

ANÁLISIS TEMPORAL DE LARGA DURACIÓN DE LA MOLESTIA DEL RUIDO EN UNA CIUDAD MEDIANTE UN SENSOR ACÚSTICO BINAURAL

PACS: 43.50.Yw, 43.50.Lj, 43.50.Rq, 43.50.Qp

Navarro Ruiz, Juan Miguel¹; Noriega Linares, Juan Emilio¹
1 Escuela Politécnica Superior, Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)
Avda. de los Jerónimos, s/n
30107 Guadalupe (Murcia), España
E-mail: jenoriega@ucam.edu, jmnavarro@ucam.edu

Palabras Clave: loudness, molestia, sonoridad, contaminación acústica, Internet de las cosas (IoT), ciudades inteligentes.

ABSTRACT

This paper presents a practical application of the use of an autonomous acoustic device with an array microphones and binaural synthesis features for the analysis of noise annoyance and other acoustic parameters in long-term measurements. An experiment has been carried out through a measurement campaign in the main street of a city with predominant traffic noise. It is noted that these devices can provide useful conclusions for the assessment of noise pollution and the sound sources analysis.

RESUMEN.

En este trabajo se presenta una aplicación práctica de utilización de un dispositivo acústico autónomo con agrupación de micrófonos y síntesis binaural para el análisis de la molestia del ruido y otros parámetros acústicos en mediciones de larga duración. Se ha realizado un experimento a través de una campaña de mediciones en la calle principal de una población con ruido de tráfico predominante. Se observa que mediante estos dispositivos se pueden obtener conclusiones útiles para la evaluación de la contaminación acústica y el análisis de fuentes sonoras.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las ciudades actuales están viviendo un desarrollo y un aumento en la población constante, lo que está provocando un incremento en la preocupación por la contaminación acústica y la concienciación sobre el ruido y sus efectos [1]. Las administraciones de las grandes ciudades llevan años midiendo decibelios y proponiendo medidas preventivas y correctoras de las fuentes de ruido que aportan mayores niveles. Sin embargo, el carácter subjetivo de la sensación de molestia en el ser humano dificulta su evaluación y hace necesario un análisis más completo del campo sonoro teniendo en cuenta otras variables [2,3] así como la opinión de los ciudadanos [4, 5]. Además, la proliferación de la sensorización y monitorización en las ciudades, mediante el uso de tecnología de internet de las cosas (IoT) [6], proporciona una nueva herramienta para la gestión y evaluación de la contaminación acústica

El uso de sensores acústicos para la monitorización del ambiente sonoro ha sido llevado a cabo en distintas ocasiones [7, 8]. Por un lado, sería interesante contar con un equipo autónomo, de gran durabilidad y conectado que permita monitorizar parámetros de acústica ambiental durante periodos largos de tiempo. Además, este dispositivo debería incluir funcionalidades que permitan evaluar la molestia del ruido a través de parámetros psicoacústicos. Recientemente, se ha desarrollado un nodo acústico con captación multimicrófono que permite la síntesis de señal binaural y el cálculo de parámetros relacionados con la molestia como el loudness tanto monoaural como binaural [9]. Por otro lado, el resultado de una encuesta de valoración sobre la molestia de ruido permitiría comparar los datos de molestia acústica percibida por los encuestados con los resultados del parámetro psicoacústico loudness binaural obtenido por el dispositivo.

Esta investigación pretende comparar la evaluación de un ambiente sonoro de manera directa a través de opiniones de las personas en un momento y lugar dado, frente a las mediciones de larga duración extraídas por un nodo analizador de ruido y loudness binaural, mostrando las ventajas y desventajas de cada método. Este documento se divide en, primero, la descripción del experimento llevado a cabo, presentación del sensor y de las encuestas para, a continuación, presentar los resultados de la prueba y la discusión de éstos. Finalmente, se recopilan las conclusiones del experimento y el trabajo.

METODOLOGÍA

Experimento

Mediante este experimento se pretende realizar la evaluación de un entorno real en cuanto a su molestia acústica a través de dos herramientas de evaluación: el uso de encuestas a pie de calle y el uso de un nodo acústico o dispositivo analizador de audio con capacidad de mediciones de larga duración.

El dispositivo utilizado se situó en un lugar estratégico de la calle Mayor de la población de Espinardo (Murcia) para llevar a cabo las mediciones de manera continua durante 24 horas. Con esta herramienta se obtienen mediciones objetivas sobre los niveles de ruido y los niveles de loudness binaural durante todo el periodo de medición. De manera simultánea, se llevaron a cabo encuestas a pie de calle, en determinados periodos de mañana, tarde y noche, en las que se pregunta sobre la molestia acústica en ese instante y preguntas de concienciación sobre el ruido generales. Este método se ha elegido para poder recopilar valoraciones reales subjetivas sobre el ambiente sonoro y la molestia percibida en el lugar de la medición durante el experimento.

El lugar elegido para la instalación del dispositivo analizador acústico ha sido un balcón situado en la esquina de un edificio, a la altura del tercer piso, frente al cual existía un cruce de dos calles de sentido único con un flujo medio de vehículos. Además, existen negocios en funcionamiento por lo que la actividad humana también sería posible fuente de molestia acústica. En la figura 1 se puede observar el edificio en el cual se instaló el dispositivo y su emplazamiento.

El dispositivo fue inicializado a las 18:00 del día 23 de marzo de 2017, y funcionó de manera ininterrumpida durante un periodo de 24 horas, tomando mediciones en periodos de 10 segundos. Las condiciones meteorológicas fueron de entre 17 y 8 grados centígrados y una humedad relativa media de un 60% y no se registraron lluvias.



Figura 1. Vista de la fachada del edificio en el que se instaló el dispositivo.

Sistema de medición

En este experimento se ha usado el dispositivo acústico portátil y autónomo [9], el cual utiliza un array de dos micrófonos para la captación del sonido, y, a través de algoritmos de detección de la dirección de las fuentes y filtrados HRTF, genera una señal binaural. Finalmente, calcula, además de parámetros acústicos básicos como el nivel equivalente en varias ponderaciones y por bandas de frecuencia, el parámetro psicoacústico loudness binaural [3].

Este sistema de adquisición y procesado de sonido está compuesto por la cámara PSEye de Sony formada por un array de micrófonos, una tarjeta de captura del sonido y un procesador basado en la plataforma Raspberry Pi 3 modelo B. El dispositivo además cuenta con una fuente de alimentación portátil 20.000 mAh que le permite ser usado sin tener que estar conectado a la corriente eléctrica. Como se puede observar en la Figura 2, para el montaje de todos los componentes seleccionados en el dispositivo final, se ha usado una caja estanca de 240 mm x 190 mm x 95 mm con grado de protección contra agua y polvo IP66.



Figura 2. Detalle del interior del dispositivo acústico.

Encuestas

La respuesta de la gente a la molestia producida por el ruido se suele analizar a través de la realización de encuestas. Se suele pedir a una persona o grupo de personas que informen sobre la percepción que tienen del ruido en su lugar de residencia o lugar de trabajo. Los resultados, normalmente, se muestran en forma de porcentaje para expresar la molestia frente al nivel de ruido al que se encuentran expuestos. Normalmente, estas respuestas se comparan con los niveles de presión sonora equivalente en ponderación A, así como con los valores diarios, mensuales o anuales.

La Comisión Internacional de los Efectos Biológicos del ruido (International Commission on Biological Effects on Noise, o ICBEN) [10] ofrece una serie de recomendaciones para la realización de las encuestas para la evaluación de la molestia producida por el ruido. Esto se hace para tener unas escalas estandarizadas, con al menos, dos preguntas comunes [11].

En las encuestas diseñadas y realizadas para este experimento, se han incluido estas dos preguntas estandarizadas recomendadas por el ICBEN. Además de las dos preguntas estandarizadas, se han incluido diferentes preguntas sobre concienciación sobre el ruido, aunque no se presentan en este documento por limitación de espacio. Las preguntas estandarizadas recomendadas por ICBEN son las siguientes:

1. Teniendo en cuenta los últimos doce meses, en una escala del uno al diez, ¿cómo percibe el nivel de ruido y/o molestia en su vivienda?
2. En una escala del uno al diez, ¿cuánto le molesta el ruido del tráfico en su vivienda?

Además, se incluye en este documento una tercera pregunta para valorar, en una escala del uno al diez, la molestia acústica al ruido ambiente en el instante de la realización de la encuesta. Los resultados de esta pregunta son de utilidad para llevar a cabo un análisis comparativo en el cual se comparan los niveles de molestia percibida en la escala del uno al diez frente a los niveles de loudness binaural y de nivel de presión sonora capturados y analizados por el dispositivo acústico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Encuestas

Durante el periodo de medición repartido en varios periodos, se llevaron a cabo encuestas a 50 personas, de las cuales 24 fueron mujeres y 26 fueron hombres. Los rangos de edad de los encuestados variaron entre los 18 años y mayores de 65 años

En primer lugar, se presentan los datos obtenidos para la pregunta 1 en la Figura 3. Los encuestados valoraron del 1 al 10 su nivel de molestia o ruido percibido en su vivienda y, como se puede observar, los niveles fueron medios y bajos para la mayoría de los encuestados. Seguidamente se muestran, ver Figura 4, los resultados a la cuestión 2, la cual centra la atención en la fuente de ruido del ruido de tráfico. En este experimento, el ruido de tráfico es fuente de molestia, pero no de gravedad.

Mediciones

En la Figura 5 se muestran los niveles de presión sonora ponderados A y los niveles de loudness binaural promediados por horas. Se puede observar la evolución que sufren los niveles, teniendo los valores mínimos entre las 23 horas aproximadamente hasta las 7 de la mañana del día siguiente, coincidiendo con el periodo nocturno. Indicar que la tendencia de ambas curvas es similar, teniendo valores mayores y mínimos casi coincidentes.

Sin embargo, es importante resaltar que, de la observación del periodo nocturno en la Figura 5, el parámetro de loudness binaural puede ayudar a comprender que la molestia percibida puede ser no tan dependiente de los niveles de presión sonora dado que los niveles de loudness en ese periodo no presentan las fluctuaciones y picos como los de los niveles de presión sonora. Esto es debido a que el parámetro psicoacústico no depende únicamente de los

niveles sonoros, sino que muestra dependencia de otros factores como las frecuencias dominantes de los sonidos analizados

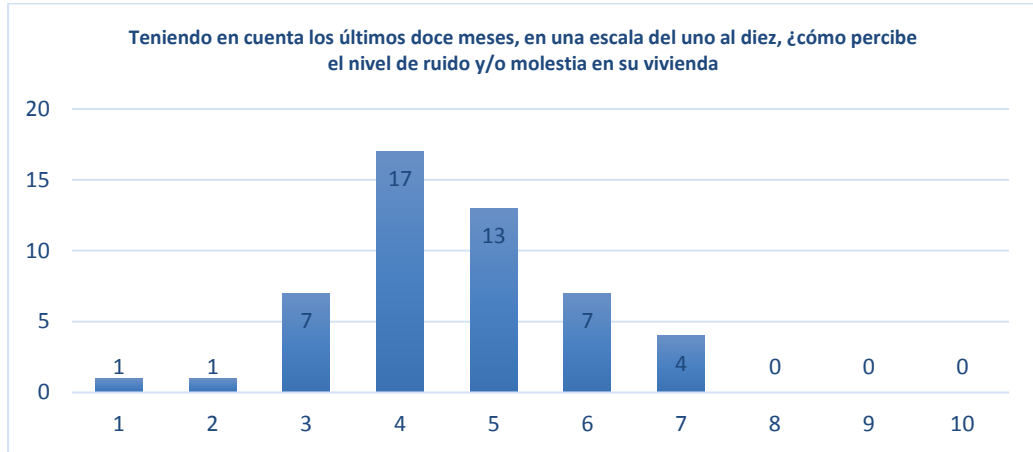


Figura 3. Resultados a la pregunta 1 de la encuesta.

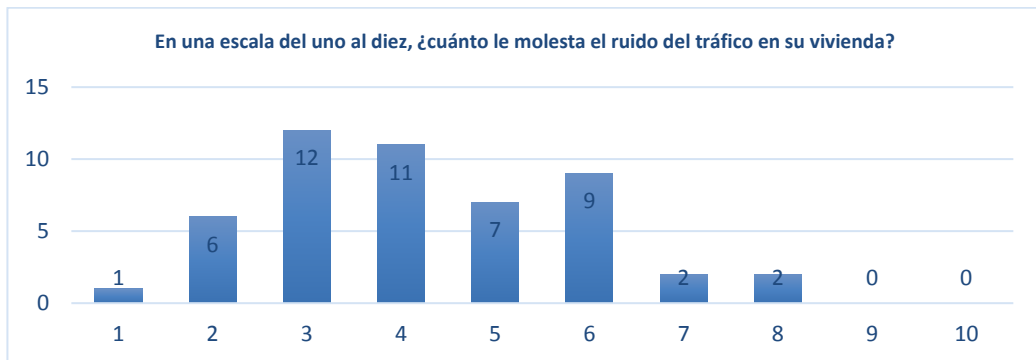


Figura 4. Resultados a la pregunta 2 de la encuesta.

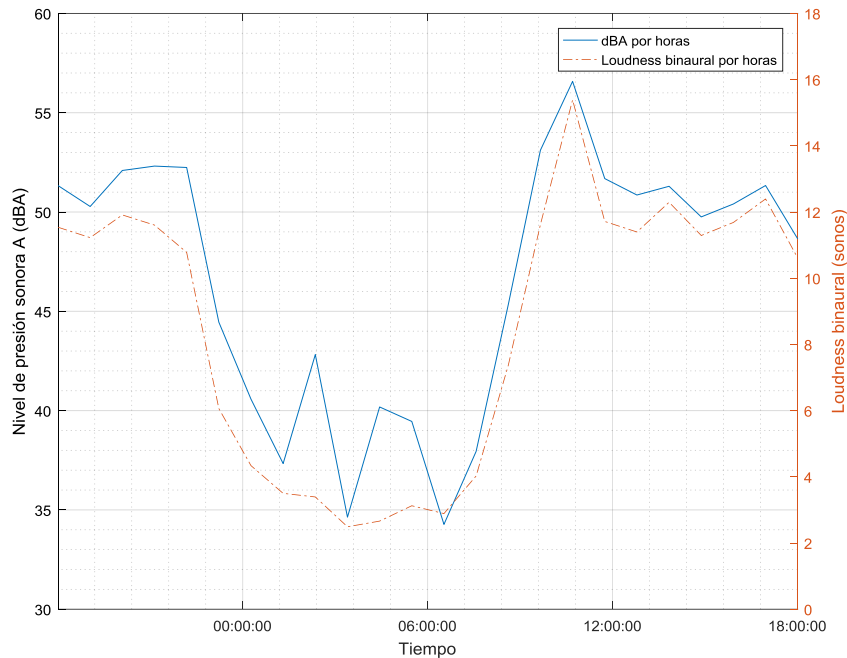


Figura 5. Evolución temporal promediado por hora del NPS en dB(A) y el loudness binaural.

A continuación, en la Figura, 6 se muestran una comparativa entre los niveles de loudness binaural frente a los resultados de la pregunta enunciada como número 3 de la encuesta. En ella se pedía a los encuestados que valorasen su nivel de molestia acústica en ese instante y lugar en una escala del uno al diez, siendo 1 nada molesto y diez muy molesto o insoportable. En esta figura se muestra de manera gráfica la relación entre los resultados para su análisis y comparación. Se ha de explicar el vacío entre las 21 horas y las 10 horas del día siguiente debido a que durante esa franja no se obtuvieron datos de encuestas.

En la evolución de los niveles de loudness con los resultados de las encuestas se puede observar que existe una coherencia entre las valoraciones subjetivas de las personas en la hora de las mediciones, bien sea en los periodos de máximo nivel como en los periodos menos molestos y con menos nivel de loudness binaural. Como resultado preliminar, del análisis de los resultados se puede hacer la hipótesis de que es posible obtener una correlación entre valores concretos de loudness binaural y una escala de molestia acústica percibida en una escala cuantitativa, siendo necesario para ello un mayor número de experimentos y encuestas.

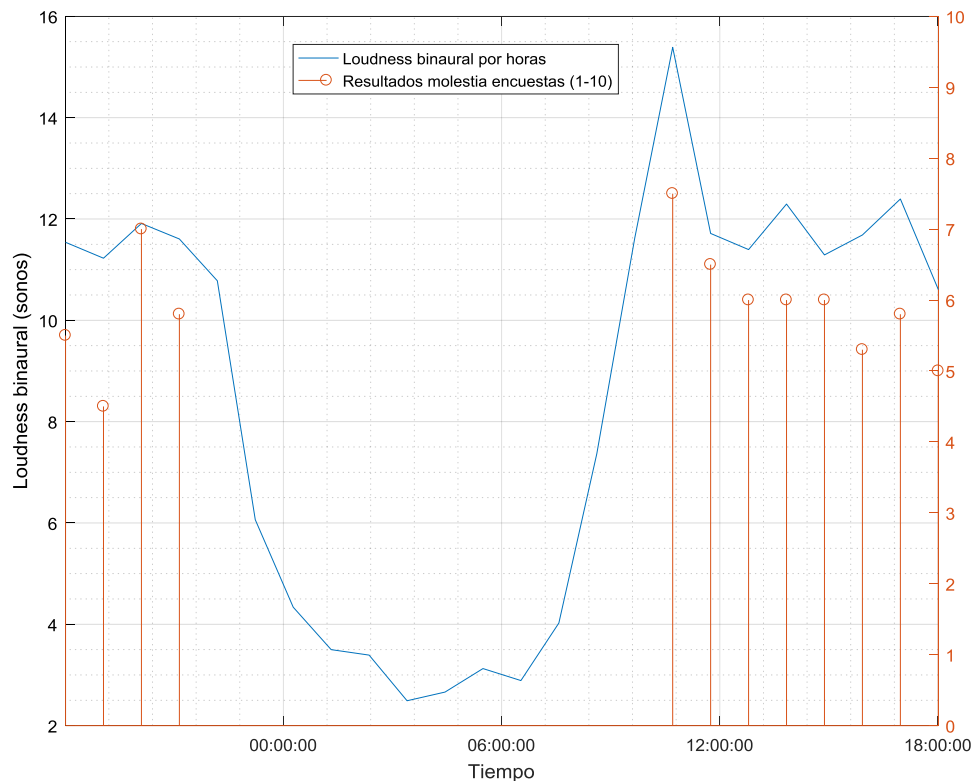


Figura 6. Evolución temporal de los valores promediados por horas del loudness binaural y comparación con los resultados de la pregunta 3 de la encuesta.

CONCLUSIONES

En este trabajo se propone el uso de un dispositivo acústico autónomo para la evaluación de la molestia del ruido en mediciones de larga duración. Para ello, se ha llevado a cabo un experimento en el que se procedió a la instalación del dispositivo en un edificio de una calle afectada por ruido de tráfico, con el propósito de evaluar su funcionamiento en un entorno real. Además, se ha realizado una encuesta para la valoración de la molestia de ruido en las personas con el objetivo de poder comparar los datos de molestia acústica percibida por los encuestados con los resultados del parámetro psicoacústico loudness binaural obtenido por el dispositivo.

El uso de un dispositivo acústico conectado presenta una serie de ventajas frente al uso de encuestas para la valoración de la molestia acústica subjetiva. La posibilidad de una monitorización constante y sin interrupción en un punto concreto hacen que el método de usar dispositivos acústicos independientes cobre ventaja en cuanto a la recogida de datos acústicos, como por ejemplo en los periodos nocturnos. Las comparaciones llevadas a cabo entre los resultados de molestia subjetiva arrojados por las encuestas frente a los resultados de loudness binaural muestran que la evolución tanto ascendente como descendente en los niveles de las

encuestas y del parámetro loudness binaural tienen el mismo comportamiento, por lo que se podría obtener con éste una respuesta a la variación de la molestia acústica percibida.

Sin embargo, en el uso de encuestas, para una validación precisa, el número de personas encuestadas debería ser lo suficientemente alto como para eliminar grados de incertidumbre que se pueden presentar al usar un número más limitado de sujetos preguntados. Igualmente, el uso de los dispositivos acústicos puede presentar ciertas limitaciones como serían las variaciones que pudiesen tener las mediciones debido a la calibración de los sensores acústicos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Berglund, B. L. (1999). Guidelines for community noise. Génova: World Health Organization.
- [2] Zwicker, E., & Fastl, H. (1990). Psychoacoustics: Facts and models. Springer Science & Business Media.
- [3] Moore, B. C., & Glasberg, B. R. (2007). Modeling binaural loudness. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(3), 1604-1612.
- [4] Robinson, D. W. (1971). Towards a unified system of noise assessment. *Journal of Sound and Vibration*, 14(3), 279-298.
- [5] Zannin, P., Ferreira, A., & Szeremetta, B. (2006). Evaluation of Noise Pollution in Urban Parks. *Environmental Monitoring And Assessment*, 118(1-3), 423-433.
- [6] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet Of Things Journal*, 1(1), 22-32.
- [7] Rawat, P., Singh, K. D., Chaouchi, H., & Bonnin, J. M. (2014). Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies. *The Journal of supercomputing*, 68(1), 1-48.
- [8] Segura-Garcia, J., Felici-Castell, S., Perez-Solano, J., Cobos, M., & Navarro, J. (2015). Low-Cost Alternatives for Urban Noise Nuisance Monitoring Using Wireless Sensor Networks. *IEEE Sensors Journal*, 15, 836-844.
- [9] Noriega-Linares, J. E., & Navarro Ruiz, J. M. (2016). On the Application of the Raspberry Pi as an Advanced Acoustic Sensor Network for Noise Monitoring. *Electronics*, 5(4), 74.
- [10] Gjestland, T. (2002). Current research topics and problems: the role of IC BEN. *Journal of Sound and Vibration*, 250(1), 5-8.
- [11] Fields, J. M., De Jong, R. G., Gjestland, T., Flindell, I. H., Job, R. F., Kurra, S., Schumer, R. (2001). Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation. *Journal of sound and vibration*, 242(4), 641-679.