

DESARROLLO DE UN AUDIOMETRO DIGITAL

Julian Gerardo Gomez Cepeda¹

Julio Enrique Duarte²

Flavio Humberto Fernandez Morales³

¹Grupo de Energía y Aplicación de Nuevas Tecnologías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad seccional Duitama, juliangomez17@yahoo.com

² Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Energía y Aplicación de Nuevas Tecnologías, Facultad seccional Duitama, jduarte@duitama.uptc.edu.co

³ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Energía y Aplicación de Nuevas Tecnologías, Facultad seccional Duitama, flaviofm@telecom.com.co

RESUMEN

El presente artículo muestra el desarrollo de un audiómetro que permite medir el umbral de audición, entendiendo como tal el mínimo nivel auditivo de la persona explorada para una frecuencia determinada. Un punto adicional es que el procedimiento generará una base de datos para almacenar los diferentes valores tomados durante la realización del examen, obteniendo su respectivo reporte gráfico o audiograma, lo cual permitirá realizar una valoración evolutiva del nivel de audición del paciente y su orientación terapéutica.

Aprovechando las nuevas tecnologías y herramientas computacionales, se desarrolló un audiómetro que realiza el examen de una manera autónoma, y algo muy importante, siempre de la misma forma y bajo las mismas condiciones, mejorando así la objetividad del mismo al minimizar la intervención del operario durante el proceso.

El dispositivo propuesto consta de un módulo generador de tonos, un amplificador de bajo ruido, un sistema de filtros para cada uno de los tonos, un sistema que gobierna los anteriores dispositivos para controlar la progresión del examen y finalmente un computador para el almacenamiento y revisión de toda la información recogida durante los exámenes.

PALABRAS CLAVE

Audiometría, tonos puros, decibel, autónomo, audiograma.

ABSTRACT

The present article shows the development of an audiometer which allows measuring the hearing threshold, interpreting it as the minimum auditory level of a patient under a certain frequency. The procedure will generate a data base to store the different values taken during the accomplishment of the examination, obtaining its respective graphical report or audiogram which will allow making an evolutionary valuation of the level of hearing of the patient and his therapeutic direction.

Taking advantage of the new technologies and computational tools, the audiometer was developed to make the examination in an independent way, and something very important to bear in mind is that the examination must be done in the same way and under the same conditions in order to improve its objectivity and diminishing the worker's intervention during the exploration.

The proposed device consists of a tone generate module, low noise amplifier, a filter system for each one of the tones, a control system to govern the previous devices and to manage the progression of the exam and a computer for the storage and revision of all information collected during the exams.

KEY WORDS

Audiometry, pure tones, decibel, stand alone, audiogram.

1. INTRODUCCION

Al hacer un análisis de los principales problemas de salud de los trabajadores y de las principales Enfermedades Ocupacionales relacionadas con el trabajo se detectó que el ruido se encuentra presente en el 60% de las empresas. La presencia del factor de riesgo ruido, ha generado que la hipoacusia neurosensorial se encuentre en primer lugar dentro las enfermedades profesionales calificadas.

Existen varios tipos de audiometrías, pero la más usada en Medicina y Salud Laboral es la audiometría tonal o de tonos puros, la cual consiste en la estimulación auditiva a través de la vía aérea y de la vía ósea. La transmisión sonora por la vía aérea se realiza a través del aire colocando unos auriculares en el pabellón de la oreja y la estimulación sonora por la vía ósea se realiza colocando un vibrador en la apófisis mastoides.

En la actualidad los equipos usados en los exámenes audiométricos son importados, costosos y de difícil mantenimiento, dificultando que lleguen a sitios apartados y centros de salud de bajos recursos. Además, el ajuste, la toma de datos, la intensidad y duración de la prueba, así como sus resultados dependen en gran medida del estado de ánimo del operario, ya que en su mayoría estas actividades se realizan en forma manual.

La realización de un diagnóstico de valoración auditiva que permita medir los niveles de audición de una manera fiable, rápida y sencilla, es un método de evaluación que detecta más tempranamente las pérdidas auditivas por exposición al ruido. De esta manera se pueden establecer medidas de control oportunas en el individuo, lo cual se ha convertido en algo imprescindible para lograr una mayor cobertura y control de los pacientes. El poder contar con una base de datos de los exámenes realizados, así como el tener un reporte gráfico de cada evaluación, va a permitir valorar si la audición es normal o si existe una hipoacusia, también permitirá hacer un diagnóstico etiológico y topográfico de la causa, para realizar una valoración evolutiva de la hipoacusia y una orientación terapéutica.

Para desarrollar un equipo electrónico que permita medir el umbral de audición, se requiere un dispositivo que genere los tonos necesarios, así como una interfaz con el usuario que sea amigable y entendible, además que posea la autonomía para realizar el examen, además, se diseñó un medio de presentación de la información o audiograma que permite realizar un diagnóstico ágil y comprensible, con una base de datos con la información recogida durante el examen. Todo lo anterior teniendo en cuenta que en la selección de los diferentes elementos influyó la facilidad de obtención y el valor comercial de los mismos, por lo cuál se pudieron alterar algunas de las condiciones de realización.

Por lo anterior, en el presente trabajo se describe el desarrollo de un audiómetro que cumple con los estándares necesarios para realizar una valoración auditiva, además de poseer un programa capaz de realizar el examen de una forma autónoma, fácil y amigable. Igualmente se podrá crear una base de datos para almacenar los resultados recolectados durante la realización del examen, para generar su respectivo reporte gráfico o audiograma y llevar la historia auditiva de cada uno de los pacientes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se escogió el método de evaluación por tonos puros debido a su facilidad de interpretación y precisa valoración.

Los siguientes fueron los requerimientos de diseño establecidos para el audiómetro:

- Realización del examen de una manera autónoma y siempre de la misma forma.
- Hacer un barrido de los tonos más utilizados permitiendo el control de su ganancia y que cumpla con los estándares de la norma NTC 2884.
- Desarrollar una base de datos con la información recogida durante el examen.
- Implementar un programa que proporcione un entorno gráfico de consulta, análisis y presentación de los datos.
- Bajo costo de fabricación y portabilidad.

2.1 Diseño propuesto

El dispositivo propuesto consta de los bloques expuestos en la figura 1 y a continuación se hace una breve explicación de cada uno de ellos.

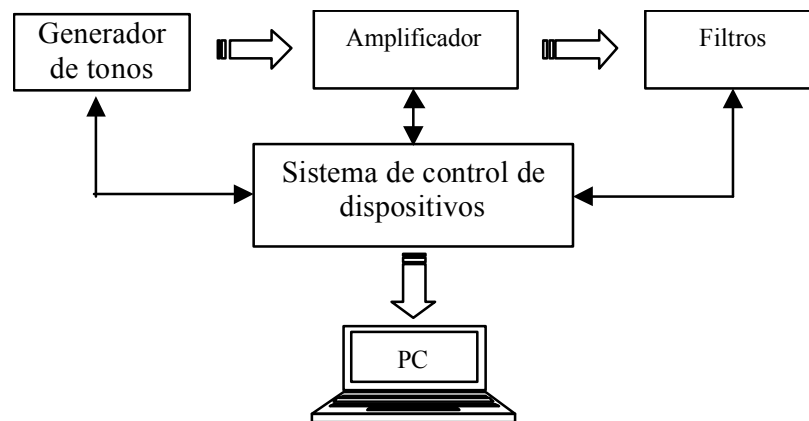


Figura 1 Diagrama de bloques del dispositivo

El generador de tonos es el encargado de entregar cada una de las frecuencias necesarias en la realización del examen audiométrico. Para el proyecto se usaron las siguientes frecuencias, haciendo énfasis en las frecuencias de la voz humana: 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 y 8000 Hz. El circuito integrado utilizado para este propósito fue el XR 8038A, el cual es un oscilador controlado por tensión. Este generador posee una serie de características especiales como su estabilidad en frecuencia del 1% y una distorsión armónica <5%, lo cual facilita el cumplir con los requerimientos necesarios.

El amplificador es el facultado para limitar la intensidad de cada uno de los tonos, entre los 10 y 60 dBs. Aquí se utilizó un LF347, que es un amplificador de bajo ruido y con un elevado factor de rechazo en modo común.

Los filtros son necesarios en la reducción de los niveles de distorsión armónica de cada uno de los tonos, ya que en la etapa de amplificación, por muy buen diseño que se haga, siempre se introducen algunos armónicos. Los filtros son del tipo Chebychev pasabajos en configuración Sallen Key de orden 4, y existe uno para cada tono, con una atenuación de -80 dBs (ver figura 2). El integrado utilizado en esta etapa es el LF 347 y se escogió esta configuración porque, al compararlo con uno de Butterworth de orden similar, posee una mejor respuesta, ya que presenta una mayor pendiente decreciente.

Como elemento de control se usó un microcontrolador Motorola (68HC908GP32), el cual gobierna cada uno de los bloques anteriormente descritos, a través de multiplexores colocados en el generador,

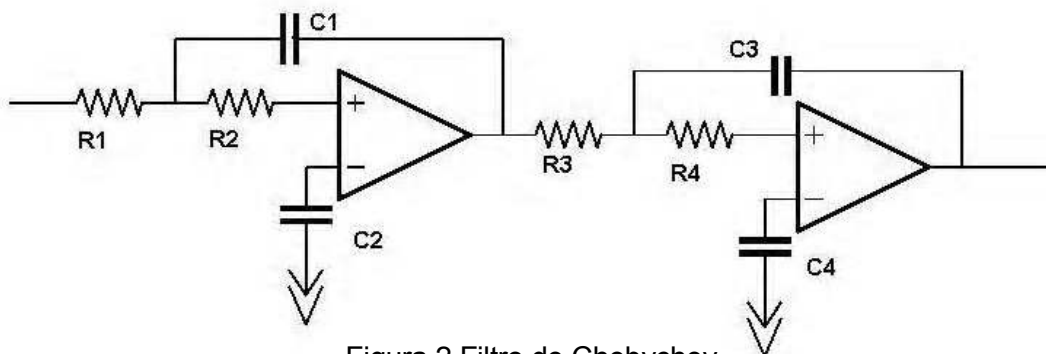


Figura 2 Filtro de Chebychev

amplificador y a la entrada y salida de los filtros, dando la posibilidad de ejecutar el examen de la misma forma cada vez que se realice. Además, posee una entrada conectada a un pulsador el cual será presionado por el paciente cada vez que escuche un tono, esta entrada sólo reconocerá un pulso inmediatamente después de presentado el tono para evitar falsas lecturas. Con esto se logra mejorar la objetividad del mismo, ya que la realización del examen no dependerá del estado de ánimo, grado de cansancio o pericia del examinador.

El diseño planteado permite programar el audiómetro para realizar las modificaciones y ajuste de acuerdo con la prueba a realizar, además de poder observar el resultado de la audiometría en una LCD si no se dispone de un computador para hacerlo. En la parte izquierda de la pantalla aparecerá la frecuencia, seguida del valor en de la intensidad para el oído izquierdo y derecho respectivamente. (Figura 3)

2.2 Programa de presentación y almacenamiento de la información

Con el fin de graficar y almacenar la información fue necesario desarrollar un programa para PC. Este programa se elaboró bajo la plataforma de Visual Basic 6, el cual posee un entorno gráfico mejorado, que permite visualizar de la manera apropiada los datos tomados durante el examen (Umbral de audición de cada oído), también ofrece el manejo de bases de datos que es ideal para el proyecto., grafica en función de la frecuencia y registra en una base de datos, con los principales datos del paciente, como lo son nombre y apellidos, número de cedula de ciudadanía, EPS, etc.

El entorno gráfico del programa se muestra en la Figura 4.

Para la realización de una consulta en la Base de Datos, el cliente ingresa el nombre y número de cédula (sin puntos ni comas) y al seleccionar un botón (Consultar) presenta el



Figura 3 Visualización del resultado en LCD

DATOS DEL PACIENTE

Nombre Completo: _____ Nombres del Paciente

Apellido Completo: _____ Apellidos del Paciente

Identificación: (Cédula de Ciudadanía / Documento de Identidad)

Fecha: (dd/mm/aaaa) _____ Fecha (dd/mm/aaaa)

Edad del Paciente: _____ Edad del Paciente

E.P.S. _____ E.P.S.

Nombre del Profesional: _____ Nombre del Profesional

Código del Profesional: _____ Código del Profesional

Sexo: Masculino Femenino

Figura 4 Presentación del programa

reporte del estado del paciente, las fechas de los anteriores exámenes, si los hay, así como los resultados de cada uno de ellos.

En la siguiente pantalla, el usuario podrá visualizar el resultado de la audiometría, tanto en forma gráfica como en tabla. En esta misma pantalla el médico tendrá la opción de introducir el dictamen médico, como el tratamiento que se deba seguir de acuerdo a lo observado en la audiometría.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el sistema se realizaron varias pruebas variando las frecuencias y el nivel de intensidad, en todas ellas tomando datos, y como resultado de estas se obtuvieron los datos que se presentan en la tabla 1

Tabla 1 Especificaciones del Audiómetro

Generales	Valor
Rango de frecuencias	125-8000 Hz
Rango de intensidades	10-60 dBs
Precisión en frecuencia	< 1%
Distorsión armónica	< 5%
Tiempo de estabilización off/on	20 seg
Precisión en nivel	< 5%

Para la realización de un examen con el equipo desarrollado se deberán cumplir los siguientes pasos:

1. Encender el audiómetro y entrar al programa de presentación en el computador
2. Llenar todos los datos personales requeridos por el programa
3. El paciente deberá colocarse los auriculares como lo indique el médico
4. El medico deberá confirmar los datos personales y oprimir continuar en el programa para iniciar el examen
5. Ya iniciado el examen, el paciente debe oprimir un pulsador cada vez que escuche el tono.
6. El audiómetro, una vez finalizado el examen, enviará los datos al computador donde el médico podrá ver los resultados tanto en forma gráfica como numérica, y de esta manera dar su dictamen y el tratamiento adecuado (figura 4).
7. Una vez efectuados estos pasos el medico podrá almacenar toda la información (datos de



Figura 5 Visualización del resultado del examen

paciente y medico, resultados del examen, el dictamen y el tratamiento), con fecha y hora de realización.

8. El programa también permite la posibilidad de imprimir el audiograma con todos los datos básicos a través de la opción imprimir de la pantalla.

Además, gracias al uso del microcontrolador es posible adaptar el sistema a otro tipo de pruebas como las de Carthart y Stenger, y si se quiere se le pueden agregar más pasos a los niveles de intensidad.

Comparado con un aparato tradicional, el equipo aquí descrito presenta como ventajas el que su tamaño y precio son reducidos. Además, ofrece un respaldo y asistencia excelente por tratarse de un producto nacional, este dispositivo podría ser utilizado en los diferentes hospitales y centros de salud, para detectar rápidamente quiénes pueden tener un problema de audición.

Desde el punto de vista técnico, el circuito desarrollado permite su calibración de una forma sencilla, variando los potenciómetros de precisión.

4. CONCLUSIONES

- En entidades e instituciones dedicadas a estudios auditivos, el equipo desarrollado resulta una solución excelente en la tarea de almacenamiento y generación automática de audiogramas e historias clínicas

- El aparato puede ser utilizado como una herramienta útil en Programas de Vigilancia Epidemiológica para la Conservación de la Audición, ya que genera una base de datos con toda la información recogida durante el examen o exámenes.

- El equipo contiene todos los elementos, necesarios para operar como un audiómetro de conducción aérea, y su diseño flexible permite variar valores de frecuencias y modos de operación.

- El costo en función de los beneficios resulta ser una de las características más relevantes del dispositivo, lo cual se podrá traducir en un criterio importante de selección.

- Se construyó un audiómetro que genera frecuencias en el rango los 250 - 8000 Hz,



Figura 6 Equipo desarrollado

con una ganancia programable entre los 10 - 60 dBs. Además el equipo cumple con los estándares para distorsión armónica y estabilidad, requerido para este tipo de pruebas.

- El uso de la tecnología de los microcontroladores permite una gran flexibilidad a la hora de realizar o variar los tipos de exámenes, otorgando al audiómetro facilidad de operación y la posibilidad de modernizar el equipo.

- Con la presentación gráfica en el computador se reducen las tareas del operario, mejorando la eficiencia y precisión del proceso de evaluación.

- Es una solución productiva, el hecho de realizar desarrollos propios para suplir las necesidades tecnológicas e industriales en nuestro país, evitando los problemas de adquirir tecnología a altos costos y que normalmente no se adaptan a las necesidades de nuestra región.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigaciones de la U.P.T.C. por el apoyo financiero para la realización del trabajo, a través del proyecto institucional Cod. 9009.067.

REFERENCIAS BIBIOGRAFICAS

- [1] Colombia, Instituto de Seguros Sociales. Gerencia de Protección de Riesgos Laborales. Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Ruido. p. 6 IBID., p. 28 - 30
- [2] MedlinePlus Información de Salud de la Biblioteca Nacional de Medicina. <http://medlineplus.gov/spanish>
- [3] E. Ruiz Carmona. (1970). Traumatismo sonoro. I reunión Nacional Traumatismos Otorrinolaringológicos, Málaga
- [4] QUIROS, J.B. y D'ELIA, (1982).N.: Introducción a la Audiometría, Buenos Aires, Ed. Paidós.
- [5] PAPARELLA, SCHUMRICK, MEYERHOFF, GLUCKMAN: (1994). Otorrinolaringología. Otolología y Neurología, 3º edición, 2:1136, , Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana
- [6] SARRAIL, E. C., y LAUBERER, M. E.: (1968) Material y equipos. El audiólogo. Técnicas de utilización práctica, Actas X Congreso Argentino de Otorrinolaringología, 639-672,
- [7] M. Portmann, C. Portmann. (1979) Audiometría Clínica. Barcelona: Toray-Masson. (3ª Edición),.