

## ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES DE DATOS SONOROS

PACS: 43.50.Sr

Pulido Fernández, Raúl; Carmona del Río, Francisco Javier; Gómez Escobar, Valentín; Méndez Sierra, Juan Antonio; Vílchez Gómez, Rosendo; Rey Gozalo, Guillermo; Barrigón Morillas, Juan Miguel.

Dpto. de Física Aplicada, Escuela Politécnica, Universidad de Extremadura.

Avda. de la Universidad s/n,

10071 Cáceres.

Tel.: 34 927 257 195. Fax: 34 927 257 203

barrigon@unex.es

### ABSTRACT

One of the main difficulties in measuring urban noise levels is to know the time measuring required to obtain a value being representative of the whole year. In this work, we analyze the stability of values obtained for a unique place along a year. The main objective is to know the minimum measurement time producing values within a error.

### RESUMEN

Una de las principales dificultades en la medida del nivel de ruido urbano radica en conocer el tiempo necesario para que el resultado sea representativo de todo el año. En este trabajo realizamos un análisis de la estabilidad de las medidas realizadas en una misma ubicación dentro de un entorno urbano a lo largo de un año. Se busca el tiempo mínimo de medida que produce valores aceptables.

### INTRODUCCIÓN

El ruido en las ciudades es un agente contaminante de suma importancia, que afecta a la salud y calidad de vida de las personas. Para evaluar su repercusión sobre la población se realizan "mapas de ruido", con el objetivo de determinar cuáles son zonas ruidosas de acuerdo a la normativa vigente. A tal fin se usan los valores medidos en distintos puntos de la ciudad.

Para conocer el nivel anual en un punto de una ciudad se necesitaría medir durante un año entero. Si además se desea realizar comparaciones entre distintos años o entre distintos puntos serían necesarios varios años y varios equipos de medida, lo que supone un problema muy serio de recursos (tiempo y medios materiales). Habitualmente se recurre a medidas más cortas, procurando que éstas sean significativas de lo que ocurre en todo un año. En la literatura son escasos los trabajos relacionados, cabe citar los de Gaja, Alberola [1-2].

Para comprobar en qué modo esto es así, para conocer la calidad de los resultados que se obtendrían y optimizar el procedimiento de medida nos planteamos los siguientes objetivos:

1. Analizar el comportamiento de una serie temporal anual de ruido urbano, su estabilidad semanal y mensual, y la diferencia con respecto al valor anual para distintos índices de valoración del ruido.

2. Evaluar la probabilidad de que un índice de valoración del ruido evaluado durante una semana o un mes se acerque al valor anual más de 1,0 o 0,5 dBA.

## METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El equipo de medida utilizado es una estación Oper@ de 01dB-Metravid, funcionando en continuo. Ésta proporciona medidas del nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A (LAeq) cada minuto. Se ha utilizado la serie de datos del año 2007 (y la última hora del 31 de diciembre de 2006, ya que se utiliza en el cálculo de algunos índices). La elección del punto de medida puede considerarse arbitraria pues se siguieron dos únicos criterios: el estar en entorno urbano y la posibilidad física y temporal para la colocación del equipo. El resultado fue una única posibilidad, una vivienda en Cáceres (España), unos 10 metros por encima del nivel de la calle, en la fachada de uno de los edificios de la Avenida Virgen de la Montaña; calle céntrica con tráfico denso y multitud de otras fuentes de ruidos urbanos.

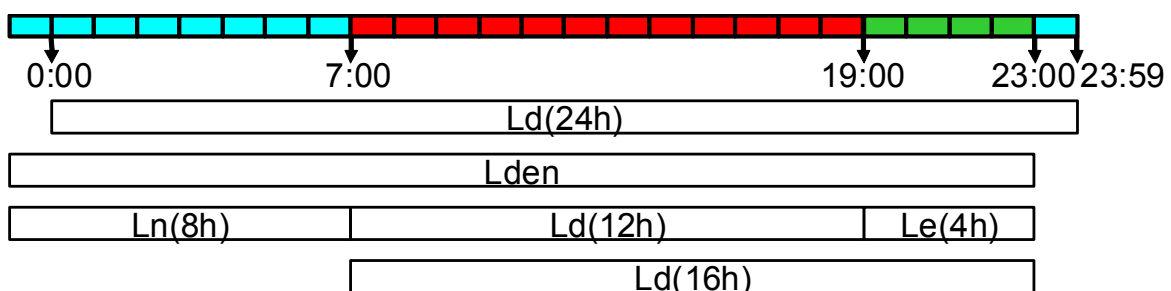
## RESULTADOS

A partir del nivel equivalente medido para cada minuto se calculan los nivel equivalentes para cada una de las horas ( $Leq(1h)_i$ : nivel equivalente de cada hora). Con el de las horas se calculan los de cada día:  $Ld(12h)$ ,  $Ld(16h)$ ,  $Ld(24h)$ ,  $Le(4h)$ ,  $Ln(8h)$  y  $Lden$ , con la distribución horaria que se representa en la figura 1, y que se detalla a continuación.  $Ld(12h)$ : nivel equivalente para las doce horas entre las 7:00 de la mañana y las 19:00 de la tarde,  $n=12$ ,  $j_1=8$ ,  $j_2=19$  (según ecuación 1). b)  $Ld(16h)$ , es el nivel equivalente del nivel de ruido de las 12 horas del día y las 4 de la tarde:  $n=16$ ,  $j_1=8$ ,  $j_2=23$ . c)  $Ld(24h)$ , promedio del nivel de las 24 horas:  $n=24$ ,  $j_1=1$ ,  $j_2=24$ . d)  $Le(4h)$ , nivel sonoro promediado de la tarde, desde las 19:00 hasta las 23:00 de cada día,  $n=4$ ,  $j_1=20$ ,  $j_2=23$ . e)  $Ln(8h)$ , nivel sonoro promediado de la noche; se considera la noche de cada día las siete primeras horas de este día y la última hora del día anterior:  $n=8$ ,  $j_1=0$ ,  $j_2=7$ .

$$Ld(nh) = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=j_1}^{i=j_2} 10^{\frac{Leq(1h)_i}{10}} \right) \quad (1)$$

f) Nivel sonoro corregido día tarde noche ( $Lden$ ) definido en la ecuación 2:

$$Lden = 10 \log \left( \frac{1}{24} \left( \sum_{i=0}^7 10^{\frac{Leq(1h)_i+10}{10}} + \sum_{i=20}^{23} 10^{\frac{Leq(1h)_i+5}{10}} + \sum_{i=8}^{19} 10^{\frac{Leq(1h)_i}{10}} \right) \right) \quad (2)$$



**Figura 1.** Representación de los intervalos horarios involucrados en cada índice

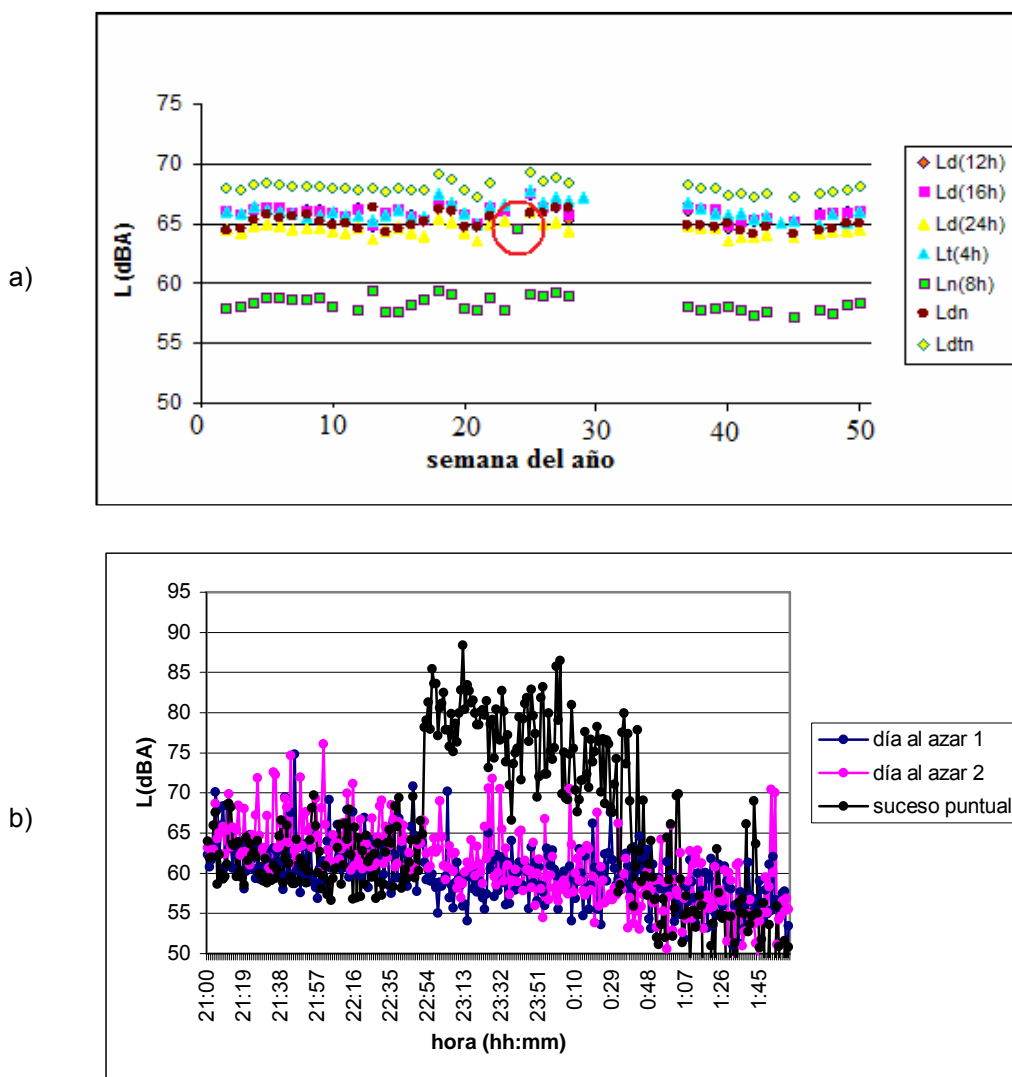
De este conjunto de niveles diarios se calculan los niveles equivalentes para cada semana, mes y el global del año. En este proceso de cálculo se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

a) 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).

b) Los valores de medida ausentes o defectuosos. En el proceso de medida, transmisión o registro se producen datos defectuosos, (fuera de rango, nulos, etc.). En el cálculo del nivel equivalente de cada hora, se considerará hora defectuosa, y por tanto no intervendrá en los cálculos, aquella que tenga más de cinco minutos con valor defectuoso. Los niveles diarios que promedian menos de 10 horas se consideran defectuosos si tienen al menos una hora defectuosa; si las horas que promedian son más de 10, el índice será defectuoso si hay dos o más horas defectuosas.

c) Obras en el edificio. Se han eliminado los datos del mes de agosto ya que en estas fechas se realizaron obras en el edificio donde se situaba la estación de medida.

d) Análisis de eventos excepcionales. El  $L_d(24h)$  y  $L_e(4h)$  de la semana 24 así como el  $L_n(8h)$  de la semana 25 se han excluido del proceso. Las celebraciones por la consecución de Liga española de fútbol 2007 por el Real Madrid C.F. suponen un evento totalmente excepcional, cuya inclusión modifica notablemente alguno de los índices. Como puede apreciarse en la figura 2 el valor de  $L_n(8h)$  de esa semana tiene un valor 7 dBA por encima de los contiguos, con la consiguiente repercusión en el valor mensual y anual. Se retiran de la serie los datos que transcurren entre las 22:52 del 17 de junio y las 0:42 del 18 del mismo mes.



**Figura 2.** a) Evolución semanal de los índices de valoración del ruido. b) Detalle del registro temporal obtenido durante dicho evento excepcional.

En la tabla 1 podemos ver cuál es el total de muestras que se han desechado para cada serie temporal y para cada índice aplicando estos criterios.

	Ld(12h)	Ld(16h)	Ld(24h)	Le(4h)	Ln(8h)	Lden	totales
minutos	84383 (16,05%)						525600
horas	1412 (16,12%)						8760
días	64 (17,53%)	64 (17,53%)	65 (17,81%)	62 (16,97%)	63 (17,26%)	66 (18,08%)	365

semanas	14 (26,92%)	14 (26,92%)	15 (28,85%)	13 (25%)	15 (28,85%)	14 (26,92%)	52
meses	1 (8,33%)	1 (8,33%)	1 (8,33%)	1 (8,33%)	1 (8,33%)	1 (8,33%)	12

**Tabla 1.** Número de muestras defectuosas para cada serie temporal y cada índice

Una vez obtenidos los índices diarios, se calcula el valor del nivel equivalente para cada una de las semanas y para cada uno de los meses y para cada índice a partir de los valores diarios. Los valores anuales de una variable se calculan sea cual sea el número de días defectuosos. Los valores semanales no serán admitidos si tienen algún día defectuoso, los valores mensuales permiten un máximo de 15 días defectuosos.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### Valores Anuales

Los valores anuales que se han obtenido para cada índice como resultado de un promedio energético de los valores diarios, se muestran en la tabla 2. Estos valores anuales son la aspiración de cualquier otra medida más corta, y por tanto, con los que se van a comparar las series de medidas de semanas y meses. La extensión de este trabajo durante varios años permitiría estudiar la estabilidad supra-anual.

Índice	Ld(12h)	Ld(16h)	Ld(24h)	Le(4h)	Ln(8h)	Lden
Anual(dBA)	65,9	65,9	64,5	66,1	58,3	68,0

**Tabla 2.** Valores anuales de los índices estudiados

Se observa que los niveles durante el día (Ld(12h)) y la tarde (Le(4h)) tienen un valor muy parecido, comparado con el nivel promedio de la noche, Ln(8h). Éste último en el entorno urbano es muy inferior a los dos anteriormente mencionados puesto que en dicho horario disminuye el número de fuentes sonoras, esencialmente tráfico rodado. Este hecho se observa claramente en el nivel penalizado, el Lden también penaliza las horas de la tarde, que son más ruidosas.

### Valores Mensuales

Los valores que se obtienen para cada mes del año y para cada uno de los índices figuran en la tabla 3. El análisis de estos resultados nos muestra una gran estabilidad en los mismos. Las variaciones que existen entre los valores mensuales y la referencia anual son francamente pequeñas: como máximo 0,9 dBA para el Le(4h). Para el resto de índices, menores de 0,7 dBA: para el Ld(12h) o el Ld(16h) incluso menores de 0,5 dBA. Incluso las diferencias que existen entre unos meses y otros también son pequeñas; el índice que presenta una mayor variación es el Le(4h), 1,7 dBA. Para los índices diurnos (cualquiera de los Ld) y el Lden todas las muestras se encuentran en un intervalo de 1 dBA.

Los máximos para cada índice se encuentran en los periodos estivales. De esta manera encontramos meses más ruidosos en junio (índices diurnos) y julio (resto de índices). Los valores mínimos se encuentran en los primeros meses del otoño, de manera que octubre y noviembre se reparten los mínimos de los distintos índices.

L (dBA)	Ld(12h)	Ld(16h)	Ld(24h)	Le(4h)	Ln(8h)	Lden
enero	66,1	66,1	64,7	66,1	58,1	68,0
febrero	66,3	66,2	64,8	66,0	58,7	68,2
marzo	66,0	65,9	64,5	65,8	58,4	68,0
abril	65,6	65,6	64,3	65,7	58,3	67,8
mayo	65,9	66,0	64,6	66,4	58,6	68,2
junio	66,3	66,4	65,1	66,6	58,5	68,4
julio	65,8	66,1	64,7	66,9	58,9	68,5
agosto	-	-	-	-	-	-
septiembre	65,8	65,9	64,5	66,3	57,9	67,9
octubre	65,5	65,6	64,1	65,9	57,7	67,6

noviembre	65,6	65,5	64,2	65,3	58,0	67,6
diciembre	65,8	65,7	64,3	65,6	58,1	67,8
valor anual	65,9	65,9	64,5	66,1	58,3	68,0
diferencia máxima entre meses	0,9	0,8	0,9	1,7	1,2	0,9
máx{L-Lanual}	0,5	0,5	0,5	0,9	0,7	0,5

**Tabla 3.** Niveles mensuales para cada índice, diferencia entre el valor mensual más alto y el más bajo y máxima diferencia respecto a la referencia anual. En cada caso se destacan en **naranja** el valor más alto, y en **verde** el más bajo.

### Valores Semanales

De igual modo que se han analizado los valores mensuales, se hace con las muestras semanales de cada índice. El resumen de los resultados se muestra en la tabla 4, y en este caso, su comportamiento se muestra de manera gráfica en la figura 4

A pesar de ser un periodo de tiempo menor, se observa también gran estabilidad en todos los índices. Las máximas diferencias entre semanas oscilan entre 2 dBA y 3 dBA según el índice. Si se considerase el valor de cualquier semana como el anual se obtendrían diferencias máximas entre 1 dBA y 2 dBA para los distintos índices. El mayor de los errores se produce en la semana 26 para el índice Lt(4h), y es 1,8 dBA. El resto de errores está por debajo de dicho valor. Ninguno de los índices destaca por tener una mayor estabilidad que el resto, o por presentar unas diferencias muy elevadas.

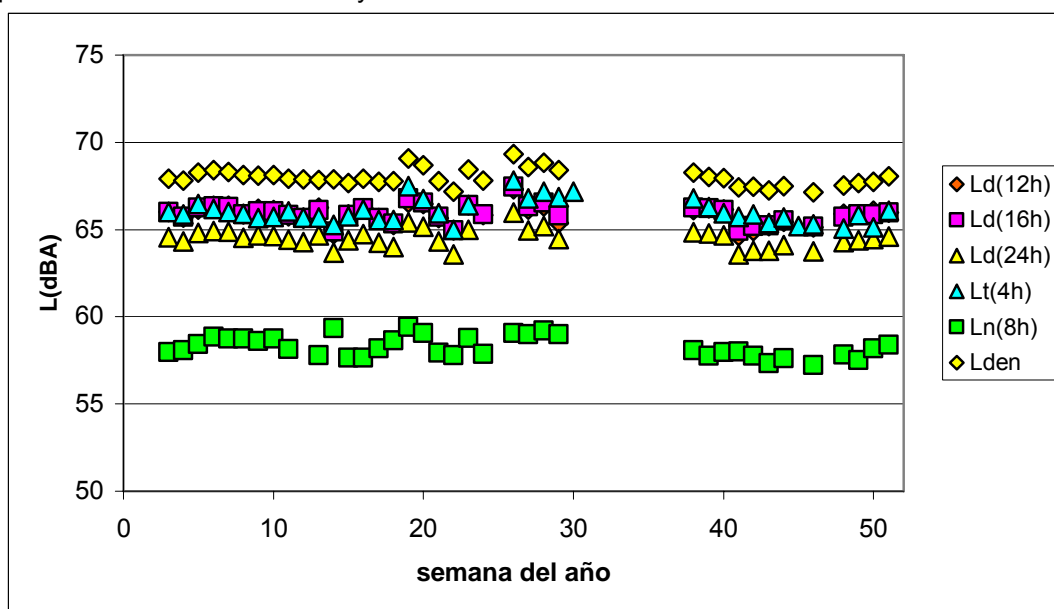


Figura 4. Evolución semanal de los distintos índices de ruido.

L (dBA)	Ld(12h)	Ld(16h)	Ld(24h)	Le(4h)	Ln(8h)	Lden
Promedio {abs(L - Lanual)}	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4
Diferencia máxima entre semanas	2,7	2,6	2,4	2,8	2,2	2,2
máx{L-Lanual}	1,5	1,5	1,5	1,7	1,1	1,3

**Tabla 4.** niveles semanales para cada índice, diferencia máxima respecto a la referencia anual y diferencia entre la semana más alta y la más baja.

En correspondencia con lo que ocurría en los valores mensuales, observamos que las semanas del periodo previo al verano (semanas de junio y julio) marcan los máximos de ruido, mientras que es el periodo que comprende octubre y noviembre el que marca los mínimos.

En la tabla 5 se resume los resultados principales sobre la estabilidad semanal y mensual. Se indica el porcentaje de medidas individuales que difieren del valor anual menos de un determinado error (0,5 ó 1,0 dBA).

índice	Ld(12h)		Ld(16h)		Ld(24h)		Le(4h)		Ln(8h)		Lden	
Error máximo (dBA)	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0
% meses	100	100	100	100	91	100	73	100	82	100	100	100

<b>% semanas</b>	68	92	71	95	70	97	56	85	51	92	71	95
<b>% días</b>	22	47	27	53	33	60*	33	60	18	38	48	79

**Tabla 5.** Probabilidad de que un valor individual (diario, semanal o mensual) difiera del anual menos de un determinado error, 0,5 o 1,0 dBA. \* Muy próximo al valor 53.8% indicado por Gaja et al. [2].

## CONCLUSIONES

Se puede realizar una síntesis del conjunto de conclusiones que han sido extraídas del comportamiento de las series temporales:

- Los valores semanales de los índices presentan pocas diferencias entre sí, salvo rara excepción se agrupan en el intervalo que va de -1,5dBA a +1,5 dBA respecto al valor anual. Los índices diurnos y el Lden se comportan de manera parecida, y existe una posibilidad de alrededor del 70% de tomar una semana al azar cuya distancia sea menor de 0,5 dBA respecto al valor anual. Para el índice Ln(8h) existe una posibilidad en torno al 50% de tomar una semana al azar cuya distancia sea menor de 0,5 dBA respecto al valor anual.
- El comportamiento de los valores mensuales es para todos y cada uno de los índices muy constante, no se ha encontrado muestra alguna que sobrepase 1 dBA de diferencia de la referencia anual. En algunos índices, como Ld(12h), Ld(16h) y Lden esta distancia se reduce a solo 0,5 dBA. En aquellos índices donde el intervalo de diferencias va desde -1 dBA a +1 dBA, que son Ld(24h), Lt(4h) y Ln(8h), también hay grandes posibilidades de que el valor de un mes no sobrepase los 0,5 dBA de diferencia con el valor anual.
- Sin lugar a dudas, el índice más estable de todos los estudiados como serie temporal es el Lden a tenor de los resultados obtenidos. Este índice es el que facilita más posibilidades de conseguir entre sus muestras al azar un valor cercano al anual, ya sean usando meses, semanas o días.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con la ayuda concedida por la Junta de Extremadura (Proyecto PRI06A271) y la Consejería de Sanidad y Dependencia (anteriormente Consejería de Sanidad y Consumo) de la Junta de Extremadura. Financiado con Fondos FEDER.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gaja E. et al. "Sampling techniques for the estimation of the annual equivalent noise level under urban traffic conditions". Applied Acoustics 64, 2003, 43-53
- [2] Alberola J. et al. "Variability in road traffic noise levels". Applied Acoustics 66, 2005, 1180-1195.