

RUIDO URBANO EN OLIVENZA

Guillermo Rey Gozalo, Juan Miguel Barrigón Morillas, Valentín Gómez Escobar

Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura, Avda. Universidad s/n,
10071 Cáceres, España
(guille@unex.es, barrigon@unex.es, valentin@unex.es)

Resumen

En la localidad de Olivenza, con una población de 8.933 habitantes (INE, 2007), hemos elaborado un mapa de ruido diurno para jornadas laborales. Sobre el mapa del casco urbano, de aproximadamente 1,5 km² de superficie, hemos superpuesto una malla cuadrangular de 200 m de lado. El objetivo de este trabajo consiste en la aplicación del método de rejilla en la elaboración de mapas de ruidos en pequeñas localidades, así como ver si los niveles de ruido se encuentran en valores adecuados para el desarrollo de las actividades diarias.

Los resultados nos han mostrado que en el 75% de los puntos muestreados se supera el nivel de 55 dBA propuesto por la OMS como molestia importante; por lo tanto, podemos considerar que la contaminación acústica es también un problema que afecta a las localidades de pequeño tamaño.

Palabras-clave: método de rejilla, mapas de ruido, pequeñas localidades.

Abstract

In Olivenza city, with a population of 8933 inhabitants, we have elaborated a noise diurnal map for working days. On the map of the urban hull, of approximately 1,5 km² of surface, we have applied a square network of 200 m size. The aim of this work consists of the application of the grid method in the elaboration of noises maps of small cities, as well as to see if the levels of noise are in values adapted for the development of the daily activities.

The results have showed us that in 75 % of the sampled points excels itself the level of 55 dBA proposed by the WHO as important inconvenience, therefore, we can think that the acoustic pollution is also a problem that concerns to the small cities.

Keywords: Squared method, noise maps, small city.

1 Introducción

La contaminación acústica es uno de los problemas más importantes que afecta a la población de las ciudades de todo el mundo, como consecuencia del desarrollo tecnológico, del crecimiento económico y del proceso de globalización. En la actualidad, supone un grave problema con efectos fisiológicos,

psicológicos, económicos y sociales. Para conocer la magnitud del problema e intentar poner solución, 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].

Los niveles sonoros existentes en un cierto emplazamiento urbano son el resultado de una compleja interacción entre un gran número de fuentes sonoras de diferente naturaleza, bajo unas condiciones urbanísticas y atmosféricas muy concretas [3]. Así, estos niveles sonoros deben ser tratados y evaluados con la técnica adecuada para no llevarnos a resultados erróneos.

Existen diferentes técnicas de muestreo que se han utilizado para la evaluación distintas ciudades a lo largo de todo el mundo y que difieren considerablemente de unos casos a otros [4]; pero en lo que se refiere a los estudios mediante medidas, el método que ha sido utilizado, desde hace varias décadas, de forma más extendida y común, consiste en superposición de una retícula regular (generalmente de forma cuadrada) sobre un mapa o plano de la zona a estudiar [5] [6]. Estudios recientes que emplean este método pueden encontrarse, por ejemplo, en Zannin et al. [7] [8] y Sommerhoff et al. [9]. Por lo tanto, actualmente, este método es uno de los más utilizados, a pesar de las desventajas observadas en varios estudios [4] [10] [11].

En este estudio, enmarcado en un trabajo más amplio, hemos utilizado el método de rejilla para observar su funcionamiento en una localidad de pequeño tamaño, como es el caso de Olivenza. Esta localidad extremeña, en la actualidad, cuenta con, aproximadamente, 8.933 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2007) y se encuentra a 22 km al sur de Badajoz y a tan sólo 10 km de la frontera natural que conforma el río Guadiana con Portugal.

El 39,6% de la población de Olivenza se encuentra empleada en la agricultura, seguido del sector servicios con un 38,1% y, por último, otras actividades en pleno ascenso son la construcción con un 13,7% y la industria 8,6% (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Tesorería General de la Seguridad Social, 2006).

2 Método de trabajo

El método de rejilla recogido en la ISO 1996-2: 1987, más recientemente modificada en la ISO 1996-2: 2007 ha sido desarrollado en los siguientes pasos:

- a) Definición de la malla o retícula y sus correspondientes celdas.

El tamaño y los límites de dicha retícula se determinaron con la ayuda de un análisis de los diferentes usos del suelo de la localidad y de esta manera, en el presente estudio, se incluyeron únicamente las zonas urbanas de uso residencial-comercial (quedando excluidas las zonas industriales). Con respecto tamaño de las celdas de la citada rejilla, fue de 200 m, tal y como se ha utilizado en estudios anteriores realizados por nuestro laboratorio y otros autores [12] [13] [14] [15]. De esta forma, se constituyó una rejilla de un tamaño de 1,28 km² con un número total de 32 celdas o cuadrículas, como se muestra en la figura 1.

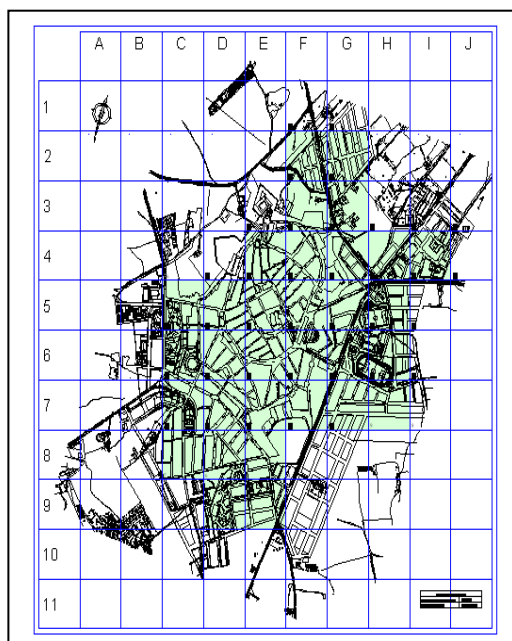


Figura 1 – Mapa de Olivenza con la malla de celdas cuadradas superpuestas

b) Selección de puntos de muestreo.

En principio, los puntos de medida se localizaron en los vértices o puntos de intersección de las rectas que forman la retícula en cuestión, aunque, en la práctica, esta regla general se adaptó a las condiciones existentes en cada caso: Por ejemplo, algunos de los vértices de la retícula correspondían al interior de un edificio, al centro de la calzada, o a algún otro lugar inaccesible, en cuyo caso el punto de medida real se situó en el lugar más cercano posible al mismo [16]. Finalmente, el número de puntos muestreados fue de 48.

c) Realización del muestreo.

Dada la posible existencia de una cierta variabilidad temporal en los niveles sonoros a lo largo del horario diurno [17] [18], para caracterizar cada uno de los puntos de medida se realizan tres medidas en cada uno de los puntos, todas ellas en diferentes intervalos horarios de medida. Las doce horas, 7:00-19:00, que constituyen el periodo diurno [19] se dividen en tres intervalos uniformes: 7:00-11:00, 11:00-15:00 y 15:00-19:00, y en cada punto se realiza una medida de 15 minutos en cada uno de los intervalos. El nivel diurno del punto (L_d) se calculó mediante la media energética de los valores del nivel sonoro obtenidos en las tres medidas. A cada cuadrícula se le asignó un valor para el periodo estudiado, calculado a partir de la medida aritmética de los valores sonoros obtenidos en los cuatro puntos que forman la celda con su correspondiente desviación estándar.

Las medidas fueron realizadas aleatoriamente en días laborables en diferentes campañas durante los meses de febrero y marzo de 2007. Para ellas se utilizó un sonómetro 2238 Brüel & Kjaer (instrumento de clase 1 especificado en IEC 61672-1:2002). Al micrófono de dicho sonómetro se le incorporó una pantalla antiviento para protegerlo de daños externos y evitar una toma de medidas erróneas debidas al viento. El sonómetro fue colocados a una altura de 1,5 metros del suelo, con ayuda de un trípode y, cuando fue posible, a más de 2 metros de la pared y de 3,5 metros de cualquier superficie reflectora. Cuando la distancia a la pared era inferior a 2 metros, si esta distancia era inferior a 0,5 metros, se aplicaba una corrección de -6 dBA y si estaba comprendida entre 0,5 m y 1,5 m, la

corrección era de -3 dBA [6]. El micrófono se dirigió perpendicularmente a la dirección de la vía con un ángulo de 45° respecto al suelo.

La calibración fue efectuada mediante un calibrador 4231 Brüel & Kjaer (instrumento de clase 1 especificado en la IEC 60942:2003) inmediatamente antes y después de cada serie de medidas [6].

En cada medida de 15 minutos de duración, se rellenaban las correspondientes hojas de toma de datos, con información acerca del: flujo de tráfico, tipo de vehículos, condiciones meteorológicas, dimensiones de la calle, tipo de superficie de rodadura... Los índices sonoros recogidos fueron: el nivel equivalente (Leq), los percentiles uno, diez, cincuenta, noventa y noventa y nueve (L1, L10, L50, L90 y L99) y los niveles máximo y mínimo (Lmax. y Lmin.).

La ponderación temporal utilizada en las medidas ha sido la ponderación rápida (F) y en cuanto a la ponderación en frecuencias, se ha utilizado la ponderación A.

d) Análisis de los resultados

Una vez completado el trabajo de campo, se realizó un análisis descriptivo e inferencial de los datos obtenidos con la ayuda de los siguientes programas estadísticos: SPSS 15.0 y R 2.6.1.

Dentro de los distintos índices sonoros analizados, nos vamos a centrar en el nivel sonoro equivalente (Leq). El motivo radica en la utilización masiva de dicho índice en diferentes normativas, reglamentos e investigaciones [1] [2].

En el análisis descriptivo se han estudiado diferentes medidas de centralización (media y mediana) y de dispersión (desviación típica, rango, rango intercuartílico), evitando la controversia planteada por algunos autores [20] [21], que defienden la utilización de la medidas de centralización como la mediana, debido a la distribución logarítmica que siguen las magnitudes sonoras.

3 Resultados y discusión

Con respecto a los puntos muestreados, el análisis de la estadística descriptiva aplicada al valor del Leq, nos conduce a los siguientes resultados:

Tabla 1 – Medidas de centralización y dispersión

Parámetros	Valor en dBA
Media	59,84
Mediana	60,02
Desviación Típica	7,17
Rango	30,25
Mínimo	41,17
Máximo	71,42

Si atendemos a las medidas de centralización mostradas en la tabla 1, los niveles globales obtenidos superan el nivel de 55 dBA, considerado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como molestia importante [2]. Pero si para este análisis comparativo con los niveles recomendados por la OMS, nos ayudamos de la siguiente figura:



Figura 2 – Diagrama de barras con los valores de Leq obtenido en los distintos puntos muestreados

Podemos ver como el 75 % de los puntos muestreados superan este nivel de 55 dBA y el 93,75 % de los puntos muestreados superan el nivel de 50 dBA considerado por la OMS como molestia moderada.

Atendiendo a las medidas de dispersión, tanto la desviación típica como el rango, obtenemos valores elevados. Estos valores eran de esperar pues los diferentes puntos muestreados se encuentran en localizaciones muy distintas en cuanto a características urbano-arquitectónicas y en cuanto a condiciones de flujo de tráfico.

A continuación, si comparamos los valores obtenidos en nuestro estudio con otros estudios similares (método cuadrícula con una celda de 200 m de lado), realizados en ciudades como Madrid, Barcelona o Valencia [22], obtenemos la siguiente figura:

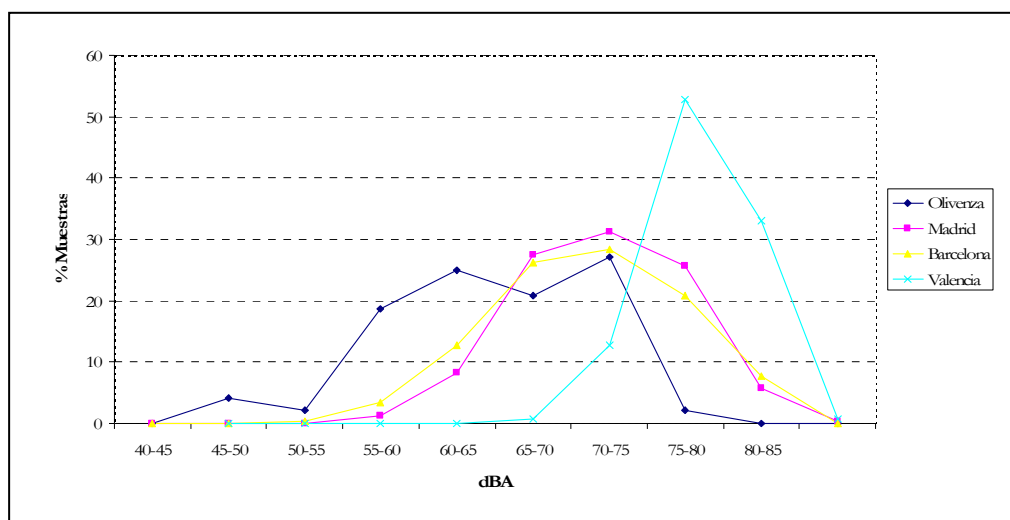


Figura 3 – Comparación entre distintas ciudades de los porcentajes obtenidos en el total de mediciones según intervalos de ruido medidos en decibelios (dBA)

En la figura 3 se puede ver como las grandes ciudades presenta niveles superiores a los obtenidos en Olivenza. Con respecto a Madrid y Barcelona, Olivenza presenta porcentajes similares en los intervalos de 60-65 y 65-70 dBA pero mucho menores en los intervalos de 70-75 y 75-80 dBA. Era evidente que estas grandes ciudades presentarían niveles sonoros superiores a los registrados en la localidad de Olivenza pero si comparamos nuestros resultados con estudios realizados en la Comunidad Valenciana [23] [24], donde se evaluaron la situación sonora de localidades con una población similar a la de Olivenza, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Municipios con una población de menos de 5.000 habitantes: Leq medio 64,1 dBA
- Municipios con una población entre 5.000-10.000 habitantes: Leq medio 64,0 dBA

Por lo tanto, a nivel global, el Leq de estos municipios es de aproximadamente 4 dBA superior al registrado en Olivenza.

Dentro de nuestra comunidad autónoma, Extremadura, podemos encontrar estudios de ruido urbano que han empleado una metodología similar. Así, en el presente Congreso, se va a presentar un estudio urbano de la ciudad de Cáceres con el método de cuadrícula. Los resultados obtenidos en Cáceres para un tamaño de celda de 200 metros junto con obtenidos en Olivenza se muestran en la siguiente figura:

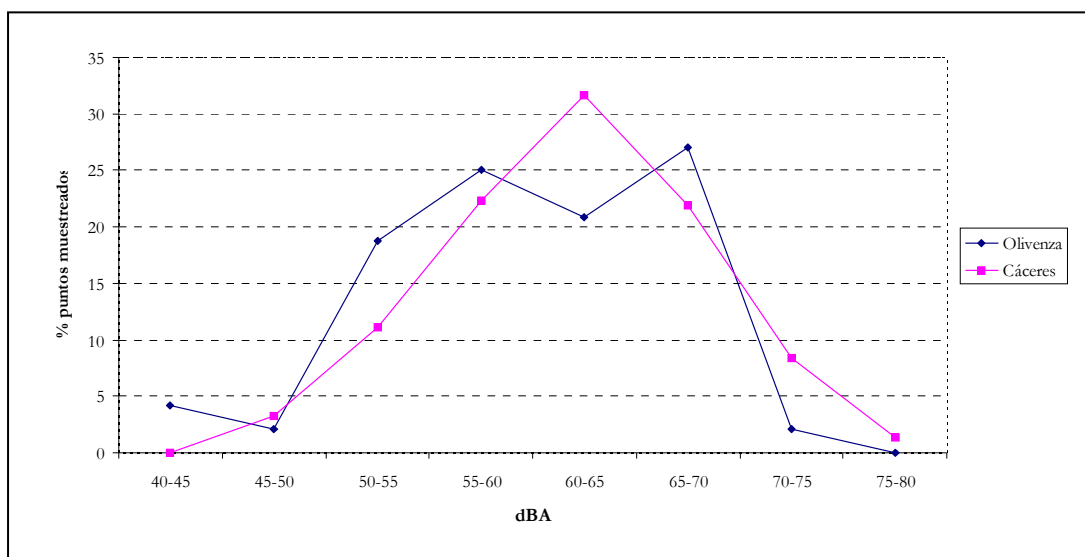


Figura 4 –Porcentajes obtenidos para el total de puntos muestreados según intervalos de ruido medidos en decibelios (dBA) en la ciudad de Olivenza y de Cáceres.

La figura 4 muestra como las diferencias entre los niveles sonoros equivalentes obtenidos, en estas dos ciudades, no son tan grandes como las observadas la figura 3, a pesar de la diferencia de población: Cáceres tiene 91.606 habitantes y Olivenza tiene 8.933 habitantes (INE, 2007). Fijándonos en la misma figura y comparando los niveles obtenidos en Cáceres con los recomendados por la OMS: El 96,75% de los puntos muestreados superan el nivel de 50 dBA y el 85,59% superan el nivel de 55 dBA. Por lo tanto, con respecto al nivel de 55 dBA, considerado por la OMS como molestia importante, hay una diferencia de un 10% entre las ciudades de Cáceres y Olivenza.

También, en Extremadura, podemos encontrar estudios urbanos de pequeñas ciudades en donde se ha utilizado el método de cuadrícula con un tamaño de celda de 200 m. Este es el caso de Navalmoral de la Mata [15], una localidad cacereña que cuenta con una población de 16.000 habitantes. En esta ciudad, el 37 % de los puntos muestreados superaron el nivel de 65 dBA, nivel considerado como ruidoso por el R.D. 1367/2007 [25], y el nivel medio global es de 61,2 dBA. Por lo tanto, son valores similares a los obtenidos en Olivenza. Consecuentemente, detectamos como la contaminación sonora también es un problema que atañe a las ciudades de pequeño tamaño.

A continuación, una vez analizado lo que ocurre en los resultados obtenidos para los distintos puntos muestreados vamos a representar el mapa de ruido resultante del método de cuadrícula:

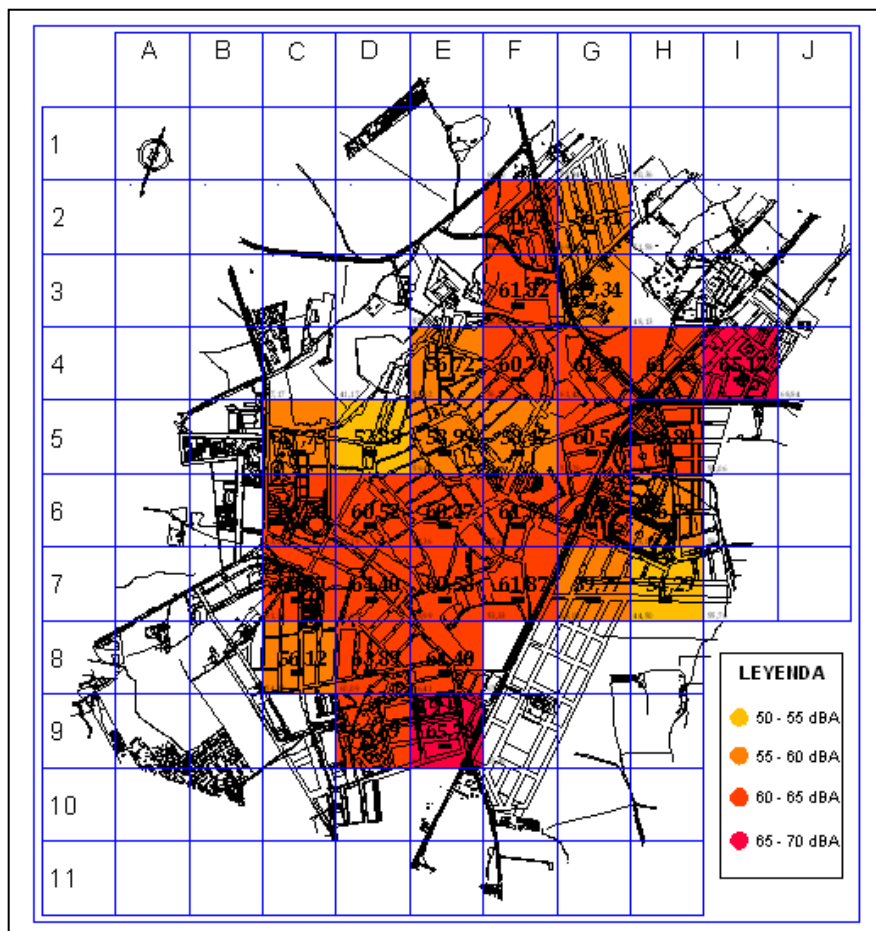


Figura 5 – Mapa de rejilla de Olivenza

En la figura 5 podemos observar que la mayor parte de las cuadrículas se encuentran en el rango comprendido entre 60 – 65 dBA. Estas cuadrículas de color naranja abarcan: las principales vías que comunican el interior de la población con otras localidades, zonas de interés de la población y zonas con un asentamiento importante de población.

Los valores máximos, 65 - 70 dBA, se encuentran en dos cuadrículas que incluyen puntos que se localizan en las vías que registran un mayor tráfico rodado, debido a que se trata de: una de las principales entradas y salidas de la localidad (cuadrícula localizada al Sur) y una de las zonas más habitadas (cuadrícula localizada al Este) confluídas por las dos principales vías que comunican a la localidad con otras zonas peninsulares.

Valores más bajos (< 60 dBA) se encuentran en zonas periféricas donde: bien los puntos no registraban la existencia de tráfico rodado, o bien se trata de asentamientos de población poco importantes (casas de una planta). También, dentro de este apartado, se localiza el casco histórico en el que un buen número de calles tienen restringido el tráfico rodado.

A raíz de los resultados encontrados en la figura 5, parece deducirse que la fuente fundamental se trata del tráfico de vehículos como consecuencia del movimiento de personas y de mercancías [4] [13]. Esta conclusión viene avalada por el registro de fuentes sonoras que se realizó en cada una de las medidas. Aunque, para fundamentarla aún más, vamos a estudiar la relación entre el $Leq, L1, Leq, L1, L10,$

L50, L90 y L99 con el logaritmo del flujo del tráfico (LogQ), en las medidas en las que se detectó la presencia de tráfico.

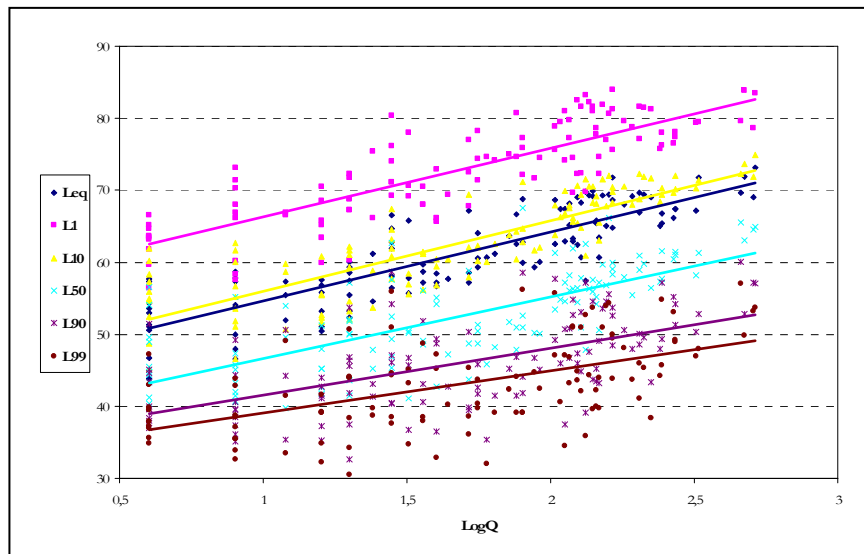


Figura 6 – Relación lineal entre el Leq, L1, L10, L90 y L99 con respecto al logQ

Tabla 2 – Resultado de los ajustes por mínimos cuadrados de las relaciones del Leq y los percentiles con el logQ

	Leq=alogQ+b	L1=alogQ+b	L10=alogQ+b	L50=alogQ+b	L90=alogQ+b	L99=alogQ+b
a	9,58	9,55	9,81	8,59	6,48	5,88
b	42,77	53,80	44,07	36,90	34,62	32,93
R	0,85(**)	0,83(**)	0,87(**)	0,76(**)	0,61(**)	0,57(**)
R ²	0,73	0,68	0,76	0,57	0,37	0,33

A tenor de los resultados obtenidos en la tabla 2 y en la figura 6, podemos ver como la relación entre los distintos índices sonoros y el logQ es bastante estrecha, siendo significativa al nivel de significación de 0,01 e indicado en la tabla con (**). Por lo tanto, un porcentaje significativo de la variabilidad de los índices sonoros viene explicada por el flujo del tráfico.

También, podemos ver que la relación entre el nivel sonoro equivalente Leq (expresado en dBA) y el flujo del tráfico (expresado en vehículos/hora) responde a la ecuación logarítmica del tipo:

$$Leq = a \log Q + b \quad (1)$$

Donde a y b son constantes que corresponden a la pendiente y a la ordenada en el origen de la ecuación lineal que relaciona al Leq con el Log Q. Así, el coeficiente de determinación (R^2) obtenido para el Leq es de 0.73, valor similar al obtenido en estudios realizados en ciudades como Pamplona y Valencia [26] [27].

Finalmente, se detecta como los percentiles L1 y L10 presentan coeficientes de correlación similares al obtenido para el Leq. De esta manera, si estudiamos la correlación que presentan entre los distintos índices sonoros:

Tabla 3 – Coeficiente de correlación (R) entre los distintos índices sonoros

		L1	L10	L50	L90	L99
Leq	Coefficiente de correlación	0,98	0,96	0,82	0,65	0,56
	N	144	144	144	144	144

Vemos como los coeficientes de correlación de los percentiles L1 y L10 con respecto al Leq, están muy próximos a la unidad. Por lo tanto, esto nos demuestra la extrema sensibilidad del nivel sonoro equivalente a los valores más elevados que se producen durante el tiempo que duran las medidas en consideración [28]. Además, si comparamos el coeficiente de correlación obtenido entre el Leq y el L10 con respecto al obtenido entre el Leq y el L50, vemos como el Leq se aproxima más al L10, dándonos información acerca de las características del ruido. Así, cuando las fluctuaciones de ruido son pequeñas, el Leq se aproxima al L50, en cambio, cuando las fluctuaciones de ruido son grandes, el Leq se aproxima a L10 [29].

Al comienzo de la evaluación del método de rejilla, definimos celdas cuadradas con una dimensión de 4 hectáreas, dimensiones a las que la norma ISO 1996-2: 1987 y 2007 no hace referencia. Esta norma, únicamente, indica que la densidad de puntos depende de los objetivos del mapa y que la diferencia entre puntos adyacentes no debe ser superior a 5 dB. De esta manera, a continuación mostramos gráficamente los puntos adyacentes que presentan una diferencia superior a 5 dB:

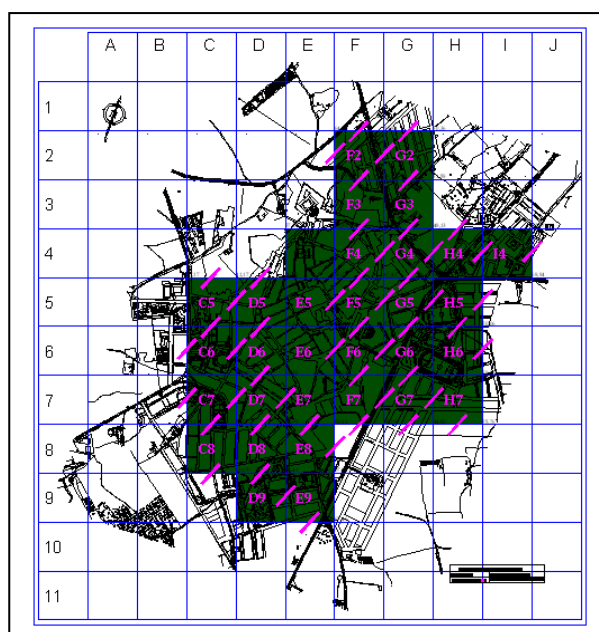


Figura 7 – Puntos adyacentes cuya diferencia en el valor del Leq supera al propuesto por la norma ISO 1996:1987 y 2007

A tenor de los resultados que se muestran en la figura 7, tendríamos que realizar nuevas medidas en 53 puntos, superando el número de puntos muestreados inicialmente (48 puntos) y, por lo tanto, duplicando el tiempo empleado en dicho estudio. Hay que resaltar, que aunque realizáramos una segunda campaña de medidas, no garantizamos que las diferencias entre todos los puntos adyacentes no fueran superiores a 5 dBA. Este es uno de los inconvenientes del método de rejilla, que a pesar de que aumentemos la densidad de puntos y, por lo tanto, el tiempo de trabajo, no significa que vayamos a obtener diferencias inferiores a 5 dBA entre puntos adyacentes. Si analizamos los puntos adyacentes que presentan una diferencia superior a 5 dBA, podemos ver que, en la mayoría de las ocasiones, se

sitúan en vías que registran un flujo de tráfico diferente. De esta manera, si situamos un punto a una distancia de 100 m e incluso de 50 m, posiblemente, en muchos de los casos, va a seguir existiendo una diferencia superior a 5 dBA. Esto se debe a la diferencia de flujo de tráfico que existe entre unas vías y otras [30].

4 Conclusiones

1. El 75% de los puntos muestreados superan el nivel de 55 dBA, considerado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como molestia importante. Esto nos indica que la contaminación sonora es un problema que también atañe a las pequeñas ciudades y, por lo tanto, los niveles sonoros registrados pueden afectar al desenvolvimiento de las actividades cotidianas de los habitantes de dicha localidad.
2. Tanto experimentalmente (correlación significativa entre los índices sonoros y el logQ, colores de las celdas del mapa de rejillas, diferencias del Leq entre puntos adyacentes del mapa de rejillas superior a 5 dBA) como objetivamente (registro de fuentes durante el tiempo que transcurre la medida), concluimos en que el tráfico es la principal fuente sonora. De esta manera, consideramos que se debe establecer un método para la evaluación de la situación sonora de las localidades donde su hipótesis de partida se base en la consideración que el tráfico rodado es la principal fuente sonora.
3. En núcleos urbanos de pequeño tamaño, al igual que sucede en grandes ciudades, el método de cuadrícula presenta una serie de inconvenientes:
 - La validez de las conclusiones que se extraigan del estudio depende de manera muy importante del tamaño de la rejilla.
 - Demandar gran cantidad de recursos técnicos, económicos y humanos.
 - A pesar de que se utilicen distancias entre puntos adyacentes inferiores a 200 m, en muchos de los casos, no se va a disminuir la diferencia de 5 dBA, debido a la existencia de un flujo de tráfico distinto entre unas vías y otras.

Agradecimientos

El presente estudio se ha realizado gracias a la ayuda otorgada por:

- Junta de Extremadura (Proyecto PRI06A271).
- Beca y contrato en práctica para la formación predoctoral de personal investigador (PRE07026).
Así, merece especial mención las entidades financiadores de dicha beca:
 - Junta de Extremadura
 - Consejería de Infraestructuras y Desarrollo Tecnológico
 - Fondo Social Europeo

Referencias

- [1] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Report Fighting Noise, OECD Publications, Paris, 1986.

- [2] Organización Mundial de la Salud (OMS). *Guidelines for Community Noise*. Eds. Berglund, B.; Lindvall, T., Schwela, D.H.; Goh, K.T, Ginebra, 2000.
- [3] Safeer, H.B. Community noise levels. A statistical phenomenon. *Journal of Sound and Vibration*, 26, 1973, 489-502.
- [4] Brown, A.L.; Lam, K.C. Urban Noise Surveys. *Applied Acoustic*, 20, 1987, 23-39.
- [5] 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.
- [6] ISO 1996-2: 2007. *Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels*. International Organization for Standardization, Switzerland, 2007.
- [7] Zannin, P.H.; Diniz, F.B.; Calixto, A.; Barbosa, W.A. Environmental noise pollution in residential areas of the city of Curitiba. *Acta Acústica*, 87, 2001, 625-628.
- [8] Zannin, P.H.; Diniz, F.B.; Barbosa, W.A. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Applied Acoustic*, 63, 2002, 351-358.
- [9] Sommerhoff, J.; Recuero, M.; Suárez, E. Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. *Applied Acoustics*, 65, 2004, 643-656.
- [10] García, A. *Jornadas Nacionales de Acústica*, Zaragoza, 1989, 85-89.
- [11] Sánchez, J.I.; González, J. Estrategia de medida del ruido de tráfico por criterios urbanísticos. *Revista de Acústica*, 23, 1992, 13-18.
- [12] Arana, M.; García, A. Estudio del ruido ambiental en Pamplona. *Revista de Acústica*, 21, 1990, 57-62.
- [13] García, A.; Miralles, J.L.; García, A.M.; Sempere, M.C. Community response to environmental noise in Valencia. *Environmental Internacional*, 16, 1990, 533-544.
- [14] Sanchís, R.; Segura, J.; Navarro, E.A.; García, A. Estudio de ruido ambiental y sus efectos en una pequeña ciudad: Banyeres de Mariola. *Revista de Acústica*, 31, 2000, 27-31.
- [15] Barrigón, J.M.; Gómez, V.; Méndez, J.A.; Vilchez, R. Study of noise in a small Spanish Town. *Internacional Journal of Acoustic Vibration*, 7(4), 2002, 231-237.
- [16] Branbilla, G. *Physical assessment and rating of urban noise*. *Environmental Urban Noise*, WIT Press, Southampton, 2001, 15-61.
- [17] García, A. *Impacto Acústico ambiental. El ruido en la ciudad. Gestión y control*. Ayuntamiento de Madrid y Sociedad Española de Acústica, Madrid, 1991.
- [18] Crocker, M.J. *Handbook of Acoustic*. John Wiley and Sons, New York, 1998.
- [19] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- [20] Miyara, F. *Estimación del riesgo auditivo por exposición a ruido según la Norma ISO 1999: 1990*. Instituto Argentino de Normalización, 1999.
- [21] Moreno, A.; Martínez, P. El ruido ambiental urbano en Madrid. Caracterización y evaluación cuantitativa de la población potencialmente afectable. *Boletín de la A.G.E.*, 40, 2005, 153-179.
- [22] García, B.; Garrido, F.J. *La contaminación acústica en nuestras ciudades. Colección de estudios sociales, 12*. Fundación Caixa, 2003.

- [23] García, A. *La contaminación sonora en la Comunidad Valenciana*. Consell Valencià de Cultura, Generalidad Valenciana, 1995.
- [24] García, A. Niveles de contaminación sonora en las zonas urbanas de la Comunidad Valenciana. *Ingeniería Municipal*, 1996, 27-39
- [25] R.D. 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.
- [26] García, A.; Faus, L.J. Statistical analysis of noise levels in urban areas. *Applied Acoustics*, 34, 1991, 227-247
- [27] Arana, M. Evaluación del ruido ambiental en Pamplona. *Revista de Acústica*, 28 (3 y 4), 1997, 47-48
- [28] García, A.; Fajarí, M. La contaminación acústica en la ciudad de Valencia. *En Anales del Centro de Alzira (UNED)*, 4, 1986, 153-167.
- [29] Broderson, A.B.; Edwards, R.G.; Hauser, W.P.; Coakley, W.S. Community noise in twenty Kentucky cities. *Noise Control Engineering*, 16 (2), 1981, 52-63.
- [30] Barrigón, J.M.; Gómez, V.; Méndez, J.A.; Vílchez, R.; Vaquero, J.M.; Trujillo, J. A categorization method applied to the study of urban road traffic noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 116, 2005, 2844-2852.