médico o dependencia responsable. Solo se captura la primera vez, las siguientes ya existe un registro y solo se tiene que seleccionar de un listado de opciones.

El tamaño del espacio reservado en este campo es de 120 caracteres, distribuidos en tres líneas de 40 cada una, mayúsculas con un tamaño de fuente de 12 y estilo en negritas.

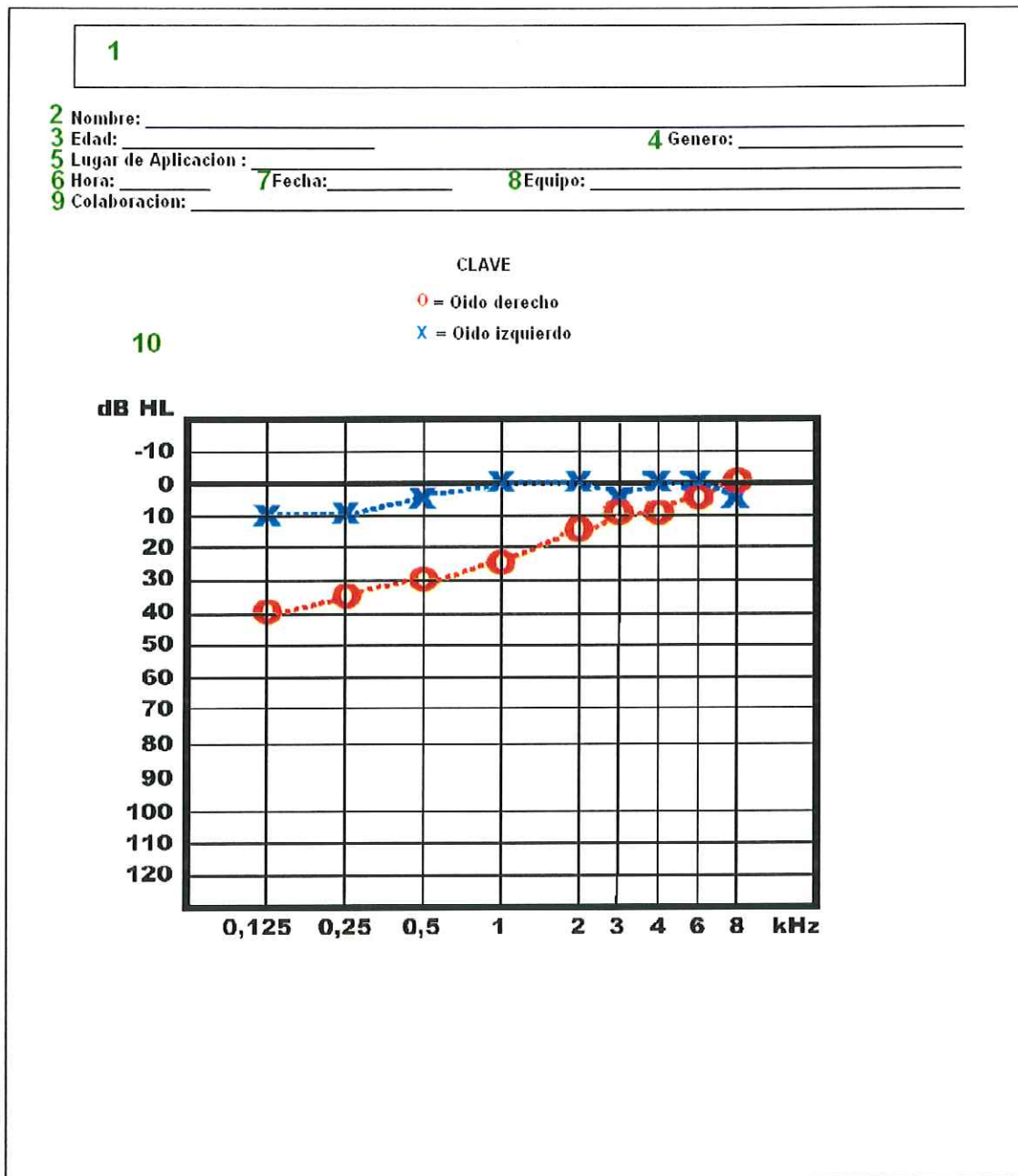


Figura 5. Formato de Audiograma.

2. Nombre.

Aquí se captura el nombre completo de la persona a la que se le aplica la prueba audiométrica, iniciando con el apellido paterno, enseguida apellido materno y al final nombre o nombres.

Ocupa un espacio de 80 caracteres en una línea, con un tamaño de fuente de 8 y estilo normal.

3. Edad.

El dato es numérico en este campo, ocupa 3 espacios, ya que la edad es capturada en años, el tamaño de la fuente es 8 y estilo normal.

4. Género.

El género capturado es femenino o masculino, se tienen reservados 10 espacios para este campo, el tamaño de la fuente es 8 en estilo normal.

5. Lugar de aplicación.

El dato capturado en este campo se refiere al lugar geográfico de la aplicación de la prueba, para este dato se han reservado 80 espacios, con fuente en estilo normal y tamaño 8.

6. Hora.

El campo de registro de la hora, de aplicación de la prueba, ocupa 4 espacios, con formato de horas y minutos, la fuente es en tamaño 8 y estilo normal.

7. Fecha.

Se reservan 8 espacios para la captura de la fecha, en formato numérico, iniciando con el día, con los posibles valores de 01 a 31, el mes indicado con los valores de 01 a 12, y el año que se escribe completo; el tamaño de la fuente es 8 en estilo normal.

8. Equipo.

El campo de equipo se utiliza para registrar la clave o número identificador del equipo donde es realizada la audiometría. El número de espacios reservados para este campo son de 40, con tamaño de fuente 8 y estilo normal.

9. Colaboración.

Nombre del técnico, colaborador o asistente durante la aplicación de la prueba, siendo posible la aplicación de la prueba sin asistencia.

El tamaño de la fuente es de 8, en estilo normal; la cantidad de espacios reservada para este campo es de 80 caracteres.

10. Audiograma.

En este campo se realiza el registro de las mediciones audiométricas en la forma de un audiograma. En la escala vertical aparece la indicación designada "Nivel de audición - dB", indicando las unidades de medida lineales en decibeles. El rango de la escala se indica desde -10 dB HL a 120 dB HL. En la escala horizontal tiene la etiqueta de "Frecuencia - Hz", abarcando desde 0.125 a 8 KHz.

El registro de las respuestas en el audiograma para cada oído es diferente; las respuestas para el izquierdo corresponden a una "X" de color azul, para el derecho el símbolo utilizado es un "O" de color rojo. El tamaño ocupado por el gráfico es 20 renglones y 17 columnas.

3.2.2 ARCHIVO ELECTRÓNICO.

Otra opción de reporte en la audiometría es el archivo electrónico, es decir si no se desea imprimirlo, se puede elegir la opción de que lo guarde en formato electrónico.

Si partimos de la consideración de que un archivo electrónico es un conjunto de registros almacenados en formato que la computadora puede descifrar; pudiendo ser estos archivos de programa o de datos.

El archivo resultante será un archivo de datos en formato con extensión PDF. Archivo PDF significa que se encuentra en formato transportable de documento; es un documento válido en diversos sistemas operativos y autónomo, es decir, es un documento que aparecerá igual en la pantalla e impreso, sin importar qué tipo de computadora ni de impresora se esté utilizando, ni el programa con que se haya elaborado originalmente.

Los archivos PDF, aunque contienen el formato completo del documento original, inclusive los tipos de caracteres y las imágenes, están muy comprimidos, lo que permite que la información se transmita con eficacia.

Por medio del programa de software Acrobat Reader se pueden ver e imprimir los archivos PDF, el cual puede ser instalado y configurado para que opere sin problemas con un sistema de búsqueda de Internet.

3.3 PROCESOS.

El proceso emulado es el de una audiometría tonal, la descripción del funcionamiento utilizando una computadora personal se presenta en la siguiente sección.

3.3.1 AUDIOMETRÍA TONAL.

Al seleccionar el programa “audiometría virtual” del menú de Windows, aparece la interfaz gráfica de usuario; que no es más que la convención a través del que dos sistemas se comunican, basado en gráficos (iconos, dibujos y menús) en lugar de texto; utiliza el ratón o el teclado como unidad de entrada.

Al hacer mención a dos sistemas nos referimos al sistema operativo, que es software de bajo nivel que controla la ejecución de los programas de computadora y puede proveer varios servicios; maneja el interfaz al soporte físico periférico, programa tareas, asigna el almacenaje, y presenta un interfaz al usuario cuando ningún programa de aplicación se ejecuta; algunos ejemplos de él son DOS, UNIX y Windows NT.

El otro sistema se refiere a la secuencia de instrucciones o código, almacenado en un archivo y escritas en un lenguaje, que una computadora puede interpretar y ejecutar; es decir nos referimos al programa de computadora desarrollado para realizar la audiometría tonal.

A continuación se presenta en la figura 6, la imagen de la primera interfaz de usuario.

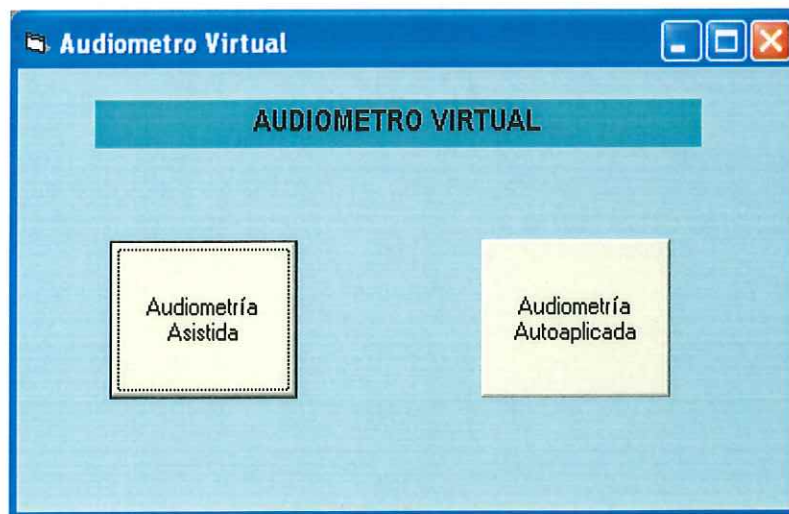


Figura 6. Imagen de la pantalla inicial.

La figura 7 muestra la interfaz que se presenta al seleccionar la opción “*audiometría autoaplicada*” de la figura 6. En la interfaz de guía de funcionamiento se tiene la opción de “*ver vídeo*” la cual mostrará las condiciones a verificar antes del inicio de la audiometría tonal y la forma de utilizar el equipo.

El botón de “*Detener vídeo*” ocasiona que se cancele la reproducción del vídeo, pudiendo iniciar de nuevo al presionar el correspondiente botón de “*ver vídeo*”.

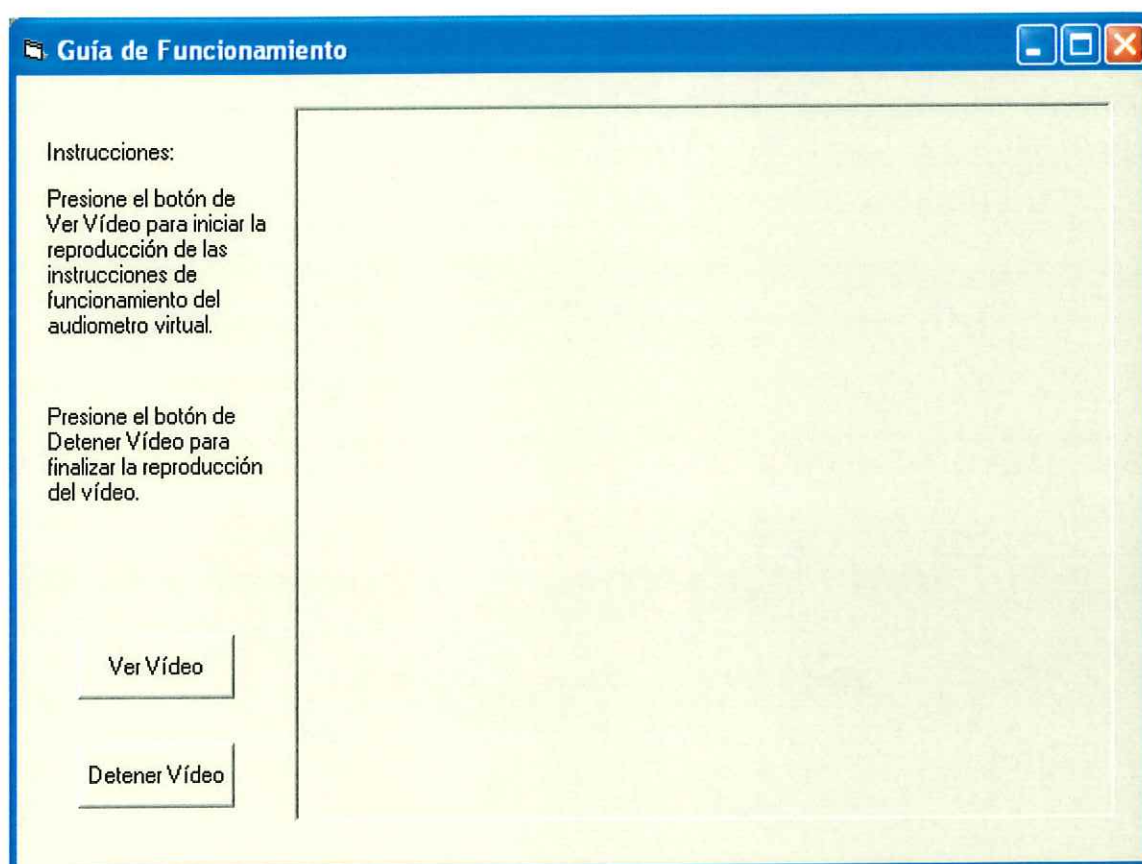


Figura 7. Imagen de la guía de funcionamiento.

Una vez cubierto el paso anterior se procede a la captura de datos del usuario, o si al inicio, en la interfaz de Audiómetro Virtual se seleccionó la opción de “*audiometría asistida*” la siguiente interfaz consecuentemente será la de la figura 8.

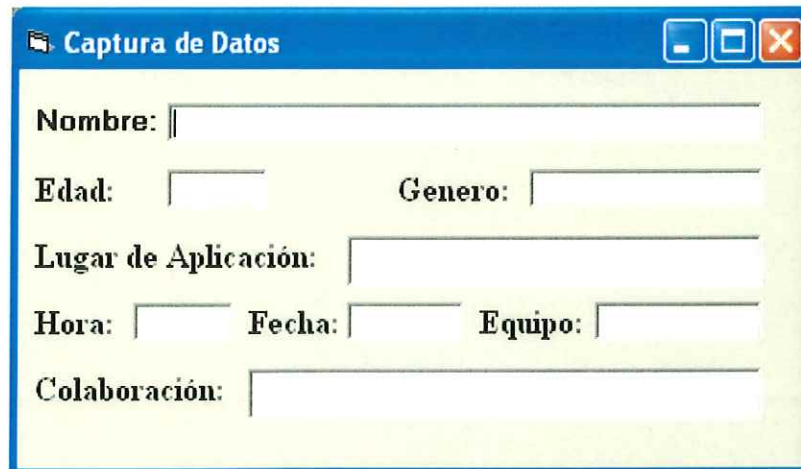


Figura 8. Ventana de captura de datos.

Una vez capturada la información del usuario, el sistema procede a la verificación de las condiciones críticas respecto al hardware del sistema; terminado este proceso se mostrará el resultado de la operación en una interfaz como la que se muestra en la figura 9.

Si el resultado de la verificación fuese negativo, se indicará en una interfaz similar, pero con un mensaje que indique la causa por la que la audiometría no puede ser realizada.



Figura 9. Listado de verificación antes de la aplicación de la audiometría.

El sistema esperará hasta que el usuario presione el botón de aceptar para continuar con el siguiente paso, mostrado en la interfaz de la figura 10, que es el inicio de la audiometría si es presionado el botón de “*INICIAR*”.

Caso contrario si el botón presionado es el de “*SALIR*” el sistema regresará al usuario a la primera interfaz, mostrada en la figura 6.

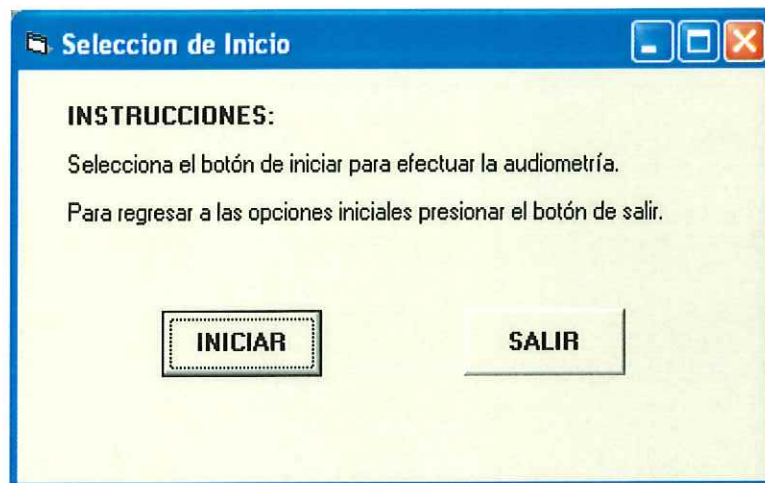


Figura 10. Inicio de audiometría.

Si la opción elegida en la interfaz de *Selección de Inicio* fue la de “*INICIAR*”, entonces la audiometría tonal procederá a capturar las respuestas del usuario.

Estas respuestas se indican presionando un botón predeterminado del teclado, y lo que indican es cual tono puro del rango mostrado en el audiograma.

Los tonos están expresados como frecuencias, indicadas en Hertz, y con cierta intensidad, indicada en decibeles.

Durante el transcurso de la audiometría tonal el usuario observará el mensaje mostrado en la interfaz de la figura 11, al concluir mostrará un mensaje que indique esto al usuario. Se cuenta con la opción de cancelar el proceso, si el botón de “*CANCELAR*” es presionado,

esto detendrá la captura de respuestas dando por terminado el proceso de la audiometría, y mostrará la interfaz inicial.

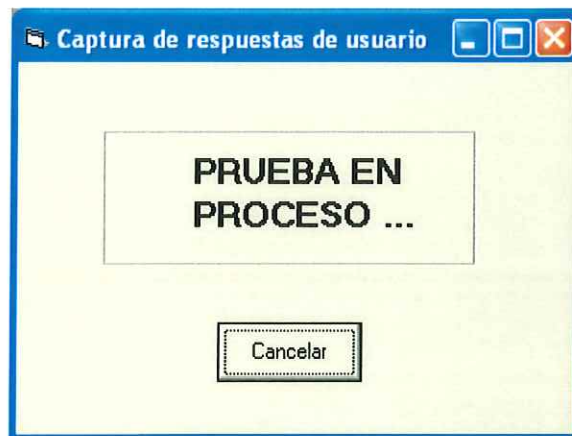


Figura 11. Captura de respuestas a la audiometría.

Cuando el proceso de la audiometría tonal concluye, el sistema muestra al usuario la interfaz de la figura 12, dando la opción de elegir la forma en que se obtendrá el audiograma, si se presiona el botón de "IMPRESORA", se imprimirá en el dispositivo que se encuentre conectado; caso contrario, es decir se selecciona el botón de "ARCHIVO", se almacenará en formato electrónico.

Al finalizar cualquiera de las opciones regresará a la primera interfaz (ver figura 6).

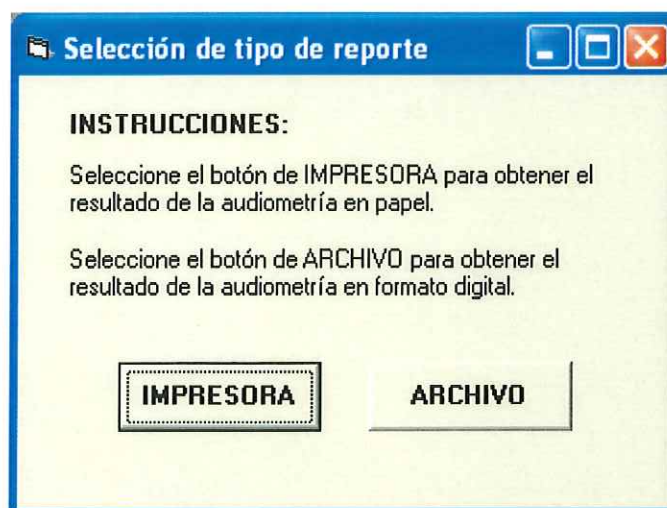


Figura 12. Ventana que muestra las opciones de reporte.

3.4 PROGRAMACIÓN.

El software utilizado para desarrollar el programa de computadora encargado de realizar las actividades de la audiometría tonal fue *Microsoft Visual Studio 6.0 Professional Edition*, los lenguajes de programación seleccionados, fueron Visual Basic versión 6.0, para la interfaz y Visual C++ para las funciones; el programa se le llamó "audiometría virtual" debido a que simula las funciones de una audiometría tonal como si realmente se estuvieran generando los tonos con un audiómetro, el aparato eléctrico que sirve para medir la audición tanto en el umbral como en el dintel, utilizando un juego de sonidos e imágenes producidos por la computadora.

3.4.1 PROGRAMA QUE REALIZA LA AUDIOMETRÍA TONAL.

Para indicar la relación entre las diferentes interfaces de usuario, a continuación se presenta la representación gráfica de la sucesión de hechos de acuerdo a las opciones que se seleccionan en el programa "audiometría tonal".

En este diagrama a bloques, figura 13, se presenta cada uno de los procesos subsecuentes a la elección de cada opción presente en el programa de computadora mencionado anteriormente. El listado del programa se presenta en el apéndice II.

Inicia con la pantalla principal, indicado con el número 1, lugar donde se encuentran especificadas las funciones que se realizan en la audiometría tonal; la información que se muestra es: un título general, en el cuerpo de la ventana y en la franja superior; hay un listado de opciones que el usuario elige dependiendo de la acción a realizar. Una de las

principales opciones a elegir es si se desea realizar una auto aplicación de la audiometría o si la realiza con la asistencia de un técnico.

Tomada la opción mostrada como número dos en el diagrama de bloques, que es la elección de audiometría asistida por un técnico, se procede a la captura de los datos de la persona a la que se le aplica la prueba, especificados en el punto 3.2.1, terminada la recopilación de la información, el siguiente paso es el cuatro, donde la persona encargada de aplicar la audiometría revisa que las condiciones para realizar la prueba se cumplan, incluyendo la verificación de la correcta posición de los audífonos.

Una vez cumplidas las condiciones anteriores, se da inicio a la prueba, indicado como bloque número cinco, es decir se envía los sonidos a través de los audífonos, consistiendo en el envío de una señal inicial de intensidad media, 1000 Hz a una intensidad de 60Db, con la finalidad de que la persona identifique la señal verificando que las señales realmente se envíen por los auriculares.

Después de la señal de prueba se inicia el envío de señales en una secuencia creciente en frecuencia e intensidad, hasta finalizar la muestra indicada en el audiograma.

En el bloque seis se realiza la captura de las respuestas del usuario, ignorando la primera señal de prueba, consisten en la indicación a través de pulsar un botón que se ha escuchado un sonido.

Una vez concluido el envío de tonos, con cierta frecuencia e intensidad, se continúa con el bloque siete, que es la realización del gráfico que muestra los umbrales de audición de cada uno de los oídos, izquierdo y derecho, del la persona sometida a la audiometría.

En el audiograma se muestran cada una de las respuestas dadas por el usuario, enseguida se presenta la opción de imprimir el resultado de la audiometría, indicado en el bloque

ocho; o la de guardar la información en un archivo, que posteriormente se puede obtener una copia impresa.

Si se selecciona la opción de auto aplicación, indicada en el bloque 2a, significa que se presentará al usuario una guía del funcionamiento del sistema, como muestra el bloque 3a; concluido ese bloque se procede en el bloque tres y se sigue la secuencia como se explico anteriormente.

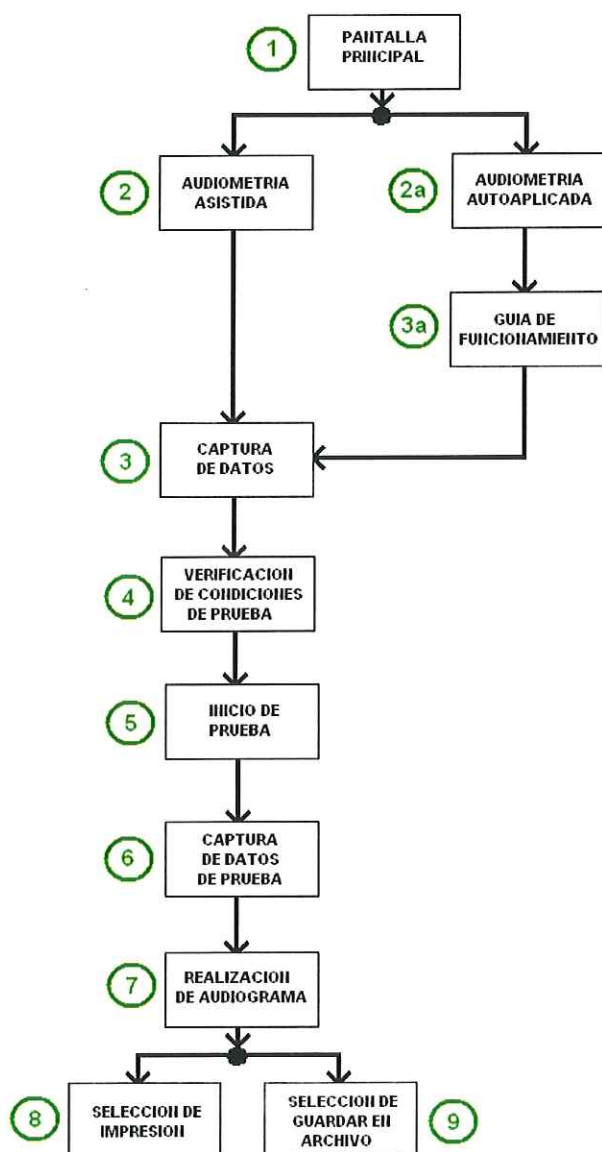


Figura 13. Diagrama a bloques del software de audiometría tonal.

3.5 PROCEDIMIENTO.

1. Desarrollar un esquema lógico, que ubicará el tema de estudio y ayudará a detectar variables.

El tema de estudio se identificó como perteneciente al área de bioingeniería, dado que se considera como la aplicación de los conocimientos de la ciencia médica y la ingeniería en beneficio del hombre.

La Bioingeniería es la aplicación de las técnicas y las ideas de la ingeniería a la biología, concretamente a la biología humana; el sector que se refiere a la medicina, puede llamarse más adecuadamente Ingeniería Biomédica.

2. Identificar las características de los elementos fundamentales del estudio, que en este caso son los tonos puros sus características y la cantidad de ellas.

Un tono puro se identificó como la oscilación periódica armónica dentro del campo de sonidos audibles, caracterizado por una altura tonal o frecuencia en Hertz, con una intensidad en decibeles.

Se identificó a otro elemento que es el ruido blanco, creado al mezclar todas las frecuencias audibles de los 18 a 20,000 Hz; es utilizado en el ensordecimiento de un oído mientras el otro recibe las señales de tonos puros.

3. Identificar y elegir a los elementos de hardware del sistema de cómputo, que cumplan con las características de funcionamiento y el sistema operativo en el que se desarrollará el software.

El elemento de hardware crítico es la tarjeta de sonido, que además tiene requisitos mínimos de hardware para funcionar de manera correcta, aunado a los requerimientos del paquete de software, éstos dos fueron los elementos que delimitaron las características mínimas del sistema.

4. Establecer los estándares para la generación de señales en audiómetros puros.

En la parte de los estándares existe uno que describe las especificaciones para audiómetros, ANSI S3.6-1996, establecido por la Sociedad Acústica de América.

5. Generación de señales utilizando la computadora.

La generación de señales se realizó a través de la tarjeta de sonido de 24 bits, que indicara en sus especificaciones que era capaz de generar las señales a las frecuencias e intensidades indicadas en el estándar.

6. Evaluación de las señales requeridas y corrección.

Se realizaron mediciones de las señales y se compararon con las especificadas en la norma ANSI S3.6-1996.

7. Integración del audiómetro tonal en la computadora.

Se reunieron los diferentes componentes del sistema, el software que captura la información de los usuarios, la parte de los tonos puros y la interfaz de usuario.

8. Pruebas y validaciones del sistema contra otras eventualidades físicas.

Las pruebas realizadas en los diferentes sistemas operativos con diferentes características de hardware determinaron el rango de características necesarias para el funcionamiento establecido del sistema final.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS.

En el presente capítulo se describe el análisis de los resultados obtenidos de las audiometrías tonales del audiómetro virtual, éstos resultados son comparados con lo especificado en el estándar ANSI S3.6-1996 de la Sociedad Acústica de América.

4.1. MÍNIMO DE ELEMENTOS REQUERIDOS PARA EL AUDIOMETRO.

Para cada tipo de audiómetro, existen diferentes elementos que hacen identificarlos uno de otros, en la tabla 1 se muestra una lista de elementos, y en la columna a su derecha una marca de ✓ que indica que el audiómetro virtual contiene ese elemento.

Tabla 1. Especificaciones mínimas de los audiómetros.

ELEMENTOS CONTENIDOS	
Transductor:	
Dos audífonos	✓
Auriculares de inserción	
Niveles de audición y frecuencias de prueba	✓
Conmutación de señales de prueba:	
Presentación/interrupción	✓
Tono pulsado	✓
Modulación de frecuencia	
Tono de referencia:	

Presentación alternada	✓
Presentación simultánea	✓
Enmascaramiento:	
Sonido de banda angosta	
Ruido blanco	✓
Ruta de enmascaramiento:	
Auricular contra lateral o contrario	✓
Sistema sujeto a respuesta	✓
Indicador de señal	✓
Monitoreo audible de la señal de prueba	✓
Operador para establecer comunicación verbal	✓

Respecto a la tabla anterior, se observa que el audiómetro virtual cumple con los requerimientos mínimos especificados en el estándar.

4.2. FRECUENCIAS Y NIVELES DE AUDICION.

Los resultados de las mediciones en el laboratorio del audiómetro virtual respecto a frecuencias y niveles de audición se encuentran en el apéndice I

En la figura 14 se presenta la distorsión medida en cada una de las señales en la frecuencia de 125 Hz, la cual se puede tomar como muestra representativa de la distorsión presente en los tonos generados, debido a que el comportamiento manifestado es el mismo en el resto de las frecuencias; la distorsión presente en la señal generada por

la tarjeta de sonido es muy grande en las frecuencias bajas con un nivel de sonido bajo, y va disminuyendo conforme aumentan los decibeles.

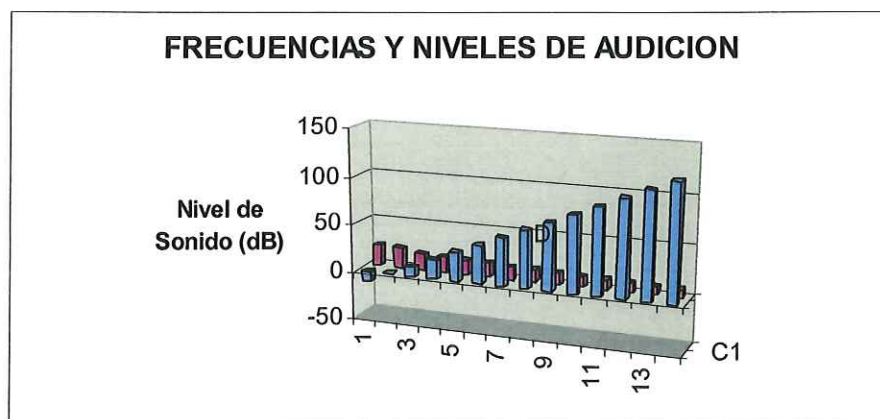


Figura 14. Distorsión presente en las señales generadas.

Para medir las señales, el procedimiento fue: a) se generó una señal con una tarjeta de adquisición de datos en un dispositivo externo que cumpla con las características especificadas en la norma; b) se midió la señal que genera el audiómetro virtual con las mismas características y c) se compararon las dos señales y así se determinó si la señal generada por el audiómetro virtual cumplía con las especificaciones del estándar; la información obtenida se vació en la tabla del apéndice I.

Los resultados de la medición muestran que las señales generadas por el audiómetro virtual a través de la tarjeta de sonido, no cumplen con las especificaciones del estándar ya que el porcentaje de distorsión de las señales es mayor a 5.5% que es el indicado en el estándar, la mayor deficiencia se presenta en las señales de menor frecuencia y con menor nivel de sonido.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que aún cuando es posible generar el intervalo de señales requeridas con 24 bits, que es la capacidad de la tarjeta de sonido, y de entregar resultados en forma de audiograma, el audiómetro virtual no fue capaz de cumplir con los tonos puros requeridos en el estándar ANSI S3.6-1996; algunas de las razones son la presencia de ruido en la salida de audio de la tarjeta de sonido de la computadora, inherente al diseño de la misma y la inducción magnética de los demás elementos que la conforman, por lo tanto se concluye que para que un equipo de computo con las tarjetas de sonido actuales no puede emular las funciones de un audiómetro tonal.

En forma independiente se encontraron resultados que concuerdan con la conclusión de este trabajo, la compañía LEQ INGENIEROS establecida en Madrid España dedicada al desarrollo de instrumentos de medición realizó pruebas para el desarrollo de un audiómetro virtual utilizando una computadora con tarjeta de sonido de 16 bits, pero tampoco las señales cumplían los parámetros requeridos en la norma europea EN 60645-1.

Para poder utilizar una computadora en la automatización de una audiometría se propone el desarrollo de un modulo de circuitería externa, que no se vea afectado por lo mencionado anteriormente y el equipo de computo controlará la frecuencia, amplitud y tiempo de duración de la señal a aplicar.

Otra propuesta es el desarrollo de una tarjeta de sonido con los elementos físicos capaces de generar las señales de acuerdo a las especificaciones de la norma ANSI S3.6-1996.

BIBLIOGRAFÍA.

Manual para la elaboración de tesis

Berenice Ibáñez Brambila

Editorial Trillas

Año 1995

Lugar: México

ISBN 968-24-4958-8

Manual de Audiología.

En Medicina Ocupacional

Dra. Evangelina Hernández Aceves y Dra. Matilde Castro Díaz

Año 2001

Manual del usuario

Osciloscopio de almacenamiento digital de las series TDS1000 y TDS2000

Tektronix

Ingeniería del Software Un enfoque práctico

Quinta Edición

Pressman, Roger S.

Editorial Mc Graw Hill

Año 2002

Lugar: Madrid

ISBN 8448132149

Ingeniería de software

Teoría y práctica

Lawrence Pfleeger, Shari

Editorial Pearson Educación

Año 2002

Lugar: Argentina

ISBN 987-9460-71-5

Anatomía de Last

Regional y aplicada

Sinnatamby, Chummy S.

Editorial Paidotribo

Año 2003

Lugar: Barcelona, España

ISBN 848019670X

Principios de Audio Digital
Pohlmann, Ken C.
Editorial McGraw-Hill Interamericana
Año 2002
Lugar Madrid, España
ISBN 844813625X

Audio Digital
Watkitson, John
Editorial Paraninfo
Año 1996
Lugar: Madrid, España
ISBN 8428323194

Digital Audio Processing
Coulter, Doug
Editorial R&D
Año 2000
Lugar England
ISBN 0-87930-566-5

APENDICE I

MEDICIÓN DE FRECUENCIAS Y NIVELES DE AUDICIÓN.

Nivel de Sonido (dB HL)	FRECUENCIA (Hz)	DISTORSIÓN ARMÓNICA (%)	CUMPLE
-10	125	22	no
	250	22	no
	500	22	no
	1000	22	no
	2000	21	no
	3000	21	no
	4000	21	no
	5000	21	no
	6000	20	no
	7000	20	no
	8000	20	no
0	125	21	no
	250	21	no
	500	21	no
	1000	21	no
	2000	21	no
	3000	21	no
	4000	21	no
	5000	20	no
	6000	20	no
	7000	20	no
	8000	20	no
10	125	17	no
	250	17	no
	500	17	no
	1000	17	no
	2000	16	no
	3000	16	no
	4000	16	no
	5000	16	no

	6000	16	no
	7000	16	no
	8000	16	no
20	125	16	no
	250	16	no
	500	16	no
	1000	16	no
	2000	16	no
	3000	15	no
	4000	15	no
	5000	15	no
	6000	15	no
	7000	15	no
	8000	15	no
30	125	15	no
	250	15	no
	500	15	no
	1000	15	no
	2000	15	no
	3000	15	no
	4000	15	no
	5000	15	no
	6000	15	no
	7000	15	no
	8000	15	no
40	125	15	no
	250	15	no
	500	15	no
	1000	14	no
	2000	14	no
	3000	13	no
	4000	13	no
	5000	13	no
	6000	13	no

	7000	13	no
	8000	13	no
50	125	13	no
	250	13	no
	500	13	no
	1000	13	no
	2000	13	no
	3000	13	no
	4000	13	no
	5000	13	no
	6000	13	no
	7000	13	no
	8000	13	no
60	125	13	no
	250	13	no
	500	12	no
	1000	12	no
	2000	12	no
	3000	12	no
	4000	12	no
	5000	12	no
	6000	12	no
	7000	12	no
	8000	12	no
70	125	12	no
	250	12	no
	500	12	no
	1000	11	no
	2000	11	no
	3000	11	no
	4000	11	no
	5000	11	no
	6000	11	no
	7000	11	no

	8000	11	no
80	125	11	no
	250	11	no
	500	11	no
	1000	11	no
	2000	11	no
	3000	11	no
	4000	11	no
	5000	11	no
	6000	11	no
	7000	11	no
	8000	11	no
90	125	10	no
	250	10	no
	500	10	no
	1000	10	no
	2000	10	no
	3000	10	no
	4000	10	no
	5000	10	no
	6000	10	no
	7000	10	no
	8000	10	no
100	125	10	no
	250	10	no
	500	10	no
	1000	10	no
	2000	8	no
	3000	8	no
	4000	8	no
	5000	8	no
	6000	8	no
	7000	8	no
	8000	8	no

110	125	8	no
	250	8	no
	500	8	no
	1000	8	no
	2000	8	no
	3000	8	no
	4000	8	no
	5000	8	no
	6000	8	no
	7000	8	no
	8000	8	no
120	125	8	no
	250	8	no
	500	8	no
	1000	8	no
	2000	8	no
	3000	8	no
	4000	8	no
	5000	8	no
	6000	8	no
	7000	8	no
	8000	8	no

APENDICE II

LISTADO DEL PROGRAMA.

```
//-----
#include <vcl.h>
#include <time.h>
#include <stdio.h>
#pragma hdrstop

#include "sonido.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
time_t start;
time_t stop;
int repeat = 1;
int actual=0;
char *wavs[]={"125.wav","250.wav","500.wav","750.wav","1000.wav","1500.wav",
              "2000.wav","3000.wav","4000.wav","6000.wav","8000.wav"};

int x[11],y[11];

TForm1 *Form1;
//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
}
//-----

void __fastcall TForm1::botonClick(TObject *Sender)
{
    boton->Enabled=false;
    if(repeat) {

        repeat=0;
        boton->Caption="Stop";
        start = time(NULL);
        MediaPlayer1->FileName=wavs[actual];
        if(actual<10)
        {
            MediaPlayer1->Open();
        }
    }
}
```

```

        MediaPlayer1->Play();
        Edit1->Text=actual;
        boton->Enabled=true;
        actual++;
    }
}
else {

    char tiempo[60];
    repeat=1;
    boton->Caption="Play";
    stop=time(NULL);
    sprintf(tiempo,"El tiempo fue %d",stop-start);
    y[actual]=(stop-start)*10;
    x[actual]=actual*10;
    Edit1->Text=tiempo;
    MediaPlayer1->Stop();
    start=0;
    if(actual<10)
        boton->Enabled=true;
    else
    {
        PaintBox1->Canvas->MoveTo(x[0],y[0]);
        for(int i=0;i<10;i++)
            PaintBox1->Canvas->LineTo(x[i],y[i]);
    }
}

//-----
void __fastcall TForm1::Timer1Timer(TObject *Sender)
{
    if(start)
    {
        stop=time(NULL);
        if((stop-start)>10)
        {
            Edit1->Text="No pues ya te la pelaste, tas sordo";
            MediaPlayer1->Stop();
            boton->Caption="Start";
            repeat=1;
        }
    }
}

```

```

}
}

//-----
#ifndef sonidoH
#define sonidoH
//-----
#include <Classes.hpp>
#include <Controls.hpp>
#include <StdCtrls.hpp>
#include <Forms.hpp>
#include <ExtCtrls.hpp>
#include <MPlayer.hpp>
//-----
class TForm1 : public TForm
{
__published: // IDE-managed Components
    TButton *boton;
    TEdit *Edit1;
    TMediaPlayer *MediaPlayer1;
    TTimer *Timer1;
    TPaintBox *PaintBox1;
    void __fastcall botonClick(TObject *Sender);
    void __fastcall Timer1Timer(TObject *Sender);

private: // User declarations
public: // User declarations
    __fastcall TForm1(TComponent* Owner);
};
//-----
extern PACKAGE TForm1 *Form1;
//-----
#endif

//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
USERES("Project1.res");
USEFORM("sonido.cpp", Form1);
//-----
WINAPI WinMain(HINSTANCE, HINSTANCE, LPSTR, int)

```

```
{
    try
    {
        Application->Initialize();
        Application->CreateForm(__classid(TForm1), &Form1);
        Application->Run();
    }
    catch (Exception &exception)
    {
        Application->ShowException(&exception);
    }
    return 0;
}
//-----
```