



RRA - 1204

## Determinación de la exposición laboral a ruido en operadores telefónicos mediante comparación de umbrales auditivos con auriculares telefónicos y audiométricos

Federico Miyara<sup>(a,b)</sup>,  
Ernesto Accolti<sup>(a,b)</sup>,  
Stella Maris Guerrero<sup>(c)</sup>

(a) Laboratorio de Acústica y Electroacústica. FCEIA. Universidad Nacional de Rosario, Argentina. Riobamba 245 bis, Rosario, Argentina. E-mail: fmiyara@fceia.unr.edu.ar

(b) Grupo Ruido. FAPyD. Universidad Nacional de Rosario, Argentina. Riobamba 245 bis, Rosario, Argentina. E-mail: ernestoaccolti@gmail.com

(c) Municipalidad de Rosario. E-mail: stellamarisguerrero@hotmail.com

### Abstract

Measurement of noise exposure in call centers differs from other jobs since the main sound source is the headset. There are two standard methods currently available. The first one is the technique known as microphone-in-real-ear (MIRE), where a microphone probe is located inside the ear canal. The other one is the measurement in an artificial ear or an artificial head. These methods require expensive equipment, which is not readily available at health care services at work. In this paper we propose a method based on calibration of the headset by comparison of hearing thresholds at different frequencies against an audiometric earphone. The hearing threshold for different audiometric tones is obtained with both sources and the electric signals are digitally recorded. Then the electric signal fed to the telephone headset during normal use at work is also digitally recorded, allowing computation of noise exposure.

### Resumen

La determinación de la exposición a ruido de operadores telefónicos en call centers difiere de otros puestos de trabajo en que la fuente principal de ruido es el auricular telefónico. Hay dos métodos normalizados para medir la exposición sonora de fuentes próximas al oído: La técnica MIRE (microphone in real ear), consistente en un micrófono o sonda que accede directamente al canal auditivo, y el uso de un oído o cabeza artificial. Estos métodos exigen equipos costosos y de escasa aplicación en otras áreas de la medición de ruido. En este trabajo se propone una técnica basada en la calibración del auricular telefónico por contraste del umbral auditivo contra un auricular audiométrico. Se determina, para los diferentes tonos audiométricos, el umbral con uno y otro auricular, registrando digitalmente la señal eléctrica que llega al auricular. Luego se registra digitalmente la señal eléctrica que llega al auricular telefónico durante el uso real en el puesto de trabajo, lo cual permite posteriormente evaluar la exposición.

## 1 Introducción

Los programas de conservación de la audición en el trabajo requieren como primera medida evaluar la exposición a ruido. En el caso de los operadores telefónicos hay dos fuentes: el ruido imperante en el local, donde se llevan a cabo numerosas conversaciones simultáneas, y el sonido del propio auricular. Éste es muchas veces condicionado por el primero, ya que el operador ajusta el volumen para evitar el enmascaramiento.

Para fuentes alejadas del oído la medición se efectúa en la posición del oído del trabajador en ausencia de éste suponiendo, según el caso, un campo libre o difuso. Este método no es aplicable al caso de la inmisión desde auriculares. Existen dos métodos normalizados para estos casos: El primero es la técnica MIRE (*microphone in real ear*), consistente en introducir un micrófono miniatura o una sonda microfónica (micrófono con un pequeño tubo flexible que actúa como guía de ondas) en el canal auditivo. El segundo es el empleo de un oído artificial o un simulador de torso y cabeza, HATS (*head and torso simulator*). Estos métodos no son equivalentes, entre otras cosas porque el oído externo difiere en los distintos sujetos, pero pueden convertirse a un campo libre o difuso equivalente mediante la Norma ISO 11904.

Estos métodos normalizados requieren equipamiento costoso difícil de justificar en un servicio de salud laboral. En este trabajo introduciremos un método basado en comparaciones de umbrales auditivos obtenidos con el auricular telefónico y un auricular audiométrico.

## 2 Método

El método se desarrolla en tres etapas. En la primera el auricular telefónico se calibra eléctricamente comparando el umbral auditivo obtenido con él y con un auricular audiométrico. En la segunda se intercepta y se graba digitalmente la señal eléctrica que recibe el auricular telefónico durante el uso normal. Por último, la señal grabada se convierte en su equivalente acústico en campo difuso (el más afín al que prevalece en los centros de atención telefónica), contemplando la ecualización necesaria para compensar las respuestas de ambos auriculares.

### 2.1 Calibración del auricular telefónico

Sea  $S_{A,T}(f)$  la sensibilidad relativa al tímpano del auricular audiométrico en Pa/V, definida como la presión sonora en el tímpano,  $p_{A,T}$ , dividida por la tensión aplicada  $v_A$ . Análogamente,  $S_{T,T}(f)$  es la sensibilidad relativa al tímpano del auricular telefónico. Se cumple

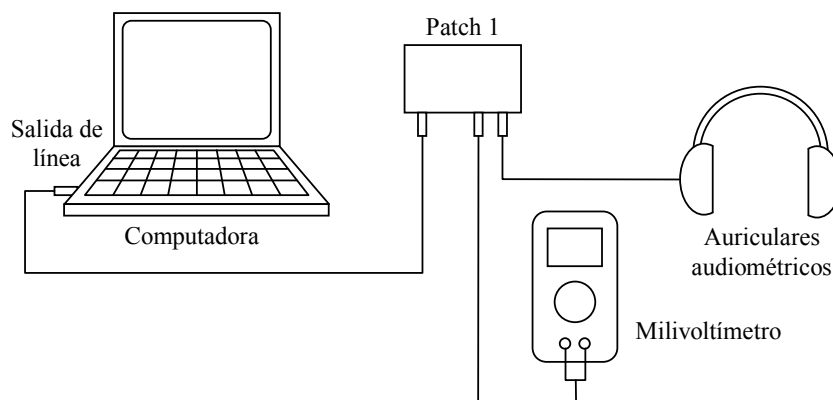
$$p_{A,T} = S_{A,T}(f) v_A, \quad (1)$$

$$p_{T,T} = S_{T,T}(f) v_T, \quad (2)$$

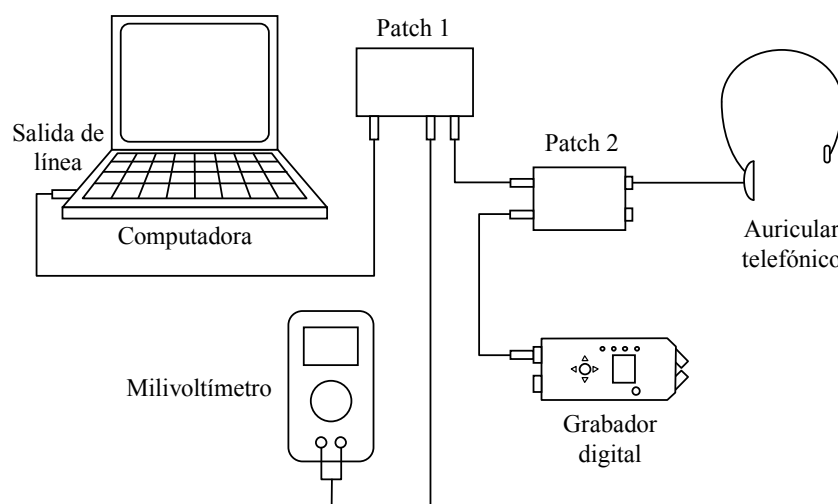
donde  $v_T$  es la tensión aplicada al auricular telefónico.

Para llevar a cabo la calibración primero se aplica al auricular audiométrico un tono de 400 Hz generado por computadora de máxima amplitud según el esquema de la Figura 1. Se ajusta el control de volumen de la mezcladora de la tarjeta de sonido de modo de tener una tensión eficaz cercana a 20 mV, que los auriculares audiométricos transforman en un nivel de presión sonora nominal en el tímpano de 80 dB (este valor corresponde a los auriculares HDA 200 y puede cambiar para otros modelos de auriculares audiométricos).

Luego se aplican tonos de frecuencias audiométricas  $f_k$  entre 125 Hz y 8 kHz, primero a los auriculares audiométricos (figura 1) y luego a los telefónicos (figura 2), variando por software las amplitudes hasta encontrar el umbral auditivo dentro de  $\pm 2$  dB. Obtenemos así las tensiones correspondientes al umbral  $v_{A,U}(f_k)$  y  $v_{T,U}(f_k)$ . Nótese que la tensión se mide sólo en la condición ya mencionada de máxima amplitud, ya que los restantes valores se deducen de la atenuación digital aplicada por software.



**Figura 1.** Diagrama de conexionado para la calibración. Patch 1 es una caja de conexionado que permite interceptar la señal eléctrica para su medición.



**Figura 2.** Diagrama de conexionado para la calibración del auricular telefónico. Patch 2 es una caja de conexionado con entradas/salidas RJ-11 y dos conectores mono de 1/4" en paralelo que permite interceptar la señal eléctrica para su grabación digital.

Las tensiones anteriores están relacionadas con la presión sonora en el tímpano mediante las ecuaciones (1) y (2) anteriores, resultando

$$p_{A,T,U}(f_k) = S_{A,T}(f_k) v_{A,U}(f_k), \quad (3)$$

$$p_{T,T,U}(f_k) = S_{T,T}(f_k) v_{T,U}(f_k). \quad (4)$$

Supondremos que el umbral auditivo a una frecuencia dada se alcanza a la misma presión sonora en el tímpano independientemente del transductor, es decir,

$$p_{A,T,U}(f_k) = p_{T,T,U}(f_k). \quad (5)$$

Aun cuando esta hipótesis es intrínsecamente razonable, en la práctica exige algunos cuidados. Por ejemplo, es necesario evitar el aumento del umbral por enmascaramiento, peligro que se presenta en el auricular telefónico debido a que al ser supraaural prácticamente no aporta atenuación del ruido ambiente.

Podemos determinar, así, la sensibilidad del auricular telefónico referida al tímpano,  $S_{T,T}(f_k)$ , igualando las ecuaciones (3) y (4):

$$S_{T,T}(f_k) = \frac{v_{A,U}(f_k)}{v_{T,U}(f_k)} S_{A,T}(f_k). \quad (6)$$

Dado que los criterios de exposición no se refieren a la presión sonora en el tímpano sino a la presión medida en ausencia del trabajador necesitamos convertir el campo de presión en el tímpano en un campo difuso equivalente. Ello puede lograrse con la Norma ISO 11904 Parte 1, que proporciona la corrección  $\Delta L_{DF}(f_k)$  para obtener un nivel de presión sonora de campo difuso (DF) que provocaría un dado nivel en el tímpano según la expresión

$$L_{DF}(f_k) = L_T(f_k) - \Delta L_{DF}(f_k). \quad (7)$$

Los valores de  $\Delta L_{DF}(f_k)$ , junto con los correspondientes para campo libre (FF), se indican en la tabla 1.

**Tabla 1.** Corrección entre el nivel de presión sonora en campo difuso (DF) y libre (FF) y el nivel de presión sonora correspondiente en el tímpano según ISO 11904-1

$f_k$ [Hz]	$\Delta L_{DF}(f_k)$ [dB]	$\Delta L_{FF}(f_k)$ [dB]
100	0,0	0,0
125	0,2	0,2
160	0,4	0,4
200	0,6	0,6
250	0,8	0,8
315	1,1	1,1
400	1,5	1,5
500	2,1	2,0
630	2,8	2,3
800	3,3	3,1
1 000	4,1	2,7
1 250	5,5	2,9
1 600	7,7	5,8
2 000	11,0	12,4
2 500	15,3	15,7
3 150	15,7	14,9
4 000	12,9	13,2
5 000	10,6	8,9
6 300	9,4	3,1
8 000	9,5	-1,4
10 000	6,8	-3,8
12 500	3,8	-0,1
16 000	0,7	-0,4

Con la expresión anterior podemos obtener la relación entre las presiones sonoras en el tímpano y en campo difuso que provocan la misma sensación:

$$p_{DF}(f_k) = 10^{\frac{\Delta L_{DF}(f_k)}{20}} p_T(f_k). \quad (8)$$

Combinando las ecuaciones (6) y (8) obtenemos la sensibilidad del auricular telefónico referida al campo difuso:

$$S_{T,DF}(f_k) = 10^{\frac{\Delta L_{DF}(f_k)}{20}} \frac{v_{A,th}(f_k)}{v_{T,th}(f_k)} S_{A,T}(f_k). \quad (9)$$

Todavía nos falta conocer la sensibilidad del auricular audiométrico referida al tímpano,  $S_{A,T}(f_k)$ , ya que normalmente las especificaciones del fabricante se suministran con respecto a un acoplador normalizado y no con respecto al tímpano. En la tabla 2 se transcriben los datos del fabricante y la sensibilidad calculada con la fórmula

$$S_{A,C}(f_k) = \frac{P_{A,C}}{v_A} = 10^{\frac{L_{A,C}(f_k)}{20}} \frac{P_{ref}}{0,5 V}. \quad (10)$$

**Tabla 2.** Respuesta en frecuencia del auricular audiométrico HDA 200 según el fabricante, medida en acoplador acústico B&K 4153, que cumple con IEC 60318.

$f_k$ [Hz]	$L_{A,C}$ [dB] @ $V_{rms} = 0,5 V$	$S_{A,C}(f_k)$ [Pa/V]
125	112,5	16,9
250	113,0	17,9
500	112,0	15,9
750	111,0	14,2
1 000	108,5	10,6
2 000	104,0	6,3
3 000	104,0	6,3
4 000	104,0	6,3
5 000	106,5	8,5
6 000	107,5	9,5
8 000	105,5	7,5
9 000	105,0	7,1
10 000	102,5	5,3
11 200	102,0	5,0
12 500	103,0	5,7
14 000	98,5	3,4
16 000	100,0	4,0

Para convertir estos valores de sensibilidad referida a un acoplador  $S_{A,C}(f_k)$  a la sensibilidad referida al tímpano  $S_{A,T}(f_k)$  se utiliza el Anexo C de la norma ISO 389-8 que da la diferencia de niveles de sensibilidad referida a campo libre y a un acoplador acústico:

$$G_F(f_k) - G_C(f_k) = 20 \log \frac{S_{A,FF}}{S_0} - 20 \log \frac{S_{A,C}}{S_0} = 20 \log \frac{S_{A,FF}}{S_{A,C}}, \quad (11)$$

**Tabla 3.** Corrección entre la sensibilidad referida al acoplador y a campo libre para el HDA 200 según HDA 200 según ISO 389-8 Anexo C.

$f_k$ [Hz]	$G_F(f_k) - G_C(f_k)$ [dB]
125	-5,0
160	-4,5
200	-4,5
250	-4,5
315	-5,0
400	-5,5
500	-2,5
630	-2,5
800	-3,0
1000	-3,5
1250	-2,0
1600	-5,5
2000	-5,0
2500	-6,0
3150	-7,0
4000	-13,0
5000	-14,5
6300	-11,0
8000	-8,5

donde  $S_0$  es una sensibilidad de referencia arbitraria (normalmente, 1 Pa/V). Reagrupando,

$$S_{A,FF} = 10^{\frac{G_F(f_k) - G_C(f_k)}{20}} S_{A,C}. \quad (12)$$

Por último, podemos recurrir nuevamente a la tabla 1 para vincular la sensibilidad referida a campo libre y la referida al tímpano,

$$L_{FF}(f_k) = L_T(f_k) - \Delta L_{FF}(f_k), \quad (13)$$

de la cual se obtiene

$$S_{A,T} = \frac{p_{A,T}}{v_A} = \frac{p_{A,FF} 10^{\frac{\Delta L_{FF}(f_k)}{20}}}{v_A} = S_{A,FF} 10^{\frac{\Delta L_{FF}(f_k)}{20}}. \quad (14)$$

Combinando (10), (12) y (14) obtener la sensibilidad del HDA 200 referida al tímpano que buscábamos

$$\begin{aligned} S_{A,T}(f_k) &= 10^{\frac{\Delta L_{FF}(f_k)}{20}} S_{A,FF}(f_k) = \\ &= 10^{\frac{\Delta L_{FF}(f_k)}{20}} 10^{\frac{G_F(f_k) - G_C(f_k)}{20}} S_{A,C}(f_k) = \\ &= 10^{\frac{\Delta L_{FF}(f_k)}{20}} 10^{\frac{G_F(f_k) - G_C(f_k)}{20}} 10^{\frac{L_{A,C}(f_k)}{20}} \frac{P_{ref}}{0,5 V} \end{aligned}$$

es decir,

$$S_{A,T}(f_k) = \frac{P_{ref}}{0,5 V} 10^{\frac{G_F(f_k) - G_C(f_k) + \Delta L_{FF}(f_k) + L_{A,C}(f_k)}{20}}. \quad (15)$$

Esta sensibilidad permite obtener la presión sonora en el tímpano en función de la tensión aplicada al HDA 200 a partir de datos normalizados:

$$p_{A,T}(f_k) = S_{A,T}(f_k) v_A(f_k). \quad (16)$$

Hay que aclarar que estos valores son promedios extendidos a una población. La particular conformación de un conducto auditivo individual puede provocar discrepancias importantes.

Si ahora aplicamos la ecuación (9) obtenemos, finalmente, la sensibilidad del auricular telefónico referida a un campo difuso.

$$S_{T,DF}(f_k) = \frac{P_{ref}}{0,5 V} 10^{\frac{G_F(f_k) - G_C(f_k) + \Delta L_{FF}(f_k) - \Delta L_{DF}(f_k) + L_{A,C}(f_k)}{20}} \frac{v_{A,U}(f_k)}{v_{T,U}(f_k)}. \quad (17)$$

Podemos entonces calcular la presión sonora de un campo difuso equivalente al aplicar una tensión eficaz al auricular telefónico:

$$p_{T,DF}(f_k) = S_{T,DF}(f_k) v_T(f_k). \quad (18)$$

que, a su vez, permite obtener el nivel de presión sonora difuso equivalente al estímulo que provoca el auricular telefónico con una determinada tensión:

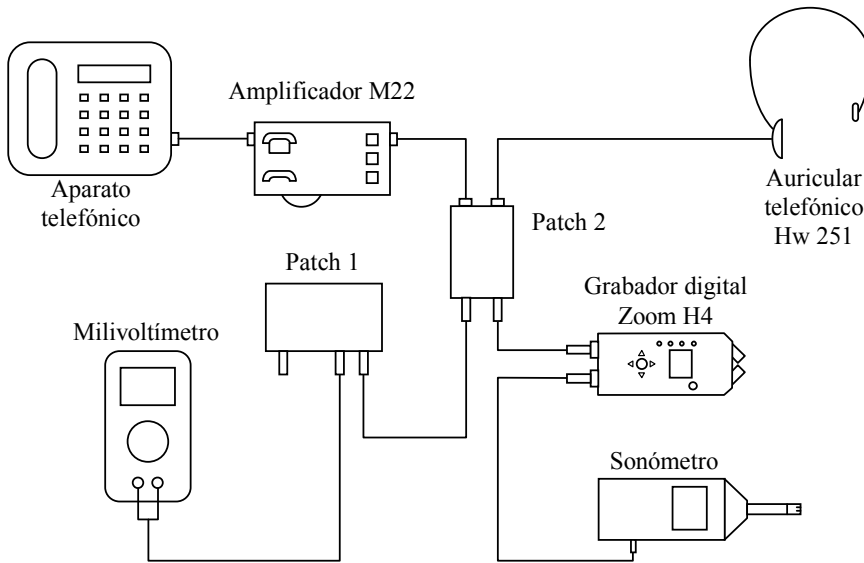
$$L_{pT,DF}(f_k) = G_F(f_k) - G_C(f_k) + \Delta L_{FF}(f_k) - \Delta L_{DF}(f_k) + L_{A,C}(f_k) + 20 \log \frac{v_{A,th}(f_k)}{v_{T,th}(f_k)} + 20 \log \frac{v_T(f_k)}{0,5 \text{ V}} \quad (19)$$

**2.2 Grabación digital de la señal telefónica**

Una vez obtenida la relación entre la tensión aplicada al auricular telefónico y el nivel de presión sonora del campo difuso equivalente, podemos grabar la señal eléctrica durante el uso en situación real. Para ello se utilizó un grabador digital Zoom H4, cuya idoneidad para propósitos metrológicos fue validada en Miyara et al., 2010. La señal se transfiere a una computadora para su ulterior procesamiento. La disposición experimental se muestra en la figura 3.

Además de la señal telefónica, se aprovecha para grabar en el otro canal la salida de audio calibrada con ponderación plana de un sonómetro de precisión dispuesto para captar el ruido ambiente dentro del local de atención telefónica. Por no ser el propósito principal de este trabajo, no se hizo ningún intento por corregir los efectos de la atenuación del auricular telefónico. Esta atenuación es pequeña en baja frecuencia, aunque en 8 kHz puede alcanzar los 25 dB, según lo estipulado para auriculares supraaurales en ANSI S3.1-1999 (Michael et al., 1981). Por otra parte, el auricular telefónico estudiado se utiliza en un solo oído, por lo cual la medición del ruido ambiente representa correctamente la exposición del oído libre.

En todos los casos la grabación se realiza sin compresión, con una resolución de 16 bit y a una tasa de muestreo de 44 100 Hz, y se graba previamente una señal senoidal de calibración cuyo valor eficaz es conocido.



**Figura 3.** Diagrama de conexión para la grabación de la señal eléctrica suministrada al auricular telefónico. La caja de conexión Patch 2 permite interceptar la señal eléctrica para su grabación digital. El sonómetro permite registrar el ruido ambiente en el local.

### 2.3 Conversión a equivalente acústico en campo difuso

Una vez transferida la señal a la computadora, se la filtra con un filtro FFT con la técnica de filtrado continuo overlap-add (ver Miyara et al., 2009) con un tamaño de ventana  $N = 4096$ . Como respuesta en frecuencia se utiliza la que se obtiene de la ecuación 17, convenientemente interpolada entre 0 Hz y 8 000 Hz, y anulada más allá de los 8 000 Hz, ya que no se dispone de datos fidedignos y de todos modos la señal telefónica en general no supera los 4 000 Hz. De esta forma se completan las  $N/2 = 2048$  muestras de frecuencia entre 0 Hz y 22 050 Hz.

La señal así filtrada representa una hipotética señal de campo difuso que provoca la misma sensación que la señal sonora percibida a través del auricular telefónico. Esta señal debe ser nuevamente filtrada con la ponderación A que requiere la legislación de higiene y seguridad en el trabajo y que forma parte de las normas de riesgo auditivo (IRAM 4079) y finalmente promediada energéticamente. Para mayor eficiencia computacional, ambos filtrados pueden agruparse en uno solo con respuesta  $S_{T,DF}(f) A(f)$ .

## 3 Desarrollo experimental

### 3.1 Calibración de los auriculares audiométricos

Si bien la especificación de los auriculares audiométricos HDA 200 no incluye tolerancia alguna, en realidad es necesario realizar una calibración de los mismos. Para ello se utilizó un simulador de cabeza y torso (HATS) Kemar GRAS type 45 DA, dispositivo que aproxima la anatomía externa del oído y proporciona una señal eléctrica proveniente de micrófonos ubicados en el fondo de los canales auditivos artificiales.

Estas mediciones son una aceptable aproximación de la sensibilidad referida al tímpano  $S_{A,T}$ . La parte 2 de la norma ISO 11904 no da información de las correcciones de la respuesta en campo libre y difuso como la parte 1, sino que hace referencia a las normas IEC 60959:1990 e ITU-T P.58 para las respuesta libre y difusa respectivamente. La comparación de la tabla 3 de la ITU-T P.58 con la tabla 1 de la ISO 11904-1 bajo el supuesto de igual campo difuso indica que la diferencia entre el tímpano real y el micrófono del HATS está en general dentro de los  $\pm 2$  dB a excepción de los 8 kHz.

Para la calibración se grabó en dos canales la señal eléctrica generada por computadora y aplicada a los auriculares y la señal captada por el micrófono del HATS. También se grabó una señal de calibración de 1 kHz y 94 dB generada por un calibrador al micrófono separado del HATS. En la tabla 4 se indican las respuestas especificada en acoplador ( $L_{A,C}$ ), calculada en tímpano ( $L_{A,T}$ ) y medida en HATS ( $L_{A,K}$ ), y en la figura 4 se muestran las diferencias con respecto al valor en el tímpano calculado con el procedimiento mencionado anteriormente. Las diferencias son apreciables y pueden deberse tanto al error por no ser idénticas ambas pruebas como a tolerancias no especificadas por el fabricante. En la figura 5 se muestran las sensibilidades referidas a diferentes posiciones, calculadas con los métodos de la sección 1.

**Tabla 4.** Respuestas del HDA 200 en el tímpano medida con el HATS.

$f_k$ [Hz]	$L_{A,C}(f_k)$ [dB]	$L_{A,T}(f_k)$ [dB]	$L_{A,K}(f_k)$ [dB] @ $v_{rms} = 0,5$ V
125	112,5	107,7	105,5
160	112,6	108,5	109,5
200	112,8	108,9	112,1
250	113,0	109,3	113,2
315	112,7	108,8	113,6
400	112,4	108,4	113,5
500	112,0	111,5	113,4
630	111,5	111,3	112,6
800	110,5	110,6	112,4
1000	108,5	107,7	112,2
1250	107,4	108,3	111,6
1600	105,8	106,1	112,8
2000	104,0	111,4	115,5
2500	104,0	113,7	119,0
3150	104,0	111,9	114,7
4000	104,0	104,2	113,0
5000	106,5	100,9	108,6
6300	107,2	99,3	109,3
8000	105,5	95,6	108,4



### 3.2 Pruebas audiométricas en los sujetos

Para las pruebas audiométricas destinadas a la comparación de umbrales se usó software desarrollado para tal fin. El mismo solicita una frecuencia y un nivel referido a 1 kHz sin corrección por cero audiométrico (en versiones posteriores se mejorará la interfaz para solicitar el nivel de audición respecto al cero audiométrico en cada frecuencia). Para cada frecuencia se determina el umbral como el promedio de dos valores que difieren en 2 dB siendo uno audible y el otro no.

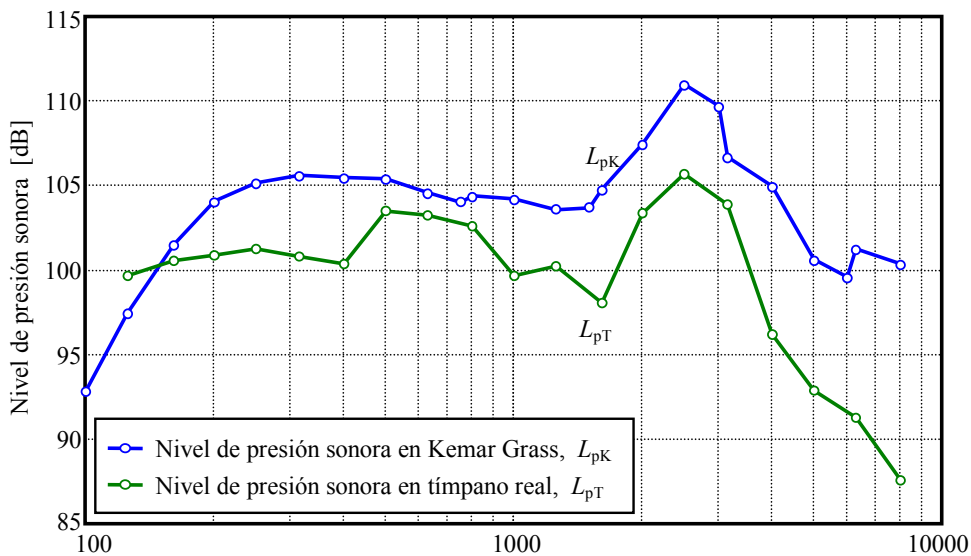


Figura 4. Comparación entre la respuesta calculada en un tímpano real a partir de los datos especificados y la respuesta dada 200 medida en el HATS.

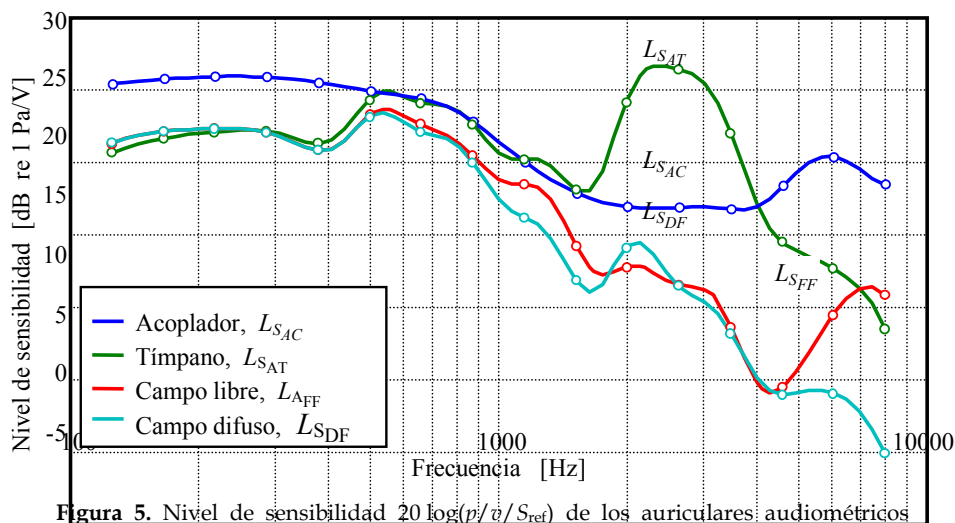


Figura 5. Nivel de sensibilidad  $20 \log(p/\dot{v}/S_{ref})$  de los auriculares audiométricos HDA 200 en un acoplador, en el tímpano, en campo libre y en campo difuso. Los tres últimos valores corresponden a la misma sensación.

El procedimiento se repite con el auricular telefónico, en este caso un Plantronics Hw 251. En este caso es preciso trabajar en un ambiente de bajo ruido dado que los auriculares son de tipo supraaural y ofrecen menos atenuación que los HDA 200. Esto es particularmente cierto cuando se trabaja con una laptop, debido al ruido generado por el ventilador. Si no se cuenta con una cabina audiométrica debe trabajarse en un ambiente silencioso y la computadora debe ubicarse en una habitación vecina.

Además del ruido externo, el ruido biológico presenta diferencias entre auriculares supra- y circumaurales. Rudmose explicó en términos del ruido fisiológico el fenómeno por el cual a baja frecuencia los auriculares circumaurales presentan un umbral (medido en tímpano con técnica MIRE) unos 6 dB mayores que en campo libre (Rudmose, 1982).

Estos factores conducen a una importante dispersión en los resultados. En la figura 6 se muestran los resultados para 6 sujetos comparada con la curva promedio interpolada, siendo el desvío estándar muy alto, del orden de 6 dB.

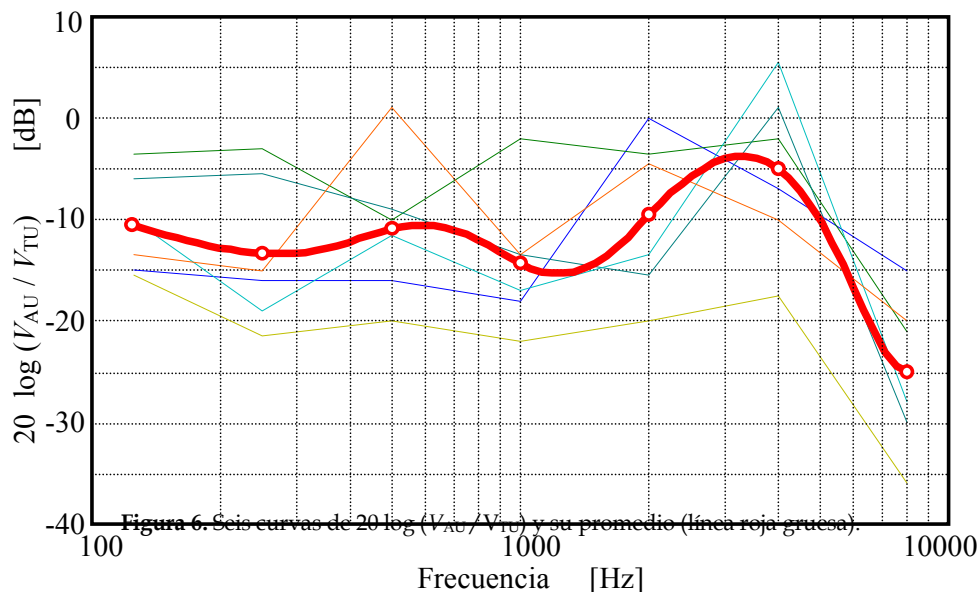


Figura 6. Seis curvas de  $20 \log (V_{AU} / V_{TU})$  y su promedio (línea roja gruesa).

#### 4 Conclusiones

Se ha propuesto un método para evaluar la exposición sonora en centros de atención telefónica (call centers), consistente en calibrar los auriculares telefónicos contra un auricular audiométrico a través de la comparación de umbrales. El método tiene la ventaja de ser económico al no requerir equipamiento costoso. Sin embargo, hasta el momento no es demasiado robusto debido a varios efectos tales como ruido ambiente, ruido de ventilación de la computadora, ruido biológico causado por los auriculares circumaurales. Sin embargo, si la exposición determinada por este procedimiento más la incertidumbre en la medición no alcanza el límite legal, el método puede ser sumamente útil. Por otra parte es posible mejorar las condiciones experimentales para reducir la dispersión, por ejemplo reducir el ruido ambiente y aumentar la cantidad de sujetos.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen al Grupo Sancor Seguros y Prevención ART de la ciudad de Sunchales, Santa Fe, Argentina, y a su representante, Roberto Fiorito, por la posibilidad de realizar trabajo de campo en su Call Center. Asimismo, agradecen a la Universidad Nacional de Tres de Febrero y al Director de la carrera de Ingeniería de Sonido, Alejandro Bidondo, por permitir el uso de sus instalaciones y su HATS para ensayar los auriculares, así como a Nicolás Urquiza por su asistencia.

#### Referencias

- ANSI S3.1 1999 (R 2003) "American National Standard Maximum Permissible Ambient Noise Levels for Audiometric Test Rooms"
- ANSI S3.6-2004 "American National Standard Specification for Audiometers"
- IEC 60959:1990. "Provisional head and torso simulator for acoustic measurements on air conducting hearing aids"
- ISO/TR 389-5:1998, Acoustics - Reference zero for the calibration of audiometric equipment - Part 5: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones in the frequency range 8 kHz to 16 kHz.
- ISO/DIS 389-8, "Acoustics - Reference zero for the calibration of audiometric equipment - Part 8: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and circumaural earphones."
- ISO 11904-1:2002 "Acoustics - Determination of sound immission from sound sources placed close to the ear - Part 1: Technique using a microphone in a real ear (MIRE technique)"
- ISO 11904-2:2004 "Acoustics - Determination of sound immission from sound sources placed close to the ear - Part 2: Technique using a manikin"

- ITU-T Recommendation P.58 "Objective measuring apparatus: Head and torso simulator for telephony". 1996.
- Michael, P.L., Bienvenue, G.R.. "Noise Attenuation Characteristics for Supra-aural Audiometric Headsets Using the Models MX-41/AR and 51 Earphone Cushions". JASA, Vol. 70 No. 5, Nov. 1981, pp 1235-1238
- Miyara, Federico; Pasch, Vivian; Yanitelli, Marta; Accolti, Ernesto; Cabanellas, Susana; Miechi, Pablo. "Contrastación de algoritmos de análisis de espectro con un instrumento normalizado". Primeras Jornadas Regionales de Acústica AdAA 2009. Rosario, 2009. Internet: <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/A032%20%28Miyara%29%20Contraste%20algoritmos%20analizador%20normalizado.pdf>
- Miyara F.; Accolti, E.; Pasch, V., Cabanellas S., Yanitelli M., Miechi P., Marengo-Rodriguez F., Mignini E. Suitability of a consumer digital recorder for use in acoustical measurements. Proceedings of the 39th INTER-NOISE congress. Lisbon, Portugal. 933, 2010.
- Richter, Utz. "Characteristic data of sound transducers used in audiometry" PTB-Beritch MA-27. November 1992
- Rudmouse, Wayne. "The case of the missing 6 dB". JASA Vol 71 No. 3, March 1982. pp. 650-659
- Sennheiser Electronic Corporation. "HDA 200 - Technical Data". Internet: <http://www.sennheiserusa.com/images/products/audiology/hda200.gif>
- Sennheiser Electronic Corporation. "HDA 200 - Audiometric Headphone". Internet: [http://www.sennheiser.com/sennheiser/products.nsf/resources/HDA200\\_bda.pdf/\\$File/HDA200\\_bda.pdf](http://www.sennheiser.com/sennheiser/products.nsf/resources/HDA200_bda.pdf/$File/HDA200_bda.pdf)
- Sennheiser Electronic Corporation. "HDA 200 - Audiology - Special headphones". Internet: [http://www.sennheiser.com/sennheiser/products.nsf/resources/HDA\\_200\\_GB.pdf/\\$File/HDA\\_200\\_GB.pdf](http://www.sennheiser.com/sennheiser/products.nsf/resources/HDA_200_GB.pdf/$File/HDA_200_GB.pdf)