

EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DE CABINAS AUDIOMÉTRICAS FIJA Y MÓVIL DEL CINTRA

EVALUATION OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF FIXED AND MOBILE AUDIOMETRIC BOOTHS OF CINTRA

Sara Gaetán^{a,b}, Marcos Tenutta^a, Ariel Bertinatti^a, Facundo Vicente^a, Jimena Muratore^c, Ana L. Maggi^{a,b,d}, María Hinalaf^{a,b} y Sebastián P. Ferreyra^a

^a*Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), UE CONICET-Universidad Tecnológica Nacional, Maestro M. López esq. Cruz Roja, CP 5016, Córdoba, Argentina, acustica@frc.utn.edu.ar, <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra/>*

^b*Escuela de Fonoaudiología, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Córdoba, Ciudad Universitaria, Enrique Barros s/n, CP 5000, Córdoba, Argentina, <http://www.fono.fcm.unc.edu.ar/>*

^c*Escuela de Fonoaudiología, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe 3100, CP 2000, Rosario, Santa Fe, Argentina, <http://www.fcm.unr.edu.ar/index.php/es/>*

^d*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el CINTRA, Argentina, <http://www.conicet.gov.ar/>*

Palabras clave: Cabina Audiométrica, Aislamiento Acústico, Ruido de Fondo.

Resumen. Dada la importancia de la utilización de cabinas audiométricas para la realización de estudios que permitan evaluar la audición, es que el presente trabajo tiene como objetivo realizar mediciones de las condiciones acústicas actuales de dos cabinas audiométricas pertenecientes al Centro de Investigación y Transferencia en Acústica, CINTRA CONICET-UTN. Una de las cabinas reúne características específicas de diseño, construcción y optimización para ser móvil, ya que se encuentra acondicionada en la parte trasera de un vehículo especialmente carrozado, mientras que la otra cabina es fija. El trabajo consistió en medir niveles acústicos instantáneos y estadísticos para caracterizar el ruido ambiente de fondo de cada cabina. Para tal fin, se siguieron las directrices que establecen las normas IRAM 4026, IRAM 4028-1 e ISO 8253-1. Los resultados obtenidos permiten determinar si el aislamiento acústico en las condiciones analizadas es adecuado para garantizar la calidad de los estudios que evalúan la audición.

Keywords: audiometric booth, acoustic isolation, background noise.

Abstract. Given the importance of the use of audiometric cabins for the performance of studies that can evaluate hearing, it is the present work to measure the current acoustic conditions of two audiometric cabins belonging to the Center for Research and Transfer in Acoustics, CINTRA CONICET - UTN. One of the cabins has specific design, construction and optimization characteristics to be mobile, since it is fitted to the rear of a specially carriage while the other cab is fixed. The job is to measure instantaneous and statistical acoustic levels to characterize the background ambient noise of each cabin. To this end, follow the guidelines established by IRAM 4026, IRAM 4028-1 and ISO 8253-1. The results that it determine will determine if the sound insulation in the conditions analyzed is adequate to determine the quality of the studies that evaluate hearing.

1. INTRODUCCIÓN

La acústica es una ciencia interdisciplinaria que tiene un amplio ámbito de influencia sobre diferentes aspectos y escenarios de la sociedad. Su importancia y utilidad práctica se evidencian en varias áreas siendo una de ellas la salud, donde a través de diferentes técnicas y tecnologías contribuye significativamente al mejoramiento de las prácticas relacionadas con la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades en los seres humanos. La audiolología como disciplina que estudia el oído humano y sus alteraciones, se vale de la acústica para el desarrollo e implementación de dispositivos especializados como audiómetros, cabinas audiométricas y procedimientos utilizados para estudios que evalúan la audición (Rodríguez Guevara y Vásquez-Bernal, 2017).

Actualmente, la influencia del ruido ambiental durante la realización de los estudios audiológicos puede ser considerable y afectar los resultados de los mismos. Una habitación aparentemente silenciosa es a menudo el seno de un ruido de fondo de 30 a 50 dB por encima del umbral de audición, perturbando las respuestas del sujeto. Esta situación acústica crea un efecto de máscara en el oído lo que justifica la realización de estudios acústicos de cabinas audiométricas para caracterizar y solucionar este tipo de inconvenientes (Portmann y Portmann, 1979).

La cabina audiométrica es un recinto sonoamortiguado, relativamente silencioso, acondicionado acústicamente para controlar y atenuar tanto el ruido interior como exterior a la misma. Existen varias clases de cabinas, fijas, móviles, pequeñas, grandes, simples y dobles, hechas a medida y prefabricadas, con diferentes materiales constructivos para su acondicionamiento acústico. El modelo más tradicional consta de dos partes o secciones, una interna donde se ubica el paciente y otra externa donde se encuentra el profesional de la salud (Portmann y Portmann, 1979; Rodríguez Guevara y Vásquez-Bernal, 2017).

Las cabinas hechas a medida deben estar aisladas del inmueble donde se encuentran, sus paredes interiormente deben ser absorbentes sonoras y contener diferentes materiales que amortigüen las vibraciones, como fibra de vidrio, fibras minerales, melaminas, entre otros. Este tipo de instalaciones permiten obtener un nivel de ruido de fondo del orden de 10 dB por encima del 0 de la gráfica de Wegel (Fletcher y Wegel, 1922). Para disminuir aún más el factor ruido puede existir una doble cámara; de esta manera el operador se encuentra en una cabina con los instrumentos de medición, y el sujeto en otra, intercomunicadas por una ventana translúcida, un altavoz, auriculares y pulsadores para el envío y retorno de las señales de estímulo y percepción (Portmann y Portmann, 1979).

El diseño de cabinas móviles debe considerar factores externos, aspectos técnicos y de fricción, además de los mencionados anteriormente. Al momento del montaje se deben tener en cuenta las propiedades físicas de los materiales de la construcción original, prever el peso de la cabina sobre el vehículo y su distribución para no recargar un solo lado y controlar el desgaste de los neumáticos (Suárez Rueda, 2012).

En este trabajo se presentan resultados de la evaluación del nivel de ruido de fondo de dos cabinas audiométricas, fija y móvil, del Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Ejecutora de Doble Dependencia CONICET-UTN. Su caracterización y análisis permite evaluar la calidad de estudios audiológicos en diversas condiciones acústicas, aportando confiabilidad en las investigaciones que se desarrollan en dicho Centro. Publicaciones de esta naturaleza en Argentina contribuyen a regularizar la realización de los estudios audiológicos que se llevan a cabo en nuestro país. Actualmente, en el ámbito clínico, es fundamental que las cabinas donde se realizan las prácticas audiológicas evidencien estudios acústicos para corroborar el cumplimiento de normas vigentes (IRAM 4026, IRAM 4028-1 e ISO 8253-1).

2. METODOLOGÍA

Se realizaron mediciones acústicas de niveles espectrales de ruido de fondo en la Cabina Audiométrica Fija (CAF) y Cabina Audiométrica Móvil (CAM) con el equipamiento detallado en [Tabla 1](#).

Descripción	Marca	Modelo
Medidor de nivel sonoro	Brüel & Kjaer	2270, 2250
Micrófono	Brüel & Kjaer	4189
Calibrador acústico	Brüel & Kjaer	4231
Adaptador inalámbrico	D-Link	N150 DW 121.
Diatanciómetro LASER	Spectrum Presicion	HD 150
Software de aplicación	Brüel & Kjaer	BZ 5503
Trípode	Weifeng	3970

Tabla 1: Equipamiento de medición.

El procedimiento de medición consistió en los siguientes pasos:

- **Montaje del sistema de medición remoto:** sobre trípode antivibratorio se colocó el medidor de nivel de presión sonora en una posición dentro de la cabina. Se cerró completamente la cabina, desconectando sistemas de iluminación interior. Seguidamente se operó el medidor de nivel de presión sonora de manera remota y en tiempo real realizando el registro de los datos desde un computador localizado en otro recinto vinculado mediante comunicación inalámbrica (wi-fi).
- **Calibración:** luego de corroborar el correcto funcionamiento del sistema de medición remoto se realizó un control de calibración del sistema utilizando una referencia acústica normalizada, el cual emite una onda sinusoidal con una frecuencia de 1 kHz y nivel de presión sonora de 94,0 dB. Este procedimiento se efectuó al inicio y finalización de las mediciones.
- **Selección de posiciones de medición y registro de datos:** se seleccionaron un conjunto de posiciones significativas en cada recinto, en diferentes alturas referidas al piso de la cabina y distanciadas de los materiales acústicos que revisten sus cerramientos verticales interiores. Específicamente 4 posiciones en la CAM y 7 posiciones en la CAF, dada sus dimensiones. En cada posición se realizaron mediciones integradas de niveles espectrales de presión sonora utilizando filtros de 1/3 de octava normalizados para el espectro comprendido entre 20 Hz y 20 kHz. El tiempo de integración fue de 15 minutos en todos los casos. Posteriormente, se calcularon los niveles espectrales por octava para los centros de frecuencia de 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz y 8 kHz para posterior comparación con la información recomendada en la norma [IRAM 4026:1986](#). Los descriptores del ruido de fondo analizados fueron: el nivel de presión sonora máximo con constante de tiempo "F" y red de ponderación espectral Z ($L_{zFmáx}$) y el nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación Z (L_{zeq}).

3. TRABAJO EXPERIMENTAL

3.1. Mediciones remotas en la CAF

Las mediciones se realizaron el pasado 23 de julio de 2019 entre las 16:30 hs y 18:00 hs, con una temperatura ambiente de 11°C, humedad relativa 65%; presión atmosférica 973,8 hPa datos oficiales del Servicio Meteorológico Nacional para la ciudad de Córdoba. Las puertas y ventanas del recinto donde se localiza la CAF permanecieron cerradas, al igual que la puerta de la cabina. Ésta posee un sistema de doble contacto con burletes de caucho microporo y ventiluz con doble vidrio hermético. Cabe mencionar que la CAF se localiza en la planta baja del Edificio del CINTRA, ubicado en el sector central del predio de la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional, siendo su entorno próximo el Edificio Ing. Rubén Soro en dirección Sur, estacionamiento de vehículos en dirección Norte y Este, y Laboratorio de Ingeniería Mecánica en dirección Norte colindante en el mismo Edificio. Las principales arterias de tráfico vehicular próximas son, en dirección Sur la Avenida Cruz Roja Argentina a una distancia de 103 metros, y en dirección Oeste la calle Maestro López con una distancia de 134 metros aproximadamente. Ambas arterias son de alto tránsito, lo cual establece un nivel de ruido ambiente significativo.

A continuación, se visualiza en la [Tabla 2](#) las dimensiones interiores de la CAF y las coordenadas de las posiciones seleccionadas para efectuar las mediciones acústicas. A modo ilustrativo, en la [Figura 1](#), se señalan las 7 posiciones de acuerdo a las coordenadas mencionadas correspondiente al interior de la CAF. La incertidumbre de medición de longitudes $U_{95} = \pm 0,002$ metros.

Dimensiones	X (m)	Y (m)	Z (m)
CAF (interiores)	0,970	1,000	2,000
P1	0,460	0,460	1,440
P2	0,460	0,460	1,260
P3	0,460	0,460	1,000
P4	0,200	0,860	1,000
P5	0,200	0,860	1,260
P6	0,270	0,460	1,480
P7	0,270	0,460	1,480

Tabla 2: Dimensiones interiores de la CAF y coordenadas de las posiciones de medición.

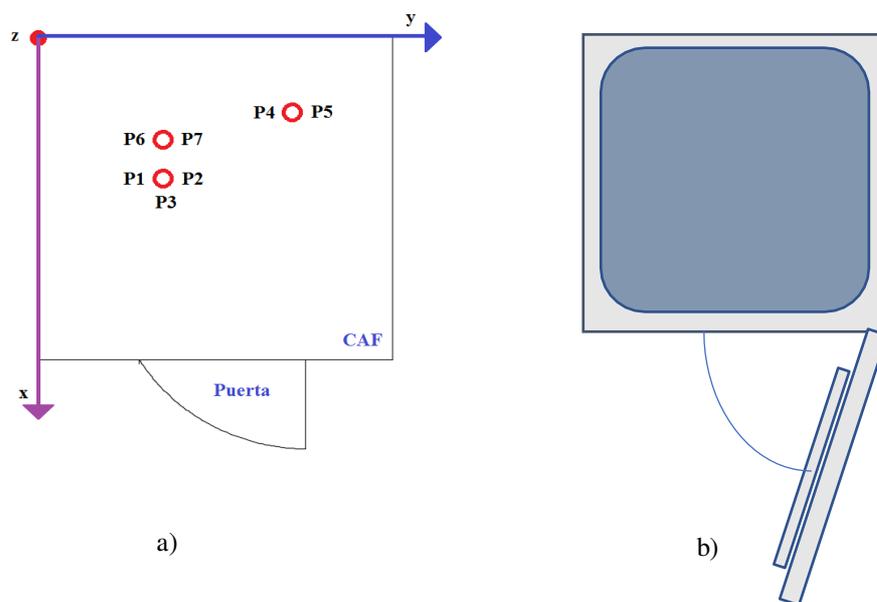


Figura 1: CAF: a) posiciones de medición, b) modelo vista de planta

3.2. Mediciones remotas en la CAM

Las mediciones acústicas se efectuaron con puertas externas (del vehículo) e interna (de la cabina) y ventanas cerradas, el pasado 08 de Agosto 2019 entre las 18:15 hs y 20:45 hs, con una temperatura de 11°C; humedad relativa 37%; presión 976,1 hPa, datos aportados por el Servicio Meteorológico Nacional, para la ciudad de Córdoba. Cabe mencionar que la CAM se encontraba ubicada en el estacionamiento central del predio de Facultad Regional Córdoba al momento de las mediciones, en dirección Sur con una distancia de 100 metros a la Avenida Cruz Roja Argentina, y en dirección Oeste con una distancia de 130 metros a la calle Maestro López. A continuación, se visualiza en la [Tabla 3](#) las dimensiones interiores de la CAM y las coordenadas de las posiciones seleccionadas para efectuar las mediciones acústicas. A modo ilustrativo, en la [Figura 2](#), se señalan las 4 posiciones de acuerdo a las coordenadas mencionadas.

Dimensiones	X (m)	Y (m)	Z (m)
CAM (interiores)	0,850	1,500	1,850
P1	0,308	0,685	1,117
P2	0,293	0,518	0,915
P3	0,334	0,769	0,865
P4	0,443	0,933	1,220

Tabla 3: Dimensiones interiores de la CAM y coordenadas de las posiciones de medición.

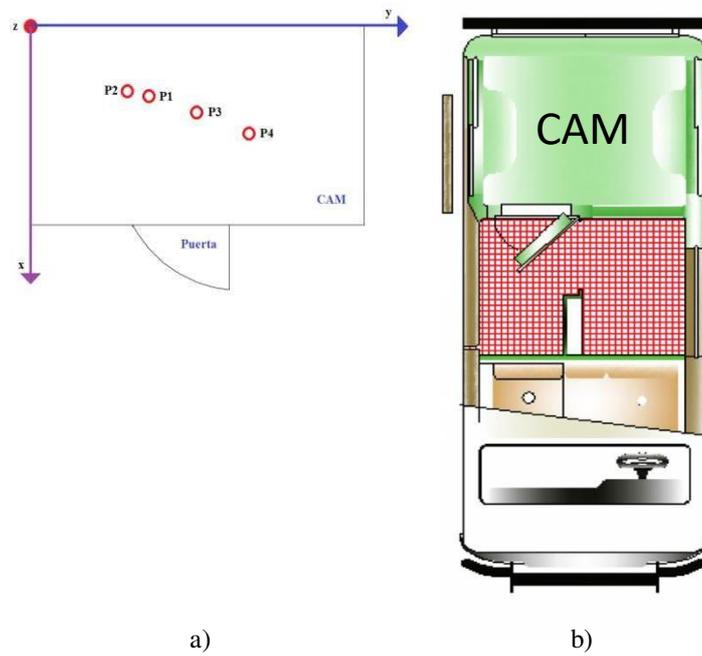


Figura 2: CAM: a) posiciones de medición, b) modelo vista de planta

A continuación, se muestran en la [Figura 3](#) fotografías de las cabinas.

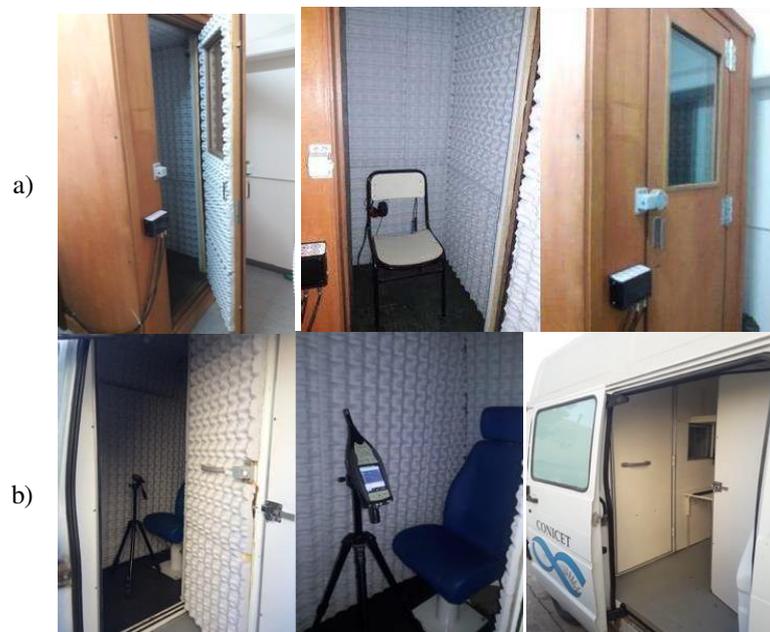


Figura 3: Fotografías: a) CAF, b) CAM.

4. RESULTADOS

Los resultados de las mediciones acústicas realizadas fueron promediados espacialmente para los descriptores de ruido seleccionados, determinándose la incertidumbre de medición U_{95} según las directrices de la norma ISO/GUM. Posteriormente los resultados fueron contrastados con el perfil espectral de nivel de ruido ambiente máximo intrusivo que recomienda la norma IRAM 4026:1986 para cabinas audiométricas. En la Figura 4, se observa el resultado del promedio de los niveles de presión sonora máximos medidos en las posiciones mencionadas en la CAF y su intervalo de incertidumbre U_{95} correspondiente. Se aprecia que considerando la incertidumbre de medición los valores de todas las bandas de frecuencia se encuentran por debajo de lo estipulado en la norma. Por otra parte, solo en las bandas de octava de 125 Hz y 250 Hz, el valor medio de este descriptor supera el nivel máximo recomendado, con una diferencia de 3,3 dB y 3,6 dB respectivamente.

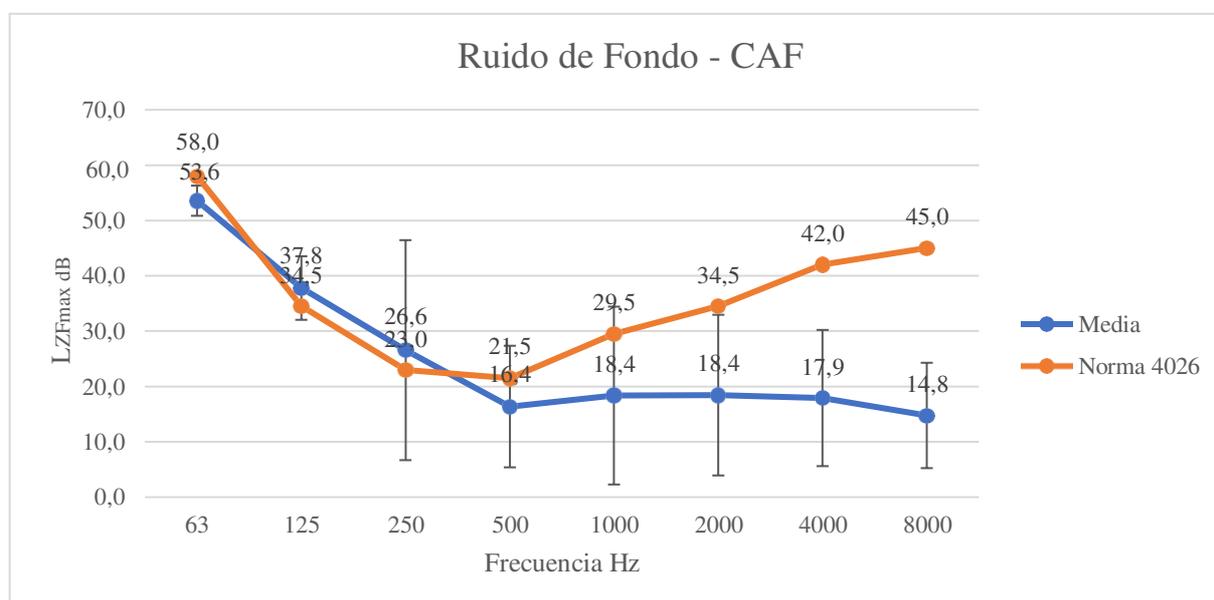


Figura 4: Media espacial de niveles de presión sonora máximos e incertidumbre de medición U_{95} de la CAF.

En la Figura 5, se observa el promedio del nivel sonoro continuo equivalente (equivalente a la media energética del ruido de fondo) de la CAF, en las posiciones mencionadas y su intervalo de incertidumbre U_{95} correspondiente. Se aprecia que considerando la incertidumbre de medición, los valores de todas las bandas de frecuencia de octava se encuentran por debajo de lo estipulado en la norma. En este caso, también el valor medio de este descriptor se encuentra siempre por debajo de los niveles que establece la misma, lo cual a nivel estadístico resulta significativo.

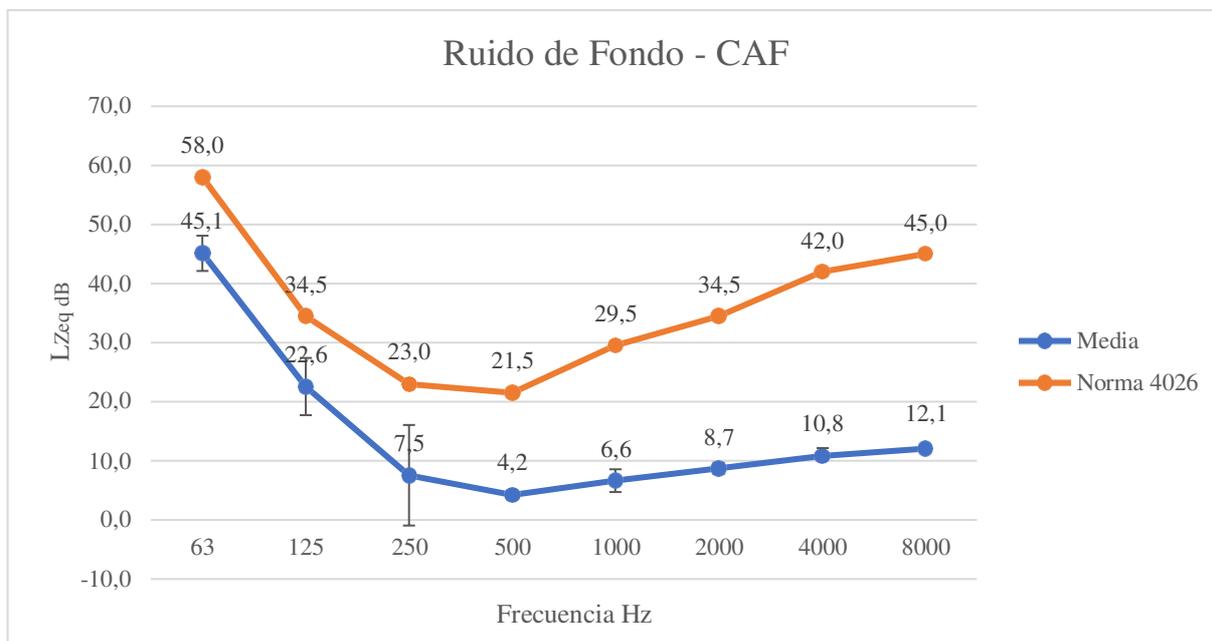


Figura 5: Media espacial del nivel sonoro continuo equivalente por bandas de octava e incertidumbre de medición U₉₅ de la CAF.

En la **Figura 6**, se observa el resultado del promedio de los niveles de presión sonora máximos medidos en las posiciones mencionadas en la CAM y su intervalo de incertidumbre U₉₅ correspondiente. Se aprecia que las bandas de octava de 125, 250 y 500 Hz considerando sus intervalos de incertidumbre no cumplen, para la situación evaluada, los valores recomendados en la norma.

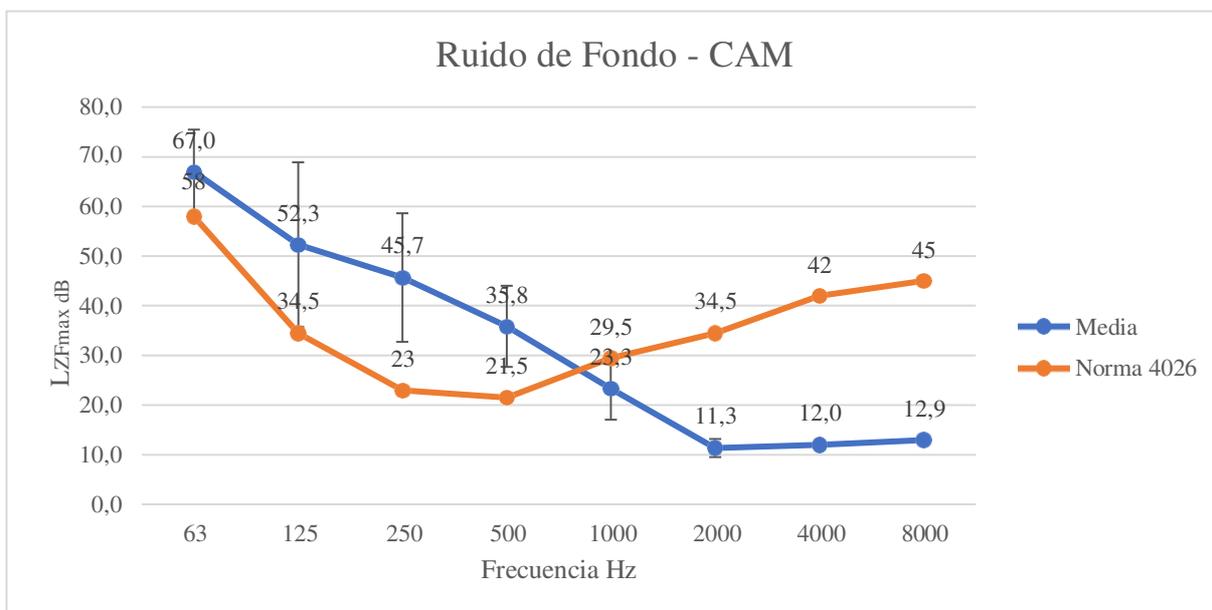


Figura 6: Media espacial de niveles de presión sonora máximos e incertidumbre de medición U₉₅ de la CAM.

En la **Figura 7** se observa el promedio del nivel sonoro continuo equivalente de la CAM, en las posiciones mencionadas y su intervalo de incertidumbre U_{95} correspondiente. Se aprecia que solo la banda de octava de 250 Hz considerando su intervalo de incertidumbre de medición no cumple, para la situación evaluada, el valor recomendado en la norma.

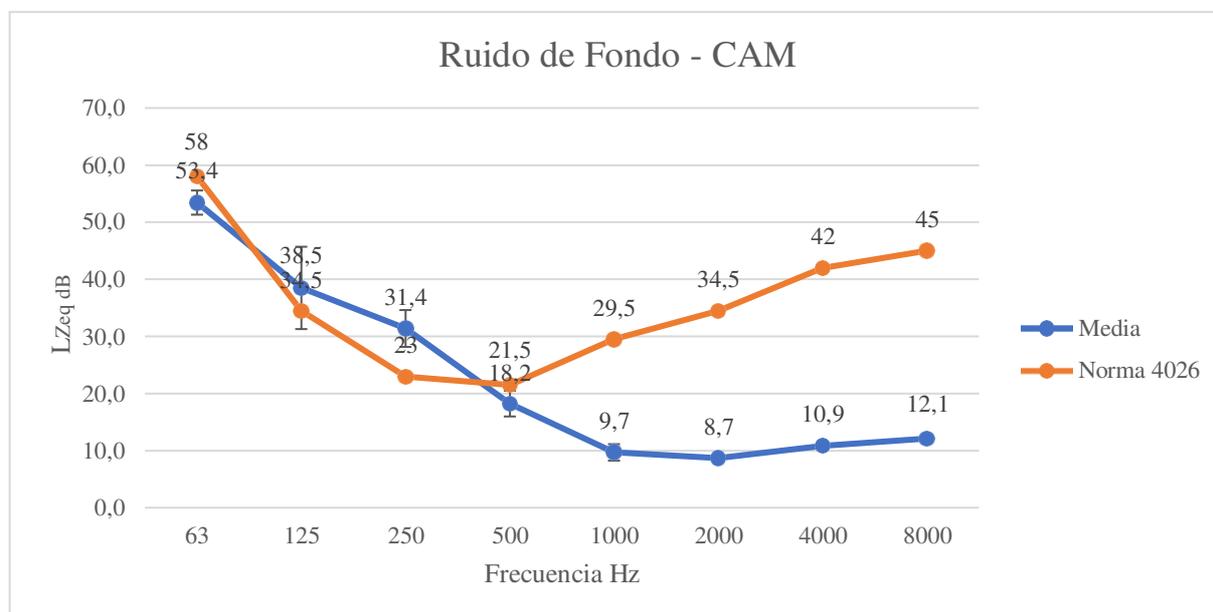


Figura 7: Media espacial del nivel sonoro continuo equivalente por bandas de octava e incertidumbre de medición U_{95} de la CAM.

5. CONCLUSIONES

La norma **IRAM 4026:1986**, referencia del presente trabajo, especifica los niveles máximos admisibles de presión sonora ambiente en el interior de la cabina para la ejecución de pruebas audiométricas mediante auriculares, con tonos puros, bandas de ruido y/o con palabras.

El estudio realizado en la CAF evidencia que el promedio de los niveles máximos del descriptor L_{ZFmax} del ruido de fondo se encuentra siempre por debajo del valor recomendado en la norma considerando el intervalo de incertidumbre de medición correspondiente. Mientras que, el estudio equivalente en la CAM, determinó el no cumplimiento para las bandas de octava de 125, 250 y 500 Hz.

Se destaca que el promedio del nivel sonoro continuo equivalente (equivalente a la media energética del ruido de fondo) en la CAF, se encuentra siempre por debajo de los valores máximos que establece la norma. Este análisis permite inferir estadísticamente que la energía de la señal de ruido ambiente está significativamente por debajo del nivel máximo que establece la norma. Mientras que, en el caso de la CAM, la banda de octava de 250 Hz supera con su intervalo de incertidumbre asociado el valor recomendado por la norma.

Sin embargo, al comparar los resultados de las mediciones de ambas cabinas, se evidencia que la CAM se encuentra más susceptible a perturbaciones en las bajas frecuencias para la realización de estudios audiométricos. Esta situación denota que no existe un adecuado aislamiento acústico para esta banda de frecuencias. Dicha variabilidad es producto no solo de la dinámica del ruido ambiente externo sino también de la insonorización de la cabina y sus modos propios de vibración que generan resonancias en frecuencias específicas en el interior de la cabina en función de las dimensiones de la misma.

Se han identificado bandas de frecuencias donde las condiciones acústicas de las cabinas

pueden generar situaciones inadecuadas para las mediciones audiométricas. Debido a esto, el CINTRA propone previo a la realización de estudios audiométricos llevar a cabo un procedimiento en la CAM para verificar que el nivel del ruido de fondo, en las bandas identificadas en este estudio como críticas, se encuentre por debajo del valor recomendado en la norma. Además, se propone realizar tareas de ingeniería acústica en la CAM para aumentar su aislamiento acústico.

Finalmente, se concluye que para el caso de cabinas audiométricas fijas es recomendable realizar un estudio de niveles espectrales de ruido de fondo de largo plazo (durante varios días/meses) para poder caracterizar el ambiente acústico donde se instalará la misma de manera permanente. Esta información permite calcular el grado de insonorización necesaria para cumplimentar los valores recomendados en la norma.

6. REFERENCIAS

- Fletcher H and Wegel RL. The Frequency-Sensitivity of Normal Ears, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 8(1):5-6, 1922.
- IRAM 4026:1986. Cabinas audiométricas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM 4028-1:1992. Audiometría tonal. Métodos básicos de prueba. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- ISO 8253-1:1989. Acústica. Métodos de ensayo audiométricos. Parte 1: Audiometría liminar fundamental de tonos puros en conducción aérea y en conducción ósea. International Organization for Standardization.
- Portmann M and Portmann C. Audiometría clínica. Barcelona (España). Toray Masson. pp 20- 21. 1979.
- Rodríguez Guevara, JP y Vásquez-Bernal, OA. Acústica aplicada, bases teóricas para el diseño de cabinas audiométricas. 15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Global Partnerships for Development and Engineering Education”, Boca Raton FL, United States.19-21, July 2017.
- Suárez Rueda, GA. Diseño de una cabina audiométrica montada en una unidad móvil, propiedad de la empresa eléctrica regional del Norte SA, Emelnorte. Trabajo de titulación para optar por el título de Ingeniero en sonido y acústica, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Universidad de las Américas, Chile. 2012.