

## **RUIDO URBANO EN CÁCERES, ESPAÑA. EL MÉTODO DE CUADRÍCULA**

**Gómez Escobar, Valentín; Barrigón Morillas, Juan Miguel; Vilchez-Gómez, Rosendo; Méndez Sierra; Juan Antonio; Carmona del Río, F. Javier y Rey Gozalo, G.**

Departamento de Física Aplicada, Universidad de Extremadura, Escuela Politécnica, Avda. de la Universidad, s/n 10071 Cáceres, España. Tel.: 34 927257195; Fax: 34 927257203.  
(valentin@unex.es;barrigon@unex.es;vilchez@unex.es;jmendez@unex.es;jcarmona@unex.es;guille@unex.es)

### **Resumen**

La ciudad de Cáceres, con aproximadamente 90.000 habitantes, es el núcleo urbano mayor de la provincia homónima y el segundo de mayor población de la región española de Extremadura.

Como todas las ciudades modernas, posee una situación de contaminación acústica originada, en gran medida, como consecuencia de tráfico. Aunque, dado el número de habitantes censados no tiene obligación de realizar mapas de ruido, el interés de este tipo de estudios es innegable.

La realización de mapas de ruido urbano puede ser realizada empleando diferentes planteamientos, tanto mediante medidas como mediante el empleo de modelos informatizados de propagación de sonido.

Presentamos en este trabajo un estudio de ruido urbano realizado en la localidad de Cáceres mediante medidas. El objetivo del trabajo ha sido doble. En primer lugar conocer, en horario diurno, la realidad acústica de la ciudad empleando para ello un planteamiento metodológico de medidas al azar mediante el uso de una cuadrícula superpuesta a la zona bajo estudio. En segundo lugar, evaluar la importancia que posee en los estudios mediante esta técnica de evaluación del ruido urbano la selección del tamaño de la cuadrícula.

Se muestran los resultados del mapa de ruido para las cuadrículas de tamaño 400 m × 400 m y 200 m × 200 m y una comparativa de los resultados de ambos.

**Palabras-clave:** ruido, cuadrícula, comparación

### **Abstract**

The grid method for noise map assessment was used in the city of Cáceres (approximately 90000 inhabitants) and the results of these studies are compared.

Grid sizes of 200 meters and 400 meters (with two different cases) were used.

From the results obtained, the global values of the city (average values or percentage of measurements that surpass a certain noise level) were predicted in a similar way by the two sizes of grid used.

**Keywords:** noise, grid, comparison.

## 1 Introducción

Derivado del desarrollo tecnológico y del crecimiento económico, la contaminación acústica se ha mostrado como uno de los problemas más importantes que afecta a la población de las ciudades de todo el mundo, provocando efectos, tanto fisiológicos, como psicológicos, económicos o sociales. Para intentar poner solución a este problema, a lo largo de las últimas décadas se han llevado a cabo numerosas medidas de niveles de contaminación sonora en las zonas urbanas de muchos países de todo el mundo [1,2].

Las fuentes principales que originan la problemática acústica de la mayor parte de las zonas de nuestras ciudades se encuentran asociadas al tráfico, siendo la contribución más mayoritaria la del tráfico por carretera [3,4].

Para la evaluación del entorno sonoro de una ciudad, una posible estrategia consiste en la realización de medidas de niveles sonoros en sus calles. Esta estrategia posee varias dificultades, tanto en la elección de la sistemática de muestreo, como en la necesidad de unos mínimos recursos de equipos, personal, tiempo y dinero que permitan una adecuada caracterización del ruido en el entorno bajo estudio. Existen diferentes tipos de estrategias de medida, muchas de las cuales fueron recogidas por Brown y Lam [3]. Entre ellas, recogida en la norma ISO 1996-2 [8-9] y ampliamente utilizada destaca el método de cuadrícula, consistente en la superposición de una malla de cierto tamaño sobre el mapa de la ciudad y realizar medidas en la posición de los vértices de la retícula empleada. Existen alternativas a este procedimiento y, de hecho, nuestro grupo de investigación lleva tiempo trabajando en el establecimiento de un método de medida del ruido basado en la estratificación por usos de la vía pública, en el intento de encontrar un conjunto de definiciones de categorías de las vías públicas que, siendo generalizable a diferentes ciudades, permita, de la forma más objetiva posible, una diferenciación de las calles en lo que se refiere a sus niveles de ruido [5-7].

En el presente trabajo se presenta parte de un estudio acústico realizado en la ciudad de Cáceres por el método de cuadrícula. La ciudad de Cáceres, con una población censada de unos 90.000 habitantes, posee un Centro Histórico, por el que ha sido merecedora de la declaración de Patrimonio de la Humanidad por la Unesco, claramente diferenciado de la zona moderna y que ha influido en el desarrollo urbanístico de la ciudad.

El estudio que se presenta se pretende analizar el efecto de variar el tamaño de cuadrícula y, para uno de los tamaños, ver como un desplazamiento de la cuadrícula influye. Para este estudio se analizan los valores globales de ruido en la ciudad y el porcentaje de puntos que superan unos ciertos valores de referencia. Se ha realizado la comparación para dos tamaños de rejilla diferentes (200 metros y 400 metros – de este último tamaño, se ha calculado en dos posiciones diferentes-).

## 2 Metodología de trabajo

Para la realización del presente estudio, se ha utilizado el método de rejilla propuesto por la ISO 1996-2: 1987 [8] (recientemente modificada en la ISO 1996-2: 2007 [9]). Para ello, se superpuso sobre el mapa de la ciudad una malla formada por cuadrículas de 200 metros. Para el presente estudio se tomaron como puntos de medida los vértices de aquellas cuadrículas que abarcaban la mayor parte de la ciudad, no analizándose barrios periféricos o polígonos industriales. En la figura 1, se muestra un mapa de la zona de la ciudad analizada y de la rejilla de 200 x 200 m utilizada.

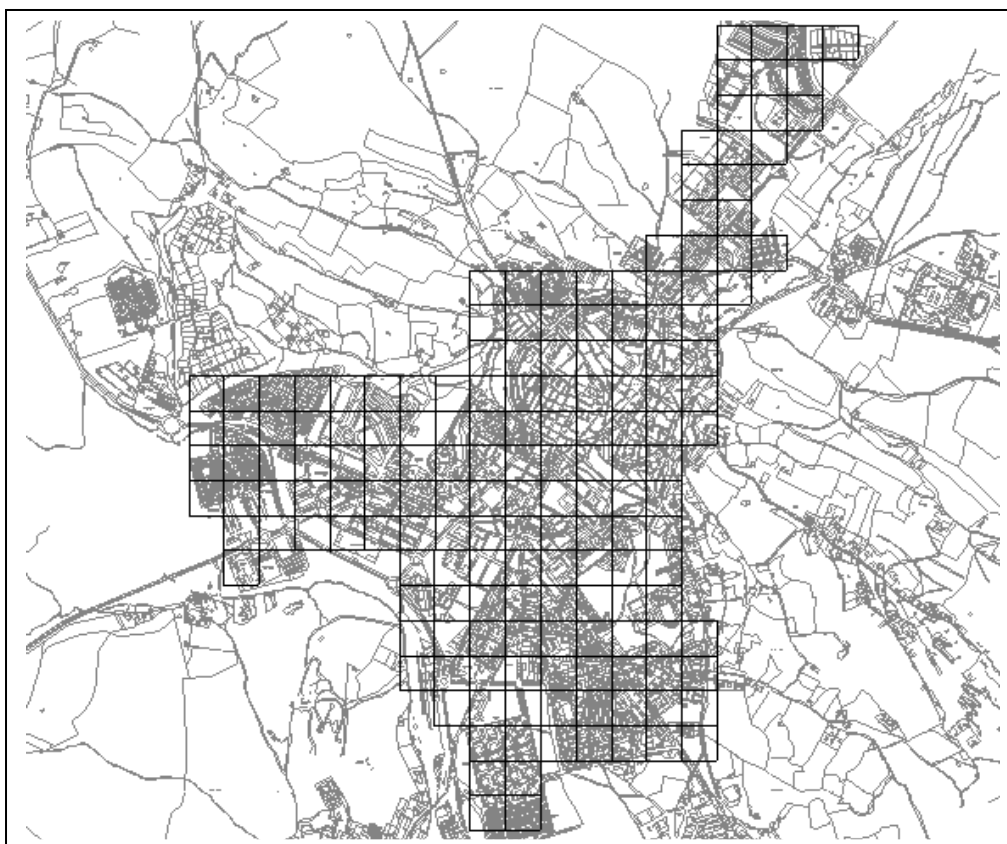


Figura 1.- Malla de 200 x 200 m utilizada para el estudio de la ciudad de Cáceres

Las medidas fueron realizadas en horario diurno, los días laborables durante los meses de abril y mayo de 2005. Se utilizaron sonómetros Bruel & Kjaer 2238, que eran calibrados (calibrador Bruel & Kjaer 4231) inmediatamente antes y después de cada serie de medidas. Todas las medidas se realizaron bajo las condiciones descritas en la norma ISO 1996-2: 1987.

En cada punto de medida se tomaron tres medidas de 15 minutos, en diferentes intervalos horarios a lo largo del periodo diurno. En cada medida se rellenó una hoja de toma de datos, con toda la información pertinente para posteriores análisis. Los índices recogidos fueron: el nivel equivalente ( $L_{eq}$ ), los índices percentiles L1, L10, L50, L90 y L99 y los niveles máximo y mínimo ( $L_{max}$  y  $L_{min}$ ). Se utilizó la ponderación temporal rápida (F) y la ponderación A en frecuencias.

Sobre la malla anterior de 200 metros de lado, de la cual se obtuvieron los puntos de medida, se elaboró, en primer lugar, una malla de 400 metros de lado, descartándose las zonas de las que no se disponían datos y se utilizaron las medidas de los puntos de la nueva malla (todos medidos para la malla de 200 metros) para calcular los resultados que se tendrían para un tamaño de malla de 400 metros (estos resultados se describirán con configuración I). La malla de 400 metros se desplazó, en segundo lugar, calculándose los resultados para otra malla diferente de 400 metros (estos resultados se describirán como configuración II). En la figura 2, se muestra las cuadrículas empleadas para el estudio del ruido urbano de la ciudad con un tamaño de malla de 400 metros, para las dos configuraciones calculadas.

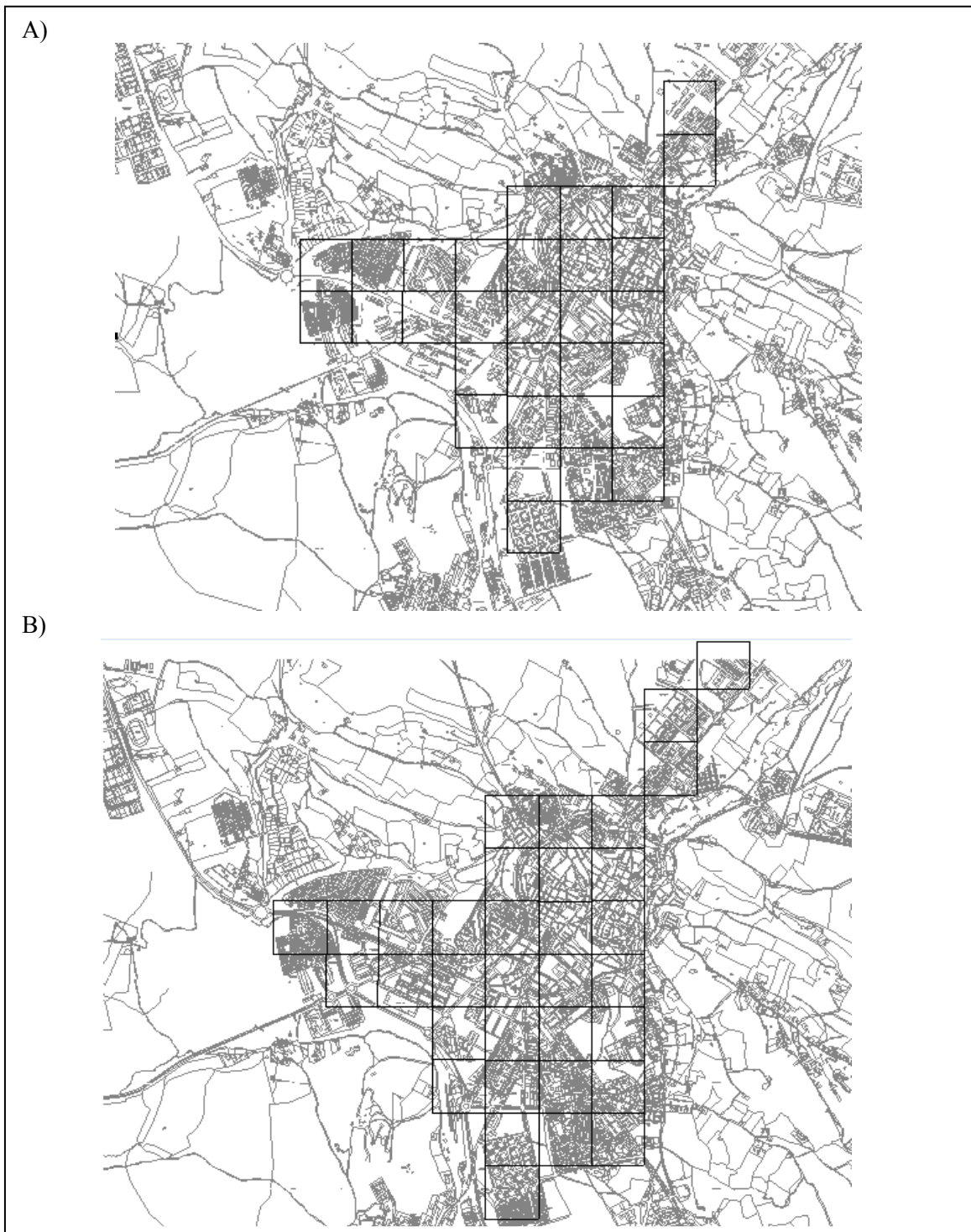


Figura 2.- Malla de 400 x 400 m utilizada para el estudio de la ciudad de Cáceres. A) Configuración I. B) Configuración II.

### 3 Resultados

#### 3.1 Cuadrícula de 200 x 200 m

Para el presente estudio se realizaron un total de 645 medidas, correspondientes a los 215 puntos que delimitaban las mallas de 200 x 200 metros (168 cuadrados). A partir de las tres medidas realizadas en cada punto, el valor asignado a éste se calculó mediante la media energética de las tres medidas.

En la figura 3a) se muestra el histograma correspondiente a la distribución de los valores del  $L_{eq}$  (dBA) obtenidos para los 215 puntos de la malla de 200 x 200 metros. El valor medio obtenido para los 215 puntos fue de  $61,8 \pm 6,1$  dBA

Si comparamos los niveles obtenidos para los diferentes puntos con el valor de 65 dBA (considerado por la OECD como el valor límite para la exposición diurna [1]), encontramos que un 31,6% de los puntos tuvieron niveles sonoros por encima de este valor. Si tenemos en cuenta el valor más restrictivo de 55 dBA (considerado por la OMS como el valor a partir del cual, en horario diurno, se produce molestia grave en las personas [2]) el porcentaje de valores sonoros de los 215 puntos que superó este valor aumenta a 85,6%.

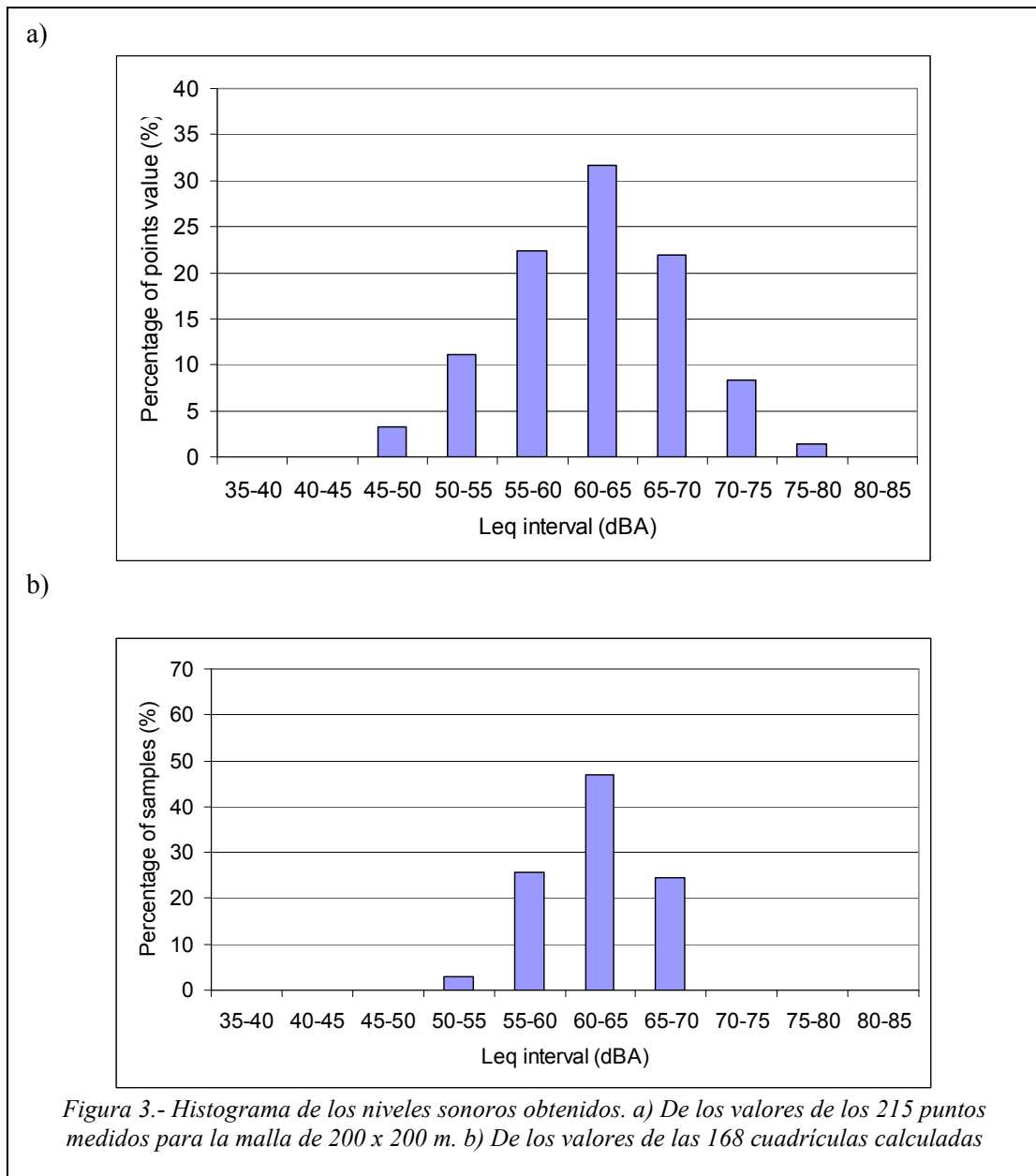
Antes de continuar con el análisis de los resultados, es necesario indicar que, de acuerdo a la norma ISO 1996-2: 1987 [8] si entre dos puntos adyacentes del reticulado empleado para el mapa de ruido existen más de 5 decibelios, en general, deberían medirse puntos adicionales situados en medio de estos dos puntos. En el presente estudio, esto implicaría que, deberían haberse medido al menos 185 nuevos puntos, lo que supone un aumento del 85% del número de puntos seleccionados para el estudio. Dada los objetivos perseguidos en este trabajo, no se consideró oportuna su medida.

Con los 215 puntos medidos, como se ha indicado, se conformaron un total de 168 cuadrados de 200 metros de lado. Se asignó un valor a cada cuadrícula calculado a partir de la media aritmética de los valores de los cuatro puntos que la delimitaban. El histograma de los valores de los 168 cuadrados se muestra en la figura 3b)

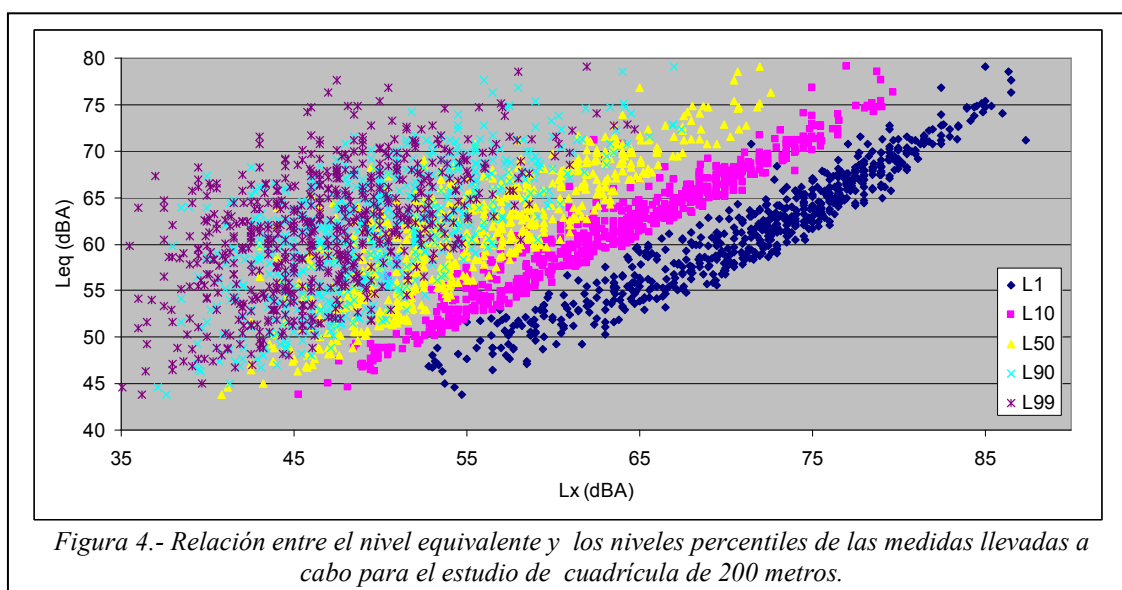
Finalmente, se ha analizado la relación entre el nivel equivalente y los niveles percentiles obtenidos en cada una de las 645 medidas que se hicieron para este tamaño de cuadrícula. Los resultados se muestran en la Figura 4. El ajuste por mínimos cuadrados a un comportamiento dio los resultados que se muestran en la Tabla 1.

	$L_{eq} = a \cdot L_1 + b$	$L_{eq} = a \cdot L_{10} + b$	$L_{eq} = a \cdot L_{50} + b$	$L_{eq} = a \cdot L_{90} + b$	$L_{eq} = a \cdot L_{99} + b$
<b>a</b>	0,87	0,89	0,86	0,78	0,68
<b>b</b>	-0,32	5,10	13,84	22,23	29,52
<b>r</b>	0,96	0,96	0,83	0,66	0,54
<b>r<sup>2</sup></b>	0,92	0,93	0,69	0,44	0,29

Tabla 1.- Resultados de los ajustes por mínimos cuadrados de las relaciones entre el nivel equivalente y los niveles percentiles de las medidas llevadas a cabo para el estudio de cuadrícula de 200 metros.



Como es conocido y ya se ha mostrado en estudios anteriores si bien todas las relaciones son altamente significativas la variabilidad del nivel equivalente está mucho más explicada con los percentiles bajos (92% de explicación para  $L_1$  y 93% para  $L_{10}$ ) que con los altos (sólo un 29% de explicación para el  $L_{99}$ ). Esto es claramente explicable dada la influencia que eventos sonoros intensos de corta duración tienen en la energía total que mide el sonómetro.



### 3.2 Cuadrícula de 400 x 400 m

Con las medidas anteriores, se procedió, como ya se ha descrito, a calcular los resultados que se hubieran obtenido para dos configuraciones diferentes con un tamaño de cuadrícula de 400 metros. En este sentido sólo 49 de los 215 puntos medidos fueron utilizados en la configuración I y 55 de los 215 puntos en la configuración II [representados en la figura 2A) y 2B)]. Los histogramas de los valores de estos puntos se muestran en la figura 5. Como se puede apreciar, existen diferencias claramente observables entre las dos configuraciones calculadas. Las causas de esta diferencia pueden hallarse en que en la periferia se encuentran zonas habitadas con vías rápidas que pasan cercanas a ellas y, en consecuencia, con elevados niveles sonoros que han entrado a formar para de una de las configuraciones y no de la otra

El valor medio obtenido para los 49 puntos fue de  $61,1 \pm 5,9$  dBA en la configuración I y de  $61,7 \pm 6,4$  dBA, que, como se puede apreciar son bastantes similares al obtenido para la cuadrícula de tamaño 200 metros ( $61,8 \pm 6,1$  dBA).

Si comparamos los niveles obtenidos para los diferentes puntos con el valor de 65 dBA (considerado por la OECD como el valor límite para la exposición diurna [1]), encontramos que un 24,5% y 30,9% de los puntos tuvieron niveles sonoros por encima de este valor, para las configuraciones I, II, respectivamente. Si tenemos en cuenta el valor más restrictivo de 55 dBA (considerado por la OMS como el valor a partir del cual, en horario diurno, se produce molestia grave en las personas [2]) el porcentaje de valores sonoros de los puntos empleados que superó este valor aumenta a 85,7% y 83,6%, para las configuraciones I, II, respectivamente. Se aprecia bastante similitud con los porcentajes obtenidos para el tamaño de cuadrícula inferior (31,6% y 85,6%).

Análogamente al estudio con el tamaño inferior de cuadrícula, con los 49 puntos de este estudio para la configuración I y con los 55 puntos para la configuración II, se conformaron un total de 31 cuadrados de 400 metros de lado para la configuración I y de 34 para la configuración II. Se asignó un valor a cada cuadrícula calculado a partir de la media aritmética de los valores de los cuatro puntos que la delimitaban. El histograma de los valores de los cuadrados se muestra en la figura 5c) y 5d).

Finalmente, nuevamente se analizó la relación entre el nivel equivalente y los niveles percentiles obtenidos en cada una de las medidas que se hicieron para este tamaño de cuadrícula (147 para la configuración I y 165 para la configuración II). Los resultados de los análisis se muestran en las tablas 2 y 3 y mientras, de forma gráfica, a modo de ejemplo, en la Figura 6, se muestra el comportamiento para la configuración I de la malla de 400 metros.

	$Leq = a \cdot L_1 + b$	$Leq = a \cdot L_{10} + b$	$Leq = a \cdot L_{50} + b$	$Leq = a \cdot L_{90} + b$	$Leq = a \cdot L_{99} + b$
<b>a</b>	0,84	0,92	0,88	0,81	0,75
<b>b</b>	1,41	2,99	12,51	20,20	25,31
<b>r</b>	0,96	0,96	0,84	0,72	0,65
<b>r<sup>2</sup></b>	0,92	0,92	0,70	0,52	0,42

Tabla 2.- Resultados de los ajustes por mínimos cuadrados de las relaciones entre el nivel equivalente y los niveles percentiles de las medidas llevadas a cabo para el estudio de cuadrícula de 400 m (configuración I).

	$Leq = a \cdot L_1 + b$	$Leq = a \cdot L_{10} + b$	$Leq = a \cdot L_{50} + b$	$Leq = a \cdot L_{90} + b$	$Leq = a \cdot L_{99} + b$
<b>a</b>	0,84	0,87	0,82	0,80	0,74
<b>b</b>	1,32	6,47	15,95	21,05	26,53
<b>r</b>	0,95	0,96	0,82	0,68	0,58
<b>r<sup>2</sup></b>	0,91	0,92	0,67	0,47	0,34

Tabla 3.- Resultados de los ajustes por mínimos cuadrados de las relaciones entre el nivel equivalente y los niveles percentiles de las medidas llevadas a cabo para el estudio de cuadrícula de 400 m (configuración II).

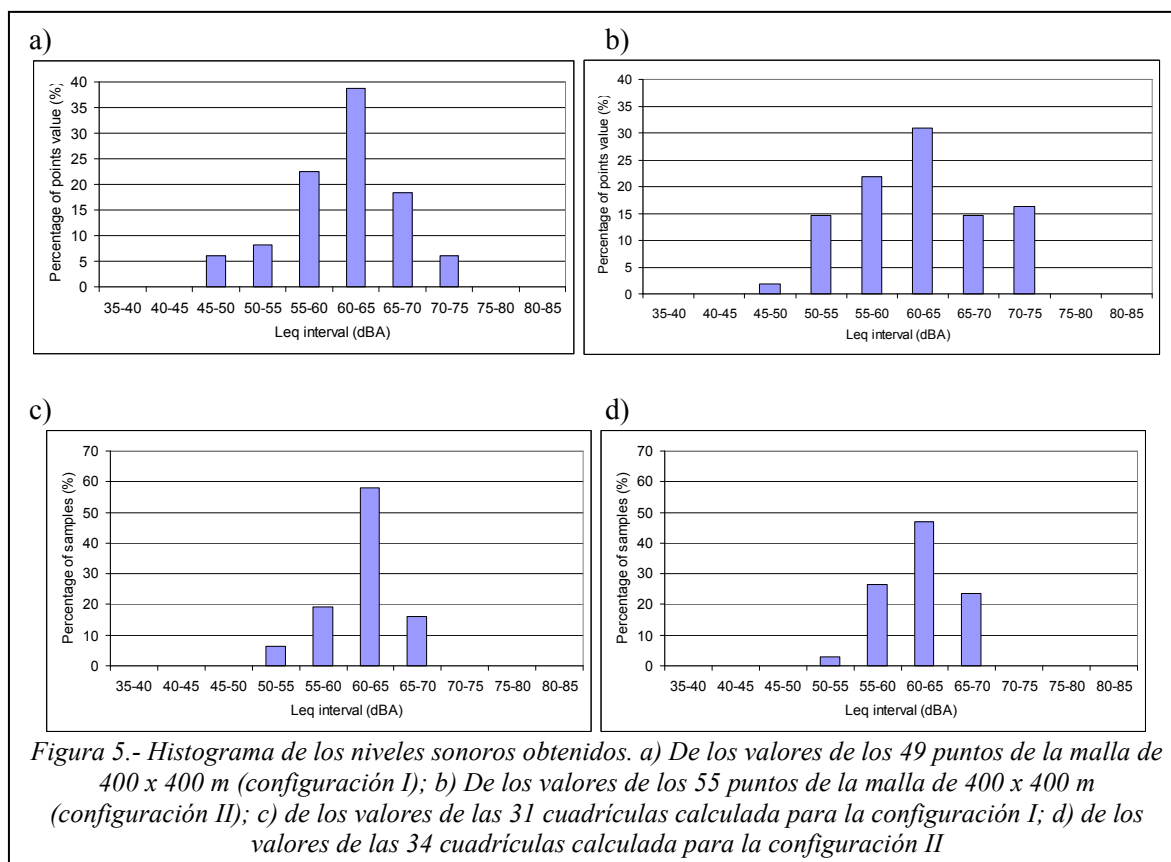
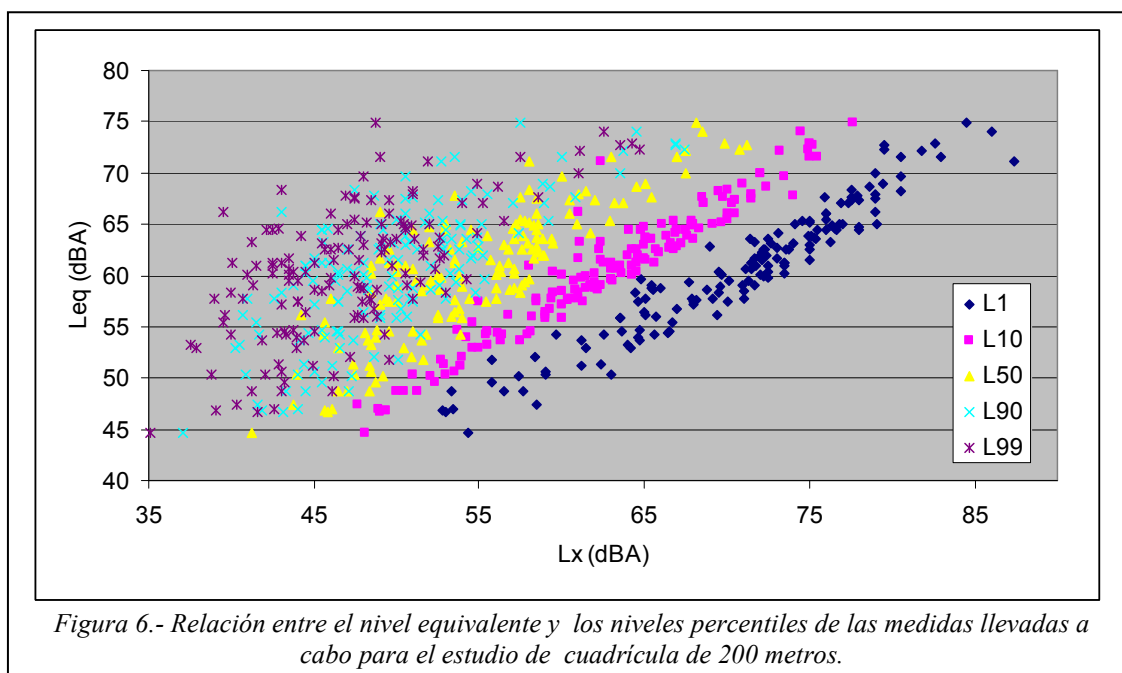


Figura 5.- Histograma de los niveles sonoros obtenidos. a) De los valores de los 49 puntos de la malla de 400 x 400 m (configuración I); b) De los valores de los 55 puntos de la malla de 400 x 400 m (configuración II); c) de los valores de las 31 cuadrículas calculada para la configuración I; d) de los valores de las 34 cuadrículas calculada para la configuración II



Nuevamente todas las relaciones son altamente significativas y la variabilidad del nivel equivalente está mucho más explicada con los percentiles bajos (91 o 92% de explicación para  $L_1$  y  $L_{10}$ ) que con los altos (42% y 34% de explicación para el  $L_{99}$ ). Si comparamos los resultados de los ajustes con el caso anterior, si bien el porcentaje de explicación de la variabilidad del nivel equivalente es similar para los percentiles  $L_1$ ,  $L_{10}$  y  $L_{50}$ , para los percentiles más bajos ( $L_{90}$  y  $L_{99}$ ) este porcentaje es superior en las dos configuraciones de la cuadrícula de 400 metros.



### 3.3 Discusión

Al analizar los histogramas de los niveles sonoros de los puntos utilizados en los dos tamaños de cuadrícula, se aprecia que son diferentes, si bien en todos el intervalo modal es similar; se observan ciertas diferencias como que, por ejemplo en los puntos que se utilizarían para las dos configuraciones del estudio de la cuadrícula de 400 metros no habría valores por encima de 75 dBA. Entre las dos configuraciones de 400 metros calculadas, se observan claras diferencias en los histogramas, siendo para la configuración I, más parecido (si bien con diferencias) al obtenido para el tamaño de cuadrícula de 200 metros.

Analizando las relaciones encontradas entre los niveles percentiles y los niveles equivalentes de las medidas consideradas para cada tamaño de cuadrícula, se observan algunas diferencias, sobre todo en la variabilidad del nivel equivalente explicada por los percentiles más bajos ( $L_{90}$  y  $L_{99}$ )

Finalmente, dado que el método de cuadrícula es un método en el cual la selección de los puntos se puede considerar como al azar en el área urbano, los datos que derivan del método podrían considerarse para obtener una evaluación global del ruido en la ciudad. En este sentido, si se analizan los valores medios que se obtienen a partir de los puntos que se estudian en cada tamaño de cuadrícula, se observa una clara similitud entre ambos (61,8 para el tamaño de cuadrícula de 200 metros y 61,1 y 62,7 para las dos configuraciones de tamaño de cuadrícula de 400 metros); a su vez, si se analizan los porcentajes de puntos que superan unas ciertas magnitudes (55 dBA y 65 dBA en este estudio), nuevamente los resultados pueden considerarse como bastante similares (31,6% de los

valores de los puntos superaron el nivel de 65 dBA para el tamaño de cuadrícula de 200 y 24,5% y 30,91% lo superan para las dos configuraciones de 400 metros; 85,6% de los valores de los puntos superaron el nivel de 55 dBA para el tamaño de cuadrícula de 200, mientras que 85,7% y 83,6% de los valores de los puntos lo superaron para las dos configuraciones de 400 metros).

## 4 Conclusiones

De los resultados que derivan de este estudio, con las limitaciones de este se puede concluir que:

- Los tres estudios realizados con dos tamaños de cuadrícula diferente, muestran resultados que, si bien individualmente diferente, pueden considerarse similares.
- Si el interés del estudio del ruido que se desea abordar se centra en realizar una valoración global de la ciudad en cuanto a la problemática del ruido, de los resultados de este estudio parece desprenderse que el esfuerzo en número de puntos que implica el reducir el tamaño de cuadrícula (de 400 a 200 metros) implica variaciones importantes en los resultados.

## Agradecimientos

Este estudio está parcialmente subvencionado por la Junta de Extremadura (Proyecto PRI06A271) a través de la Consejería de Economía, Comercio e Innovación y del Fondo Social Europeo.

## Referencias

- [1] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). *Report Fighting Noise*, OECD Publications, Paris, 1986.
- [2] World Health Organization (WHO). *Guidelines for Community Noise*. Eds. Berglund, B.; Lindvall, T.; Schwela D.H. and Goh, K.T., WHO, Geneva, 2000.
- [3] Brown, A.L. y Lam, K.C., Urban noise surveys, *Applied Acoustics*, 20, 1987, 23-29.
- [4] Nelson, P.M. *Introduction to transport noise. Transport noise Reference book*. Ed. P. M. Nelson; Butterworths, London, 1987.
- [5] Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R. y Trujillo Carmona, J. An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain, *Applied Acoustics*, 63, 2002, 1061-1070.
- [6] Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R. y Vaquero, J.M. Measurements of noise pollution in Badajoz City, Spain, *Acta Acustica united with Acustica* 91(4), 2005, 797-801.
- [7] Barrigón Morillas, J.M.; Gómez Escobar, V.; Méndez Sierra, J.A.; Vílchez-Gómez, R.; Vaquero, J.M. y Trujillo Carmona. A categorization method applied to the study of urban road traffic noise, *J. Acoust. Soc. Am.* 116, 2005, 2844-2852.
- [8] ISO 1996-2: 1987. *Description and measurement of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use*. International Organization for Standardization, Switzerland, 1987.
- [9] ISO 1996-2: 2007. *Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels*. International Organization for Standardization, Switzerland, 2007.