

# Verificación de niveles de atenuación de protectores auditivos tipo copa en trabajadores del sector Hidrocarburos

## Verifying the attenuation levels of earmuff hearing protectors in Oil & Gas workers

Sildrey Upegui-Rincon, Luis Araque-Muñoz, Cesar Lizarazo-Salcedo, Shyrle Berrio-Garcia y Juliana Guarguati-Ariza

Recibido 13 marzo 2018 / Enviado para modificación 14 mayo 2018 / Aceptado 22 diciembre 2018

### RESUMEN

SU: Ing. Industrial. M. Sc. Seguridad y Salud en el Trabajo. Especialista salud ocupacional. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. [supegui@javeriana.edu.co](mailto:supegui@javeriana.edu.co)

LA: Administrador de Empresas. M. Sc. Prevención de Riesgos Labores. Especialista en higiene ocupacional. Centro para la Prevención de Riesgos profesionales. Bogotá, Colombia. [guillermo.araque@crph.com.co](mailto:guillermo.araque@crph.com.co)

CL: Ing. Químico. Ph. D. Ingeniería. Especialista en gerencia de producción y mejoramiento continuo. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. [lizarazoc@javeriana.edu.co](mailto:lizarazoc@javeriana.edu.co)

SB: Ing. Industrial. M. Sc. Ingeniería Industrial. Bogotá, Colombia. [berrio.s@javeriana.edu.co](mailto:berrio.s@javeriana.edu.co)

JG: Ing. Industrial. M. Sc. Ingeniería de Seguridad de Procesos. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

[julianaguarguati@gmail.com](mailto:julianaguarguati@gmail.com)

**Objetivo** Verificar los niveles de atenuación de dos tipos de protectores auditivos de copa bajo condiciones reales de operación.

**Métodos** Se realizó un diseño experimental de medidas repetidas de los niveles de presión sonora al interior y exterior de los protectores auditivos, realizando mediciones de ruido bajo circunstancias habituales de trabajo para operadores de una planta de hidrocarburos. Posteriormente, se determinaron las diferencias entre los niveles de atenuación establecidos por el fabricante, los niveles de atenuación ajustados bajo el método recomendado por NIOSH y los niveles de atenuación obtenidos experimentalmente.

**Resultados** Los valores de atenuación ofrecidos por los fabricantes difieren de los obtenidos experimentalmente, siendo estos últimos, menores en todos los casos del estudio. Los valores de atenuación de los protectores auditivos ajustados bajo el método NIOSH alcanzaron valores más cercanos a los experimentales.

**Conclusiones** La variabilidad entre los valores de atenuación teóricos y experimentales, permiten establecer que las estimaciones de los niveles de atenuación obtenidos en condiciones controladas no consideran aspectos que en condiciones reales de uso afectan la eficiencia del protector auditivo. Este estudio plantea la necesidad de implementar programas integrales de protección auditiva, que permitan considerar variables asociadas a la eficacia del dispositivo en condiciones de uso, a través de la aplicación de pruebas de ajuste o en su defecto a través de la aplicación de los factores de ajuste sugeridos por NIOSH, con el fin de realizar una adecuada selección que permita alcanzar un control efectivo para el ruido.

**Palabras Clave:** Ruido en el ambiente de trabajo; exposición ocupacional; dosimetría; equipo de protección personal (*fuentes: DeCS, BIREME*).

### ABSTRACT

**Objective** To verify the attenuation levels of two types of earmuffs under real operating conditions.

**Materials and Methods** A study with experimental design was carried out to obtain repeated measurements of the sound pressure levels inside and outside hearing protectors in a sample of workers of an oil and gas company working under normal process and exposure conditions. The results allowed determining differences between the attenuation levels established by the manufacturer, the adjusted attenuation levels under the NIOSH method, and the attenuation levels obtained experimentally.

**Results** The attenuation values established by the manufacturers are lower than those ones obtained under actual use conditions in all cases evaluated. Likewise, the attenuation values of the hearing protectors, once adjusted under the NIOSH method, reached values much closer to those obtained experimentally.

**Conclusions** The variability between theoretical attenuation values and experimental values allows concluding that the attenuation levels obtained under controlled laboratory conditions do not take into account certain characteristics that, based on their use, affect the efficiency of the hearing protection device. This study encourages the implementation of comprehensive hearing protection programs that consider variables such as hearing protection effectiveness, under real use conditions, by applying fit tests or other adjustment factors like the one suggested by NIOSH. This would ensure an adequate selection that aims at achieving an effective control of this risk factor.

**Key Words:** Occupational noise; occupational exposure; ear protective devices; earmuffs (*source: MeSH, NML*).

Cada vez son más evidentes los efectos negativos que genera el ruido en la salud de las personas, especialmente en el caso de la población trabajadora. Este factor de riesgo se ha constituido como uno de los de mayor interés debido a que se encuentra asociado al desarrollo de hipoacusia neurosensorial, enfermedad laboral que se encuentra clasificada como una de las de mayor incidencia a nivel nacional y mundial (1). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y considerando su criterio para establecer el umbral de pérdida auditiva, 16 de cada 100 casos de pérdida de audición en el mundo son atribuibles a exposición laboral (2).

Las estadísticas de enfermedad laboral en Colombia, generadas por Fasecolda, evidencian que para el año 2011 en el país, la hipoacusia neurosensorial bilateral continuaba siendo una de las principales enfermedades laborales diagnosticadas, superada únicamente por patologías osteomusculares (3). Todas las razones anteriormente mencionadas, han llevado a la orientación de múltiples esfuerzos a nivel ocupacional para el desarrollo de estrategias de control y prevención de la exposición a ruido en los trabajadores y sus efectos en la salud.

De acuerdo a los sistemas de seguridad y salud ocupacional, estas estrategias de control deben estar orientadas a lugar, sistema seguro y persona (4); concentrándose siempre, como primera opción, en la identificación y control de la causa o fuente del ruido. No obstante, en muchos casos eliminar la fuente generadora de ruido en los espacios laborales o aplicar medidas de control a nivel de ingeniería, que permitan disminuir el nivel de ruido es bastante complejo y costoso, por lo que en la mayoría de los casos las empresas enfocan sus estrategias de control en el uso de elementos de protección personal auditiva, sin embargo, no siempre se logra alcanzar la eficacia esperada.

Para que un protector auditivo pueda ofrecer los niveles esperados de protección, se deben asegurar aspectos relacionados con su selección y uso adecuado, haciendo énfasis en su aplicabilidad de acuerdo al nivel de ruido del área de trabajo y su capacidad de brindar un nivel de atenuación que permita proteger al trabajador sin afectar las condiciones de seguridad durante la labor y su nivel de confortabilidad.

Estos aspectos han sido abordados por numerosos estudios de investigación en los últimos 20 años (5-14), evi-

denciándose mayor énfasis en aquellos que buscan definir criterios de selección acertados en cuanto a la aplicabilidad del protector según los niveles de ruido existentes en el área. En este sentido, la conclusión más importante que se deriva de estos estudios es la necesidad de realizar pruebas de ajuste a la hora de seleccionar protección auditiva, pues los criterios teóricos suministrados por los fabricantes como es el caso del NRR, resultan ofrecer niveles menores de protección en condiciones no controladas de uso, como se evidencia en el estudio realizado por Arango y Cárdenas en 2014 (5). Igualmente, algunos estudios indican que otros factores como la capacitación a los trabajadores respecto a la adecuada instalación y uso del protector, inciden de manera significativa en los niveles de atenuación alcanzados con el protector (6). No obstante, se evidencian limitantes en cuanto a la validación de los niveles de atenuación de protectores auditivos en condiciones reales de operación y uso.

Este estudio tiene como objetivo verificar los niveles de atenuación de dos tipos de protectores auditivos tipo copa, en trabajadores del sector de hidrocarburos en Colombia, realizar una comparación entre los niveles de atenuación obtenidos experimentalmente, los niveles de atenuación establecidos por el fabricante y los ajustados de acuerdo a la metodología NIOSH. Finalmente, con base en el análisis comparativo proporcionar recomendaciones de acuerdo a la variabilidad encontrada en los resultados.

## MÉTODOS

La información considerada en el estudio fue obtenida a partir de un diseño experimental de medidas repetidas, en el cual se realizaron mediciones de niveles de presión sonora al interior y al exterior de las copas de dos elementos de protección auditiva, mientras estos eran utilizados por trabajadores, bajo circunstancias de exposición y condiciones de trabajo habitual para un cargo de operador de planta.

Las mediciones fueron realizadas en una población de trabajadores en seis plantas industriales de una compañía de hidrocarburos en Colombia. El criterio de inclusión de estas plantas fue el resultado de estudios de niveles de presión sonora (sonometrías) realizados en los últimos cinco años y con resultados superiores a los 85 dB.

Se tomaron un total de 34 muestras individuales, 17 para el protector A y 17 para el protector B, estas muestras fueron obtenidas a partir de mediciones realizadas a 17 operadores de planta, durante el uso de cada uno de los protectores auditivos a evaluar, en un turno normal de trabajo. Cada medición fue realizada por un tiempo estimado de 30 minutos, dando cumplimiento tanto al número mínimo de muestras, como al tiempo mínimo de medición establecido en el referente estándar (15).

Durante la medición los trabajadores ejecutaron sus labores habituales usando los protectores auditivos, al mismo tiempo que eran monitoreados con un dosímetro de doble canal al interior y exterior del protector auditivo (técnica MIRE) (16-17).

Los protectores evaluados en este estudio incluyeron dispositivos de protección personal auditiva tipo copa adaptados a casco, para objeto de este estudio y por políticas de confidencialidad del fabricante estos protectores se denominan protector A y protector B. Los dispositivos seleccionados ofrecen unas ratas de reducción sonora (NRR, por sus siglas en inglés) o niveles de atenuación de 24 dBA y 27 dBA respectivamente.

Las variables del estudio incluyeron:

- **Nivel de Atenuación Teórica:** Correspondiente a los datos de atenuación en dBA suministrados por el fabricante en la ficha técnica de los protectores auditivos.
- **Nivel de Atenuación Experimental:** Correspondiente a los datos de atenuación en dBA obtenidos en las mediciones realizadas con el dosímetro doble canal, estos valores son obtenidos al restar el nivel de ruido registrado en el micrófono externo del valor registrado en el micrófono interno.
- **Nivel de Atenuación Ajustada:** Corresponde a los datos de atenuación en dBA obtenidos al realizar el ajuste de corrección de NRR propuesto por NIOSH a los datos de atenuación propuestos en la ficha técnica del producto (18).

Basados en el numeral 11 de la norma ISO 9612:2009, la estrategia de medición se sometió a la alternativa 2-Estrategia Basada en el puesto de Trabajo (16). En este caso la medición cubrió estadísticamente las contribuciones al ruido y los periodos tranquilos relacionados con la actividad durante una jornada nominal de trabajo.

Los sesgos potenciales de este estudio se controlaron a través de la selección de los higienistas que realizaron las mediciones a los trabajadores, los cuales contaban como mínimo, con dos años de experiencia realizando mediciones higiénicas en condiciones reales de operación. Adicionalmente, recibieron capacitación sobre del uso del equipo de medición (dosímetro doble canal) con el fin de brindar un conocimiento suficiente

para asegurar una adecuada manipulación del equipo y de esta forma, controlar aspectos relacionados con su uso e instalación. Por último, se establecieron protocolos para la realización de las mediciones, los cuales fueron elaborados y revisados por expertos técnicos del área de higiene industrial.

Se realizaron un total de 34 dosimetrías de doble canal, evaluando a 17 trabajadores, cada uno utilizando los dos protectores seleccionados para el estudio.

El cálculo de los niveles de atenuación experimental, como diferencias de los niveles de ruido registrados entre el micrófono externo (nivel de ruido sin protección) y el micrófono interno (nivel de ruido con protección), fueron ajustados a condiciones de campo libre en el caso del registro de inmisión sonora (nivel de ruido interno), para poder realizar una comparación directa de los niveles equivalentes en escala de ponderación A.

Con el fin de contrastar los niveles teóricos y experimentales con los niveles de atenuación ajustados según la metodología NIOSH, se calcularon los datos de atenuación teórica, aplicando a los niveles de atenuación dados por el fabricante (NRR: 24 dBA para el protector A y NRR: 27 dBA para el protector B) los ajustes de corrección correspondientes para protectores auditivos tipo copa sugeridos por NIOSH.

El cálculo realizado obedeció a la siguiente fórmula:

$$NRR_{ajustado} = ((NRR-7) * 0.75) \quad (1)$$

Los valores de atenuación teórica fueron tomados de las fichas técnicas de cada uno de los protectores auditivos tal como fueron presentados por el fabricante.

Se realizaron pruebas de bondad de ajuste Shapiro-Wilk para el conjunto de datos de atenuación experimental de cada uno de los protectores en análisis, con el fin de obtener resultados estadísticamente representativos, en los cuales se logre controlar la variabilidad de atenuación de los elementos en la prueba experimental.

## RESULTADOS

Los valores obtenidos experimentalmente, los valores de atenuación teórica y los ajustados con el método NIOSH, para cada uno de los dos tipos de protectores evaluados (Tabla 1).

**Tabla 1.** Niveles de atenuación obtenidos para protectores auditivos (dBA)

Protector	Atenuación teórica (dBA)	Atenuación experimental (dBA)	Atenuación NIOSH (dBA)
Tipo A	24	16	11
Tipo B	27	20	13,3

Los resultados establecieron que el comportamiento de los datos se ajustaba a una distribución Log Normal. Por consiguiente, los estimadores estadísticos aplicables en el análisis comparativo corresponden a los integrados en esta distribución de probabilidad (Tabla 5).

El análisis estadístico contempló los siguientes estimadores estadísticos: Estimador insesgado de mínima varianza, desviación estándar, límite de confianza superior, límite de confianza inferior, valor mínimo y valor máximo.

Con el fin de obtener el valor promedio de la atenuación experimental de las mediciones realizadas (comparable con los otros dos valores de atenuación analizados), se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos en las 17 mediciones para cada dispositivo. Este valor fue calculado como la diferencia (delta) entre el nivel equivalente ponderado OUT (micrófono externo) y el nivel equivalente ponderado IN (micrófono interno). En la Tabla 2, se evidencian los valores promedio (MVUE), límites de confianza (LCL, UCL) y la desviación estándar geométrica (GSD) para los resultados de las mediciones de los protectores auditivos tipo A y tipo B.

**Tabla 2.** Análisis estadístico para los protectores tipo A y B

Protector	Parámetro Estadístico	IN (dBA)	OUT (dBA)	Delta de Atenuación (dBA)
Tipo A	MVUE	76,7	95,6	15,9
	LCL	77,7	74,0	15,7
	UCL	78,8	82,3	16,3
	GSD	1,8	1,9	
Tipo B	MVUE	76,0	95,7	19,7
	LCL	74,0	94,0	20,1
	UCL	78,8	97,7	19,0
	GSD	1,8	1,6	

Una vez calculados los estimadores estadísticos aplicables a los protectores, se realizó un análisis comparativo teniendo en cuenta la atenuación teórica suministrada por el fabricante, la atenuación ajustada según los criterios NIOSH, la atenuación experimental y el estimador insesgado de varianza mínima como medida de tendencia central de la atenuación experimental (Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores de atenuación de los protectores analizados

Protector	NRR Teórico (dBA)	NRR Ajustado (dBA)	NRR Experimental	
			Estimador Insesgado de Mínima Varianza	Desviación Estándar Geométrica
Tipo A	24	12,8	16	1,8
Tipo B	27	15	20	1,8

**Análisis de los datos**

Los valores de atenuación experimental obtenidos para los dos protectores analizados, fueron menores a los valores de atenuación teórica, los NRR experimentales alcanzaron hasta un 33% menos del valor declarado en las fichas técnicas.

En el análisis de cada uno de los dispositivos de protección se estableció que el protector con NRR de 27 dBA, presentó mayores valores de atenuación experimental que el de 24 dBA, lo cual indica concordancia entre los valores de atenuación experimental y teórica. Los valores de desviación estándar geométrica para la atenuación experimental resultaron ser muy similares, es decir, con una diferencia aproximada de 0,2. Adicionalmente, se encontró que los niveles de atenuación ajustados según la metodología NIOSH resultaron ser menores, aunque en poca proporción, a los valores obtenidos experimentalmente.

De forma complementaria, a fin de establecer la eficiencia nominal en el espectro de frecuencias, bajo condiciones reales de operación, para los niveles de atenuación experimental, se analizó el comportamiento de las frecuencias entre los 500-8000 Hz para cada uno de los protectores auditivos analizados. Los resultados de este análisis se exponen en la Tabla 4.

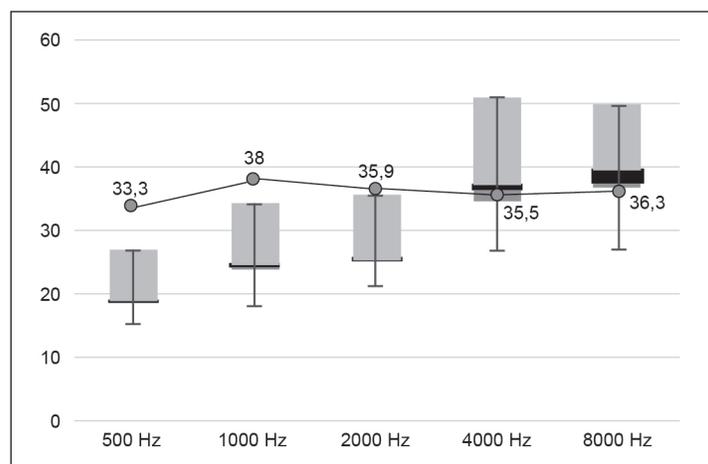
**Tabla 4.** Análisis estadístico del espectro de frecuencias

	Estimador Estadístico	500 Hz dBA	1000 Hz dBA	2000 Hz dBA	4000 Hz dBA	8000 Hz dBA
Delta de Atenuación Protector A	MVUE	18,8	24,2	25,2	36,4	37,4
	LCL	18,6	24,3	25,2	37,0	36,7
	UCL	19,0	23,8	25,2	34,7	39,6
	MIN	12,0	12,2	17,4	18,4	17,8
	MAX	26,9	34,1	35,6	51,0	49,8
Atenuación Fabricante		33,3	38	35,9	35,5	36,3
	MVUE	21,6	24,4	25,5	37,7	35,7
Delta de Atenuación Protector B	LCL	21,4	24,5	25,0	38,1	35,0
	UCL	21,8	24,3	26,1	36,6	36,2
	MIN	17,5	20,2	17,5	29,4	13,6
	MAX	27,3	35,3	36,0	51,1	48,4
	Atenuación Fabricante		31	33	34	40

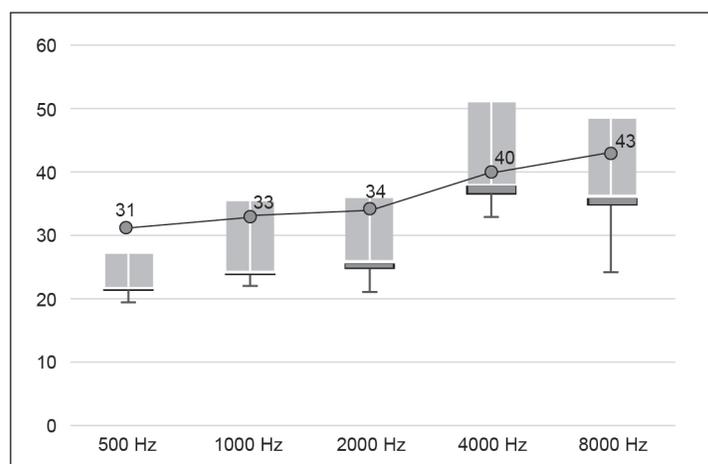
Los resultados del análisis para el protector A evidenciaron que las atenuaciones ofrecidas por el fabricante en las frecuencias conversacionales (500-2000 Hz) son menores a las registradas en el estudio experimental. Así mismo, los valores de atenuación promedio para estas frecuencias presentan niveles de dispersión bajos. Sin embargo, al observar el comportamiento de la atenuación para las altas frecuencias, se encuentran valores de atenuación iguales o superiores a los ofrecidos por el fabricante con un nivel de dispersión mayor al observado para las frecuencias conversacionales (Figura 1).

En el caso del protector B, los resultados evidenciaron un comportamiento similar a los obtenidos por el protector A, en el sentido que los valores de atenuación experimental también resultaron ser inferiores a los ofrecidos por el fabricante. Sin embargo, en este caso para ninguna de las frecuencias se logró alcanzar un valor mayor o igual al ofrecido en la ficha técnica del producto. Adicionalmen-

**Figura 1.** Diagrama comparativo de estimadores estadísticos y declaración de atenuación del fabricante por frecuencias protector A



**Figura 2.** Diagrama comparativo de estimadores estadísticos y declaración de atenuación del fabricante por frecuencias protector B



te, los rangos de dispersión fueron menores a los obtenidos con el protector A en todas las frecuencias analizadas, lo cual indica una menor variabilidad de los datos obtenidos para el protector B (Figura 2).

En cuanto al comportamiento de los niveles de atenuación en las frecuencias de bandas de octava analizadas (500-8000 Hz), para ambos protectores es importante resaltar más allá de las diferencias entre los valores de atenuación teóricos y experimentales, el hecho de que los valores presentados en las fichas técnicas sean muy similares entre sí, lo cual al realizar la comparación con los datos experimentales muestra una sobrestimación de la atenuación teórica en las frecuencias conversacionales y una subestimación en las altas frecuencias; Si bien esta condición se puede asociar a la necesidad de mantener el nivel de inteligibilidad del instrumento, se considera necesario exponer estas diferencias.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran una diferencia entre los valores de atenuación ofrecidos por los fabricantes (NRR Teóricos) y los obtenidos experimentalmente (NRR Experimentales) permitiendo establecer que las estimaciones de los niveles de atenuación para protectores auditivos en ensayos de laboratorio, no controlan estadísticamente la integridad de variables que en operación o en condiciones normales de uso aseguren un dato confiable para la selección de un protector auditivo bajo el criterio del NRR teórico.

Sobre el análisis comparativo entre los NRR ajustados según criterios NIOSH y los NRR Experimentales, es posible concluir que resulta una metodología confiable en el momento de calcular la eficiencia nominal del elemento de protección, ya que permite en buena me-

**Tabla 5.** Prueba de Bondad de Ajuste SHAPIRO-WILK W Test para los dos tipos de protectores.

Summary of Results-Protector Tipo A	Summary of Results-Protector Tipo B
Goodness of Fit Results:	Goodness of Fit Results:
<p>W Test Results (Shapiro-Wilk W Test):</p> <p>One-Tail Percentage Point of W Test = 0.8920</p> <p>The NORMAL distribution is REJECTED since <math>0.7237 &lt; 0.892</math></p> <p>The LOGNORMAL distribution is NOT REJECTED since <math>0.9565 &gt; 0.892</math></p> <p>This comparison indicates LOGNORMAL may be a better fit distribution (<math>0.9565 &gt; 0.7237</math>)</p>	<p>W Test Results (Shapiro-Wilk W Test):</p> <p>One-Tail Percentage Point of W Test = 0.8920</p> <p>The NORMAL distribution is REJECTED since <math>0.7151 &lt; 0.892</math></p> <p>The LOGNORMAL distribution is NOT REJECTED since <math>0.9171 &gt; 0.892</math></p> <p>This comparison indicates LOGNORMAL may be a better fit distribution (<math>0.9171 &gt; 0.7151</math>)</p>
Skewness Comparison:	Skewness Comparison:
<p>Normal Skewness = 2.0013</p> <p>Lognormal Skewness = 0.2773</p> <p>This comparison indicates that LOGNORMAL may be a better fit distribution.</p>	<p>Normal Skewness = 2.3633</p> <p>Lognormal Skewness = 0.3825</p> <p>This comparison indicates that LOGNORMAL may be a better fit distribution.</p>

didada, cubrir las diferencias generadas entre los niveles de atenuación obtenidos en pruebas de laboratorio y los alcanzados en condiciones reales de uso. Si bien, estos cálculos siempre serán una aproximación del comportamiento real de los dispositivos, los resultados evidenciaron que permiten acercarse mucho más al comportamiento del protector en condiciones reales de operación. Así mismo, estos resultados permiten sustentar la aplicación de esta metodología de ajuste como una opción adecuada y efectiva a la hora de asegurar niveles de protección auditiva nominales en condiciones reales de uso, en los casos en los que no se cuente con disponibilidad para realizar una prueba de ajuste.

En cuanto al comportamiento de los niveles de atenuación para las frecuencias analizadas (500-8000 Hz), es importante considerar la variabilidad en el comportamiento de los protectores en cada una de estas, sobre todo si se considera que el comportamiento del ruido y su nivel de afectación, está claramente determinado por el comportamiento de su espectro de frecuencias, haciendo de esta una variable de particular interés, no solo a la hora de seleccionar protección personal auditiva sino también al momento de definir niveles de afectación y métodos de control de ruido.

Claramente, el considerar únicamente el valor de NRR para criterio de selección de un dispositivo de protección auditiva, lleva a omitir información determinante para conocer el nivel de protección efectiva, por lo cual, no se considera recomendable aplicar el valor de nivel de reducción de ruido suministrado por el fabricante directamente a los niveles de presión sonora a los cuales se espera que esté expuesto el trabajador. Por consiguiente, es deseable siempre que sea posible, realizar pruebas de ajuste cuantitativas y en caso que no se puedan realizar dichas pruebas, aplicar los criterios NIOSH de ajuste según la naturaleza del elemento de protección personal auditiva.

En ambos dispositivos los mejores comportamientos de niveles de atenuación se obtuvieron para la frecuencia de los 4000 Hz, frecuencia en la cual los valores experimentales estuvieron más cercanos a los teóricos en ambos casos, con niveles de dispersión medios y mostrando los menores niveles de ruido percibidos al interior del protector, esto constituye un aspecto relevante si se considera que los 4000 Hz es una de las frecuencias más sensibles de afectación por exposición a ruido.

Los valores de atenuación ofrecidos por los fabricantes difieren considerablemente de los obtenidos en condiciones reales de uso, dicha diferencia es en gran medida atribuible a que los datos de atenuación que ofrece el fabricante se fundamentan en ensayos realizados bajo condiciones controladas de laboratorio.

La amplia variabilidad existente entre los valores de atenuación teóricos y los reales alcanzados por los dispositivos de protección auditiva estudiados, llevan a conducir las estrategias de protección personal auditiva a algo más que la selección de protectores auditivos a través de fichas técnicas y parámetros de NRR. Este comportamiento plantea la clara necesidad de implementar programas integrales de protección auditiva, en los cuales se controlen variables determinantes a través de la aplicación de pruebas de ajuste para la selección efectiva de protectores auditivos.

Por último, considerando que el estado del arte actual en materia de pruebas de ajuste cuantitativas, se encuentra en una fase de estandarización, hacia métodos y técnicas para la validación de la protección en condiciones reales, resultaría deseable en futuras investigaciones la integración de variables adicionales de percepción de uso asociadas a estos dispositivos y su nivel de incidencia en la efectividad de los mismos, lo cual contribuye al desarrollo de un área menos abordada pero de igual forma importante al momento de establecer criterios adecuados de selección de un dispositivo de protección auditiva ♦

## REFERENCIAS

1. Colombia. Ministerio de la Protección Social de Colombia. Informe de enfermedad profesional en Colombia, 2003-2005. Bogotá: Ministerio de la Protección Social de Colombia; 2007.
2. Goelzer B, Hansen CH, Sehrndt GA. Occupational Exposure to Noise. Evaluation, Prevention and Control. Germany: World Health Organization. (Report S 64); 2001.
3. Fasesolda. La enfermedad laboral en Colombia. Bogotá: Federación de Aseguradoras Colombianas; 2013.
4. Makin AM, Winder C. A new conceptual framework to improve the application of occupational health and safety management systems. *Safety Science*. 2008; 46(6): 935-948.
5. Arango AV, Cárdenas J. Estimación real de la atenuación de dos tipos de protectores auditivos ofertados en Colombia. *Estar Bien* 2014; 07.
6. Lavanderos FC, Iribarnegaray PR. Atenuación de protectores auditivos del tipo tapón bajo la metodología F-MIRE, y su relación con trabajadores expuestos a ruido. *Asociación Chilena de Seguridad, Fundación Científica y Tecnológica (Reporte P0071)*; 2013.
7. Agurto DA, Gerges SNY, Arenas JP. Atenuación de ruido de protectores auditivos tipo orejera según la técnica MIRE. *Primeras Jornadas Regionales de Acústica*. 2009; AdAA2009-A021R.
8. Berger EH, Voix J, Hager LD. Methods of fit testing hearing protectors, with representative field-test data. *9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)* B. Griefahn (ed.). Connecticut, USA, 2008; 71-78.
9. Celik O, Yalcin S, Ozturk A. Hearing parameters in noise exposed industrial workers. *Auris Nasus Larynx*. 1998; 25(4): 369-75.
10. Picard M, Girard S.A, Simard M, Larocque R, Leroux T, Turcotte F. Association of work-related accidents with noise exposure in the workplace and noise-induced hearing loss based on the experience of some 240,000 person-years of observation. *Accident Analysis & Prevention*. 2008; 40(5): 1644-52.
11. Arezes P.M, Bernardo C.A, Mateus O.A. Measurement strategies for occupational noise exposure assessment: A comparison study in different industrial environments. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2012; 42(1): 172-7.
12. Arezes P.M, Miguel A.S. Hearing protection use in industry: The role of risk perception. *Safety Science*. 2005; 43(4): 253-67.
13. Nélisse H, Gaudreau M.A, Boutin J, Voix J, Laville F. Measurement of hearing protection devices performance in the workplace during full-shift working operations. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2011; 56(2): 221-32.
14. Laboratorio de Producción de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Niveles de ruido, Protocolo, Laboratorio de Condiciones de Trabajo. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Industrial; 2011.
15. ISO. Acoustics-Determination of noise exposure at work. *Engineering Method (9612)* [Standard]. International Organization for Standardization; 2009.
16. ISO. 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 (11904-1) [Standard]. International Organization for Standardization; 2002.
17. SVANTEK [Internet]. "SV 102 + Dosímetro de Ruido de Dos Canales", Sound and vibration measurement solutions [citado 2018 5 de febrero]. Disponible en <http://bit.ly/36YigAy>.
18. Canada. Health and Safety Guidelines. Requirements in the Regulations for Industrial Establishments & Oil and Gas-Offshore. Ontario: Ministerio de Trabajo; 2007.