

## LA ALTURA DEL MICRÓFONO EN MEDICIONES ACÚSTICAS EN ENTORNOS URBANOS

David Montes González <sup>1,2</sup>, Juan Miguel Barrigón Morillas <sup>1</sup>, Guillermo Rey Gozalo <sup>1</sup>, Luís Godinho <sup>2</sup>, Paulo Amado Mendes <sup>2</sup>

<sup>1</sup> INTERRA, Lambda, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Extremadura, Spain  
{[davidmg@unex.es](mailto:davidmg@unex.es), [barrigón@unex.es](mailto:barrigón@unex.es), [guille@unex.es](mailto:guille@unex.es)}

<sup>2</sup> ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Portugal  
{[lgodinho@dec.uc.pt](mailto:lgodinho@dec.uc.pt), [pamendes@dec.uc.pt](mailto:pamendes@dec.uc.pt)}

### Resumen

La posición del micrófono en las medidas “in situ” en entornos urbanos para la validación de mapas estratégicos de ruido es un aspecto a considerar para poder estimar correctamente la exposición de la población al ruido ambiental. La Directiva Europea sobre ruido indica que cuando se efectúen este tipo de medidas en las proximidades de edificios, los puntos de evaluación se deben situar a  $4,0\text{ m} \pm 0,2\text{ m}$  ( $3,8\text{ m}$ - $4,2\text{ m}$ ) de altura sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta. Sin embargo, también indica que podrán escogerse otras alturas no inferiores a  $1,5\text{ m}$ , en cuyo caso los resultados deberán corregirse de conformidad con una altura equivalente de  $4\text{ m}$ . En este trabajo se presenta un estudio experimental con medidas de corta duración realizadas de forma simultánea con dos micrófonos situados a alturas de  $1,5$  y  $4\text{ m}$  en diferentes entornos urbanos donde el ruido de tráfico rodado es la principal fuente sonora. Los resultados obtenidos muestran que la diferencia del nivel sonoro registrado en ambos receptores puede variar en función de las características de la calle y de los elementos urbanos presentes en el lugar de medida.

**Palabras clave:** ruido tráfico rodado, mapas ruido, ISO 1996-2, propagación sonido, efecto apantallamiento acústico.

### Abstract

The position of the microphone during “in situ” measurements in urban environments for the validation of strategic noise maps is an issue to be considered in order to correctly estimate the exposure of population to environmental noise. The European Noise Directive specifies that when such measurements are made near buildings, the assessment points should be placed at  $4.0\text{ m} \pm 0.2\text{ m}$  ( $3.8\text{ m}$ - $4.2\text{ m}$ ) above ground level on the most exposed façade. However, it also indicates that other heights not lower than  $1.5\text{ m}$  may be chosen, in which case results should be corrected for an equivalent height of  $4\text{ m}$ . This work presents an experimental study using short-term measurements carried out simultaneously with two microphones located at heights of  $1,5$  and  $4\text{ m}$  in different urban environments where road traffic noise was the main sound source. The results obtained show that the difference in sound level between the two receivers can vary depending on the features of the street and the urban elements present in that place.

**Keywords:** road traffic noise, noise mapping, ISO 1996-2, sound propagation, acoustic shielding effect

PACS n°. 43.50.Rq, 43.20.Fn

## 1 Introducción

La Directiva Europea sobre el Ruido (END) [1] estableció los mapas estratégicos de ruido como una herramienta útil para estimar la población expuesta al ruido ambiental y diseñar planes de acción para mitigar su exposición. Las mediciones in situ desempeñan un papel importante en el proceso de validación de los mapas de ruido porque permiten comparar los indicadores de sonido calculados por software con los resultados experimentales obtenidos en condiciones reales [2]. En este contexto, es importante señalar que las condiciones de propagación del sonido en entornos urbanos consideradas en los modelos de software no siempre pueden coincidir plenamente con las condiciones reales en las que se realizan las mediciones in situ [3,4].

END señaló que cuando estas mediciones se realizan cerca de edificios, los puntos de evaluación deben situarse a  $4,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$  sobre el nivel del suelo en la fachada más expuesta. Sin embargo, también indica que pueden elegirse otras alturas no inferiores a 1,5 m, en cuyo caso los resultados deben corregirse para una altura equivalente de 4 m. A este respecto, la norma ISO 1996-2 [5] establece que en general debe utilizarse una altura de micrófono de  $4,0 \pm 0,2 \text{ m}$  para mapas de ruido, a menos que se especifique lo contrario. Además, el informe FHWA-PD-96-046 [6] del Departamento de Transporte de los EE.UU. establece como preferencia la altura de 1,5 m, mientras que considera las alturas de 4,5 y 7,5 m como otras posibles opciones para las zonas de edificios de varios pisos. En relación con este aspecto, la "Guide du Bruit des Transports Terrestres": Prevision des Niveaux Sonores" [7] determina que no se debe aplicar ninguna corrección entre las posiciones de los micrófonos a 1,5 y 4 m sobre el suelo ( $K_h = 0$ ) para las calles de perfil en U.

Soler et al. [8] analizaron las diferencias de los niveles sonoros entre dos micrófonos situados a 1,5 y 4,0 m sobre el suelo en 21 puntos diferentes de Barcelona (España). Para ello, se realizaron mediciones de 12 minutos en las que los receptores se situaron a una distancia de entre 1,2 y 1,5 m del carril de tráfico más cercano y, cuando fue posible, a más de 2 m de la fachada de los edificios. En este estudio, los autores no especifican si había algún obstáculo entre la fuente de sonido y los micrófonos. Los resultados indicaron que, en promedio, el micrófono colocado a 1,5 m de altura registró 0,2 dB más que el micrófono a 4,0 m. En la misma línea de investigación, Montes González y otros [9] realizaron un estudio similar en Cáceres (España) con mediciones de 15 minutos en las que se colocaron dos sonómetros a 3 m de la fachada de los edificios y a alturas de 1,5 y 4 m. En los puntos seleccionados, los autores trataron de evitar el efecto de apantallamiento de los vehículos estacionados a los lados de las calles, pero en algunos casos no se pudo asegurar que el micrófono tuviera un ángulo de visión de al menos  $60^\circ$  con respecto a la fuente sonora extendida (tráfico rodado) [5]. Los resultados en banda ancha mostraron que, en promedio, el micrófono colocado a una altura de 4 m registró valores para el nivel sonoro equivalente de 0,8 dB más alto que el colocado a 1,5 m. Esta diferencia aumentó a 1 dB cuando se aplicó una corrección debido a la distancia. En el análisis de bandas de frecuencia de octava, pareció confirmarse la hipótesis del efecto de apantallamiento acústico debido a vehículos estacionados para frecuencias superiores a 250 Hz.

Este trabajo presenta un estudio experimental utilizando mediciones de corta duración realizadas simultáneamente con dos micrófonos situados a alturas de 1,5 y 4 m en diferentes entornos urbanos donde el ruido del tráfico rodado era la principal fuente de sonido. Los resultados obtenidos muestran que la diferencia de nivel sonoro entre los dos receptores puede variar en función de las características de la calle y de los elementos urbanos presentes en ese lugar.

## 2 Metodología

Este estudio experimental se llevó a cabo en Coímbra, una ciudad de aproximadamente 105.000 habitantes [10] situada en la región central de Portugal (figura 1). El ruido del tráfico rodado fue considerado como la principal fuente de ruido. Se utilizaron dos sonómetros de clase 1 (Brüel & Kjør tipo 2250 Light) y equipos auxiliares para realizar mediciones simultáneas in situ con sus respectivos micrófonos colocados a 1,5 y 4 m sobre el suelo.



Figura 1 – Localización de Coímbra (Google Maps)

Para este propósito, dos calles con perfil en L fueron consideradas. En cada una de ellas, dos puntos de medida fueron seleccionados con el fin de valorar diferentes condiciones de propagación del sonido en cada entorno urbano. Por un lado, en cada calle fue seleccionado un punto sin obstáculos entre la fuente sonora y los micrófonos. En este caso, dos configuraciones de medida fueron utilizadas en función de la distancia entre el micrófono y la fuente sonora ( $d_{MS} = 2$  y  $8$  m). En este sentido, se consideró la distancia entre el receptor y el punto más cercano del carril de tráfico más próximo. Por otro lado, una configuración con vehículos aparcados entre la fuente sonora y los receptores fue considerada en cada una de las dos calles. En este caso, los micrófonos fueron colocados a una distancia de 2 m respecto al punto más cercano de los obstáculos ( $d_{MV}=2m$ ). La figura 2 muestra los micrófonos situados en cada una de las dos calles seleccionadas sin (figura 2a) y con obstáculos (figura 2b) entre los carriles de tráfico rodado y los micrófonos. Para cada una de estas configuraciones, cinco medidas de 10 minutos fueron realizadas con el fin de poder obtener resultados promediados y su desviación estándar.

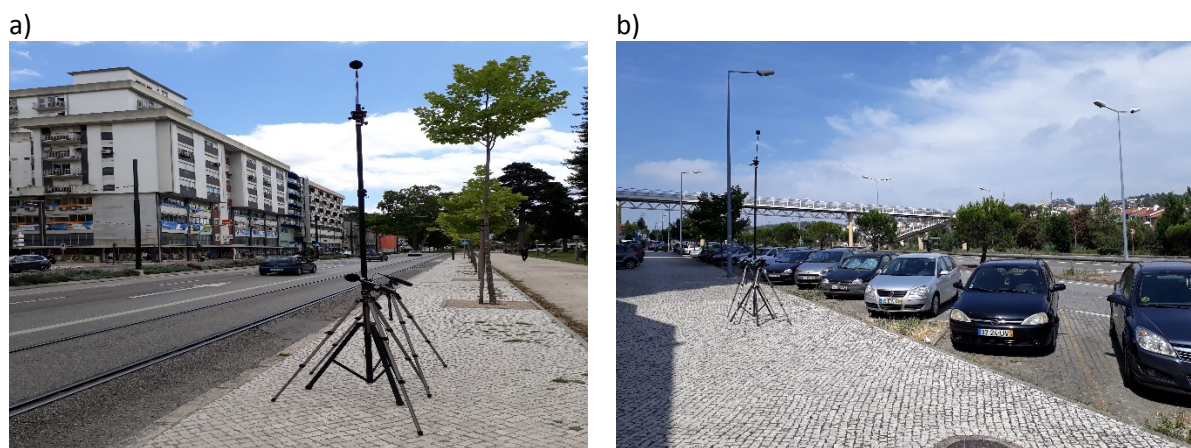


Figura 2 – Puntos de medida en a) la calle 1 sin obstáculos y b) la calle 2 con vehículos aparcados

### 3 Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en banda ancha para la diferencia del nivel sonoro equivalente ( $L_{eq}$ ) medido entre los micrófonos situados a 4 y 1,5 m de altura se muestran en la tabla 1. En los casos de los puntos de medida situados en cada calle en los que no existe ningún obstáculo para la propagación del campo sonoro desde la fuente sonora hasta los micrófonos, se observa en primer lugar que para distancias cortas entre los carriles de tráfico y los receptores ( $d_{MS}=2$  m) las diferencias del nivel sonoro equivalente registrado por ambos micrófonos alcanzan un valor máximo de -0,4 dBA en la calle 2. En este rango de distancias, es el equipo situado a una altura de 1,5 m el que registra valores más elevados. Cuando aumenta la distancia entre fuente sonora y receptores hasta 8 m ( $d_{MS}=8$  m), esta diferencia de niveles sonoros invierte su signo y alcanza un valor máximo de 0,8 dB en ambas calles. En esta configuración de medida, el equipo situado a 4 m de altura registra un mayor valor del nivel equivalente. Por tanto, los resultados parecen indicar que la diferencia del nivel sonoro equivalente entre los equipos situados a 4 y 1,5 m en configuraciones sin vehículos aparcados entre los carriles de tráfico y los micrófonos pueden variar hasta 1,2 dBA en función de la distancia entre estos receptores y la fuente sonora.

Por otra parte, en el caso del punto de medida en el que existe una línea de vehículos aparcados entre la fuente sonora y los micrófonos, la diferencia del nivel equivalente sonoro entre los micrófonos situados a 4 y 1,5 m de altura oscila entre 3,6 dBA en la calle 1 y 4,2 dBA en la calle 2. En este tipo de configuración urbana, el micrófono situado a 4 m de altura registró un valor más elevado para el nivel sonoro. Este efecto de apantallamiento acústico debido a los vehículos estacionados en entornos urbanos alcanza una magnitud que puede ser relevante en el proceso de validación de los mapas estratégicos de ruido, ya que los modelos computacionales no suelen tener en cuenta la presencia de estos obstáculos para el cálculo de los indicadores de ruido en las fachadas de los edificios.

Tabla 1 – Diferencia del nivel equivalente medido en banda ancha entre los micrófonos situados a 4 y 1,5 m de altura

	$\Delta Leq_{4m-1.5m} \pm \sigma$ (dBA)		
	Con vehículos aparcados	Sin vehículos aparcados	
	$d_{MV}=2$ m	$d_{MS}=2$ m	$d_{MS}=8$ m
Calle 1	$3,6 \pm 0,5$	$-0,4 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,2$
Calle 2	$4,2 \pm 0,2$	$-0,2 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,3$

Con el fin de complementar los resultados mostrados en la tabla 1, la figura 3 muestra la diferencia del nivel equivalente ( $Leq$ ) medido en bandas de octavas de frecuencia entre los micrófonos situados a 4 y 1,5 m de altura en el caso con vehículos aparcados. En ambas calles, la diferencia de niveles empieza a ser notable a partir de la banda de 250 Hz, en la cual toma valores en torno a 2 dB. A partir de ese punto, el efecto de apantallamiento aumenta progresivamente con la frecuencia hasta la banda de 2 kHz, en la que alcanza un valor máximo de 4,8 dB en la calle 1 y 5,7 dB en la calle 2. A partir de este punto, la diferencia de niveles se reduce ligeramente en ambos casos hasta valores en torno a 3,5 dB a 8 kHz.

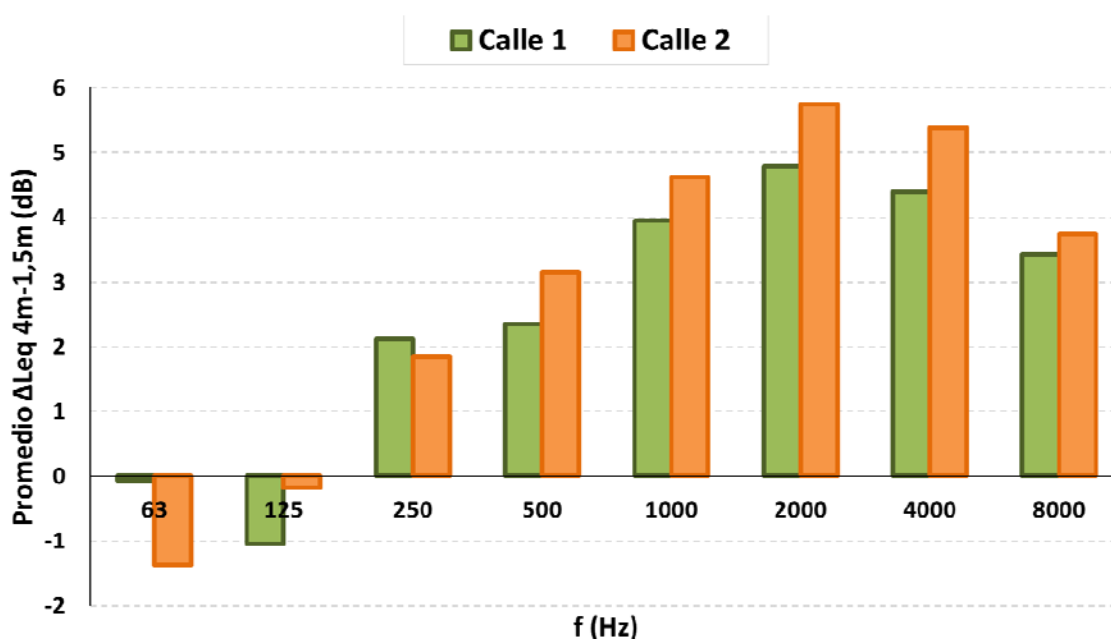


Figura 3 – Diferencia del nivel equivalente medido entre los micrófonos situados a 4 y 1,5 m de altura en bandas de octavas de frecuencia con vehículos aparcados

Los resultados experimentales obtenidos en esta investigación no coinciden con la propuesta de CETUR [7] de no aplicar ninguna corrección para alturas de micrófono de 4 m o inferiores. Además, estos pueden ayudar a establecer una primera aproximación a la corrección sugerida por END entre las alturas de los micrófonos de 1,5 y 4 m considerando las diferentes configuraciones urbanas y la distancia entre los micrófonos y la fuente sonora.

## 4 Conclusiones

El presente trabajo muestra un estudio experimental en el que se realizaron mediciones simultáneas con dos micrófonos a alturas de 1,5 y 4 m en diferentes puntos situados en dos calles de Coímbra (Portugal) donde el tráfico rodado era la principal fuente de ruido.

En las configuraciones urbanas en las que el campo sonoro se propagaba sin obstáculos entre los carriles de tráfico y los receptores, la diferencia del nivel sonoro varió su magnitud y signo en función de la distancia entre los micrófonos y la fuente sonora ( $d_{MS}$ ). Por otra parte, en los puntos en que había una línea de vehículos estacionados entre la fuente sonora y los receptores, la diferencia de niveles sonoros alcanzó valores de hasta 4,2 dBA. En este sentido, se detectó un efecto de apantallamiento acústico para las bandas de frecuencia superiores a 250 Hz.

Estos resultados pueden ser relevantes en la verificación de los mapas estratégicos de ruido contemplados en la Directiva Europea sobre el Ruido y en la aplicación de correcciones de los indicadores de ruido en función de la altura de los receptores.

### Agradecimientos

Este proyecto fue cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y la Junta de Extremadura (GR18107 e IB18050).

Este trabajo fue financiado parcialmente por FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., en el ámbito de la unidad de investigación “Institute for sustainability and innovation in structural engineering - ISISE” (UIDP/04029/2020), y por Regional Operational Programme CENTRO2020 en el ámbito del proyecto CENTRO-01-0145-FEDER-000006 (SUSpENsE).

Este trabajo también fue financiado por la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura, la Unión Europea y el Fondo Social Europeo (FSE) a través de las ayudas para el fortalecimiento de la I+D+i mediante la movilidad de investigadores postdoctorales (PO17014) y por la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura a través de ayudas para la atracción y retorno de talento investigador a centros de I+D+i pertenecientes al Sistema Extremeño de Ciencia, Tecnología e Innovación (TA18019), siendo la Universidad de Extremadura la entidad beneficiaria en ambos casos.



Fondo Social Europeo  
Una manera de hacer  
Europa

Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional  
Una manera de hacer  
Europa



**FCT** Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

### Referencias

- [1] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise (END). Official Journal L, 189. Brussels: The European Parliament and the Council of the European Union, 0012–0026; 2012.



- [2] WG-AEN (Working Group Assessment of Exposure to Noise), 2007. Good practice guide for strategic noise mapping and the production associated data on noise exposure. Version 2. European Commission, Brussels, Belgium (Position Paper 2).
- [3] Rey Gozalo, G., Gómez Escobar, V., Barrigón Morillas, J.M., Montes González, D., Atanasio Moraga, P. Statistical attribution of errors in urban noise modeling. *Applied Acoustics* 153, 2019, pp. 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.04.001>
- [4] Montes González, D., Barrigón Morillas, J.M., Godinho, L., Amado-Mendes, P. Acoustic screening effect on building façades due to parking lines in urban environments. Effects in noise mapping. *Applied Acoustics* 130, 2018, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.08.023>
- [5] ISO 1996-2. Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels. Geneva: International Organization for Standardization; 2017.
- [6] FHWA-PD-96-046, 1996. Measurement of Highway-Related Noise. US Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Washington D.C., USA.
- [7] CETUR, 1980. (Centre d'Etudes des transports Urbains). Guide du bruit des transports Terrestres. Préviation des niveaux sonores. CETUR, France.
- [8] Soler Rocasalbas, S., Torregrosa Avilés, S., Rossell Turull, I., Arnet, V.I. Comparativa entre medidas de ruido urbano a 1.5 y 4m. *Proceeding of National Congress of Acoustic Tecniacústica*, 2005.
- [9] Montes González, D., Barrigón Morillas, J.M., Rey, G.G. Influence of equipment location on results of urban noise measurements. *Appl. Acoust.* 90, 2015, pp. 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.11.001>
- [10] Statistics Portugal. [www.ine.pt](http://www.ine.pt)