

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUDIOMETRO COMPUTARIZADO

RESUMEN

Se presentan los fundamentos básicos para el diseño y construcción de un audiómetro computarizado, junto con la implementación electrónica de sus diferentes etapas.

PALABRAS CLAVES: Audiómetro, instrumentación, electrónica.

ABSTRACT

The basic foundations are presented for the design and construction of an audiometer commanded by a computer, together with the electronic implementation of their different stages.

KEYWORDS: Audiometer, instrumentation, electronic.

HUGO A. GALLEGO B.

Magíster en Física

LUIS ENRIQUE LLAMOS A R.

Magíster en Física

lellamo@utp.edu.co

HOOVER OROZCO G.

Magíster en Física

:horozco@andromeda.utp.edu.co

Grupo de electrofisiología

Facultad de Ciencias Básicas

Universidad Tecnológica de Pereira

1. INTRODUCCIÓN

Es prácticamente un hecho que la primera medida utilizada por el hombre para estudiar su sordera, fue la palabra, sin embargo esta no daba sino un valor aproximado del estado auditivo del paciente.

La búsqueda del umbral mínimo de audición mejoró aún más con el manejo de instrumentos, hoy en día olvidada en su mayor parte, tales como el reloj de Lucae, los acúmetros, las barras sonoras, el pito de Galton, el monocordio de Struyken etc. Luego aparecieron los diapasones, aparatos de acero o de aleaciones de magnesio, que al ponerse en vibración producen tonos puros. Este nuevo dispositivo no ha disminuido de importancia en la actualidad, pues parte de las pruebas clásicas que se pueden realizar con él, sirven como complemento de estudio en pruebas que se le hacen al paciente. Finalmente después de la segunda guerra mundial se vio la necesidad de desarrollar la industria electroacústica y fueron los norteamericanos quienes resolvieron este problema de física acústica construyendo los primeros modelos de audiómetros.

Un audiómetro en general cumple con los siguientes objetivos:

- Determina el umbral mínimo auditivo: objetivo inicial y fundamental en las pruebas de audición.
- Establece un topodiagnóstico. Mediante algunas pruebas: Con el audiómetro se puede establecer el lugar de la lesión que puede tener un oído a través del camino que sigue el sonido hasta llegar a la corteza cerebral.
- Encuentra oídos lábiles a la fatiga acústica: La audiometría busca descubrir individuos con oídos predispuestos al trauma acústico.
- Mide acúfenos: Es la forma de medir ruidos que sienten los enfermos para compararlos con los tonos del audiómetro.
- Determina en medicina el grado de invalidez auditiva, como un medio legal y eficiente para aclarar los daños ocurridos en el oído.
- Explora restos auditivos: El propósito de encontrar restos auditivos es poder reeducar el oído. En la

actualidad sordomudos del pasado, se desenvuelven correctamente en el medio, debido al nuevo adiestramiento auditivo de sus restos.

-Diagnostica la posible operabilidad: Sin la audiometría no se hubiese podido hablar de cirugías del oído. Además permite saber el éxito de la operación.

-Permite la prescripción de prótesis: Con un audiograma común y pruebas complementarias se puede diagnosticar el uso de audífonos.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Unidades audiométricas: De acuerdo a la Ley de Weber –Fechner que dice: “En la audición la intensidad aumenta en progresión geométrica y la percepción auditiva aumenta en progresión aritmética”. Es decir que al aumentar el estímulo físico en 10 la sensación sonora aumentará en 1, lo que permite determinar la magnitud de la audición percibida al poder conocer el valor de la intensidad; esto se puede expresar de la siguiente manera:

Intensidad:	1	10	100	1.000	10.000
Sensación:	0	1	2	3	4

De acuerdo a lo anterior dos sonidos difieren en un Bell cuando sus intensidades están en relación de 10 a 1: en dos Bell cuando esta es de 100 a 2 y así sucesivamente: Esta unidad se llama **BELL** en memoria de Alexander Graham Bell inventor del teléfono. Es importante entonces recordar que el Bell es una unidad no exacta que relaciona la intensidad física con la sensación percibida. En realidad hay que aclarar que esta unidad es poco utilizada en audiometría, ya que se considera demasiado grande, pero los físicos aclararon este problema ya que encontraron que la décima parte del Bell o sea el decibel, correspondía a la mínima cantidad del sonido capaz de impresionar el oído humano, en el tono de 1000 Hz, resumiendo se puede decir que el decibel es una unidad no absoluta sino profesional que expresa el logaritmo de la excitación sonora y sirve para determinar la agudeza auditiva.

2.2 Características de un audiómetro básico: Un audiómetro básico consta de las siguientes partes principales:

- Un dial que marca la intensidad en divisiones de 5 en 5 decibeles, algunas veces vienen definidas de 10 en 10.
- Otro dial con las frecuencias entre 250 y 8000 hertz.
- Receptor aéreo y óseo para las respectivas vías, el primero con auriculares y el segundo con el vibrador o transductor óseo para ubicarlo en el hueso temporal del cráneo.
- Un interruptor para enviar las respectivas señales de intensidad y frecuencia al paciente.
- Un dial indicador de ruido blanco para evitar la audición cruzada.

2.3 Pruebas del audiómetro: Debido a que el éxito de las pruebas realizadas con un audiómetro, dependen en un gran porcentaje del paciente se le recomienda seguir paso a paso las instrucciones que se dan continuación:

- Ubicar cómodamente al paciente en una cámara sonoro-amortiguada, con los auriculares respectivos colocados.
- Cuando escuche el sonido emitido por el audiómetro debe levantar la mano correspondiente al oído en cuestión.

Una vez realizada la adecuación del paciente se procederá con las pruebas pertinentes, las cuales se mencionan a continuación:

2.3.1 Prueba por vía aérea: Se le envía al paciente la intensidad mínima dada por el audiómetro y se va aumentando hasta que perciba algún sonido. Para saber si efectivamente ese es el umbral, se aumenta de 5 a 10 dB y luego se disminuye, si los valores coinciden con lo expresado anteriormente el umbral es verdadero.

De forma similar se sigue con las demás frecuencias, alternándose desde los agudos hacia los graves. Se aconseja después del tono de 1000 Hz aplicar el de 2000 Hz, luego el de 500hz, a continuación el de 4000 Hz, 250 Hz, 8000 Hz y finalmente el de 125 Hz.

2.3.2 Prueba por vía ósea: En este caso se coloca un transductor o vibrador óseo en la zona mastoidea bien separado del cartílago auricular cuyo contacto hay que evitar para que los resultados sean correctos. El transductor generalmente se compone de un imán, y una lámina de vibración con una bobina de excitación cerrada por un circuito magnético. Dicho transductor trabaja como máximo a 60 decibeles, debido a que se notan distorsiones con algunas frecuencias más altas, por fenómenos de resonancia de la caja en donde va encerrado el mecanismo y por saturación del imán. Finalmente con las instrucciones dadas con el audiómetro se puede variar la frecuencia e intensidad de éste a voluntad, como se hace en la prueba por vía aérea.

2.3.3 Técnica de enmascaramiento: La acción de ensordecer al paciente se puede definir como la aplicación del ruido por un oído, dicho de otra manera es un estímulo auditivo generado por un mecanismo físico o electrónico que produce una clase de sonido característico diferente del tono o de la palabra que se está pasando por el oído contrario. Este ruido característico es el llamado **ruido blanco** el cual consiste

en pasar todas las frecuencias al mismo tiempo y con la misma intensidad.

2.3.4 Prueba del Weber: Es la técnica utilizada para hallar problemas auditivos originados en el oído externo y medio o lesiones perceptivas que pueden tener raíz en el oído interno llamadas hipoacusias de conducción. Esta prueba consiste en colocar el vibrador o transductor en el centro de la frente, procurando su exacta adaptación en la superficie de la misma. Luego se pasan las frecuencias hasta 4000 hz con débil intensidad, por encima del umbral y se le pide al paciente que responda hacia qué oído lateraliza el sonido.

2.3.5 Prueba del S.I.S.I (Índice de sensibilidad a pequeños incrementos): Dentro del campo auditivo se pueden encontrar pacientes cuyos oídos distorsionan la sensación de volumen, fenómeno que se conoce como reclutamiento, por tanto se utiliza este método para el estudio o diagnóstico del problema. La prueba se hace regularmente a 20 decibeles sobre el umbral y su procedimiento es el siguiente:

- Se investiga el umbral ordinario de medición
- Se prepara al paciente haciéndole saber que durante algunos segundos oír un tono continuo y que de vez en cuando percibirá un aumento muy pequeño de sonido.

2.3.6 Prueba de logaudiometría: Mediante esta prueba se busca hallar la captación y la discriminación del oído para el lenguaje, estableciendo el porcentaje de palabras entendidas correctamente con la necesaria intensidad para que sean medidas y expresadas en decibeles relativos, el procedimiento es el siguiente:

- Se coloca al paciente dentro de la cámara y se le explica que debe repetir una lista de palabras que se van leyendo a través del micrófono del audiómetro.
- Estas palabras se pasan inicialmente en cero decibeles y se va aumentando de 10 en 10 dB. En el momento de escuchar la voz (así no entienda la palabra) se toma la intensidad encontrada.
- Cuando entienda correctamente la palabra se anota la intensidad respectiva.
- Finalmente se continua con el mismo procedimiento aumentando de 10 en 10 dB, anotando los resultados hasta llegar a terminar el 100% de la palabras propuestas.

3. DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA AUDIOMÉTRICA

En audiometría como ya se ha manifestado el estímulo que se trabaja es de tipo acústico. Se trata de comprender de una manera muy general los fundamentos indispensables para diseñar y construir un audiómetro computarizado; la gran mayoría de audiómetros que se utilizan en la actualidad presentan problemas de calibración periódica, donde dicha calibración es demorada y costosa pues debe enviarse el equipo al extranjero, además su mantenimiento presenta las mismas dificultades puesto que es un equipo importado. Su medida de frecuencias e intensidades es también muy subjetiva puesto que el margen de error está limitado sólo por el oído del examinador en el momento de la prueba: por tanto los datos obtenidos no son muy confiables para

el especialista. De allí la necesidad de diseñar y construir un equipo de característica más especiales sin problemas de calibración, medidas confiables y un mantenimiento y uso de fácil acceso.

Ya se había afirmado que la instrumentación electrónica fusiona muchas áreas del conocimiento, y en este caso particular, para hablar del audiómetro vamos a enfocarlo desde tres puntos de vista que enunciamos a continuación: Desde el punto de vista de la medicina, desde el punto de vista de la Física y desde el punto de vista de la electrónica.

3.1 Desde el punto de vista de la medicina: El órgano a estudiar es el oído, el cual lo podemos definir como un órgano receptor que responde a ondas de compresión de un amplio orden de frecuencias, intensidades y formas. Es un sistema electromecánico que traduce impulsos de presión en corrientes eléctricas muy pequeñas, las corrientes producidas en el conducto auditivo son llevadas al cerebro.

El oído es un órgano doble que se encuentra a ambos lados del cráneo, parcialmente alojados en el hueso temporal. Pueden diferenciarse bien tres porciones denominadas: Oído externo, oído medio, oído interno. La importancia del oído medio la determinan la membrana timpánica y la cadena de huesecillos conocidos como yunque, estribo y martillo. La membrana timpánica separa el conducto auditivo externo del oído medio y es un órgano membranoso cuyo diámetro mide unos 9 mm. Las complejas funciones de la membrana timpánica son el objeto de numerosas mediciones fisiológicas. La región más sensible de la membrana es la que está por debajo de su ombligo y vibra con el más débil sonido.

Cuando la presión del sonido aumenta, se incrementa la amplitud de la vibración, así como la zona receptiva, que se extiende de forma concéntrica. El movimiento es más complejo cuando las vibraciones son inducidas por sonidos de alta frecuencia. La membrana vibra entonces por secciones, cada una a la misma frecuencia, pero según diferentes patrones todas las vibraciones se transmiten al mango del martillo, al yunque, y por fin al estribo que transmite las ondas sonoras conducidas por el aire al sistema líquido del oído interno. La cadena oscilar funciona por lo general como una unidad. Las articulaciones oscilares permanecen relativamente inmóviles, como un sistema de palancas que transmiten la vibración desde la membrana timpánica hasta la ventana oval por medio de la base del estribo. El desplazamiento del mango en contacto con la membrana timpánica hace vibrar el resto de la cadena oscilar que se comporta como una unidad.

Todos los órganos sensitivos del oído interno dependen de la misma unidad fisiológica elemental. Se ha demostrado que estos receptores sensoriales actúan de la misma manera con independencia de la función que desempeñan los órganos en que se encuentran. El proceso molecular que provoca la excitación de esos receptores se consideran el resultado de una alteración de la conductividad eléctrica de la membrana celular en la parte portadora del cilio de las células sensoriales, debida

a la deformación mecánica de los cilios durante su desplazamiento.

3.2 Desde el punto de vista de la Física: El fenómeno a medir en este caso es el sonido, cuya naturaleza está dada como un movimiento longitudinal perceptible al oído humano, que no se propaga en el vacío. Las frecuencias de ubicación de las ondas sonoras está comprendida en el intervalo de 20 a 20000 vibraciones por segundo, es decir hertz, llamándose a las vibraciones por debajo de 20 hertz, ondas infrasónicas y las que se encuentran por encima de este rango, ondas ultrasónicas.

Las ondas sonoras se originaron mediante la vibración de la materia, necesiándose para su transmisión un medio elástico, ya sea sólido, líquido o gaseoso. La sensación de sonido percibido por un ser viviente es debida a que cuando vibran los cuerpos, comprimen el aire de la vecindad, produciéndose una serie de pulsos de compresión y de rarificación que forman una onda la cual se transmite a través del aire alejándose de la fuente.

El proceso de formación de la voz se inicia desde los pulmones, lo cuales impulsan una corriente de aire hacia las cuerdas vocales ubicadas en la laringe. Las cuerdas vibran a una frecuencia que dependerá de su propia masa, longitud y tensión. La sonoridad producida por la fuente depende de la fuerza con la cual se dirige el chorro del aire contra las cuerdas vocales y las cavidades tales como el tórax, la garganta, la nariz y los senos nasales controlan mediante la acción resonante el carácter espectral de los sonidos producidos.

Las características del sonido son:

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.

El margen de intensidades de la onda sonora que el oído es capaz de detectar es enorme. La máxima intensidad que es posible percibir sin prejuicio para el oído – umbral de sensación desagradable es aproximadamente 1 w/m^2 , sin embargo se puede percibir sonidos cuyas intensidades serán un billón de veces inferiores a ésta es decir 10^{-12} w/m^2 . El hecho de que el intervalo de intensidades que pueden ser captados por el oído humano sea tan grande, junto con la evidencia de que las sensaciones aumentan casi en proporción aritmética cuando las excitaciones lo hacen en proporción geométrica (ley de Fechner) hace conveniente utilizar en el tratamiento cuantitativo de las ondas sonoras, los logaritmos de las intensidades. Se utiliza por ello, como unidad de intensidad sonora el decibel, por tanto el número de decibeles de una onda sonora viene dado por: $I_{dB} = 10 \log I / I_0$ donde I_0 es la intensidad que corresponde al sonido mínimo audible más débil 10^{-12} w/m^2 e I es la intensidad – también en vatios por metro al cuadrado de la onda que estudiamos.

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.

Timbre: Los calificativos utilizados para describir el timbre de un sonido musical son de carácter puramente subjetivo, así. Se dice agudo, brillante, redondo, maduro, melodioso etc. El timbre de un sonido está determinado en parte por el número de sobretonos presentes y por sus curvas respectivas de intensidad – tiempo.

3.3 Desde el punto de vista electrónico: Se desea construir entonces un audiómetro que automatice las pruebas de un audiómetro básico, que controle los niveles de intensidad y frecuencia, que visualice las respuestas en un monitor, que seleccione las pruebas según proceda el examinador, que analice los resultados mediante gráficos imprimiéndolos simultáneamente y que guarde esta información en un archivo: La figura 1 muestra un diagrama de bloques que obedece a estas características.

Bloque 1. Se trata inicialmente de escoger un generador de frecuencias cuyos valores se encuentren entre 250 y 8000 hz, ya que los audiómetros básicos generan este rango de frecuencias (como se ha visto en este artículo), motivo por el cual se utiliza el XR 2206, circuito que tiene la particularidad de poder generar señales senoidales entre 0.01 hertz hasta 1 megahertz: De la misma manera tiene la posibilidad de producir ondas triangulares y cuadradas que no utilizaremos porque no es el propósito de este proyecto.

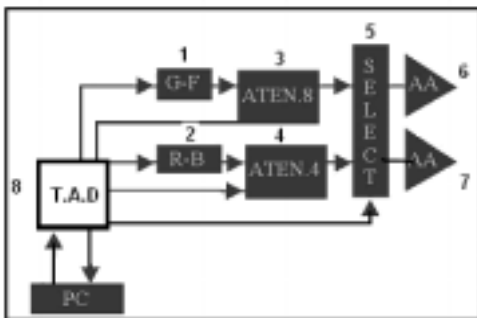


Figura 1. Diagrama de bloques de un audiómetro.

Dentro de las características de este circuito integrado encontramos las siguientes: Baja distorsión de onda, excelente estabilidad a la temperatura, amplio rango de barrido, baja sensibilidad al voltaje de alimentación, modulación de amplitud lineal, rango de voltaje simple

El diagrama electrónico correspondiente para generar frecuencias entre 250 y 8000 hertz en forma de onda senoidal se puede observar en la figura 2.

La frecuencia de oscilación f_0 es determinada por el capacitor C colocado en los pines 5 y 6 y por el resistor R conectado al pin 7 y tierra. Esta frecuencia está dada por $f_0 = 1/RC$

Es de anotar que la estabilidad de temperatura del generador se da por valores de R entre 4K y 200K y para C entre 100 pf y 100 pf. Estos valores son los aconsejados en el manual de operación. En la figura 2 se puede observar también que los trimers de 50K.-25K. y 500. permiten calibrar la amplitud, simetría y forma de la

onda, la cual se puede observar en la salida del XR-2206, pin número 2.

Finalmente como necesitamos controlar el circuito de tal manera que obtengamos las salidas de frecuencia requeridas por el audiómetro, se acoplaron switches análogos para hacer el respectivo control a través de la tarjeta de adquisición de datos.

El motivo por el cual se colocan las resistencias después de los potenciómetros, además de las resistencias colocadas en paralelo, es para poder calibrar las frecuencias de una mejor forma, para que variaciones de cambio en los trimers no alteren la salida del generador. En otras palabras para buscar una graduación fina. Los interruptores análogos se polarizan con +12 voltios c.c para obviar problemas de control que suceden regularmente cuando existen señales que provienen de fuentes de alimentación con voltaje mayor.

Bloque 2. Ya se había hablado acerca de la prueba de enmascaramiento, la cual consistía en aplicar, al paciente que presenta problemas de lateralización, un ruido en el oído contrario, para eliminar los resultados erróneos que se derivan de la audición cruzada. En este caso se utiliza generalmente ruido blanco de banda estrecha, es decir el que ha sido filtrado para contener solamente una banda restringida de ruido alrededor de una frecuencia central, por lo tanto en este proyecto se utilizó el C.I P333/5837 que se alimenta con fuente dual de +12 y -12 voltios c.c y cuya salida es el pin 3 de la pastilla generadora de ruido blanco.

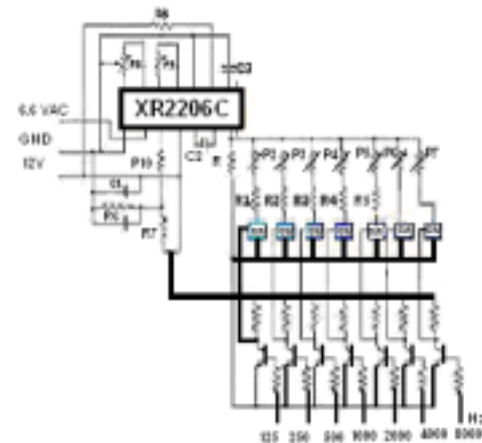


Figura 2. Generador de frecuencias.

Bloques 3 y 4. Atenuadores de 8 y 4 bits. Una de las partes importantes del audiómetro es la etapa de atenuación para cada fuente generadora de frecuencia, ya que estas señales deben de ser controladas en amplitud.

Los atenuadores se operan por palabras de control que provienen del software y determinan el grado de intensidad a establecer en la señal.

La figura 3, muestra el atenuador de 8 bits, el cual comprende dos fases, la primera la constituye un sumador de cuatro entradas, conformada por amplificadores operacionales, integrados en el circuito LF353, por cuatro switches análogos y los elementos

resistivos que hacen parte de la realimentación para las funciones implementadas.

El atenuador fue diseñado de tal manera que la salida de voltaje sea con pasos de 0.03 voltios pico-pico, lo cual nos permite obtener 255 posibles valores de amplitud atenuada, originadas por las combinaciones que los interruptores ofrecen, obteniéndose en la salida del atenuador una salida de voltaje de 7.68 Vpp aproximadamente. El atenuador de cuatro bits tiene una configuración similar a la del atenuador de 8 bits. Es importante aclarar que en cada uno de los atenuadores se alimentan los amplificadores con fuente dual de +12 y -12 voltios y los interruptores análogos con +5 y -5 voltios.

Bloque 5. Selector de canales (figura 5). Este es el bloque previo a las etapas de audio y es el responsable de colocar en el canal correcto la señal seleccionada.

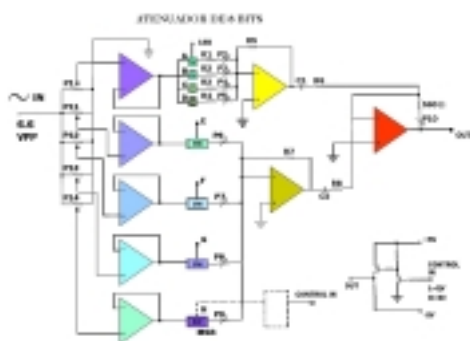


Figura 3. Atenuador de 8 bits.

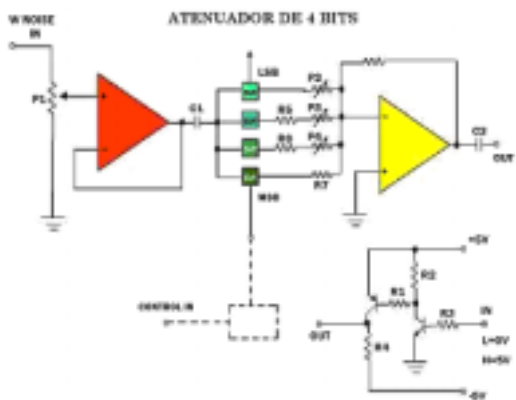


Figura 4. Atenuador de 4 bits.

El circuito se basa en un C.I decodificador binario a decimal, de lógica negada, además hay un arreglo de diodos en su salida que permite activar la combinación de interruptores adecuados con la señal proveniente de cualquiera de los terminales del decodificador, sus diferentes combinaciones son las siguientes:

- Señal de audio en el oído derecho
- Señal de audio en el oído izquierdo
- Señal de ruido blanco en el oído derecho
- Señal de ruido blanco en el oído izquierdo

- Señal de audio en el oído derecho y ruido blanco por el izquierdo
- Señal de audio en el oído izquierdo y ruido blanco por el derecho.

Para ello se utilizan tres terminales de entrada en el decodificador que son los que reciben la palabra de control., lográndose así una respuesta en la salida de estado bajo la cual se dirigen a los diodos correspondientes.

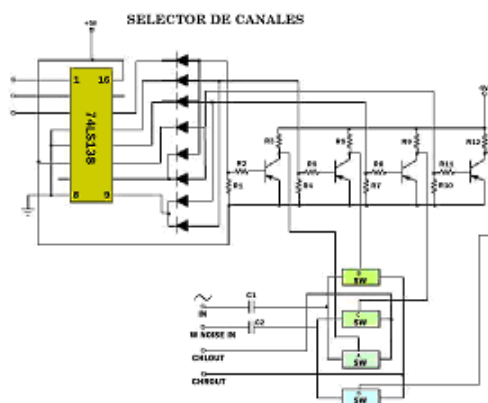


Figura 5. Selector de canales.

Bloque 6 y 7. Amplificador de audio. LM 380. Figura 6: Este integrado cuyo diseño está hecho para operar con señales de audio, es el que se ha utilizado en el audiómetro, para amplificar las señales provenientes del generador senoidal, del ruido blanco y también de los micrófonos que van incorporados al sistema cuya función es permitir la comunicación entre el examinador y el paciente.

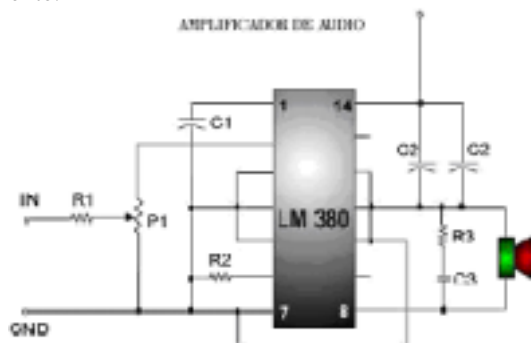


Figura 6. Amplificador de audio.

Las características eléctricas de este amplificador se enuncian a continuación: Amplio rango de voltaje de alimentación, bajo consumo de potencia en estado de reposo, ganancia de voltaje fija a 50, alta capacidad de corriente pico, entrada referida a tierra, alta impedancia de entrada y fuente dual de línea Standard.

Bloque 8: Corresponde a una tarjeta de adquisición de datos que hace las veces de interfaz entre el sistema electrónico diseñado y el computador; mediante ella se controlan las diferentes partes del audiómetro con base

en el software correspondiente. El programa de control se puede dividir en cinco partes fundamentales:

- Inicialización de variables: En esta parte del programa se encuentran las variables globales con los valores que se toma por defecto, algunas direcciones de entrada de las subrutinas en máquina que se utilizan durante todo el programa y la forma como se direccionan los puertos.
- Subrutinas compartidas: Son algunas tareas que se solicitan desde otras partes del programa, especialmente aquellas en las que se hace referencia a cambios de variables fundamentales del audiómetro, amplitud, frecuencia y ensordecimiento.
- Calibración: Hace parte de una de las opciones del menú principal. Su función es la de que se puedan verificar de una forma fácil todas las variables que maneja el computador, con las variables físicas que transmite el audiómetro. Cada función del audiómetro se puede manejar con una ó más teclas, las cuales se indican en la pantalla.
- Exámenes: Es una opción del menú principal y consiste en una serie de procedimientos específicos que el especialista generalmente lleva a cabo durante la ejecución de un examen en particular. Cada examen puede ejecutarse en la secuencia que el médico considere y las opciones de cambio se dejan a consideración del médico.
- Informe: Consiste en la presentación en pantalla de los últimos resultados obtenidos en uno o varios de los exámenes que se pueden realizar. Esta información puede ser archivada o si se quiere, transcribirla al papel por medio de una impresora.

3.3.3 Inventario de elementos en el audiómetro

Bloque 1. Generador de frecuencias:

$C = 1 \mu\text{F}$, $C1 = 10 \mu\text{F}$, $C2 = 0.47 \mu\text{F}$ y $C3 = 0.1 \mu\text{F}$
 $R = 1\text{k.}$, $R1 = 150\text{k.}$, $R2 = 32\text{k.}$, $R3 = 6\text{k.}$, $R4 = 15\text{k.}$
 $R5 = 2\text{k.}$, $R6 = R7 = 5.1\text{k.}$ y $R8 = 10\text{k.}$; $P1 = 50\text{K.} = P10$,
 $P2 = P3 = P4 = P5 = P6 = P7 = 10\text{K.}$; $P9 = 500.$, $P8 = 25\text{k.}$.
 Dos SW análogos 4066; Siete transistores 2N-3304

Bloque 2: Atenuador de 8 bits

$C = 220 \mu\text{F}$, $C1 = C2 = 220\mu\text{F}$; $R1 = 27\text{k.}$, $R2 = 12\text{k.}$,
 $R3 = 68\text{k.}$, $R4 = 3\text{k.}$; $R5 = 22\text{k.}$, $R6 = R7 = R8 = 1\text{k.}$
 $P1 = P11 = P12 = P13 = P14 = 200\text{k.}$;
 $P2 = P3 = P4 = P5 = P6 = P7 = P8 = P9 = 5 \text{ k.}$, $P1 = 1\text{k.}$
 Cuatro amplificadores operacionales LF-353
 Dos SW análogos 4066; Ocho transistores NPN-BC-547B; Ocho resistencias de 35k.

Bloque 3: Atenuador de 4 bits: $C1$ y $C2$ de $220\mu\text{F}$;
 $R1 = R2 = R3 = R4 = 3.9 \text{ k.}$, $R5 = 1.5\text{k.}$, $R6 = 470.$

$R7 = 1\text{k.}$; $R8 = 33\text{k.}$;
 $R9 = R10 = R11 = R12 = R13 = R14 = R15 = R16 = 36\text{k.}$
 $R17 = R18 = R19 = 36\text{k.}$; $P = P1 = 5\text{k.}$, $P2 = P3 = 1 \text{ k.}$
 Un amplificador operacional LF-356; Un amplificador peracional LM741; Un SW análogo 4066

Bloque 4: Generador de ruido blanco: P333MN5837

Bloque 5: Selector de canales:

$C1 = C2 = 220 \mu\text{F}$; $R1$ hasta $R12 = 3.9\text{k.}$
 Un decodificador binario a decimal 74LS138
 Un SW análogo 4016; Ocho diodos ECG 519
 Cuatro transistores PNP, A719

Bloque 6 y 7: Amplificadores de audio

$C1 = 5\mu\text{F}$, $C2 = 500\mu\text{F}$, $C3 = 0.1\mu\text{F}$, $C4 = 0.01$

$R1 = 82\text{k.}$, $R2 = 100\text{k.}$, $R3 = 1.$

Dos LM 380 amplificadores de audio

4. CONCLUSIONES

Se presentaron los fundamentos básicos para el diseño y construcción de un audiómetro comandado por un computador, se tuvieron en cuenta los aspectos médicos, físicos, fisiológicos y electrónicos; de la misma manera se detallaron los circuitos electrónicos principales de este dispositivo. No hubo detalle en el software utilizado ya que el espacio no lo permitía. En la actualidad existen herramientas muy poderosas para diseñarlo tales como el LABVIEW o el MATLAB por medio de las cuales no es difícil implementarlo, de todas maneras creemos que este trabajo sirve de base para el diseño y construcción de audiómetros en los que se implemente una mayor tecnología y una mayor prestación de servicios acordes con las exigencias de los especialistas en este campo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASTON RICHARD. Principles of Biomedical Instrumentation and Measurement. Merrill Publishing Company, 1990.
- [2] CROMWELL LESLIE. Instrumentación y medidas biomédicas. Marc., Boixareu editores. Barcelona, 1980.
- [3] DAVIS, H Y SILVEMAN SR. Audición y Sordera. Mexico: talleres gráfico de Editorial Fournier S.A
- [4] GANONG William F. Manual de Fisiología Medica. tercera edición.
- [5] GOODHILL, Victor. El oído. Enfermedades, sordera y vértigo. España: Salvat Editores S:A
- [6] GOMEZ, LARA, LLAMOS. Monitoreo de potenciales bioeléctricos. Revista "SCIENTIA ET TECHNICA". # 2, sept. 1995
- [7] GONZALEZ J. IBEAS. Introducción a la Física y Biofísica. Madrid: Alhambra.
- [8] HOROWITZ PAUL, HILL WINFIELD. The Art of Electronics, Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- [9] WEBSTER JOHN G. Medicine and Clinical Engineering. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1985. WILCHES Mauricio. Bioingeniería . tomo 4. Editorial Universidad de Antioquia, 1989.