

Evaluación de riesgo por ruido ocupacional en el aeropuerto Guaymaral Flaminio Suarez Camacho

Occupational noise risk assessment at the Flaminio Suárez Camacho Airport in Guaymaral

Artículo de Investigación Científica.

Barrantes Guerrero Yineth Tatiana
Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia.
yinethbarrantes@usantotomas.edu.co

Rodríguez Guerrero Paula Andrea
Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia.
paularodriguezguerrero@usantotomas.edu.co

Director: Johan Alexander Álvarez Berrio

RESUMEN

Introducción: El ruido es uno de los principales agentes físicos presentes en entornos laborales, especialmente en actividades relacionadas con el sector aeronáutico, donde las operaciones de despegue, aterrizaje y funcionamiento de motores generan niveles elevados de presión sonora. La exposición continua a estos niveles puede ocasionar efectos adversos en la salud de los trabajadores, tales como fatiga auditiva, pérdida progresiva de la audición y alteraciones en la concentración y el desempeño laboral.

En aeropuertos de aviación general, como el Aeropuerto Guaymaral Flaminio Suárez Camacho, las actividades

operativas incluyen instrucción de vuelo, mantenimiento aeronáutico y operaciones oficiales, lo que genera un entorno acústico variable y potencialmente riesgoso para el personal que labora en diferentes áreas.

En Colombia, la evaluación del ruido ocupacional se rige por normativas como la Resolución 8321 de 1983 y la Resolución 1792 de 1990, que establecen criterios para su medición y control. En este contexto, la sonometría permite identificar zonas críticas y estimar el riesgo auditivo en los puestos de trabajo.

Por otro lado, existen pocos estudios sistemáticos que evalúen el ruido ocupacional. Se han reportado quejas por

parte de operadores del mismo establecimiento, debido al ruido generado, lo cual genera inquietudes acerca del cumplimiento de los límites establecidos por la normativa ambiental y sobre los efectos a largo plazo sobre la salud y la calidad de vida de los residentes cercanos y trabajadores. Por lo anterior, el presente estudio se enfoca en la evaluación de los niveles de ruido ocupacional en áreas operativas del aeropuerto.

Objetivo: Caracterizar espacialmente los niveles de presión sonora en áreas operativas del Aeropuerto Guaymaral Flaminio Suárez Camacho mediante mediciones puntuales con sonómetro tipo 1, a partir del cálculo del nivel equivalente de ruido (Leq), con el fin de identificar zonas críticas de exposición, analizar patrones de distribución del ruido y evaluar su relación con los criterios y límites establecidos en la normativa colombiana vigente para ruido ocupacional.

Metodología: Se desarrolló un estudio de campo de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo, orientado a la evaluación de los niveles de ruido ocupacional en áreas operativas del Aeropuerto Guaymaral Flaminio Suárez Camacho.

Los puntos de medición fueron definidos mediante reconocimiento previo del área de estudio y consulta con el personal operativo del aeropuerto, con el fin de identificar las zonas con mayor percepción de exposición al ruido. Como resultado, se seleccionaron tres áreas representativas, las cuales fueron la estación de bomberos, torre de control y planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Estos puntos fueron considerados críticos debido a su proximidad a las operaciones aeronáuticas y a la presencia permanente de trabajadores.

Resultados: Los resultados permitieron evidenciar niveles equivalentes de presión sonora Leq entre 78.1 dB y 85.2 dB en las áreas evaluadas, con valores máximos de hasta 86.8 dB. El área de bomberos registró los niveles más elevados, seguida de la planta de tratamiento de aguas residuales, mientras que la torre de control presentó valores relativamente menores. Asimismo, se identificó una variabilidad temporal significativa en los niveles de ruido, especialmente en la PTAR, donde se registró el mayor rango de fluctuación. Estos resultados permitieron identificar zonas críticas de exposición y evidenciar patrones diferenciados del ruido en función de la dinámica operativa del aeropuerto.

Conclusiones: Esta evaluación indica la presencia de condiciones de exposición al ruido que pueden representar un riesgo ocupacional, particularmente en el área de bomberos, donde los niveles registrados alcanzan valores cercanos al límite permisible establecido en la normativa colombiana vigente. La metodología basada en mediciones

puntuales con sonómetro tipo 1 y el cálculo del Leq permitió caracterizar de manera adecuada la distribución espacial del ruido e identificar áreas críticas de exposición. En este sentido, el estudio constituye una base técnica para la implementación de medidas de control y prevención, así como para el desarrollo de futuras investigaciones orientadas a la gestión integral del riesgo por ruido en entornos aeroportuarios.

Palabras clave

Ruido ocupacional; Nivel equivalente continuo de presión sonora; Nivel de presión sonora; Entorno aeroportuario; Exposición al ruido.

ABSTRACT

Introduction: Noise is one of the main physical agents present in work environments, especially in activities related to the aeronautical sector, where takeoff, landing, and engine operation generate high levels of sound pressure. Continuous exposure to these levels can cause adverse health effects in workers, such as auditory fatigue, progressive hearing loss, and impaired concentration and work performance.

At general aviation airports, such as Guaymaral Flaminio Suárez Camacho Airport, operational activities include flight instruction, aircraft maintenance, and official operations, creating a variable and potentially hazardous acoustic environment for personnel working in different areas.

In Colombia, the assessment of occupational noise is governed by regulations such as Resolution 8321 of 1983 and Resolution 1792 of 1990, which establish criteria for its measurement and control. In this context, sound level measurement allows for the identification of critical areas and the estimation of hearing risk in workplaces.

On the other hand, there are few systematic studies that evaluate occupational noise. Complaints have been reported by operators of the same establishment due to the noise generated, raising concerns about compliance with the limits established by environmental regulations and about the long-term effects on the health and quality of life of nearby residents and workers. Therefore, this study focuses on evaluating occupational noise levels in operational areas of the airport.

Objective: To spatially characterize the sound pressure levels in operational areas of the Guaymaral Flaminio Suárez Camacho Airport by means of point measurements with a type 1 sound level meter, based on the calculation of the equivalent noise level (Leq), in order to identify critical exposure zones, analyze noise distribution patterns and evaluate its relationship with the criteria and limits

established in the current Colombian regulations for occupational noise.

Method: A descriptive field study with a quantitative approach was conducted to evaluate occupational noise levels in operational areas of the Guaymaral Flaminio Suárez Camacho Airport.

Measurement points were defined through prior reconnaissance of the study area and consultation with airport operational personnel to identify areas with the highest perceived noise exposure. As a result, three representative areas were selected: the fire station, the control tower, and the Wastewater Treatment Plant (WWTP). These points were considered critical due to their proximity to aeronautical operations and the constant presence of workers.

Results: The results showed equivalent sound pressure levels (Leq) between 78.1 dB and 85.2 dB in the evaluated areas, with maximum values reaching 86.8 dB. The fire station recorded the highest levels, followed by the wastewater treatment plant, while the control tower showed relatively lower values. Significant temporal variability in noise levels was also identified, especially at the wastewater treatment plant, where the greatest fluctuation range was recorded. These results allowed for the identification of critical exposure zones and revealed distinct noise patterns depending on the airport's operational dynamics.

Conclusions: This assessment indicates the presence of noise exposure conditions that may pose an occupational risk, particularly in the fire station area, where recorded levels approach the permissible limit established by current Colombian regulations. The methodology, based on point measurements with a Type 1 sound level meter and the calculation of the equivalent noise level (Leq), allowed for the accurate characterization of the spatial distribution of noise and the identification of critical exposure areas. In this sense, the study provides a technical basis for the implementation of control and prevention measures, as well as for the development of future research focused on the comprehensive management of noise risk in airport environments.

Key Words:

Occupational noise; Equivalent continuous sound level; Sound pressure level; Airport environment; Noise exposure

I. INTRODUCCIÓN

El ruido es uno de los principales agentes físicos presentes en entornos laborales y constituye un factor de riesgo relevante dentro de la higiene industrial, especialmente en sectores donde las fuentes emisoras son continuas y de alta

intensidad. En el ámbito aeronáutico, las operaciones de despegue, aterrizaje y funcionamiento de motores generan niveles elevados de presión sonora que pueden superar los umbrales recomendados para la exposición ocupacional. La exposición prolongada a estos niveles se ha asociado con efectos adversos en la salud de los trabajadores, tales como fatiga auditiva, pérdida auditiva inducida por ruido, alteraciones en la concentración, interferencias en la comunicación y disminución del desempeño laboral, lo cual puede comprometer tanto la seguridad operativa como el bienestar del personal.

En aeropuertos de aviación general, como el Aeropuerto Guaymaral Flaminio Suárez Camacho, las dinámicas operativas incluyen actividades de instrucción de vuelo, mantenimiento aeronáutico y operaciones oficiales, configurando un entorno acústico complejo, caracterizado por su variabilidad espacial y temporal. A diferencia de los aeropuertos de gran escala, donde existen sistemas más robustos de monitoreo ambiental, en este tipo de aeródromos la evaluación del ruido suele ser limitada, particularmente en lo relacionado con la caracterización de los niveles de presión sonora en puestos de trabajo específicos. Esta situación genera incertidumbre frente al cumplimiento de los estándares normativos y frente al nivel real de riesgo al que se encuentran expuestos los trabajadores.

En el contexto colombiano, la evaluación del ruido ocupacional se rige por la Resolución 8321 de 1983 y la Resolución 1792 de 1990, las cuales establecen los lineamientos para la medición, evaluación y control del ruido en ambientes laborales. Estas normativas definen criterios para la valoración del riesgo auditivo, tradicionalmente asociados a la medición de la exposición personal continua mediante dosimetría. No obstante, en entornos donde el interés radica en identificar fuentes emisoras y condiciones específicas de áreas de trabajo, la medición mediante sonometría constituye una alternativa metodológica válida, ya que permite determinar el nivel equivalente de presión sonora (Leq) en puntos específicos y caracterizar la distribución espacial del ruido.

A nivel internacional, diversos estudios han abordado la problemática del ruido en entornos aeroportuarios, enfocándose principalmente en la exposición comunitaria y en los efectos ambientales asociados. Sin embargo, el análisis detallado del ruido ocupacional en áreas operativas específicas sigue siendo un campo con menor desarrollo, especialmente en aeropuertos de aviación general. Esta brecha se hace más evidente en contextos locales, donde la disponibilidad de información técnica es limitada y donde las decisiones en materia de gestión del ruido suelen basarse en percepciones más que en mediciones sistemáticas.

En el caso particular del Aeropuerto Guaymaral, se han reportado quejas recurrentes por parte del personal operativo respecto a los niveles de ruido en determinadas zonas de trabajo, lo que sugiere la existencia de áreas críticas con potencial afectación. Estas percepciones, aunque relevantes, requieren ser respaldadas mediante mediciones técnicas que permitan cuantificar los niveles de presión sonora y evaluar su relación con los límites establecidos en la normativa vigente.

En este contexto, el presente estudio se orienta a la caracterización de los niveles de presión sonora en áreas operativas del aeropuerto mediante mediciones puntuales realizadas con un sonómetro integrador tipo 1. Es importante destacar que el enfoque adoptado no corresponde a la evaluación de la exposición personal continua del trabajador, sino a la identificación y análisis de las condiciones acústicas en puestos de trabajo representativos. Para ello, se seleccionaron tres zonas específicas: torre de control, estación de bomberos y planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), definidas a partir de la percepción del personal como las áreas con mayor nivel de ruido.

De esta manera, el estudio busca aportar información técnica que permita identificar zonas críticas de exposición, analizar la distribución espacial del ruido y evaluar su relación con los criterios establecidos en la normativa colombiana vigente. Asimismo, se pretende contribuir al fortalecimiento de los procesos de gestión del riesgo por ruido ocupacional en entornos aeroportuarios de aviación general, proporcionando una base objetiva para la implementación de medidas de control y prevención.

II. REVISION LITERARIA

El ruido constituye uno de los agentes físicos de mayor relevancia en los ámbitos de la salud ocupacional y ambiental, debido a su alta prevalencia, su carácter acumulativo y su capacidad de generar efectos tanto auditivos como no auditivos en la población expuesta. En entornos laborales, la exposición prolongada a niveles elevados de presión sonora se asocia con pérdida auditiva inducida por ruido, fatiga auditiva, interferencia en la comunicación y disminución del desempeño, así como con respuestas fisiológicas relacionadas con el estrés crónico [2], [7]. En este contexto, el National Institute for Occupational Safety and Health establece un límite recomendado de exposición de 85 dBA como promedio ponderado para una jornada de 8 horas, a partir del cual se requiere la implementación de programas de conservación auditiva [2]. Adicionalmente, actualizaciones recientes enfatizan la necesidad de incorporar pruebas de ajuste individual de protectores auditivos, dado que la atenuación efectiva en condiciones reales puede diferir significativamente de los valores reportados en laboratorio,

lo que introduce incertidumbre en la estimación del riesgo ocupacional [3].

Desde una perspectiva conceptual, el ruido se define como un sonido no deseado con potencial de generar alteraciones fisiológicas y psicológicas. Su evaluación no se limita a la intensidad, sino que involucra variables como la frecuencia, la duración y la variabilidad temporal. En este sentido, el nivel sonoro continuo equivalente (Leq) se ha consolidado como uno de los principales descriptores acústicos, al representar un nivel constante que contiene la misma energía que un ruido fluctuante durante un intervalo de tiempo determinado [6]. Este parámetro resulta particularmente relevante en entornos aeroportuarios, donde la emisión sonora presenta alta variabilidad asociada a eventos discretos como despegues, aterrizajes y maniobras en plataforma.

La evidencia científica ha demostrado que los efectos del ruido trascienden el sistema auditivo. La World Health Organization reconoce el ruido ambiental como un problema de salud pública, documentando su asociación con alteraciones del sueño, deterioro cognitivo, enfermedades cardiovasculares y reducción del bienestar general [1]. En particular, sus guías recomiendan mantener los niveles de ruido aeronáutico por debajo de 45 dB Lden y 40 dB Lnight, al evidenciar que exposiciones superiores incrementan significativamente el riesgo de efectos adversos sobre la salud [1]. En línea con esto, revisiones recientes han consolidado el ruido aeronáutico como un campo emergente de investigación, destacando el incremento en estudios que analizan su impacto sobre la salud humana y la necesidad de fortalecer la evidencia en contextos específicos de exposición [8].

Diversos estudios han evidenciado un gradiente de respuesta frente al ruido en función del nivel de exposición. Se ha reportado que niveles cercanos a 30 dB pueden interferir con el sueño, mientras que a partir de 40 dB se afectan procesos de comunicación verbal, intensificándose progresivamente hasta niveles superiores a 65 dB, donde la comunicación se vuelve crítica [7]. En rangos más elevados, particularmente entre 75 y 140 dB, se incrementa el riesgo de pérdida auditiva, dependiendo del tiempo de exposición y de la susceptibilidad individual [2]. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que incluso exposiciones prolongadas a niveles moderados de ruido aeronáutico (superiores a 50 dB Lden) pueden asociarse con incrementos en el riesgo de hospitalización por enfermedades cardiovasculares, evidenciando relaciones dosis-respuesta, aunque con variabilidad entre contextos y aeropuertos.

En el contexto aeroportuario, el análisis del ruido adquiere una complejidad adicional debido a la coexistencia de

múltiples fuentes emisoras y a la heterogeneidad espacial de la exposición. Las operaciones aeronáuticas, junto con actividades de apoyo como mantenimiento, sistemas eléctricos y logística en plataforma, generan patrones de dispersión acústica altamente variables. Estudios desarrollados en Colombia han evidenciado que dicha distribución está condicionada por factores como la geometría del aeropuerto, la topografía y la dinámica operativa [4], lo que implica que la exposición al ruido no se limita a zonas específicas, sino que se distribuye de manera diferencial en las áreas operativas.

La literatura existente muestra una predominancia de estudios enfocados en la exposición comunitaria al ruido aeroportuario, particularmente en términos de percepción, molestia y efectos en poblaciones aledañas. Escobar Guarnizo [4] documenta asociaciones entre el ruido aeroportuario y efectos como estrés, irritabilidad y alteraciones del sueño. Sin embargo, estos enfoques tienden a privilegiar el análisis poblacional externo, dejando en segundo plano la caracterización detallada de la exposición en puestos de trabajo específicos dentro de los aeropuertos. Esta brecha ha sido identificada también en revisiones recientes, donde se resalta que la mayoría de los estudios se concentran en ruido ambiental y no en exposición ocupacional directa, limitando la comprensión integral del riesgo [8].

Desde el punto de vista metodológico, uno de los principales debates en la literatura radica en la diferencia entre la evaluación de la exposición personal continua y la caracterización acústica espacial. La primera, basada en dosimetría personal, permite estimar la dosis real de ruido recibida por el trabajador a lo largo de la jornada laboral. En contraste, la segunda se fundamenta en mediciones puntuales mediante sonometría, orientadas a identificar focos críticos y patrones espaciales de distribución del ruido. Estudios recientes han empleado indicadores como L_{den} y L_{night} , integrando ponderaciones temporales y análisis espaciales de alta resolución, lo que permite una caracterización más robusta de la exposición acústica en entornos complejos. No obstante, estos enfoques continúan enfrentando limitaciones relacionadas con el control de variables de confusión y la extrapolación a nivel individual.

En el ámbito colombiano, el marco normativo para la evaluación del ruido ocupacional se fundamenta en instrumentos como la Resolución 8321 de 1983 y la Resolución 1792 de 1990, los cuales establecen límites permisibles en función del tiempo de exposición. Sin embargo, estos marcos presentan limitaciones frente a estándares internacionales más recientes, particularmente en lo relacionado con la incorporación de metodologías avanzadas de medición, criterios de incertidumbre y

enfoques preventivos basados en evidencia, lo que puede restringir la comparabilidad de resultados y la actualización de estrategias de gestión del riesgo [6].

En los últimos años, el uso de herramientas de análisis espacial ha adquirido relevancia en la evaluación del ruido aeroportuario. Cano Álvarez [5] en su estudio en el aeropuerto Olaya Herrera demostró que la integración de mediciones de presión sonora con sistemas de información geográfica permite representar de manera continua la dispersión del ruido mediante técnicas de interpolación como Kriging. Este enfoque se alinea con tendencias recientes en investigación, donde el uso de modelos espaciales y análisis estadísticos avanzados ha permitido mejorar la identificación de patrones de exposición y su relación con efectos en salud [8].

A partir de la revisión realizada, se identifican tres vacíos principales en la literatura. En primer lugar, existe una predominancia de estudios centrados en el ruido ambiental y comunitario, en detrimento del análisis ocupacional en áreas operativas internas de aeropuertos. En segundo lugar, la evidencia científica en el contexto colombiano, particularmente en aeropuertos de aviación general, es limitada y fragmentada. Finalmente, persiste una brecha metodológica en la integración de la caracterización espacial del ruido con su interpretación en términos de riesgo ocupacional, lo cual es consistente con estudios recientes que señalan la necesidad de investigaciones con mayor control de variables de confusión y diseños más robustos para establecer relaciones causales entre exposición al ruido y efectos en salud.

En este contexto, la caracterización espacial de niveles de presión sonora mediante sonometría tipo 1, complementada con el análisis de indicadores acústicos como L_{eq} en áreas operativas específicas del Aeropuerto Guaymaral Flaminio Suárez Camacho, constituye un aporte relevante. Este enfoque permite no solo identificar patrones de distribución del ruido y zonas críticas de exposición, sino también contribuir al fortalecimiento de la gestión del riesgo ocupacional en un entorno donde la evidencia científica aún es incipiente.

III. METODOLOGÍA

Se desarrolló un estudio de tipo descriptivo, con enfoque cuantitativo, basado en mediciones de campo para la caracterización de los niveles de ruido ocupacional en áreas operativas.

a. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el aeropuerto Guaymaral Flaminio Suárez Camacho, ubicado en la zona norte de

Bogotá D.C., el cual es un aeródromo de aviación general donde se desarrollan actividades de instrucción de vuelo, operaciones privadas y funciones oficiales

Se seleccionaron tres puntos de medición representativos, los cuales fueron: La estación de bomberos, la torre de control y la planta de tratamiento de aguas residuales. Estos puntos fueron definidos mediante reconocimiento previo del área y consulta con el personal operativo, con el fin de identificar las zonas con mayor percepción de exposición al ruido.

La localización de los puntos de medición se representó de manera cartográfica mediante ArcGis Pro, utilizando una base satelital del Aeropuerto Guaymaral y la georreferenciación de los sitios evaluados, a partir de sus coordenadas geográficas. La representación incluyó los puntos ya mencionados anteriormente, con el fin de lograr la identificación espacial y el análisis del área de estudio.



Fig. 1 Localización geográfica de los puntos de medición de ruido ocupacional en el Aeropuerto Guaymaral. Fuente: Elaboración propia mediante ArcGIS Pro, con base en la cartografía satelital

a) Tipo de muestreo

Se realizó un muestreo de ruido ocupacional mediante mediciones puntuales en áreas de trabajo, orientado a la caracterización de los niveles de presión sonora en los puestos laborales.

b) Equipos e instrumentos

Las mediciones se realizaron utilizando un sonómetro integrador Svantek tipo 1 (SVAN957), el cual garantiza alta precisión en la captura de niveles de presión sonora. El equipo fue calibrado antes y después de cada jornada de medición, mediante un calibrador acústico correspondiente al sonómetro, asegurando así la confiabilidad de los datos obtenidos.

c) Procedimiento de medición

Las mediciones se llevaron a cabo bajo condiciones normales de operación del aeropuerto, siguiendo los lineamientos técnicos para la evaluación de ruido, establecidos en la normatividad colombiana y estándares internacionales para la evaluación del ruido en ambientes laborales.

En particular se tuvieron en cuenta los criterios definidos en la Resolución 8321 de 1983 [10], la cual establece disposiciones sobre protección y conservación de la audición, así como los lineamientos de la Resolución 1792 de 1990 [11], asociados con la evaluación de la exposición al ruido, en los lugares de trabajo. Este procedimiento se apoyó en recomendaciones de la norma ISO 9612 [3], relacionada con la determinación de la exposición al ruido ocupacional.

En cuanto al equipo, fue configurado con ponderación [dB(A)] y respuesta lenta (Slow), de acuerdo con los criterios establecidos para la evaluación de ruido ocupacional [10]

Para los puntos de medición, el sonómetro se ubicó sobre un trípode, a una altura de 1.5 metros sobre el nivel del suelo, evitando así la presencia de obstáculos o superficies reflectantes cercanas que pudieran alterar la medición. Esto permite aproximar las condiciones de exposición del trabajador en su entorno laboral [12]

En cada lugar evaluado, se realizaron 3 mediciones por punto, durante intervalos de 15 minutos, registrando el nivel de presión sonora equivalente (Leq), así como los niveles máximos (Lmax) y mínimo (Lmin). Durante el proceso se consideraron las condiciones operativas del entorno, como despegue, aterrizajes y funcionamiento de motores, con el fin de obtener valores representativos del comportamiento acústico en cada zona [11]

IV. RESULTADOS

Los valores de Leq fueron obtenidos directamente del sonómetro tipo 1, el cual calcula automáticamente este nivel equivalente de presión sonora durante cada intervalo de medición.

a. Datos obtenidos

Tabla 1. Datos PTAR

Fecha	M1 Leq (dB)	M2 Leq (dB)	M3 Leq (dB)
16/09/25	77.5	79.6	80.6
30/09/25	77.2	77.8	78.9
14/10/25	79.2	80.2	79.8

18/11/25	77.1	79.3	82.5
25/11/25	77.8	75.2	79.1
27/02/26	83.9	85.5	85.8

Tabla 2. Datos Bomberos

Fecha	M1 Leq (dB)	M2 Leq (dB)	M3 Leq (dB)
16/09/25	81.5	85.6	83.6
30/09/25	83.3	83.5	85.2
14/10/25	86.6	85.3	86.8
18/11/25	80.2	86.1	85.1
25/11/25	84.6	84.8	86.3
27/02/26	86.5	86.8	86.5

Tabla 3. Datos Torre De Control

Fecha	M1 Leq (dB)	M2 Leq (dB)	M3 Leq (dB)
16/09/25	76.8	77.2	79.4
30/09/25	75.2	75.9	77.6
14/10/25	79.8	77.8	76.4
18/11/25	78.9	78.2	76.2
25/11/25	74.8	75.2	77.8
27/02/26	80.3	79.5	81.7

El nivel equivalente continuo de presión sonora se calculó con base en el principio de energía equivalente, el cual establece que un nivel constante contiene la misma energía acústica que una señal variable durante un intervalo de tiempo determinado [13], la definición general es la siguiente:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_{A(t)}^2}{p_0^2} dt \right)$$

Donde:

- $L_{Aeq,T}$: Nivel equivalente de presión sonora
- T : Tiempo total de medición
- $p_{A(t)}^2$: Presión sonora instantánea en función del tiempo
- p_0^2 : Presión sonora de referencia

Teniendo los datos por cada punto, como se muestran en la Tabla 1, 2 y 3, se procede a realizar el cálculo del nivel equivalente continuo de presión sonora por cada jornada. El ruido no se comporta de forma lineal, sino logarítmica, para el procesamiento de estos datos, se empleó la expresión general [13], basada en la combinación logarítmica de los

niveles de presión sonora [12], por lo que debe realizarse el cálculo mediante la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{L_i/10}}{\sum_{i=1}^n t_i} \right)$$

Donde:

- $L_{Aeq,T}$: Nivel equivalente de presión sonora
- n : Número total de mediciones
- t_i : Duración de cada medición
- L_i : Nivel de presión sonora equivalente de cada medición o intervalo

Tabla 4. Niveles de presión sonora por jornada en la PTAR

Fecha	Leq día (dB)	Lmin (dB)	Lmax (dB)
16/09/25	79,42	77,5	80,6
30/09/25	78,02	77,2	78,9
14/10/25	79,75	79,2	80,2
18/11/25	80,20	77,1	82,5
25/11/25	77,65	75,2	79,1
27/02/26	85,14	83,9	85,8

Tabla 5. Niveles de presión sonora por jornada en bomberos

Fecha	Leq día (dB)	Lmin (dB)	Lmax (dB)
16/09/25	83,88	81,5	85,6
30/09/25	84,09	83,3	85,2
14/10/25	86,28	85,3	86,8
18/11/25	84,45	80,2	86,1
25/11/25	85,30	84,6	86,3
27/02/26	86,60	86,5	86,8

Tabla 6. Niveles de presión sonora por jornada en la torre de control

Fecha	Leq día (dB)	Lmin (dB)	Lmax (dB)
16/09/25	77,96	76,8	79,4
30/09/25	76,35	75,2	77,6
14/10/25	78,23	76,4	79,8
18/11/25	77,91	76,2	78,9
25/11/25	76,15	74,8	77,8

27/02/26	80,60	79,5	81,7
----------	-------	------	------

Es importante aclarar, que los parámetros individuales de L_{max} y L_{min} corresponden a los niveles máximo y mínimo de presión sonora registrados durante el intervalo de medición, respectivamente. Estos valores son obtenidos directamente por el sonómetro durante el proceso de medición, como parte de los descriptores acústicos utilizados en la caracterización del ruido, de acuerdo con lineamientos técnicos para la evaluación del ruido ocupacional [2], [12].

Luego de esto, se calcula mediante la combinación logarítmica de los valores obtenidos [14] en las Tabla 4, 5 y 6, debido a que los niveles de presión sonora se expresan en escala logarítmica, como se mencionaba anteriormente, por lo cual no es adecuado emplear promedios aritméticos para su análisis. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right)$$

Donde:

- $L_{Aeq,T}$: Nivel equivalente de presión sonora
- n : Número total de mediciones
- L_i : Nivel de presión sonora equivalente de cada medición o intervalo

Tabla 7. Indicadores acústicos (L_{eq} , L_{max} , L_{min} y rango) en las áreas evaluadas

Lugar	L_{eq} equivalente (dB)	L_{min} (dB)	L_{max} (dB)	Rango (dB)
PTAR	80.9	75.2	85.8	10.6
Bomberos	85.2	80.2	86.8	6.6
Torre de control	78.1	74.8	81.7	6.9

Se calculó de esta manera, para cada punto de medición, a partir de los valores diarios de nivel equivalente de presión sonora, con el fin de obtener una representación integrada de comportamiento acústico en cada área evaluada. Los valores de L_{max} y L_{min} observados en la tabla 7, ya corresponden a los niveles máximo y mínimos registrados durante las jornadas de medición para cada punto evaluado. En cuanto al rango de variación, simplemente se definió como la diferencia entre el valor máximo (L_{max}) y el valor mínimo (L_{min}) de presión sonora registrados en cada punto de medición.

b. Gráficos comparativos

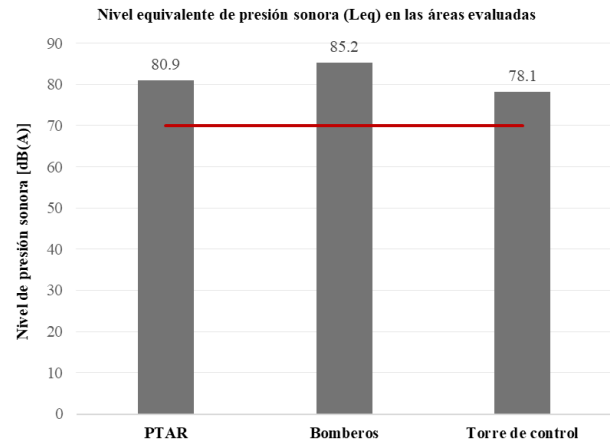


Fig. 2. Nivel equivalente de presión sonora (L_{eq}) por área evaluada. Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 2 se presenta la comparación de los niveles equivalentes de presión sonora entre las áreas evaluadas. Se observa que el área de bomberos registra los valores más elevados, seguida de la PTAR y la torre de control. Este comportamiento puede atribuirse a la proximidad del área de bomberos a las operaciones aeronáuticas y al funcionamiento de equipos, lo que termina generando niveles de emisión sonora. Adicional a esto, se demuestra que, exceden niveles de referencia para exposición ocupacional, lo que indica condiciones de riesgo por exposición al ruido en las áreas analizadas.

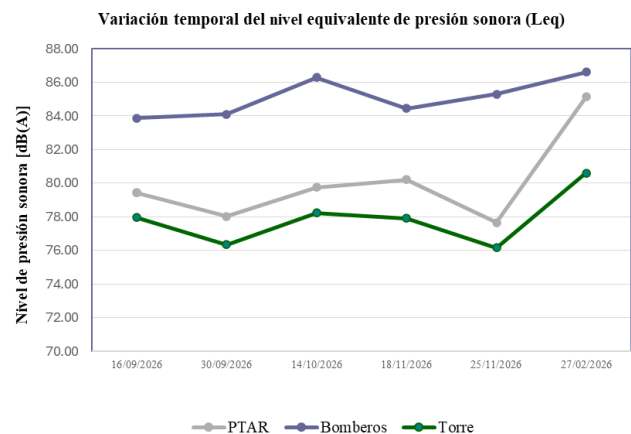


Fig. 3. Variación temporal del nivel equivalente de presión sonora en las áreas evaluadas. Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 3 muestra la variación temporal de los niveles equivalentes de presión sonora en las áreas evaluadas. Se observa que el área de bomberos presenta valores elevados de manera constante, mientras que la PTAR evidencia una

mayor variabilidad en los niveles de ruido a lo largo del tiempo. Por su parte, la torre de control presenta niveles más bajos en comparación con otras áreas, aunque igual superiores al límite permisible. Este comportamiento sugiere que las condiciones operativas influyen directamente en la variabilidad del ruido, especialmente en zonas donde las actividades son más dinámicas.

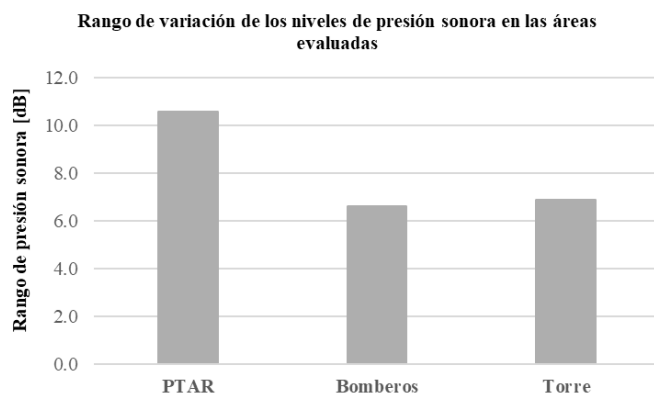


Fig. 4. Rango de variación de los niveles de presión sonora en las áreas evaluadas. Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 4 se representa el rango de variación de los niveles de presión sonora, calculado mediante la diferencia entre los valores máximos (L_{max}) y mínimos (L_{min}) registrados en cada área. Se evidencia que la PTAR presenta el mayor rango de variación, lo que indica una mayor variabilidad en los niveles de presión sonora.

c. Discusión

Los resultados obtenidos en las tres áreas evaluadas del Aeropuerto Guaymaral evidencian una exposición acústica relevante desde el punto de vista ocupacional, con niveles equivalentes de presión sonora de 85.2 dB en bomberos, 80.9 dB en PTAR y 78.1 dB en torre de control, además de valores máximos de hasta 86.8 dB. Estos hallazgos muestran que el área de bomberos constituye el punto de mayor criticidad, mientras que PTAR presenta la mayor variabilidad acústica, con un rango de 10.6 dB, lo que indica un comportamiento más fluctuante del ruido en esa zona. En conjunto, los datos confirman que el entorno operacional del aeropuerto genera condiciones sonoras que no pueden considerarse triviales y que deben ser interpretadas bajo un enfoque preventivo de higiene industrial.

Al comparar estos resultados con la Resolución 8321 de 1983, se observa que los niveles registrados, particularmente en bomberos, se ubican en un intervalo cercano o coincidente con el umbral de 85 dB que tradicionalmente se asocia con riesgo de afectación auditiva para exposiciones

prolongadas [10]. Aunque esta resolución establece límites permisibles en función del tiempo de exposición, este estudio no midió la dosis personal acumulada durante toda la jornada, sino que caracterizó acústicamente puestos de trabajo mediante mediciones puntuales con sonómetro integrador. Aun así, entrevistando a la mayoría de los operarios en las diferentes áreas aseguran que ellos pasan las 24 horas del día en su área de trabajo, el hecho de que uno de los puntos evaluados alcance un Leq equivalente de 85.2 dB según la norma si la permanencia del trabajador en esa zona es prolongada o recurrente, el operario estaría en condiciones compatibles con riesgo ocupacional que justificarían la implementación de medidas de control.

Desde la perspectiva de la Resolución 1792 de 1990, los resultados son igualmente relevantes, ya que esta norma orienta la evaluación del ruido ocupacional hacia la determinación de la exposición del trabajador en los lugares de trabajo [11]. Bajo dicho marco, este estudio aporta una caracterización técnica de las condiciones acústicas en áreas operativas específicas, permitiendo identificar zonas críticas de exposición.

En este sentido, el apoyo metodológico en la ISO 9612 es pertinente, ya que esta norma reconoce que la evaluación del ruido ocupacional puede abordarse mediante diferentes estrategias, entre ellas las mediciones por tarea, por jornada completa o por áreas de trabajo representativas [12]. El enfoque adoptado de este estudio se ajusta a una lógica de caracterización espacial del ruido, útil en escenarios como los aeroportuarios, donde la exposición presenta una marcada heterogeneidad espacial y temporal. La norma internacional, no obstante, enfatiza que la incertidumbre de medición y la variabilidad de las condiciones operativas deben ser consideradas en la interpretación de resultados [12]. Esto se refleja claramente en el presente estudio, donde la diferencia entre áreas y fechas evidencia que el ruido no se distribuye de forma homogénea, sino que depende de la dinámica operacional del aeropuerto, incluyendo despegues, aterrizajes y funcionamiento de motores.

Un aspecto importante de los resultados es que incluso las áreas con niveles inferiores a 85 dB, como PTAR y torre de control, no deben interpretarse automáticamente como exentas de riesgo. Desde un punto de vista de salud ocupacional, respaldada por criterios internacionales como los propuestos por NIOSH [2], niveles cercanos a 80-85 dB pueden ser significativos cuando la exposición es frecuente, prolongada o combinada con picos de alta intensidad. Esto adquiere especial relevancia en el caso del área PTAR, donde, aunque el Leq equivalente fue inferior al de bomberos, se registró una variación amplia y un valor máximo de 85.8 dB, lo que sugiere la ocurrencia de episodios sonoros relevantes que podrían incrementar la carga acústica real del trabajador. Por tanto, esta

interpretación de los resultados no debe limitarse al cumplimiento estricto de un valor umbral, sino considerar también la naturaleza fluctuante del ruido y su persistencia en el entorno laboral.

Asimismo, los resultados se relacionan directamente con la literatura de este estudio, donde se indica que los entornos aeroportuarios presentan una elevada complejidad acústica por la coexistencia de múltiples fuentes emisoras y por la variabilidad espacial de la exposición. En este trabajo, dicha complejidad se manifestó en la diferencia de comportamiento entre las áreas evaluadas: bomberos mostraron niveles altos y relativamente constantes, lo que sugiere una exposición más sostenida; PTAR presentó una mayor dispersión temporal, asociada probablemente a eventos operativos intermitentes; y torre de control registró los valores más bajos, aunque todavía elevados desde una perspectiva preventiva. Esta diferenciación espacial constituye un aporte importante, porque permite orientar futuras acciones de intervención de forma más focalizada.

Este estudio no solo aporta datos sobre el comportamiento acústico del aeropuerto, sino que también muestra la necesidad de fortalecer futuras evaluaciones mediante campañas complementarias de dosimetría personal, análisis por tarea y programas de conservación auditiva.

En términos aplicados, los resultados permiten inferir que el área de bomberos debería ser prioritaria para la implementación de medidas de intervención, tales como controles en la fuente, acciones sobre el medio de propagación, reorganización de tiempos de permanencia y fortalecimiento del uso de protectores auditivos. A su vez, las áreas de PTAR y torre de control también requieren seguimiento, no porque necesariamente superen de forma sostenida el límite normativo, sino porque evidencian condiciones acústicas que podrían contribuir a fatiga auditiva, interferencia en la comunicación y aumento del riesgo operacional en un entorno donde la percepción sonora adecuada es un elemento crítico para la seguridad.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitieron caracterizar de manera efectiva los niveles de presión sonora en áreas operativas del Aeropuerto Guaymaral Flaminio Suárez Camacho, evidenciando una distribución espacial diferenciada del ruido ocupacional. Se identificó que el área de bomberos presenta el mayor nivel equivalente de presión sonora, seguida de la PTAR y la torre de control, lo que confirma la existencia de zonas críticas de exposición dentro del entorno aeroportuario.

Desde el punto de vista de higiene industrial, los niveles registrados, especialmente en el área de bomberos, se ubican en rangos asociados con potencial riesgo auditivo para

exposiciones prolongadas, de acuerdo Resolución 8321 de 1983, la Resolución 1792 de 1990 y la ISO 9612 permite concluir que los niveles de ruido encontrados son compatibles con un escenario de riesgo ocupacional relevante, especialmente en el área de bomberos, y que la metodología empleada fue adecuada para identificar zonas críticas y patrones espaciales de exposición, estos hallazgos deben entenderse como una base técnica para la toma de decisiones preventivas y para el desarrollo de estudios posteriores.

Adicionalmente, la variabilidad observada en los niveles de presión sonora, particularmente en la PTAR, demuestra que el ruido en entornos aeroportuarios no es constante, sino altamente dependiente de la dinámica operativa, lo que refuerza la necesidad de analizar el fenómeno desde un enfoque temporal y espacial. Esta heterogeneidad implica que la evaluación del riesgo no debe basarse únicamente en valores promedio, sino en la comprensión integral del comportamiento acústico.

El estudio aporta evidencia técnica en un contexto donde la información sobre ruido ocupacional en aeropuertos de aviación general es limitada, contribuyendo a cerrar brechas identificadas en la literatura, especialmente en el ámbito colombiano. Asimismo, valida el uso de mediciones puntuales con sonometría tipo 1 como una herramienta útil para la identificación de zonas críticas, aun cuando no sustituye evaluaciones de exposición personal.

En términos aplicados, los hallazgos permiten priorizar el área de bomberos para la implementación de medidas de control, incluyendo intervenciones en la fuente, el medio y el receptor, así como el fortalecimiento de programas de conservación auditiva. Las demás áreas evaluadas también requieren seguimiento continuo, dado que presentan niveles que, aunque menores, pueden generar efectos acumulativos sobre la salud y el desempeño laboral.

VI. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Aeropuerto Guaymaral Flaminio Suárez Camacho por facilitar el acceso a sus instalaciones y permitir la realización de las mediciones requeridas para el desarrollo de este estudio.

Se reconoce el acompañamiento y la orientación del director Johan Álvarez, cuyo apoyo fue fundamental para la consolidación de la investigación.

Asimismo, se agradece al semillero de investigación de la Universidad Santo Tomás I.A.S.A., en el cual se gestó el presente trabajo, por el respaldo académico e investigativo brindado durante su desarrollo.

REFERENCIAS

- [1] World Health Organization Regional Office for Europe, *Environmental Noise Guidelines for the European Region: Executive Summary*. Copenhagen, Denmark: WHO, 2018.
- [2] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), “Understand Noise Exposure,” Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2024. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/niosh>
- [3] NIOSH, *NIOSH Science Policy Update: Individual Fit-Testing Recommendation for Hearing Protection Devices*, DHHS (NIOSH) Publication No. 2025-104, Jan. 2025.
- [4] J. K. Escobar Guarnizo, “Análisis de la contaminación por ruido generada por aeropuertos y su efecto en la salud,” Especialización, Univ. Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2017.
- [5] J. A. Cano Álvarez, “Metodología para el análisis de la dispersión del ruido en aeropuertos, estudio de caso: Aeropuerto Olaya Herrera de la ciudad de Medellín,” Tesis de Maestría, Univ. Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2009.
- [6] C. A. Galán Cortés, “Guía técnica y metodológica para la realización de estudios de ruido ambiental,” Trabajo de grado, Univ. de La Salle, Bogotá, Colombia, 2001.
- [7] R. Chepesiuk, “Decibel Hell: The Effects of Living in a Noisy World,” *Environmental Health Perspectives*, vol. 113, no. 1, pp. A34–A41, 2005.
- [8] M. Minikin *et al.*, “Environmental noise and health research trends: A bibliometric and systematic review,” 2025. [Online]. Available: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12677276/>
- [9] G. Konstantinoudis *et al.*, “Long-term exposure to aircraft noise and cardiovascular disease hospitalization and mortality near major airports in the UK,” *Environment International*, vol. 205, 2025, doi: 10.1016/j.envint.2025.109884.
- [10] Ministerio de Salud, *Resolución 8321 de 1983*, Colombia, 1983.
- [11] Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, *Resolución 1792 de 1990*, Colombia, 1990.
- [12] International Organization for Standardization, *ISO 9612:2009 Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Engineering method*, Geneva, Switzerland, 2009.
- [13] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Noise Exposure*. Cincinnati, OH, USA: U.S. Department of Health and Human Services, 1998.
- [14] International Organization for Standardization, *ISO 1999:2013, Acoustics — Estimation of noise-induced hearing loss*. Geneva, Switzerland, 2013.