

# VirtualEar: Diseño y construcción de un audiómetro virtual

Cristina Gallego Ortiz<sup>1,Ψ</sup>, Juliana Ángel Vélez<sup>1</sup>, Catalina Zapata Vanegas<sup>1</sup>, Juan Manuel Marín Correa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Biomédica EIA-CES, Línea de Bioinstrumentación, Señales e Imágenes Médicas

Recibido 19 de octubre de 2006. Aceptado 12 de diciembre de 2006

---

**Resumen**— Se desarrolló un audiómetro virtual en la plataforma de instrumentación virtual LabVIEW 7.1. VirtualEar es un sistema que permite evaluar la capacidad auditiva mediante la realización de una prueba de audiometría aérea con posibilidad de enmascaramiento para detectar la audición cruzada. La audiometría se realiza reproduciendo tonos puros en el intervalo de frecuencias audibles (125Hz-8000Hz) con intensidad de presión sonora (SPL) variable en un rango de 0dB a 110dB. El enmascaramiento consiste en enviar una señal de ruido blanco al oído opuesto del que se está evaluando la capacidad auditiva. Ambas señales se emiten por dos canales separados y conforme se hace la prueba se van detectando los umbrales de mínima presión sonora audible. El audiómetro virtual VirtualEar permite generar y guardar la información en tablas, gráficos y reportes. Además permite manejar archivos de cada paciente e imprimir resultados.

**Palabras clave**—Audiometría, Audición cruzada, Enmascaramiento, Pérdida auditiva.

**Abstract**— A virtual audiometer was developed using the virtual instrumentation platform Labview 7.1. VirtualEar is a system that permits the evaluation of the audible capacity of a person, through an audiometric prove by air, with masking, to detect the crossed audition. The audiometry is done producing pure tones in the audible frequency's range (125Hz-8000Hz) with pressure intensity that varies in a range from 0dB to 100dB. Masking consists on sending a white noise signal to the opposite ear of the one that is being tested. Both signals are emitted through two separate channels, and in that way, the threshold of minimum audible pressure is detected. VirtualEar also permits to generate and save the information in tables, graphics and reports. Furthermore, it's possible to control each patient's files and print the results.

**Keywords**—Audiometry, Crossed hearing, Masking, Hearing loss.

---

## I. INTRODUCCIÓN

El espectro de frecuencias audibles por el oído humano se encuentra entre 20Hz y 20kHz en un intervalo amplio de niveles de presión sonora. El nivel de presión sonora (NPS) más bajo audible por el oído humano varía con la frecuencia y se llama el umbral auditivo, mientras que el nivel de presión sonora más alto audible sin dolor es alrededor de 120dB SPL. En una pérdida auditiva, el umbral auditivo es mayor con respecto al umbral auditivo normal y su determinación es el objetivo de una prueba audiométrica.

Las unidades audiométricas para medir la intensidad del sonido son los decibeles (dB). El tono del sonido se mide en hertz, donde los tonos graves fluctúan entre 50 y 60Hz, y los

tonos agudos de máxima elevación tienen aproximadamente 10.000Hz [2]. La sensibilidad del oído a la intensidad del sonido (volumen) también varía con la frecuencia. La sensibilidad a los cambios de volumen es mayor entre los 1.000Hz y los 3.000Hz, de manera que se pueden detectar cambios de un decibelio. Esta sensibilidad es menor cuando se reducen los niveles de intensidad de sonido [4].

La realización de la prueba puede hacerse por vía aérea o por vía ósea [3]. La primera se hace emitiendo tonos por vía aérea con frecuencia e intensidad mínima conocidas, las cuales se van aumentando hasta que el paciente perciba el sonido, lo que luego permite trazar una curva audiométrica que revelará el grado de audición y el tipo de

disminución auditiva del paciente. La segunda se entiende como los sonidos que penetran el hueso, y para ésta se utiliza un transductor o vibrador óseo con intensidad y frecuencia variable, que se sitúa en la zona mastoidea (fuera del cartílago auricular).

La evaluación audiológica permite detectar daños en un estado inicial de desarrollo. No se considera una técnica de prevención, ya que no evita los daños ocasionados por la exposición al ruido, pero su realización suministra información útil para el comienzo de planes de control de audición, y el seguimiento de medidas preventivas.

El proyecto VirtualEar consistió en el desarrollo de un audiómetro virtual. Se construyó un audiómetro digital que permitiera la evaluación audiométrica por vía aérea y el manejo eficiente de los datos del paciente. Esta herramienta permitirá el manejo de la información por medio de la creación de una interfaz gráfica que provea facilidad de operación para el personal que realiza la prueba.

Este tipo de herramientas virtuales proporcionan ventajas en comparación con los audiómetros convencionales debido al manejo computacional de la información, que permite la generación de reportes digitales, el fácil manejo y la portabilidad del equipo, entre otras [5]. Además, posibilita la realización de pruebas audiométricas en situaciones donde no es posible contar con un audiómetro convencional.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales

El software utilizado consistió en la plataforma de instrumentación virtual Labview 7.1 de la *National Instruments*, la plataforma MATLAB 7.1 y el *Sistema operativo* Windows XP. Professional Edition (Microsoft).

Para la salida de audio se utilizó una tarjeta de *sonido Realtek HD Audio real output* y un juego de audífonos con un rango de respuesta adecuado desde 350Hz hasta 10 KHz.

### B. Métodos

El audiómetro propuesto fue diseñado, simulado e implementado en el software Labview 7.1. El diseño incluyó la consideración de las características técnicas de operabilidad de un audiómetro convencional como son: el intervalo de frecuencias y el rango de niveles SPL dB.

Para el diseño conceptual del *VirtualEar* se utilizó un diagrama con los componentes y funcionalidades del audiómetro por construir, como se muestra en la Fig. 1.

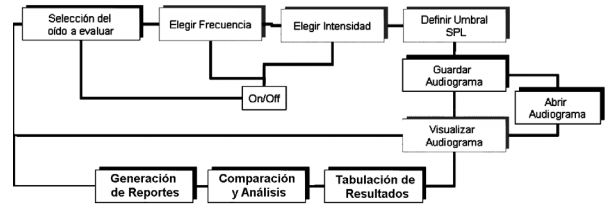


Fig. 1. Diagrama de bloques del audiómetro virtual desarrollado.

La audiometría es un examen que cuantifica las pérdidas auditivas y determina la magnitud de éstas en relación con las vibraciones acústicas [3]. Esta vibración mecánica se traduce en el sistema auditivo básicamente en dos cualidades sensoriales importantes: la altura, que traduce la presencia de las vibraciones (ciclos/segundo o hertz) y la sonoridad, que está en función de la intensidad física, es decir de la amplitud de las vibraciones.

La prueba audiométrica se basa en la evaluación de la respuesta auditiva generada frente a un estímulo controlado de las anteriores variables (frecuencia e intensidad).

A grandes rasgos, un audiómetro es un generador que emite tonos puros a distintas frecuencias y con un atenuador de intensidad sonora en decibeles.

El *VirtualEar* consta de: un control de intensidad con divisiones de 10dB, un control de frecuencias entre 250Hz y 8.000Hz, un transductor o auricular de salida para la señal por vía aérea y un botón activador del enmascaramiento para descartar la posibilidad de audición cruzada.

En el audiograma las intensidades usadas para medir los umbrales de presión sonora audible van desde 0dB a 110dB SPL en la escala de decibeles. Las frecuencias sonoras se muestran en Hz y van desde 125 a 8.000.

En la Fig. 2 se aprecia el cuadro de controles y comandos para la realización de la prueba.

En caso de registrarse una hipoacusia por vía aérea, es recomendable realizar una audiometría ósea. La investigación del umbral óseo requiere casi siempre la eliminación de la audición del oído opuesto por medio del enmascaramiento. Sin enmascaramiento, se toma el umbral de audición del oído opuesto (mejor que la del interrogado), puesto que el sonido atraviesa la base del cráneo por conducción ósea transcraneana.

La mayoría de los audiómetros traen ciertos ruidos enmascaradores tales como el ruido blanco, banda estrecha y sierra [3]. En el audiómetro desarrollado, se empleó una fuente de ruido blanco para enmascarar la audición cruzada del oído opuesto al que se esté evaluando en un preciso momento.

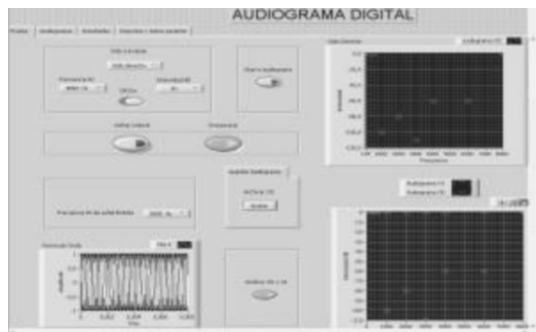


Fig. 2. Cuadro controles GUI de evaluación.

El *VirtualEar*, además, permite elegir el audiograma a visualizar. La fuente puede ser de dos tipos: audiograma actual y audiograma desde archivo. La incorporación de esta opción de visualización y manipulación para el análisis y registro de audiogramas es una de las ventajas que el audiómetro virtual posee, ya que el registro audiométrico en equipos convencionales (no virtuales o digitales) es manual; es decir, el especialista registra en papel los umbrales de percepción sonora que capta. Esta opción adicionalmente permite que los audiogramas que hayan sido almacenados puedan ser analizados más tarde (Fig. 3).

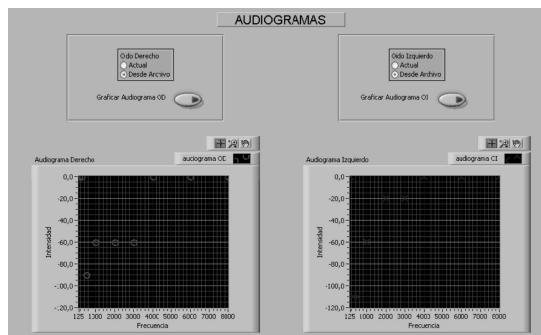


Fig. 3. Visualizador de audiogramas.

### III. DISCUSIÓN

Con el *VirtualEar* es posible realizar pruebas audiológicas eficientes por medio de herramientas digitales que facilitan el trabajo en cuanto a tiempo de realización de la prueba y almacenamiento de la información que se obtiene.

El sistema de control y operabilidad del audiómetro permite la retroalimentación de información en frecuencia e intensidad de cualquier sonido que se emita durante la prueba, ya que el operario del equipo puede visualizar estas variables en el panel de control. Otro aspecto relevante del audiómetro es la lateralidad con la que se estimula al paciente en uno de los dos oídos de manera controlada, además la herramienta de enmascaramiento permite simultáneamente detectar el umbral para un oído mientras que al otro se envía ruido blanco.

La opción de crear reportes en formato HTML es otra característica importante del *VirtualEar*, puesto que permite generar informes muy versátiles. Básicamente consiste en un informe que contiene la información clínica del paciente y sus audiogramas, historia clínica y comentarios del médico.

En general, con este proyecto se logró la implementación de una prueba audiométrica digital y la evaluación eficiente de umbrales auditivos. Esto podría representar un ahorro de tiempo al audiólogo gracias a las herramientas de generación de reportes, el almacenamiento de información en bases de datos de fácil accesibilidad y manejo, además de permitir el análisis y la revisión de pruebas realizadas con anterioridad.

### IV. CONCLUSIÓN

El audiómetro sirve de base para la implementación de sistemas virtuales aplicados al diagnóstico audiológico.

En desarrollos futuros del proyecto, se planea ampliar las opciones de la evaluación audiológica a audiometría por vía ósea, ya que en casos de hipoacusias por conducción es imprescindible contar con esta prueba. Para esto es necesario desarrollar un transductor o vibrador óseo que permita conducir las señales con calidad en frecuencia e intensidad.

Otro desarrollo consiste en mejorar el enmascaramiento utilizando un ruido que tenga una respuesta en frecuencia no lineal, de tipo logarítmica, tal como es la audición humana.

### AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al ingeniero biomédico Juan Carlos Ramírez por la dedicación y ayuda prestada durante la realización de este proyecto, al igual que por su asesoría y motivación a la investigación. También a la audióloga Claudia Duque, por su generosa colaboración.

### REFERENCIAS

- [1] Hers M. A., Johnson M. A. *Assistive Technology for the hearing impaired Deaf and Deafblind*. Springer-Verlag London. 2003. Capítulo 3, Hearing-aid principles and Technology, 71-74.
- [2] Gallego H., Orozco H. Diseño y construcción de un audiómetro computarizado. *Scientia et Technica Año X*, No 24, Mayo 2004. UTP.
- [3] Apuntes Otorrinolaringología: Audiometría. Escuela de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile. Agosto de 2006. Disponible En: <http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ApuntesOtorrino/Audiometria.html>
- [4] Marco J. L. M. Audiometría tonal liminar: exploraciones previas y vía aérea. España. Centro Nacional de Condiciones de trabajo. Agosto de 2006. Disponible en: [http://www.mtas.es/insht/ntp\\_ntp\\_284.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp_ntp_284.htm)
- [5] Olansen J. B. and Rosow E. *Virtual Bio-instrumentation*. Biomedical, Clinical and Healthcare applications in LabVIEW. Prentice Hall PTR. New Jersey, 2002. Capítulo 8, 295- 339.