

FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PARA REALIZAR PRUEBAS DE AUDIOMETRÍA

RESUMEN

El objetivo de este artículo es el de mostrar los fundamentos teóricos necesarios que se requieren para el diseño e implementación de un equipo didáctico para realizar pruebas de audiometría.

PALABRAS CLAVES: audiometría, instrumentación, fundamentos, pruebas.

ABSTRACT

The objective of this article is explain the necessary theoretical foundations required for the design and implementation of didactic equipment for audiometry tests.

KEYWORDS: Audiometry, instrumentation, foundations, tests.

1. INTRODUCCIÓN

La maestría en Instrumentación Física de la Universidad Tecnológica de Pereira en el área de la instrumentación biomédica hasta la realización de este trabajo, no contaba con dispositivos de laboratorio que facilitaran a los estudiantes reafirmar sus conocimientos teóricos y medir las diferentes variables producidas y medidas en una prueba de audiometría. Se presentan en este artículo los fundamentos requeridos para el diseño, e implementación de un equipo de audiometría, de tipo didáctico, mediante el cual los estudiantes de la línea de instrumentación biomédica de esta maestría podrán tener experiencia en todo lo que corresponde al diseño e implementación de la instrumentación requerida y la realización de pruebas de audiometría, área muy importante dentro del campo de la instrumentación biomédica.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El oído [1]

2.1.1 Partes del oído (ver figura 1)

Oído Externo

El pabellón auditivo (aurícula) – recoge y canaliza el sonido hacia el canal auditivo. El canal auditivo externo dirige el sonido dentro del oído hasta llegar al tímpano.

Oído Medio

El tímpano (membrana timpánica) – convierte el sonido entrante en vibraciones. La cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo) transfiere las vibraciones hacia el oído interno.

Oído Interno

El oído interno (cóclea) – contiene fluido y unas células altamente sensibles (células ciliadas), que se mueven en respuesta a la vibración. El sistema vestibular, contiene células que controlan nuestro sentido del equilibrio. El nervio auditivo transmite la información sonora desde la cóclea al cerebro.

2.1.2 Proceso de audición [2]: El sonido es recogido por el oído y canalizado a través del canal auditivo externo hasta llegar al tímpano.

El tímpano convierte el sonido entrante en vibraciones.

JAVIER VILLAMIZAR PINZÓN

Profesor

U. Antonio Nariño- Bogotá D.C.

Magister en instrumentación física

javillaster@hotmail.com

LUIS ENRIQUE LLAMOSA R.

Profesor Titular

Departamento de Física

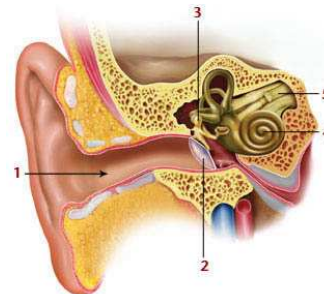
U. Tecnológica de Pereira

lellamo@utp.edu.co

La cadena de huesecillos se pone en movimiento por las vibraciones, transfiriéndolas a la cóclea.

El fluido en la cóclea comienza a moverse, estimulando las células ciliadas. Las células ciliadas crean señales eléctricas que son recogidas por el nervio auditivo. Las células ciliadas del extremo superior (apical) de la cóclea envían el sonido de baja frecuencia, y las células ciliadas del extremo inferior (basal) envían el sonido de alta frecuencia. El cerebro interpreta las señales eléctricas como sonidos.

Figura 1. Anatomía del oído. 1. Oído externo 2. Tímpano 3. Huesecillos 4. Cóclea 5. Nervio auditivo



Fuente: http://www.medel.com/spanish/01_About_Hearing/01_TheAnatomy_of_the_Ear.php?navid=2

2.1.3 Equipos utilizados para el diagnóstico de las patologías [3]

2.1.3.1 El Audiómetro: Aparato de alta tecnología que consiste básicamente en:

- Un generador de distintas frecuencias de sonido; este instrumento emite tonos puros, sonidos que el ser humano no está acostumbrado a escuchar, ya que no existen como tal en la vida diaria. Las frecuencias estudiadas son: 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 3000 - 4000 - 6000 y 8000 ciclos/segundo o Hz [3].
- Un atenuador de intensidad en decibelios entre 0 y 110.
- Un generador de ruidos enmascarantes.
- Un micrófono para comunicarse con el paciente y realizar la discriminación de la palabra.

La audiometría electrónica permite estudiar:

-El umbral auditivo, es decir, la intensidad mínima audible para cada frecuencia, técnica que se conoce con el nombre de audiometría tonal umbral.

-Ciertos fenómenos fisiopatológicos que se producen en las hipoacusias sensoriales (pruebas supraliminales).

-La comprensión de la palabra, es decir, la capacidad que tiene el oído y la vía auditiva de discriminar un término de otro.

2.1.3.2 Audiometría [4]: La Audiometría es un examen que tiene por objeto cifrar las alteraciones de la audición en relación con los estímulos acústicos, resultados que se anotan en un gráfico denominado audiograma.

Para realizar e interpretar la audiometría es necesario entonces conocer:

-Las vibraciones acústicas.

-La fisiología de la audición.

-La fisiopatología de la audición.

El oído está constituido por dos grupos de estructuras anatómicas:

-El aparato de conducción (oído externo y oído medio) que transmite las vibraciones acústicas al oído interno; su fisiología está esencialmente regida por las leyes de la física; sus trastornos pueden estar cifrados claramente en relación con las unidades físicas.

-El aparato de percepción que constituye el órgano sensorial (oído interno, cóclea, fibras nerviosas y centros auditivos superiores).

2.1.3.3 El audiograma [5]: Un audiograma es un gráfico que ilustra la audición de las personas en cada uno de los oídos, indicando el grado y tipo de pérdida auditiva.

El método utilizado para recoger la información se llama audiometría de tono puro y puede cuantificar el grado de pérdida auditiva, el lugar de lesión y, en algunos casos, el origen de la pérdida auditiva.

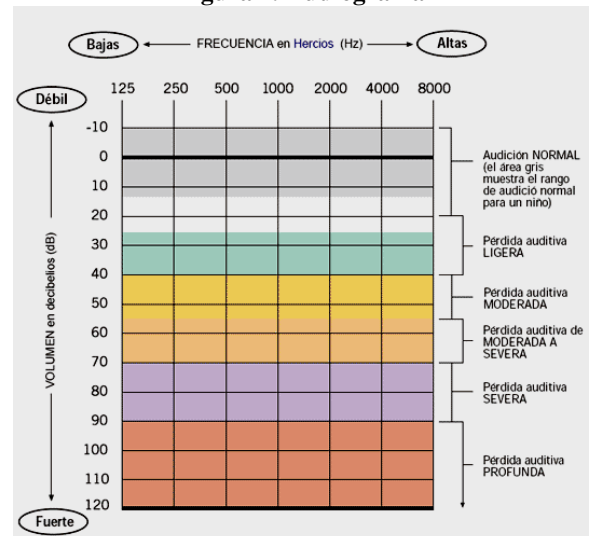
El audiograma muestra el umbral auditivo para distintas frecuencias. El umbral auditivo se mide y se define como la intensidad más baja a la que el oyente puede identificar la presencia de la señal al menos el 50% de las veces.

En el audiograma, la parte superior del gráfico muestra el tono (frecuencia) de los sonidos, desde baja a alta frecuencia. La intensidad del sonido, también llamado Nivel Auditivo, se mide en decibelios (dB) desde sonidos de baja a alta intensidad.

Se define como Nivel Auditivo la desviación en dB entre el umbral auditivo de un individuo y el nivel cero de referencia. El nivel cero de referencia es el umbral auditivo de la media normal de una persona joven. La audición normal no está solo en la línea cero, sino también el rango comprendido hasta 20 dBHL estaría considerado normal.

Las desviaciones a partir de este rango (0-20 dBHL) se consideran "Pérdida Auditiva" y están determinadas por el grado de severidad, por ejemplo pérdidas auditivas leves, pérdidas auditivas moderadas, pérdidas auditivas severas y pérdidas auditivas profundas (ver figura 5).

Figura 2. Audiograma



Fuente: http://www.medel.com/spanish/img/audiogramm_gross.gif

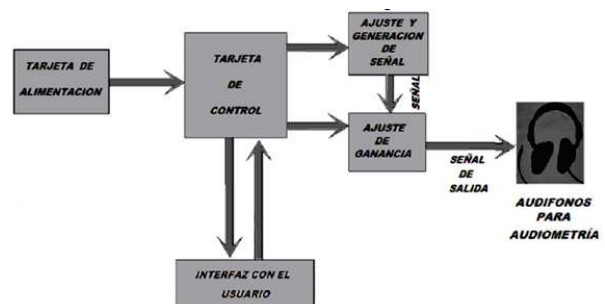
3. DISEÑO INGENIERIL Y GUÍA PARA LA UTILIZACIÓN DEL AUDIOMETRO DIGITAL DISEÑADO Y CONSTRUIDO

El Audiómetro diseñado, está compuesto por tarjetas electrónicas, que cumplen distintas funciones (ver Figura 3). El dispositivo tiene la capacidad de generar señales sinusoidales de distintas frecuencias y amplitudes (intensidades). El rango de frecuencias es desde 125 hasta 12000 Hz. El rango de intensidades es de 0 hasta 75 dB, con valores que varían de 5 en 5 dB.

Quien opera el Audiómetro selecciona la frecuencia e intensidad de la señal de salida, de acuerdo al procedimiento de la audiometría con el paciente.

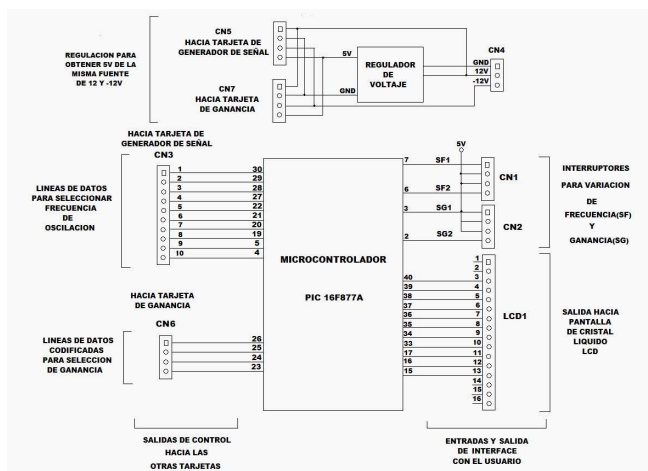
El usuario es notificado del valor de frecuencia y ganancia de la señal, por medio de una pantalla LCD.

Figura 3. Diagrama en bloques del Audiómetro digital



Descripción Tarjeta de Control: La Tarjeta de Control (figuras 3), recibe las órdenes del usuario (Frecuencia e Intensidad), y envía a su vez las correspondientes órdenes a las Tarjetas de Generación de Señal y de Ganancia, para formar así la señal de salida. Esta tarjeta está compuesta principalmente por un micro controlador PIC 16F877A, que permite procesar las ordenes y controlar así las demás tarjetas (figura 4).

Figura 4 Diagrama en bloques de la tarjeta de control



3.1 Guía de laboratorio para la utilización del audiómetro digital

3.1.1 Introducción: Se realiza mediante esta guía un breve pero completo análisis del funcionamiento del audiómetro digital diseñado y construido. Su uso permite encontrar falencias en la capacidad auditiva de las personas, descartar las sospechas de las mismas, verificar el resultado de las cirugías en el oído y/o diagnosticar su realización, entre otras cosas. Es un dispositivo que realiza las funciones básicas de un audiómetro, pero con dispositivos de fácil consecución en el comercio Nacional.

3.1.2 Objetivo: Realizar la presentación de una guía de tipo didáctico, tanto para el docente como para el estudiante, que permita realizar una práctica de audiometría con el equipo diseñado y construido para este fin.

3.1.3 Definiciones [6]:

Intensidad. Es la característica del sonido por la cual el oído distingue sonidos fuertes de sonidos débiles. La intensidad está relacionada con la cantidad de energía que transporta una onda sonora en la unidad de tiempo a través de la unidad de superficie.

Tono: Es otra característica relacionada con la percepción del sonido y corresponde a un sonido de mayor o menor frecuencia, es decir el oído de una persona puede distinguir sonidos graves y agudos por tanto cuanto mayor sea la frecuencia, el sonido es agudo y si la frecuencia es baja el tono será grave.

Audiometría: Examen que cifra las pérdidas auditivas y determina la magnitud de éstas en relación con las vibraciones acústicas.

La realización de la prueba consiste en determinar, mediante el envío de tonos a través del audiómetro, la intensidad mínima a la que el paciente percibe el tono puro para la frecuencia estudiada. Esta intensidad es conocida como "umbral auditivo".

El procedimiento se repite para cada una de las frecuencias y para cada oído.

Ruido: Se define como una señal ajena a la señal de estudio, provocando errores en el sistema de medida.

Interferencia: Señales externas a nuestro sistema, que pueden seguir una evolución temporal en el tiempo y espacio.

Acúfeno: Alucinación auditiva.

3.1.4 Requerimientos previos: Familiarícese con el audiómetro digital. Lea el manual técnico, en donde encontrará la teoría, especificaciones técnicas del equipo, sus partes y operación del mismo. Antes de realizar la audiometría tonal el paciente no debe tener anomalías o alteraciones en el conducto auditivo externo que puedan condicionar el resultado del examen.

Los siguientes son los requerimientos generales que se deben cumplir para realizar una Audiometría correctamente.

3.1.4.1 Fisiológicos.

El paciente debe de tener un descanso auditivo (tiempo de no exposición a ruido) entre 8 y 16 horas. De lo contrario, las gráficas obtenidas no serían reales y se podrían diagnosticar hipoacusias cuando en realidad se estuviera ante pérdidas temporales del umbral (Fatiga). Legalmente, este período se limita a 15 minutos. La norma ISO 6189.1983 recomienda que el sujeto a explorar lleve protectores auditivos el día del test e incluso el día anterior y sugiere la no exposición a ruidos elevados.

Otro factor fisiológico del paciente que debe tenerse en cuenta, es la percepción de estímulos por el oído no explorado. Es lo que se denomina: audición cruzada (MASKING) lo cual también daría una curva audiométrica falsa.

3.1.4.2 Del procedimiento: Según sea el procedimiento personal para la realización de la prueba, el resultado de la audiometría puede variar considerablemente, por lo que debe seguir paso a paso con lo siguiente:

- El paciente no debe ver la manipulación del audiómetro.
- Dar una instrucción al paciente de lo que debe y de lo que no debe hacer mientras dure la prueba, por ejemplo dar una explicación de los tonos que va a oír.
- Que levante la mano cuando oiga el sonido, aunque lo oiga "muy lejos", pero que esté seguro de oírlo.
- Que no efectúe movimientos corporales, gestos, risa, toz.
- Comprobar que ha comprendido la instrucción.
- Tener en cuenta la existencia de acufenos por parte del explorado para la utilización de tonos discontinuos o modulados.

- Por último, es conveniente empezar la exploración por el oído de mejor sensibilidad auditiva, pues así identificará mejor los tonos. El estudio se inicia buscando el umbral por vía aérea (conducto auditivo externo). La respuesta al estímulo se verificará un mínimo de 2 veces.

3.1.4.3 Psicológicos.

Del examinador: El operario del audiómetro, no debe juzgar nunca la capacidad auditiva del examinado, aunque la historia clínica o el contacto personal lleven a ello.

Del paciente: La simulación de diversas patologías o la mala colaboración son causa de error en la exploración. La experiencia del operario evita muchas veces un resultado inexacto aunque también existen pruebas objetivas para desenmascarar la manipulación.

3.2 Práctica de laboratorio:

Para realizar la práctica de Audiometría por vía aérea, y el posterior análisis de los resultados, cerciórese del buen funcionamiento del Audiómetro digital, en cuanto al nivel de ganancia en dB y la frecuencia que va a seleccionar, de acuerdo a los requerimientos descritos para el mismo.

3.2.1 Procedimiento

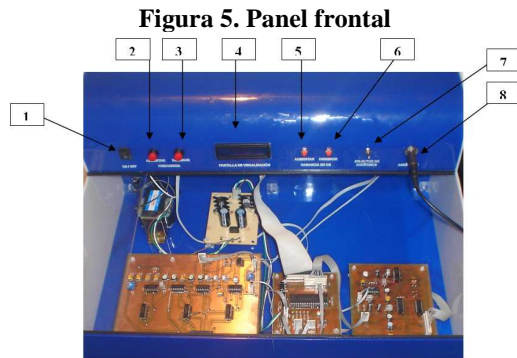
3.2.1.1 Examen Audiométrico

Realice un examen audiométrico por vía aérea, para lo cual es necesario un estudiante dispuesto a servir de paciente. Este examen requiere por parte de esta persona, de un total estado de conciencia y disposición. Como mínimo son necesarias dos personas: El paciente y el operario del dispositivo. No es recomendable que una misma persona realice las dos funciones a la vez.

Antes y durante la realización de la audiometría tonal por vía aérea, debe seguir las siguientes recomendaciones:

3.2.1.2 Procedimiento de la audiometría

La audiometría se hace para un oído del paciente en particular. Esto quiere decir que se realizarán dos audiometrías por paciente, una audiometría por cada oído. Quien realice la audiometría le presentará al estudiante que haga las veces de paciente una serie de sonidos de menor a mayor intensidad, teniendo este último que levantar la mano cada vez que lo oiga. La primera intensidad reconocida determinará nuestro umbral de audición (en dB), para esa frecuencia en concreto.

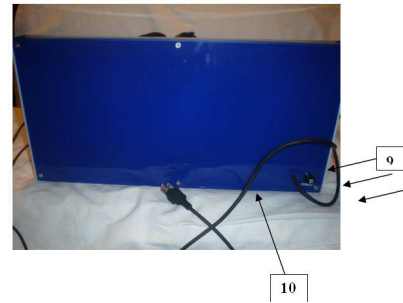


3.2.1.3 Partes del audiómetro digital (ver fig. 5 y 6)

- 1 Interruptor de ON/OFF
- 2 Interruptor para aumentar frecuencia en Hz
- 3 Interruptor para disminuir frecuencia en Hz
- 4 Pantalla en donde se visualiza la frecuencia en HZ y la ganancia en dB
- 5 Interruptor para aumentar ganancia en dB
- 6 Interruptor para disminuir ganancia en dB
- 7 Selector de audífono izquierdo o derecho
- 8 Conector de los audífonos
- 9 Fusible (250 mA) (panel posterior)

10 Cable de voltaje VAC (panel posterior)

Figura 6. Panel posterior



3.2.1.4 Pasos a seguir:

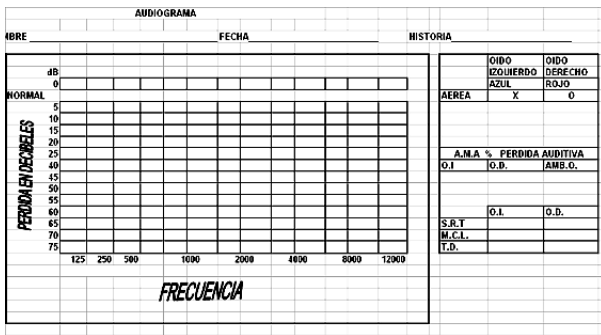
1. Prenda el audiómetro oprimiendo del botón 1 del panel frontal
2. En la pantalla aparece “NO HAY TONO”, aumente la ganancia y la frecuencia a utilizar, aparecerán en la pantalla los valores seleccionados.
3. Seleccione la frecuencia de la señal de salida en 1000Hz y la intensidad en 40dB. Luego disminuya la ganancia hasta 0dB. Aumente la intensidad (en dB) de la señal paulatinamente y registre en la tabla 1, el valor en dB al cual el paciente asegura percibir el sonido por primera vez. Compruebe este valor mediante el método de encuadramiento explicado con anterioridad.
4. Varíe la frecuencia a 2000 Hz, y ubique la intensidad en un valor 10 dB más pequeño que el umbral encontrado en 1000Hz. Explore esta frecuencia siguiendo la misma metodología ascendente.
5. Continúe la exploración de las frecuencias más agudas, es decir, 4000Hz, 8000Hz y 12000Hz.
6. Compruebe el umbral hallado para la frecuencia de 1000Hz. Es decir realice de nuevo el punto 1. Si los dos valores no coinciden, realice de nuevo los pasos 2, 3 y 4.
7. Ahora proceda a explorar las frecuencias graves. En este caso el procedimiento se hará en modo descendente, determinando primero el umbral para 500Hz, y luego para 250 y 125Hz.
8. Consigne los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Tabla de resultados obtenidos

Frecuencia Explorada (Hz)	Umbral de Audición (dB)
125	
250	
500	
1000	
2000	
4000	
8000	
12000	

9. Realice el Audiograma descriptivo (figura 7) de esta audiometría en particular.
10. Realice la audiometría para el otro oído, repitiendo todos los pasos anteriores.

Figura 7. Audiograma descriptivo

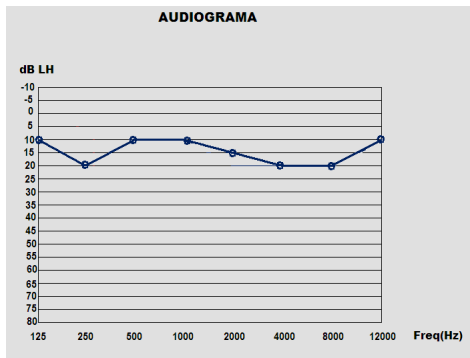


3.3 INTERPRETACIÓN DE LA AUDIOMETRIA

3.3.1 Audiogramas.

Los resultados de la prueba se recogen en dos gráficos, uno por cada oído denominados audiogramas. Estas gráficas expresan a qué intensidad oye la persona explorada en una determinada frecuencia. La intensidad de sonido se mide en decibelios (dB). Una pérdida de hasta 20 decibelios por debajo de la línea de referencia cero, puede incluso considerarse normal. Cada vía explorada se representa uniendo los puntos de frecuencia Vs ganancia, lo que arroja una línea en el audiograma. La figura 8, representa un audiograma completo del oído derecho de un sujeto normal. Siempre que en la gráfica audiométrica no exista ningún umbral superior a 25 dB se considera que la audiometría está dentro de los límites de normalidad; de no ser así, debe realizar otro procedimiento más especializado (se deberá explorar la vía ósea), el cual no se realiza con este equipo. El examen audiométrico en este caso se limitará a explorar únicamente la vía aérea.

Figura 8. Audiograma de una persona con audición normal.



3.3.2 Diagnóstico de pérdida auditiva.

Cuando no se cumplen las condiciones para una audiometría normal, mencionadas previamente, pueden presentarse algunas de las situaciones descritas a continuación.

Valores de referencia.

La pérdida auditiva o hipoacusia, se clasifica en función de la localización de la lesión como hipoacusia de conducción, hipoacusia de percepción y mixta. Pero

también puede clasificarse dependiendo del grado de severidad de la pérdida auditiva.

Se considera como normal una audiometría, cuando las vías aérea y ósea están entre 0 y 20 decibelios, encontrándonos con los siguientes grados:

Pérdida de audición mediana. Umbral entre los 25 y los 45 decibelios. Estas personas tienen cierta dificultad para escuchar o entender lo que se les está hablando a cierta distancia o en ambientes con cierto nivel de ruido de fondo

Pérdida de audición moderada. Umbral entre los 45 y los 65 decibelios. Imposibilidad de seguir una conversación normal si existe ruido de fondo, puede ser manifiesto cierto grado de aislamiento.

Pérdida auditiva severa. Umbral entre 65 y 85 decibelios. Dificultad para escuchar lo que se les está diciendo prácticamente en todas las situaciones.

Pérdida auditiva profunda. Umbral por debajo de los 85 decibelios. No perciben ningún tipo de sonido a su alrededor, aunque se les grite.

4. RESULTADOS OBTENIDOS Y ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL AUDIMETRO DIGITAL

En este punto se presentan los audiogramas realizados a dos pacientes (según la ética médica se restringe el nombre e identificación de los mismos), mostrando gráficamente en los audiogramas realizados, la respuesta, de acuerdo al protocolo descrito, lo que permite obtener datos que determinan el funcionamiento del equipo. Queda pendiente que un especialista en la materia realice el diagnóstico y determine la patología de cada uno de los pacientes.

4.1 Ejercicio Audiométrico Número 1.

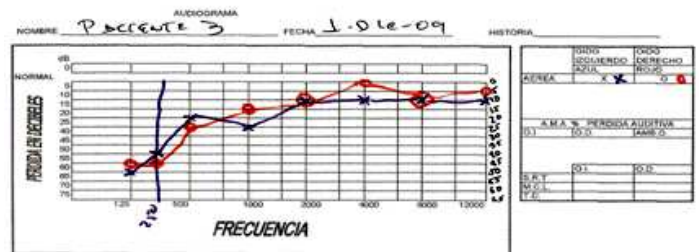
Realizado a paciente de: 22 años

Estado anatómico y fisiológico: Normal

Lugar: Bogotá

Respuesta a la audiometría:

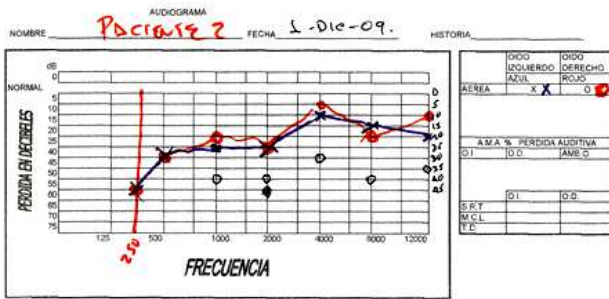
Figura 9. Ejercicio Audiométrico Número 1



4.2 Ejercicio Audiométrico Número 2.

Realizado a paciente de: 17 años
 Estado anatómico y fisiológico: Normal
 Lugar: Bogotá
 Respuesta a la audiometría:

Figura 10. Ejercicio Audiométrico Número 2



5. CONCLUSIONES

Para el desarrollo del audiómetro digital se ha contado con la asesoría de especialistas en audiometría, “Doctor Carlos Vergara” y el Ingeniero Humberto Saavedra, empresario y gestor de desarrollos en audiómetros digitales, lo que permitió investigar y lograr el diseño experimental “de inicio” y posteriormente, encausar esos conocimientos para iniciar las etapas de análisis y construcción de este proyecto.

Es de anotar, que el factor humano que Colombia genera a través de entes sapientes en el tema tratado, inducen al conocimiento y generación de tecnología propias que se pueden mostrar al país con recursos propios.

El dispositivo que se diseñó e implementó, sirve como laboratorio funcional de pruebas de laboratorio en audiometría, brindando confiabilidad en el manejo tanto del equipo para evitar riesgos con el paciente, como para la seguridad del mismo; su diseño tuvo en cuenta aspectos didácticos con el fin de ser utilizado para cursos de instrumentación biomédica en lo que corresponde al tema de audiometría.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] BERJEIJK Pierce y E. David. Las ondas y el oído. Editorial Eudeba. Noise. Rupert Taylor Pelikan Books, 1979.

[2] GUYTON, C.G. and HALL, J.E. Tratado de Fisiología Médica. 11ª Edición. Elsevier, 2006.
 [3] CARL Joseph J. y BROWN John M. Introduction to Biomedical Equipment Technology. Editorial Prentice Hall, Tercera Edición, 2000.
 [4] LABELLA, T. y LOZANO, A., Manual de Audiometría, Garsi S.A., Madrid 1988
 [5] El Audiograma. [http://www.medel.com/spanish/01>About_Hearing/04_The_Audiogram.php?navid=2 medical electronic.
 [6] GUYTON, C.G. and HALL, J.E. Tratado de Fisiología Médica. 11ª Edición. Elsevier, 2006.