



Ciencia y Poder Aéreo

ISSN: 1909-7050

ISSN: 2389-9468

Fuerza Aérea Colombiana

Ortiz Rodríguez, Alvaro Guillermo
Atenuación estimada del ruido en actividades de mantenimiento aeronáutico militar
Ciencia y Poder Aéreo, vol. 17, núm. 1, 2022, pp. 22-36
Fuerza Aérea Colombiana

DOI: <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.686>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=673573279002>

- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

LAEMA 

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Atenuación estimada del ruido en actividades de mantenimiento aeronáutico militar

| Fecha de recibido: 10 de enero del 2021 | Fecha de aprobación: 25 de abril del 2021 |

**Alvaro Guillermo
Ortiz Rodríguez**

Magíster en Gestión Ambiental

Fuerza Aérea Ecuatoriana
Ecuador

Rol de investigador: experimental y escritura

<https://orcid.org/0000-0002-9277-6097>

✉ alvaroortizr0@gmail.com

Cómo citar este artículo: Ortiz Rodríguez, A. G. (2022). Atenuación estimada del ruido en actividades de mantenimiento aeronáutico militar. *Ciencia y Poder Aéreo*, 17(1), 22-36. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderareo.686>



Atenuación estimada del ruido en actividades de mantenimiento aeronáutico militar

Resumen: Las actividades dentro del campo de la aviación militar están sujetas a diferentes factores de riesgo, entre ellos el ruido en muchos casos, como en las actividades de mantenimiento o el producido por la propia aeronave, por lo que la única medida de prevención constituye el uso de elementos de protección. Sin embargo, es preciso estimar cuál es la reducción que brindan estos dispositivos y verificar si se enmarca dentro de los límites permitidos. Para ello, en esta investigación, se parte de niveles de presión sonora obtenidos en los talleres de cinco bases aéreas, mediante un sonómetro integrador de banda ancha CASELLA SERIE CEL-620 A; se evaluaron tres diferentes protectores de copa con los métodos NIOSH, HML y SNR para calcular la atenuación teórica, utilizando los parámetros disponibles en los catálogos de los fabricantes para después verificar estadísticamente tanto el tipo de protector más adecuado, como el método más idóneo de aplicación. En cuanto a la reducción de niveles de ruido calculado con los métodos HML y SNR, estos resultaron ser menores a 60 dB, considerado como una protección excesiva, y difieren hasta en 23,95 % de la atenuación con la metodología más conservadora NIOSH, según la cual ciertas actividades requieren el uso de protección auditiva simultánea con tapones de inserción y orejeras. Los resultados con este último método establecieron una reducción adicional de 1 dB con el protector A1 respecto a los otros.

Palabras clave: contaminación acústica; mantenimiento de aeronaves; protectores auditivos; ruido aeronáutico; salud ocupacional; seguridad industrial.

Estimated noise reduction in military aeronautical maintenance activities

Abstract: Activities in the field of military aviation are subject to different risk factors, including noise in many cases, such as in maintenance activities or the noise produced by the aircraft itself, so the only preventive measure is the use of protective elements. However, it is necessary to estimate the reduction provided by these devices and verify whether it is within the permitted limits. For this purpose, this research starts from sound pressure levels obtained in the workshops of five air bases, using CASELLA SERIE CEL-620 A broadband integrating sound level meter. Three different cup protectors were evaluated with the NIOSH, HML and SNR methods to calculate the theoretical attenuation, using the parameters available in the manufacturers' catalogs to then statistically verify both the most appropriate type of protector and the most suitable application method. Regarding noise reduction levels calculated with the HML and SNR methods, these turned out to be less than 60 dB, considered as excessive protection, and differed by up to 23.95% from the attenuation with the more conservative NIOSH methodology, according to which certain activities require the use of simultaneous hearing protection with insertion earplugs and earmuffs. The results with the latter method established an additional 1 dB reduction with protector A1 over the others.

Keywords: Aeronautical noise; aircraft maintenance; ear protectors; industrial safety; noise pollution; occupational health.

Atenuação estimada de ruído em atividades de manutenção aeronáutica militar

Resumo: As atividades no âmbito da aviação militar estão sujeitas a diversos fatores de risco, incluindo ruído em muitos casos, como durante as atividades de manutenção ou o ruído produzido pela própria aeronave, pelo que a única medida preventiva é o uso de elementos de proteção. No entanto, é necessário estimar a redução proporcionada por esses dispositivos e verificar se está dentro dos limites em cinco bases aéreas, utilizando um sonómetro integrador de banda larga CASELLA SERIE CEL-620 A. Foram avaliados três diferentes protetores de coroa com os métodos NIOSH, HML e SNR para calcular a atenuação teórica, utilizando os parâmetros disponíveis nos catálogos dos fabricantes. Posteriormente verificou-se estatisticamente o tipo de protetor mais adequado e o método de aplicação mais pertinente. No que diz respeito à redução dos níveis de ruído calculados com os métodos HML e SNR, estes revelaram-se inferiores a 60 dB, considerando-se uma proteção excessiva, e diferem em até 23,95 % da atenuação com a metodologia mais conservadora, NIOSH, segundo a qual determinadas atividades exigem o uso simultâneo de proteção auditiva com tampões de inserção e protetores auriculares. Os resultados com este último método estabeleceram uma redução adicional de 1 dB com o protetor A1 em relação aos demais.

Palavras-chave: Manutenção de aeronave; poluição sonora; protetores auditivos; ruído aeronáutico; saúde ocupacional; segurança industrial.

Introducción

La contaminación sonora es uno de los aspectos más preocupantes en las actividades humanas y, de manera especial, en las del sector industrial (como la minería y la construcción) y del sector hidrocarburífero, debido a los ruidos generados por equipos, maquinarias o tránsito de vehículos pesados, que eventualmente pueden afectar la salud de las personas (Retamozo, 2013). Es así como a nivel mundial en los últimos años se han adoptado medidas con el objetivo de reducir las posibles lesiones en el ambiente laboral, con énfasis en la responsabilidad de los empleadores, actualizando la normativa y sobre todo haciendo partícipe al trabajador en las políticas adoptadas (Stolk *et al.*, 2012).

Las actividades dentro del ambiente militar, de igual manera, están sujetas a varios factores de riesgo a los que está expuesto el personal, pues el armamento, los vehículos tácticos, los barcos y los aviones producen ruidos peligrosos debido a la potencia y velocidad requeridas (Hecht y Hammill, 2019). Es así como en el área de mantenimiento aeronáutico se cuenta con diferentes fuentes emisoras de ruido e incluso la propia aeronave, en ciertas circunstancias, se convierte en el elemento generador de niveles importantes de presión sonora, como en el caso de los chequeos prevuelo o en la corrida de motores para el levantamiento de reportajes de los aviones.

Las medidas para la reducción de los niveles de contaminación acústica pueden ser variadas; en unos casos, orientadas a modificaciones en la fuente y, en otros, encaminadas a la protección del receptor, como el uso de elementos de protección auditiva; aunque esta opción debería ser la última y aplicada de manera temporal, sin embargo, muchas veces resulta ser la única alternativa (Instituto de Seguridad Minera, 2016). Dichos protectores pueden ser de diferentes tipos: los denominados “de inserción”, que taponan el canal auditivo; y los que cubren el pabellón auditivo, llamados comúnmente “de copa”, cuyo uso depende de la necesidad y comodidad del trabajador, pero sobre todo del nivel de atenuación requerido (Valero-Pacheco *et al.*, 2014). En ciertos casos, incluso es necesario fabricar

taponos personalizados, mucho más eficientes ante la exposición a ruidos de alta intensidad (Coello *et al.*, 2017).

La salud auditiva del combatiente está en riesgo con frecuencia, pese al uso de elementos de protección, debido a niveles elevados de exposición acústica, como el caso de las armas de fuego que alcanzan los 115 dB (Heupa *et al.*, 2011). Así mismo, el mantenimiento de aeronaves militares tiene ciertas particularidades que lo diferencian de la aviación civil, ya que en la línea de vuelo de la aviación supersónica, por ejemplo, la emisión de ruido puede superar los 130 dB (Corbalán *et al.*, 2019) en este caso, las medidas en la fuente emisora resultan imprácticas, ya que dependen de la propia configuración de la aeronave y su fabricación, por lo que la opción a implementar es el uso adecuado de protectores auditivos.

La reducción de ruido que brindan estos dispositivos puede garantizar una protección eficaz, siempre y cuando no obstaculicen la percepción del habla o de señales de peligro en la actividad laboral (Instituto de Seguridad Pública de Cataluña [ISPC], 2019). Se establece como “atenuación sonora adecuada” aquella en la que el nivel de presión sonora efectivo LA’ es menor a 80 dB, pero mayor a 60 dB (Aceituno *et al.*, 2015). El Ejército de Estados Unidos incluso ha ideado dispositivos electrónicos sofisticados que permiten el paso de sonidos de bajo nivel y bloquean aquellos peligrosos, atenuándolos hasta los 30 dB, pero que ayudan a mantener la conciencia situacional del entorno (Tepe *et al.*, 2017).

Los métodos para calcular el grado de disminución de la contaminación acústica a los que está expuesto un operario son diversos; entre ellos destacan los métodos HML, SNR y NRR (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2014; Upegui-Rincón *et al.*, 2019). Por ello, una vez obtenidos los valores de presión sonora diario equivalente LAeqD y los parámetros especificados por el fabricante, es posible estimar los niveles a los que está sometido el personal y si estos se enmarcan dentro de la normativa, que para el caso de España se establece en 87 dB con un nivel pico en 140 dB (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo [INSHT], 2006). La normativa colombiana y ecuatoriana coinciden en 85 dB como límite en cada

jornada para el desarrollo de actividades que no impliquen labores de concentración o cálculo, en cuyo caso el límite se reduce a 70 dB (Ministerio de Trabajo y Ministerio de Salud y Protección Social, 1990; Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, 2016).

La atenuación teórica o estimada según los métodos ya descritos puede diferir sustancialmente en sus resultados; incluso, no existe una estandarización internacional de la información a ser proporcionada por el fabricante, situación que podría llevar a errores en perjuicio de la salud del operario (Rodríguez, 2003). Por ello, ciertos estudios se han orientado a realizar comparaciones entre dichos valores teóricos y los valores experimentales, tal como el efectuado por Upegui-Rincón *et al.* (2019), en el que la metodología con base en el nivel de reducción de ruido NRR, planteada por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (NIOSH, por sus siglas en inglés), resultó ser la que más se acerca a los niveles de protección experimentales.

En el ámbito de las operaciones aéreas, el estudio realizado en Chile por Upegui-Rincón *et al.* (2019), aplicando el método NRR, obtuvo estimaciones de la atenuación conseguida con la utilización de protección auditiva por parte de la tripulación de aeronaves modelo Cessna 172N, RV-9A y Piper 180; se determinó que tres de los ocho tipos de protectores evaluados resultaron insuficientes, superando los 80 dB establecidos en la normativa chilena. En el caso de tripulaciones de aeronaves, puede ser mucho más óptimo el uso de auriculares de cancelación de ruido activo, que son capaces de filtrar el ruido del motor de un avión (Caputo y Correa, 2018).

Las actividades en el ambiente aeronáutico militar y en especial en el área de mantenimiento de aeronaves tienen ciertas particularidades, debido al tipo de fuente generadora de ruido. Se usan maquinarias y equipos diferentes a otras áreas industriales, y la aeronave se constituye en la fuente principal generadora de ruido, en el caso de despacho, recepción o prueba de motores, procesos en los cuales el personal técnico está expuesto a importantes niveles de contaminación sonora e incluso puede ser preciso la utilización simultánea de protectores tipo orejera y tapones. Para un

cálculo estimado de su atenuación respectiva, se han propuesto fórmulas empíricas que intentan acercarse a la reducción de ruido global que se logra con estos dispositivos (Gwenolé NEXER, 2013)

Aunque en la investigación realizada en el año 2018, en los talleres de mantenimiento aeronáutico en Latacunga, Ecuador, no se superaron los 80 dB para las actividades de reparaciones, análisis de fallas, pintura, etc. (Copara & Morales, 2017), la aviación militar está constituida por aeronaves de combate supersónicas, de combate a turbohélice, de transporte, de entrenamiento y helicópteros que requieren un monitoreo, registro y control constante del factor ruido, con lo que es necesario verificar si los elementos de protección auditivos que se están utilizando son los más idóneos y adecuados.

El cálculo de la atenuación proporcionada por los dispositivos protectores resulta fundamental desde el punto de vista de seguridad operacional y de salud ocupacional, pues la detección oportuna de algún tipo de falencia permite tomar los correctivos necesarios, con el fin de generar un ambiente laboral adecuado para el personal inmiscuido en las actividades de la aviación militar, lo que a su vez permite minimizar el riesgo en las operaciones.

Metodología

Con un sonómetro integrador de banda ancha CASSELLA SERIE CEL-620 A debidamente calibrado, se hicieron mediciones de ruido en los hangares y las plataformas de las cinco bases aéreas ecuatorianas donde se realiza mantenimiento de primero y segundo escalón, tomando 5 muestras en cada punto de 15 segundos cada una, a fin de obtener un promedio de nivel de presión sonora equivalente LAeqD. La altura del sonómetro se fijó en 1,50 m, se utilizó una pantalla protectora y se evitó captar el ruido en presencia de condiciones atmosféricas adversas como lluvias o viento con velocidad superior a 5 m/s, conforme con el Libro IX del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2015).

Aplicando la ecuación (1), establecida en la normativa española mediante el Real Decreto 286/2006 de 10 de marzo, se calcularon los niveles de exposición diario equivalente LAeqD, de acuerdo con los tiempos de exposición por cada ubicación, y se redondeó el valor obtenido al entero más próximo (INSHT, 2006).

$$LAeqD = LAeqT + 10 \lg \left(\frac{T}{8} \right) \quad (1)$$

Donde:

LAeqD: Nivel de exposición diario equivalente en ponderación A

LAeqT: Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A

T: Tiempo de exposición al ruido en horas/día

Luego se seleccionaron tres tipos de dispositivos o protectores auditivos de diferentes marcas, que la Fuerza Aérea entregó como dotación al personal, a fin de comparar la eficiencia y el nivel de atenuación para aquellas actividades que generaron ruidos superiores a los 70 dB, límite establecido para actividades que involucren alto grado de concentración o cálculo, según el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social y el Seguro General de Riesgos del Trabajo (2016). Dichos valores de ruido fueron tabulados para cada una de las unidades militares; los valores estimados de atenuación se calcularon aplicando las metodologías HML y SNR, establecidas en el INEN (2014), y el procedimiento NIOSH, citado en Upegui-Rincón *et al.* (2019), utilizando las características técnicas obtenidas de los catálogos de los fabricantes y registradas en la tabla 1.

Tabla 1.
Parámetros para estimación de la atenuación del ruido

Tipo	H (dB)	M (dB)	L (dB)	SNR (dB)	NRR (dB)
A1	40	32	23	35	30
A2	31,3	32,2	25,8	32	29
A3	33	31	25	33	28

Fuente: catálogos de los fabricantes.

En los métodos HML y SNR, a partir de los datos L_{Ceq}, tomados con el sonómetro, se obtuvieron los niveles de presión sonora diarios equivalentes en ponderación C, L_{CeqD}, mediante la ecuación (1), ya que las expresiones para el cálculo de la reducción de ruido PNR dependen de la diferencia entre L_{CeqD} y LAeqD. Cuando dicha diferencia resultó ser mayor a 2 dB, se aplicó la fórmula (2), mientras que si la diferencia fue menor o igual a 2 dB, se utilizó la fórmula (3).

$$PNR = M - \left(\frac{H-M}{4} \right) * (LCeqD - LAeqD - 2) \quad (2)$$

$$PNR = M - \left(\frac{M-L}{8} \right) * (LCeqD - LAeqD - 2) \quad (3)$$

Donde:

M: Valor de atenuación a media frecuencia del protector auditivo

H: Valor de atenuación a alta frecuencia del protector auditivo

LCeqD: Nivel de presión sonora efectivo diario ponderado C sin protector

LAeqD: Nivel de presión sonora efectivo diario ponderado A sin protector

L: Valor de atenuación a baja frecuencia del protector auditivo.

Las ecuaciones (4) y (5) fueron utilizadas para estimar la disminución del ruido percibido por el operador, con la metodología SNR y NIOSH (NRR).

$$LA'eqD = LCeqD - SNR \quad (4)$$

$$L^{\wedge} A'eqD = LAeqD - ((NRR - 7) * 0.75) \quad (5)$$

Donde:

LA'eqD: Nivel de presión sonora efectivo diario ponderado utilizando el protector auditivo

LCeqD: Nivel de presión sonora efectivo diario ponderado C sin protector

SNR: Reducción del ruido simplificado del protector auditivo

LAeqD: Nivel de presión sonora efectivo diario ponderado A sin protector

NRR: Nivel de reducción de ruido

A fin de dar a conocer la idoneidad de los dispositivos y precisar su atenuación conforme con lo establecido en Aceituno *et al.* (2015), a los valores calculados y tabulados se les asignó el color magenta si la protección es excesiva, el color verde para una protección adecuada y el color rojo cuando dicha protección es insuficiente. Para complementar, se elaboraron gráficos comparativos de la atenuación de los niveles de ruido, calculada con los distintos métodos, para cada tipo de mantenimiento de aeronave, utilizando el *software* Microsoft Excel. En vista de que el método NIOSH (NRR) es el que considera mayor cantidad de incertidumbres existentes entre la protección calculada de manera teórica y la protección real, y adicionalmente se aproxima de mejor manera a los resultados experimentales, se tomó como referencia para calcular las diferencias relativas en la atenuación.

Después, considerando un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$), se realizó el análisis estadístico ANOVA en el lenguaje de programación R para los valores de ruido atenuados calculados según el método HML de los tres protectores auditivos, así como diagramas de cajas para verificar la variabilidad y la dispersión existentes en la atenuación calculada con los otros métodos.

Resultados

Atenuación del ruido en el mantenimiento de aeronaves de entrenamiento

De los diecisiete puntos evaluados en los hangares de mantenimiento de aeronaves de entrenamiento, ocho arrojaron valores superiores a 70 dB, cuya ubicación y actividad se visualizan en la figura 1 y en la tabla 2. Los niveles de ruido atenuado, estimados con los tres métodos propuestos para los distintos protectores, se muestran en la tabla 3, utilizando el código de colores establecido en la metodología, así como el gráfico comparativo con los límites adecuados y excesivos en la figura 2.

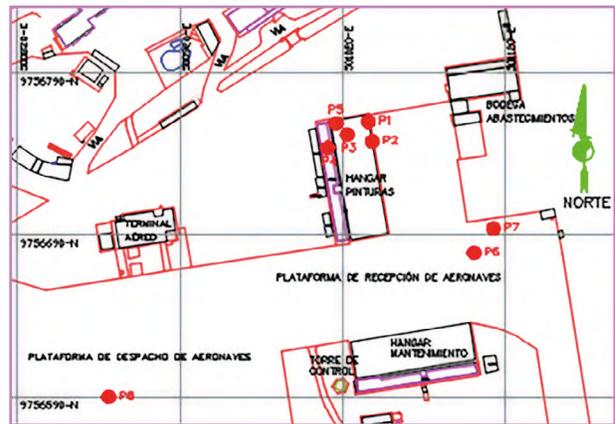


Figura 1. Ubicación de los puntos de medición de ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de entrenamiento

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2.

Puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de entrenamiento

Punto	Ubicación	Actividad	LAeqD (dB)
1	Pinturas	Soplete en funcionamiento	78
2	Pinturas	Soplete en funcionamiento	78
3	Pinturas	Compresor encendido	82
4	Oficina pinturas	Compresor encendido	81
5	Entrada taller pinturas	Compresor encendido	85
6	Plataforma	Recepción aeronave parte lateral	75
7	Plataforma	Recepción aeronave parte posterior	71
8	Plataforma	Remolque aeronave	72

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.

Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de entrenamiento

Método	Puntos Protector	1	2	3	4	5	6	7	8
		Ruido atenuado (dB)							
HML	A1	46	47	50	45	49	46	45	47
	A2	46	47	50	49	53	45	43	45
	A3	47	47	50	45	49	46	45	47
SNR	A1	45	46	49	46	50	45	43	45
	A2	48	49	52	49	53	48	46	48
	A3	47	46	49	46	50	45	43	45
NIOSH	A1	61	61	65	64	68	58	54	55
	A2	62	62	66	65	69	59	55	56
	A3	62	62	66	65	69	59	55	56

Fuente: elaboración propia.

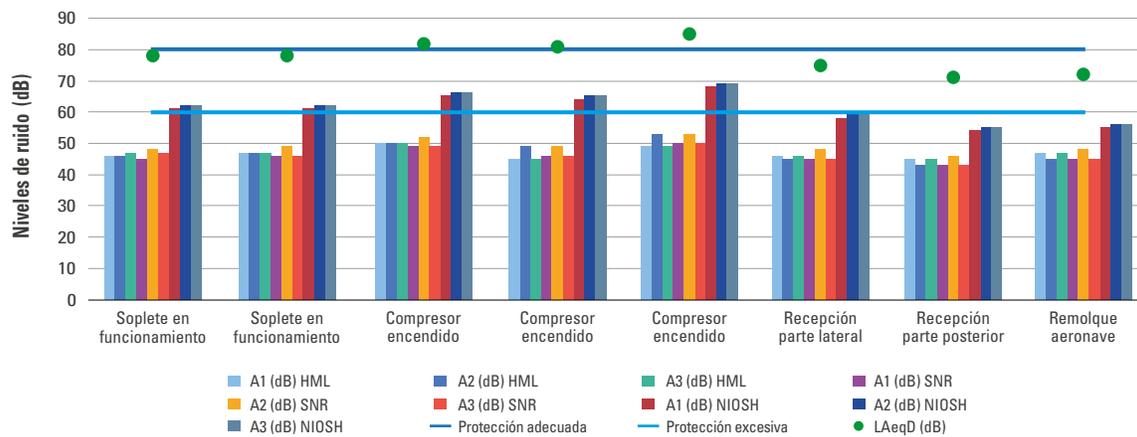


Figura 2. Comparativo de niveles de ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de entrenamiento en relación con los límites
Fuente: elaboración propia.

Atenuación del ruido en el mantenimiento de helicópteros

En las actividades de mantenimiento de aeronaves de ala rotatoria, se evaluaron dieciocho puntos, ocho de los cuales registran ruidos superiores a 70 dB de conformidad con la figura 3 y la tabla 4. En la tabla 5, se verifica el ruido atenuado calculado y su gráfico comparativo en la figura 4.

Tabla 4.
Puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de ala rotatoria

Punto	Ubicación	Actividad	LAeqD (dB)
1	Hangar 1	Despacho aeronave vigilancia USA	74
2	Hangar 1	Despacho aeronave vigilancia USA	79
3	Pinturas	Soplete en funcionamiento	86
4	Hangar 2	Sin actividad	74
5	Hangar 2	Sin actividad	74
6	Hangar 2	Sin actividad	72
7	Plataforma	Despacho de aeronave helicóptero	72
8	Plataforma	Despacho de aeronave helicóptero	76

Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Ubicación de los puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de ala rotatoria

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.
Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de ala rotatoria

Método	Protector	Puntos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
HML	A1	40	43	46	53	48	47	40	47
	A2	42	47	55	50	46	45	40	46
	A3	40	43	46	53	48	47	40	47
SNR	A1	40	44	49	51	46	40	44	49
	A2	43	47	52	54	49	43	47	52
	A3	40	44	49	51	46	40	44	49
NIOSH	A1	57	62	69	57	57	55	55	59
	A2	58	63	70	58	58	56	56	60
	A3	58	63	70	58	58	56	56	60

Fuente: elaboración propia.

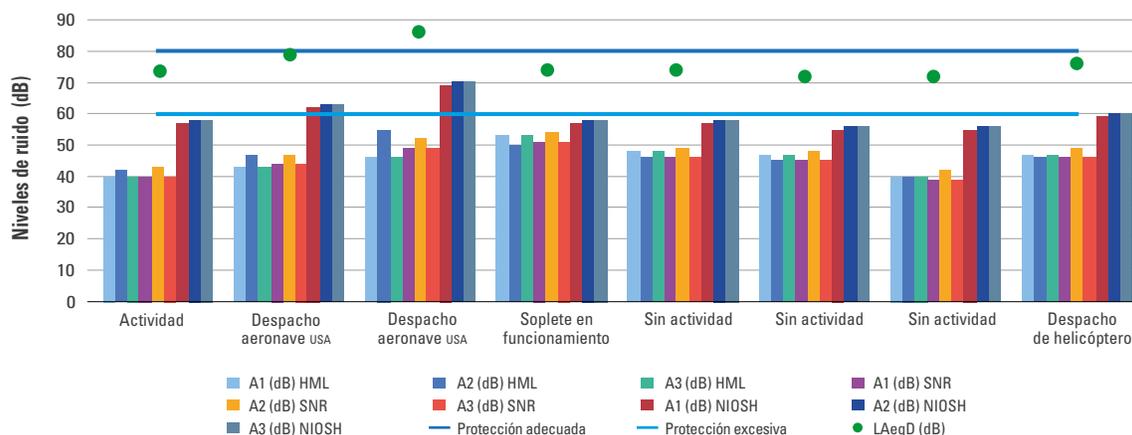


Figura 4. Comparativo del ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de ala rotatoria en relación con los límites

Fuente: elaboración propia.

Ruido en el mantenimiento de aeronaves supersónicas

De los quince puntos monitoreados, nueve resultaron con ruidos superiores a 70 dB, cuya ubicación se visualiza en la figura 5 y sus actividades, en la tabla 10; los valores, considerando su atenuación y su gráfico, se visualizan en la tabla 11 y en la figura 6, respectivamente.

Tabla 10.

Puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves supersónicas

Punto	Ubicación	Actividad	LAeqD (dB)
1	Estructuras	Remachado y extracción de tornillos	84
2	Hangar	Encendida planta enfriado de aeronave	89
3	Hangar	Encendida planta presión hidráulica de aeronave	74
4	Silo sur línea de vuelo	Prevuelo encendido de aeronave	77
5	Silo sur línea de vuelo	Prevuelo encendido de aeronave	96
6	Silo sur línea de vuelo	Prevuelo encendido de aeronave	103
7	Silo sur línea de vuelo	Prevuelo encendido de aeronave	105
8	Silo sur línea de vuelo	Prevuelo encendido de aeronave	97
9	Silo sur línea de vuelo	Inicia carreteo de aeronave	72

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Ubicación de los puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves supersónicas

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11.

Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves supersónicas

Método	Protector	Puntos								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
HML	A1	48	57	43	50	65	71	73	66	42
	A2	52	57	43	48	65	71	73	66	41
	A3	52	57	43	50	65	71	73	66	42
SNR	A1	49	56	42	48	64	70	72	65	41
	A2	52	59	45	51	67	73	75	68	44
	A3	51	56	42	48	64	70	72	65	41
NIOSH	A1	67	72	57	60	79	86	88	80	55
	A2	68	73	58	61	80	87	89	81	56
	A3	68	73	58	61	80	87	89	81	56

Fuente: elaboración propia.

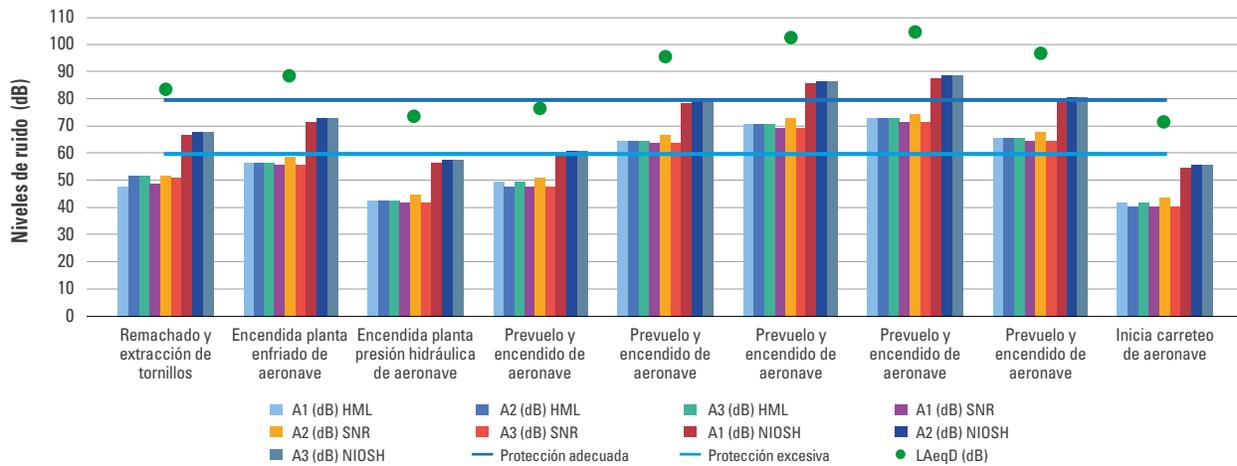


Figura 6. Comparativo del ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves supersónicas en relación con los límites
Fuente: elaboración propia.

Ruido en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice

En las figuras 7 y 8 y en la tabla 12, se muestran los ocho puntos de los catorce monitoreados que superaron los 70 dB, así como en la tabla 13 se registran los estimados de ruido atenuado con su gráfica correspondiente en la figura 9.

Tabla 12.
Puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice

Punto	Ubicación	Actividad	LAeqD (dB)
1	Línea de vuelo	Encendido aeronave	87
2	Línea de vuelo	Encendido aeronave	90
3	Hangar 1	Encendido compresor lavado	75
4	Estructuras	Remachadora	93
5	Hangar 2	Búsqueda de fuga de combustible	79
6	Exterior del hangar	Compresor para sistema hidroneumático centralizado	75
7	Exterior equipos de apoyo en tierra	7 equipos encendidos	78
8	Exterior equipos de apoyo en tierra	2 equipos encendidos	72

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13.
Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice

	Puntos	1	2	3	4	5	6	7	8	
Método	Protector	Ruido atenuado (dB)								
		A1	55	58	46	57	43	44	54	50
		A2	55	58	45	61	47	44	51	47
SNR	A1	54	57	45	58	44	43	52	48	
	A2	57	60	48	61	47	46	55	51	
	A3	54	57	45	58	44	43	52	48	
NIOSH	A1	70	73	58	76	62	58	61	55	
	A2	71	74	59	77	63	59	62	56	
	A3	71	74	59	77	63	59	62	56	

Fuente: elaboración propia.

Ruido en el mantenimiento de aeronaves de transporte

Para el caso de aeronaves de transporte, el 50 % de valores, es decir, seis puntos registrados en la tabla 14 y en la figura 10, superaron los 70 dB; los ruidos atenuados estimados se visualizan en la tabla 15 y el gráfico comparativo se muestra en la figura 11.

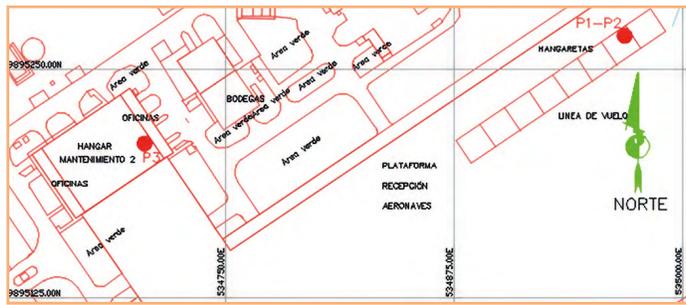


Figura 7. Ubicación de los puntos 1 a 3, con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice

Fuente: elaboración propia.

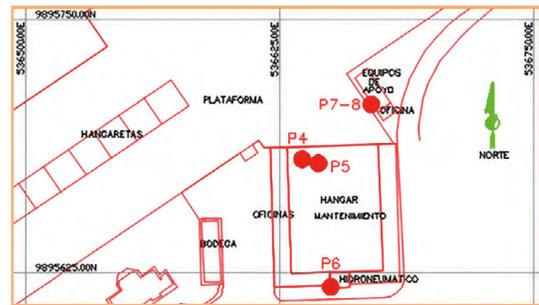


Figura 8. Ubicación de los puntos 4 a 8, con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice

Fuente: elaboración propia.

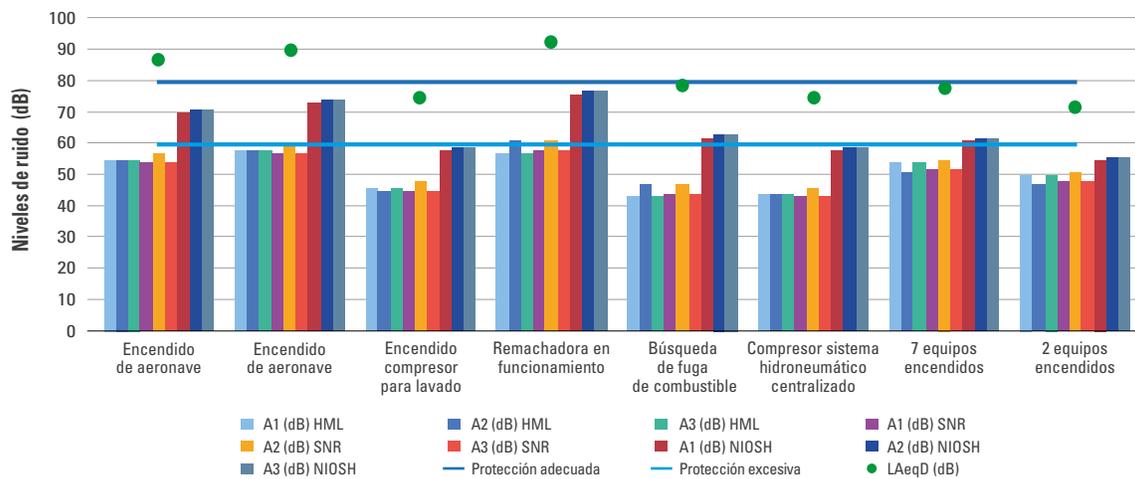


Figura 9. Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de combate a turbohélice en relación con los límites

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de transporte

Punto	Ubicación	Actividad	LAeqD (dB)
1	Estructuras	Remachadora en funcionamiento	91
2	Pinturas	Extractor de partículas en funcionamiento	88
3	Plataforma - parte posterior de aeronave	Prevuelo de aeronave 1 APU encendida	87
4	Plataforma - parte posterior de aeronave	Prevuelo de aeronave 1 APU encendida	91
5	Plataforma - parte delantera	Prevuelo de aeronave 2 APU encendida	84
6	Plataforma - parte delantera	Prevuelo de aeronave 2 APU encendida	90

Fuente: elaboración propia.

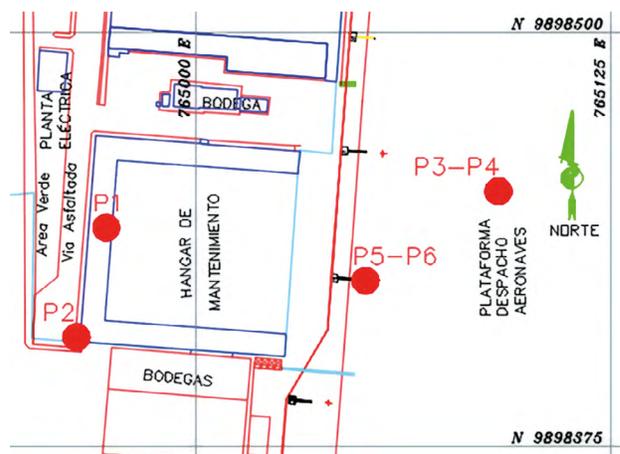


Figura 10. Ubicación de puntos con ruido superior a 70 dB en el mantenimiento de aeronaves de transporte

Fuente: elaboración propia.

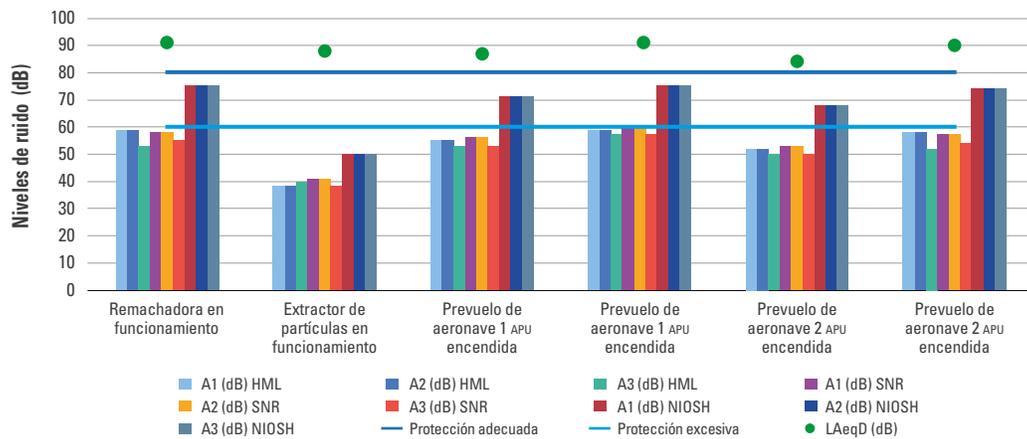


Figura 11. Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de transporte en relación con los límites

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Ruido atenuado en el mantenimiento de aeronaves de transporte

Método	Puntos Protector	Ruido atenuado (dB)					
		1	2	3	4	5	6
hml	A1	59	38	55	59	52	58
	A2	59	38	55	59	52	58
	A3	53	40	53	57	50	52
snr	A1	58	41	56	60	53	57
	A2	58	41	56	60	53	57
	A3	55	38	53	57	50	54
niosh	A1	75	50	71	75	68	74
	A2	75	50	71	75	68	74
	A3	75	50	71	75	68	74

Fuente: elaboración propia.

La diferencia relativa de atenuación NIOSH-MHL y NIOSH-SNR para los tres protectores auditivos se visualiza en las tablas 16 y 17, y de manera gráfica en las figuras 12 y 13.

Tabla 16. Diferencia de atenuación relativa NIOSH-MHL

Mtto. Aeronave	Protector A1		Protector A2		Protector A3	
	NIOSH-MHL (dB)	%	NIOSH-MHL (dB)	%	NIOSH-MHL (dB)	%
Entrenamiento	15,00	24,59	16,00	25,81	15,00	24,19
	14,00	22,95	15,00	24,19	15,00	24,19
	15,00	23,08	16,00	24,24	16,00	24,24
	19,00	29,69	16,00	24,62	20,00	30,77
	19,00	27,94	16,00	23,19	20,00	28,99

Continúa

Mtto. Aeronave	Protector A1		Protector A2		Protector A3	
	NIOSH-MHL (dB)	%	NIOSH-MHL (dB)	%	NIOSH-MHL (dB)	%
Ala rotatoria	12,00	20,69	14,00	23,73	13,00	22,03
	9,00	16,67	12,00	21,82	10,00	18,18
	8,00	14,55	11,00	19,64	9,00	16,07
	17,00	29,82	16,00	27,59	18,00	31,03
	19,00	30,65	16,00	25,40	20,00	31,75
	23,00	33,33	15,00	21,43	24,00	34,29
Supersónicos	4,00	7,02	8,00	13,79	5,00	8,62
	9,00	15,79	12,00	20,69	10,00	17,24
	8,00	14,55	11,00	19,64	9,00	16,07
	15,00	27,27	16,00	28,57	16,00	28,57
	12,00	20,34	14,00	23,33	13,00	21,67
	19,00	28,36	16,00	23,53	16,00	23,53
	15,00	20,83	16,00	21,92	16,00	21,92
	14,00	24,56	15,00	25,86	15,00	25,86
	10,00	16,67	13,00	21,31	11,00	18,03
	14,00	17,72	15,00	18,75	15,00	18,75
	15,00	17,44	16,00	18,39	16,00	18,39
	15,00	17,05	16,00	17,98	16,00	17,98
	14,00	17,50	15,00	18,52	15,00	18,52
	13,00	23,64	15,00	26,79	14,00	25,00
Combate turbohélice	15,00	21,43	16,00	22,54	16,00	22,54
	15,00	20,55	16,00	21,62	16,00	21,62
	12,00	20,69	14,00	23,73	13,00	22,03
	19,00	25,00	16,00	20,78	20,00	25,97
	19,00	30,65	16,00	25,40	20,00	31,75
	14,00	24,14	15,00	25,42	15,00	25,42
	7,00	11,48	11,00	17,74	8,00	12,90
5,00	9,09	9,00	16,07	6,00	10,71	
Transporte	16,00	21,33	16,00	21,33	22,00	29,33
	12,00	24,00	12,00	24,00	10,00	20,00
	16,00	22,54	16,00	22,54	18,00	25,35
	16,00	21,33	16,00	21,33	18,00	24,00
	16,00	23,53	16,00	23,53	18,00	26,47
	16,00	21,62	16,00	21,62	22,00	29,73
	Media	21,54	Media	22,27	Media	22,92

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17.

Diferencia de atenuación relativa NIOSH-SNR

Aeronave	Protector A1		Protector A2		Protector A3	
	NIOSH-SNR (dB)	%	NIOSH-SNR (dB)	%	NIOSH-SNR (dB)	%
Entrenamiento	16,00	26,2	14,00	22,6	15,00	24,2
	15,00	24,6	13,00	21,0	16,00	25,8
	16,00	24,6	14,00	21,2	17,00	25,8
	18,00	28,1	16,00	24,6	19,00	29,2
	18,00	26,5	16,00	23,2	19,00	27,5
	13,00	22,4	11,00	18,6	14,00	23,7
	11,00	20,4	9,00	16,4	12,00	21,8
	10,00	18,2	8,00	14,3	11,00	19,6
Ala rotatoria	17,00	29,8	15,00	25,9	18,00	31,0
	18,00	29,0	16,00	25,4	19,00	30,2
	20,00	29,0	18,00	25,7	21,00	30,0
	6,00	10,5	4,00	6,9	7,00	12,1
	11,00	19,3	9,00	15,5	12,00	20,7
	10,00	18,2	8,00	14,3	11,00	19,6
	16,00	29,1	14,00	25,0	17,00	30,4
	13,00	22,0	11,00	18,3	14,00	23,3
Supersónicos	18,00	26,9	16,00	23,5	17,00	25,0
	16,00	22,2	14,00	19,2	17,00	23,3
	15,00	26,3	13,00	22,4	16,00	27,6
	12,00	20,0	10,00	16,4	13,00	21,3
	15,00	19,0	13,00	16,3	16,00	20,0
	16,00	18,6	14,00	16,1	17,00	19,5
	16,00	18,2	14,00	15,7	17,00	19,1
	15,00	18,8	13,00	16,0	16,00	19,8
Combate turbohélice	14,00	25,5	12,00	21,4	15,00	26,8
	16,00	22,9	14,00	19,7	17,00	23,9
	16,00	21,9	14,00	18,9	17,00	23,0
	13,00	22,4	11,00	18,6	14,00	23,7
	18,00	23,7	16,00	20,8	19,00	24,7
Combate turbohélice	18,00	29,0	16,00	25,4	19,00	30,2
	15,00	25,9	13,00	22,0	16,00	27,1
	9,00	14,8	7,00	11,3	10,00	16,1
Transporte	7,00	12,7	5,00	8,9	8,00	14,3
	17,00	22,7	17,00	22,7	20,00	26,7
	9,00	18,0	9,00	18,0	12,00	24,0
Transporte	15,00	21,1	15,00	21,1	18,00	25,4
	15,00	20,0	15,00	20,0	18,00	24,0
	15,00	22,1	15,00	22,1	18,00	26,5
	17,00	23,0	17,00	23,0	20,00	27,0
	Media	22,40	Media	19,45	Media	23,95

Fuente: Elaboración propia.

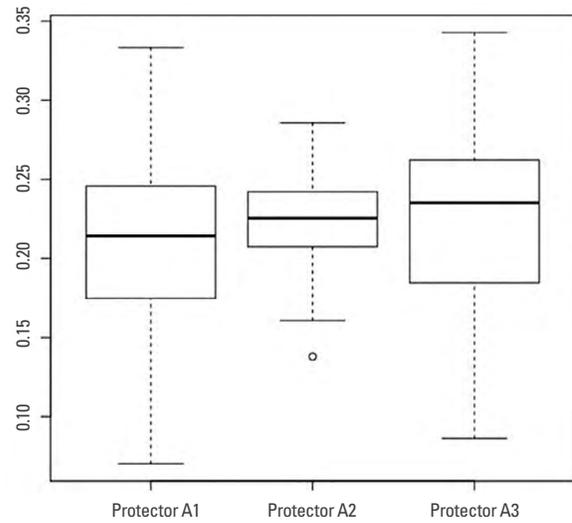


Figura 12. Diagrama de cajas para la diferencia de atenuación relativa método NIOSH y HML para los tres protectores auditivos

Fuente: elaboración propia.

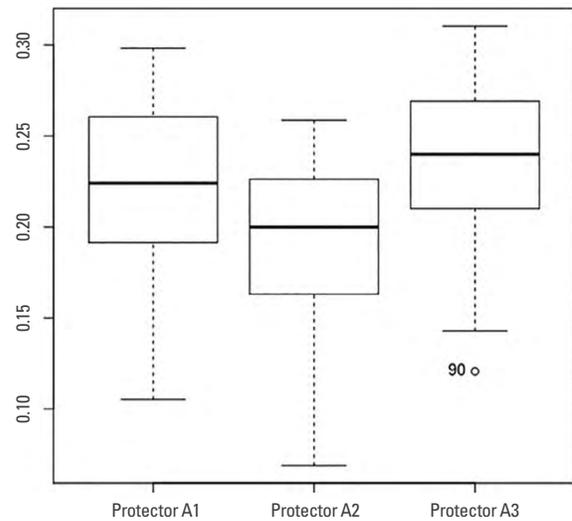


Figura 13. Diagrama de cajas para la diferencia entre el ruido atenuado según método NIOSH y SNR para los tres protectores auditivos

Fuente: elaboración propia.

El análisis estadístico ANOVA, mediante el *software* R, para las atenuaciones con el método HML no arroja diferencias significativas para los tres protectores auditivos, con lo cual se obtiene un *p*-value de 0,505, mayor a α . Esto es ratificado con el Test de Tukey, conforme se observa en la tabla 18, según el cual los tres dispositivos ofrecen una protección similar.

Tabla 18.
Parámetros estadísticos ANOVA y Test de Tukey

Parámetro	p-value
ANOVA	0,505
Test de Tukey	Protector A1 = Protector A2 = Protector A3

Fuente: elaboración propia.

Discusión

Los niveles de ruido más elevados se presentan en el mantenimiento de la aviación supersónica, con un LAeqD de 105 dB, en el prevuelo y encendido de la aeronave; una situación similar ocurre en el prevuelo de la aeronave de combate a turbohélice cuando alcanza un LAeqD de 90 dB. Estos valores dependen de la configuración y fabricación propia del avión, por lo que las medidas de protección no pueden orientarse a la fuente emisora sino al receptor, con el uso de elementos de protección adecuados. Dicho uso, de igual forma, es requerido en actividades en la sección de estructuras y pinturas, donde se alcanzan 93 dB y 88 dB, lo cual las convierte en áreas críticas y comunes en todas las unidades militares evaluadas.

Un total de 39 puntos de los 72 evaluados, que corresponden al 54,17 %, arroja valores de LAeqD mayores a 70 dB; y aunque las actividades inherentes, en su mayoría, no implican un alto grado de concentración o cálculo, en el caso de recepción de aeronaves resulta fundamental atenuar el ruido percibido hasta los 60 dB, considerada como una protección adecuada.

Los valores de atenuación estimados con los métodos HML resultan ser hasta 22,92 % mayores a los calculados con la metodología NIOSH (NRR); así mismo, se alcanza una atenuación hasta 23,95 % mayor con el método SNR, por lo cual los niveles de ruido atenuado reflejan valores menores a los 60 dB para el caso de labores de mantenimiento de aeronaves de entrenamiento, ala rotatoria, combate turbohélice y transporte, cuyo valor es considerado como una protección excesiva.

Para el caso del mantenimiento en la aviación supersónica, las dos actividades cuyo ruido percibido

calculado con el método NIOSH supera los 80 dB, pese al uso de protectores tipo orejera, sugieren la utilización adicional de tapones de inserción, mientras que según los métodos HML y SNR no sería necesario, lo cual estaría en contra de la seguridad del trabajador.

Conforme con los parámetros entregados por el fabricante y según los valores de SNR y NRR, el protector A1 resulta ser el más eficiente, cuyos niveles atenuados con el método NIOSH, en todos los casos, se reducen en 1 dB, en comparación con los protectores A2 y A3. No obstante, según el análisis de varianza, para el método HML los tres protectores auditivos brindan una similar protección, ya que las diferencias de atenuaciones relativas, según la aplicación del estadístico ANOVA, resultan tener medias iguales, con lo que se observa un valor atípico en el protector A2, correspondiente a una diferencia de atenuación relativa del 13,79 %, por debajo de la media del 22,27 %, determinado en la tabla 16.

Con respecto a las diferencias de atenuación entre el método NIOSH y el SNR, en la figura 7 se observa similar variabilidad y dispersión para los tres dispositivos, con un solo valor atípico en el protector A3, en vista de existir una diferencia de atenuación relativa porcentual del 12 %, mucho menor que la media global del 23,95 % mostrada en la tabla 23.

Conclusiones

Los mayores niveles de ruido diario equivalente al que está expuesto el personal técnico en el campo de la aeronáutica militar se presentan en la línea de vuelo de la aviación de combate supersónica y turbohélice, con 105 dB y 90 dB, respectivamente. Así mismo, se reflejan niveles importantes en el área de estructuras y pinturas con 93 dB y 88 dB, respectivamente, áreas en las cuales el uso de elementos de protección es imprescindible e innegable.

El uso de protectores auditivos brinda una atenuación del ruido que puede ser estimada de manera teórica, a fin de evaluar la idoneidad y eficacia de estos dispositivos; se procura la utilización del método

NIOSH, en vista de que con los métodos HML y SNR los resultados difieren hasta en 23,95%. Esto puede inducir a errores en desmedro de la seguridad del aerotécnico, como en el caso del mantenimiento en la aviación supersónica, en el que el primer método, a diferencia de los otros dos, sugiere que en ciertas actividades se requiera una protección auditiva simultánea de tapones y orejeras.

De acuerdo con lo anotado, es más recomendable el método NIOSH, en vista de que es mucho más conservador e incluye correcciones, debido a la serie de incertidumbres entre la teoría y la realidad. No obstante, puede plantearse la posibilidad de que futuras investigaciones se enmarquen en determinar la atenuación experimental del ruido, con el uso de protectores auditivos en actividades específicas de mantenimiento aeronáutico, tal como los estudios realizados en actividades de vuelo o las efectuadas con el personal de tripulantes.

Referencias

- Aceituno, A., Cataldo, H., & Chávez, J. (2015). Guía técnica guía para la selección y control de protectores auditivos. *Departamento de Salud Ocupacional*, 1–16. https://www.achs.cl/portal/centro-de-noticias/Documents/GUIA_SELECCION_PROTECCION_AUDITIVA.pdf
- Caputo, L., & Correa, M. A. (2018). Manejo del ruido en las tripulaciones de la Fuerza Aérea Colombiana en las últimas dos décadas. *Ciencia y Poder Aéreo*, 13(1), 46. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.585>
- Coello, F., Males, D., Tello, D., & López -Pulles, R. (2017). ¿Son los tapones auditivos eficaces para prevenir los efectos de la contaminación auditiva mediante la atenuación sonora? *Revista de La Facultad de Ciencias Médicas (Quito)*, 42(1), 108–113. https://doi.org/10.29166/ciencias_medicinas.v42i1.1541
- Copara, J. E., & Morales, L. A. (2017). Ruido y manifestaciones no otológicas en trabajadores de mantenimiento aeronáutico. *Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería En Sistemas, Electrónica e Industrial*, 1–11. https://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/55029/1/Copara_Herrera_Jefferson_Esteban-2018.pdf
- Corbalán, E., Trujillo, C., Szajderman, L., & Di Bernardi, A. (2019). *Interacción del aeropuerto de la plata con su entorno a través de mapas estratégicos de ruido y mapas de dispersión gaseosa. V Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería, La Plata, Argentina*. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/74993/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gwenolé NEXER, . (2013). *Double protection auditive*. Dans Quelle Situation l'utilisation d'une Double Protection Auditiv Devient-Elle Nécessaire?. *Hearing Protech*. <https://www.hearingprotech.com/fr/publications/double-protection-auditive.html>
- Hecht, Q. A., Hammill, T. L., Calamia, P. T., Smalt, C. J., & Brungart, D. S. (2019). Characterization of acute hearing changes in United States military populations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(5), 3839–3848. <https://doi.org/10.1121/1.5132710>
- Heupa, A. B., Gonçalves, C. G. de O., & Coifman, H. (2011). Effects of impact noise on the hearing of military personnel. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 77(6), 747–753. <https://doi.org/10.1590/s1808-86942011000600011>
- INSHT. (2006). Real Decreto 286/2006 de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. *Boletín Oficial Del Estado*, 1–12. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/2006/286_2006/PDFs/realdecreto2862006de10demarzosobrelaprotecciondelasal.pdf
- Instituto de Seguridad Minera. (2016, November). Seguridad Minera N° 131 - Noviembre 2016. *¿Qué Protectores Auditivos Elegir?*, 14–16. <https://es.calameo.com/books/00262580512e0dcdad3d1>
- Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, & Seguro General de Riesgos del Trabajo. (2016). Decreto Ejecutivo 2393 Reglamento De Seguridad Y Salud De Los Trabajadores Y Mejoramiento Del Medio Ambiente De Trabajo. *Seguro General De Riesgos Del Trabajo*, 94. <http://www.utm.edu.ec/unidadriesgos/documentos/decreto2393.pdf>
- ISO. (2014). *Ecuatoriana Nte Inen-Iso 7730*. 1–5.
- ISPC, I. de S. P. de C. (2019). *Guía Para La Selección Y Control De*. <https://multimedia.3m.com/mws/media/15718510/other.pdf>
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social y Ministerio de Salud, R. de C. (1990). *Resolución 1792 de 1990*. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica.2.jsp?subtema=19896&cadena=r>

- Ministerio del Ambiente. (2015). Registro Oficial 387 - AM 140. *Acuerdo Ministerial 097-A, Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente (TULSMA)*, 1-184. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Retamozo, S. M. A. (2013). Reducción de los impactos sonoros en la explotación de caliza. *Ciencia y Tecnología*, 67-76. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/271>
- Rodríguez, O. A. (2003). *Determinación de aptitud de protectores auditivos*. <http://www.siafa.com.ar/notisiafa/353/auditivos.pdf>
- Stolk, C. van, Staetsky, L., Hassan, E., & Kim, C. W. (2012). Management of occupational safety and health. In *European Agency for Safety and Health at Work* (Vol. 3). <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/reports/management-of-occupational-safety-and-health-analysis-of-data-from-the-esener/view>
- Tepe, V., Smalt, C., Nelson, J., Quatieri, T., & Pitts, K. (2017). Hidden hearing injury: The emerging science and military relevance of cochlear synaptopathy. *Military Medicine*, 182(9), e1785-e1795. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-17-00025>
- Upegui-Rincon, S., Araque-Muñoz, L. G., Lizarazo-Salcedo, C. G., Berrio Garcia, S., & Guarguati-Ariza, J. A. (2019). Verificación de niveles de atenuación de protectores auditivos tipo copa en trabajadores del sector Hidrocarburos. *Revista de Salud Pública*, 21(2), 195-201. <https://doi.org/10.15446/rsap.v21n2.70989>
- Valero-Pacheco, I., Riaño-Casallas, M. I., & Rodríguez-Páez, F. (2014). Aproximación a un modelo de costo eficacia de protectores auditivos en el ambiente laboral. *Medicina y Seguridad Del Trabajo*, 60(235), 313-321. <https://doi.org/10.4321/s0465-546x2014000200004>