

Perfil de Exposición Ocupacional a Ruido en Trabajadores de Empresas de Perforación y Reacondicionamiento y Rehabilitación de Pozos en el Sector de Petróleo y Gas Colombia 2011-2017.

José Guerra-Reinoso¹, Luis Araque-Muñoz²

¹ Estudiante de Maestría en Salud Ocupacional y Ambiental, Departamento de Salud Pública, Universidad del Rosario Colombia Correo electrónico: jose.guerra@crpohs.com.co

² 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: En el sector de petróleo y gas una de las actividades más comunes en donde confluye un número importante de trabajadores y procesos generalmente ruidosos, corresponde a las actividades de perforación (Drilling) y reacondicionamiento y rehabilitación (Workover) de pozos, tareas que de acuerdo a la naturaleza de los equipos y circunstancias de exposición a ruido representa una de las labores de más alto riesgo potencial.

Objetivos: la presente investigación documenta la exposición ocupacional a ruido de trabajadores del sector de Petróleo & Gas del segmento de perforación y reacondicionamiento y rehabilitación de pozos mediante un estudio de corte transversal empleando registros dosimétricos de muestreos aleatorios estratificados por Grupos de Exposición Similar de 7 años en distintas empresas del sector.

Materiales y métodos: Se llevó a cabo un estudio de corte transversal para estimar el perfil de exposición a ruido de los trabajadores de empresas dedicadas a la prestación de servicios de perforación y reacondicionamiento y rehabilitación de pozos de petróleo y gas en Colombia, mediante el análisis de un total de 971 evaluaciones personales de ruido (dosimetrías) de jornada completa tomadas durante el periodo comprendido entre los años 2011 a 2017 en diferentes empresas del subsector.

Las mediciones dosimétricas se procesaron estadísticamente en el software LogNorm ® y los resultados fueron analizados considerando un muestreo de tipo aleatorio estratificado bajo el concepto de Grupo de Exposición Similar (GES). Los estimadores estadísticos obtenidos de tendencia central y máximo riesgo de cada GES fueron comparados con un valor límite permisible (TLV-TWA) de 85.0 dBA con una tasa de intercambio de 3 dBA ⁽¹⁾, de acuerdo a lo sugerido por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno para el año 2018 (ACGIH, por sus siglas en inglés).

Resultados: Los resultados de los procesamientos estadísticos aplicables a los GES conformados, basados en el Estimador Insesgado de Mínima Variancia (MVUE) y su valoración con el TLV-TWA referenciado, permiten inferir con un nivel de confianza del 95%, que se estima una exposición media superior a 88.0 dBA para 12/25 colectivos en observación; estimados medios iguales o superiores a 85.0 dBA (TLV-TWA) pero inferiores a los 88.0 dBA (200% de la dosis) en 9/25 GES; valores medios superiores al nivel de acción (82 dBA) pero inferiores al Valor Límite Permisible en 3/25 grupos y solo en 1/25 GES una exposición baja inferior al nivel que da lugar a una acción.

De los 12 GES que registran las exposiciones medias superiores a 88 dBA, siete pertenecen a la línea perforación de crudo y gas, uno a reacondicionamiento, tres a perforación de pozos de agua y el otro colectivo restante es el de soldadores conformado por personal de las líneas de perforación, y reacondicionamiento y rehabilitación de pozos de Crudo y Gas, permitiendo concluir que las magnitudes más altas se presentan en el subsector de perforación de crudo respecto a perforación de agua y reacondicionamiento; los resultados advierten condiciones de riesgo potencial críticas en todos los GES observados teniendo en cuenta el Percentil .95.

Conclusiones: La mayor cantidad de Grupos de Exposición Similar motivo de análisis presentaron magnitudes medias altas con potencial de riesgo crítico a ruido teniendo en cuenta los estimadores estadísticos de tendencia central (MVUE) y máximo riesgo (X.95); la variabilidad espacio temporal de las exposiciones no presentó significativas variaciones interanuales como consecuencia de los cambios en la producción de petróleo crudo y las circunstancias de exposición y condiciones de trabajo soportados en los resultados de Desviaciones Estándar Geométricas (GSD) y Análisis de Varianzas (ANOVA) aplicables. Estos aspectos permiten considerar que las actividades de perforación y reacondicionamiento y rehabilitación de pozos representan una condición de riesgo significativamente más alta en términos de proporcionalidad, aspecto que puede inferir la posibilidad que en estos colectivos pueda existir una tasa de incidencia mayor de Hipoacusia Inducida por Ruido, que en otras actividades económicas.

Palabras Clave: Ruido, Perforación, Reacondicionamiento, Pérdida Auditiva, Workover, Drilling.

INTRODUCCIÓN

El ruido es visto como un peligroso agente contaminante y como riesgo ocupacional es reconocido desde la antigüedad. La exposición a ruido se considera uno de los principales factores de riesgo involucrados en la génesis de la hipoacusia relacionada con el trabajo. La pérdida auditiva de inicio en la adultez se ha descrito como el decimoquinto problema de salud más serio en el mundo (Nelson, et al, 2005), y el deterioro de la función auditiva relacionado con el trabajo, o de origen laboral, es reconocido de tiempo atrás como una situación de alta prevalencia en países industrializados y emergentes. En la génesis de la hipoacusia por ruido en el lugar de trabajo, se deben considerar otros aspectos adicionales a la exposición al mencionado agente, o que interactúan con éste, tales como la edad, el uso continuo de audífonos, los traumatismos craneales, el tabaquismo, algunas enfermedades sistémicas y la exposición a ciertos químicos, entre otros.

Para el 2005 Androulla indicó que la sordera laboral causada por la exposición a unos niveles altos de ruido en el trabajo fue una de las formas más extendidas de enfermedad profesional en el Reino Unido (UK) y se estimó que había más de 2 millones de personas expuestas de forma regular a ruidos intensos en el trabajo y que aproximadamente 1,1 millones de personas estaban expuestas a niveles superiores a 85 dB(A), donde existe un importante riesgo para la salud (2). También señaló que aproximadamente 170.000 personas sufren de sordera, tinnitus u otras afecciones auditivas como consecuencia del ruido y que en el grupo de edad de 35 a 64 años, había 153.000 hombres y 26.000 mujeres que presentaban dificultades auditivas graves atribuibles al ruido en el trabajo. Las reclamaciones por sordera laboral a los seguros de responsabilidad de los empresarios alcanzó la cifra de 60.000 al año, el 83 % de todas las reclamaciones por accidentes de trabajo y enfermedades laborales (2).

Se considera que las personas mayormente afectadas se desempeñan en diversos oficios e industrias, así como en el servicio militar (Kryter, 2004). De otro lado, el número estimado de personas afectadas por la patología aumentó de 120 millones en 1995 (WHO, 1999; WHO, 2001) a 250 millones en el mundo en el año 2004 (Smith, 2004). Cifras de Estados Unidos dan cuenta de más de 10 millones de trabajadores con pérdidas en el umbral auditivo superiores a 25 dB en el año 2002 (USDOL, OSHA, 2002). De igual manera en la Unión Europea en el año 2000, el 28% de los trabajadores reportaron que al menos durante la cuarta parte de su tiempo se encontraban ocupacionalmente expuestos a ruido lo suficientemente intenso como para evitar que pudieran establecer una conversación (niveles de ruido de aprox. 85 a 90 dB) (EASHW, 2000).

Otárola señala que en Chile la hipoacusia inducida por exposición a ruido representa el 80% de las incapacidades permanentes por enfermedades laborales (3). Por su parte en México, en una investigación retrospectiva comprendida entre los años 1992 a 2002, se reportó que la hipoacusia por trauma acústico crónico representó 41% de las enfermedades de trabajo. Durante dicho periodo, el número de casos promedio de incapacidades permanentes y la tasa de incidencia mostraron una tendencia ascendente. En la memoria estadística 2001-2010 de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social del Gobierno Federal (México) se precisa que la Hipoacusia como enfermedad del trabajo ocupó el primer lugar a nivel nacional (4). Adicionalmente se calcula que alrededor del mundo aproximadamente entre 7 a 21% de las pérdidas de agudeza auditiva derivan de la exposición a ruido industrial (5) y se ha sugerido que el 12% o más de la población mundial están en riesgo de pérdida auditiva inducida por ruido, lo que equivale a más de 600 millones de personas (6-7).

En Colombia la Hipoacusia Neurosensorial Inducida por Ruido –HNIR- representa el tercer lugar de las enfermedades laborales y si bien no son claras las estadísticas de Pérdida Auditiva en el segmento de Petróleo y Gas, se infiere que puede tener un impacto significativo considerando la subestimación señalada por Idrovo (2003), basados en la metodología de Leigh y colaboradores.

De acuerdo el Ministerio de la Protección Social, en Colombia la hipoacusia neurosensorial ocupó el tercer lugar en la frecuencia de diagnósticos de enfermedad laboral para el período entre los años 2001–2003, pero en el año 2004 fue desplazada al cuarto lugar (MPS, Tafur, F, 2006). De acuerdo con los cálculos de Idrovo (2003), basados en la metodología de Leigh y colaboradores y las estimaciones poblacionales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE-, en el año 2000 se estarían presentando 101.645 casos nuevos de enfermedades ocupacionales, de las cuales 14.775 (14.5%) corresponderían a hipoacusia por ruido, cifra que el autor considera como una subestimación de la ocurrencia real de la patología en Colombia.

Utilizando el criterio de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para establecer el umbral de pérdida auditiva a 41 dB en las frecuencias de 500 Hz, 1KHz, 2KHz y 4KHz y reconociendo que en el mundo laboral se establece éste en 25 dB, se encuentra que 16/100 casos de pérdida de la audición registrados son atribuibles a la exposición laboral a ruido. Lo anterior significa que el ruido genera 4.2 millones de años de vida saludables perdidos (AVAD2) por año (0.3% del total de AVAD), de los cuales 415.000 se atribuyen al ruido ocupacional.

Según la OMS, Colombia pertenece a la sub-región B de América, zona ésta donde se perdieron 165 mil años de vida saludables por esta causa, cifra solamente superada por los factores de riesgo ocupacional generadores de lesión y de los relacionados con material particulado (Simpson & Bruce, 2005). Consistentemente se documenta que 74 de cada 100 AVAD perdidos por HNIR son aportados por los hombres. Globalmente el 67% de los años saludables perdidos a causa del ruido ocupacional son aportados por los hombres.

Conforme al reporte consolidado de FASECOLDA de 2017 se calcula en aproximadamente 470.000 los trabajadores afiliados al Sistema General de Riesgos Laborales vinculados a actividades económicas relacionadas con la extracción de petróleo y gas, lo que representa cerca del 5% de la población laboral afiliada al sistema y aproximadamente el 2.5% de la población económicamente activa.

Estudios realizados por la Junta de Compensación de Enfermedades de la Columbia Británica en Canadá señala que los trabajadores del sector de petróleo y gas tienen el doble de probabilidades de perder la capacidad auditiva en comparación con trabajadores de otras industrias, ya que según indica el reporte de WorksafeBC de 2016 “Hearing loss in the oil and gas industry”, el 33% de los trabajadores de la industria petrolera y del gas mostraban indicios de pérdida de audición, de hecho y específicamente, más del 36% de los trabajadores en el subsector de perforación de pozos de petróleo y gas mostraron signos de pérdida de audición inducida por ruido, que en comparación con la media general del 16%, es un aspecto que representaba una situación de especial relevancia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio de corte transversal pretende determinar el perfil de exposición a ruido de los trabajadores de empresas dedicadas a la prestación de servicios de perforación y reacondicionamiento (workover) de pozos de petróleo y gas en Colombia, mediante el análisis de un total de 971 evaluaciones personales de ruido (dosimetrías) de jornada completa que representaron 492.954 minutos (8215 horas) de medición, tomadas durante el periodo comprendido entre los años 2011 a 2017 en diferentes empresas del subsector.

Los procesos de workover o reacondicionamiento de pozo incluidos en la muestra envuelven diferentes actividades especializadas propias del servicio, tales como: completamiento inicial, bombeo de fluidos a presión, métodos de limpieza de arena, cementaciones forzadas, achicamiento, operaciones de washover, corrección de colapsos, operaciones con brocas, reemplazo de equipos subterráneos, operaciones de pesca, pruebas y servicios de registro y estimulación de pozos para mejoramiento de la producción, incluyendo fracturamiento hidráulico; por su parte los procesos de perforación incluyeron actividades de trabajo en pozos de agua (water), y Crudo y Gas (Oil & Gas).

La metodología de referencia se soportó en lo dispuesto en La Estrategia para la Evaluación y Administración de las Exposiciones Ocupacionales (AIHA) ⁽⁸⁾, en los lineamientos de la Norma ISO 9612:2009 Acústica: Determinación de la Exposición Ocupacional a Ruido por el Método de Ingeniería. Estrategia 3. Medición de una jornada completa ⁽⁹⁻¹⁰⁾; e ISO 1999:1990 Acústica: Determinación de la exposición ocupacional a ruido y estimación de la pérdida auditiva inducida por ruido ⁽¹¹⁾. Lo anterior, teniendo en cuenta el objetivo principal del estudio, la complejidad de las condiciones de trabajo, la variabilidad de la duración de la exposición a lo largo de la jornada de trabajo y que la estrategia de medición No. 3 (ISO 9612:2009) cubre todas las contribuciones al ruido incluyendo tanto exposiciones elevadas al ruido como períodos de menor nivel ⁽⁹⁻¹⁰⁾.

Los micrófonos de los dosímetros contaban con cortavientos y los equipos se ubicaron de tal forma que se evitara las falsas contribuciones a la medición, en la parte superior del hombro a una altura de 4 cm por encima del mismo y a una distancia aproximada 10 cm de la entrada del canal auditivo externo del lado del oído más expuesto. Todos los dosímetros utilizados fueron de precisión tipo 2 conforme a los criterios de fabricación definidos por el estándar IEC 61252:1993 ⁽¹²⁾ configurados de acuerdo a los valores de referencia sugeridos por ACGIH, a saber: 85.0 dBA, tasa de Intercambio de 3 dBA, respuesta lenta (slow) y con registros en escala de ponderación A y C con un rango de entre 50 y 140 dB ⁽¹³⁾.

Complementariamente y según lo indicado por los criterios de referencia técnica se garantizó la vigencia de calibración de los equipos usados ajustándose a los aspectos definidos por la casa matriz fabricante. La calibración de campo incluyó una verificación de la calibración acústica de los equipos (incluyendo el micrófono), tarea que consiste en aplicar una verificación al principio y al final de cada medición en sitio silencioso sin ajustes. En los casos en que la lectura de la frecuencia (1KHz) definida por el sistema al final de la serie de mediciones resultara diferente de la lectura tomada al principio de la serie en más de 0.5 dB, se descartó los resultados del equipo respectivo, evento que no se presentó en el estudio.

Posteriormente se conformaron 25 Grupos de Exposición Similar teniendo en cuenta las condiciones de trabajo y circunstancias de exposición para las unidades de perforación y reacondicionamiento siguiendo las directrices asociadas a Proceso-Tarea-Agente; habiéndose organizado los datos (dosimetrías de ruido) según los estratos en observación, se procesaron estadísticamente los mismos. Los estimadores estadísticos obtenidos de cada GES fueron comparados con el TLV-TWA sugerido por ACGIH ⁽¹⁴⁾. Todos los cálculos, incluyendo análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés), se realizaron en software especializado (LogNorm2® Versión 2.9 for Windows) para tamaños de muestras iguales o superiores a 6, donde mediante la aplicación de la prueba de bondad de Shapiro-Wilks (goodness Test W) se determinó la distribución de probabilidad de los datos de monitoreo.

Debido a la variabilidad de jornadas de trabajo entre empresas se consideraron tanto el Nivel Equivalente Ponderado Día –LAepd- para aquellas dosimetrías con tiempos de medición superiores a 480 minutos (8 horas) y el Nivel Equivalente Ponderado al Tiempo de Medición –LAEq- para los casos con tiempos de medición inferiores a 480 minutos. Para garantizar la trazabilidad y calidad de los datos, éstos se ingresaron y procesaron en Hojas de Cálculo independientes por dos Higienistas Ocupacionales, adicionalmente la base de datos fue sometida a dos filtros de revisión por igual número de Higienistas Industriales.

La presente investigación se ajusta a las “Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”, establecidas en la resolución No. 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, considerando especialmente la categoría de riesgo para los humanos que pueda generar la propuesta. Esta investigación clasificada: sin riesgo.

RESULTADOS

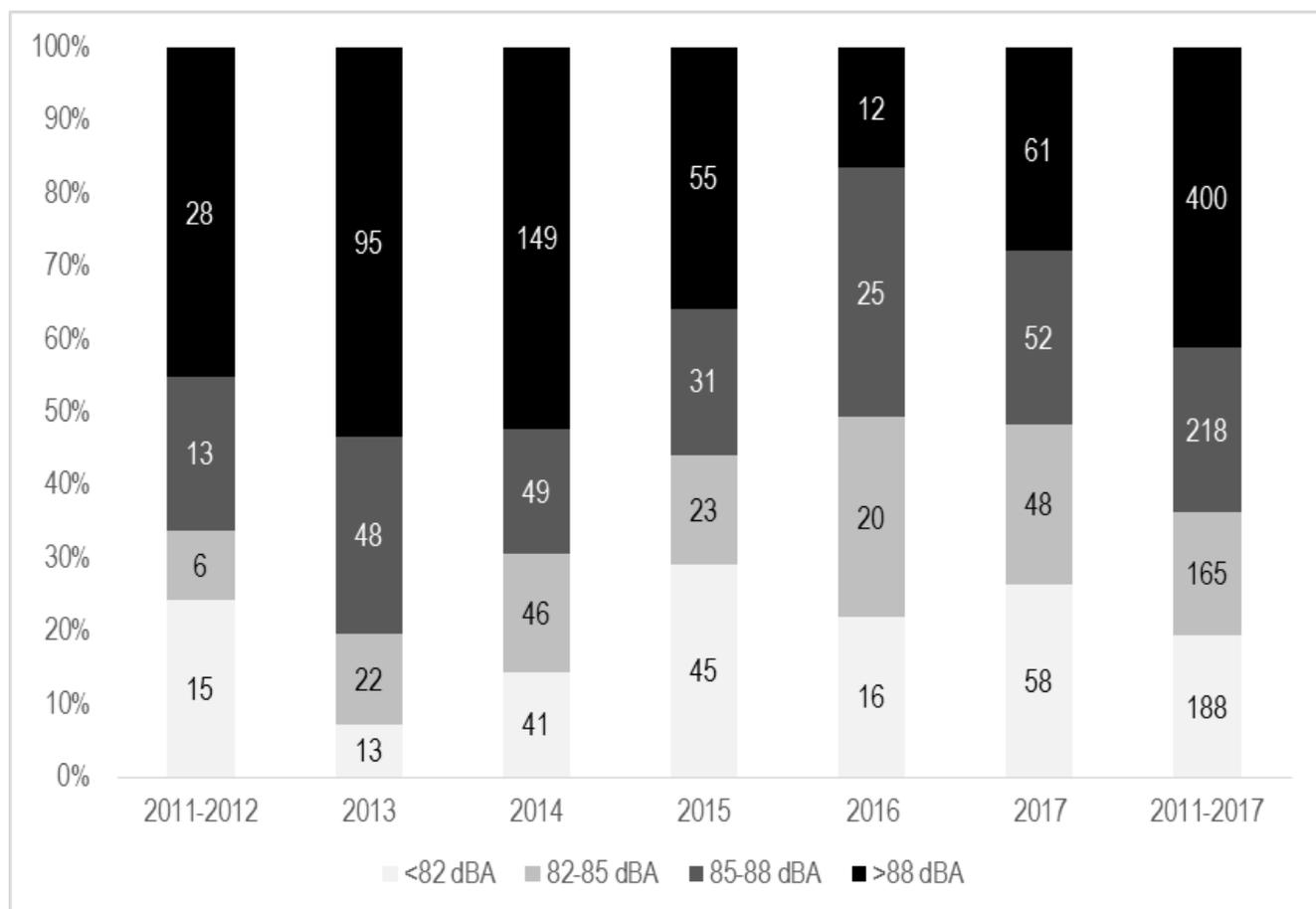
Para el cumplimiento del propósito se recopilaron y tabularon en una base de datos plana en Excel las variables de interés de un total de 971 evaluaciones personales de ruido (dosimetrías) de jornada completa que representan 492.954 minutos (8.215 horas) de medición, distribuidos en diferentes cargos u oficios de interés, 25 GES en total. Las dosimetrías fueron desarrolladas bajo condiciones normales de operación, es decir, durante diferentes escenarios de trabajo considerados representativos de la exposición en distintos campos, equipos, turnos de trabajo y diferentes empresas del sector de perforación y reacondicionamiento de pozo durante los años comprendidos entre 2011 y 2017 al tenor de principios de muestreo aleatorio estratificado (tabla 1).

Código GES	Descripción GES
WO-Jefe HSE	Operaciones de Reacondicionamiento Responsable de Salud, Seguridad, Ambiente
WO-Jefe Equipo	Operaciones de Reacondicionamiento Responsable de las Operaciones
WAT-Jefe HSE	Perforación Pozos de Agua Responsable de Salud, Seguridad, Ambiente
WO-Supervisor Equipo	Operaciones de Reacondicionamiento Supervisor de Actividades
WODRI-Cargador	Operaciones de Reacondicionamiento y Perforación Operador de Cargador
WO-Aparejador	Operaciones de Reacondicionamiento Aparejador
WAT-Supervisor Equipo	Perforación Pozos de Agua Supervisor de Actividades
WAT-Soldador	Perforación Pozos de Agua Soldador
WO-Maquinista	Perforación Pozos de Agua Maquinista Operador Equipo
WODRI-Obrero Patio	Operaciones de Reacondicionamiento y Perforación Actividades Varias y Generales
WO-Encuellador	Operaciones de Reacondicionamiento Encuellador
WO-Cuñero	Operaciones de Reacondicionamiento Cuñero
WO-MTM	Operaciones de Reacondicionamiento Tareas de Mantenimiento Eléctrico y Mecánico
WAT-Cuñero	Perforación de Pozos de Agua Cuñero
DRI-Supervisor Equipo	Operaciones de Perforación Supervisor Equipo
WODRI-Soldador	Operaciones de Reacondicionamiento y Perforación Soldador
DRI-Perforador	Operaciones de Perforación Operador Equipo Perforación
WAT-Encuellador	Perforación de Pozos de Agua Encuellador
WAT-Maquinista	Perforación de Pozos de Agua Maquinista Operador Equipo
DRI-Cuñero	Operaciones de Perforación Cuñero
DRI-Encuellador	Operaciones de Perforación Encuellador
DRI-MTM	Operaciones de Perforación Tareas de Mantenimiento Eléctrico y Mecánico
DRI-Capataz	Operaciones de Perforación Capataz
DRI-Aceitero	Operaciones de Perforación Aceitero: Tareas de Atención Generadores Eléctricos
WO-Aceitero	Operaciones de Reacondicionamiento Aceitero: Tareas de Atención Generadores Eléctricos

Tabla 1. Conformación, codificación y descripción de Grupos de Exposición Similar.

Basados en los procesamientos estadísticos aplicables a GES, fueron calculados el Estimador Insegado de Varianza Mínima (MVUE) como medida de tendencia central, el cual, en confrontación con el valor límite permisible permite determinar la dosis media de los trabajadores vinculados al grupo; y el Percentil .95 como estimador de condición de peor caso probable o máxima condición de riesgo a la cual se podría ver sometido cualquier miembro del GES. De forma complementaria y en el marco de los criterios de conformidad asociados a la dispersión de los datos con relación a la media, fue calculada la desviación estándar geométrica (DEG) a fin de verificar el grado de homogeneidad de cada grupo ⁽¹⁵⁾. Finalmente y con el propósito de obtener un indicador adimensional del grado de riesgo, fueron calculados los Índices de Exposición (ÍE) y Riesgo (ÍR) como resultado de la comparación del estimador promedio y el percentil X.95 con el valor límite permisible recomendado.

Teniendo en cuenta la distribución de frecuencia presentada en la gráfica 1 y llevando a cabo un análisis con base en frecuencias relativas y frecuencias relativas acumuladas, se observa que el 41.19% de las mediciones, equivalente a 400 dosimetrías, registran niveles equivalentes ponderados superiores a 88 dBA y que el 63.65% del total de las mediciones (618/971) reportan exposiciones iguales o superiores a 85 dBA. Adicionalmente y con base en el nivel de acción establecido en 82.0 dBA, las medidas de vigilancia y control se amplían al 80% de la muestra (783/971).



Gráfica 1. Relación general de conformidad higiénica Colombia empresas de servicios Drilling y Workover años 2011 al 2017.

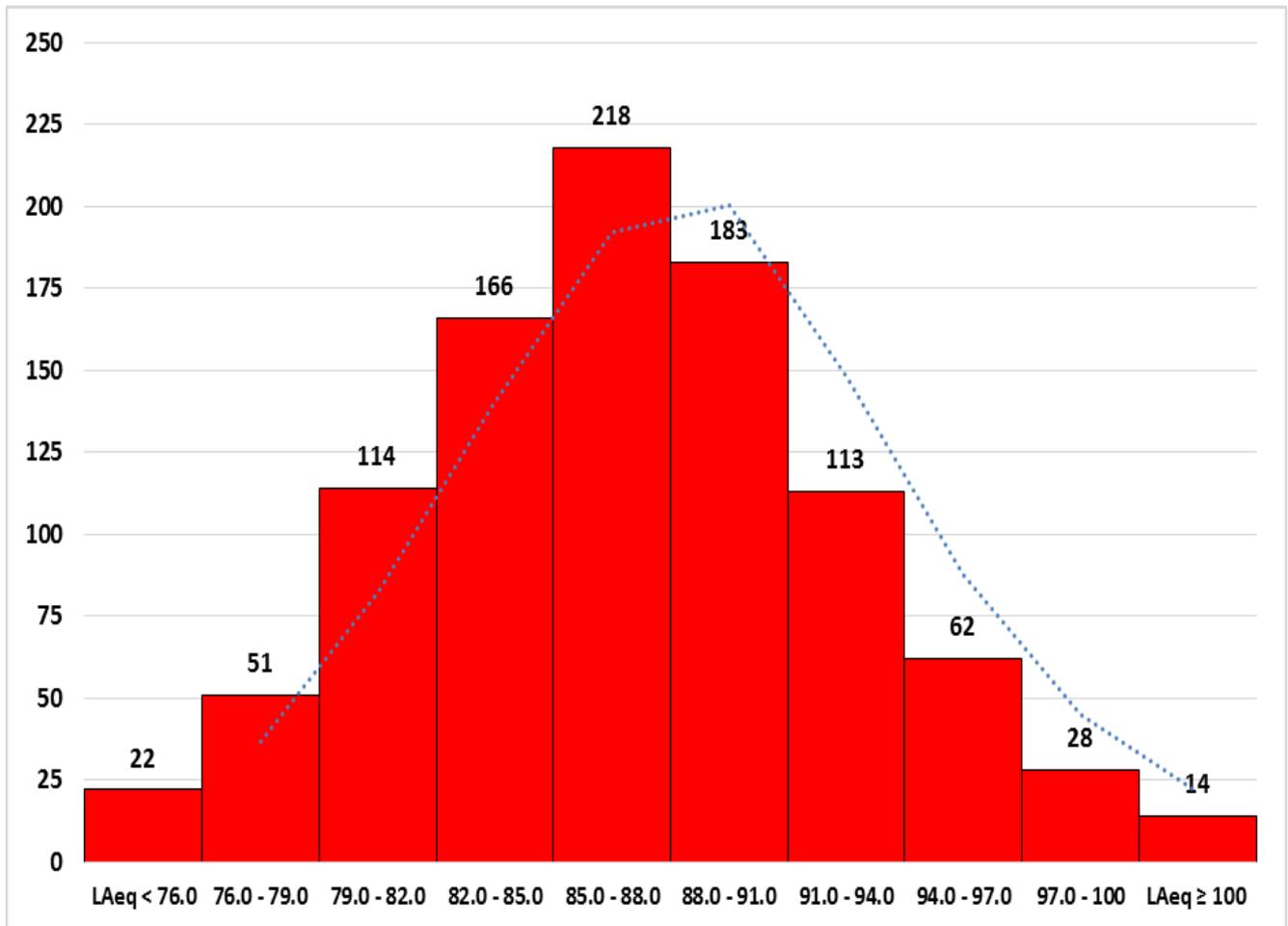
El estudio de las medias estimadas de los 25 Grupos de Exposición Similar evaluados, permite inferir que 20 GES presentan un riesgo mayormente alto durante la jornada de trabajo, 4 colectivos más observan exposición normalmente moderada y un grupo (WO-Jefe HSEQ) registra una dosis baja de exposición a ruido. Adicionalmente, se observa que la exposición potencial puede llegar ser crítica en cualquier jornada de trabajo en el peor de los casos (X.95) para todos los conjuntos agrupados (ver Tabla 2).

Teniendo en cuenta los resultados por Grupo de Explosión Similar en el caso del GES WO-MTM (workover mantenimiento) presenta alta variabilidad de los datos, puesto que 26 mediciones son bajas, 20 evaluaciones observan riesgo moderado, 20 dosimetrías presentan dosis de categoría alta y finalmente 37 caracterizaciones señalan riesgo crítico. Lo anterior, podría explicarse considerando que normalmente las actividades del personal de mantenimiento eléctrico y mecánico no son fijas o cíclicas respecto a factores determinantes de la exposición como lo son el tiempo y frecuencia de exposición, sino que son de naturaleza altamente variable, asociada por ejemplo a eventualidades (daños), necesidades operativas, mantenimiento correctivo, pruebas de funcionamiento a equipos ruidosos (principalmente generadores eléctricos y motores Diésel), desarrollo de tareas de mantenimiento en áreas altamente ruidosas al lado de equipos en pleno funcionamiento, etc.

De la totalidad de las 51 mediciones realizadas bajo condiciones normales operativas al GES DRI-Aceitero, reportaron dosis de categoría alta para siete dosimetrías y muy alta para cuarenta y cuatro evaluaciones, señalando con ello una clara tendencia de la exposición potencial diaria de los trabajadores que conforman dicho grupo.

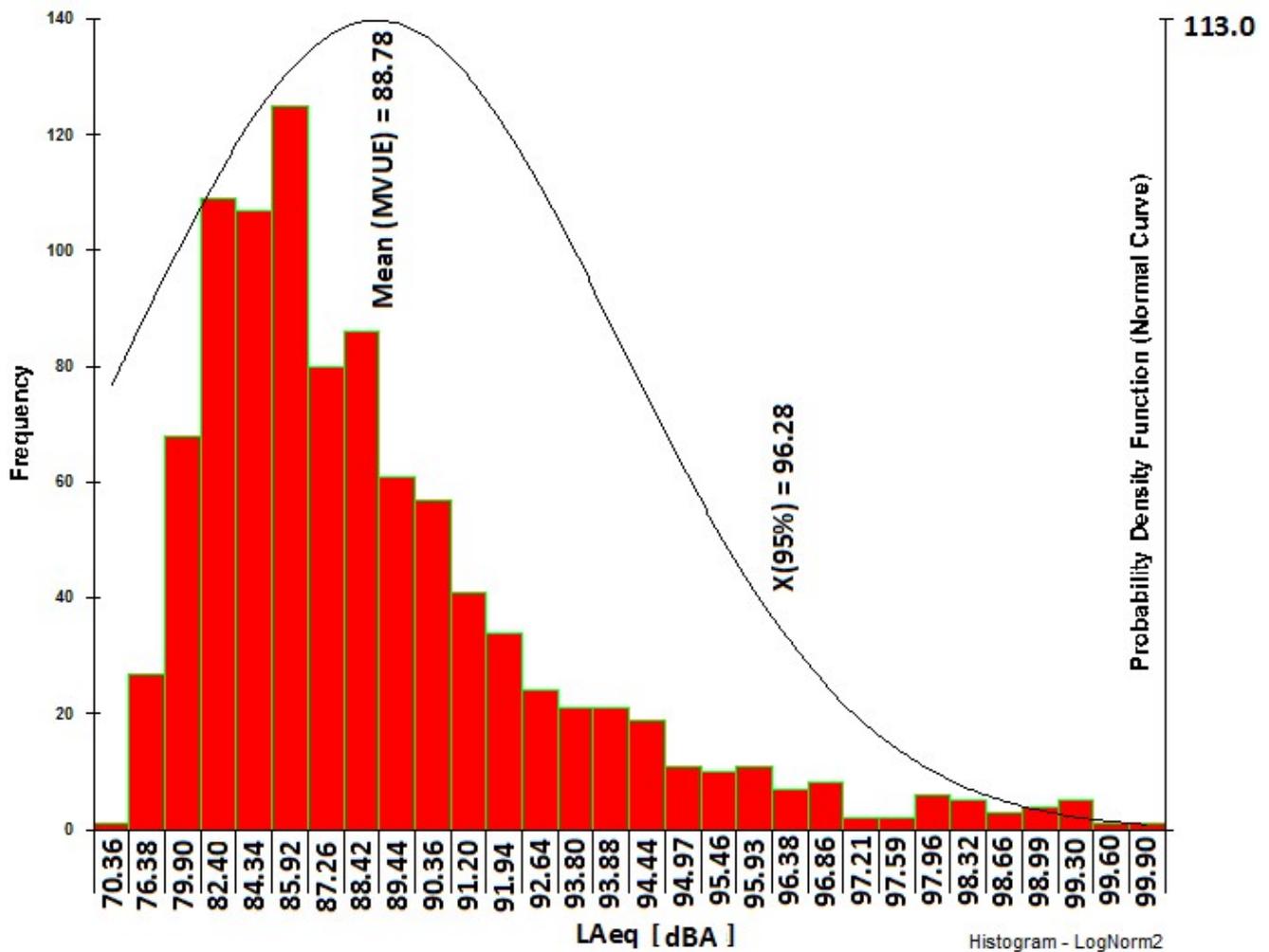
Con relación al personal HSEQ que labora en las líneas workover y wáter (WO-Jefe HSEQ y WA-Jefe HSEQ), observan un riesgo de exposición mayormente bajo y moderado, respectivamente, que puede llegar a ser crítico en el peor de los escenarios probables para los dos GES. Se destaca que en el caso de los dos grupos una sola medición presentó riesgo muy alto superior a los 88.0 dBA.

Los resultados permiten advertir que aproximadamente el 82% de las mediciones, el equivalente a 795 dosimetrías, se encuentra en el rango entre 80 dBA-95 dBA, y que únicamente el 19% (187/971) de la muestra total observa un riesgo bajo de exposición a ruido. También se logra identificar que 14 evaluaciones registraron un Nivel Equivalente Ponderado en el Tiempo de Medición –LAeq- mayor o igual a 100 dBA, con un máximo de 107.2 dBA en el cargo de WO-Aceitero (Gráfica 3), y que casi un 60% (567/971) de las caracterizaciones se concentra en un rango delimitado por el nivel de acción establecido en 82.0 dBA y una dosis de 400% equivalente a un LAeq de 91.0 dBA (Gráfica 2).



Gráfica 2. Distribución de frecuencia con base en el LAeq o LAepd registrado en Colombia Subsector de Perforación (Drilling) y Reacondicionamiento y Rehabilitación (Workover) de Pozos de petróleo y Gas años 2011 al 2017.

Se puede inferir que la media de la muestra total es de 88.8 dBA y que el peor de los escenarios se constituye en exposiciones de 96.3 dBA, indicando con esto que en general la exposición media diaria del personal del subsector de servicios de perforación y reacondicionamiento (workover) de pozos de petróleo y gas, y perforación de pozos de agua es potencialmente muy alta, del orden del 200% del TLV-TWA recomendado, y que la fracción excedente del percentil 95 es inferior del 5.46% (53/971) (Gráfica 3).



Gráfica 3. Distribución de frecuencia y densidad de probabilidad como función Normal de la muestra total de los GES evaluados para Colombia Sector Perforación (Drilling) y Reacondicionamiento (Workover) años 2011 al 2017.

Tabla 2. Resumen Estadístico, Resultados ANOVA, Cálculo de Índices de Exposición y Riesgo por Grupo de Exposición Similar.

Código GES	Año	n	p= 0.95 y c=0.95				ANOVA RESULTS		
			SIGNIFICANCE LEVEL		DEG	ANÁLISIS HIPÓTESIS NULA			
			MVUE (dBA)	X.95		F Test Statistic	F Critical Value 0.05	F Critical Value 0.01	Ho → S1=S2=Sn Ho → M1=M2=Mn
WO-Jefe HSEQ	2015	6	81.8	89.1	1.83				No Aplica
WO-Jefe Equipo	2015-2017	8	82.1	87.4	1.52				No Aplica

Código GES	Año	n	p= 0.95 y c=0.95		ANOVA RESULTS					
			MVUE (dBA)	X.95	DEG	SIGNIFICANCE LEVEL			ANÁLISIS HIPÓTESIS NULA	
						F Test Statistic	F Critical Value 0.05	F Critical Value 0.01	Ho → S1=S2=Sn	Ho → M1=M2=Mn
WAT-Jefe HSEQ	2013-2017	7	82.4	88.9	1.54	2.117	6.61	16.26	No Rejected	No Rejected
	2012-2013	20	87.6	94.3	1.75	0.1709	4.41	8.29	No Rejected	No Rejected
WO-Supervisor Equipo	2014-2017	45	82.2	88.2	1.64	2.333	2.8	4.22	No Rejected	No Rejected
	2012-2017	65	84.2	91.1	1.79	5.08	2.41	3.425	Rejected	Rejected
WODRI-Cargador	2011-2017	52	85.3	91.3	1.63	1.019	2.41	3.425	No Rejected	No Rejected
WO-Aparejador	2012-2014	6	85.5	94.4	2.16				No Aplica	
WAT-Supervisor Equipo	2012-2017	12	86.0	93.8	1.96	3.118	4.26	8.02	No Rejected	No Rejected
WAT-Soldador	2013-2017	7	86.6	90.0	1.37				No Aplica	
WO-Maquinista	2012-2017	73	86.7	93.4	1.75	1.49	2.34	3.255	No Rejected	No Rejected
WODRI-Obrero Patio	2013-2017	39	87.0	94.7	1.94	3.924	2.65	3.925	Rejected	No Rejected
WO-Encuellador	2011-2017	71	87.3	93.9	1.75	2.13	2.34	3.255	No Rejected	No Rejected
WO-Cuñero	2011-2017	134	87.3	94.4	1.83	0.6864	2.21	3.02	No Rejected	No Rejected
WO-MTM	2011-2017	103	87.7	95.4	1.96	2.416	2.49	3.656	No Rejected	No Rejected
WAT-Cuñero	2012-2017	29	88.4	93.0	1.44	2.17	3.01	4.72	No Rejected	No Rejected
DRI-Supervisor Equipo	2011-2017	32	88.9	95.6	1.75	2.356	2.8	4.26	No Rejected	No Rejected
WODRI-Soldador	2011-2017	27	89.1	96.7	1.92	0.447	2.82	4.31	No Rejected	No Rejected
DRI-Perforador	2011-2017	55	89.2	95.3	1.66	2.494	2.41	3.425	Rejected	No Rejected
WAT-Encuellador	2012-2017	6	89.9	98.9	2.19				No Aplica	
WAT-Maquinista	2012-2017	11	90.3	97.8	1.89	1.308	4.46	8.65	No Rejected	No Rejected
DRI-Cuñero	2011-2017	60	90.7	96.1	1.54	1.161	2.41	3.425	No Rejected	No Rejected
DRI-Encuellador	2011-2017	36	91.1	97.1	1.64	0.6944	2.53	3.7	No Rejected	No Rejected
DRI-MTM	2011-2017	57	91.3	98.7	1.90	1.541	2.41	3.425	No Rejected	No Rejected
DRI-Capataz	2013-2015	13	92.5	98.4	1.61	0.7374	4.84	9.65	No Rejected	No Rejected
DRI-Aceitero	2011-2017	51	94.9	101.2	1.69	2.361	2.57	3.74	No Rejected	No Rejected
WO-Aceitero	2011-2017	8	99.5	106.3	1.76	1.091	5.99	13.75	No Rejected	No Rejected

DISCUSIÓN - CONCLUSIONES

Sustentados en los hallazgos presentados, considerando únicamente la muestra total correspondiente para cada uno de los GES en los años 2011 a 2017 y con base en la estimación de intervalos de confianza donde se observa que el $LCL > TLV-TWA$ o $LCS < TLV-TWA$ ⁽¹⁵⁾, y teniendo en cuenta el grado de homogeneidad de los grupos ($DEG < 2$) ⁽¹⁵⁾, es posible inferir con altos niveles de confianza (95%) que los perfiles de exposición obtenidos son estadísticamente significativos y corresponden a la tendencia de exposición media y de peor caso probable para los GES caracterizados en tal periodo de tiempo; con excepción de los grupos: WO-Supervisor Equipo, WO-Jefe Equipo, WO-Aparejador, WO-Jefe HSEQ, WAT-Jefe HSEQ, WAT-Supervisor Equipo, WAT-Soldador y WODRI-Cargador, colectivos en los que no se podría concluir lo mismo puesto que observan cierta incertidumbre dado que el criterio de referencia técnica (TLV-TWA) se encuentra entre los límites de confianza y las mediciones presentan alta dispersión respecto a la media, lo que a su vez se presume puede estar asociado al tamaño de la muestra, indicando con ello que es necesario realizar más mediciones, y a la variabilidad de la exposición potencial: condiciones de trabajo y circunstancias de exposición.

Sin embargo, el análisis de 20 Grupos de Exposición Similar mediante la prueba de significancia estadística denominada ANOVA (análisis de varianza), permite concluir que las varianzas interanuales de 19/20 GES evaluados son iguales y que por ende las exposiciones promedio obtenidas entre los años 2011 a 2017 son representativas de los perfiles de riesgo de éstos e indican con altos niveles de confianza la tendencia de exposición a ruido de los colectivos bajo observación.

Con relación al grupo WO-Supervisor Equipo, el ANOVA indica que las varianzas y promedios de las exposiciones fueron altas y similares en los años 2012 y 2013, pero distintas a las exposiciones moderadas observadas en el intervalo de 4 años comprendido entre el 2014 y 2017. Lo anterior permite inferir que se debieron haber presentado cambios, de hecho, el personal del sector manifiesta que el cargo de jefe de equipo fue desapareciendo paulatinamente en algunas empresas, debido a la caída del precio del barril de crudo, y que hubo un cambio de rol por cuanto las tareas administrativas que realizaba el jefe fueron reasignadas al supervisor, lo que derivó en una disminución de la exposición por menor tiempo en tareas operativas y mayor en labores de oficina.

Se puede deducir que el grupo de trabajadores que presenta la exposición diaria más crítica corresponde a los aceiteros. También se desprende que el personal de encuelladores, cuñeros y mantenimiento (mecánicos y electricistas) de perforación (drilling) observan exposiciones críticas que son más altas que sus pares de la línea de reacondicionamiento (workover), respectivamente.

De un análisis general basado en conformidad higiénica, se desprende que los máximos niveles de exposición se registraron en los GES de aceitero para perforación (drilling) y reacondicionamiento (workover), colectivo en donde la totalidad de las mediciones observan exposiciones altas y críticas con niveles equivalentes ponderados día –LAepd- mínimo y máximo de entre 85.1 dBA y 108.2 dBA, respectivamente. También se infiere que las dosis más bajas se registraron en los GES que conforman el personal HSE de las líneas de workover y wáter.

Durante las campañas evaluativas logró observarse que normalmente las principales fuentes ruidosas son los equipos especializados propios, como por ejemplo: generadores eléctricos, bombas neumáticas, equipos de control de sólidos (shakers o zarandas y centrifugas de las unidades dewatering), embudos para succión de química sólida, sistemas de potencia: motores de combustión de equipos como bombas de lodo, compresores de aire, malacate, unidad básica, torres portátiles de iluminación, cargador o montacargas y en zonas de soldadura: equipos de soldadura, las herramientas manuales metálicas y eléctricas de alta revolución (pulidora, motor tool, tronzadora). Incluyendo sus unidades de bombeo también se observa alta exposición a ruido durante actividades de servicios técnicos externos como: cementación, estimulación, fracturación hidráulica y coiled tubing (unidad de inyección de nitrógeno).

Tanto para el GES WODRI-Obrero de patio como para el grupo de DRI-Perforador, el análisis de varianza mediante la prueba de significancia ANOVA sugiere que se puede inferir con altos niveles de confianza solo cuando el intervalo de confianza se amplía para 99%, con lo cual, aunque en términos estadísticos la estimación puede ser menos precisa que con un nivel de confianza del 95%, la ampliación del intervalo de confianza ayuda a disminuir la probabilidad de error tipo 1 y a establecer estadísticos que permiten realizar inferencias para tales colectivos de trabajadores. A mayor seguridad, menor precisión.

La DEG de los GES WO-Aparejador y WAT-Encuellador es superior a 2 y dado que el tamaño de muestra en los dos casos es muy pequeño (6 mediciones), esta podría resultar insuficiente, de hecho, los resultados asociados a la dispersión de los datos respecto de la media, sugieren una ampliación de la misma (15-19).

Este estudio sirve como referente primario del perfil de exposición ocupacional a ruido en la población trabajadora del subsector de empresas que desarrollan actividades de perforación y reacondicionamiento (workover) de pozos de crudo y gas, y wáter (perforación de pozos de agua) en Colombia, siendo necesario en algunos casos la ampliación del tamaño de muestra y profundizar el análisis de variables adicionales que puedan estar relacionadas con los niveles de exposición a ruido, y los efectos físicos y psicosociales, que permitan obtener un mejor perfil epidemiológico de la población expuesta.

Los perfiles de exposición obtenidos también indican que la protección auditiva utilizada en el subsector de perforación y reacondicionamiento (workover) de pozos de petróleo y gas en muchos casos podría resultar insuficiente y con base en ello debería ser reevaluada por los empleadores; lo anterior, considerando aspectos técnicos, higiénicos y de gestión del riesgo, como por ejemplo: que los protectores auditivos no son seleccionados con base en estudios higiénicos con altos niveles de confianza (GES) que permitan conocer el perfil de riesgo y con ello garantizar la protección del trabajador en el peor caso probable; también que el suministro de la protección auditiva no se estaría complementando con actividades de control organizacional fundamentales para seguimiento, mejoramiento continuo, sostenimiento de los resultados y la realización de una gestión efectiva e integral del riesgo de exposición, actividades importantes tales como: respecto del protector auditivo y su uso, la supervisión, la capacitación, motivación y entrenamiento con la frecuencia adecuada, esto es en función del perfil de riesgo; pruebas de ajuste (Fit Testing) para determinación objetiva de la eficacia de atenuación del protector; diseño de indicadores que permitan conocer la tendencia y cultura de uso por GES y áreas críticas; seguimiento médico (SVE: Sistema de Vigilancia Epidemiológica para la Prevención de la HNIR); programa de monitoreo ambiental de la exposición, señalización, entre otras ⁽¹⁹⁾.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad del Rosario que apoyó el desarrollo del presente estudio y a las empresas que permitieron la utilización del registro histórico de mediciones ocupacionales.

BIBLIOGRAFÍA

1. DHHS A NIOSH Publication No. 98-126. Criteria for a recommended standard – Occupational Noise Exposure. Revised criteria 1998.
2. Revista de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, El Ruido En El Trabajo, Magazine No. 8. 2005. Departamento De Riesgos Y Políticas Técnicas, Health And Safety Executive, Reino Unido (UK), Androulla Michael.
3. Otárola F, Finkelstein A. Ruido Laboral y su impacto en salud. Cienc Trab. 2006; 8 (20):47-51.
4. Secretaria de Trabajo y Previsión Social. México. Información sobre Accidentes y Enfermedades de Trabajo Nacional 2001-2010 [en línea]. México: STPS; 2011 [consultado 20-Dic-2017]. Disponible en: <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/estadisticas/Nacional%202001-2010.pdf>.
5. Reddy RK, Welch D, Thorne P, Ameratunga S. Hearing protection use in manufacturing workers: A qualitative study. Noise Health 2012; 14:202-9.
6. Alberti PW, Symons F, Hyde ML. Occupational hearing loss. The significance of asymmetrical hearing thresholds. Acta Otolaryngol. 1979; 87:255–263.
7. Sliwinska-Kowalska M, Davis A. Noise-induced hearing loss. Noise Health 2012; 14:274-80.
8. La Estrategia para la Evaluación y Administración de la Exposición Ocupacional A Publication by American Industrial Hygiene Association –AIHA-.
9. ISO 9612-2009. Acústica: Determinación de la Exposición Ocupacional a Ruido por el Método de Ingeniería. Estrategia 3. Medición de una jornada completa.
10. INSHT. España. Nota Técnica de Prevención NTP-951. Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (II): tipos de estrategias. Según ISO 9612:2009.

11. Organización Internacional de Normalización. ISO 1999:1990. Acústica. Determinación de la exposición ocupacional a ruido y estimación de la pérdida auditiva inducida por ruido Ginebra; 1990.
12. IEC 61252:1993 Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters.
13. DHHS A NIOSH Publication No. 98-126. Criteria for a recommended standard – Occupational Noise Exposure. Revised criteria 1998. CHAPTER 1 Recommendations for a noise standard. 1.3 Noise Exposure Assessment. 1.3.3 Instrumentation.
14. TLV's and BEI's de ACGIH. Physical Agents. Threshold Limit Values: Acoustic. Noise. Página 130. 2018.
15. Occupational exposure sampling strategy manual. NIOSH. Publication No 77-173. Technical Appendix J. Confidence Limits and Confidence Levels.
16. Javier Jaramillo Álvarez. Tamaño apropiado de muestra para obtención de conclusiones válidas en una investigación.
17. American Industrial Hygiene Association. A strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures. Second Edition. Fairfax.VA 22031.USA. 2005.
18. Leidel, NA., Bush, KA., and Lynch JR (1977) Occupational exposure sampling strategy manual. NIOSH. Publication No 77-173 disponible en <http://www.cdc.gov/niosh/docs/77-173/>
19. Colombia. Ministerio de la protección Social. Guía de Atención Integral de Salud Ocupacional Basada en la Evidencia para Hipoacusia Neurosensorial Inducida por Ruido en el Trabajo (GATISO-HNIR). 2007.