

## ESTUDIO PRELIMINAR DEL RUIDO AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE CÁCERES

43.50.Lj, 43.50.Qp,43.50.Sr

Barrigón , J.M.; Gómez Escobar, V.; Gutiérrez, P.D.; Alejandre, L.; Casillas, M. y Ahmed, J.

Universidad de Extremadura  
Dpto. de Física, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura. 10071 Cáceres.  
Tel.: 927 257 234. Fax: 927 257 203  
E-mail: barrigon@unex.es

### RESUMEN

In the city of Cáceres (Extremadura) a preliminary urban noise survey was conducted. The city was categorised by its roadway characteristics. Thus, four different categories were studied with random selection of sampling points. Measured noise levels can be considered high (over 65 dB(A)) in the city. Relationships between energy-averaged sound level ( $L_{eq}$ ) and statistical levels of exceedance ( $L_x$ ) were established. Finally, regression equation of  $L_{eq}$  was developed as a function of logarithm of the number of vehicles per hour. Results showed a good agreement with other authors'.

### INTRODUCCIÓN

Desde hace ya algunas décadas vienen realizándose, en numerosas ciudades del mundo, diversos estudios relativos al ruido urbano que tratan, de forma independiente o simultánea, alguno de sus aspectos de interés; como pueden ser: fuentes, nivel de contaminación sonora, nivel de exposición al ruido, efectos fisiológicos y psicológicos sobre las personas, etc.<sup>i</sup>

En España, los primeros trabajos en este sentido se remontan a finales de la década de los años sesenta<sup>ii</sup>. Actualmente existen estudios de ruido urbano en muchas ciudades españolas, incluso en algunas de mediano o pequeño tamaño<sup>iii,iv,v</sup>.

La ciudad de Cáceres, con una población censada de unos 81.000 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 que, a su vez, puede ser subdividida en varias partes, como posteriormente se describirá. Hasta el inicio de este trabajo, se carecía de estudios tendentes a conocer la realidad acústica; desconociéndose, por tanto, la situación que existía en lo que se refiere al ruido como contaminante urbano.

El trabajo realizado se ha centrado, dentro de las múltiples fuentes de ruido ambiental que pueden existir en una ciudad, en el ruido debido al tráfico, asumiendo, como en otros estudios, que éste representa la componente fundamental del ruido urbano<sup>vi</sup>.



## MÉTODO DE TRABAJO

### Objetivos

Se consideró como primer paso a realizar el planteamiento de los objetivos a conseguir. Dada la ausencia total de estudios de ruido ambiental en la ciudad de Cáceres, nuestro primer objetivo fue la evaluación de los niveles de ruido existentes en las vías públicas. Como ya se ha mencionado, nuestra hipótesis de partida fue que la fuente más significativa de ruido urbano es el tránsito de vehículos. En cualquier caso, nuestro segundo objetivo fue la identificación de las diversas fuentes de ruido, a fin de confirmar la citada hipótesis. Asimismo se pretende conseguir un conjunto de datos que permitan, en un futuro cercano, contrastar los niveles de ruido urbano con medidas de la respuesta de la población.

### Método de selección de los puntos de muestreo

En lo que se refiere a los métodos de muestreo, podemos encontrar en la bibliografía dos grandes estrategias a seguir, que permitan alcanzar los objetivos que nos hemos marcado<sup>1,vii</sup>. Una primera estrategia consiste en la obtención del campo acústico de una ciudad utilizando como base, para la selección de los puntos de muestreo, un retículo regular superpuesto al mapa de la zona objeto de estudio. Esta estrategia, si bien interesante, presenta el problema de que la validez de las conclusiones que se obtienen a través de ella depende fuertemente del tamaño del retículo seleccionado, lo que puede implicar un consumo importante de tiempo y recursos. Por otro lado, futuras reordenaciones del tráfico pueden llegar a afectar, significativamente, al mapa de ruido previamente obtenido.

Una segunda estrategia que permite la obtención del campo acústico en una ciudad, se basa en la selección de los puntos de muestreo partiendo de una estratificación previa del ruido urbano. Tal estratificación puede fundamentarse en: usos del suelo, densidad de residentes, utilización de la vía, etc. De éstas, las dos primeras no han dado resultados uniformes, mientras que la tercera si ha proporcionado resultados que permiten diferenciar las categorías previstas.

Tomando como base este análisis previo, se decidió seleccionar los puntos de medida partiendo de un análisis urbanístico de la ciudad y realizando una estratificación por el uso de la vía pública. La selección de los puntos de muestreo fue realizada al azar, dado que estudios anteriores apuntan a la posibilidad de que una selección arbitraria de los puntos puede llevar aparejada la selección de los emplazamientos más ruidosos<sup>viii</sup> y, por tanto, la posibilidad de introducir un error sistemático en los resultados obtenidos.

### Método de realización de las medidas y equipo

Las medidas se han realizado conforme a la normativa ISO 1996, realizándose una ficha para la toma de muestras con aquella información que pudiera considerarse pertinente para el análisis e interpretación posterior de los resultados. De esta forma se tomó nota de: fecha, hora de comienzo y fin, equipo utilizado, situación del sonómetro, ponderaciones, croquis del lugar de medida en planta y alzado, pendiente, número de carriles útiles, tipo de circulación, número y tipo de vehículos durante el tiempo de medida, descripción de las condiciones meteorológicas, incidencias (fuentes diferentes al tránsito de vehículos, localización, variabilidad de las mismas, ...), etc. Los niveles sonoros anotados fueron:  $L_{eq}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{min}$ .

Se realizaron las medidas durante el mes de Junio del año en curso, en una franja horaria que va desde las ocho hasta las veinte horas, dividida en intervalos de dos horas. Cada medida tuvo una duración de quince minutos. En cada emplazamiento se tomaron medidas a ambos lados de la vía, dos días de la semana diferentes y en dos intervalos distintos, que se seleccionaron al azar. De esta forma, cada punto de muestreo queda caracterizado por ocho muestras.

Todas las medidas se realizaron con un sonómetro B&K 2236, con su correspondiente trípode y pantalla



antiviento. Para la calibración se utilizó un calibrador B&K 4231.

## **ANÁLISIS URBANÍSTICO Y SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO**

### Descripción de la ciudad

La ciudad de Cáceres ha experimentado un fuerte crecimiento como consecuencia de la migración desde las poblaciones rurales hacia núcleos urbanos, al prestar éstos servicios de mayor nivel (educación, sanitario, comercial, ...). Esto ha ocasionado que su población de derecho se haya elevado, en los últimos 20 años, desde 65.000 habitantes hasta los 81.000 que tiene actualmente. En cuanto a la población de hecho, el incremento ha sido aun mayor, debido fundamentalmente al desarrollo en este periodo de tiempo de la Universidad de Extremadura, que en los centros de Cáceres se acerca a 15.000 alumnos, de los que más de la mitad son naturales de otras localidades y, por tanto, no están censados.

Este incremento de población ha implicado el nacimiento de nuevos barrios residenciales, que han supuesto un incremento de más de un 50% de la superficie de suelo urbanizado.

Desde un punto de vista urbanístico, podemos analizar Cáceres dividiéndola en las siguientes áreas: a) Zona Monumental: perfectamente delimitada por una muralla y compuesta por edificios institucionales y, en algún caso, residenciales de muy baja densidad; el uso del vehículo se encuentra restringido en esta zona. b) Zona Residencial Antigua: comprendida por los barrios que rodean la Zona Monumental; sus edificios rara vez sobrepasan las 3 plantas de altura y sus calles son de una sola dirección. c) Centro Administrativo Comercial: situado entre las zonas denominadas Residencial Antigua y Residencial Moderna, ofrece gran concentración de servicios administrativos, comerciales y bancarios, además del uso residencial; la constituyen edificios de 7 o más plantas. d) Zona Residencial Moderna: formada por los barrios construidos a partir del año 1980; la altura de los edificios que la componen no es uniforme. e) Areas de servicios concentrados o de ocio: las necesidades más importantes de desplazamiento hacia ellos se producen en horarios o días concretos: Residencia Sanitaria y Complejo Cultural San Francisco, Centros comerciales, Campus Universidad, etc. y f) Zona Industrial: se encuentra situada principalmente en dos polígonos específicos fuera de la ciudad.

Desde un punto de vista de vías urbanas, es importante señalar la inexistencia de una variante que una, por el exterior de la zona urbana, las diversas carreteras que comunican la ciudad con el resto de la península.

### Catalogación de calles

Para la catalogación de las calles, se ha considerado la existencia de unos puntos límite de la zona bajo estudio (la ciudad de Cáceres). Éstos se encuentran situados en las vías de acceso a la ciudad y vienen a coincidir, aproximadamente, con los límites de zona urbana. Además se consideran unos puntos que delimitan la zona central de la ciudad.

Se han considerado como vías de acceso a la ciudad aquellas que son preferentemente utilizadas para comunicarse con otras zonas peninsulares. En este sentido, las vías que comunican únicamente con núcleos de población de ámbito provincial se considerarán, si hubiese lugar, como vías de uso interno (urbano).

Con estas consideraciones, las categorías bajo estudio se definen en la forma:

Tipo 1: Vías de utilización preferente para comunicar entre sí los puntos límites sin atravesar la zona central de la ciudad, o para comunicar los citados puntos con los que delimitan la zona central.

Tipo 2: Vías que dan continuidad, atravesando la zona central, a las pertenecientes a la categoría anterior, uniendo los puntos límites de la zona central de la ciudad.



Tipo 3: Vías con dos sentidos de circulación, no incluidas en el tipo 2, utilizadas de forma preferente para desplazarse entre diversas zonas de la ciudad.

Tipo 4: Vías con un sentido de circulación, no incluidas en el tipo 2, utilizadas de forma preferente para desplazarse entre diversas zonas de la ciudad.

### Selección de los puntos de muestreo

En este estudio preliminar la selección de los puntos ha sido realizada tomando el mismo número de puntos por categoría. Para cada categoría, se han considerado todos los puntos de las vías que la componen como equiprobables; de esta manera se introduce, indirectamente, un factor de peso asociado a la longitud de la calle. Si se obtienen dos puntos equivalentes, considerando como tales a aquellos que se encuentran en un tramo de una calle sin algún cruce entre ellos, se descarta uno y se selecciona un nuevo punto.

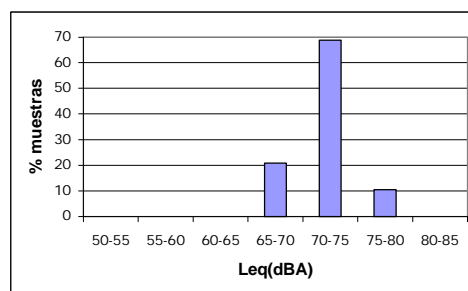
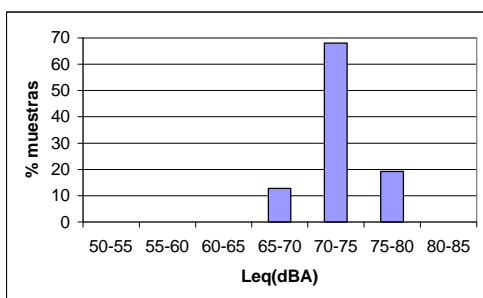
## RESULTADOS

Se tomaron en total 183 muestras, de las cuales 47 correspondieron a calles tipo 1, 48 a calles tipo 2, 48 a calles tipo 3 y 40 a calles tipo 4. En la tabla 1 mostramos, a modo de resumen y para el conjunto de las muestras, los valores medios con sus correspondientes desviaciones típicas, además de los valores máximo y mínimo obtenidos para cada uno de los niveles considerados.

Nivel	$L_{eq}$	$L_{10}$	$L_{50}$	$L_{90}$	$L_{max}$	$L_{min}$
Media	70,7	73,1	64,2	57,1	91,1	51,0
Desviación típica	3,9	3,8	4,8	4,8	5,2	5,0
Máximo	83,6	80	71,5	66,5	108,9	62,7
Mínimo	59,3	60	49,5	44,5	72,3	38,5

Tabla 1. Cuadro resumen del conjunto de las medidas realizadas.

En la figura 1 se muestran las distribuciones estadísticas de los niveles equivalentes obtenidos para cada una de las categorías estudiadas. Se pueden apreciar resultados muy similares en las gráficas de los valores correspondientes a las dos primeras categorías, mientras que se observa un desplazamiento de la distribución estadística hacia niveles sonoros menores, al considerar las categorías tipo 3 y tipo 4.



Tipo 1 Tipo 2  
Tipo 3 Tipo 4

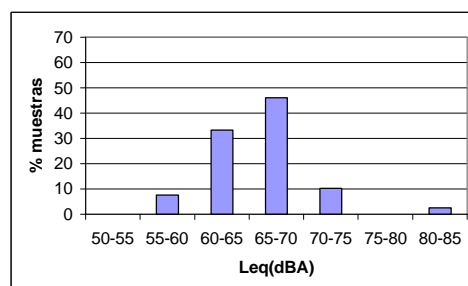
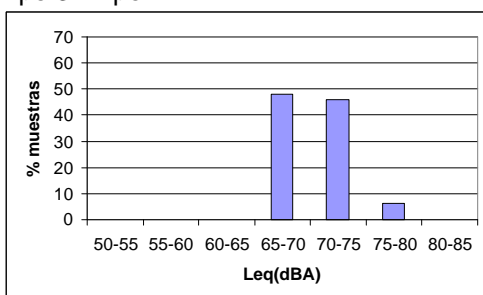


Fig. 1 Representación de la distribución estadística de los niveles  $L_{eq}$  obtenidos en cada categoría.

En la tabla 2 se muestra la distribución estadística del nivel equivalente para el conjunto de muestras tomadas. Se observa la existencia de una proporción muy alta de muestras, más del 90 %, con niveles mayores de 65 dB(A), valor que puede considerarse como límite aceptable para el periodo diurno<sup>ix</sup>.

Intervalo	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85
%	0	1,6	7,1	31,7	49,7	9,3	0,5

Tabla 2. Distribución estadística de los niveles  $L_{eq}$  obtenidos para el conjunto de las muestras.

### Relaciones entre los índices medidos

Muchas veces resulta de interés estudiar la posibilidad de obtener diversos niveles e índices de medida del ruido urbano a partir de las medidas realizadas de otros niveles. En la tabla 3a se muestran los parámetros obtenidos al realizar el ajuste de los niveles percentiles  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  y  $L_{90}$  frente al nivel  $L_{eq}$ . Se comprueba que la calidad de la relación lineal existente entre el percentil  $L_{10}$  y el nivel equivalente es bastante buena. También se aprecia como la dependencia del percentil  $L_{90}$  con  $L_{eq}$  no es significativa. Este resultado es similar al obtenido en otros trabajos<sup>x</sup>, y puede explicarse por la relación de este percentil con el ruido de fondo de la calle, que, para tráfico intermitente, estará más vinculado a las características urbanísticas del punto de medida, que a su uso como vía de comunicación. En la figura 2 se muestra la representación gráfica de los niveles percentiles considerados frente al nivel  $L_{eq}$ ; en ella se aprecia la gran dispersión que poseen los valores  $L_{90}$  para un mismo valor del nivel equivalente.

Los resultados mostrados en la tabla 3 mejoran significativamente si se eliminan aquellas medidas muy influenciadas por ruidos intensos y esporádicos. En la figura 2 se aprecia uno de estos puntos, ( $L_{eq}$  alrededor de 84 dB(A)). Este nivel ha sido ocasionado, fundamentalmente, por el paso de un vehículo con sirena cerca del punto de muestreo. Si no se considera este punto en el análisis anterior los resultados que se obtienen aparecen en la tabla 3b, observándose una variación significativa con la eliminación de un único dato. Naturalmente, esta variación está asociada al hecho de que este tipo de sucesos afecta de forma importante a un nivel energético, como es el nivel equivalente, sin hacerlo sustancialmente a los niveles estadísticos  $L_x$ .

	$L_{10}= f(L_{eq})$	$L_{50}= f(L_{eq})$	$L_{90}= f(L_{eq})$		$L_{10}= f(L_{eq})$	$L_{50}= f(L_{eq})$	$L_{90}= f(L_{eq})$
Pendiente	0,91	1,01	0,72	Pendiente	0,97	1,07	0,76
Ordenada	8,4	-7,2	6,1	Ordenada	4,7	-11,1	3,7
Coef. Corr.	0,94	0,84	0,59	Coef. Corr.	0,96	0,86	0,60

a) Todas las muestras

b) Eliminando un punto

Tabla 3. Valores resultantes de los ajustes lineales de los niveles percentiles  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  y  $L_{90}$  frente a  $L_{eq}$



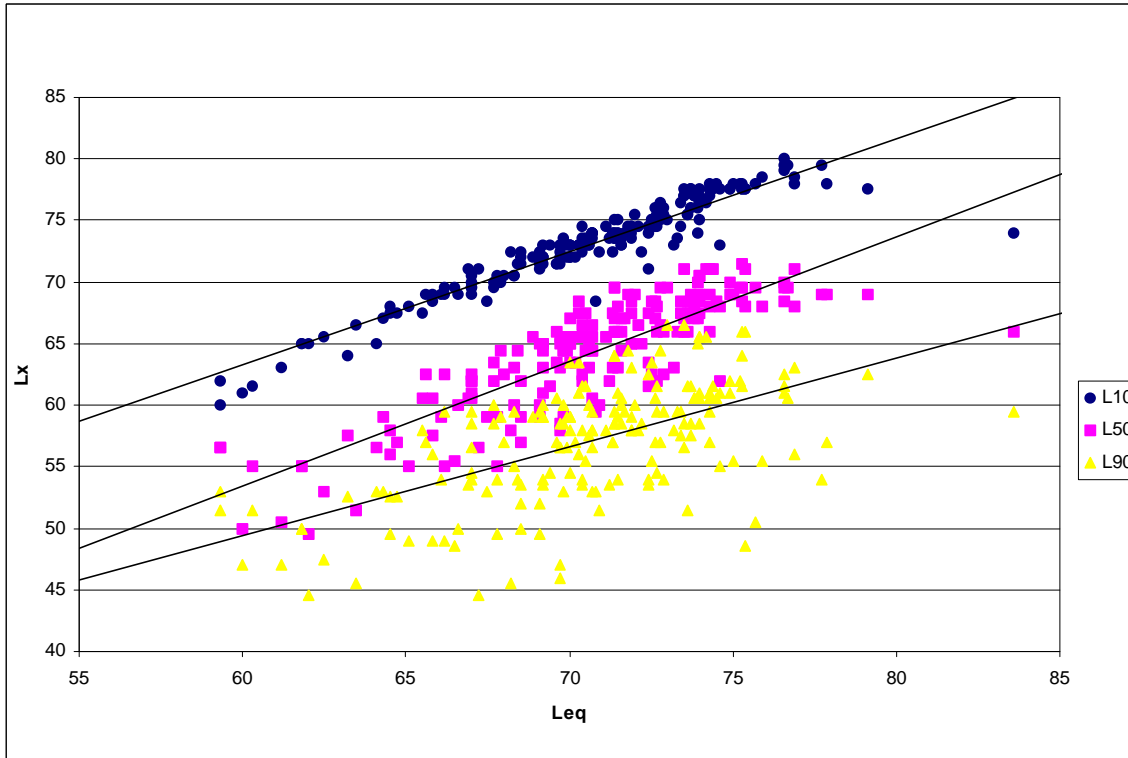


Fig. 2. Representación gráfica de los resultados obtenidos considerando  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  y  $L_{90}$  frente a  $L_{eq}$

#### Relación con los volúmenes de tráfico

Siguiendo la línea marcada por abundantes trabajos, se ha estudiado la relación entre el nivel equivalente y el logaritmo del volumen de tráfico ( $Q$ ), en vehículos por hora. La expresión obtenida y su coeficiente de correlación han sido:

$$L_{eq} = 9,3 \text{ Log } Q + 44,7; r = 0,81$$

En la figura 3 se muestra una representación gráfica del nivel equivalente frente al logaritmo del volumen de tráfico, así como la recta de ajuste.

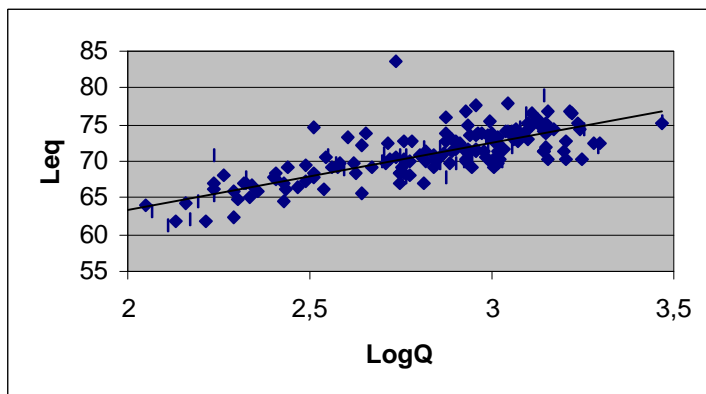


Fig. 3. Representación gráfica de  $L_{eq}$  frente a  $\log Q$ .

Los valores de  $L_{eq}$  que se obtienen a partir de la expresión anterior son similares a los que se encuentran a partir de las expresiones halladas por otros investigadores<sup>3,6,10,xi</sup>. En la tabla 4 se muestran algunas de ellas.

Se puede observar, asimismo, que la pendiente tiende a disminuir al aumentar el número de habitantes. Si se tiene en cuenta que la población censada de Cáceres es de aproximadamente 81.000 habitantes, se comprueba que nuestros resultados se sitúan dentro de la citada tendencia.

Ciudad (año)	Relación	Coef. Corr.	Habitantes
Gandía (1984)	$L_{eq} = 9,8 \log Q + 44,8$	0,83	50.000
Alcoi (1992)	$L_{eq} = 9,2 \log Q + 45,6$	0,82	65.000
Pamplona (1997)	$L_{eq} = 8,1 \log Q + 45,9$	0,73	180.000
Santa María. Brasil (1998)	$L_{eq} = 8,0 \log Q + 51,0$	0,98	226.000
Valladolid (1985)	$L_{eq} = 7,8 \log Q + 47,6$	0,85	490.000
Valencia (1989)	$L_{eq} = 8,1 \log Q + 48,6$	0,79	750.000

Tabla 4. Resultados obtenidos para la relación entre  $L_{eq}$  y el volumen de tráfico en diversas ciudades.

## CONCLUSIONES

a) De los gráficos de la figura 1 se puede inferir que la estratificación del ruido urbano, atendiendo a una división que considere el uso de la vía pública, resulta útil y adecuada para el estudio del ruido urbano proveniente del tránsito de vehículos.

b) La existencia de un conjunto de más del 90 % de muestras con  $L_{eq}$  superior a 65 dB(A), valor que podemos considerar como el máximo aconsejado en la mayoría de las normativas, muestra que las ciudades de pequeño tamaño también tienen en el ruido del tráfico un contaminante de primera importancia.

c) De forma similar a otros estudios se encuentra una aceptable relación lineal entre  $L_{10}$  y  $L_{eq}$ , mientras que para el resto de los percentiles ( $L_{50}$  y  $L_{90}$ ) este tipo de dependencias no es tan clara.

d) La dependencia del ruido urbano dependiente del tráfico con el volumen del mismo es clara. No obstante se observa la necesidad de incluir otros factores influyentes que permitan mejorar los ajustes.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación de la Junta de Extremadura (Proyecto IPR98A071).

<sup>i</sup> Brown, A.L. y Lam, K.C., *Appl. Acoust.*, 20, 1987, 23-39.

<sup>ii</sup> Santiago, J.S., *Electrónica y Física Aplicada*, 41, 1968, 35.

<sup>iii</sup> Arana, M.; *Revista de Acústica*, 28 (3 y 4), 1997, 47-48.

<sup>iv</sup> García, A.; *Revista de Acústica*, 28 (3 y 4), 1997, 49-51.

<sup>v</sup> García, A., Miralles, J.L., García, A.M. y Sempere, M.C., *Environment International*, 16, 1990, 533-541.

<sup>vi</sup> Alamar, M. y García, A., *Revista de Acústica*, 28 (1 y 2), 1997, 13-21

<sup>vii</sup> García, A., *Jornadas Nacionales de Acústica*, Zaragoza, 1989, 85-99.

<sup>viii</sup> Mochizuki, T. y Imaizumi, N., *J. Acoust. Soc. Japan*, 23, 1967, 146-159.

<sup>ix</sup> OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). Report Fighting noise. Paris: OECD Publications; 1986.

<sup>x</sup> García, A. y Faus, L.J., *Applied Acoustics*, 34, 1991, 227-247.

<sup>xi</sup> Nunes, M.F. de O.; Santos, J.L.P. dos y Maldaner, R., *Tecniacústica* 98, 1998, 505-508.

