

Audiómetro controlado por computadora, implementación mediante programación visual con observancia de normas internacionales

Ma. Julia Calderón Sambarino¹, Sergio Suárez Guerra^{1,2}

¹ Centro de Investigación en Computación,
Instituto Politécnico Nacional,
México, D. F.

² ICIMAF, Cuba.

msambarino@sagitario.cic.ipn.mx, ssuarez@cic.ipn.mx

Resumen. El examen audiométrico es una evaluación que nos permite conocer la capacidad de un individuo para escuchar diferentes sonidos y así determinar su umbral auditivo. Un audiómetro es el equipo que permite llevar a cabo un examen audiométrico. Se presentan los resultados del proyecto que incluye el desarrollo de un audiómetro de conducción aérea controlado por computadora que realiza un examen audiométrico mediante una prueba de tonos puros (Audiometría Tonal Liminar) generando resultados gráficos (audiogramas) sobre la base de normas internacionales para audiómetros. El audiómetro permite la generación de pruebas audiométricas adicionales de acuerdo a las necesidades del especialista para facilitar el diagnóstico, así como también el almacenamiento de las audiometrías realizadas junto al historial sustentado en la Norma Oficial Mexicana del Expediente clínico y garantizando la confidencialidad del mismo entre los especialistas usuarios del sistema. La implementación del audiómetro comprende la calibración relativa de los dispositivos requeridos para las evaluaciones audiométricas.

1 Antecedentes

La audición constituye la vía habitual para adquirir el lenguaje, el cual nos permite la comunicación a distancia y a través del tiempo, además es el responsable del desarrollo de la sociedad y de la conservación de la cultura.

La sordera es un grave impedimento cuyos efectos trascienden la posibilidad de comunicación a través del habla, repercutiendo en la armonía familiar, el desempeño académico, el retraso en el lenguaje y las expectativas laborales y profesionales de las personas afectadas.

Desde la hipoacusia leve hasta la sordera profunda, son entidades tratables, y los resultados del tratamiento en término de incorporación de los niños afectados, dependen de lo precoz y fiable que resulte el diagnóstico. Se considera una audición normal cuando los límites del sonido son captados entre los 0 y 20 decibeles.

1.1 Introducción

La Audiometría es un conjunto de pruebas para medir la audición. Dentro de este conjunto de pruebas, vamos a referirnos a la más frecuente cuya denominación médica es Audiometría Tonal Liminar, porque en ella se emplean tonos puros y se busca el umbral de audición o mínima intensidad de sonido capaz de ser percibida. La audiometría se realiza mediante la utilización de un aparato electrónico denominado audiómetro. Dicho aparato se compone de un generador de estímulos que son transmitidos al individuo a través de unos auriculares aplicados estrechamente al oído.

Existen varios tipos de audiometrías, pero la más usada en el Sector Salud es la audiometría tonal o de tonos puros, la cual consiste en la estimulación auditiva por medio 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. Las frecuencias exploradas por medio de esta técnica son las de 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz y la intensidad del estímulo varía desde 10 a 110 Dbs[CIFT97]. Las frecuencias medias, es decir, las comprendidas entre 500 y 2000 Hz, son las más importantes para la audición de las palabras ya que en dicho rango se sitúan la mayoría de los fonemas que componen la voz humana.

Para la realización de una audiometría tonal pura es necesario seguir las guías propuestas por los estándares internacionales sobre las frecuencias de inicio, así como la intensidad incremental. El ruido debe transmitirse a través del conducto auditivo, a través del oído y del oído interno, más conocido como caracol, hasta llegar al nervio auditivo y al cerebro. En el caso de la estimulación por vía ósea se prescinde tanto del oído externo como del medio, produciéndose una estimulación directa del oído interno a través de los huesos del cráneo.

La audiometría se representa en una gráfica llamada audiograma la cual se define por un eje de ordenadas dividido en intervalos de 10 dBs. y un eje de abscisas donde se sitúan los diferentes tonos que utilizamos para estimular, desde los más graves (125 y 500 Hz) hasta los más agudos (4000 y 8000 Hz).

La simbología a emplear en el audiograma se define en los estándares ISO 389-2 y en el IEC 60645-1. El cero audiométrico (0 dBs.) del audiograma viene determinado por una normativa internacional y se corresponde con la intensidad media mínima en cada una de las frecuencias a la cuál poblaciones de personas sin antecedentes de daño audiológico comienzan a percibir un estímulo tonal determinado.

2 Propuesta y consideraciones

El sistema consiste en un equipo formado por una computadora, con entradas y salidas estándar: audífonos para la emisión de sonidos, impresora para la graficación de resultados, y un sistema de software diseñado para llevar a cabo estas emisiones. La aplicación desarrollada realiza una Evaluación Audiométrica Tonal Liminar por conducción aérea. Esta prueba se considera la evaluación básica necesaria en los estudios audiométricos y se incluye en los sistemas de diagnóstico audiométrico comerciales.

Una consideración indispensable es la integración de bases de datos para el almacenamiento del perfil del paciente y su expediente clínico, de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas audiométricas que realice, la configuración de las pruebas audiométricas generadas así como los expedientes laborales de los usuarios del sistema (especialistas).

La siguiente consideración se refiere a los costos. Los equipos biomédicos convencionales conllevan altos costos no solo de adquisición, sino de mantenimiento, accesorios y garantías, mismos que se incrementan por ser tecnologías de importación, por lo que el Audiómetro desarrollado tiene como premisa ser una solución de bajo costo proporcionando resultados confiables que permitan un diagnóstico certero.

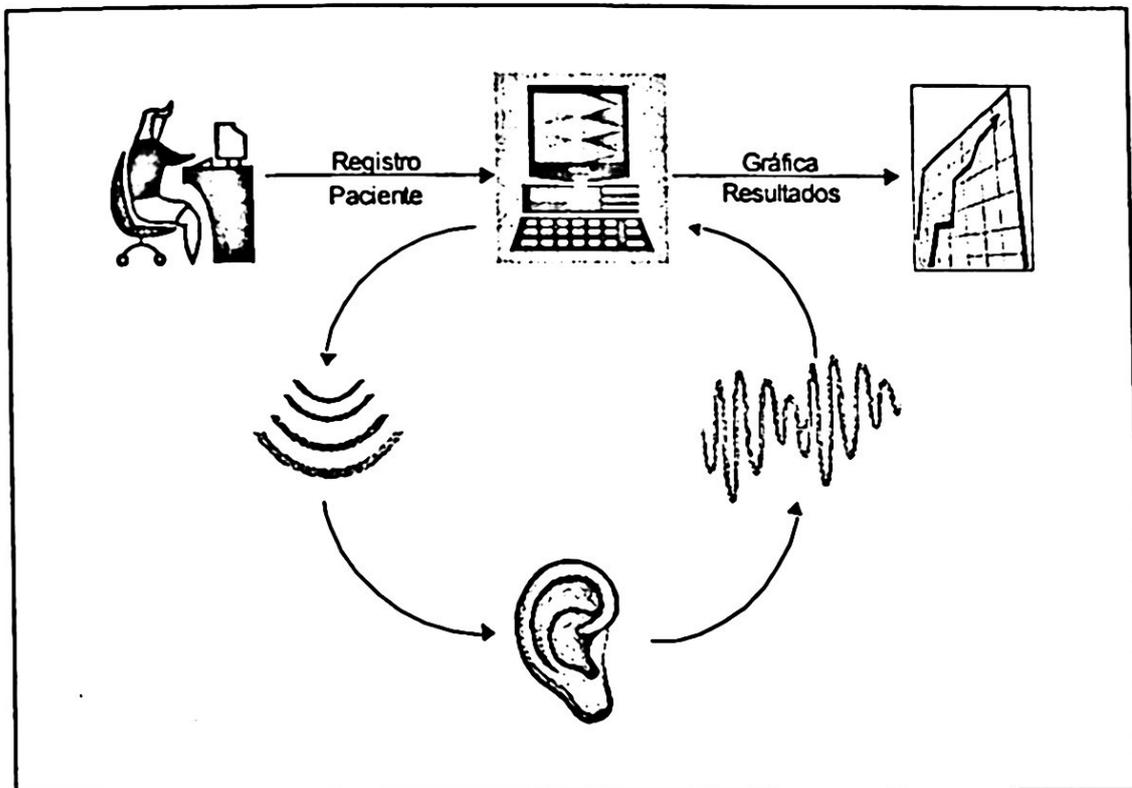


Fig. 1. Esquema general del sistema desarrollado

La interfaz intuitiva se considera un beneficio adicional del sistema, ya que resulta innegable el aspecto interdisciplinario que se refleja en el uso del producto final por parte de especialistas médicos (audiólogos) que requieren sencillez en el uso de las herramientas computacionales.

3 Metodología de desarrollo

Para el análisis y desarrollo del Sistema de Evaluación Audiométrico se consideró el marco teórico integrado por cinco aspectos fundamentales:

3.1 Ingeniería de software: Paradigma orientado a objetos

Como parte del desarrollo interno del sistema y materia fundamental de la ingeniería de software, debe existir una metodología de desarrollo, en este caso, empleamos el Paradigma Orientado a Objetos donde el ciclo de vida o desarrollo del proceso orientado a objetos se mueve a través de una espiral evolutiva que comienza con la comunicación del usuario, la definición del dominio del problema y la identificación de las clases básicas del problema [BOHB85].

3.2 Persistencia de la información: Uso de bases de datos

Las aplicaciones de bases de datos permiten a los usuarios interactuar con información almacenada. Las bases de datos proveen la estructura para esta información y permite compartirlas entre varias aplicaciones.

A partir de esto se trabajó en un diseño de bases de datos que involucra a tres actores principales: usuarios (doctores que llevan a cabo una evaluación audiométrica), pacientes (sujetos con expediente clínico y posibles candidatos para evaluaciones auditivas) y la evaluación audiométrica en sí misma, ya que una de las principales ventajas del sistema propuesto, es que cada uno de los usuarios puede configurar pruebas audiométricas particulares a cada paciente o caso de estudio, y no conformarse con la prueba estándar indicada por las Normas Internacionales e incluida como prueba base o única, en los equipos comerciales de evaluación audiométrica.

3.3 Pautas de desarrollo: Observancia de las normas

Los estándares son documentos o acuerdos que contienen especificaciones técnicas o criterios precisos para usarse como reglas, pautas o definiciones para asegurar que los materiales, productos, procesos y servicios son los adecuados a nuestros propósitos [ISO02]. La Organización Internacional para la Estandarización ISO es un organismo internacional con aceptación en 140 países entre ellos México, que tiene como propósito promover el desarrollo de estándares en el ámbito científico, tecnológico y económico.

Los estándares nos brindan una garantía de funcionalidad en los productos o servicios sobre los cuales se apliquen. Los desarrollos médicos y tecnológicos que se guíen por los estándares indicados por la ISO podrán participar en un ámbito internacional y permiten la interacción con desarrollos previos existentes. Nuestro trabajo se ajusta a estándares internacionales, tanto de la ISO como de la IEC y la ANSI, así como en Normas Oficiales Mexicanas, comentadas en la siguiente tabla:

Tabla 1. Descripción de estándares considerados en la investigación

Organismo	Norma/ Estándar	Descripción
ISO	389-1	Referencia cero para calibración de equipo audiométrico: Niveles de referencia equivalentes de presión acústica

ISO	389-2	para tonos puros para audífonos supra-aurales Referencia cero para calibración de equipo audiométrico: Niveles de referencia equivalentes de presión acústica para tonos puros para audífonos insertados
ISO	389-3	Referencia cero para calibración de equipo audiométrico: Niveles de referencia equivalentes de nivel de fuerza para tonos puros y para vibradores óseos.
ISO	389-4	Referencia cero para calibración de equipo audiométrico: Niveles de referencia para ruido enmascarado en banda ancha.
IEC	60645-1	Equipo audiológico: Audiómetros de tonos puros
IEC	60645-4	Audiómetros: Equipos para la audiometría extendida al dominio de la alta frecuencia
ANSI	S3.6-1996	Especificaciones para audiómetros
DGN	NOM-168- SSA1-1998	Del expediente clínico

3.4 Paradigma de detección simple

La situación en los paradigmas de detección es simple: una señal es presentada al sujeto y éste debe decir si la detecta o no. Este es el esquema básico que siguen los distintos procedimientos audiométricos para la determinación del umbral de audición del sujeto.

Desde una perspectiva metodológica es claro que las respuestas dadas por el sujeto no sólo dependen de su sensibilidad, sino también de un conjunto amplio de variables no sensoriales tales como la motivación, los intereses o lo que los sujetos esperan ganar o perder en función de su respuesta.

		Respuesta	
		Sí	No
Estímulo	Sí	Acierto	Omisión
	No	Falsa Alarma	Rechazo correcto

Fig. 2. Resultados posibles tras realizar un experimento de detección de señales siguiendo el procedimiento de detección simple: sí / no

En el procedimiento sí/no el sujeto se enfrenta a dos situaciones posibles: la captación (escucha) de la señal o la no-presentación de la señal (silencio). Durante el experimento el sujeto ha de decidir, en cada ensayo, cuál de las dos situaciones le fue presentada. Sin embargo, la intensidad de la señal es un factor modificable, por lo tanto, en caso de una respuesta no-presentación, se debe incrementar la intensidad de la señal hasta lograr un resultado de captación de la señal.

En ambos casos, se debe registrar la intensidad con la cual la señal fue captada o no. Por lo tanto, el procedimiento sí/no genera cuatro clases de respuestas diferentes que se recogen en la siguiente figura.

3.5 Calibración relativa: Manteniendo la solución sencilla

Las calibraciones requieren de dispositivos especializados para ello: oídos artificiales con micrófonos calibrados, ambos con un alto costo, por lo que para la puesta a punto de los auriculares se optó por una calibración relativa, eficiente pero con un costo considerablemente menor.

La calibración relativa consiste en calibrar los audífonos a partir de la mínima audición captada por el usuario para cada una de las frecuencias. Se selecciona un usuario de audición normal y se le presenta cada una de las frecuencias, primero en el oído izquierdo, después el oído derecho; el usuario ajusta el volumen a su mínima intensidad audible y los resultados son almacenados en un archivo de texto, relacionados en una base de datos.

Esta calibración relativa permite que el sistema funcione con distintos dispositivos emisores, es decir, los auriculares pueden ser sustituidos y únicamente requerirá repetir el proceso de calibración, siempre y cuando la persona que lo lleve a cabo cuente con una tabla de calibración previa almacenada.

Si el sistema es instalado en otro equipo de cómputo, aún usando los mismos auriculares, será necesario almacenar una nueva calibración, ya que la tarjeta de sonido encargada de la emisión de la señal varía de una computadora a otra, aún cuando las características, como procesador y marca sean similares.

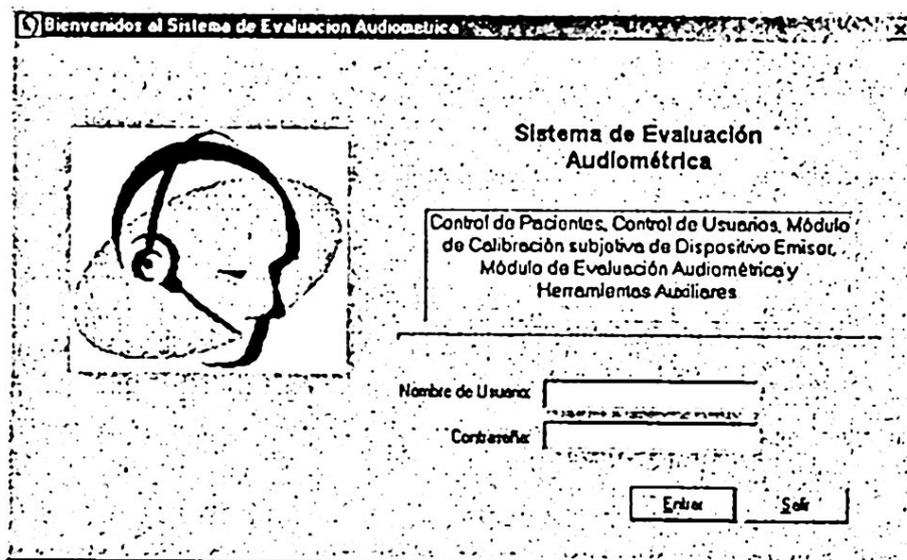


Fig. 3. Pantalla de validación de usuario y acceso al sistema

Cuando se realiza una evaluación audiométrica, se relaciona en la base de datos con la calibración perteneciente a los dispositivos que se emplean para dicha evaluación, lo cual permite a futuro conocer y relacionar el nivel auditivo con la calibración almacenada, aún cuando los dispositivos hayan cambiado.

4 Sistema de evaluación audiométrica: Nuestra propuesta

La primera pantalla corresponde a la validación que deben realizar los usuarios del sistema para su reconocimiento y acceso. Esto garantiza que los expedientes de los pacientes sólo serán conocidos y manipulados por el especialista que los generó.

Una vez que se ha validado al usuario, se presenta la pantalla principal donde podemos dar de alta nuevos usuarios y pacientes, así como configurar evaluaciones audiométricas, realizar calibraciones, o llevar a cabo una evaluación audiométrica con un paciente ya registrado.

El siguiente paso es el registro del paciente, si el sujeto ya se encuentra dado de alta, es posible acceder directamente a su expediente para revisar su historial de evaluaciones y modificar datos relativos al diagnóstico o patología, o bien proceder a una evaluación audiométrica. Un sujeto o paciente puede tener tantas evaluaciones como el usuario considere necesario. Por ello el módulo de configuración de evaluaciones resulta no sólo necesario, sino una característica particular de la aplicación propuesta. En el módulo de configuración de la evaluación, el usuario puede crear nuevas evaluaciones audiométricas decidiendo entre las 12 frecuencias manipuladas por el sistema y ajustándolo al perfil de un sujeto en particular.

Fig. 4. Generación de una evaluación audiométrica estándar

Los resultados pueden observarse en el audiograma, que presenta además de las gráficas estándar, la opción de graficar la calibración relativa asociada y sus rangos de aceptación normal.

Para el usuario del sistema, es posible dar de alta a pacientes o bien, a nuevos usuarios, y atribuirle a cada uno de ellos, un estado: Activo, Suspendido, Baja. Esto surge por las características observadas en las clínicas y centros de salud, donde los doctores pueden comisionarse a otros centros o concluir su período de servicio, mientras que los usuarios permanecen. De aquí surge otra necesidad, la transferencia de pacientes de un doctor a otro para continuar el seguimiento o distribuir la carga de

trabajo. La transferencia de pacientes se ofrece como parte de las herramientas útiles al especialista.

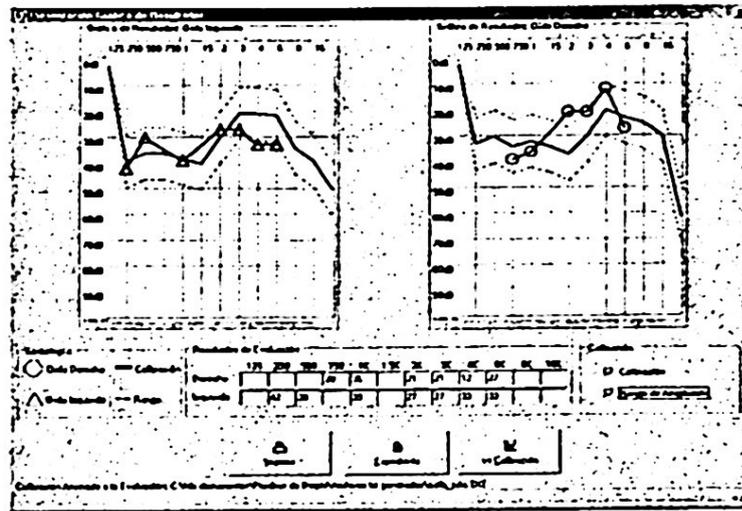


Fig. 5. Audiograma estándar con líneas guía de calibración y rango de audición normal

Fig. 6. Pantalla de transferencia de pacientes entre usuarios del sistema

5 Conclusiones

El trabajo realizado, así como los similares que se han desarrollado en México, manifiestan la creciente necesidad de dotar de nuevas posibilidades el mercado actual de equipos biomédicos, particularmente Audiométricos en su mayoría con tecnología importada, de soluciones confiables y de bajo costo.

El tema de diagnóstico audiométrico es amplio y este trabajo alcanza a satisfacer únicamente uno de sus requisitos, tal vez el básico, la audiometría tonal liminar por conducción aérea. Se muestra un largo camino a futuro respecto a las evaluaciones audiométricas basadas en computadora: pruebas objetivas, timpanometría, audiometría por conducción ósea, entre otros.

El análisis y desarrollo de dichas pruebas basándonos en normas aceptadas internacionalmente brindaría al país opciones de mejorar la calidad de vida de los sectores marginados y lo colocaría como desarrollador de tecnología biomédica, trabajo asignado comúnmente a los países más desarrollados.

Referencias

1. [BOHB85]. Bohem, B. The Basic Principles of Software Engineering, Publishers Inc. 1985.
2. [CIFT97]. Cifuentes T. En Med Mar: La pérdida auditiva. Su exploración a través de las pruebas funcionales liminares. Medicina Marítima. 1997
3. [IEC60645-1]. IEC. Electroacoustics- Audiological equipment Part 1. IEC 2001
4. [IEC60645-4]. IEC. Electroacoustics- Audiological equipment Part 4. IEC 1998
5. [IEC02]. IEC. Mission and Objectives. <http://www.iec.ch>. 2002
6. [ISO389-1]. ISO. Acoustics- Reference zero for the calibration of audiometric equipment. Part 1 ISO 1998
7. [ISO389-3]. ISO. Acoustics- Reference zero for the calibration of audiometric equipment Part 3. ISO 1994
8. [ISO389-4]. ISO. Acoustics- Reference zero for the calibration of audiometric equipment Part 4. ISO 199
9. [ISO02]. ISO. ¿What are standards? <Http://www.iso.ch/iso>. 2002
10. [OTORE99]. Otorrino, El. Audiometría. <http://www.elotorrino.com>. 1999