

PROPUESTAS DE PROCEDIMIENTOS PARA LA MEJORA DEL ANÁLISIS TEMPORAL DE PARÁMETROS ACÚSTICOS APLICADOS AL RUIDO DE TRÁFICO

PACS: 43.50.Rq

Ezpeleta Bielsa, Enrique; Navarro Ruiz, Juan Miguel
Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)
Campus de los Jerónimos
30107 Guadalupe, Murcia. España
Tel. +34 968 278 825
Fax. 968 278 581
E-mail: ejezpeleta@alu.ucam.com, jmnnavarro@pdi.ucam.edu

ABSTRACT

Today the characterization and evaluation of ambient noise of traffic typical lack of stability is performed with a few measurements. In the case of the regulation of Valencia suffice 9 time slot measurements.

The purpose of this research is to propose three alternative methods of data analysis evaluating the most efficient. To do this, it is part of a data through networks of acoustic traffic noise continuously for 24 hours wireless sensors.

One of the proposed methods of statistical analysis reduces the sensitivity of the results to outliers without requiring any data filtering to remove non-meaningful measurements, for this reason it is concluded as recommended method analysis.

RESUMEN

En la actualidad la caracterización y valoración de un ruido ambiental de tráfico típico con falta de estabilidad se realiza con unas pocas mediciones. En el caso de la reglamentación de la Comunidad Valenciana bastan con 9 mediciones por tramo horario.

La finalidad de este trabajo de investigación es proponer tres métodos de análisis alternativos de los datos valorando el más eficiente. Para ello, se parte de unos datos obtenidos mediante redes de sensores inalámbricas acústicas de ruido de tráfico en continuo durante 24 horas.

Uno de los métodos de análisis estadístico propuesto reduce la sensibilidad de los resultados a los valores atípicos sin requerir de ningún filtraje de datos para eliminar mediciones no significativas, por dicho motivo se concluye como método de análisis más recomendable.

INTRODUCCIÓN

El ruido de tráfico tiene unas características concretas como son la variabilidad de los niveles de presión sonora [1, 2] o la presencia de un amplio rango de frecuencias que lo originan varias fuentes de origen [3], entre ellas el dibujo de los neumáticos [4], esto implica una alta

complejidad para caracterizar las mediciones de ruido de tráfico [5, 6]. El ruido de tráfico es uno de los más habituales en el interior de las viviendas [7], es por lo que si se dispone de un buen sistema (eficiente y fiable) de análisis de los datos de dichas mediciones se estará en mejor disposición para tomar las decisiones más adecuadas para poder corregir y prevenir las posibles molestias ocasionadas por dichos ruidos [8].

Teniendo presente dichas premisas y partiendo de unos datos obtenidos de un estudio de investigación de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM) [9], se dispone, además de otras variables espectrales, de unas mediciones de cinco parámetros globales tanto en el exterior como en el interior de una vivienda: Nivel de presión sonora instantáneo (SPL), Nivel sonoro Equivalente cada 10 segundos (L_{eq}), Nivel máximo (Pico), y para evaluar la posible molestia psicoacústica: Sensación sonora (Loudness) [10, 11] y Nitidez sonora (Sharpness) [12]. Las mediciones provienen de un sistema de red de sensores inalámbricos que graba en continuo. Se dispone de valores de todos los parámetros durante 24 horas cada 10 segundos. El desarrollo tecnológico está ayudando mucho para poder tener una modelización más fiel de la realidad.

El objetivo de este estudio es, realizar un análisis del impacto acústico del ruido de tráfico en una edificación abordando las siguientes finalidades:

- Analizar una serie de mediciones acústicas realizadas en un entorno urbano, procedentes de otro estudio de investigación previo.
- Analizar los posibles métodos de muestreo y valorar el más eficiente,
- Obtener conclusiones de los resultados obtenidos

Partiendo de unos datos de mediciones de ruido de tráfico dentro y fuera de una vivienda se analizan los mismos, por tres métodos, se estudian cinco parámetros comparando sus resultados y sacando conclusiones de la eficacia de los tres métodos.

REQUISITOS DE LAS MEDICIONES ACÚSTICAS

Existen muchos parámetros como indicadores del nivel sonoro ambiental [13], pero uno de los índices más utilizados es el nivel de evaluación sonora (L_E) que consiste básicamente en el nivel equivalente ponderado A durante un tiempo T dado ($L_{Aeq,T}$) y corregido con los factores que se indique en cada legislación, en concreto para la Comunidad Valenciana:

$$L_E = L_{Aeq,T} + K_{RF} + K_{TonosPuros} + K_{imp} + K_{reflexión} \quad (1)$$

Se toma como índice de ruido ambiental el L_{den} del periodo día-tarde-noche expresado en decibelios

$$L_{den} = 10 \cdot \log \frac{1}{24} \left[12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right] \text{ dB} \quad (2)$$

En este caso los valores L_d , L_e , L_n deberían ser los valores medios de todos los periodos día, tarde y noche de un año [14]. Pero en la práctica no se suelen hacer mediciones durante un año para evaluar un nivel sonoro.

En el caso de la legislación de la Comunidad Valenciana para evaluar un ruido variable como es el caso del ruido de tráfico bastaría con realizar 3 series de mediciones, con 3 mediciones en cada serie de una duración mínima de 5 minutos, con intervalos mínimos entre cada serie de 5 minutos [15]. Es decir, un total de 9 mediciones.

Sin embargo también se indica en la misma legislación que “la duración de las mediciones dependerá de las características del ruido que se esté valorando de modo que ésta sea lo suficientemente representativa” [16].

PLANTEAMIENTOS ANALÍTICOS DE LOS DATOS

En este estudio se presentan tres métodos o procedimientos de análisis estadístico que se describen a continuación:

Método D

- El método denominado “D” de determinista, consiste simplemente en utilizar todos los datos obtenidos de las mediciones registradas (en este estudio 8.640 medidas por parámetro).
- Es el método más usado, por no decir el único utilizado, con la salvedad de que en realidad se trabaja con muchos menos datos (9 medidas por cada uno de los tres tramos horarios o 3 medidas si no se considera variable la señal sonora).

Método F

- El método denominado “F” de filtrado, consiste en descartar algunos de los valores registrados por considerarlos erróneos o atípicos.
- Por lo tanto, sólo se usan los registros considerados válidos (en este estudio 6.807 medidas por parámetro).
- Este método requiere de un técnico experto con criterio adecuado para realizar los filtrados de los valores a eliminar.

Método E

- El método denominado “E” de estadístico, consiste en aplicar enfoques de muestreo e inferencia estadística a los valores registrados.
- Por lo tanto, se trabaja con una cantidad inferior de datos pero muy representativa (se ha trabajado con 288 medidas para cada parámetro en cada uno de los dos puntos)
- Este método requiere de muchas medidas iniciales para poder aplicar técnicas estadísticas.

ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DE DATOS

Método D

En la evolución temporal del ruido de tráfico se observa una alta variabilidad de los niveles sonoros, en la Figura 1 se muestra un ejemplo de 24 horas y un detalle de una hora.

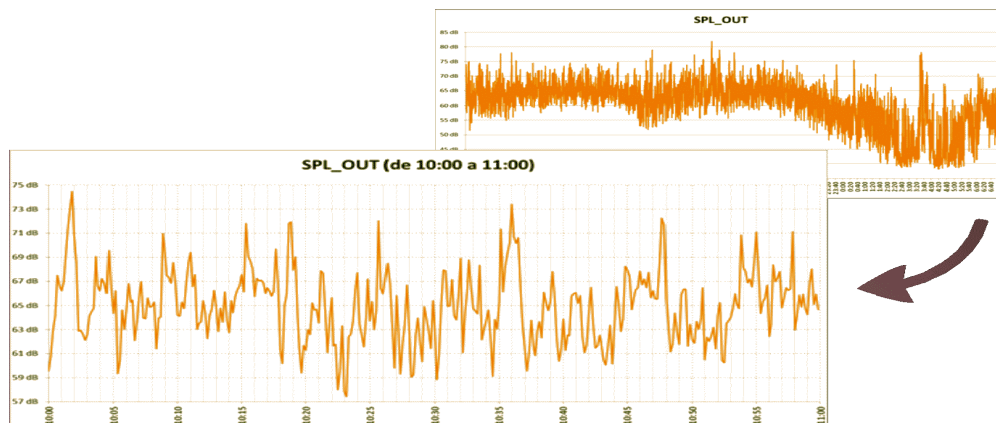


Figura 1: Evolución temporal del parámetro SPL en el exterior

En el análisis espectral es de destacar la poca correlación entre los valores estadísticos de las mediciones exteriores con respecto a las interiores.

A priori, parecería lógico esperar que a un valor pico en el interior correspondiese un valor pico en el exterior (comparar las líneas verdes de valores máximos en Figuras 2 y 3).

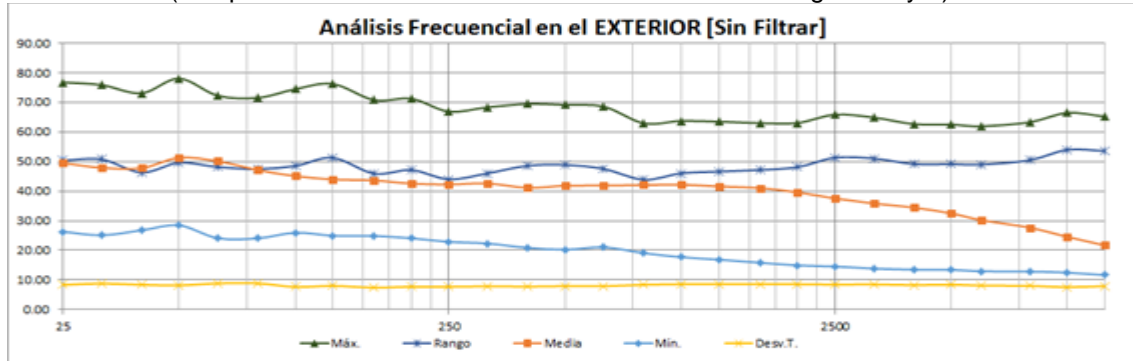


Figura 2: Parámetros estadísticos del análisis frecuencial del parámetro SPL en el exterior

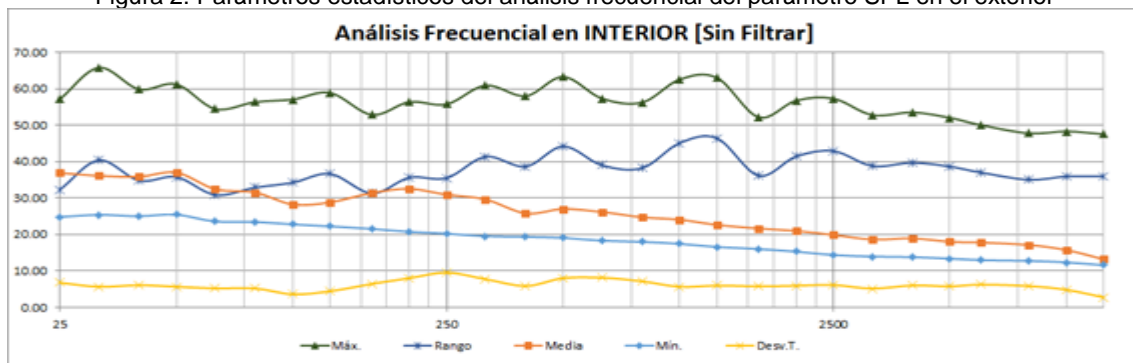


Figura 3: Parámetros estadísticos del análisis frecuencial del parámetro SPL en el interior

Método F

Para realizar un buen filtrado de datos se requiere, como ya se ha mencionado, la intervención de un técnico experto y que a ser posible haya estado presente en la toma de datos.

En este estudio, se ha considerado una medición atípica cuando su valor está fuera de 2,5 veces el rango intercuartílico, pues de esta forma se discriminan los valores extremos.

Se ha considerado una medición errónea cuando el valor en el interior supera al del exterior en 3 dB o más, ya que el ruido proviene del exterior.

Con estos criterios los datos se reducen a un 80% siendo ahora 6.807 valores válidos para cada parámetro en cada uno de los dos puntos de medida.

Si se comparan los histogramas antes y después del filtrado se aprecia una normalización de las distribuciones. Comparando las gráficas de caja antes y después del filtrado se aprecia una menor dispersión de los valores y desaparecen prácticamente los valores aberrantes, puntos que se representan fuera de los "bigotes", (ver Figura 4).

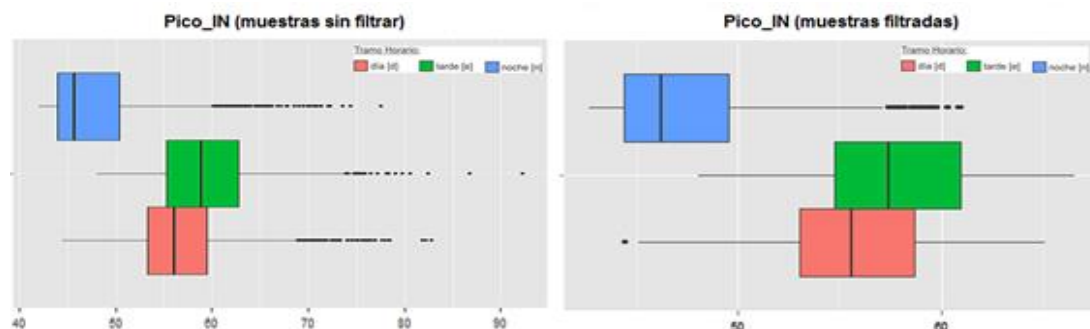


Figura 4: Comparativa de dispersiones del parámetro PICO antes y después del filtrado de datos

Después del filtrado, en el análisis espectral se observa una mejor correlación de los valores estadísticos de las mediciones exteriores con las interiores. Se aprecia una mayor coincidencia en picos y valles. (Ver la similitud entre líneas del mismo color en Figuras 5 y 6).

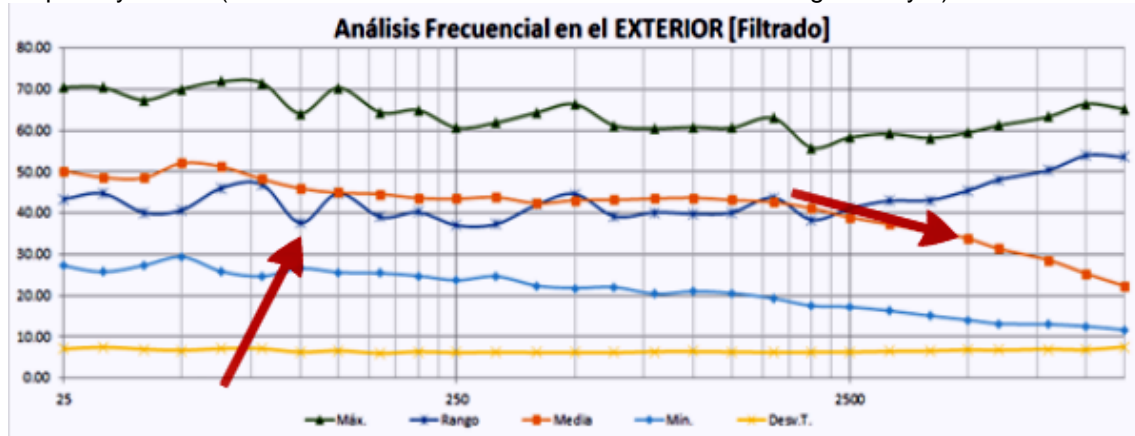


Figura 5: Parámetros estadísticos del análisis frecuencial del parámetro SPL en el exterior

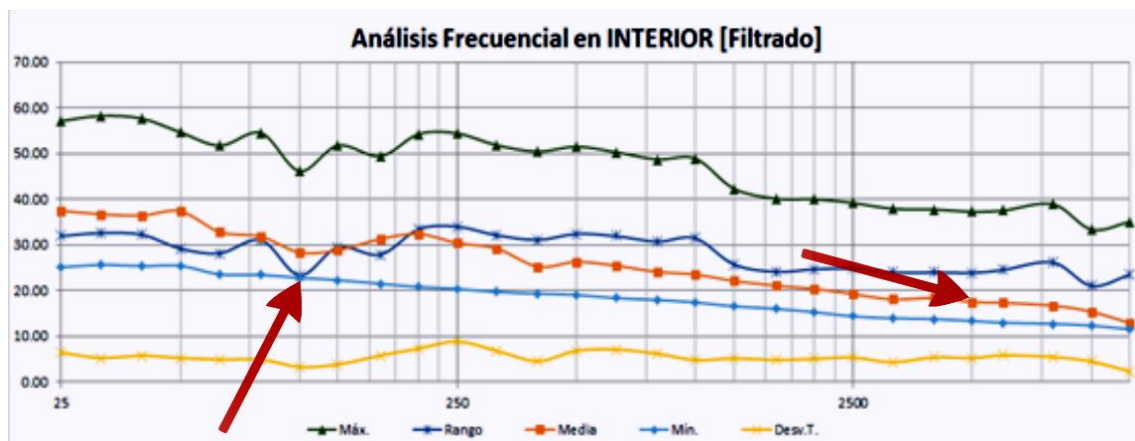


Figura 6: Parámetros estadísticos del análisis frecuencial del parámetro SPL en el interior

Método E

Al aplicar este método se asume que existe una incertidumbre en los valores medidos debido a factores distorsionantes (repetitividad, condiciones del entorno, errores en equipos de medida).

Se trata de operar con todos los valores muestreados sin eliminar ninguno, pero la variabilidad de la distribución por el posible efecto de los valores atípicos se ve reducida al tomar muchas muestras y trabajar con los valores promedio de cada una de las muestras.

Este método consiste pues de revelar el patrón de la estructura subyacente mediante la sustitución de promedios en pequeños tramos [17].

En este caso se han considerado tramos de 5 minutos, es decir cada 30 mediciones de 10 segundos, por lo tanto los datos se reducen a sólo 288 valores por parámetro y punto.

Al trabajar con valores promediados disminuye la variabilidad de los mismos siendo las series temporales mucho más claras. Ver línea azul en el gráfico adjunto

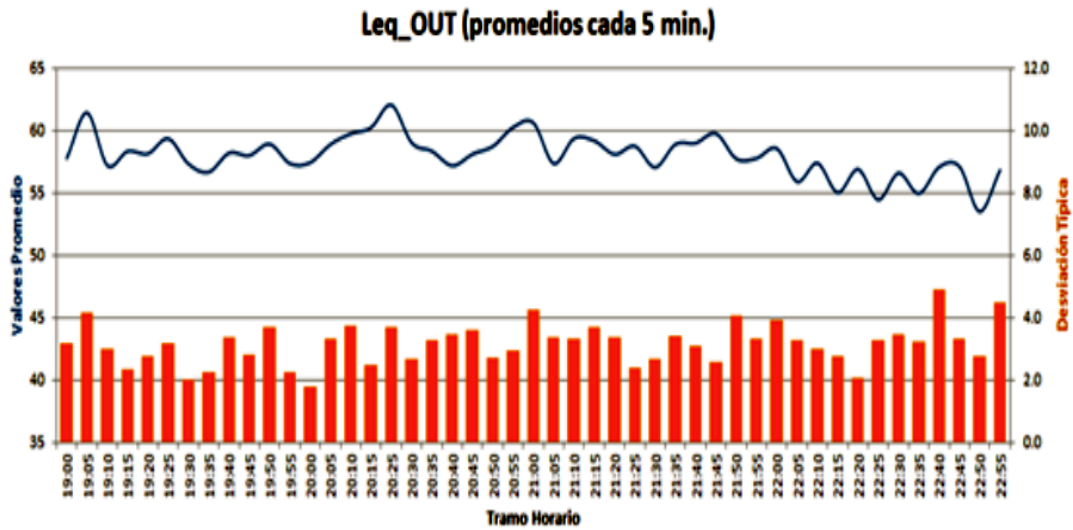


Figura 7: Evolución temporal del parámetro L_{eq} en el exterior tras aplicar el análisis del método E

Al estudiar las desviaciones estándar se aprecia una disminución respecto a las desviaciones de los valores al aplicar los otros dos métodos y normalización de la distribución de las mismas (la distribución de los valores de las desviaciones se aproxima a una Normal), esto implica una mejora en la inferencia estadística, es decir, a la hora de estimar los valores reales de ruido ambiental real partiendo de los valores medidos.

RESULTADOS

Con la finalidad de saber si es posible prescindir de algunos de los cinco parámetros medidos se ha realizado un análisis de correlación entre parámetros, para ello se ha confeccionado un gráfico con cada pareja de parámetros y se observa si existe algún tipo de correlación, en cuyo caso la nube de puntos aparecería alineada o siguiendo una función.

Se ha estudiado las combinaciones de correlación entre todos los parámetros tanto del método F (ver algún ejemplo en Figura 8) como del método E (ver algún ejemplo en Figura 9) y el resultado es que no existe ninguna relación entre ellos. Por lo tanto, no es posible prescindir de ninguno de los parámetros, incluso tras los diferentes tratamientos.

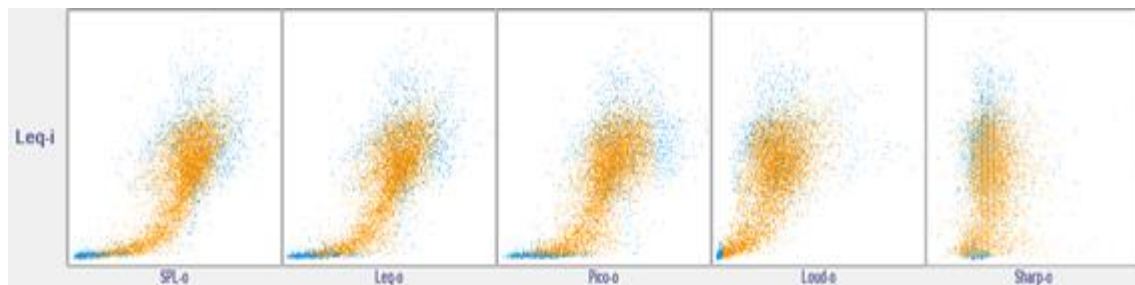


Figura 8: Relación entre L_{eq} del interior y los parámetros en el exterior tras aplicar el análisis del método F

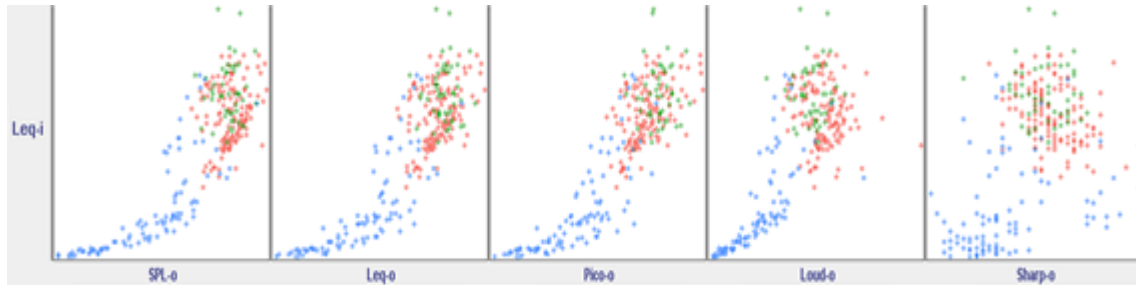


Figura 9: Relación entre L_{eq} del interior y los parámetros en el exterior tras aplicar el análisis del método E

En este estudio también se ha analizado un comparativo de dispersiones: El método E es el que tiene menor dispersión en todos los parámetros, tramos horarios (d, e, n) y puntos de medida (OUT, IN). El método D es el de mayor dispersión general. Aquí se muestra el resultado del parámetro Nivel de Presión Sonora (SPL).

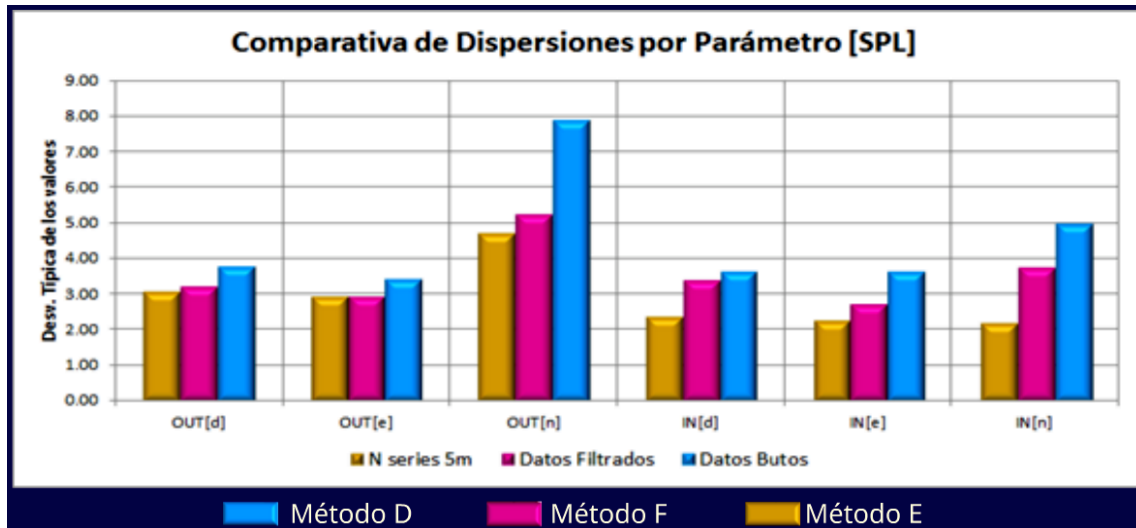


Figura 10: Dispersiones del parámetro SPL en cada tramo horario y método de análisis

Para comparar la fiabilidad de los métodos, se ha confeccionado una tabla resumiendo la variabilidad de todos los parámetros con los tres métodos y la mejora comparativa de los resultados de los métodos F y E respecto al método D. Entendiendo por mejora el porcentaje de disminución de los valores de desviación típica para cada parámetro (ver Tabla 1)

Comparativa de la variabilidad de datos						
		Método D Determinista	Método F FILTRADO	Método E Estadístico	Mejora Fiabilidad (Respecto a D)	
Parámetro	Condición	Desv.Típica	Desv.Típica	Desv.Típica	Método-F	Método-E
SPL	OUT[d]	3.76	3.21	3.05	15%	19%
SPL	OUT[e]	3.41	2.91	2.90	15%	15%
SPL	OUT[n]	7.88	5.23	4.69	34%	40%
SPL	IN[d]	3.61	3.38	2.34	7%	35%
SPL	IN[e]	3.63	2.69	2.26	26%	38%
SPL	IN[n]	4.97	3.74	2.16	25%	56%
Leq	OUT[d]	3.93	3.26	3.13	17%	20%
Leq	OUT[e]	3.56	3.08	3.15	14%	12%
Leq	OUT[n]	7.01	4.83	4.26	31%	39%
Leq	IN[d]	3.43	3.18	2.23	7%	35%
Leq	IN[e]	3.32	2.42	2.18	27%	35%
Leq	IN[n]	4.41	3.26	1.92	26%	57%
Pico	OUT[d]	4.87	3.82	3.88	22%	20%
Pico	OUT[e]	4.54	3.82	4.08	16%	10%
Pico	OUT[n]	7.29	5.16	4.72	29%	35%
Pico	IN[d]	4.70	3.85	3.16	18%	33%
Pico	IN[e]	5.71	3.80	3.64	33%	36%
Pico	IN[n]	5.70	4.14	2.57	27%	55%
Loudness	OUT[d]	3.11	2.70	2.51	13%	19%
Loudness	OUT[e]	2.60	2.28	2.19	13%	16%
Loudness	OUT[n]	3.61	2.52	2.38	30%	34%
Loudness	IN[d]	1.64	1.42	0.61	13%	63%
Loudness	IN[e]	2.43	1.73	1.06	29%	57%
Loudness	IN[n]	1.10	0.77	0.22	30%	80%
Sharpness	OUT[d]	0.11	0.11	0.10	1%	10%
Sharpness	OUT[e]	0.11	0.11	0.10	4%	7%
Sharpness	OUT[n]	0.13	0.14	0.11	-9%	20%
Sharpness	IN[d]	0.20	0.19	0.13	3%	32%
Sharpness	IN[e]	0.16	0.16	0.13	3%	22%
Sharpness	IN[n]	0.11	0.09	0.08	22%	31%

Tabla 1: Comparativa desviación típica de las medidas de cada parámetro al aplicar los tres métodos.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado tres métodos para el análisis de los datos recopilados en mediciones de ruido de tráfico de larga duración. Usando datos reales de una medición en el interior y exterior de una vivienda durante 24h se ha realizado una comparativa de los métodos.

Tras la evaluación de los mismos, destacar los resultados mostrados por el método de análisis estadístico "E" que presenta las siguientes ventajas.

El método de análisis estadístico denominado "E" (en este estudio) es:

- Más sencillo: por no requerir de un técnico experto para llevarlo a término, pues no hay que discriminar ninguna medida y por tanto no precisa de ningún criterio para filtrar valores anormales, atípicos o erróneos.
- Más rápido: por poderse automatizar o programar sus cálculos, no es necesario revisar los valores de cada parámetro ya que se trabaja con todos.
- Más fiable: La Tabla 2 muestra el promedio de las mejoras de fiabilidad de los métodos "F" y "E" respecto al "D" para cada parámetro, lo que confirma la mayor fiabilidad del método "E" por tener menores dispersiones y por tanto proporcionar información más veraz.

Parámetro	Mejora Fiabilidad	
	Método-F	Método-E
SPL	20%	34%
Leq	20%	33%
Pico	24%	32%
Loudness	21%	45%
Sharpness	4%	20%
MEJORA Media	18%	33%

Tabla 2: Mejoras de la fiabilidad en cada método por parámetro.

REFERENCIAS

- [1] Gajardo, C. P., Gozalo, G. R., Morillas, J. B., Gómez, V., Escobar, R., Sierra, J. M., Moraga, P. A. (2014). Estructura temporal del ruido urbano y Método de Categorización. IX Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA2014, Valdivia Chile.
- [2] Pedersen, T. (2007). The "Genlyd" Noise Annoyance Model: Dose-Response Relationships Modelled by Logistic Functions. DELTA Acoustics & Electronics: Hørsholm, Denmark.
- [3] Soedirdjo, Hendarto, Ganesha, & Triadi. (2003). Evaluation of traffic noise in arterial road with different road roughness. Paper presented at the Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies.
- [4] Rathe, E., Casula, F., Hartwig, H., & Mallet, H. (1973). Survey of the exterior noise of some passenger cars. Journal of Sound and Vibration, 29(4), 483-499.
- [5] Alexandre, A., Barde, J., Lamure, C., & Langdon, F. (1975). ROAD TRAFFIC NOISE Applied Science Publishers. London.
- [6] Ouis, D. (2001). Annoyance from road traffic noise: a review. Journal of environmental psychology, 21(1), 101-120.

- [7] Morillas, J. M. B., Gómez, R. V., Escobar, V. G., Sierra, J. A. M., Vidal, C. T., Bueno, L. A., & Martínez, J. M. V. (2002). Presentación de una encuesta para la realización de estudios sociales sobre el impacto del ruido urbano. *Revista de Acústica*, 33(1), 27-31.
- [8] Miedema, H. M., & Vos, H. (2004). Noise annoyance from stationary sources: Relationships with exposure metric day-evening-night level (DENL) and their confidence intervals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(1), 334-343.
- [9] Ezpeleta, E., Navarro, JM. (2015) "Comparativa de procedimientos para el análisis temporal de parámetros acústicos aplicados al ruido de tráfico en la edificación". Trabajo Fin de Máster en Ingeniería ambiental de la UCAM. Julio 2015.
- [10] Echarte Merino, Á. (2010). Evaluación de la calidad sonora mediante parámetros psicoacústicos.
- [11] Segura, J., Cerdá, S., Montell, R., Romero, J., Cibrián, R., Barba, A., & Giménez, A. (2012). Los parámetros psicoacústicos como herramienta para la evaluación subjetiva de diferentes entornos y actividades.
- [12] Fastl, H., & Zwicker, E. (2007). *Psychoacoustics: Facts and models* (Vol. 22). Springer Science & Business Media.
- [13] Rall, J. C., & Miyara, F. (2000). Análisis Dinámico Urbano: nuevos enfoques para actuar contra el ruido. Paper presented at the Actas del II Congreso Iberoamericano de Acústica
- [14] REAL DECRETO 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. (BOE de 17/12/2005).
- [15] DECRETO 104/2006, de 14 de julio, del Consell, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica. (DOGV de 18/07/2006).
- [16] DECRETO 266/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios. (DOGV de 13/12/2004)
- [17] Valero, C. S. (2013). Minería de datos para series temporales.