

INFLUENCIA DE LA ALTURA DEL MICRÓFONO EN MEDIDAS DE RUIDO AERONÁUTICO

Jaime Vargas Calderón^{1*}
María Jesús Ballesteros Garrido¹

¹Envirosuite Ibérica S.A.U.

RESUMEN

El nivel de ruido avión medido en el entorno aeroportuario puede verse influenciado por la altura del micrófono de medida. El Real Decreto 1367/2007 [1] establece que la altura de medida para ruido ambiental será de 4m, sin embargo, la ISO 20906:2009 [2], relativa al monitorado de ruido en el entorno aeroportuario, recomienda una altura de medida superior a 6m sobre suelo poroso. Finalmente, OACI [3] establece que las medidas de certificación de aeronaves se realizan a 1,2m.

Ante esta variabilidad de recomendaciones, y teniendo en cuenta la significativa distancia a la fuente sonora y el alto contenido en bajas frecuencias de este tipo de ruido, resulta interesante conocer qué influencia tendrá la altura de medida en los niveles de ruido registrados para distintos ángulos de incidencia y sobre suelo duro.

Se ha realizado un estudio en el que se realizan medidas simultáneas a distintas alturas a fin de determinar cómo afecta esta a los niveles de ruido avión medidos. Esto supone un gran avance a la hora de realizar este tipo de medidas o cuantificar su incertidumbre en aquellos casos en los que no se pueda alcanzar la altura óptima.

ABSTRACT

The level of aircraft noise measured in the airport environment can be influenced by the height of the measuring microphone. Royal Decree 1367/2007 [1] establishes that the measuring height for environmental noise shall be 4 meters. However, ISO 20906:2009 [2], related to aircraft noise monitoring in the airport environment, recommends a measuring height of over 6m above porous ground. Finally, ICAO [3] establishes that aircraft certification measurements are carried out at 1.2m.

Given this variability in recommendations and considering the significant distance from the sound source and the high content of low frequencies in this type of noise, it is interesting to understand the influence that measuring

height will have on the recorded noise levels for different angles of incidence and on hard ground.

A study has been conducted in which simultaneous measurements are taken at different heights to determine how this affects the measured aircraft noise levels. This represents a significant advancement in conducting such measurements or quantifying their uncertainty in cases where the optimal height cannot be achieved.

Palabras Clave— altura de medida, suelo duro, ángulo de incidencia, ISO 20906.

1. INTRODUCCIÓN

El ruido aeronáutico es una preocupación ambiental y de salud pública cada vez más relevante en las sociedades modernas. La medición precisa de los niveles de ruido aeronáutico es esencial para evaluar los impactos ambientales y para desarrollar estrategias efectivas de mitigación del ruido.

Uno de los factores más importantes que influyen en la precisión de las mediciones de ruido aeronáutico es la altura de medida, debido a las posibles reflexiones de las ondas sonoras en el suelo. En caso de no existir otras superficies reflectantes cercanas, el efecto que estas reflexiones tendrán sobre la energía acústica captada por el micrófono dependerá del ángulo de incidencia, la superficie de reflexión, la distancia y movimiento de la aeronave, la distribución frecuencial del sonido y los coeficientes de absorción, difusión y dispersión del suelo. Existen estudios, como el elaborado por R. Bütikofer y G. Thomann [4], que han demostrado que la altura del micrófono con respecto al suelo y a la trayectoria de vuelo de las aeronaves pueden tener un impacto significativo en los niveles de ruido registrados, en función del tipo de avión, distancia a la fuente y ángulo de incidencia. Sin embargo, estos estudios han sido realizados sobre suelo poroso, no conociéndose hasta el momento estudios que evalúen cómo influye la altura del micrófono cuando estos están instalados sobre suelo duro.

* **Autor de contacto:** Jaime.Vargas@envirosuite.com

Copyright: ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



Figura 1. Terminales de Monitorado de Ruido (TMR) instalados.

Con el propósito de minimizar el efecto de las reflexiones en la medición de ruido aeronáutico y mantener la incertidumbre de medida bajo control, la norma ISO 20906:2009 [2] establece recomendaciones específicas relacionadas con la altura y ubicación del micrófono. Concretamente, recomienda una altura de medida de entre 6 m y 10 m, así como la instalación del micrófono sobre suelo poroso y en aquellas ubicaciones en las que el ángulo de elevación sea mayor de 30° . En caso de que no sea posible cumplir estas recomendaciones, la ISO 20906:2009 [2] únicamente concluye que la incertidumbre de medida será mayor, pero no establece un valor de referencia.

El estudio realizado pretende cuantificar las diferencias existentes entre los niveles exposición sonora ponderado A (L_{AE}) medidos simultáneamente en tres monitores instalados a 6,9 m, 4 m y 1,2 m de altura y sobre suelo duro, a fin de comprobar experimentalmente cómo influyen las reflexiones en función de la altura de medida y el ángulo de incidencia en este tipo de suelo.

En la práctica, existen situaciones en las que no es posible instalar micrófonos con una altura igual o superior a 6 m, ya que existen limitaciones como idoneidad, permisos, disponibilidad eléctrica, accesibilidad y/o vandalismo, siendo por tanto común la instalación de micrófonos a 4 m de altura.

Por ejemplo, el Departamento de Investigación y Consultoría Ambiental (ERCD por sus siglas en inglés) de la Autoridad Civil de Aviación (CAA) del Reino Unido establece que, para la mayoría de los ensayos realizados de forma atendida, los micrófonos se instalan a 4 m de altura, a fin de reducir la influencia de las posibles reflexiones [5].

Por otro lado, aunque no esté orientada específicamente a la medición de ruido aeronáutico, el Real Decreto 1367/2007 [1] y la ISO 1996-2:2020 [6] establecen una altura de medida de 4 m para la medición del ruido ambiental.

En cuanto a los cálculos de niveles sonoros para la elaboración de mapas de ruido, la guía Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU) [7], establece que existe evidencia de que, para alturas entre 1,2 m y 4 m, la diferencia de niveles es inferior a 1 dB cuando las mediciones se realizan en suelo poroso y el ángulo de incidencia es superior a 15° . Sin embargo, también recoge que actualmente no hay una evaluación clara sobre la diferencia cuando se trata de suelos reflectantes o ángulos inferiores.

En otras ocasiones, aunque la altura del soporte que sustenta el micrófono sea de más de 6 m de altura, pueden existir superficies horizontales (p. ej. azoteas) que reduzcan la altura efectiva de medida.

2. METODOLOGÍA

En cuanto a la metodología del estudio, se instalaron tres terminales de monitorización de ruido en el municipio de San Fernando de Henares, cerca del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas. Dicha ubicación fue seleccionada debido a la existencia de suelo duro y a la posibilidad de detectar tanto aterrizajes (configuración norte) como despegues (configuración sur) con diferentes ángulos de elevación.

Los tres equipos fueron configurados con el mismo umbral de detección y misma fuente de sincronismo. Para el estudio se emplearon dos B&K 3597-C y un B&K 3639-A, los cuales registran diferentes indicadores acústicos, siendo el L_{AE} el indicador estudiado.

Durante julio y agosto 2023 se registraron un total de 13.253 operaciones de forma simultánea en los tres equipos, lo que equivale a 39.759 eventos sonoros en total.

El sistema de monitorado de ruido del aeropuerto permite conocer la distancia más corta entre el micrófono y la aeronave (slant distance), así como el ángulo de elevación (β). También permite identificar qué tipo de aeronave ha generado cada evento. La Tabla 1 recoge los diez tipos de avión con mayor número de muestras.

Tabla 1. Número de operaciones registradas simultáneamente por tipo de avión (top 10).

Tipo avión	Nº operaciones
B738	2.754
A320	2.121
CRJX	926
A359	867
A332	728
B788	695
A319	669
A20N	651
B789	611
A21N	603
Total	10.625

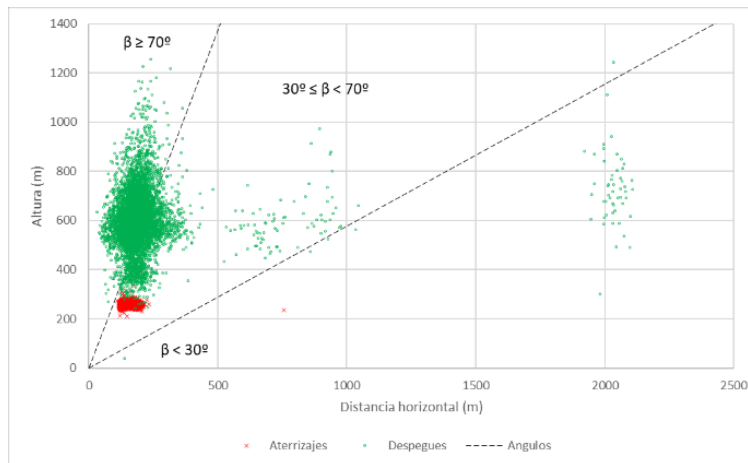


Figura 2. Posición y ángulo de elevación de cada aeronave respecto al micrófono situado a 6,9m.

Tabla 2. Media de las diferencias y error estándar de la media para los eventos aeronáuticos medidos a 6,9m, 4m y 1,2m por situación según el ángulo de elevación. \bar{X} : valor medio. N: número de muestras.

Situación	$\bar{X}(L_{AE_{6,9m}} - L_{AE_{4m}})$ dB	$\bar{X}(L_{AE_{6,9m}} - L_{AE_{1,2m}})$ dB	$\bar{X}(L_{AE_{4m}} - L_{AE_{1,2m}})$ dB	N
Sobrevuelo	$0,2 \pm 0,01$	$0,3 \pm 0,01$	$0,1 \pm 0,01$	4184
Lateral	$-0,5 \pm 0,01$	$-0,6 \pm 0,01$	$-0,1 \pm 0$	9015
Ángulo bajo	$-0,1 \pm 0,16$	$1,6 \pm 0,16$	$1,7 \pm 0,18$	54

Se han definido tres situaciones diferentes en función del ángulo de elevación β , a fin de analizar cómo afecta la altura de medida sobre suelo duro en cada caso:

- Sobrevuelo: ángulo de elevación β mayor o igual a 70° .
- Lateral: ángulo de elevación β mayor o igual a 30° y menor a 70° .
- Ángulo bajo: ángulo de elevación β menor a 30° .

La Figura 2 muestra la situación de cada aeronave en el instante en el que existe una menor distancia entre el micrófono situado a 6,9m. Como se puede apreciar, existe un mayor número de muestras para los ángulos superiores a 30° respecto a las operaciones registradas para ángulos menores a 30° . Esta situación es habitual, ya que los micrófonos suelen estar instalados para captar sobrevuelos siempre que sea posible.

El estudio se ha llevado a cabo en julio y agosto de 2023 debido a la estabilidad atmosférica que trae consigo el verano. La velocidad del viento no ha superado los 10 m/s en ninguno de los promedios quincenales, siendo 2 m/s la velocidad promedio. En cuanto a la temperatura, esta varía en función de la hora del día, encontrándose en el rango entre $14,2^\circ\text{C}$ y $40,2^\circ\text{C}$. Se ha llevado a cabo una revisión y validación de los datos, a fin de asegurar que no existen falsos positivos que puedan distorsionar los resultados.

3. RESULTADOS

Una vez validadas las muestras para el estudio, se calcularon las diferencias L_{AE} para cada una de las operaciones y para las tres alturas. La tabla 2 recoge el valor promedio de las diferencias en función del ángulo de elevación, así como el error estándar de la media. No se ha hecho diferenciación entre aterrizajes y despegues.

Las diferencias son mínimas para la situación de sobrevuelo, obteniéndose un nivel ligeramente más elevado para el micrófono que se encuentra a mayor altura. Tal y como cabría esperar, la mayor diferencia la encontramos entre el micrófono situado a 6,9m y el micrófono situado a 1,2m ($L_{AE_{6,9m}} - L_{AE_{1,2m}}$). Sin embargo, el resultado es muy similar para las tres alturas, por lo que se podría afirmar que la existencia de suelo duro no altera de forma significativa las mediciones de ruido avión en esta situación de sobrevuelo.

En cuanto a la situación de ángulo lateral, se obtienen mayores diferencias que en el caso anterior, aunque inferiores a 1 dB. En este caso, los micrófonos situados a 4m y 1,2m registran un nivel mayor respecto al micrófono de referencia, situado a 6,9m. Se comprueba, por tanto, que se produce una interferencia constructiva en los micrófonos situados más cerca del suelo debido a la alteración producida por el mismo.

Si se compara 4m con 1,2m, se observa que la diferencia es prácticamente nula, lo que indica que no existe diferencia entre medir a 4m o 1,2m

Por último, se observa que las diferencias son mayores cuando el ángulo es bajo y la altura de medida es 1,2m. En este caso, se produce una interferencia destructiva sobre el micrófono situado a 1,2m.

Al contrario que en el caso anterior, no existe una diferencia destacable entre medir a 6,9m o a 4m para esta situación de ángulo bajo.

4. CONCLUSIONES

La investigación realizada no permite establecer un criterio único sobre cómo influye la altura de medida cuando el micrófono se encuentra situado sobre suelo duro, ya que se ha comprobado que las diferencias varían en función del ángulo de elevación.

Como cabría esperar, las mayores diferencias se dan en aquellos casos en los que el micrófono se encuentra a 1,2m, aunque se ha comprobado que para la situación de ángulo lateral se produce una interferencia constructiva que aumenta el nivel resultante respecto al micrófono de referencia, y que no existe prácticamente diferencia respecto al micrófono situado a 4m.

En cuanto a la situación de ángulo bajo, se produce una interferencia destructiva sobre el micrófono de 1,2m respecto a los otros dos.

En cuanto al micrófono situado a 4m respecto al micrófono de referencia, la mayor diferencia se obtiene para la situación de ángulo lateral, siendo esta menor a 1 dB.

De esta forma se concluye que las diferencias entre medir a más de 6m, a 4m o a 1,2m son considerablemente bajas excepto para ángulo menores a 30° en cuyo caso, tal y como se indica en la ISO 20906:2009 [2], la incertidumbre aumenta significativamente.

5. REFERENCIAS

[1] España. Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Boletín Oficial del Estado, de 23 de octubre de 2007, núm. 254.

[2] ISO 20906 Acoustics - Unattended monitoring of aircraft sound in the vicinity of airports, 2009.

[3] OACI (Organización de Aviación Civil Internacional): Protección del medio ambiente, anexo 16, volumen I, ruido de las aeronaves, 2017.

[4] R. Butikofer, and G. Thomann, "Aircraft Sound Measurements: The Influence of Microphone Height," Acta Acustica united with Acustica, Vol. 91, No. 5, 2005, pp. 907–914.

[5] S. White, "Precision of Aircraft Noise Measurements at the London Airports", ERCD REPORT 0506, 2005.

[6] ISO 1996-2 Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of sound pressure levels, 2020.

[7] F. Anfosso-Lédée, M. Paviotti, and S. Kephalopoulos, Common noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU) : to be used by the EU Member States for strategic noise mapping following adoption as specified in the Environmental Noise Directive 2002/49/EC, Publications Office, 2012.