

Determinación de la atenuación real de la protección auditiva tipo copa en uso simultáneo con dispositivos de protección personal respiratoria, visual, rostro y cabeza realizados en trabajadores de una planta de producción de cemento en Colombia en 2016.

Marvin Clay Alvarez Morales¹ Ana María Arrieta Andrade², Luis Guillermo Araque Muñoz³

¹ Estudiante de Maestría en Salud Ocupacional y Ambiental, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.

² Estudiante de Maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.

³ Profesor Catedra Maestría en Salud Ocupacional y Ambiental, Departamento de Salud Pública, Universidad del Rosario Colombia, Master en prevención de Riesgos Labores. Especialista en Higiene Ocupacional. Correo electrónico: guillermo.araque@crphs.com.co.

RESUMEN

Introducción: El desempeño de los dispositivos de protección auditiva puede verse afectado por factores como las características antropométricas del trabajador, así mismo el uso simultáneo con otros elementos de protección personal que interfieren con el ajuste apropiado puede restarle efectividad a la atenuación que ofrecen estos dispositivos. **Objetivo:** Determinar los valores reales de atenuación de dispositivos de protección auditiva tipo copa cuando son usados simultáneamente con elementos de protección personal respiratoria, visual, rostro y cabeza, estableciendo si existen diferencias entre los niveles teóricos, ajustados y reales. **Materiales y métodos:** Se llevó a cabo un estudio de corte transversal en el cual se realizaron 52 pruebas de ajuste cuantitativas por inmisión sonora en oído real (F-MIRE por sus siglas en inglés) basados en los requisitos establecidos por la norma internacional ISO 11904-1:2002 realizadas con un micrófono tipo sonda en distintos sujetos que representaron condiciones de uso operacionales en uso simultaneo de dispositivos de protección personal auditiva tipo copa adaptables a casco con otros tipos de elementos de protección individual, los ensayos se practicaron considerando las combinaciones reales de uso habitual de los trabajadores de distintos elementos de protección personal, asociado a las circunstancias de exposición y condiciones de riesgo potencial. Las mediciones de las atenuaciones obtenidas experimentalmente fueron comparadas con los Tasas de Reducción al Ruido teóricas suministradas por el fabricante y las ajustadas siguiendo las recomendaciones de NIOSH. **Resultados:** Las mediciones de las atenuaciones reales permitieron establecer disminuciones en la atenuación teórica de los protectores auditivos tipo copa, el protector tipo copa 1 en uso con otros elementos de protección personal que afectaron el ajuste, disminuyó la atenuación entre 3dB y 6dB; para el protector tipo copa 2 se obtuvieron diferencias cercanas a 4dB respecto a los valores teóricos y el protector tipo copa 3 entre 2dB y 5dB con relación a las tasas de reducción al ruido declaradas por el fabricante. **Discusión:** Existen diferencias significativas entre las tasas de reducción al ruido declaradas por el fabricante y las obtenidas experimentalmente cuando los dispositivos tipo copa son usados en conjunto con elementos de protección visual, respiratoria y para rostro disminuyendo la efectividad de atenuación del protector auditivo declarada por el fabricante, siendo necesario conducir pruebas de ajuste cuantitativas o considerar los ajustes NIOSH para estos dispositivos.

PALABRAS CLAVE

Ruido, riesgo, exposición, atenuación, protectores auditivos.

INTRODUCCIÓN

El ruido es considerado un contaminante tanto ambiental como ocupacional y cuyos efectos sobre la salud humana son irreversibles, entre ellos está la hipoacusia, enfermedad laboral que se encuentra clasificada como una de las de mayor incidencia a nivel nacional y mundial. En Colombia para el período 2009 -2012, las patologías auditivas se encontraron dentro del grupo de enfermedades laborales con mayor reporte a las Administradoras de Riesgos Laborales por parte de las Entidades Prestadoras de Salud⁽¹⁻³⁾.

La industria cementera está catalogada como una de las que genera niveles de ruido más elevados en sus procesos productivos, se calcula que cerca del 55% de los trabajadores se encuentran en condiciones de riesgo potencial alto a este agente. Así mismo es conocido que la percepción del riesgo juega un papel importante en el comportamiento de los trabajadores frente a las medidas de protección para la mitigación de la exposición potencial al ruido, es decir existe una relación entre el conocimiento sobre el manejo de los riesgos, el comportamiento de los trabajadores y los medios disponibles para control de la exposición a fin de reducir la probabilidad de pérdida auditiva^(4, 5).

Una de las estrategias de control al ruido corresponde al uso de dispositivos de protección auditiva, debido a que estos son considerados una opción importante cuando las medidas de ingeniería y los controles administrativos no son suficientes para controlar la exposición, sin embargo, la forma de usarlos y de entrenar a los trabajadores en su empleo, los criterios para la selección de los mismos de acuerdo a su compatibilidad, las características anatómicas, las preferencias del trabajador y los niveles de exposición, son consideraciones que se pasan por alto en muchas ocasiones⁽⁶⁻⁸⁾.

El desempeño de un protector auditivo no solo comprende las características del mismo y su relación con el sello que debe ofrecer a nivel auditivo, sino que incluye las características anatómicas y fisiológicas del trabajador y la compatibilidad con otros elementos de protección personal, se ha demostrado que la protección visual tiene un efecto negativo entre 3 y 7 dB en el desempeño de protectores auditivos tipo copa^(9, 10).

Usualmente se asume que los protectores con la mayor tasa de atenuación son los más apropiados y generalmente este es el criterio usado en muchas empresas para la selección de elementos de protección personal auditiva⁽¹¹⁾. Los NRRs (Noise Reduction Rating por sus siglas en inglés) y SNRs (Single Number Rating por sus siglas en inglés) se basan en pruebas estándar de reducción a ruido obtenidas en laboratorio acorde con los estándares del Instituto Americano de Estándares (ANSI por sus siglas en inglés) o de la Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés) y han sido cuestionados no solo por ser generosos en la predicción de la atenuación del protector auditivo sino por la variedad de métodos para el ajuste individual^(12, 13). La atenuación ofrecida por los diferentes protectores auditivos es normalmente obtenida mediante mediciones bajo el método Atenuación de Oído Real en Umbral (REAT por sus siglas en inglés), sin embargo, numerosos estudios han demostrado que el uso de mediciones de laboratorio para predecir la atenuación en condiciones reales de operación para trabajadores son inexactas y su incertidumbre no está limitada a las desviaciones estándar aplicables a los ensayos, los resultados confirman los sesgos de los valores ofrecidos por los fabricantes que muestran que la variación puede estar entre 3 y 5 dB para frecuencias altas y entre 8 y 10 dB para frecuencias bajas y medias^(14, 15). En este sentido el Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional y Salud (NIOSH) propone una reducción del 25%, 50% y 75% para orejeras, tapones moldeables y otros tipos de tapones respectivamente, mientras que la Administración de Seguridad Ocupacional y Salud (OSHA) sugiere una reducción del 50% para cualquier tipo de protector auditivo respecto al NRR declarado por el fabricante⁽¹⁶⁾.

Como las condiciones de laboratorio difieren considerablemente de las condiciones reales de trabajo, puede conducir a diferencias en la atenuación proporcionada por el protector auditivo y restar a la efectividad de la medida de protección para los trabajadores, por esta razón, distintas organizaciones entre las que se encuentran la Asociación Nacional de Conservación de la Audición (NCA por sus siglas en inglés) han sugerido la necesidad de pruebas de campo en condiciones reales conjuntamente con pruebas de medición individual, que permitan estimar la atenuación real de los protectores auditivos utilizados^(12, 17).

El método objetivo Micrófono en Oído Real (F-MIRE) es uno de los más usados a la hora de determinar las atenuaciones de un protector auditivo de manera individual, aspecto que permite establecer el desempeño en la atenuación del protector auditivo, en combinación con otros elementos que pueden afectar su eficiencia⁽¹⁵⁾.

Adicionalmente, las mediciones individuales proporcionan al trabajador la información necesaria para la selección del elemento de protección auditiva basada en su tasa de atenuación personal (PAR por sus siglas en inglés). Los resultados muestran una relación directa entre un protector apto y atenuación efectiva, sin embargo, varios estudios han demostrado que la atenuación del protector puede depender de su uso y que la atenuación nominal puede ser altamente optimista cuando los protectores auditivos no son utilizados continuamente^(13, 18).

La mayoría de los estudios realizados en Latinoamérica se han desarrollado en laboratorios, permitiendo controlar las condiciones, Agurto desarrolló una metodología objetiva para medir la atenuación de ruido de protectores auditivos del tipo orejera, utilizando el método "Micrófono en el Oído Real" (MIRE), midiendo el parámetro "Pérdida de Inserción" (IL) y comparando resultados con el método de Atenuación en el Umbral de Audición del Oído Real" (REAT), concluyendo que el método objetivo presenta grandes ventajas sobre el método subjetivo⁽¹⁹⁾. En otro estudio, Lavanderos y colaboradores concluyeron que el 29,2% de los trabajadores estaban expuestos a 85 o más dBA por inadecuada instalación del protector auditivo tipo tapón, que la atenuación real está por debajo de los valores teóricos ofrecidos por el fabricante y que no todos los protectores auditivos tipo tapón sirven de igual manera para todas las personas⁽²⁰⁾.

En Colombia existen estudios donde se ha estimado la atenuación real de diferentes tipos de protectores auditivos, Arango encontró que el NRR real es significativamente menor al ofrecido⁽²¹⁾ y Upegui y colaboradores demostraron que existen diferencias significativas entre NRR teóricos y NRR experimentales, permitiendo establecer que las estimaciones de los niveles de atenuación en ensayos de laboratorio no controlan la integridad de variables en operación⁽²²⁾.

Los estudios mencionados han demostrado que la atenuación real evaluada a través de las diferentes pruebas de ajuste es menor a la ofrecida por los fabricantes en las fichas técnicas de los protectores auditivos. Aunque la mayoría de las mediciones en estos estudios se realizaron bajo condiciones en donde no se presentó la influencia de otros tipos de protección personal que pueden afectar el sello, los resultados son de gran relevancia ya que brindan información veraz que permitirá seleccionar adecuadamente los protectores auditivos. Lo anterior sugiere la necesidad de contar con métodos alternativos de estimación de la eficiencia real de protectores auditivos basados en las características antropométricas de individuos y las condiciones de trabajo y circunstancias de exposición, incluso cuando la interposición o uso de otros elementos de protección individual pueden sugerir diferencias en la atenuación efectiva.

En este estudio se determinaron los valores reales de atenuación de dispositivos de protección personal auditiva tipo copa mediante el método F-MIRE, suministrados a trabajadores en una empresa productora de cemento en Colombia cuando son usados simultáneamente con dispositivos de protección personal respiratoria, visual, rostro y cabeza, determinando si existen diferencias entre los niveles teóricos, ajustados y los obtenidos experimentalmente, con el fin de obtener la mejor combinación entre los elementos de protección auditiva y los demás elementos de protección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 52 pruebas de ajuste cuantitativo (ensayos) a trabajadores que usaban conjuntamente elementos de protección personal auditiva tipo copa (PC) con dispositivos de protección personal respiratoria (PR), visual (GF), rostro (MI) y cabeza (C). El proceso de modelamiento incluyó la realización de pruebas de inmisión al ruido en oído real (técnica MIRE) mediante un micrófono tipo sonda, atendiendo a las recomendaciones de la norma internacional ISO 11904-1:2002, tomando como punto de partida la evaluación de 3 dispositivos tipo copa usados simultáneamente con diversas combinaciones de elementos de protección personal respiratoria, visual, rostro y cabeza que pudiesen afectar el sello del elemento en uso con otros dispositivos (Tabla 1).

Tabla 1. Dispositivos para Modelamiento Pruebas de Ajuste Cuantitativas – Fit Test Protección Auditiva

Tipo de elemento	Referencia
Protector auditivo tipo copa (PC)	PC1 (NRR 23 dB)
	PC2 (NRR 25 dB)
	PC3 (NRR 31 dB)
Protección de cabeza (C)	C1
Protección facial (MI)	MI1
	MI2
	MI3
Protección Visual (GF)	GF1
	GF2
	GF3
Protección respiratoria (PR)	PR1
	PR2
	PR3
	PR4
	PR5
	PR6

El micrófono de sonda se ubicó dentro del protector auditivo utilizado por el trabajador bajo distintas combinaciones de elementos, a fin de determinar la presión sonora en una posición del canal auditivo denominado “posición de medida”, con el uso de los elementos de protección personal anteriormente mencionados de manera combinada. El sujeto con los dispositivos instalados fue sometido a niveles variables de intensidad a ruido entre 90.4 dBA a 95 dBA, expuesto a una fuente sonora estándar, evaluando el nivel de inmisión sonora en campo difuso corregido a campo libre para la determinación del nivel de presión sonora continuo equivalente del canal auditivo medido en bandas de frecuencia de un tercio de octava, y en banda ancha para oído derecho y oído izquierdo, al interior y exterior del dispositivo de protección. Las mediciones se realizaron en el oído derecho o izquierdo considerando que el sistema ofrece una señal estereofónica dual.

La respuesta de presión fue comprobada mediante comparación con un micrófono de presión calibrado de acuerdo con la Norma CEI 61094-1. En el área de la concha, el micrófono (incluyendo elementos de sujeción y conductores eléctricos) ocupó un área que no superó los 10 mm² en cualquier plano.

Para la determinación de las respuestas en frecuencia individuales en campo libre y en campo difuso, se utilizó un micrófono de referencia para determinar el nivel de presión sonora en el campo sonoro de referencia estando el sujeto ausente. El micrófono y el equipo asociado utilizado cumple los requisitos de la Norma CEI 61672-1 para un instrumento de clase 1, el cual cuenta con una respuesta en frecuencia conocida en campo libre o en campo difuso. La calibración de los micrófonos y del equipo de medida se comprobó utilizando un calibrador acústico que cumple con los requisitos para la clase 1 de la Norma CEI 60942. Las señales fueron analizadas con filtros de banda de un tercio de octava al tenor de los requisitos para la clase 1 de la Norma CEI 61260.

Inicialmente se seleccionaron grupos de trabajadores que representaron condiciones de uso combinadas de los protectores auditivos tipo copa con los dispositivos de protección visual, en adelante se agruparon las combinaciones con otros elementos de protección y se clasificaron en grupos para cada una de las combinaciones grupales e individuales (tabla 2).

Tabla 2. Grupos de dispositivos para Modelamiento Pruebas de Ajuste Cuantitativas – Fit Test Protección Auditiva

ENSAYOS	COMBINACIONES INDIVIDUALES
A (Protección tipo copa/protección visual/protección de cabeza/protección respiratoria/protección facial)	PC1-GF2-C1-PR5-MI1
	PC1-GF2-C1-PR5-MI2
B (Protección tipo copa/protección visual/protección de cabeza/protección respiratoria)	PC1-GF1-C1-MI1
	PC1-GF1-C1-MI2
	PC1-GF1-C1-MI3
	PC1-GF2-C1-MI3
	PC1-GF3-C1-MI1
	PC1-GF3-C1-MI3
C (Protección tipo copa/protección visual/ protección respiratoria/protección facial)	PC1-GF1-PR5-MI1
	PC1-GF1-PR5-MI3
	PC1-GF2-PR5-MI1
	PC1-GF2-PR5-MI3
	PC1-GF3-PR5-MI1
	PC1-GF3-PR5-MI3
	PC3-GF2-MI1-PR5
	PC3-GF1-MI1-PR5 PC3-GF1-MI1-PR6
D (Protección tipo copa/protección visual/protección facial)	PC1-GF1-MI1
	PC1-GF1-MI2
	PC1-GF2-MI1
	PC1-GF2-MI2
	PC1-GF2-MI3
	PC1-GF3-MI1
	PC1-GF3-MI3
	PC2-GF1-MI2
	PC3-GF2-MI2
	PC3-GF1-MI1
	PC3-GF3-MI2
E (Protección tipo copa/protección visual/protección respiratoria)	PC1-GF1-PR1
	PC1-GF1-PR2
	PC1-GF1-PR4

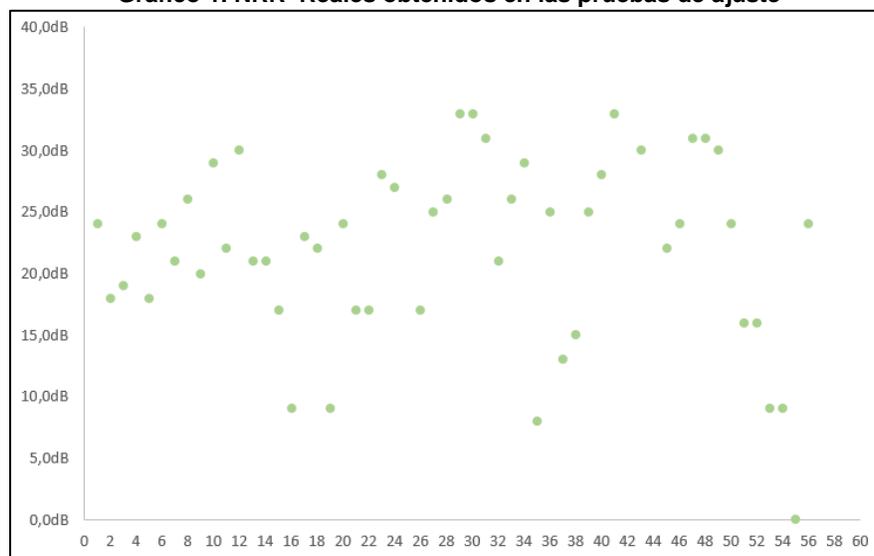
	PC1-GF2-PR1
	PC1-GF2-PR2
	PC1GF2-PR4
	PC1-GF3-PR1
	PC1-GF3-PR2
	PC1-GF3-PR4
	PC3-GF2-PR4
	PC3-GF2-PR5
	PC3-GF1-PR3
	PC3-GF1-PR4
	PC3-GF1-PR5
	PC3-GF3-PR4
F (Protección tipo copa/protección visual)	PC1-GF1
	PC1-GF2
	PC1-GF3
	PC2-GF1
	PC2-GF2
	PC2-GF3
	PC3-GF1
	PC3-GF2
PC3-GF3	

Los resultados obtenidos fueron comparados con los NRR Teóricos (ofrecido por el fabricante) y los NRR Ajustados mediante criterio NIOSH ($NRR A = ((NRR T - 7) * 0,75)$) para determinar las diferencias entre los ensayos, los valores teóricos y los ajustados por el referente.

RESULTADOS

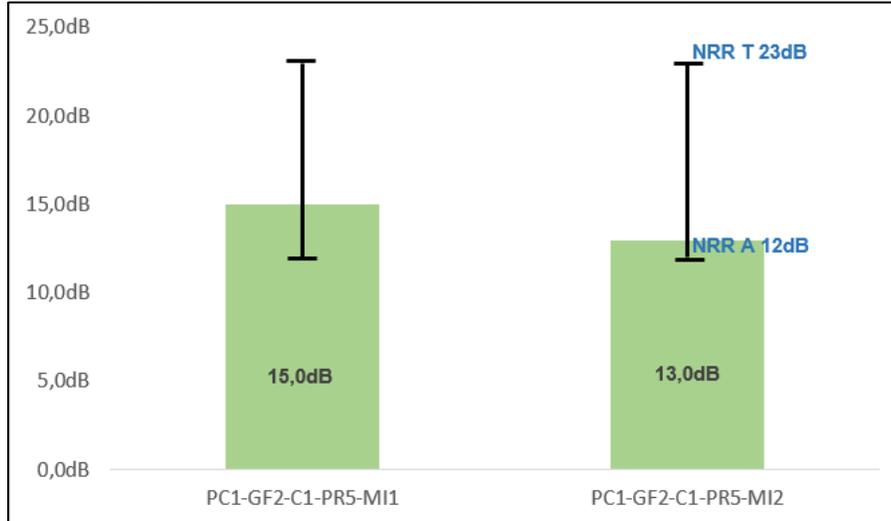
Las 52 pruebas de ajuste realizadas en uso simultaneo de protección auditiva con otros tipos de protección personal respiratoria, visual, rostro y cabeza permitieron establecer atenuaciones reales entre 0 y 33 dB, la media de atenuación fue de 21,9 dB con una desviación estándar de 7,4 dB. Del total, 18 superaron el NRR declarado por el fabricante, 21 se encontraron por encima del valor ajustado por NIOSH y 13 no superaron el valor corregido, (gráfico 1).

Gráfico 1. NRR Reales obtenidos en las pruebas de ajuste



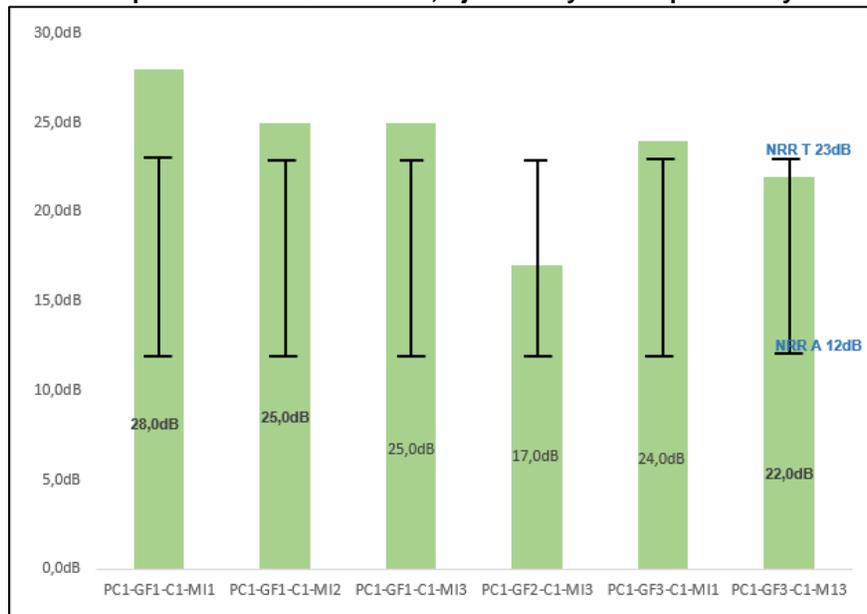
GRUPO DE ENSAYOS A (Protección tipo copa/protección visual/protección de cabeza/protección respiratoria/protección facial): Fueron realizadas 2 pruebas de ajuste con la condición de trabajo asociada al grupo de ensayos A en donde fue usado un modelo de protección auditiva con un NRR teórico de 23 dB y ajustado de 12 dB, un modelo de casco y gafas de seguridad y 2 modelos de protección facial, los valores obtenidos en comparación con las tasas de reducción al ruido teóricas muestran una disminución entre 8 y 10 dB, observando que la interposición con la protección respiratoria impide un sello en piel apropiado, sumado a la prestación ofrecida por el arnés de la copa adaptable a casco que no en todos los ensayos presentó el mismo nivel de ajuste (gráfico 2).

Gráfico 2. Comparación de NRR Teóricos, Ajustados y Reales para ensayos Grupo A



GRUPO DE ENSAYOS B (Protección tipo copa/protección visual/protección de cabeza/protección respiratoria): Fueron realizadas 6 pruebas de ajuste con la condición de trabajo asociada al grupo de ensayos B en donde fue usado un modelo de protección auditiva con un NRR teórico de 23 dB y ajustado de 12 dB, un modelo de casco, 3 modelos de gafas de seguridad y 3 modelos de protección facial, los valores obtenidos en comparación con las tasas de reducción al ruido teóricas muestran una disminución de 6 dB, observando que la interposición con el elemento de protección visual 2 afectó la efectividad del protector auditivo independiente de la protección respiratoria utilizada, (gráfico 3).

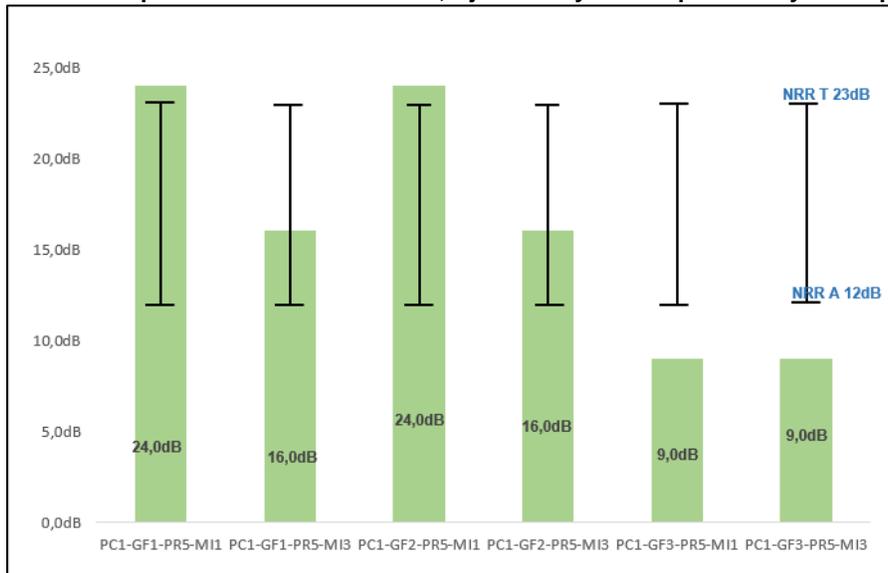
Gráfico 3. Comparación de NRR Teóricos, Ajustados y Reales para ensayos Grupo B



GRUPO DE ENSAYOS C (Protección tipo copa/protección visual/ protección respiratoria/protección facial): Fueron realizadas 9 pruebas de ajuste con la condición de trabajo asociada al grupo de ensayos C en donde fueron usados 2 modelos de protección auditiva, PC1 y PC3 con NRR teóricos de 23 dB y 31 dB y ajustados de 12 dB y 18 dB respectivamente, 3 modelos de gafas de seguridad, 2 modelos de protección respiratoria y 2 modelos de protección facial,

los valores obtenidos en comparación con las tasas de reducción al ruido teóricas muestran una disminución entre 7 y 14 dB para el protector tipo copa 1, observando que la combinación con el elemento de protección visual 3 disminuye significativamente la efectividad del protector auditivo con atenuaciones por debajo del nivel de atenuación ajustado, independiente del protector facial y respiratorio utilizado. Para el protector tipo copa 3 no se encontraron diferencias significativas, (gráfico 4).

Gráfico 4. Comparación de NRR Teóricos, Ajustados y Reales para ensayos Grupo C



GRUPO DE ENSAYOS D (Protección tipo copa/protección visual/protección facial): Fueron realizadas 11 pruebas de ajuste con la condición de trabajo asociada al grupo de ensayos D en donde fueron usados 3 modelos de protección auditiva, PC1, PC2 y PC3 con NRR teóricos de 23 dB, 25 dB y 31 dB y ajustados de 12 dB, 13,5 dB y 18 dB respectivamente, 3 modelos de gafas de seguridad y 3 modelos de protección facial, los valores obtenidos en comparación con las tasas de reducción al ruido teóricas muestran una disminución entre 4 y 23 dB para el protector tipo copa 1 y entre 2 y 8 dB para el protector tipo copa 3, observando que las interposiciones con las protecciones visuales disminuyen la efectividad de los protectores auditivos independiente de la protección facial utilizada. Para el protector tipo copa 2 no se observaron diferencias significativas, (gráficos 5 y 6).

Gráfico 5. Comparación de NRR Teóricos, Ajustados y Reales para ensayos Grupo D con protector tipo copa 1

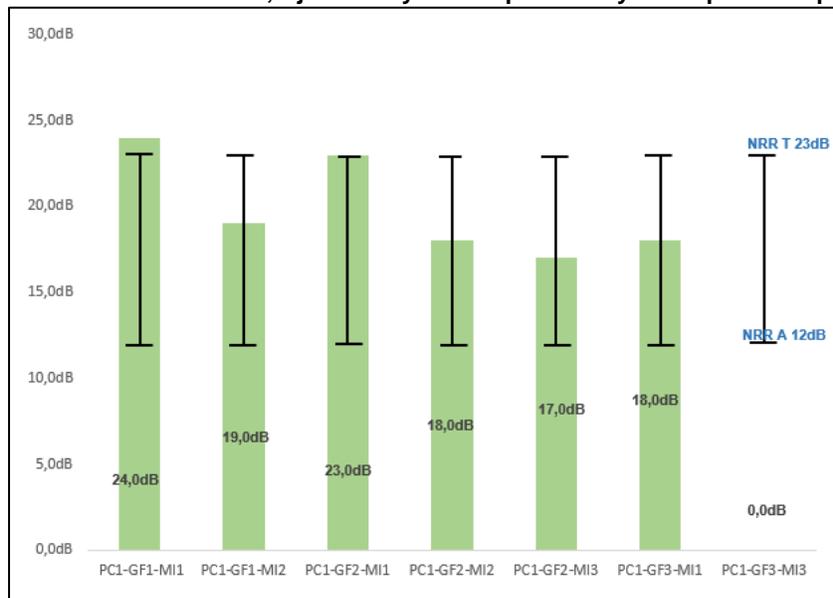
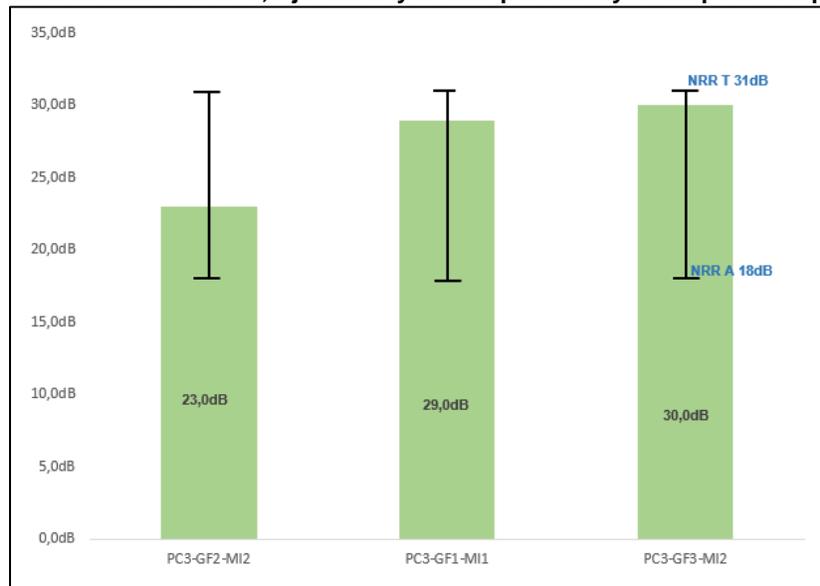
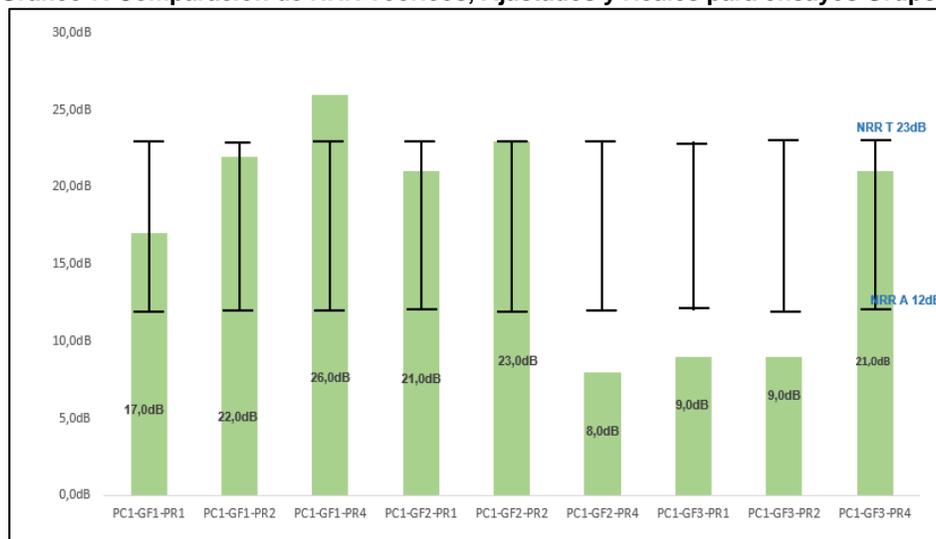


Gráfico 6. Comparación de NRR Teóricos, Ajustados y Reales para ensayos Grupo D con protector tipo copa 3



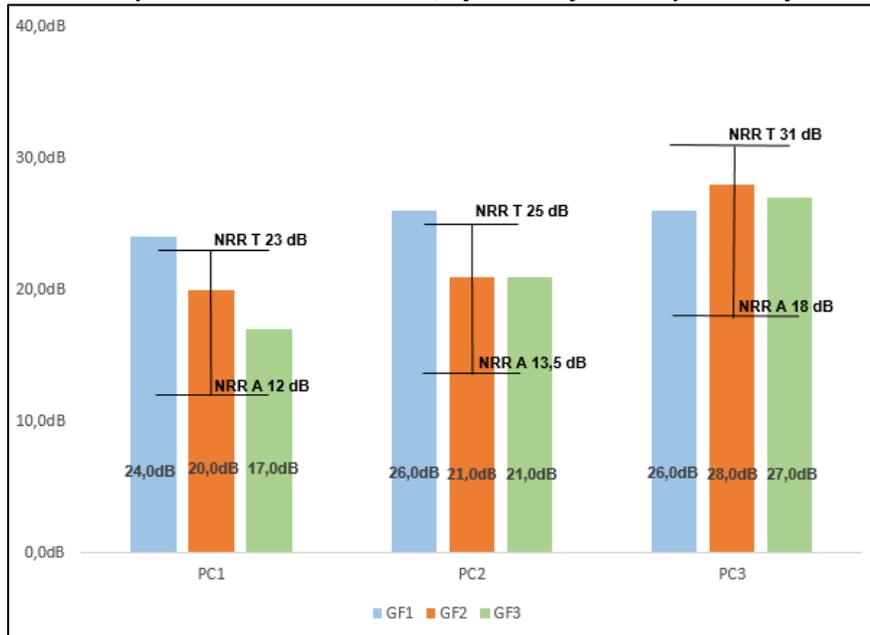
GRUPO DE ENSAYOS E (Protección tipo copa/protección visual/protección respiratoria): Fueron realizadas 15 pruebas de ajuste con la condición de trabajo asociada al grupo de ensayos E en donde fueron usados 2 modelos de protección auditiva, PC1 y PC3 con NRR teóricos de 23 dB y 31 dB y ajustados de 12 dB y 18 dB respectivamente, 3 modelos de gafas de seguridad y 3 modelos de protección facial, los valores obtenidos en comparación con las tasas de reducción al ruido teóricas muestran una disminución entre 2 y 15 dB para el protector tipo copa 1, observando que las interposiciones con la protección visual disminuye la efectividad del protector auditivo independiente de la protección respiratoria utilizada. Para el protector tipo copa 3 no se observaron diferencias significativas (gráfico 7)

Gráfico 7. Comparación de NRR Teóricos, Ajustados y Reales para ensayos Grupo E



GRUPO DE ENSAYOS F (Protección tipo copa/protección visual): Fueron realizadas 9 pruebas de ajuste con la condición de trabajo asociada al grupo de ensayos F en donde fueron usados 3 modelos de protección auditiva, PC1, PC2 y PC3 con NRR teóricos de 23 dB, 25 dB y 31 dB y ajustados de 12 dB, 13,5 dB y 18 dB respectivamente y 3 modelos de gafas de seguridad, los valores obtenidos en comparación con las tasas de reducción al ruido teóricas muestran una disminución entre 3 y 6 dB para el protector tipo copa 1, 4 dB para el protector tipo copa 2 y entre 3 y 5 dB, observando que la totalidad de los protectores brindaron atenuaciones reales superiores a los valores ajustados de acuerdo a los criterios NIOSH, exclusivamente en los casos de la combinación PC1-GF1 y PC2-GF1 los valores experimentales presentaron valores de atenuación mayores a los declarados por el fabricante, (gráfico 8).

Gráfico 8. Comparación de NRR Teóricos, Ajustados y Reales para ensayos Grupo F



DISCUSIÓN

Este estudio buscaba determinar la atenuación real de la protección auditiva tipo copa cuando es usada simultáneamente con dispositivos de protección personal respiratoria, visual, rostro y cabeza. Los resultados demuestran que existen variaciones entre las atenuaciones reales, teóricas y ajustadas para cada uno de los protectores auditivos tipo copa utilizados, en concordancia con lo señalado en algunos estudios que demuestran que la protección visual tiene un efecto negativo entre 3 y 7 dB en el desempeño de protectores auditivos tipo copa⁽¹⁰⁾ y que el desempeño de un protector auditivo está relacionado con la compatibilidad con otros elementos de protección personal⁽⁹⁾.

Para el PC1 (NRR=23dB) cuando se usó conjuntamente con la protección visual GF1, GF2 y GF3, se obtuvieron atenuaciones de 24 dB, 20 dB y 17 dB respectivamente, lo que demuestra que existen variaciones entre 3dB y 6dB entre el NRR teórico y el NRR real, dependiendo del tipo de elemento de protección visual que se utilice. Para las combinaciones individuales, tomando como referencia la combinación protector auditivo – gafas, se determinó que existen afectaciones negativas en la atenuación del protector auditivo tipo copa respecto al NRR teórico. Para la combinación PC1-GF1, las afectaciones máximas fueron 4dB cuando es usado con protección para rostro y 6db cuando es usado con protección respiratoria. Para la combinación PC1-GF2, las afectaciones máximas fueron 6 dB cuando es usado con protección para rostro y 15 dB cuando es usado con protección respiratoria. Para la combinación PC1-GF3, las afectaciones máximas fueron 23 dB cuando es usado con protección para rostro y 14 dB cuando es usado con protección respiratoria.

Para el PC2 se determinó que existe afectación negativa de 4dB en la atenuación cuando es usado con elementos de protección visual.

Para el PC3 (NRR=31) cuando se usó conjuntamente con las gafas GF1, GF2 y GF3 se obtuvieron atenuaciones de 28 dB, 26 dB y 27 dB, lo que demuestra que existen variaciones entre 3dB y 5dB entre el NRR teórico y el NRR real, dependiendo del tipo de elemento de protección personal visual que se utilice. Para las combinaciones individuales, tomando como referencia la combinación protector auditivo – gafas, se determinó que existen afectaciones negativas en la atenuación del protector auditivo tipo copa respecto a los NRR teóricos. Para la combinación PC3–GF2, las afectaciones máximas fueron 8dB cuando es usado con protección facial y 2dB cuando es usado con protección respiratoria. Para la combinación PC3-GF1 la afectación máxima fue 2dB cuando es usado con protección facial.

A partir de los resultados obtenidos se recomienda que la combinación de elementos de protección personal que otorga la protección auditiva más efectiva a los trabajadores de acuerdo al tipo de protección auditiva tipo copa utilizado es:

Tabla 3. Combinación efectiva de elementos de protección personal

Protector auditivo	Elementos de protección complementarios
PC1	GF1,MI1,C1,PR4
PC2	GF1,MI2,C1,PR4
PC3	GF2,MI1,C1,PR5

Los resultados obtenidos son orientativos de condiciones estándar y se encuentran soportados en las pruebas experimentales y pueden variar de acuerdo a circunstancias operativas reales, diferencias antropométricas de trabajadores, entrenamiento y condiciones de mantenimiento de elementos de protección personal.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos es posible concluir que existe influencia del uso de elementos de protección complementarios en la eficiencia de atenuación de los dispositivos de protección auditiva evaluados, factores como la marca, el tipo de material de las capuchas ignífugas, tipo de gafas, la presencia de medios de sujeción y accesorios de barboquejos en cascos y el tipo de protección respiratoria utilizada, influyen en el grado protectivo independientemente de las Tasas de Reducción al Ruido Teóricas o Ajustadas.

Los ensayos de las combinaciones de los protectores auditivos tipo copa con los elementos de protección visual permitieron establecer variaciones entre los niveles teóricos, ajustados y reales de atenuación para cada uno de los protectores auditivos dependiendo del tipo de elemento de protección visual utilizado. El uso simultáneo con protección visual afectó negativamente la efectividad del protector auditivo, el PC1 tuvo afectaciones negativas en la atenuación entre 3dB y 6dB, el PC2 de 4dB y el PC3 entre 3dB y 5dB. Independiente del tipo de protección visual utilizado, el 66% de los protectores auditivos presentó variaciones en las atenuaciones reales respecto a los NRR Teóricos en uso simultáneo con dispositivos de protección personal respiratoria y facial, el PC1 en promedio 11dB con protección facial y 11,7dB con protección respiratoria y el PC3 en promedio 5dB con protección facial y 2dB con protección respiratoria.

Cuando se usaron simultáneamente todos los elementos de protección la atenuación se vio afectada negativamente entre 8dB y 10dB respecto al NRR Teórico.

La variabilidad de los ensayos realizados permite concluir que las condiciones reales de trabajo en las cuales se deben utilizar simultáneamente distintos elementos de protección personal son determinantes en el proceso de selección del elemento de protección auditiva y no debe basarse solamente en la información otorgada por el fabricante, sino que se deben realizar pruebas de ajustes individuales para determinar la influencia de los elementos de protección complementaria en la efectividad del protector auditivo tipo copa utilizado

BIBLIOGRAFÍA

1. Miranda JRC. Ruido: Efectos sobre la salud y criterio de su evaluación al interior de recintos. *Revista ciencia y trabajo*. 2006;8(20):42-6.
2. Tafur F. Informe de enfermedad profesional en Colombia, 2003-2005. Bogotá: Ministerio de la Protección Social. 2007.
3. Trabajo Md. Informe ejecutivo. II Encuesta Nacional de Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Sistema General de Riesgos. Grafiq Editores Bogotá; 2013.
4. Hernández-Gaytán SI, Santos-Burgoa C, Becker-Meyer JP, Macías-Carrillo C, López-Cervantes M. Prevalencia de la pérdida auditiva y factores correlacionados en una industria cementera. *salud pública de México*. 2000;42:106-11.
5. Arezes PM, Miguel AS. Hearing protection use in industry: The role of risk perception. *Safety science*. 2005;43(4):253-67.
6. Ganime J, Almeida da Silva L, Robazzi MdC, Valenzuela Sauzo S, Faleiro S. El ruido como riesgo laboral: una revisión de la literatura. *Enfermería global*. 2010(19):0-.
7. Alam N, Sinha V, Jalvi R, Suryanarayan A, Gurnani D, Barot DA. Comparative study of attenuation measurement of hearing protection devices by real ear attenuation at threshold method. *Indian Journal of Otology*. 2013;19(3):127.
8. Berger E, Voix J, Kieper R, Le Cocq C. Development and validation of a field microphone-in-real-ear approach for measuring hearing protector attenuation. *Noise and Health*. 2011;13(51):163.
9. Griggio Rodrigues MA, Dezan AA, Marchiori LLdM. Eficácia da escolha do protetor auditivo pequeno, médio e grande em programa de conservação auditiva. *Revista CEFAC*. 2006;8(4).
10. Caporali Filho SA. Effects of Selected Eyewear on the Noise Insertion Loss of Selected Earmuffs. CPWR Small Study Final Report: Universidad de Puerto Rico; 2015.
11. Byrne DC, Davis RR, Shaw PB, Specht BM, Holland AN. Relationship between comfort and attenuation measurements for two types of earplugs. *Noise and Health*. 2011;13(51):86.
12. Samelli AG, Rocha CH, Theodósio P, Moreira RR, Neves-Lobo IF, editors. Training on hearing protector insertion improves noise attenuation. *CoDAS*; 2015: SciELO Brasil.

13. Bessette RS. NRR: Now Really Relevant-In an effort to bring the noise reduction rating for hearing protection more in line with real-world usage, the Environmental Protection Agency is expected to announce a change in rating systems very soon. Are you ready? *Occupational Hazards*. 2009;2(2):46.
14. Kusy A, Châtillon J. Real-world attenuation of custom-moulded earplugs: Results from industrial in situ F-MIRE measurements. *Applied Acoustics*. 2012;73(6-7):639-47.
15. Berger EH, Voix J, Hager LD, editors. *Methods of fit testing hearing protectors, with representative field test data*. Hearing Loss: 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN); 2008: ICBEN The Netherlands.
16. Biabani A, Aliabadi M, Golmohammadi R, Farhadian M. Individual Fit Testing of Hearing Protection Devices Based on Microphone in Real Ear. *Safety and health at work*. 2017;8(4):364-70.
17. Berger E. Introducing F-MIRE testing: background and concepts. *HEARING REVIEW*. 2007;14(3):48.
18. Arezes PM, Miguel AS. Assessing the use of hearing protection in industrial settings: A comparison between methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2013;43(6):518-25.
19. AGURTO DDA. ATENUACION DE RUIDO DE PROTECTORES AUDITIVOS TIPO OREJERA SEGUN LA TECNICA MIRE.
20. Lavanderos SFC, Iribarnegaray SPR. Atenuación de protectores auditivos del tipo tapón bajo la metodología F-MIRE, y su relación con trabajadores expuestos a ruido.
21. Arango AV, Cárdenas J. Estimación real de la atenuación de dos tipos de protectores auditivos ofertados en Colombia. *EstarBien*. 2014(07).
22. Upegui S, Araque G, Lizarazo C, Berrio S. Verificación de los niveles de atenuación de dos tipos de protectores auditivos tipo copa en trabajadores de una empresa del sector Hidrocarburos. Barrancabermeja-Colombia 2013.