

PATRONES DE ESTABILIZACIÓN DE LOS NIVELES SONOROS HORARIOS

Prieto Gajardo, C.; Barrigón Morillas, J.M.; Vilchez-Gómez, R.; Gómez Escobar, V.; Rey Gozalo, G.; Méndez Sierra, J.A.; Carmona del Río, F.J.

Departamento de Física Aplicada, Laboratorio de Acústica, Universidad de Extremadura
Cáceres, 10003 (SPAIN). Tel.: +34 927 25 71 95. Fax: +34 927 25 72 03.
{E-mail: barrigon@unex.es}

Resumen

De acuerdo a lo establecido en diferentes referencias internacionales, para la evaluación y gestión del ruido ambiental han de proporcionarse los valores de los índices sonoros L_d , L_e y L_n , medidos y promediados durante las 24 horas que componen el día durante todos los días del año. Debido al coste en tiempo y recursos que implica la toma de datos a lo largo de los 1440 minutos que forman el día, diferentes autores han llevado a cabo múltiples estudios para estimar y aproximar el tiempo de estabilización de los promedios sonoros correspondientes a las horas y a los tres períodos que contempla la normativa (día, tarde y noche), pero siempre partiendo de medidas de corta o media duración.

En el presente trabajo se analiza y presenta, para una estación de medida ubicada en Cáceres con seis años (2006-2011) de muestreo de ruido ambiental en continuo, el tiempo medio de estabilización para las diferentes 24 horas del día y para los períodos sonoros día, tarde y noche.

Palabras-clave: Tiempo de estabilización, índices acústicos, muestreo larga duración, ruido ambiental.

Abstract

According to the provisions of different European directives, for evaluation and management of environmental noise the sound index values L_d , L_e and L_n , measured and averaged over the 24 hours that composing a day must be provided. Due to the cost in time and resources involved in data collection over the 1440 minutes that complete a day, different authors have conducted several studies to estimate and approximate the stabilization time of the average sound for the hours and of the three periods which includes the legislation (day, evening and night), but always are based on measurements of short and medium term.

This work analyses and presents, for a measurement station located in Cáceres and six years (2006-2011) of continuous noise sampling, the average stabilization time for different 24-hour periods and for noise in the day, evening and night periods.

Keywords: Stabilization time, acoustics index, long-term sampling, environmental noise.

PACS no. 43.50.Yw¹, 43.50.Rq², 43.50.Sr³

¹ Environmental noise, measurement, analysis, statistical characteristics

² Community noise, noise zoning, by-laws, and legislation

³ Instrumentation and techniques for noise measurement and analysis (see also 43.58.-e)

1 Introducción

El problema del ruido en las ciudades es cada día más importante y está considerado, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el tercer tipo de contaminación más peligrosa por los diferentes efectos nocivos que tiene sobre la salud, por detrás de la contaminación en el aire y en el agua [1]. Fruto de esta problemática, las autoridades europeas centraron inicialmente sus esfuerzos en el control de los niveles sonoros de las posibles fuentes originarias de ruido, y es a raíz de ello cuando surge la iniciativa de realizar “mapas de ruido” sobre la población para evaluar la repercusión de este agente contaminante, con el fin de determinar los niveles a los que se expone el individuo en función de los distintos tipos de áreas.

Dada la situación, surge la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de Junio de 2002 sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental [2], que establece una serie de medidas y actuaciones que deben llevar a cabo las autoridades de los estados miembros para el control del nivel sonoro ambiental. Dentro de estas medidas y actuaciones, la Comisión Europea establece el valor del parámetro L_{den} de larga duración, que se basa en medidas de tiempo continuo correspondientes a un año de duración para la evaluación de las molestias ocasionadas en las personas (obtenido a partir de las medidas promediadas de L_d , L_e y L_n durante las 24 horas de los 365 días, tardes y noches del año).

Para la determinación del valor promedio anual del nivel L_{den} , la normativa Europea establece la posibilidad de realizar simulaciones mediante software informático o bien realizar mediciones. Si nos centramos en la base de realizar técnicas de medición, es práctica habitual realizar medidas de corta duración, bien en un determinado tiempo dentro de la franja diurna, (variando los tiempos de medición en unos casos y otros desde minutos hasta horas [3, 4]), bien midiendo las 24 horas del día [5-7] o bien en períodos más amplios de tiempo [8-11], que en ningún caso abarcan varios períodos anuales. De esta forma, a partir de estas medidas (de menor duración), se extrapolan los resultados a mayor duración como consecuencia del coste en tiempo y recursos que implica la toma de medidas de larga duración. De hecho, pocos son los estudios donde se analice la variabilidad de los indicadores con datos de larga duración en continuo para períodos que comprendan varios años [12, 13].

En el presente estudio se establecen una serie de estrategias y procedimientos de análisis para conocer la estabilidad de las horas del día y de los índices sonoros L_d , L_e y L_n con un margen de error determinado y evaluar si los procedimientos actuales de medición y extrapolación de resultados son coherentes en base a las afirmaciones que se infieren.

Por un lado, como se viene mencionando, se pretende buscar la estabilidad de los índices L_d , L_e y L_n a partir de medidas de larga duración obtenidas durante seis años de muestreo en continuo (2006-2011), es decir, nuestro objetivo es establecer cuántas horas (completas) aleatorias son necesarias para aproximarse al valor real del índice en cuestión con un error de $\pm x$ dB, procurándose obtener unos resultados que, en función del período de evaluación (L_d , L_e o L_n) y el correspondiente al año de muestreo, contemple la variabilidad de los datos de medición, contrastando las hipótesis planteadas hasta el momento, y estableciendo los errores de medida. Para ello se hace necesario analizar el comportamiento de la serie temporal de ruido urbano, su estabilidad diaria, anual, etc.

Del mismo modo, se repite el proceso para conocer la estabilidad de las 24 horas del día, evaluando el comportamiento de todas las horas comprendidas entre 2006 y 2011 (ambos inclusive). En este caso se analizarán cuántos minutos consecutivos (empezando desde el minuto 1) son necesarios para aproximarse al valor real de la hora (promediada con los 60 min) con cierto margen de error.

2 Caracterización y localización de la estación de medida

Para el presente estudio, se eligió un punto de medida en la ciudad de Cáceres, ciudad con una población aproximada de 93.131 habitantes, situada en la Comunidad de Extremadura, en la zona oeste de la Península Ibérica.

Para la selección del punto de medida se siguieron dos únicos criterios: el estar en entorno urbano y la posibilidad física y temporal para la colocación del equipo de medida. El resultado para su ubicación, fue una vivienda en Cáceres (España), a unos 14 metros por encima del nivel de la calle y en la fachada de uno de los edificios de la avenida Virgen de la Montaña. En la Tabla 1 se muestran algunas de las características más significativas del emplazamiento del punto de medida.

Ciudad	Población	Área	Densidad	Localización geográfica	Campus UEx	Coordenadas GPS Latitud - Longitud	Temperatura anual mínima media máxima [°C]	Media de precipitación anual Total-máx./día [mm]	Datos promediados desde
CÁCERES	93.131 hab.	13,27 km ²	7018,16 hab./km ²	Avda. Universidad s/n	Escuela Politécnica	39,469632 -6,373918	10,66 16,23 21,80	48,00 - 16,96	1982-2011

Tabla 1 – Ubicación y datos meteorológicos [14] del punto de medida

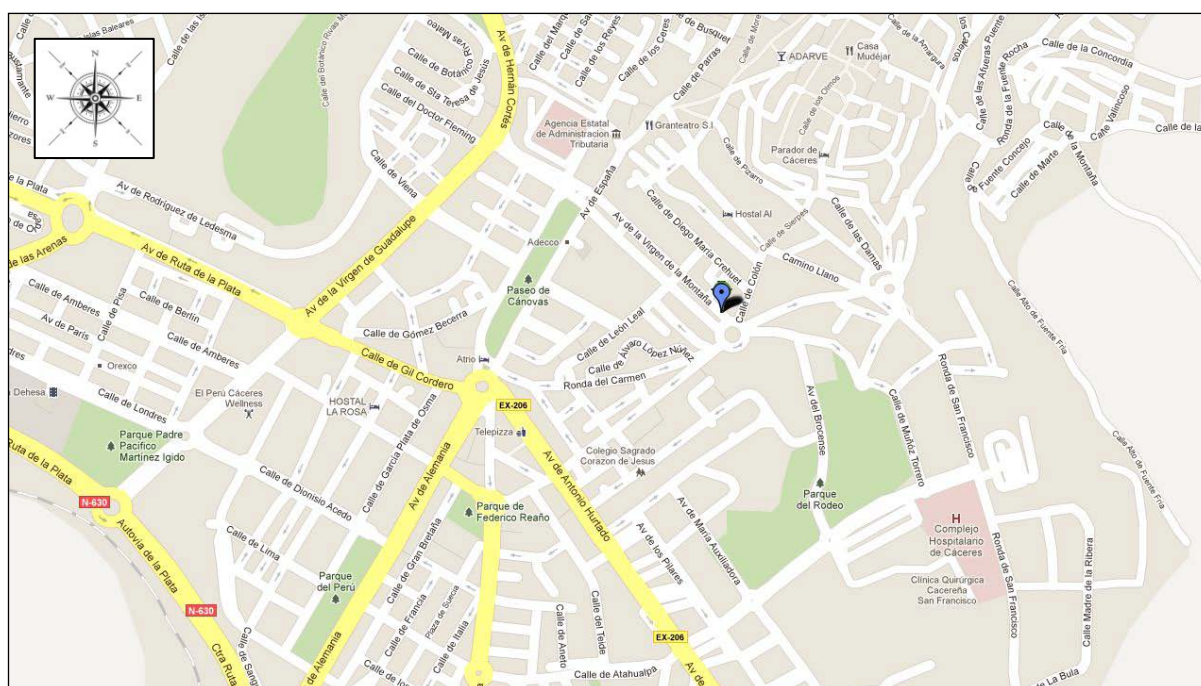


Figura 1 – Localización geográfica del punto de medida

En la Figura 1 se muestra un plano zonal del centro de Cáceres, con indicación de la ubicación del punto de medida. La calle en la que se situó el punto de medida, es una calle céntrica en forma de “U”, con tráfico denso y multitud de otras fuentes de ruidos urbanos. Dispone de un carril en cada

sentido de circulación, con estacionamiento en oblicuo a cada uno de los lados. En su parte central hay un paseo ajardinado de unos 7 m de ancho con arbustos y árboles de gran tamaño separados entre sí unos 5 m. La anchura total de la vía es de unos 24 m presentando una pendiente positiva de aproximadamente un 12% en el sentido de la circulación en el carril más cercano al sonómetro. Los edificios tienen entre 3 y 8 (al menos) plantas de altura. Remitiéndonos en la clasificación de tipos de vías del método de categorización, desarrollados por nuestro grupo de investigación [15, 16], en la que las calles de la ciudad se clasifican en función de su uso como vías de comunicación, la avenida Virgen de la Montaña es una calle que pertenece al tipo 2 (vías urbanas que dan acceso, desde las vías de utilización preferente para comunicar la ciudad con otras zonas peninsulares, a nodos de distribución principales de la ciudad o como alternativa a las anteriores ante la saturación).

3 Metodología experimental

3.1 Instrumentación de medida empleada

Para el muestreo y obtención de estos indicadores ($L_{Aeq,h}$, L_d , L_e y L_n) el equipo de medida utilizado ha sido una estación de monitoreo Oper@ de 01dB-Metravid clase 1 (IEC 61672-1:2002) revisada y calibrada, funcionando en continuo. El parámetro que se ha medido ha sido el nivel continuo equivalente con ponderación temporal A, integrando cada minuto ($L_{Aeq,min}$).

3.2 Procedimiento de análisis

El procedimiento de análisis de los datos muestreados se puede resumir en los siguientes cinco pasos que, también se esquematizan en la Figura 2.

1. Una vez registrados todos los minutos desde el año 2006 al año 2011 para la estación de medida situada en la localidad de Cáceres y descrita en la Tabla 1 y Figura 1, se generó una matriz para ordenar e identificar cada minuto con la hora a la que correspondiese (0-23), el día del mes al que perteneciese (1-31), el día de la semana (lunes-domingo), si dicho día es de carácter laboral o festivo (L-F), la semana (1-52) y mes del año (1-12), la estación del año (primavera, verano...) y el año (2006-2011).
2. Posteriormente, se dividió la base de datos global en seis matrices independientes, una para cada año, de forma que pudiésemos evaluar por separado cada año de medida.
3. Acto seguido, se crearon, para cada año, dos matrices o estratos, una que contendrá los días laborales y otra que albergará los días festivos (entendiendo por festivos, únicamente sábados y domingos completos, sin tener en cuenta fiestas nacionales o locales). Se ha creído conveniente realizar la división entre días laborales y festivos de manera que del análisis de los resultados se pueda extraer si presentan diferencias significativas.
4. Por motivos mecánicos, técnicos, de software, etc., la estación no siempre consiguió almacenar los 60 minutos de la hora durante todos los días y horas de los años medidos. Por ello, y dado que era requisito fundamental (para una precisa evaluación) que las horas estuviesen completas, se eliminaron de las matrices mencionadas anteriormente todas aquellas horas que no estuvieran completas, es decir, que no tenían los 60 minutos correspondientes. De este modo, solo se trabajó con las horas que cumplían el requisito establecido anteriormente.
5. Por último se calculó, para el análisis de estabilidad perseguido en este estudio, el parámetro $L_{Aeq,h}$ y los índices L_d , L_e y L_n para todas las horas y días registrados.

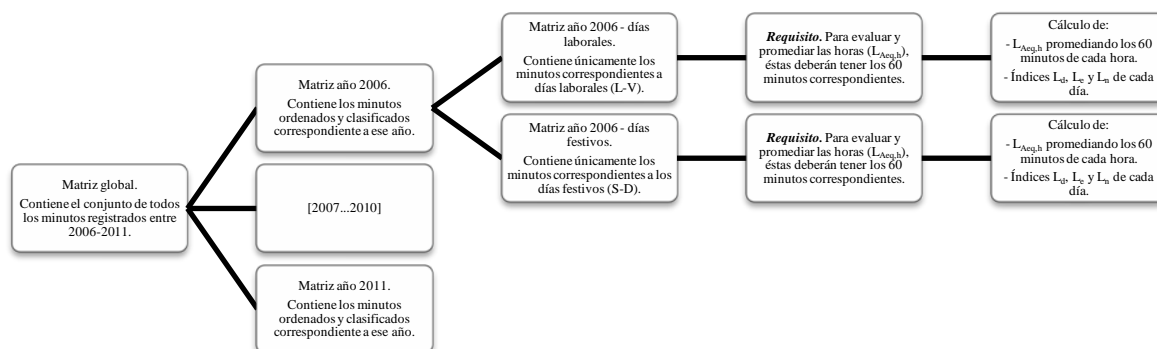


Figura 2 – Esquema del procedimiento de análisis

En este proceso de cálculo se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- Cambios de hora. Se han hecho las correcciones oportunas para tener en cuenta los dos cambios de uso horario que se producen en España cada año (últimos domingos de marzo y octubre).
- Obras en el edificio. Se han eliminado los datos de aquellos meses que se realizaron obras en el edificio donde se situaba la estación de medida.
- Los eventos puntuales o anómalos no fueron descartados en ningún momento (entendiendo como minuto o evento puntual aquel que dista un valor x con respecto al valor del minuto anterior, o aquellos minutos que superan en un x % el valor del promedio real de la hora (*outliers*)).

Una vez tratados y almacenados todos los datos, un software matemático desarrollado para el tratamiento de matrices (MATLAB® R2010a) analizó la estabilidad de los índices sonoros (L_d , L_e y L_n) y de las 24 horas del día mediante el siguiente procedimiento:

- Estabilidad de las horas:** Se pretendía responder a la pregunta: ¿cuántos minutos consecutivos (empezando desde el minuto 1 de la hora) son necesarios para aproximarse en $\pm x$ dB (siendo x la condición de error establecida previamente) con respecto del valor real de la hora promediada con los 60 minutos?. Para ello, y calculado previamente el parámetro $L_{Aeq,h}$ para todas las horas comprendidas entre los años 2006-2011 (diferenciando entre laborales y festivos), se van incrementando y promediando minutos consecutivos hasta aproximarnos en $\pm x$ dB con respecto al valor real de la hora evaluada.

Por ejemplo, para un margen de error $x = \pm 0,5$, se considera la siguiente condición:

$$\text{Promedio real de la hora} - 0,5 \leq \text{Promedionuevo} \leq \text{Promedio real de la hora} + 0,5.$$

Si la inecuación se cumple el proceso termina, mostrando el programa el número de minutos necesarios para estar dentro de la condición. En cambio, si no se cumple, se incrementa y promedia un minuto más (el consecutivo) al valor de “Promedionuevo” y se vuelve a comprobar la inecuación.

Este proceso se repitió para las 24 horas del día por separado y para todas las horas registradas entre 2006-2011 que cumplían el requisito previo, es decir, estaban completas.

- 2. Estabilidad de los índices L_d , L_e y L_n :** El objetivo perseguido en este caso era: ¿cuántas horas aleatorias (incluidas en el período a evaluar y no repetidas) son necesarias para aproximarse en $\pm x$ dB (siendo x la condición de error establecida previamente) con respecto del valor real del índice correspondiente a ese período (día, tarde o noche)?. Para ello, y calculados previamente los índices L_d , L_e y L_n de todos los días comprendidos entre los años 2006-2011 (diferenciando entre laborales y festivos), éstos tendrán que estar completos y compuestos por:

Período día: L_d (7:00 – 18:59) \rightarrow 12 horas (720 min)
Período tarde: L_e (19:00 – 22:59) \rightarrow 4 horas (240 min)
Período noche: L_n (23:00 – 6:59) \rightarrow 8 horas (480 min)

Posteriormente para cada índice calculado, se fue incrementando y promediando horas aleatorias (no repetidas) dentro de su período, hasta aproximarnos en $\pm x$ dB con respecto al valor real del índice evaluado. El proceso se repitió una vez para cada índice distinto hasta que la condición establecida anteriormente se cumplió.

4 Análisis de los resultados

4.1 Estabilidad de las horas

Dada la gran cantidad de análisis que se han llevado a cabo con distintas condiciones de error y años de medida, sólo va a ser posible en esta comunicación la presentación de un resumen de dichos análisis. Así, en lo que se refiere a los cálculos de estabilidad horaria, en la Tabla 2 se muestra un resumen de los valores promedio obtenidos para la condición de error ± 1 dB y el período laboral.

De los resultados de la Tabla 2 extraemos que, para el periodo noche, en menos de un 5% de los resultados el promedio en minutos obtenido para una hora de este periodo fue superior a 30 minutos. En más de la mitad de los casos (52%) el tiempo de estabilización fue inferior a 20 minutos. Los valores superiores se obtienen para la última hora de la noche (el periodo entre las 6 y las 7 de la mañana) donde en los años 2010 y 2011 se obtienen promedios de estabilización de 34 y 39 minutos, respectivamente, siendo, en consecuencia, la hora más inestable del día. Para el período festivo, en el 100% de los casos, los tiempos de estabilización son inferiores a 30 minutos, y más del 75% se encuentran en la franja de 10-20 min.

Durante el período día (7:00-18:59) y para los días de carácter laboral, el promedio de minutos para la estabilización de las horas es inferior a 20 en más de un 85% de los casos. La hora dentro de la franja diurna más variable y que, por tanto, necesita más minutos para estabilizarse, es la correspondiente a la primera hora de la mañana (7:00-7:59), que oscila entre 27 y 37 minutos (años 2006 y 2008 respectivamente) y donde, además, encontramos las mayores desviaciones. Es en este período diurno, y para las horas de las 8:00 y las 16:00, donde se encuentran las horas que necesitan, en promedio, menos minutos para estabilizarse (8 minutos) cuando la condición de error establecida es ± 1 dB.

El período correspondiente a la tarde (19:00-22:59) es el que tiene en promedio de minutos para la estabilización el menor rango de variabilidad, pues su valores están comprendidos entre 8 y 14 minutos para el 100% de los casos evaluados. Además, se observa la estrecha relación que tiene este período con las horas correspondientes al período laboral, pues exceptuando las primeras horas de la mañana del período día, el resto se comporta y mantiene bastante estable en ambos periodos, mostrando desviaciones muy similares.

PERÍODO LABORAL - Condición de error ± 1 dB																									
PERÍODO	NOCHE								DÍA										TARDE						
HORA	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Horas evaluadas	241	239	238	239	242	241	239	239	239	239	237	236	239	239	235	237	238	236	237	237	236	237	238	238	LAB 2006
Promedio minutos	12	11	20	20	28	29	25	29	27	6	8	8	9	8	9	7	9	8	8	8	9	9	8	9	
Desviación [min]	14	13	18	18	18	18	21	17	17	9	10	11	11	12	12	10	13	10	10	11	12	12	11	12	
Percentil 95 [min]	40	42	47	50	48	54	57	55	48	16	33	31	38	41	44	33	43	32	39	35	40	39	35	37	
Prom. Perc. 95 [min]	49								36										38						
Horas evaluadas	226	228	230	229	228	227	227	227	227	227	227	227	227	227	227	228	227	224	226	226	226	227	227	228	LAB 2007
Promedio minutos	12	12	12	22	24	24	24	25	29	6	9	10	10	7	8	7	9	7	9	8	11	8	9	11	
Desviación [min]	14	15	15	19	19	18	21	19	18	10	10	12	13	10	11	9	12	10	12	11	14	11	10	13	
Percentil 95 [min]	43	46	46	49	54	51	58	56	50	33	31	44	42	31	35	31	38	33	38	38	43	36	33	42	
Prom. Perc. 95 [min]	50								37										39						
Horas evaluadas	246	246	246	245	244	242	244	244	243	244	244	244	243	243	244	243	243	243	243	243	242	242	244	245	LAB 2008
Promedio minutos	13	11	12	19	21	23	27	20	37	9	11	12	12	11	9	9	8	7	8	9	10	8	9	8	
Desviación [min]	14	14	14	18	18	18	19	17	18	13	11	11	15	14	13	13	11	11	11	13	13	11	12	11	
Percentil 95 [min]	42	46	45	51	49	48	57	55	56	44	37	33	45	43	43	45	38	35	36	42	44	38	41	34	
Prom. Perc. 95 [min]	49								42										39						
Horas evaluadas	229	230	230	230	228	228	228	228	228	229	229	230	230	230	230	229	230	230	230	229	230	230	231	231	LAB 2009
Promedio minutos	11	11	11	17	23	23	28	17	33	8	13	13	11	12	13	13	9	8	10	10	10	11	10	10	
Desviación [min]	13	14	14	16	19	19	19	14	16	10	13	15	13	14	15	15	12	11	13	12	13	13	14	12	
Percentil 95 [min]	41	41	42	47	51	49	57	49	54	30	43	46	46	46	45	46	44	36	45	39	44	44	44	43	
Prom. Perc. 95 [min]	47								43										44						
Horas evaluadas	259	255	256	259	258	257	258	259	259	259	258	259	259	261	259	259	259	260	257	258	258	253	256	253	LAB 2010
Promedio minutos	10	9	11	17	22	23	26	34	29	9	16	21	13	12	12	12	10	9	9	11	10	10	11	9	
Desviación [min]	13	13	14	18	19	19	18	19	17	12	14	15	15	14	14	14	13	12	13	14	13	12	14	11	
Percentil 95 [min]	41	43	43	55	54	48	55	55	52	45	37	43	46	45	46	46	44	36	46	46	43	40	46	36	
Prom. Perc. 95 [min]	49								44										41						
Horas evaluadas	201	203	202	203	202	203	202	202	203	202	202	202	202	202	202	202	202	200	201	200	201	201	201	LAB 2011	
Promedio minutos	11	9	13	22	23	20	24	39	33	13	16	17	14	12	13	14	11	10	12	13	14	14	11		9
Desviación [min]	13	12	14	20	18	17	20	17	17	13	14	13	14	15	15	14	15	13	13	14	14	14	14		12
Percentil 95 [min]	39	39	45	53	48	48	57	57	53	40	38	38	44	46	44	44	46	44	42	44	46	44	45		42
Prom. Perc. 95 [min]	48								44										44						

Tabla 2 – Estabilidad de las horas para la condición de error ± 1 dB

Debido a los resultados correspondientes a la desviación de los valores obtenidos para el promedio de minutos, se creyó conveniente, y con el fin de garantizar que se cumple la condición de error para todas las medidas y períodos, conocer los valores concretos de los percentiles 95, 99 y 100.

En la Tabla 2, se presentan tanto los resultados correspondientes al percentil 95 para cada hora como el promedio para cada período (día, tarde y noche). De los resultados obtenidos en este análisis se puede observar que el período noche necesita, para todos los años de medida, más minutos para estabilizarse y cumplir la condición de error requerida (± 1 dB en este caso) que los períodos día y tarde.

4.2 Estabilidad de los índices L_d , L_e y L_n

En lo que se refiere la estabilidad de los diferentes índices, a modo de ejemplo, en la Tabla 3 se presentan los resultados derivados del análisis correspondiente a la estabilidad de los índices acústicos (L_d , L_e y L_n) para el año 2010, los períodos laboral y festivo y las condiciones de error ± 2 dB, ± 1 dB y $\pm 0,5$ dB (aunque también se evaluaron en este estudio las condiciones $\pm 0,2$ dB y $\pm 0,1$ dB).

AÑO 2010																		
PERIODO	CONDICIÓN DE ERROR ± 2						CONDICIÓN DE ERROR ± 1						CONDICIÓN DE ERROR $\pm 0,5$					
	LABORALES			FESTIVOS			LABORALES			FESTIVOS			LABORALES			FESTIVOS		
	L_d	L_e	L_n	L_d	L_e	L_n	L_d	L_e	L_n	L_d	L_e	L_n	L_d	L_e	L_n	L_d	L_e	L_n
Períodos evaluados	251	248	253	97	99	100	251	248	253	97	99	100	251	248	253	97	99	100
Promedio horas	1	1	2	1	1	2	3	1	3	3	1	3	5	2	5	4	2	5
Desviación [h]	2	1	2	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	4	2	2
Percentil 95 [h]	5	3	5	6	3	6	9	3	7	9	4	7	10	4	8	11	4	8
Percentil 99 [h]	8	4	7	8	4	8	12	4	8	10	4	8	12	4	8	12	4	8
Percentil 100 [h]	10	4	8	9	4	8	12	4	8	10	4	8	12	4	8	12	4	8

Tabla 3 – Análisis de estabilidad correspondiente al año 2010. Condiciones ± 2 dB, ± 1 dB y $\pm 0,5$ dB

Como se puede apreciar, para el valor promedio de horas se obtienen resultados iguales para los días laborales y festivos, exceptuando para la condición de error $\pm 0,5$ y para el índice L_d . Además se observa, como cabría esperar, que a medida que aumentamos la restricción de la condición de error, el número de horas que, en promedio, son necesarias para la estabilización aumenta de forma apreciable, tanto es así, que para las condiciones $\pm 0,2$ dB y $\pm 0,1$ dB, los valores de los percentiles 95, 99 y 100 fueron, para todos los años registrados (2006-2011), iguales al número de horas correspondientes al período en cuestión (12 horas para el día, 4 para la tarde y 8 para la noche).

Debido a que los valores correspondientes a la desviación son, en general, del mismo orden que los valores del campo “Promedio horas”, se consideró, al igual que para la estabilidad de las horas, evaluar también los percentiles 95, 99, y 100 de forma que se garantizase el cumplimiento de la condición de error establecida previamente, resultando necesario siempre un número de horas superior para poder conseguir estabilidad en los períodos e índices estudiados.

A pesar de que el promedio en horas para las tres franjas del día permanece igual tanto para los días laborales como para los festivos (sábados y domingos), si observamos los resultados correspondientes a los percentiles, el período laboral se estabiliza con un número de horas ligeramente inferior a las que necesita el período festivo. Además, si tenemos en cuenta los 6 años de medida registrados, se observa que para el período noche los días festivos son más estables que los laborales, y que tanto para el período día como para el período tarde, los días laborales, por el contrario, son más estables que los días festivos.

Además, la franja del día que presenta mayor rango de variabilidad y, por tanto, necesita de más horas para poder estabilizarse, es el período correspondiente a la noche (23:00-6:59). Tanto el período día como el período tarde necesitan, en tanto por ciento, un porcentaje similar y menor de horas para cumplir los requisitos de error establecidos y garantizar la estabilidad del índice.

5 Conclusiones

De acuerdo a los resultados presentados en este trabajo, podemos concluir que:

- Para conseguir con un porcentaje del 95% de acierto y un margen de error de ± 1 dB, habría que medir para calcular el valor del índice $L_{Aeq,1h}$ durante al menos 42 minutos para el período día, 43 minutos para la tarde y 49 minutos para la noche, independientemente del carácter festivo o laboral de los días medidos.
- Las horas más estables del día, y que por tanto necesitan menos minutos para estabilizarse, son las correspondientes a las 8:00 de la mañana y las 16:00 de la tarde.
- Por el contrario, las horas más variables e inestables del día se corresponden con las 5:00 y las 6:00 de la noche (período que va desde las 5:00 hasta las 6:59).
- Si establecemos periodos de medición de 15 minutos y extrapolamos los resultados al valor de la hora hay una alta probabilidad de cometer errores superiores a ± 1 dB con respecto al promedio real de la hora.
- En el caso de los índices acústicos y para conseguir con un porcentaje del 95% de acierto y un margen de error de ± 1 dB, habría que medir durante al menos 9 horas (sobre 12 h) para el índice L_d , 3 horas (sobre 4 h) para el índice L_e y 7 horas (sobre 8 h) para el índice L_n .
- Los resultados correspondientes a las desviaciones de los valores “Promedio horas” en la estabilidad de los índices sonoros nos muestran que, a pesar de la estabilidad de los parámetros de carácter anual, existen diferencias significativas entre los distintos períodos de muestreo y evaluación.
- El período más inestable del día, y que por tanto necesita más horas estabilizarse, es el correspondiente a la noche. Por ello, el período noche presenta mayor variación en sus niveles de presión sonora y, tanto las horas como los índices correspondientes a los tres períodos del día (día, tarde y noche), necesitan ser promediados durante más tiempo para conseguir estabilizarse.
- Es posible que la existencia de eventos anómalos haya podido repercutir ligeramente en la estabilización de las horas y los índices sonoros. Esta afección podría haberse evitado en el análisis si se hubiesen descartado todos los eventos que, a priori, superasen un determinado nivel de presión sonora. La decisión de dejarlos e incluirlos en el análisis fue debido a que, generalmente durante la toma de medidas ‘in situ’ y en tiempo real, es prácticamente inevitable descartar este tipo de sucesos.

Agradecimientos

Los autores del presente trabajo desean mostrar su agradecimiento a la Junta de Extremadura, Consejería de Economía, Comercio e Innovación y al Fondo Social Europeo, como entidades financiadoras del proyecto.



Referencias

- [1] Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D.H. *Guidelines for community noise*. World Health Organization, Geneva, 1999.
- [2] European Parliament, C. *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 - Declaration by the Commission in the Conciliation Committee on the Directive relating to the assessment and management of environmental noise*. 2002, Vol. L 189, pp. 12-25.
- [3] Li, B., Tao, S., Dawson, R.W. Evaluation and analysis of traffic noise from the main urban roads in Beijing. *Applied Acoustics*. 2002, 63, 1137-42.
- [4] Zannin, P.H.T., Diniz, F.B., Barbosa, W.A. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Applied Acoustics*. 2002, 63, 351-8.
- [5] Can, A., Leclercq, L., Lelong, J., Defrance, J. Capturing urban traffic noise dynamics through relevant descriptors. *Applied Acoustics*. 2008, 69, 1270-80.
- [6] Doygun, H., Kuşat Gurun, D. Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: A case study in Kahramanmaraş, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2008, 142, 65-72.
- [7] Mohammadi, G. An investigation of community response to urban traffic noise. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2009, 6, 137-42.
- [8] Alberola, J., Flindell, I.H., Bullmore, A.J. Variability in road traffic noise levels. *Applied Acoustics*. 2005, 66, 1180-95.
- [9] Romeu, J., Jiménez, S., Genescà, M., Pàmies, T., Capdevila, R. Spatial sampling for night levels estimation in urban environments. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2006, 120, 791-800.
- [10] Björk, E.A. Community noise in different seasons in Kuopio, Finland. *Applied Acoustics*. 1994, 42, 137-50.
- [11] DeVor, R.E., Schomer, P.D., Kline, W.A., Neathamer, R.D. Development of temporal sampling strategies for monitoring noise. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1979, 66, 763-71.
- [12] Larsson, C. *A method for determining the long-term aircraft noise level from short-time measurements*. In: International Congress on Acoustics, Trondheim, Norway, 1995.
- [13] Gaja, E., Gimenez, A., Sancho, S., Reig, A. Sampling techniques for the estimation of the annual equivalent noise level under urban traffic conditions. *Applied Acoustics*. 2003, 64, 43-53.
- [14] AEMET. *Agencia Estatal de Meteorología*. ftp://ftpdatos.aemet.es/datos_observacion/, 2012.
- [15] Barrigón Morillas, J.M., Escobar, V.G., Carmona, J.T., Sierra, J.A.M., Vílchez-Gómez, R., Río, F.J.C.D. Analysis of the prediction capacity of a categorization method for urban noise assessment. *Applied Acoustics*. 2011, 72, 760-71.
- [16] Barrigón Morillas, J.M., Gómez Escobar, V., Méndez Sierra, J.A., Vílchez Gómez, R., Trujillo Carmona, J. An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *Applied Acoustics*. 2002, 63, 1061-70.