

Investigación, diseño y desarrollo de un equipo de calibración de audiómetros

Franco J. Olsson^a, Javier Kolodziej^b, Sergio Antúnez^c, Gabriela Cardozo^d

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b Instituto de Materiales (CONICET-UNaM), Posadas, Misiones, Argentina.

^c Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina

^d NEA Ingeniería Clínica, Posadas, Argentina

e-mails: ^a francoolsson1995@gmail.com, ^c sergioantunez11@gmail.com

Resumen

El objetivo principal de este artículo es discutir la investigación, diseño y desarrollo de un equipo de calibración de audiómetros, basados en un audiómetro de tipo 4, de señales conducidas por vía aérea de tonos puros a través de auriculares supraaurales (On-ear) y circunmaurales. Se describen los tipos habituales de auriculares utilizados en las pruebas de audición y se analiza la importancia de calibrar estos transductores. Después de tratar los instrumentos utilizados para la calibración, se examinan los parámetros de rendimiento medidos en el proceso de calibración. Se discuten las limitaciones del proyecto y se consideran áreas a mejorar.

Palabras Clave – Acoplador acústico, audiometría de tonos puros, audiómetro, conducción aérea, nivel de salida, precisión de la frecuencia.

1 Introducción

Un audiómetro es un aparato de medida cuya funcionalidad consiste en establecer el umbral de audición de la persona que es sometida a prueba. Esta evaluación consiste en pruebas subjetivas para evaluar la pérdida de audición de la persona que se somete a ella.

Este artículo detalla las primeras etapas en el desarrollo de un equipo de calibración de audiómetros, las cuales comprenden el estudio previo a su implementación y su diseño. Una vez completado, el dispositivo será utilizado por la empresa NEA Ingeniería de Posadas, Argentina para recalibrar y certificar estudios de audiometría.

El ensayo audiométrico cumple con la norma IRAM 4028-1 [1], la cual indica cómo proceder en los mismos: la disposición del oyente, la cualificación del operario que realiza la medición, las condiciones en el entorno para que este ensayo sea realizado, la incertidumbre de estas medidas, cómo se han de preparar la instrumentación sometida a ensayo, el ruido ambiente admitido, entre otros.

2 Metodología

2.1 Especificaciones generales de un Audiómetro

Para proyectar un calibrador de audiómetros es imprescindible conocer las especificaciones generales de estos últimos. Las mismas se extrajeron de la Norma IRAM 4075 [2].

2.2 Clases de Audiómetros

Existen diferentes tipos de audiómetros en el mercado con diferentes características: de Screening (despistaje) y control (tipo 4), diagnóstico básico (tipo 3), clínico (tipo 2), investigación clínica avanzada (tipo 1).

La normativa que regula las prestaciones y utilización que los audiómetros de todo tipo deben cumplir, ha sido realizada por los organismos de normalización ANSI, ISO Y AN/IEC, a nivel Internacional.

Para el proyecto, se definió planificar un calibrador basado en los audiómetros de clase 4, los cuales están destinados a realizar audiometrías por vía aérea de tonos puros.

Especificaciones técnicas para audiómetros de tipo 4:

- **Rango de nivel de audición:** -10 a 90 dB HL en pasos de 5 dB;
- **Estímulo de tono:** tono puro;
- **Rango de frecuencia:** 125 a 8000 Hz.

Precisión:

- **Frecuencias:** mejor que $\pm 3\%$;
- **Nivel de audición:** dentro de ± 3 dB del nivel indicado de 125 a 5000 Hz y ± 5 dB a 6000 Hz y más;
- **Distorsión Armónica Total:** $< 2\%$;
- **Normas:** EN 60645-1 para audiómetros tipo 4;
- **Calibración:** IEC 645, ANSI S3.6 para audiómetros tipo 4.

2.3 Ruidos espurios de origen eléctrico emitidos por un auricular

Sonidos indeseados provenientes de un auricular, pueden arribar como señales eléctricas, generados por distintas causas dentro de un audiómetro, cuando el interruptor de señal está en “no”. Un ruido parásito puede producirse en el auricular que no está en funcionamiento cuando el tono de prueba se encuentra en “si”. También puede producirse un ruido indeseado en el auricular, cuando el interruptor de tono no es completamente efectivo, estos pueden medirse eléctricamente de manera indirecta la tensión eficaz (r.m.s) compensada en tiempo F generada sobre una resistencia apropiada de carga, esto es, una resistencia eléctrica de la misma impedancia que la del auricular a cada una de las frecuencias de ensayo, en lugar del auricular ensayado.

2.4 Rango de frecuencias y de niveles de audición para generadores de tonos puros.

En la Tabla 1 se indican las frecuencias de ensayo y los valores de niveles de audición que deben considerarse para los audiómetros de clase 4 de frecuencias fijas. El máximo nivel de audibilidad debe ser al menos igual a los valores tabulados. El mínimo nivel de audibilidad debe ser -10 dB o menor para todas las frecuencias.

Tabla 1. Frecuencias de ensayo y valores de niveles de audición

Frecuencia (Hz)	dB
500	90
1000	90
2000	90
3000	90
4000	90
6000	90
8000	Ver norma ISO 6189

2.5 Distorsión armónica

El máximo nivel de las armónicas, relativo a la fundamental del tono de ensayo, no debe exceder los valores indicados en la Tabla 2. La distorsión debe medirse al nivel de audición consignado en esta tabla o para la posición de máxima salida del audiómetro; se eligió el menor de estos valores. Debe utilizarse el método descrito en la Publicación 268-3 de la IEC.

En caso de la conducción aérea, la distorsión debe medirse acústicamente con un acoplador acústico o con un oído artificial, según el dispositivo.

Tabla 2. Valores máximos de distorsión armónica

Rango de frecuencia (Hz)	Conducción aérea		
	125 a 250	315 a 400	500 a 5000
Nivel de audibilidad (dB)	71 (1)	90 (1)	100 (1)
Distorsión armónica de segundo orden	2	2	2
Distorsión armónica de tercer orden	2	2	2
Distorsión armónica de cuarto orden o superior	0,3	0,3	0,3
Distorsión de todas las subarmónicas		0,3	0,3
Distorsión armónica total	2,5	2,5	2,5
(1) Si el nivel de salida máxima del audiómetro es menor, se elegirá el menor de estos valores			

2.6 Exactitud de niveles de presión sonora y de niveles de vibración

Los niveles de presión sonora producidos por el auricular no deben diferir en ± 3 dB del valor indicado para las frecuencias comprendidas entre 125 Hz y 4 kHz, cualquiera sea la posición del dial del nivel de audición, y en ± 5 dB para las frecuencias 6 kHz a 8 kHz (ver Tabla 3).

2.7 Exactitud de los niveles de ruido enmascarador

La tolerancia en el nivel de ruido enmascarador producido por un auricular cubre el rango de +5 dB a -3 dB en relación al valor indicado. La diferencia medida sobre el nivel de señal de salida para dos indicaciones sucesivas de nivel enmascarador, no debe diferir en el dial en más de 3 décimas de este valor, expresado en decibeles, o en 1 dB; se elegirá el menor de estos valores.

2.8 Rango de niveles de enmascaramiento

El ruido de enmascaramiento debe producirse a niveles suficientes para enmascarar los tonos puros correspondientes a un nivel de audición de 60 dB a 250 Hz, de 75 dB a 500 Hz y de 80 dB a las frecuencias comprendidas entre 1 kHz y 4 kHz. Sin embargo, el nivel de presión sonora de ruido de enmascaramiento no debe exceder los 125 dB.

Tabla 3. Niveles de presión sonora

Frecuencia (Hz)	RETSPL (referencia: 20 μ Pa) (dB)	
125	47,5	45
160	40,5	37,5
200	34	31,5
250	28,5	25,5
400	18,5	15
500	14,5	11,5
750	9,5	7,5
800	9	7
1000	8	7
1250	7,5	6,5
1500	7,5	6,5
1600	7,5	7
2000	8	9
3000	6	10
4000	5,5	9,5
5000	7	13
6000	8	15,5
6300	9	15
8000	14,5	15
Modelo auricular	Bayer DT48 con almohadilla plana	Telephonics TDH con almohadilla MX41/AR (o modelo 51)

2.9 Tiempos de crecimiento y caída

Posición de “emisión” (si): cuando el interruptor de tono se maniobra a la posición “emisión”, el tiempo de crecimiento de las señales debe satisfacer las siguientes especificaciones (ver Fig. 1): Tiempos de crecimiento y caída Posición de “emisión” (si): cuando el interruptor de tono se maniobra a la posición “emisión”, el tiempo de crecimiento de las señales debe satisfacer las siguientes especificaciones (ver Fig. 1): AC no debe superar los 200 ms; BC debe ser menor o igual a 20 ms; Entre B y C el nivel de presión acústica debe crecer de manera progresiva. Posición de “corte” (no): cuando el interruptor de tono es maniobrado a la posición “corte”, el tiempo de caída de las señales debe satisfacer las siguientes especificaciones (ver Fig. 1): DH no debe ser superior a 200 ms; EH debe ser menor o igual a 20 ms; Entre E y H el nivel de presión acústica debe decrecer de manera progresiva.

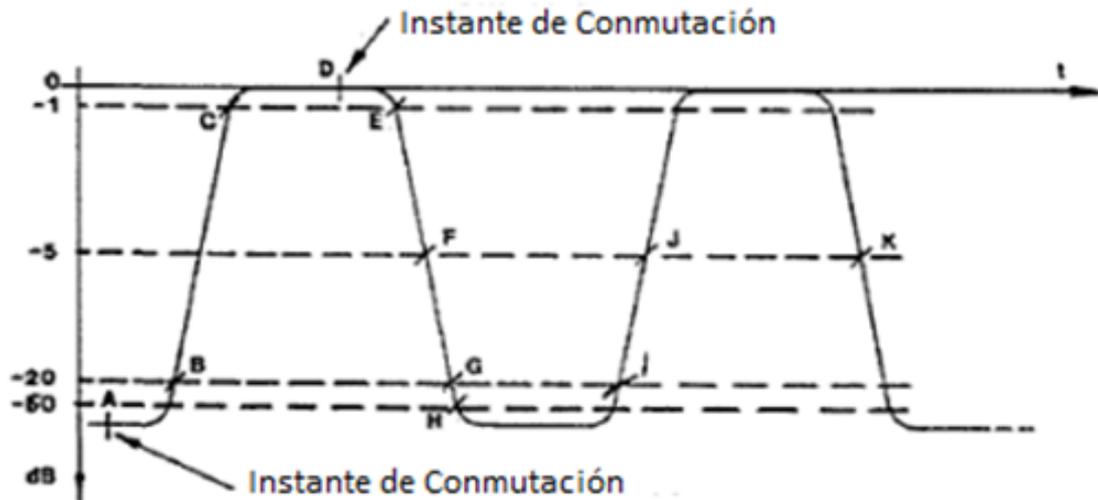


Fig. 1. Características del desarrollo de señales de ensayo.

Cuando el audiómetro implementa el modo pulsado, debe disponer de un mando o similar para aplicarlo, se debe generar una señal con una envolvente como la indicada en la Fig. 1, con unas características temporales como las indicadas en la Tabla 4.

En ningún momento del crecimiento o caída del tono el nivel de presión sonora producido por el auricular debe tener un valor que supere en 1 dB el nivel en régimen permanente para la posición “emisión”.

Tabla 4. Tonos pulsados en audiómetros de registro automático

INTERVALO	VALOR
BC	> 20 ms y < 50 ms
EG	> 20 ms y < 50 ms
CE	Duración no menor de 150 ms.
FJ y JK	225 ms \pm 35 ms
GI	El nivel de señal en este intervalo debe ser 20 dB menor que en el intervalo CE

2.10 Los audífonos

La calibración de un audímetro se debe realizar con sus audífonos de uso. Este procedimiento se debe llevar a cabo con un micrófono calibrado dentro de un elemento que representa la impedancia del oído, de los cuales existen dos tipos: acopladores acústicos y simuladores de oídos.

Existen diferentes acopladores acústicos y simuladores de oídos dependiendo los diferentes tipos de auriculares.

En la Fig. 2 se pueden observar los auriculares seleccionados para el proyecto.

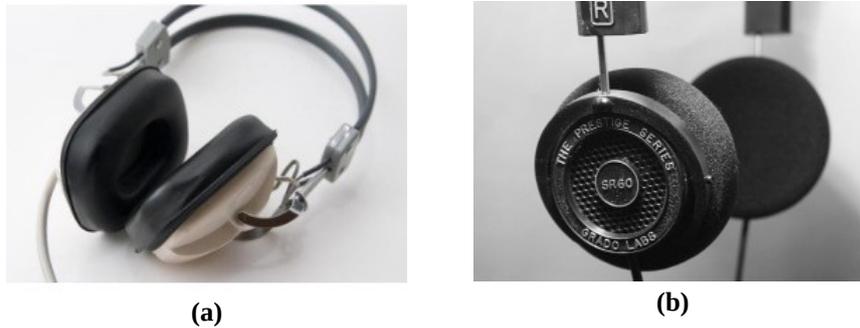


Fig. 2 (a). A. Circunmaurales: rodean completamente la oreja, cuando son cerrados, permiten el aislamiento sonoro casi por completo. (b). A. Supraaurales: los altavoces cubren la mayor parte del pabellón auditivo son “portátiles” por ser más ligeros y menos voluminosos que los circunmaurales.

Para realizar el calibrador, los acopladores fueron enfocados en el auricular supraaural. Por ello se deben escoger acopladores que cumplan con la especificación IEC 60318:1 [3].

2.11 El acoplador acústico

Como acoplador se decidió importar el equipo de la empresa FOB Shanghai (China). Denominado AWA6160 [4], el cual cumplía con las especificaciones. En la Fig. 3 se puede observar el mismo, que cuenta además con un micrófono (AWA14424) y un preamplificador (AWA14604) [5].



Fig. 3. Equipamiento (con el acoplador acústico)

En la Tabla 5 se puede observar las características del acoplador acústico.

Tabla 5. Características acoplador acústico

Especificaciones que cumple	IEC 60318-1, ITU-TP57
Rango de frecuencia	100 a 10000 Hz
Respuesta en frecuencia	Menor a 1 dB
Micrófono recomendado	AWA14422 de 1/2''
Preamplificador recomendado	AWA14604
Corriente de salida del preamplificador	4 a 10 mA
Longitud del cable	2 m

En la Tabla 6 se pueden observar las características del micrófono y en la Tabla 7 las características del preamplificador. Cabe aclarar que el preamplificador consta de un conector LEMO de 6 pines.

Tabla 6. Características del micrófono

Diámetro	12,7 mm (1/2")
Sensibilidad a circuito abierto	30 mv/Pa
Voltaje de polarización	0V
Rango de frecuencia	20 a 10000 Hz
Tipo de micrófono	Pressure Field
Rango dinámico	20 a 142 dB
Capacitancia	15 pF
Coefficiente de temperatura ambiental	0,02 dB/°C

Tabla 7. Características del preamplificador

Respuesta en frecuencia (ref. 250 Hz)	10 a 20000 Hz, $\pm 0,2$ dB; 10 a 100000 Hz, $\pm 0,5$ dB
Rango de medición (ref. 50 mv/Pa)	15 a 134 dB
Ganancia	0,15 dB
Impedancia de entrada	≥ 10 G Ω /0,35 pF
Ruido	Ponderación A (20 pF), < 4 μ V; Ponderación Z (20 pF), < 10 μ V
Distorsión (THD)	< -60 dB
Impedancia de salida	< 50 Ω
Tensión máxima de salida	6 VRMS (24 V tensión de alimentación)
Alimentación	ICP 2 a 10 mA
Corriente de operación	ICP 2 a 10 mA
Tensión de polarización	0
Diámetro exterior	6,35 mm (1/4")

2.12 Sistema de calibración de audiómetros

Seleccionado el acoplador acústico se planificó el sistema de calibración de audiómetros. Para ello, se realizó el diagrama de bloques del mismo (Fig. 4) [6]. Sus partes constituyentes son:

- Módulo de adquisición: se encarga de convertir la presión acústica generada por el audífono en una señal que pueda ser procesada. Consta de un transductor (en este caso el micrófono AWA14424) con su correspondiente preamplificador (AWA14604).

- Módulo de procesado: analiza la información proporcionada por el módulo de adquisición, efectuando los filtrados, correcciones y cálculos que sean necesarios, de acuerdo con la configuración que desee el usuario.

- Módulo de registro y visualización: se encarga de recoger los resultados procesados, mostrarlos al usuario y almacenarlos en algún dispositivo de memoria para su posterior uso.

Con el sistema planificado se seleccionó como dispositivo de procesado una computadora de placa simple Raspberry Pi.

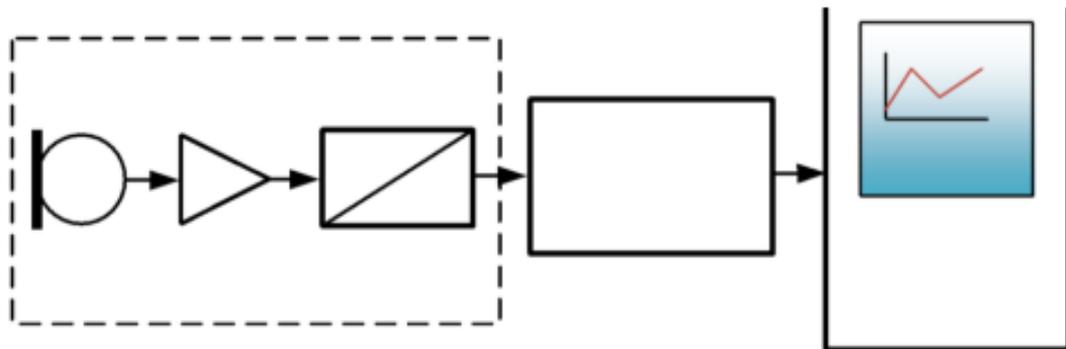


Fig. 4: Diagrama de bloques del sistema.

2.13 Raspberry Pi 4 modelo B

Raspberry Pi es una computadora Linux de bajo costo del tamaño de una tarjeta de crédito [7]. Este mini-ordenador incluye periféricos como puertos de comunicación con protocolos estándares de la electrónica y lenguaje de programación de alto nivel. Algunas de las características del modelo seleccionado (Fig. 5) son:

- CPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 de 64-bit SoC @ 1,4 GHz.;
- Memoria: 1, 2 o 4 GB (compartidos con la GPU);
- GPU: Broadcom VideoCore VI, OpenGL ES 3.0, 1080p30 H.264/MPEG-4 AVC, 4kp60 H.265;
- Dos puertos USB 2.0;
- Dos puertos USB 3.0;
- Dos salidas micro HDMI;
- Posibilidad de inserción de una tarjeta MicroSD;
- 21 puertos de uso general de entrada y salida;
- Bus HAT ID;
- Puerto RJ.54, WIGI 802.11ac de doble banda;
- Bluetooth 5.0 BLE.



Fig. 5: Raspberry Pi 4 modelo B.

3 Conclusiones

En el presente trabajo se llevaron a cabo las etapas de investigación y diseño en el desarrollo de un equipo de calibración de audiómetros de tipo 4, con métodos normalizados y no normalizados para el control de los equipos audiométricos.

Se han definido los módulos de adquisición y de procesado del calibrador una vez analizadas las especificaciones generales de los audímetros.

La propuesta de desarrollo de este trabajo se llevó a cabo en base a la evaluación y selección de productos que cumplieran con las normas vigentes para equipos de tecnología médica. El micrófono del módulo de adquisición del equipo propuesto se ajusta a las especificaciones IEC 60318:1; y las capacidades de procesado de la placa Raspberry Pi 4 se consideran satisfactorias para su implementación dentro de un sistema de medidas acústicas.

Es de interés, a futuro, definir el módulo de registro y visualización, para posteriormente ensayar el funcionamiento del dispositivo.

Agradecimientos

Se agradece a la Facultad de Ingeniería de Oberá, de la Universidad Nacional de Misiones, y a la Empresa NEA Ingeniería de Posadas por brindar el espacio físico y el aporte de conocimiento.

Referencias

- [1] Audiometría Tonal - Métodos básicos de prueba, IRAM 4028-1, 1992.
- [2] Electroacústica – Audiómetro, IRAM 4075, 1995.
- [3] Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 1: Ear simulator for the measurement of supra-aural and circumaural earphones, IEC 60318-1, 2009.

- [4] AWA6160~6163 Ear Simulator. Hangzhou Aihua Instruments Co., Ltd., Hangzhou, China [Online]. Available: http://www.hzaihua.com/products_show.aspx?id=30.
- [5] Acoustics & Vibration, Instruments Product Data. Hangzhou Aihua Instruments Co., Ltd., Hangzhou, China [Online]. Available: https://www.aurolex.nl/Aihua/Aihua_Products+Catalogue.pdf. [Último acceso: 2019 diciembre 20].
- [6] D. Torres Domínguez, 'Sonophone: Desarrollo y evaluación de un sonómetro profesional para iOS', 2013.
- [7] Rasperry Pi. Raspberry Pi Foundation, Cambridge, Inglaterra [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>.