

MEDICIÓN DE NIVELES DE EXPOSICIÓN AL RUIDO EN ADOLESCENTES USUARIOS DE REPRODUCTORES ESTEREOFÓNICOS PERSONALES (REP)



Ing. Horacio E. Cristiani (*)

(*) Ingeniero Electrónico (UBA).
Director General de la Mutualidad Argentina de Hipoacúsicos.
Email: hcristiani@mah.org.ar

RESUMEN

Se realizó la medición del Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq) a 186 jóvenes de escuelas secundarias usuarios de sistemas REP (reproductores estéreo personales). Se diseñó un método rápido, y de bajo costo, para incluirlo en una campaña de divulgación y concientización respecto al daño auditivo inducido por ruido. Los resultados de cada medición fueron entregados en forma inmediata a los participantes. Se brindó una charla informativa para los jóvenes, sobre la prevención del daño auditivo por ruido. Se compararon los resultados obtenidos con los valores de exposición al ruido máximos admitidos según la Resolución 295/03 del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social.

Palabras Clave: *Exposición al Ruido, Teléfonos celulares, Daño auditivo, Nivel Sonoro Continuo Equivalente, Reproductores MP3*

MEASUREMENT OF NOISE EXPOSURE LEVELS TO TEENAGER USERS OF PERSONAL STEREO PLAYERS (PSP)

ABSTRACT

Measurement of Continuous Equivalent Sound Level (Leq) in 186 high



school youth PSP systems users (Personal Stereo Players) was performed. A fast and inexpensive method to include in a campaign of outreach and awareness regarding hearing damage induced by noise was designed. The results of each measurement were delivered to participants immediately. A lecture for the participants on preventing hearing damage by noise was provided. The results obtained were compared with the values of maximum permissible noise exposure according to Resolution 295/03 of the Ministry of Labour, Employment and Social Security.

Keywords: *Noise Exposure, Mobile phones, Hearing damage, Continuous Equivalent Sound Level, MP3 players*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El uso masivo de teléfonos celulares ha cambiado los hábitos de una parte considerable del mundo. El desarrollo del formato MP3 de compresión de audio con la posibilidad de almacenar varias horas de temas musicales en una memoria de tamaño reducido, y la buena fidelidad de los teléfonos celulares han contribuido a una utilización masiva, por parte tanto de adultos como principalmente de adolescentes y niños. Los llamados "nativos digitales" que vinieron al mundo a partir del comienzo del Siglo XXI son los principales usuarios de estas nuevas tecnologías.

Se han realizado diversos estudios^{1; 2; 3} para evaluar la posibilidad de daño auditivo derivada de la utilización incorrecta de estos dispositivos (tanto en cuanto a la intensidad como al tiempo de exposición). Fligor, Cox y Clarke publicaron los resultados de mediciones con distintos tipos de auriculares disponibles comercialmente, extrayendo importantes conclusiones respecto a las distintas condiciones de uso.

La Mutualidad Argentina de Hipoacúsicos (MAH), lanzó en 2014 la campaña "**Dale PLAY a tu Audición**" destinada a adolescentes, con los siguientes objetivos:

- Concientizar a la población juvenil sobre los riesgos de daño auditivo, por el uso indebido de este tipo de tecnología.
- Realizar una medición aproximada de los niveles de escucha de los jóvenes a través de sus sistemas reproductores estéreo de uso personal (de ahora en más llamados REP, en su gran mayoría teléfonos celulares).

Inicialmente, la idea fue montar el sistema de medición en la vía pública, proponiendo a los transeúntes que vinieran utilizando sus teléfonos celulares como reproductores de música, que permitieran hacer la medición para evaluar el nivel de escucha que ellos utilizaban. Al poco tiempo se

encontró esto bastante difícil por cuestiones prácticas, por lo que se decidió cambiar al formato definitivo: concurrir a escuelas y realizar allí el procedimiento de medición.

Para este primer informe, se han relevado datos de 186 adolescentes pertenecientes a tres escuelas ubicadas en la zona del AMBA (Área Metropolitana de Buenos Aires). La campaña se prolongará en el tiempo, por lo que en el futuro se agregarán más datos a la base.

MATERIAL Y MÉTODO

La propuesta fue diseñar un método simple, de bajo costo y con la condición excluyente de la entrega inmediata de resultados a los adolescentes participantes. Estas características traen como consecuencia la pérdida de cierta precisión en los resultados, pero teniendo en cuenta la alta dispersión en los mismos (determinada por las preferencias de los individuos en cuanto a género musical, intérpretes, etc.), se privilegió la transmisión del mensaje a los destinatarios, aceptando las limitaciones del método.

Se realizaron las mediciones del Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq) con ponderación A, en 186 adolescentes de ambos sexos (61 de sexo femenino, 125 de sexo masculino), edad promedio: 15,95 años ($\sigma = 1,55$). Los mismos pertenecen a escuelas secundarias de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y del Conurbano Bonaerense.

Se llama Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq) al nivel de presión sonora constante durante un periodo T, que tiene la misma energía acústica que el evento real considerado.

Se preparó una cabeza de maniquí de plástico (Fig. 1), con el agregado de un par de pabellones auditivos de goma flexible. En el interior de una de las orejas de goma se hizo una perforación y se la conectó a un acoplador cilíndrico de 2cc de volumen. Este acoplador (Fig. 2) presenta una de las caras en conexión con el orificio del pabellón de goma, mientras que la otra cara aloja en su interior un micrófono (MK:224 de clase 1 prepolarizado, Cirrus Research) asegurándose la estabilidad mecánica del mismo mediante un anillo de goma. Este micrófono es montado directamente al preamplificador (Preamplificador extraíble MV:200, Cirrus Research), y éste a su vez se conecta al sonómetro (Cirrus Research, modelo 162-C) por medio de un cable especial provisto por el fabricante.

El sistema de medición se fijó en un trípode para operarlo y leer resultados cómodamente. También se conectó un cable USB para la recolección de datos por medio de una computadora personal portátil. Los resultados de

las distintas mediciones se almacenaron y procesaron con el software NoiseTools ® del mismo fabricante y se exportaron también los datos a la planilla de cálculo Excel de Microsoft para realizar las estadísticas del trabajo.

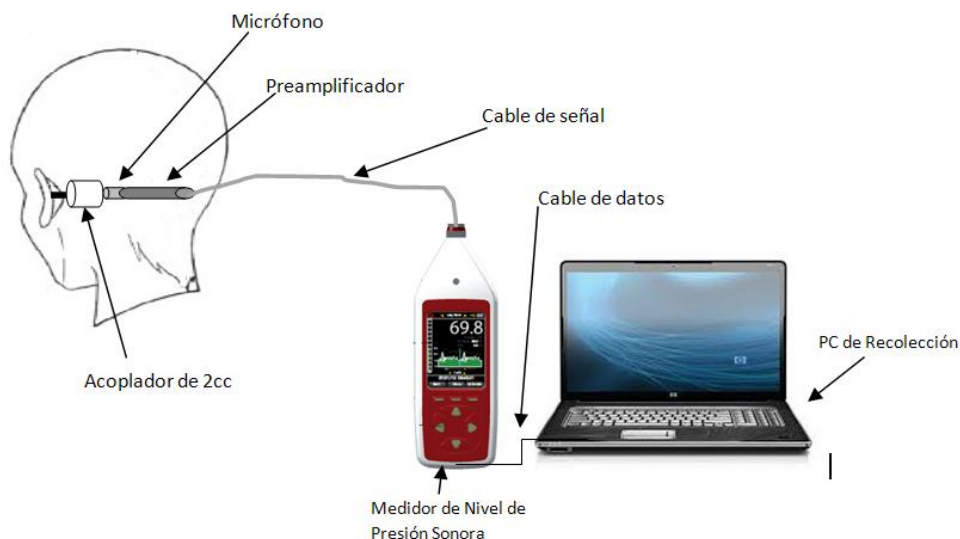


Fig. 1 Esquema de Medición

Limitaciones del método utilizado

La medición del Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq) con el conjunto descrito arriba presenta las siguientes limitaciones, algunas por causa de no contar la MAH con el equipamiento necesario, y otras debido a las condiciones y prioridades asumidas para la prueba y la campaña.

- I. No se utilizó un maniquí normalizado como el KEMAR, que cumpliera con la norma IEC 60959
- II. Tampoco se empleó un oído artificial conectado al maniquí, tal como indica la norma IEC 60711

En su lugar se usó una cabeza de maniquí (las que son utilizadas en los comercios de artículos de peluquería), y el oído artificial se reemplazó con un acoplador acrílico de 2cc de volumen.

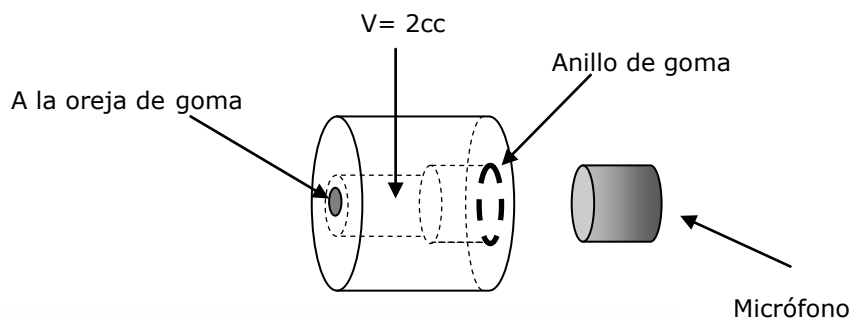


Fig. 2 Esquema del acoplador usado en la prueba

El acoplador de 2cc es una solución de bajo costo ampliamente utilizada para la medición de características de los audífonos. En la Fig. 3 puede verse la curva de respuesta en frecuencia típica obtenida con este tipo de acoplador, junto a la medida con un acoplador de Zwislocki (IEC 60711) y a una muestra de 11 oídos reales¹⁰. Se observa que el uso del acoplador de 2cc **subestima los niveles**.

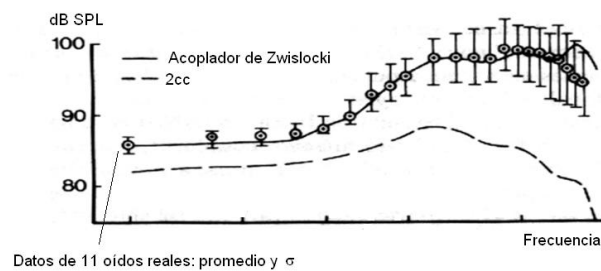


Fig. 3 Curvas de respuesta en frecuencia para Acoplador 2cc y Acoplador de Zwislocki

En la Fig. 4 se observan las diferencias entre ambas curvas, como función de la frecuencia.

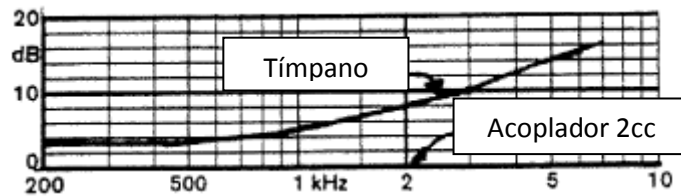


Fig. 4 Diferencias entre acopladores de 2cc y la medición a nivel del tímpano, en función de la frecuencia.

En la norma ISO 389-2 (1994) se puede encontrar una tabla donde se detallan los valores de las diferencias entre los niveles de presión sonora umbral medidos conforme a la norma IEC 126 (2cc) y la IEC 60711 (Zwislocki) para distintas frecuencias. A este valor se lo llamará Δ_{LC} .

Esto permite construir la primera fila de la Tabla 1.

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\Delta_{Lc} = L_{zc} - L_{2cc}$ (dB)	2	3,5	4	5,5	8,5	9,5	15,5
$\Delta_{LF} = L_{FF} - L_{zc}$ (dB)	-5	-4,5	-2,5	-3,5	-5	-13	-8,5
Et(dB)	-3	-1	1,5	2	3,5	-3,5	7

Tabla 1 Factores de corrección

III. La norma ISO 11904-2 explica el método para la determinación de la inmisión sonora de fuentes colocadas en las proximidades del oído. La parte 1 de esta norma establece el proceso a seguir para la medición mediante la inserción de un micrófono en miniatura (Técnica MIRE), mientras que la segunda parte especifica el procedimiento de medición utilizando un maniquí con simulador de oído con micrófonos de medición (Técnica Maniquí). En el presente trabajo, si bien no se utiliza un oído artificial de acuerdo a la norma IEC 60711 ni un Maniquí KEMAR, la técnica se asemeja a la correspondiente a la norma ANSI 11904-2, con la salvedad indicada arriba debido al cambio de acoplador.

Los valores medidos a través de esta técnica, indican la exposición del oído bajo prueba, pero para poder comparar estos resultados con los niveles de riesgo auditivo presentes en las normas, se deben expresar los resultados del Nivel Sonoro Continuo Equivalente (L_{eq}) como sus equivalentes a campo libre L_{FF} o campo difuso L_{DF} .

Entonces, el valor que se debe hallar para poder evaluar el riesgo de daño auditivo es L_{FFAeq} (Nivel Sonoro Continuo Equivalente, expresado en dB con ponderación A convertidos a valores a Campo Libre).

Para realizar este cálculo es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Medición de $L_{eq,Te}$ en bandas de tercio de octava (sin ponderación). Esto da como resultado $L_{eq,k}$ (donde k son las frecuencias centrales de las bandas de tercio de octava: 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000 HZ)
2. Corrección de Campo Libre.

Los niveles medidos en cada banda, se deben corregir para obtener valores equivalentes para Campo Libre, debiendo restarse los $\Delta_{LFF,M,f}$ especificados por la ISO 389-8.

$$L_{FF,eq,k} = L_{eq,k} - \Delta_{LFF,M,f}$$

3. Ponderación A

Para cada valor corregido en el paso anterior es necesario aplicar la corrección para convertir a dBA, según lo especificado en la norma IEC 61672-1.

$$L_{FF,Aeq,k} = L_{FF,eq,k} + A_f$$

4. Obtención de L_{FFAeq}

$$L_{FF,Aeq} = 10 \log \sum_k 10^{L_{FF,Aeq,k}}$$

Se comprende que la inclusión de estos pasos para la elaboración de los resultados, atenta seriamente contra la rapidez que se pretende para la entrega de resultados a una gran cantidad de jóvenes.

En la Tabla 1 se agregaron los valores de corrección necesarios para convertir las lecturas medidas con acoplador a valores equivalentes a campo libre (ΔL_f). Se puede ver que la lectura directa de LAeq sin efectuar la corrección a valores equivalentes a Campo libre **sobreestima** los valores de la medición.

Se observa en la Tabla 1 que el efecto de ambas simplificaciones superpuesto da como resultado valores que se mantienen dentro de un margen de error (E_t , tercera fila de dicha tabla) razonable para los alcances de este trabajo. Esto se muestra en el gráfico de la Fig. 5.

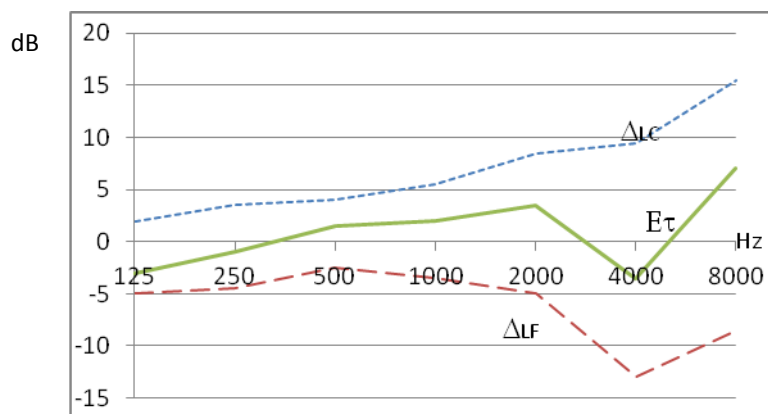


Fig. 5 Errores de medición en función de la frecuencia

Formato de una sesión de la Campaña:

Primera etapa: Toma de datos

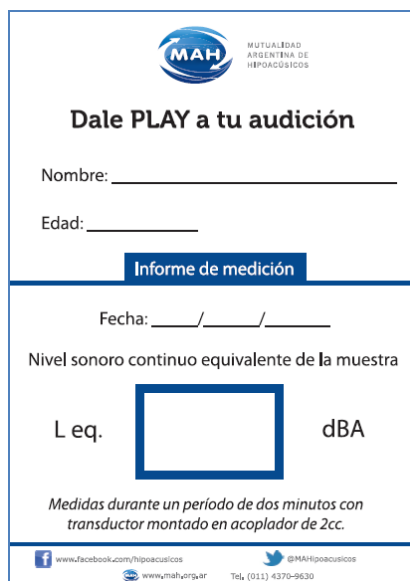
1. Habiendo elegido un lugar cómodo, dentro de las instalaciones de la escuela, se instala el dispositivo de medición como indica la fotografía de la Fig. 6 a.
2. Se traen grupos de cinco alumnos y se les explica que coloquen su REP en el volumen acostumbrado y que elijan un tema musical de su preferencia.
3. De a uno por vez se les pide que se quiten los auriculares y se los coloquen al maniquí.
4. Se toma una muestra de aproximadamente dos minutos, o cuando la lectura, luego de transcurrido un minuto, se mantiene estable.
5. Concluida la muestra, y leído el valor de Leq (expresado en dBA) en la pantalla del instrumento, se transcribe el resultado y se entrega al alumno un talón donde se ha escrito el resultado (Fig. 6 b).




Fig. 6.a Dispositivo de Medición

Segunda Etapa: Charla informativa

Una vez que todos los alumnos de la división han realizado la prueba, se da una charla informativa grupal en la cual se comentan los resultados obtenidos y se muestran los aspectos nocivos del ruido sobre la salud, en especial el daño auditivo potencial. Esta parte es muy importante, ya que se genera un entorno muy adecuado para el intercambio de ideas y la transmisión de pautas claras de prevención.



 MUTUALIDAD ARGENTINA DE HIPOACÚSICOS

Dale PLAY a tu audición

Nombre: _____

Edad: _____

Informe de medición

Fecha: ____/____/____

Nivel sonoro continuo equivalente de la muestra

L eq. dBA

Medidas durante un período de dos minutos con transductor montado en acoplador de 2cc.

www.facebook.com/hipoacusicos [@GMAHipoacusicos](https://www.instagram.com/GMAHipoacusicos)
www.mah.org.ar [Tels. \(011\) 4370-9630](tel:01143709630)

Fig. 6b Talón entregado a los participantes

RESULTADOS

En la Fig. 7 se observan los resultados de Leq obtenidos en toda la muestra. Nótese los valores máximo (107,6 dBA) y mínimo (62,7 dBA) absolutos.

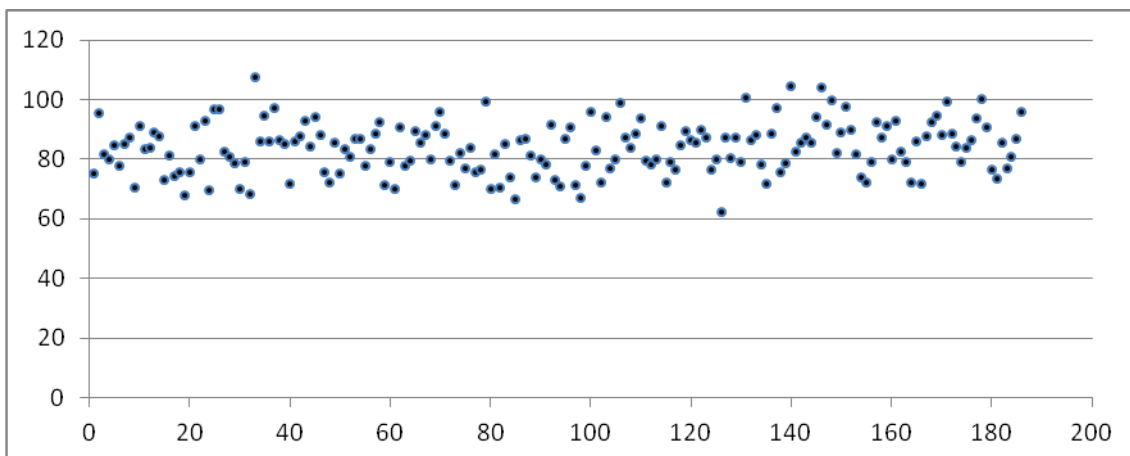


Fig. 7 Niveles de Leq Medidos (dBA)

Se encontraron escasas diferencias entre el comportamiento promedio de los varones: (Leq= 83,64 dBA; $\sigma=8,66$) y las mujeres (Leq= 83,99 dBA; $\sigma=8,28$).

Escuela A (Instituto privado con orientación religiosa, Ciudad Autónoma de Buenos Aires).

N=33; Leq= 89 dBA; $\sigma=9,4$

Escuela B (Escuela Industrial Estatal, Ciudad Autónoma de Buenos Aires).

N=51; Leq= 83,2 dBA; $\sigma =7,6$

Escuela C (Colegio privado con orientación religiosa, en Partido de San Martín, Provincia de Buenos Aires).

N=102; Leq=84,5 dBA; $\sigma =8,6$

Tomando en cuenta la muestra total, se encontró un Leq= 83,75 dBA;

$\sigma =8,52$

Con el conjunto de datos se realizó un análisis estadístico de los valores medidos. En primer lugar se agrupó por clases y se contabilizaron los valores en cada una de ellas, generando la Tabla 2.

En la primera columna se agrupó la muestra en "clases" tomando de a 5 dB.

La segunda columna de la tabla (fa) muestra la frecuencia acumulada de dicha clase. Esto equivale a contabilizar todas las mediciones cuyo resultado es menor o igual al límite inferior de la clase. La columna siguiente muestra la frecuencia (f) para cada clase. Se entiende aquí como frecuencia, la cantidad de veces que ocurre el evento en que el valor medido se encuentra

entre los límites inferior y superior de la clase.

La cuarta columna es complementaria de la tercera, y muestra la cantidad de mediciones donde se superó el nivel del límite inferior de la clase. La última columna es la expresión porcentual de la anterior.

Clases	fa	f	186-fa	%
60	0	0	186	100
65	1	1	185	99,4623656
70	6	5	180	96,7741935
75	30	24	156	83,8709677
80	69	28	117	62,9032258
85	97	47	89	47,8494624
90	144	24	42	22,5806452
95	168	13	18	9,67741935
100	181	4	5	2,68817204
105	185	1	1	0,53763441
110	186	0	0	0

Tabla 2 Análisis estadístico de la muestra

Con los valores agrupados en clases, se construyó el polígono de frecuencias (Fig. 8). Allí se puede ver la forma semejante a una distribución normal que presenta la muestra. Más información útil es posible obtener si se grafican las frecuencias acumulativas complementarias (tercera columna de la Tabla 2). Esto se ve en la Fig.9.

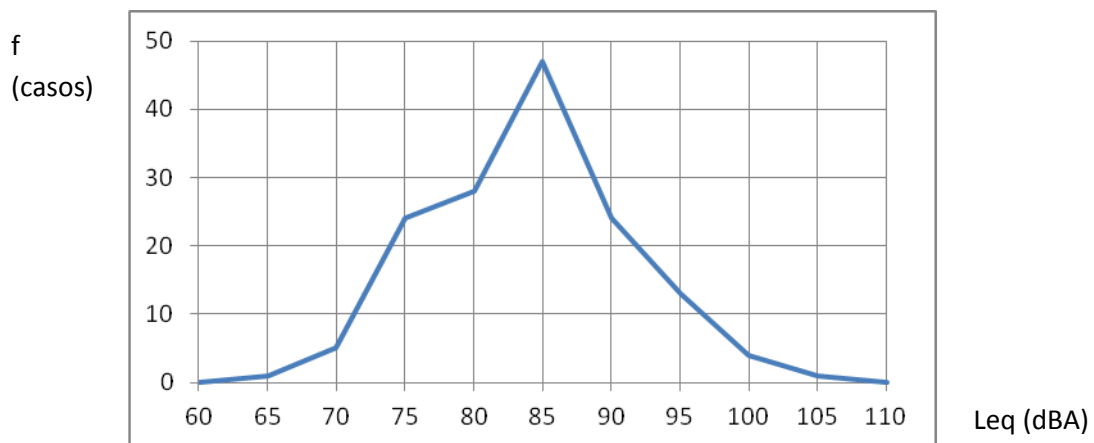


Fig. 8 Polígono de frecuencias

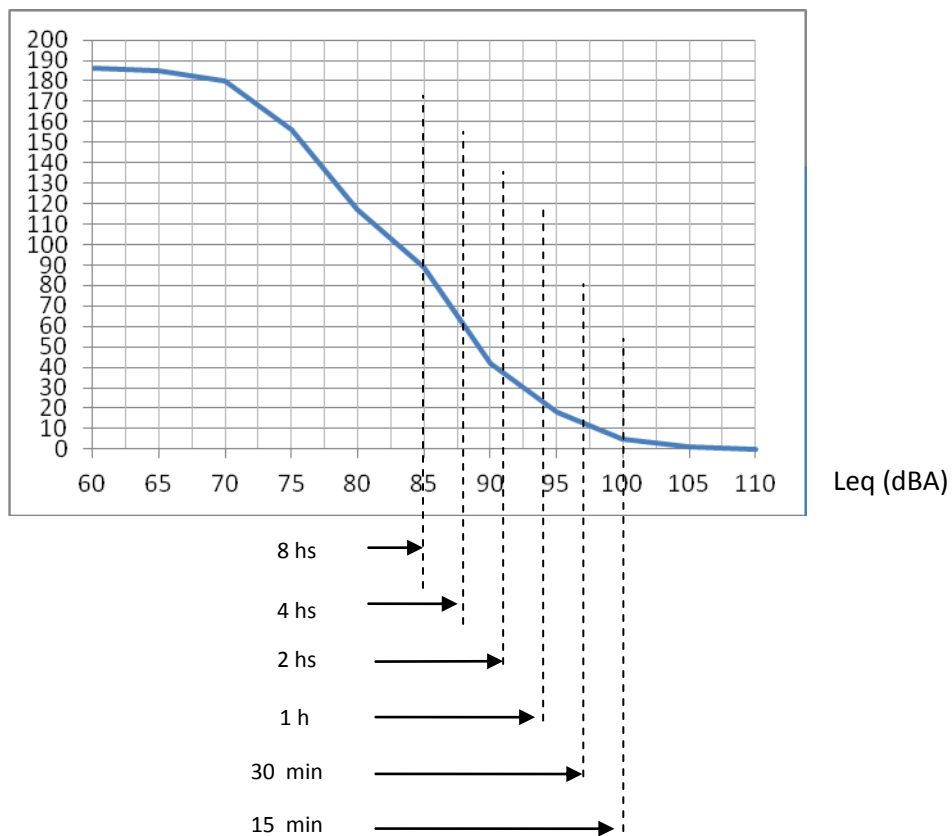


Fig. 9 Gráfico de 186- fa

De esta forma se puede ver la cantidad de casos que presentaron valores mayores a los especificados por la Resolución 295/03 del MTESS de acuerdo a cada tiempo de exposición. Por ejemplo, se puede leer directamente que 89 casos presentaron un valor de Leq superior a 85 dBA y que 3 casos presentaron un Leq superior a 100 dBA.

En el gráfico de la Fig. 10, se representa la frecuencia acumulada complementaria porcentual.

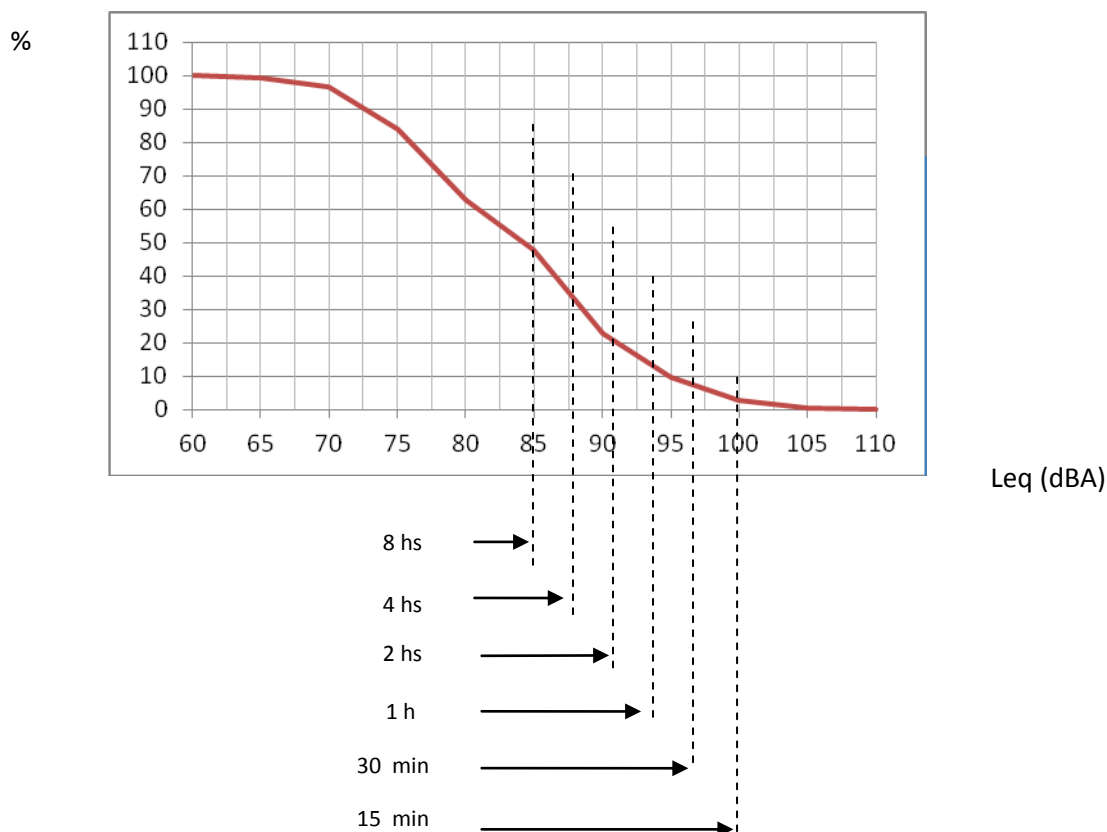


Fig. 10 Gráfico de frecuencia acumulativa complementaria porcentual

DISCUSIÓN

Factores no tomados en cuenta en este trabajo

- No se midió el ruido de fondo en el que se encontraban inmersos los alumnos en el momento de la medición, factor importante, por cuanto es sabido que el nivel de escucha varía en forma directamente proporcional al nivel de ruido de fondo. Esto es razonable, ya que el usuario va a buscar siempre optimizar la Relación señal/ruido. Las mediciones de este informe se realizaron de ambientes relativamente tranquilos, en situaciones reales y no controladas. Esto advierte respecto a la posibilidad de esperar valores mayores en una medición en la vía pública o un medio de transporte.
- La comparación con los niveles máximos admisibles según la Res. 295/03 del MTESS ha supuesto una situación de escucha de una cierta cantidad de horas diarias **de lunes a sábado**, o sea, 6 días a la semana. El hábito de escucha de los jóvenes no sigue esta regla:

habitualmente se continúa utilizando el REP los fines semana completos (algunas veces durante más tiempo que durante la semana).

Si se ajustan los tiempos de exposición tomando una base semanal, podría decirse que 8 horas diarias (de lunes a sábado) equivalen a 48 horas semanales. Estas 48 horas semanales divididas en 7 días (en lugar de 5) implican un uso diario máximo de 6,8 horas correspondiente al Leq de 85 dBA. En otras palabras, si se toma en cuenta la posible exposición durante los siete días de la semana, se debería descontar de los tiempos máximos admisibles un 15%. En la Tabla 3 se resumen los resultados y porcentajes encontrados para cada uno de los márgenes, de acuerdo a la Resolución 295/03 del MTESS.

Leq	Cantidad	%	Exposición máxima
Leq < 85 dBA	97	52,15	8 h
85 dBA < Leq < 88 dBA	35	18,82	4 h
88 dBA < Leq < 91 dBA	17	9,14	2 h
91 dBA < Leq < 94 dBA	15	8,06	1 h
94 dBA < Leq < 97 dBA	17	9,14	30 min
97 dBA < Leq < 100 dBA	2	1,08	15 min
100 dBA < Leq < 103 dBA	2	1,08	7,5 min
Leq >103 dBA	1	0,54	3,75 min

Tabla 3 Porcentaje de casos según límite de exposición

CONCLUSIONES

La medición de los niveles de exposición al ruido de los jóvenes evaluados permite sacar algunas conclusiones, las cuales hay que considerar acompañadas de información en cuanto a las limitaciones del método. Cabe reiterar que el principal objetivo de esta campaña es instalar entre la juventud la necesidad de poner atención a los riesgos, junto con una idea aproximada del nivel de exposición individual.

Observando la tabla 3 se encuentra que casi el 20% de los jóvenes utilizan sus dispositivos a niveles peligrosos si la escucha se extiende durante más de una hora diaria. Si bien no se incluyó un cuestionario al respecto, y no se contó con información en cuanto al tiempo de uso de estos jóvenes, se presume que muchas veces se excede la hora diaria de uso. De la misma se encuentra que un 11% de la muestra excede el nivel aceptable para media

hora de exposición diaria. Si se considera el límite máximo para dos horas de exposición, el 29% de la muestra excede el nivel permitido.

En el gráfico de la Fig. 11 se pueden ver los porcentajes de los jóvenes testeados agrupados según los máximos de exposición permitida.

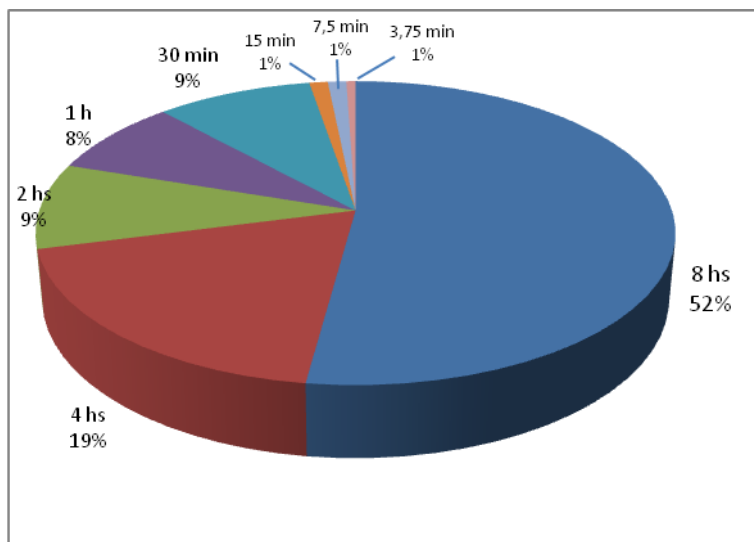


Fig. 11 Límites de exposición de los jóvenes de la muestra

RECONOCIMIENTOS

El autor agradece la colaboración de Victoria García Garcilazo, Marcos Borello, Emiliana Soledad García, del Área de Relaciones Institucionales de la Mutualidad Argentina de Hipoacúsicos, por su participación en la Campaña y la elaboración del material de difusión de la misma.

Al Sr. Daniel Rossi, por su intervención en las jornadas de Campaña y fundamentalmente por la construcción del maniquí para la medición.

A la Dra. Maricruz Oviedo y a la Lic. Fga. Marcela Alexandra Roberts, por sus valiosos aportes en las jornadas de Campaña y en las charlas informativas impartidas a los jóvenes.

A la Fga. Laura Abal de Cárrega, por su trabajo de corrección de estilo y redacción final del informe.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Fligor BJ, Cox LC: Output levels of commercially available compact disc players and the potential risk to hearing. Ear Hear 2004;25:513-527.*
 2. *Fligor BJ: Hearing Loss and Ipods: What happens when you turn to 11? The Hearing journal; Oct. 2007. Vol 60. N° 10.*
 3. *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR): Potential health risks of exposure to noise from personal music players and mobile phones including a music playing function; Sept. 2008.*
 4. *Miyara F; Guerrero S.M.; Accolti E.: Telephone Headset Sound Exposure Assessment by Threshold Comparison. Asociación Argentina de Mecánica Computacional; 201.1*
 5. *Roggio I; Pérez Villalobo J; Serra M: Inmisión sonora, emisión y porcentajes de uso de voz en operadores de call centers; 2009; Primeras Jornadas de Acústica AdAA.*
 6. *Liedtke M: Determination of sound inmissions from sources placed closet o the ears-such as head-and earphones*
 7. *ISO, "Acoustics- Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment", ISO 1999, 1990.*
 8. *ISO, "Acoustics- Determination of sound inmission from sound sources placed close to the ears- Part 1: Technique using a microphone in a real ear (MIRE-technique)", ISO/DIS 11904-1, 2000.*
 9. *ISO, "Acoustics- Determination of sound inmission from sound sources placed close to the ears- Part 2: Technique using a manikin (manikin-technique)", ISO/DIS 11904-2, 2000.*
 10. *Hodgson W; Skinner P.: Hearing aid assestment and use in audiologic habilitation. William & Wilkins 1982.*
 11. *Cristiani: Bases de Matemática y Física para Audiólogos. Librería Akadia Editorial, 2014.*
 12. *Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social. "Higiene y Seguridad en el Trabajo". Resolución 295/2003 10/11/2003. Boletín Oficial de la República Argentina.*
- 