

APLICATIVO DE SOFTWARE PARA AUDIÓMETRO DE TAMIZAJE

Diego Mauricio Murillo Gómez
Facultad de Ingenierías, Universidad de San Buenaventura
Medellín, Antioquia, 050010, Colombia

Y

Carlos Arturo Castro Castro
Facultad de Ingenierías, Universidad de San Buenaventura
Medellín, Antioquia, 050010, Colombia

RESUMEN

El presente artículo es un reporte del resultado del proyecto de investigación realizado en la Universidad de San Buenaventura Bogotá programa de Ingeniería de Sonido, bajo el nombre de Software de Audiometría.

Este aplicativo de software permite generar propuestas para futuros desarrollos entre diferentes grupos de investigación interesados en este campo.

El proyecto Software de Audiometría dio como resultado un audiómetro de tamizaje, en el cual el procesamiento en su mayoría, se realiza por software. El aplicativo permite realizar pruebas audiométricas por vía aérea y vía ósea, permitiendo manipular los niveles de salida de forma automática o controlados manualmente por el operador. Fue calibrado y certificado en los laboratorios de la empresa Techniks Ltda con domicilio en la ciudad de Bogotá y sedes en todo el país.

Se deriva de este proyecto otras propuestas relacionadas como el “*Audiómetro Tipo 3 Norma NTC 2884 con Software Libre*”, que se viene desarrollando por los grupos de investigación GIAPA (Grupo de Investigación en Acústica y Producción de Audio) y GIIDIE (Grupo de Investigación, Innovación y Desarrollo en Informática Educativa), adscritos a la Facultad de Ingenierías de la Universidad de San Buenaventura Medellín (Colombia).

Palabras claves: Audiómetro, Software, Pérdida Auditiva, Audiometría, Sonido, Ingeniería de Sonido, Acústica.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los fenómenos sonoros y su interacción con el ambiente, permite la integración y generación de conocimiento en el campo de la Acústica; el cual, se estructura y desarrolla por medio de técnicas y metodologías propias de la ingeniería. Es así, como la Ingeniería de Sonido apoyada en diversas disciplinas como la Ingeniería del Software, plantea soluciones a problemáticas específicas por medio de la elaboración de

aplicativos que procesan señales de audio y sirven de instrumento para el análisis de propiedades acústicas.

El aumento en los niveles de ruido de las áreas urbanas debido al crecimiento de la industria y transporte, está deteriorando la calidad de vida en la población, la exposición al ruido produce afecciones fisiológicas como la pérdida de audición y alteraciones en la presión arterial, además de disminuir la capacidad de concentración afectando el rendimiento laboral y académico, lo que genera malestar y acrecienta los niveles de irritabilidad y estrés [1].

La audiometría es un examen en el cual se halla el estado de audición de un paciente; esta prueba, se ejecuta por medio de un equipo especializado denominado audiómetro, el cual cumple con las normativas para este tipo de pruebas [2,3]. La construcción de audiómetros favorece la escalabilidad del conocimiento, fortaleciendo la investigación en áreas como la acústica y la implementación de tecnología propia en pro de satisfacer necesidades locales y reducir la brecha en el desarrollo de este tipo de tecnologías.

Un proyecto de investigación liderado desde el programa de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura Bogotá, permitió el desarrollo del audiómetro de tamizaje “Audio Tamiz”, por medio de software y que ejecuta pruebas por vía aérea y vía ósea controlando los niveles de amplitud de forma automática o manual según los requerimientos del cliente. El lenguaje de programación en el que se compiló el aplicativo fue Visual Basic 6; Audio Tamiz se calibró en los laboratorios de Techniks Ltda “Certificado de Calibración No 051 de 2008” y se registró en Derechos de Autor en el Libro 13 Tomo 22 partida 129. La concepción del aplicativo, no solo es una herramienta funcional para ofrecer al mercado sino que ha permitido el desarrollo de otras propuestas relacionadas y lideradas desde la Facultad de Ingenierías de la Universidad de San Buenaventura Medellín [4].

Este artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: marco teórico el cual estipula un fundamento científico e ingenieril del proyecto, estado del arte en

donde se muestran las investigaciones relacionadas, descripción de la arquitectura de hardware y de software detallando la interfaz gráfica y funcionamiento del programa, etapa de calibración del audiómetro, una propuesta de futuros proyectos y conclusiones.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sonido: Es una vibración mecánica que se transmite en un medio elástico, Se caracteriza por su frecuencia y amplitud. La frecuencia, es el número de vibraciones que se repiten en la unidad de tiempo. Su unidad es el hertzio (Hz). El periodo, es el tiempo que se demora la onda en realizar una vibración y se encuentra relacionado con la frecuencia de la siguiente manera:

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde T es el Periodo y f la Frecuencia

La respuesta en frecuencia del oído humano se encuentra en un rango aproximado de 20 a 20000 Hz, por lo que se denomina sonido, a las ondas que se encuentren dentro de esta categoría. Las ondas con frecuencia inferiores a 20 Hz se denominan infrasonidos y las superiores a 20.000 Hz ultrasonido.

La presión sonora, se encuentra relacionada con la amplitud de la onda y se define como la diferencia entre la presión instantánea ocasionada por la perturbación y la presión atmosférica de referencia en un punto en particular. La presión sonora varía en rangos muy grandes, por lo que se manejan los niveles de presión sonora en escala logarítmica:

$$SLP = 20 \log_{10} \left(\frac{P_{actual}}{P_{ref}} \right) \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde P_{actual} es la presión actual y P_{ref} es la presión de referencia 20 μ Pascales.

El SPL (*Sound Pressure Level*) se expresa en decibeles (dBs spl), el cual no es una unidad de medida sino una relación logarítmica.

El oído humano no posee un comportamiento lineal, en bajas y altas frecuencias, el oído es menos sensible que en las frecuencias medias; esto se puede visualizar en la figura 1 en donde se muestra como el umbral de audición depende de la frecuencia.

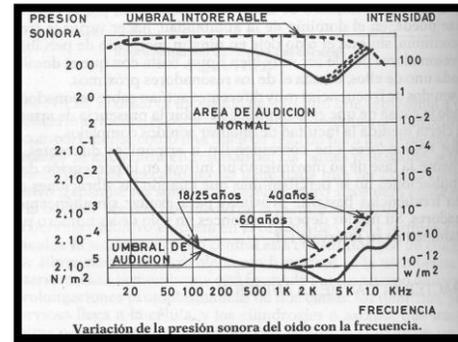


Figura 1. Variación de la presión sonora del oído con la frecuencia [5]

Debido a la respuesta del oído, el decibel SPL no es el adecuado para valoraciones del sistema auditivo, ya que un mismo nivel, no representa la misma sensación de sonoridad [1]. El decibel HL tiene en cuenta estas diferencias de sensibilidad, estipulando 0 dBs en función de la frecuencia del sonido, con el fin de que las pruebas audiométricas generen una respuesta plana en pacientes otológicamente sanos.

Frecuencia	dBs HL	dBs SPL
125 Hz	0	45.5
250 Hz	0	24.5
500 Hz	0	11
1000 Hz	0	6.5
2000 Hz	0	8.5
4000 Hz	0	9

Tabla 1. Equivalencia entre Decibel HL y Decibel SPL,

2.2 Audiometría: Examen en el cual se determina el umbral de audición de un individuo. Esta prueba se realiza de diferentes maneras, mediante tonos puros o palabras normalizadas y se clasifica según el método de transducción (vía aérea o vía ósea). La audiometría permite detectar si existen daños en el sistema auditivo con el fin de tomar acciones y no permitir el avance del problema.

2.2.1 Audiometría tonal: Prueba que se realiza por medio de tonos puros estandarizados [2]. Se estimula al paciente con una frecuencia específica y se determina el umbral de audición del individuo en esa frecuencia.

2.2.2 Logaudiometría o audiometría vocal: Mediante esta prueba se pretende hallar la capacidad de escucha y captación del paciente al lenguaje; se realiza mediante la proyección de palabras normalizadas y se determina qué porcentaje fue entendido correctamente.

2.2.3 Prueba vía sérea: Hace Referencia al método de transducción utilizado para la realización de la prueba. En su ejecución, se usan unos audífonos normalizados que se acoplan al oído del paciente.

2.2.4 Prueba vía osea: El Transductor es un vibrador mecánico puesto en la zona mastoidea; esta prueba relacionada con la anterior permite determinar en qué parte del oído se encuentra el daño.

2.3 Efectos nocivos del ruido en la audición:

2.3.1 Trauma acústico: Es la pérdida de audición parcial o total debido a largas exposiciones a ruido con altos niveles de presión sonora. Los daños también pueden ser producidos por sonidos impulsivos como explosiones. Este trauma puede ser temporal o permanente.

2.3.2 Acúfenos: Es la percepción de pitidos o zumbidos que no proceden de una fuente exterior. Se clasifican en subjetivos cuando solo el individuo escucha el zumbido y objetivos cuando otras personas pueden percibirlo mediante el uso de un estetoscopio

2.3.3 Desplazamiento temporal de la audición – TTS: Es el cambio en los niveles correspondientes al umbral de audición debido a exposiciones de altas dosis de ruido durante un periodo de tiempo determinado. La recuperación del umbral depende del tiempo y el nivel a que se estuvo expuesto.

3. ESTADO DEL ARTE

El estudio del oído y la audición data desde 1500 años a.C., en donde sacerdotes buscaban entender cómo se realizaba el proceso de escucha y generar curas para enfermedades que afectaban este sistema [6].

La consecución del audiómetro se produjo debido al trabajo de científicos que recopilaban investigaciones y proponían cambios y mejoras en los mismos; esta recopilación de trabajos y evolución en los desarrollos permitió que en 1922 Fower y Wegel fabricaran el primer audiómetro comercial con tubo al vacío [6].

Durante el transcurso del siglo 20 se perfeccionó el audiómetro por medio del desarrollo de electrónica aplicada, con lo que se obtuvo mejor calidad y mayores posibilidades en la realización de pruebas. Esto complementó la información para la valoración audiológica ya que se ofrecían más herramientas para el diagnóstico. Además, la normalización y estandarización de parámetros de funcionamiento y calibración para este tipo de equipos, permitió asegurar la veracidad de los equipos entre las diferentes casas productoras [6].

Como consecuencia al avance en el procesamiento digital de señales, se ha establecido una simbiosis entre hardware y software que ha optimizado el funcionamiento de los audiómetros, permitiendo un mejor manejo de información para el control clínico del paciente.

A nivel mundial, existen importantes casas productoras de equipos audiológicos que fabrican audiómetros integrando hardware y software; es el caso de Frye Electronics con

Noah Audiometer Module [7] que mejora la funcionalidad del audiómetro Fonix e Interacoustics con la referencia Equinox [8].

La necesidad de generar tecnología propia y aplicarla a situaciones específicas del medio, se refleja en los diferentes desarrollos hechos en nuestro país para la fabricación de audiómetros. En la Universidad Tecnológica de Pereira se concluyó una investigación donde se presentaron los principios básicos para el diseño y construcción de un audiómetro computarizado con sus diferentes etapas electrónicas [9]. La Escuela de Ingeniería de Antioquia en asocio con la Universidad CES desarrolló un audiómetro virtual mediante LabWiev 7.1 que realiza pruebas por vía aérea [10]. En la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia se desarrolló un audiómetro digital que funciona mediante hardware y software [11]. En estos trabajos no se evidencia un proceso de calibración, sin embargo se muestra todo el procedimiento de diseño y construcción.

4. DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA INTEGRADA DE HARDWARE Y DE SOFTWARE

Audio Tamiz se entiende como una integración ente los siguientes componentes:

- Dispositivos Electrónicos y/o mecánicos para la emisión de estímulos sonoros direccionados.
- Mecanismo para la captura de la respuesta del paciente.
- Aplicativo de software que procesa los datos para la realización de la prueba, además registra el historial clínico del paciente y la información correspondiente al resultado del examen.
- Modulo de calibración para asegurar la usabilidad de acuerdo con las normas vigentes.

A continuación se muestra la integración de hardware y software:

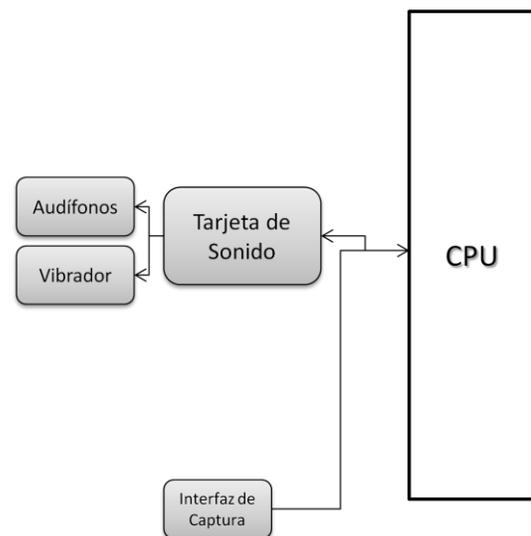


Figura 2. Arquitectura de Hardware

Audio Tamiz utiliza como transductores para la prueba vía aérea los audífonos TDH 39 y para la prueba vía ósea el vibrador mecánico B71, los cuales son el estándar internacional para la realización de pruebas audiométricas [3]. La tarjeta de sonido con la que funciona el aplicativo, es una M Audio Fast Track, se uso una placa de audio externa con el fin de mejorar la calidad de la prueba audiométrica.

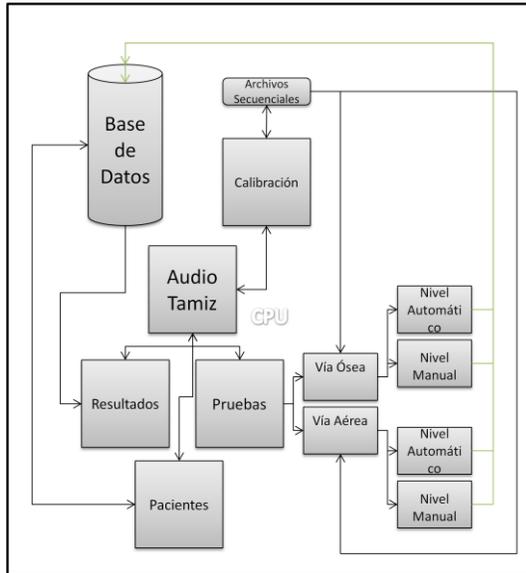


Figura3. Arquitectura de Software

El aplicativo emite estímulos sonoros por medio de una tarjeta de audio externa en la que se conecta el tipo de transductor requerido. Para registrar la respuesta del paciente, se usa una interfaz de captura “joystick” integrada al software.

El programa consta de una ventana denominada *pacientes* en la que se guarda la información personal del paciente por medio de la interacción de una base de datos generada en Microsoft Access.

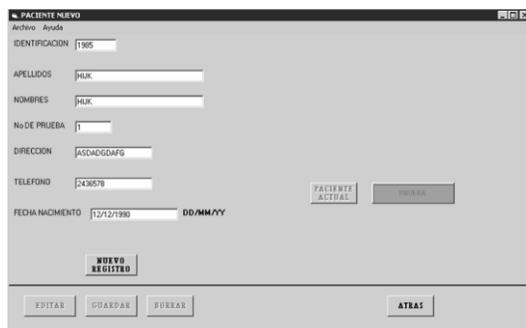


Figura4. Ventana Paciente Nuevo

Si el paciente ya se ha realizado pruebas audiométricas por medio de este aplicativo, el programa permite efectuar búsquedas en la base de datos con el fin de localizarlo.

La ventana *pruebas* permite escoger que tipo de prueba se quiere ejecutar. Vía Aérea o Vía Ósea, además ofrece la opción de controlar los niveles de amplitud de forma automática o manipulados por el operador de forma manual.

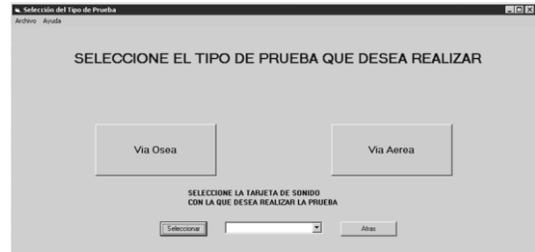


Figura5. Ventana Tipo de Prueba



Figura6. Ventana Prueba Vía Aérea Selección de Frecuencias

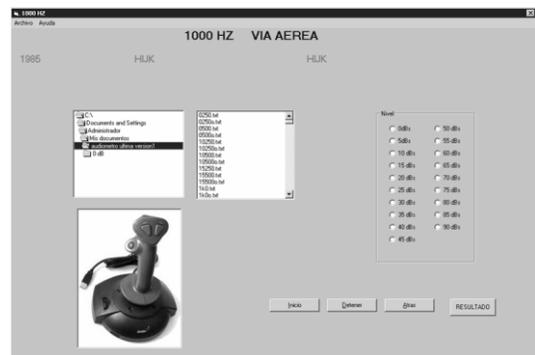


Figura7. Ventana Prueba Vía Aérea 1000 Hz control de nivel manual

Para controlar el nivel de amplitud de la señal, se carga los datos desde un archivo de acceso secuencial que contiene el valor calibrado correspondiente a ese nivel y que puede ser modificado mediante la ventana de calibración. Después de realizar la prueba audiométrica, el aplicativo almacena el resultado en la base de datos y la relaciona al historial del paciente.

Para hacer consultas sobre exámenes realizados, el programa ofrece una ventana de navegación que permite ver los valores correspondientes al umbral de cada frecuencia.

4. CALIBRACIÓN DEL AUDIÓMETRO

Para garantizar la funcionalidad del equipo, se debe realizar un procedimiento de validación, ajuste y calibración por medio de un laboratorio que certifique los niveles de salida y veracidad de los estímulos emitidos. Este proceso, se realizó con la empresa Techniks Ltda [12], la cual cuenta con laboratorios para la calibración de audiómetros.

En el proceso de validación, la empresa examina la estabilidad del equipo y la linealidad de los estímulos emitidos, verificando los niveles de emisión sonora y el contenido armónico en la señal. En la etapa siguiente, se realizan los ajustes sugeridos para optimizar el rendimiento del equipo y se procede a la etapa de calibración.

El proceso de calibración da cumplimiento a las siguientes normativas: Para vía aérea: ISO 389-1, IEC 303, ANSI S3.6. Para vía ósea: ISO 389-3, IEC 373.

En el proceso de calibración se obtuvieron los siguientes resultados:

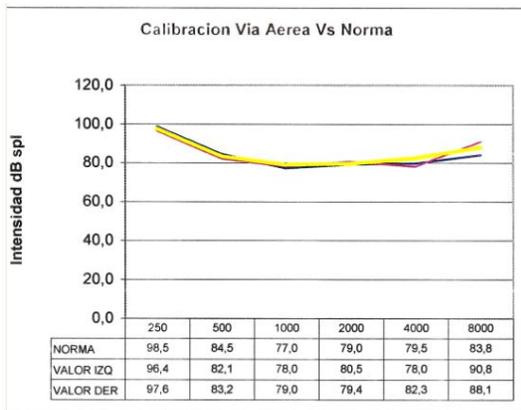
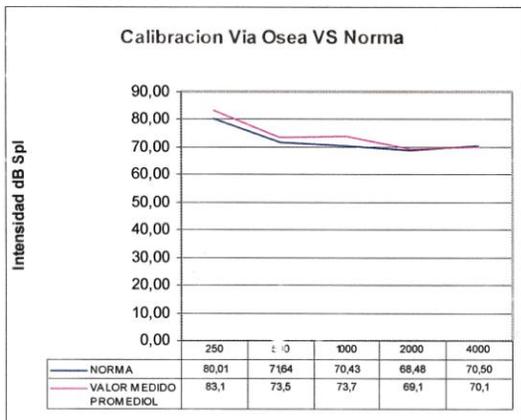


Figura 8. Valores de intensidad producidos por el audiómetro en la prueba vía aérea con respecto a la normativa internacional.



Certificado de Calibración No. 0051

Figura 9. Valores de intensidad producidos por el audiómetro en la prueba vía ósea con respecto a la normativa internacional.

El nivel de confianza, incertidumbre, error y distorsión armónica medido en el audiómetro se encuentra dentro de los umbrales permisibles por la normatividad, por lo que Techniks Ltda certificó la funcionalidad y veracidad del equipo [13].

Audio Tamiz cuenta con una ventana de calibración que permite ajustar los valores de nivel amplitud por frecuencia sin necesidad de manipular el código fuente.

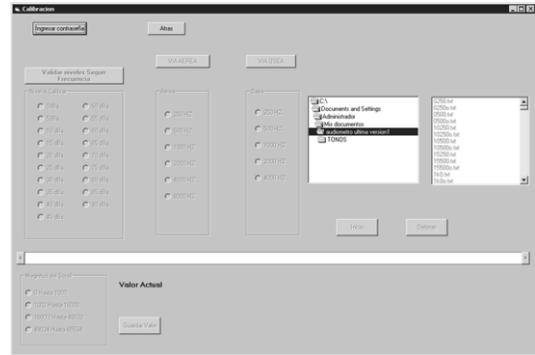


Figura 10. Ventana de calibración

5. PROPUESTA PARA FUTUROS PROYECTOS

En la actualidad se está desarrollando el proyecto "Audiómetro Tipo 3 Norma NTC 2884 con Software Libre" en la Universidad de San Buenaventura seccional Medellín por los grupos de investigación GIAPA y GIDDIE en el que se pretende obtener un equipo audiométrico. Se empleará el lenguaje Java por considerar sus librerías de mayor alcance. Se pretende que funcione en entorno de escritorio y web, ampliando las posibilidades de análisis y valoración.

Adicionalmente, se viene conformando un equipo de investigación entre varias universidades de la región para el desarrollo de un audiómetro clase 1.

6. CONCLUSIONES

La integración de hardware y software mejora la funcionalidad de los equipos audiométricos, optimizando el uso y la presentación de la información.

La portabilidad del equipo audiométrico se mejora al disminuir el tamaño de los dispositivos electrónicos y al aumentar el procesamiento a nivel de software.

El diseño e implementación de tecnologías propias en particular en el área de acústica y audiología, aporta a la disminución en la brecha tecnológica y generando nuevos mercados locales.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. Bonello, F. Ruffa, Gavinowich D.; PROTOCOLO DE MEDICIONES PARA TRAZADO DE MAPAS DE RUIDO NORMALIZADOS; 2002.
- [2] Icontec; NTC 2884; ACÚSTICA, AUDIÓMETROS; 1991.
- [3] International Organization for Standardization; ISO 389; REFERENCE ZERO FOR THE CALIBRATION OF AUDIOMETRIC EQUIPMENT; 1998.
- [4] Universidad De San Buenaventura; CONVOCATORIA NACIONAL 001 PARA PROPUESTAS NUEVAS DE INVESTIGACIÓN 2008-2009.
- [5] M. Recuero; ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA APLICADA; Editorial Paraninfo; España, 1999.
- [6] J. de Quiros, N. D'elia; INTRODUCCION A LA AUDIOMETRIA; Editorial Paidos, Buenos Aires; 1973
- [7] Frye Electronics; FONIX NOAH Audiometer Module; <http://www.frye.com/library/catalogpdfs/FNMAudiometer.pdf>. Revisado octubre de 2008
- [8] Interacoustics; Equinox AC 440 PC-Based Audiometer; http://www.interacoustics.com/com_en/Pages/Product/Audiometers/_index.htm?prodid=4103. Revisado octubre de 2008
- [9] H. Gallego, L Llamosa, H Orozco; DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUDIOMETRO COMPUTARIZADO; Scientia et Technica, No 24, UTP. ISSN 0122-1701; 2004.
- [10] C. Gallego, J. Ángel, C. Zapata, J. Marín; VIRTUALEAR: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUDIÓMETRO VIRTUAL; Revista Ingeniería Biomédica, No 1, Págs. 52-54 ISSN 1909-9762; 2007.
- [11] J. Gómez, J. Duarte, F. Fernández; DESARROLLO DE UN AUDIÓMETRO DIGITAL; Revista Bistua, Vol 3 No 1, ISSN 0120 – 4211;
- [12] Techniks Ltda; Cra 73 No 51 78 Of 202 Bogota; technikltdatb@etb.net.co.
- [13] Techniks Ltda; Informe de Verificación y Ajuste No 8371; Certificado de Calibración No 051; Audiómetro AUDIO –TAMIZ; 2008