

LA APLICACIÓN DE LA NORMA ISO 1996-2. ESTUDIO DE CASO

PACS: 43.50.Rq

David Montes González¹, Juan Miguel Barrigón Morillas¹, Pedro Atanasio Moraga¹, Guillermo Rey Gozalo², Rubén Maderuelo Sanz³, Rosendo Vílchez Gómez¹, Juan Antonio Méndez Sierra¹, José Trujillo Carmona¹, Luis Manuel Godinho⁴.

¹ Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura
Avda. de la Universidad s/n, Cáceres, 10003, España
Tfno.: (+34) 927 25 72 34, Fax: (+34) 927 25 72 03
E-mail: barrigon@unex.es

² Universidad Autónoma de Chile, 5 Poniente 1670,
3460000 Talca, Región del Maule, Chile;

³ Intromac. Campus Universitario. Avenida de la Universidad s/n. Cáceres.

⁴ Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Coimbra.
R. Luis Reis dos Santos 290, Coimbra, Portugal

Palabras Clave: ISO 1996, ruido, configuración de medida, incertidumbre, precisión.

ABSTRACT

The application of ISO 1996-2 to carry out urban noise measurements, in order to assessing its impact on population, can be complicated in many cases. We have selected for our study a sensitive building for teaching use. The measurement environment has been analyzed and a measurement strategy has been proposed that will allow us to analyze the differences between different configurations, all of them under strict compliance with the standard and the recommendations indicated in its annex B. We compare the results based on these configurations and with those obtained by a calculation method.

RESUMEN

La aplicación de la norma ISO 1996-2 para la realización de medidas de ruido urbano, encaminadas a evaluar su impacto sobre la población, en muchos casos, puede llegar a ser complicado. Hemos seleccionado para nuestro estudio un edificio sensible de uso docente. Ha sido analizado el entorno de medida y se ha planteado una estrategia de medida que nos va a permitir analizar las diferencias entre diferentes configuraciones, todas ellas bajo estricto cumplimiento de la norma y de las recomendaciones indicadas en su anexo B. Compararemos los resultados en función de esas configuraciones y con los obtenidos por un método de cálculo.

INTRODUCCIÓN

La Directiva Europea sobre Ruido [1] propone el uso de los mapas de ruido como un instrumento para determinar la exposición de la población al ruido ambiental y para, servir de base para conocer los lugares en los que se hace necesario el planteamiento de Planes de Acción por superarse los valores límite indicados en las legislaciones. En este sentido, se pueden considerar diferentes estrategias para desarrollar los mapas de ruido: a) métodos informatizados, realizados mediante cálculos que modelan el comportamiento del campo sonoro; b) estudios mediante medidas in situ que, en gran medida, se diferencian entre ellos en aspectos metodológicos relativos a la selección de los puntos de muestreo, más que en el procedimiento de medida, que se encuentra normalizado [2,3,4]. Sin embargo, incluso cuando se utilice un método informatizado, es necesaria la realización de medidas “in situ” para su calibración o validación [5].

En relación con este asunto, las normas internacionales ISO 1996 [2,3] describen aspectos relacionados con el cálculo y el procedimiento de medición del nivel de presión sonora en ambientes exteriores y son tomadas por la Directiva Europea sobre Ruido como una referencia para la elaboración de mapas de ruido.

La norma ISO 1996-2 propone unas correcciones que se deben realizar en los valores de los niveles sonoros medidos, con el objetivo de tener en cuenta los efectos de la reflexión respecto al campo sonoro incidente en fachada. La norma hace distinción entre tres casos:

- Posición con el micrófono montado a ras de la superficie reflectante: -6 dB.
- Posición con el micrófono situado entre 0.5 y 2 m frente a la superficie reflectante: -3 dB.
- Posición de campo libre (condición de referencia): 0 dB.

En este sentido, la propia norma indica que las correcciones propuestas pueden no coincidir con los resultados obtenidos en condiciones reales de medida en un entorno urbano, pudiendo producirse en la práctica desviaciones inferiores o superiores a los valores indicados [6,7]. Además, en el anexo B de la norma se detallan unas condiciones para las que el valor indicado de la corrección es esperable e, incluso, se indican situaciones en las que no es adecuado medir en todo este rango de distancias [8].

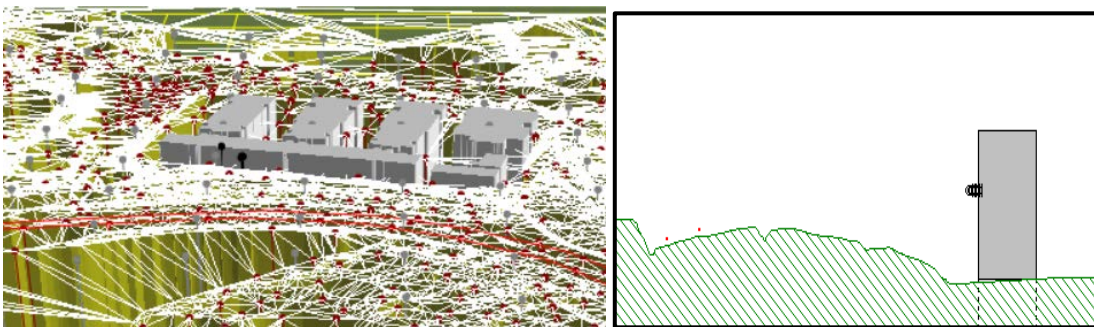


Figura 1.- Zona de estudio en el Campus Universitario de Cáceres (Google Maps).

Si se tiene la intención de conocer de forma experimental la exposición de la población al ruido ambiental en un determinado edificio, el problema fundamental es evaluar el nivel sonoro que incide sobre la fachada del mismo a la altura deseada. Teniendo en cuenta las consideraciones de la norma ISO 1996, en este trabajo se presenta un estudio mediante medidas y mediante cálculos de las correcciones propuestas por esta norma en función de la posición del micrófono, así como su posible repercusión sobre la incertidumbre de los indicadores de ruido calculados en los mapas de ruido. El lugar seleccionado se corresponde con una zona sensible destinada a uso docente, como es el Campus Universitario de la Universidad de Extremadura en Cáceres, en concreto en la Escuela Politécnica (Fig.1).

METODOLOGÍA

La zona bajo estudio en el presente trabajo se corresponde con la Escuela Politécnica de Cáceres, situada dentro del Campus Universitario de la Universidad de Extremadura en dicha ciudad. Como se puede observar en las Fig. 1, 2 y 3, junto al edificio en el que se han situado los equipos de medida discurre la carretera N-521, una de las principales vías de acceso a la ciudad, considerada como vía de tipo 1 según el método de Categorización [9,10].



Figuras 2 y 3: Modelo y representación gráfica de la configuración de medida (sección)

Para llevar a cabo el presente estudio se utilizaron dos sonómetros-analizadores Brüel & Kjær tipo 2250 Light de clase 1. Uno de los equipos fue situado con el micrófono montado sobre la fachada del denominado “Edificio Común” de la Escuela Politécnica, a ras sobre una plancha metálica de 6 mm de espesor y dimensiones efectivas de 0,5 x 0,7 m. Mientras que el segundo fue situado a diferentes distancias (0,5; 1; 1,5; 2 y 3 m) de dicha superficie reflectante. En este sentido, para cada una de las cinco configuraciones citadas, se realizaron medidas con un tiempo de integración de 15 minutos durante un periodo de una semana.

En la disposición de los micrófonos de medida se tuvieron en consideración las referencias que la norma ISO 1996-2 hace en su parte normativa a las condiciones para que las correcciones propuestas se verifiquen, así como aquellas indicadas en el anexo B a modo informativo. Es decir, todos aquellos aspectos relativos a las características de la superficie reflectante y los equipos de medida, a la posición de los micrófonos y a la distancia desde estos a los bordes de la superficie reflectante. También se tuvo en cuenta la relación entre las distancias fachada-micrófono y fachada-fuente sonora y la relación entre las distancias micrófono-fuente sonora y fachada-fuente sonora (ver Fig. 5) según las zonas de medida reguladas en el anexo B de la norma ISO 1996-2 [8].

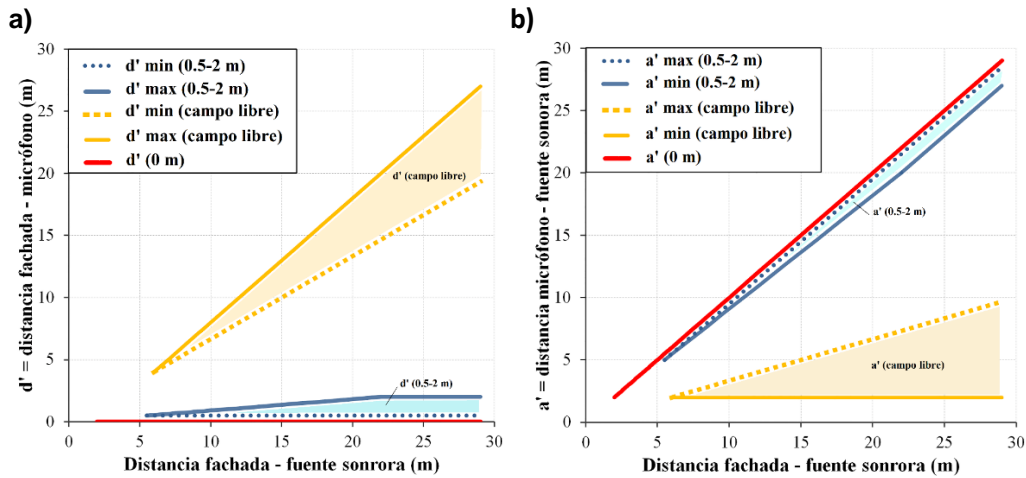


Fig. 5.- Relación entre las distancias fachada-micrófono y fachada-fuente sonora (a) y relación entre las distancias micrófono-fuente sonora y fachada-fuente sonora (b) según las zonas de medida reguladas en el anexo B (informativo) de la norma ISO 1996-2.

En último lugar, también se realizó un modelo informatizado de la zona de estudio mediante el software CadnaA, con el fin de poder comparar los resultados con los valores obtenidos de forma experimental., en el caso de CadnaA se usó el método CNOSSOS-EU [12].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos mediante medidas “in situ” para las diferencias del nivel equivalente ponderado A entre los micrófonos situados a ras de la fachada del edificio y a diferentes distancias de ella se muestran en la tabla 1 para cada una de las configuraciones de medida. Esta tabla incluye la media de las diferencias del nivel equivalente ponderado A para el total de la medida, considerando periodos de integración de 15 minutos, sobre las medidas realizadas durante el intervalo temporal de una semana en cada una de las configuraciones empleadas, así como su desviación estándar.

Configuración	ΔL_{Aeq} FACHADA-DISTANCIA (dBA)				
	d=0,5 m	d=1 m	d=1,5 m	d=2 m	d=3 m
Media	2,1	2,0	2,5	2,5	2,2
Dev. estándar	0,5	0,8	0,3	1,1	0,3

Tabla 1: Resultados obtenidos para las diferencias del nivel equivalente.

Como se puede observar, en todos los casos, los valores obtenidos para la diferencia del nivel equivalente resultan inferiores a la corrección de -3 dB propuesta por la norma ISO 1996-2 para la posición del micrófono frente a una superficie reflectante a una distancia entre 0.5 y 2 m. De este modo, mientras para las configuraciones de medida a distancias de 1,5 y 2 m se observan variaciones de 0,5 dBA respecto al valor propuesto por la norma, a distancias inferiores (0,5 y 1 m) esta variación alcanza el valor de 1 dBA, lo cual representa una variación de relativa importancia respecto del valor indicado por la norma para la corrección (-3dB).

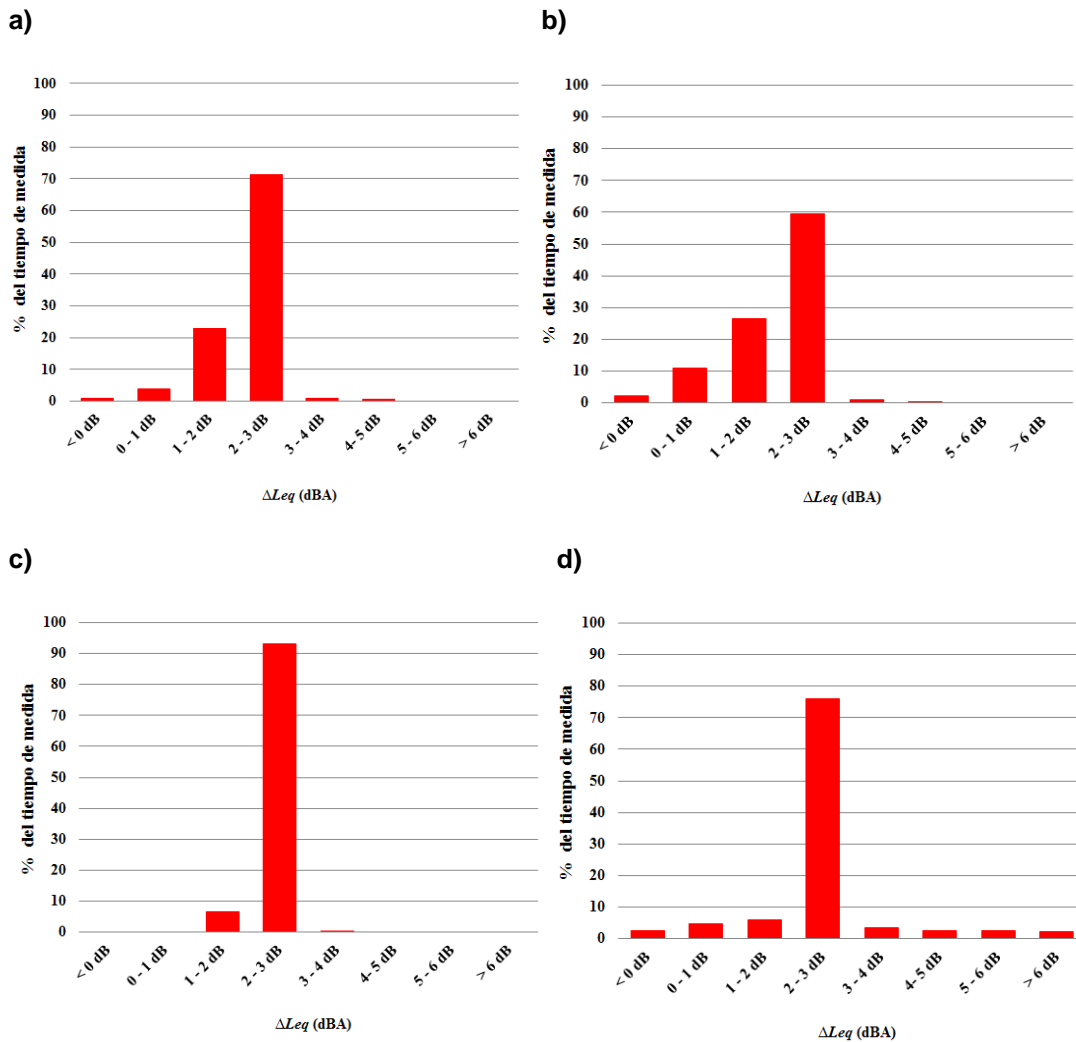


Figura 6: Histogramas para las medidas de la diferencia de niveles entre los micrófonos situados en fachada y a una distancia (d) de la misma: a) d=0,5m, b) d=1m, c) d=1,5m y d) d=2m

También resulta de interés destacar que, para la configuración en la que el micrófono está situado a una distancia superior a los 2 m de la fachada, se obtiene una diferencia de niveles similares a las obtenidas en el rango de distancias a la fachada recogido por la norma, 2,2 dBA, a la distancia de 3 m. Esto parece indicar que, incluso en distancias superiores a los 2 m que indica la norma respecto a la fachada, es posible encontrarse con una suma de energía de los campos sonoros directo y reflejado. Por tanto, quizás pueda considerarse la posibilidad, de realizar la medida del campo sonoro incidente en fachada de forma directa con medidas a distancias superiores a los 2 m. Este resultado ya ha sido indicado en el trabajo de Montes González et al. [6]

Si, empleando periodos de integración de 15 minutos, analizamos los histogramas realizados para los resultados obtenidos de las diferencias de niveles entre los micrófonos situados en fachada y a una distancia (d) de la misma (Fig. 6), para el intervalo de 0,5 a 2 m indicado en la norma ISO 1996-2, observamos que las diferencias del nivel equivalente ponderado A toma valores dentro del intervalo 2-3 dBA en la mayor parte del tiempo de medida en las cuatro configuraciones. En este sentido, cabe destacar la configuración en la que el micrófono se encuentra a 1,5 m de la fachada, en la cual este porcentaje de tiempo alcanza un valor alrededor del 90 %.

Dado que la Directiva Europea sobre Ruido [1] propone el uso de diferentes indicadores para la elaboración de los mapas estratégicos de ruido, en la tabla 2 se muestran los resultados de las diferencias obtenidas entre los dos micrófonos para los indicadores semanales día (L_d), tarde (L_e), noche (L_n) y día-tarde-noche (L_{den}) en cada una de las configuraciones de medida utilizadas siguiendo las indicaciones de la norma ISO 1996-2.

De forma similar a lo que ocurría para el promedio de las diferencias del nivel equivalente ponderado A para el conjunto de medidas con un periodo de integración de 15 minutos realizadas a lo largo de una semana (Tabla 1), los valores de las diferencias de los indicadores semanales de ruido resultan inferiores a la corrección de -3 dB propuesta por la norma ISO 1996-2 para la posición del micrófono frente a una superficie reflectante a una distancia entre 0.5 y 2 m. Podemos observar una oscilación en las diferencias obtenidas en las diferentes configuraciones de medida y para los diferentes indicadores que va desde 1,6 dBA, para el promedio del nivel día en la configuración de 1 m de distancia a la fachada, hasta el valor de 3,2 dBA, en el caso del indicador L_e para la configuración de medida de 2m de distancia a la fachada.

Configuración	VARIACIÓN DE LOS INDICADORES DE RUIDO SEMANALES (FACHADA-DISTANCIA)			
	ΔL_d (dBA)	ΔL_e (dBA)	ΔL_n (dBA)	ΔL_{den} (dBA)
d=0,5 m	2,0	2,1	2,2	2,2
d=1 m	1,6	2,1	2,4	1,9
d=1,5 m	2,6	2,4	2,6	2,5
d=2 m	2,5	3,2	2,4	2,8
d=3 m	2,4	2,1	2,3	2,3

Tabla 2: Resultados obtenidos para los indicadores sonoros

Según los resultados experimentales obtenidos en este trabajo, mostrados en las tablas 1 y 2, la configuración de medida a 1 m de distancia de la fachada resulta ser la menos adecuada para obtener el valor de la exposición de la población al ruido urbano. Por otro lado, podemos observar también que la configuración de medida de 3 m de distancia a la fachada resulta similar o incluso más adecuada, para el caso analizado, que la configuración a 0,5 m de la fachada. Finalmente, las configuraciones a 1,5 y a 2m de distancia de la fachada han resultado ser las más adecuadas, obteniéndose mejores resultados para la configuración a 2 m de la fachada, con valores experimentales de la corrección cercanos al valor de -3 dB indicado por la norma. Aunque el peor valor para esta configuración de medida se obtiene en el indicador L_n de gran importancia en la evaluación del efecto del ruido urbano sobre la población por sus implicaciones en el efecto de la contaminación acústica sobre el descanso nocturno.

Por último, tal como se indicaba en el apartado anterior, además de las medidas “in situ” se han realizado una serie de simulaciones mediante CadnaA. En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos mediante simulación para las diferencias del indicador sonoro L_{den} entre los receptores situados a ras de la fachada del edificio y a una distancia del mismo.

Configuración	ΔL_{den} FACHADA-DISTANCIA (dBA)				
	d=0,5 m	d=1 m	d=1,5 m	d=2 m	d=3 m
CNOSSOS-EU	1.6	2.8	2.8	2.8	2.8

Tabla 3: Resultados obtenidos para las diferencias L_{den} mediante CadnaA

Como se puede observar, en general, en las simulaciones realizadas se obtienen valores de las diferencias para el indicador L_{den} próximas a la corrección de -3dB propuesta por la norma ISO 1996-2. Sin embargo, para una distancia de 0,5 m, esta diferencia resulta claramente inferior a lo especificado por la norma. También es preciso destacar que, al igual que ocurría en las medidas “in situ”, para la configuración de medida correspondiente a una distancia de 3 m a la fachada del edificio, parece que se puede considerar que sigue existiendo una suma de energía entre el campo incidente y el reflejado en fachada. Por otro lado, si comparamos los resultados experimentales con los teóricos, en particular, los valores obtenidos mediante la simulación son similares a los obtenidos experimentalmente para las distancias a fachada de 1,5 m y 2 m. Pero las diferencias son relativamente importantes para las configuraciones de distancias a fachada de 0,5 m, 1 m y 3 m. En particular, es de resaltar la diferencia entre simulación y medida en el caso de la distancia a fachada de 1 m, con casi 1 dBA de diferencia.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado un caso de estudio de los efectos que podría tener sobre la obtención de la dosis recibida en un edificio sensible la elección del sistema de evaluación o la elección de la configuración de medida. Para ello se ha considerado un modelo de cálculo basado en el método CNOSSOS-EU y diferentes configuraciones de medida, considerando las indicaciones que pueden encontrarse en la norma ISO 1996-2.

Considerando el trabajo mostrado en este caso bajo estudio, podemos considerar que:

- Los resultados obtenidos mediante medidas para la diferencia de niveles sonoros e indicadores sonoros de ruido, cuando se coloca un micrófono a ras de la fachada de un edificio y otro a una distancia entre 0,5 y 2 m, son inferiores a la corrección que se indica debe ser aplicada según la norma ISO 1996-2.
- Del mismo modo, los valores obtenidos de forma experimental resultan, en general, inferiores a los valores previstos por modelos informatizados realizados mediante CadnaA con el método CNOSSOS-EU. La distancia de 2 m a fachada ha resultado ser la más adecuada y las distancias de 0,5 m y 1 m las menos adecuadas.
- De este modo, en línea con lo indicado por la citada norma en su apartado de cálculo de incertidumbre, la selección de la posición del micrófono, cuando se realizan medidas para calibrar los mapas estratégicos de ruido o para llevarlos a cabo, se puede considerar como un factor importante a tener en cuenta para alcanzar una mejoría en la precisión de los resultados y, en su caso, para obtener la incertidumbre de los indicadores de ruido.
- Finalmente, según los resultados mostrados, incluso a distancias superiores a los 2 m, máxima distancia fachada que indica la norma ISO 1996-2 para realizar medidas, parece encontrarse la existencia de una suma de energía entre el campo incidente y el reflejado y, por tanto, podría abrirse la posibilidad de que el campo sonoro incidente en fachada pueda estudiarse de forma directa con medidas a distancias superiores a los 2 m. Lo que puede ser especialmente interesante en el caso de medidas atendidas a pie de calle.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto TRA2015-70487-R (MINECO/FEDER, UE); Junta de Extremadura, Consejería de Economía e Infraestructura (GR15063); Fondo Europeo para el Desarrollo Regional (FEDER) y Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) a través del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) para investigadores de iniciación (Nº 11140043).



BIBLIOGRAFÍA

- [1] COM. 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. Official Journal L, 189. Brussels: The European Parliament and the Council of the European Union, 0012-0026; 2012.

- [2] ISO 1996-2. Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels. Geneva: International Organization for Standardization; 2007.
- [3] ISO 1996-1. Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basis quantities and assessment procedures. Geneva: International Organization for Standardization; 2003.
- [4] ANSI S12.18. Procedures for outdoor measurement of sound pressure level. New York: Acoustical Society of America; 1994.
- [5] WG-AEN (Working Group Assessment of Exposure to Noise). Good practice guide for strategic noise mapping and the production associated data on noise exposure. Version 2. Brussels, Belgium. European Commission, Position Paper 2; 2007.
- [6] Montes González, D.; Barrigón Morillas, J. M. & Rey Gozalo, G. Influence of equipment location on results of urban noise measurements. *Appl Acoust* 2015; 90; 64-73.
- [7] Mateus M, Carrilho JD, da Silva MG. An experimental analysis of the correction factors adopted on environmental noise measurements performed with window-mounted microphones. *Appl Acoust* 2015;87; 212–8.
- [8] Barrigón Morillas, J. M., Montes González, D. and Rey Gozalo, G. A review of the measurement procedure of the ISO 1996 standard. Relationship with the European Noise Directive. *Science of the Total Environment*, 565, 595–606, (2016).
- [9] Barrigón Morillas JM, Gómez Escobar V, Méndez Sierra JA, Vílchez Gómez R, Trujillo Carmona J. An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *Appl Acoust* 2002;63(10):1061-1070.
- [10] Barrigón Morillas JM, Escobar VG, Carmona JT, Sierra JAM, Vílchez-Gómez R, Río FJCD. Analysis of the prediction capacity of a categorization method for urban noise assessment. *Appl Acoust* 2011;72(10):760-771.
- [11] David Montes González, Juan Miguel Barrigón Morillas, Luis Godinho, Paulo Amado Mendes, Guillermo Rey Gozalo, Pedro Atanasio Moraga. Selection of microphone location, measurement uncertainty and calculated noise maps. 24th International Congress on Sound and Vibration, 23-27 July 2017.
- [12] Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). Stylianos Kephelopoulos, Marco Paviotti, Fabienne Anfosso-Lédée. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.