

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA PANTALLA ACÚSTICA BASADA EN CRISTALES DE SONIDO PARA SITUARLA EN ENTORNO REAL

PACS: 43.50.Gf

Peiró-Torres, M.P.¹; Ballester-Ramos, M.¹; Castiñeira-Ibáñez, S.^{2,4}; Redondo, J.³; Bravo, J.M.⁴; Ferri, M.³; Sánchez Pérez, J.V.⁴

(1) BECSA, S.A.U.; Dirección: Ciudad del Transporte II. C/ Grecia, 31, Castellón (Spain)

(2) Universitat de València. Departamento de Ingeniería Electrónica; Avda. Universidad s/n Bujassot, Valencia (Spain)

(3) Universitat Politècnica de València. Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de zonas Costeras, Paranimf 1, Grao de Gandia, Valencia (Spain)

(4) Universitat Politècnica de València. Centro de Tecnologías Físicas, Acústica, Materiales y Astrofísica, División acústica. Camino de Vera s/n, Valencia (Spain)

E-Mail: mpeiro@becsa.es

Palabras Clave: Barrera acústica, soluciones medioambientales, control del ruido de tráfico, cristales de sonido, equipamiento carreteras.

ABSTRACT.

In latest years a new type of high-performance acoustic screen based on sonic crystals is being developed. This new type of screen is composed by an array of acoustic isolated scatterers placed in a crystalline net. The group "Sonic Crystals Technologies", of the Universitat Politècnica de València, has developed two patents and has obtained the acoustic standardization of a prototype of this type of screen. The company BECSA, specialized in construction sector, presents the work done in collaboration with the university, which consists of the development of a new design of this type of screen to install in a real environment.

RESUMEN.

En los últimos años se está desarrollando un nuevo tipo de pantalla acústica de alto rendimiento basada en cristales de sonido. Este nuevo tipo de pantalla está formada por un conjunto de dispersores acústicos aislados y ordenados de forma cristalina. El grupo "Sonic Crystals Technologies", perteneciente a la Universitat Politècnica de València, ha desarrollado dos patentes y ha homologado un prototipo de este tipo de pantalla. La empresa constructora BECSA presenta el trabajo realizado en conjunto con la Universidad, en el que se está desarrollando un nuevo diseño de este tipo de pantalla para instalarla en un entorno real.

INTRODUCCIÓN.

Se denomina ruido ambiental a aquel sonido molesto que es generado por la actividad humana, como es el producido por el transporte, o la industria, o las actividades relacionadas con el ocio. En los países industrializados, este ruido ambiental es uno de los principales problemas medioambientales [1] generando situaciones de riesgo relacionados con la salud, como podrían ser el estrés, la fatiga, desórdenes en el sueño, problemas cardiovasculares, pérdidas de audición, etc. [2], [3].

Según la normativa de publicada por la Unión Europea, los ciudadanos no deberían soportar niveles de ruido por encima de los 55 dB(A) durante la noche, ni sobrepasar niveles

por encima de los 65 dB(A) durante el día. Pese a estos valores límite publicados, según la EU-Eurostat, el 20% de los ciudadanos europeos tienen que soportar niveles superiores a éstos máximos diurnos y el 30% de la población europea soporta valores por encima de los máximos nocturnos. Los problemas de salud que pueden generar estos niveles de ruido excesivos generan importantes costes sanitarios que están cifrados en torno al 0.35% del PIB europeo.

Las distintas actuaciones que se llevan a cabo para combatir el ruido, se abordan desde alguna de sus tres fases de propagación: actuaciones en la fuente del ruido, en la fase de transmisión, o actuando en el receptor. Cuando se habla de combatir el ruido generado por infraestructuras de transporte, las soluciones más comúnmente adoptadas son aquellas que abordan el problema en la fase de transmisión. Así, se suelen instalar barreras acústicas [4], que se definen como dispositivos formados por paramentos continuos, que se interponen entre la fuente de ruido (los vehículos) y el receptor (viviendas colindantes). En la figura 1 se expone a modo esquemático el funcionamiento de éstas barreras acústicas. En ellas, el sonido es reflejado en su mayor parte de nuevo hacia la fuente emisora; parte de la energía, no obstante, se transmite a través de la barrera, y buena parte de la misma es difractada por el borde de ésta.

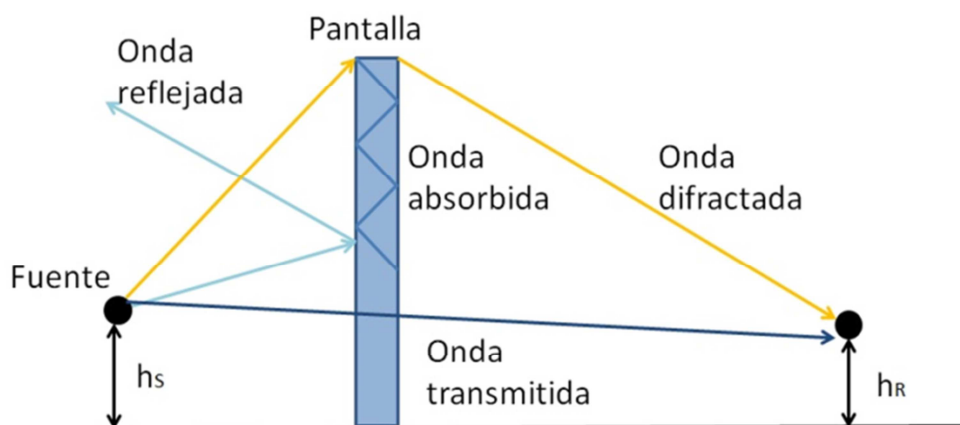


Figura 1. Esquema de funcionamiento de una barrera acústica clásica.

A pesar de que la instalación de estas barreras acústicas es la solución más comúnmente adoptada por la mayor parte de los titulares de infraestructuras de transporte para atajar el problema del ruido, su instalación, sin embargo, acarrea ciertas desventajas que se exponen a continuación: i) estas barreras no ofrecen una protección específica para cada tipo de ruido, ofreciéndose la misma solución para todos los problemas. ii) están formadas por grandes paramentos verticales continuos que suponen problemas de comunicación y rechazo por parte de los vecinos de las áreas a proteger, debido al aislamiento y la ruptura del paisaje que supone su emplazamiento. iii) se emplean grandes volúmenes de cimentación, resultado de las importantes cargas de viento que deben soportar. Estas desventajas pueden suponer que la instalación de barreras acústicas tradicionales, en algunos casos y sus respectivas ubicaciones, pueda resultar inadecuada.

En la última década, el descubrimiento de nuevos materiales ha posibilitado el desarrollo de nuevos dispositivos de control de ruido. Así, en este trabajo se utilizan los cristales de sonido, definidos como redes periódicas de dispersores acústicos separados regularmente y embebidos en aire [5], y su aplicación para el apantallamiento acústico de las infraestructuras viarias.

Los cristales de sonido poseen ciertas características que permiten ser utilizados como nuevo mecanismo de control de ruido basado en un principio físico denominado “interferencia de Bragg” debido un proceso de dispersión múltiple [6]. Este fenómeno lleva a la existencia de bandas de frecuencia en las que no existe propagación del sonido, mecanismo que puede ser aplicado a los dispositivos de control de ruido, [7], [8]. Las primeras pantallas acústicas que empleaban este principio físico a nivel teórico fueron propuestas por Kushwaha en el año 1997 [9], y el primer prototipo fue diseñado y construido por Sánchez Pérez et al. en el año 2002 [10].

Estas primeras pantallas utilizaban únicamente la existencia de la dispersión múltiple como único mecanismo de control de ruido para evitar la transmisión de las ondas acústicas a través del dispositivo. Sin embargo, y con el objetivo de mejorar la capacidad de atenuación de estas nuevas pantallas acústicas, se propuso la incorporación de otros mecanismos de control de ruido en los dispersores diseñados [11]. Los dispersores así diseñados se denominaron dispersores multifísicos. En su diseño se utilizaron materiales absorbentes y cavidades resonadoras, que proporcionaban una mayor atenuación en un rango más amplio de frecuencias, haciendo que estas nuevas pantallas resultasen competitivas, bajo el punto de vista acústico, con respecto a las tradicionales.

Con el fin de certificar la efectividad de estas nuevas pantallas, se diseñó y se fabricó un prototipo que fue sometido a los ensayos normalizados para la homologación de los dispositivos acústicos para infraestructuras viarias. Así, se llevaron a cabo en un laboratorio acreditado dos ensayos normalizados según las normas UNE 1793-1 [12] y UNE 1793-2 [13] relativas a dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras y los métodos de ensayos para determinar su comportamiento acústico. Estos ensayos permitieron caracterizar las nuevas pantallas acústicas basadas en cristales de sonido y clasificarlas en categorías A3 respecto a absorción y B2 respecto al aislamiento al ruido aéreo [14].

Por otro lado, ensayos realizados en túnel de viento determinaron la reducción de los esfuerzos transmitidos a la cimentación debido a la carga de viento, demostrando que los esfuerzos cortantes y momentos de vuelco transmitidos se reducían hasta en un 42% de media en las nuevas pantallas respecto a las tradicionales [15]. Este aspecto estructural ponía de manifiesto la posibilidad de reducción de la cimentación requerida, así como posibilitaba la instalación de pantallas acústicas en emplazamientos donde hasta el momento no era posible, como es el caso de los viaductos.

ADAPTACIÓN DE LAS PANTALLAS A LOS REQUERIMIENTOS DE MERCADO PARA SU INSTALACIÓN EN INFRAESTRUCTURAS VIARIAS.

Tras los buenos resultados obtenidos en los ensayos de homologación, que demuestran la competitividad acústica de este nuevo tipo de pantallas, y con el fin de conseguir un producto mejorado y adaptado a los requerimientos empresariales, el equipo de investigación emprendió el reto de la obtención de nuevos diseños más abiertos y que representaran menores anchuras de ocupación, manteniendo similares resultados de atenuación acústica.

Así, se planteó un nuevo diseño teórico de pantalla con el fin de conseguir un producto más atractivo para su comercialización, en base a las siguientes premisas:

- **Reducción del ancho de la pantalla.** Se propuso que la nueva pantalla acústica no presentara anchos excesivos, ofreciendo así superficies de ocupación en el margen de las infraestructuras viarias similares a las pantallas acústicas tradicionales. En los diseños homologados de pantallas acústicas basadas en cristales de sonido estos anchos eran del orden de los 75 cm de anchura.

- **Aumento de la permeabilidad de la pantalla al viento y a la visual.** Se propuso una pantalla que fuera más transparente al viento y a la visual, con el fin de ofrecer al mercado pantallas más atractivas visualmente. La transparencia está determinada por el factor de llenado de la pantalla, que en el diseño de pantalla acústica basada en cristales de sonido homologada está en torno al 36% en disposición triangular de dispersores, disposición que dificulta la visibilidad a través de los dispositivos.
- **Utilización de materiales reciclados en la fabricación.** Se propone la utilización de material plástico para la construcción de la parte rígida de los dispersores, y la utilización de poliéster procedente de reciclado de PET como absorbente acústico. La pantalla ya homologada basada en cristales de sonido empleaba material metálico y lana de roca de alta densidad.
- **Conservación de la capacidad de control de ruido.** La pantalla homologada basada en cristales de sonido se clasificó como B2 en el ensayo que define el índice de evaluación del aislamiento al ruido aéreo (DL_R). Se propone que la nueva pantalla acústica continúe ofreciendo la misma clasificación acústica que la homologada anteriormente.

MODELO NUMÉRICO.

Para la mejora del diseño de la pantalla teniendo en cuenta las premisas anteriores, se procedió al desarrollo de un modelo numérico basado en el método de los elementos finitos (Finite Elements Method, FEM). Con este modelo se reprodujo la situación de una cámara de transmisión con las condiciones del ensayo descrito en la norma UNE 1793-2:2014 [13] para dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras, donde se describe el método de ensayo para determinar el comportamiento acústico (parte 2, características intrínsecas relativas al aislamiento al ruido aéreo en condiciones de campo de sonido difuso). Con el fin de simplificar el modelo y reducir el tiempo de computación se simplificó el modelo tridimensional y se pasó a uno bidimensional (2D). Un esquema del modelo se presenta en la figura 2. Las simulaciones se realizaron en el rango de frecuencias correspondiente al espectro de ruido de tráfico normalizado (100-5000 Hz), definido en la norma UNE 1793-3:1998 [16].

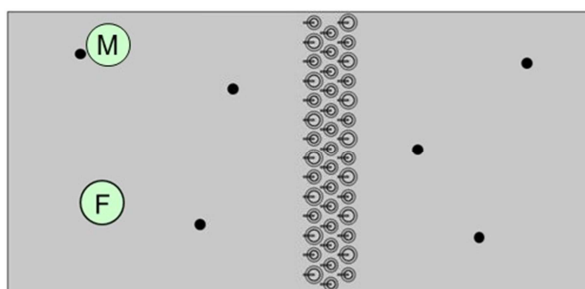


Figura 2. Esquema del modelo 2D de ensayo en cámara de transmisión simulado con FEM.

Para el ajuste y validación del modelo numérico desarrollado, se simuló el comportamiento acústico de la pantalla basada en cristales de sonido ya homologada, utilizando los datos experimentales obtenidos en el proceso de homologación.

En cuanto a la simulación de los materiales acústicamente absorbentes, se empleó el modelo de Delany-Bazley-Miki mediante el software comercial COMSOL Multiphysics, por dos razones fundamentales. Por una parte la exactitud y coincidencia de los resultados simulados con los datos experimentales disponibles, y por otra parte por la sencillez del modelo, que requiere únicamente un parámetro para la descripción del material absorbente empleado. Para verificar la adecuación de dicho modelo antes de su empleo, se comparó con otros como el

modelo de Attenborough o el de Johnson-Campoux-Allard. La comparativa de estos modelos numéricos se muestra en la figura 3.

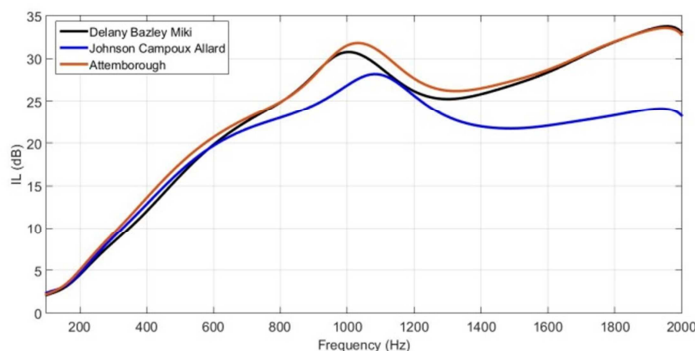


Figura 3. Resultado de la comparativa de modelos numéricos de materiales absorbentes.

RESULTADOS.

Utilizando el modelo basado en FEM en 2D ya validado, se modelizó el ensayo normalizado según la norma UNE 1793-2:2014 [13] para analizar el comportamiento acústico de varias propuestas de pantalla que cumplieran las premisas enumeradas anteriormente en esta comunicación. Las propuestas estaban basadas en la utilización de redes cuadradas de dispersores, en un cambio de materiales absorbentes y en un cambio en las frecuencias de trabajo de los resonadores. En todos los casos propuestos, se analizaron los datos de capacidad de atenuación y se cálculo el valor del índice DL_R .

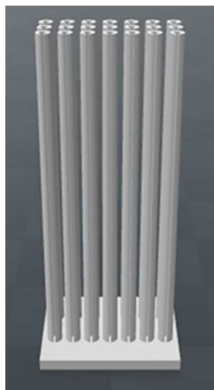


Figura 4. Ejemplo de pantalla acústica que cumple con los requisitos de diseño considerados.

Con los datos procedentes de las simulaciones, se optó por un nuevo diseño de pantalla que presenta anchuras de ocupación menores de 50 cm, con una permeabilidad visual muy alta (60%), tal y como se observa en la figura 4, y pese a ello, con una capacidad de control de ruido tal que pueden continuar siendo clasificadas como B2 respecto a su aislamiento a ruido aéreo.

En las figuras 5 y 6 se presentan dos ejemplos de las simulaciones realizadas donde se aprecia la atenuación de presión sonora en la zona de recepción de la cámara de transmisión simulada para una frecuencia de 981 Hz y de 1501 Hz.

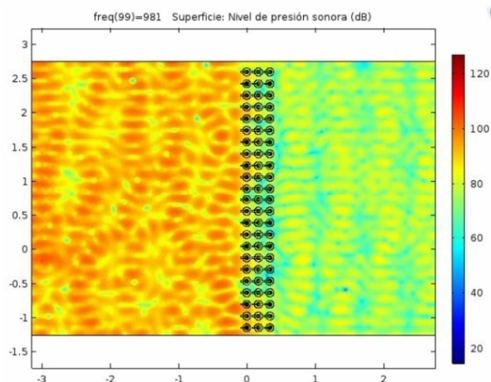


Figura 5. Nivel de presión sonora simulada para una frecuencia de 981 Hz

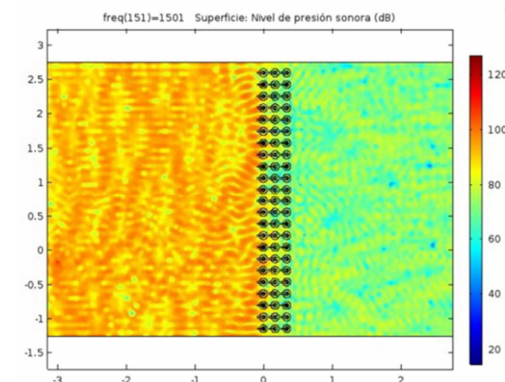


Figura 6. Nivel de presión sonora simulada para una frecuencia de 1501 Hz

Por último, en la figura 7 se observa la comparativa de la capacidad de atenuación de la pantalla homologada (grafada en negro) respecto a la pantalla recomendada (grafada en azul) en banda fina. Para ello se ha utilizado el índice “pérdidas por inserción”, definido como la diferencia de presión acústica en un punto sin y con pantalla. En la figura se observa la pérdida de capacidad de atenuación que se ha asumido en el nuevo diseño a cambio de la obtención de una pantalla más atractiva para el mercado (más transparente y estrecha).

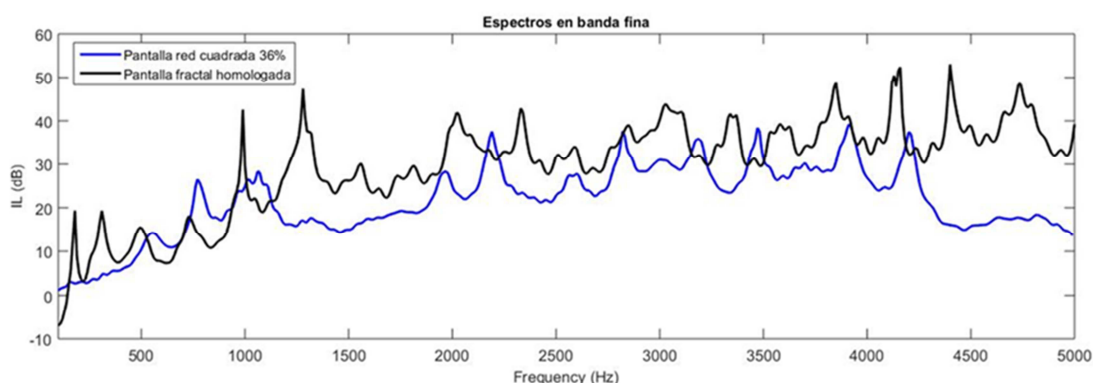


Figura 7. “Pérdidas por inserción” obtenidas en todo el rango de frecuencia del espectro de ruido de tráfico normalizado (de 100 a 5000 Hz) en banda fina para las dos pantallas simuladas (la homologada y la recomendada en el nuevo diseño).

CONCLUSIONES.

En este trabajo se han presentado unas nuevas pantallas acústicas basadas en cristales de sonido, que representan un nuevo concepto de pantallas acústicas distinto al existente hasta ahora en el mercado. Mientras que las pantallas acústicas que actualmente se comercializan basan su efectividad en la instalación de paramentos continuos sin presencia de huecos, las nuevas pantallas acústicas que se presentan en esta comunicación añaden ciertas ventajas como son ser más ligeras, abiertas, permeables visualmente, al agua y al viento. Además, por lo que respecta a su instalación, se reducen las cimentaciones requeridas, presentando una mayor versatilidad. Por otro lado introducen la posibilidad de “sintonizar” la pantalla al tipo de ruido a atenuar, pudiendo ofrecer soluciones a la carta. Visualmente hablando pueden conseguir una mayor aceptación por parte de los vecinos de las zonas

urbanas a proteger. Además, estas nuevas pantallas suponen un avance tecnológico importante dentro del campo de la acústica, y pese a su permeabilidad, han demostrado una efectividad acústica competitiva respecto a pantallas de mayores dimensiones volumétricas.

Por todo ello, se puede concluir que las nuevas pantallas acústicas basadas en cristales de sonido están listas para ser utilizadas en el control de ruido para la reducción de las molestias acústicas de las infraestructuras viarias y competir con las tradicionales existentes actualmente en el mercado.

AGRADECIMIENTOS.

Los últimos avances del proyecto, se han realizado englobados dentro de las tareas del proyecto de investigación "Investigación y Desarrollo de Pantalla Acústica Basada en Cristales de Sonido para Infraestructuras Viarias" (IMIDCA/2016/11), presentado por el consorcio formado por BECSA y PIEL S.A., y aprobado por el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial dentro de las ayudas contempladas para la investigación y desarrollo en cooperación, programa de I+D Cooperación.

Financiado por:



Miembros del consorcio:



REFERENCIAS.

[1] EC Directive, 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, Official J. Eur. Communities L 189 (2002) 0012e0026 (18.7.2002), Brussels.

[2] Kotzen B., English C., 1999. Environmental Noise Barriers, E&FN SPON, London.

[3] Planton, S. N., Hionis, C. A., 2014. Preventing risk of noise exposure in working environment using noise mapping. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), 13(6).

[4] Harris, C. M., 1991. Handbook of acoustical measurements and noise control (pp. 3019-3020). New York: McGraw-Hill.

[5] Martínez-Sala, R., Sancho, J., Sánchez-Pérez, J.V. Gómez V., Llinares, J. y Meseguer, F., 1995. Sound attenuation by sculpture, Nature London. 387, 241.

- [6] Chen, Y. Y., Ye, Z., 2001. Theoretical analysis of acoustic stop bands in two-dimensional periodic scattering arrays. *Physical Review E*, 64(3), 036616.
- [7] Sigalas, M. M., Economou, E. N., 1992. Elastic and acoustic wave band structure. *Journal of sound and vibration*, 158(2), 377-382.
- [8] Sánchez-Pérez, J. V., Caballero, D., Martínez-Sala, R., Rubio, C., Sánchez-Dehesa, J., Meseguer, F., Llinares J., Gálvez, F., 1998. Sound attenuation by a two-dimensional array of rigid cylinders. *Physical Review Letters*, 80(24), 5325.
- [9] Kushwaha, M. S., 1997. Stop-bands for periodic metallic rods: Sculptures that can filter the noise. *Applied Physics Letters*, 70(24), 3218-3220.
- [10] Sánchez- Pérez, J.V., Rubio, C., Martínez-Sala, R., Sánchez-Grandia, R., y Gómez V., 2002. Acoustic barriers base don periodic arrays of scatterers, *Appl. Phys. Lett.*, 81, 5240.
- [11] Romero-García, V., Sánchez-Pérez, J. V., Garcia-Raffi, L. M., 2011. Tunable wideband bandstop acoustic filter based on two-dimensional multiphysical phenomena periodic systems. *Journal of applied physics*, 110(1), 014904.
- [12] European Committee for Standardisation, EN 1793-1, 1997. Road Traffic Noise Reducing Devices – Test Method for Determining the Acoustic Performance – Par 1: Intrinsic characteristics of sound absorption, CEN, Brussels, Belgium.
- [13] European Committee for Standardisation, EN 1793-2, 1997. Road Traffic Noise Reducing Devices – Test Method for Determining the Acoustic Performance – Par 2: Intrinsic characteristics of airborne sound insulation under diffuse sound field conditions, CEN, Brussels, Belgium.
- [14] Castiñeira-Ibáñez S., Rubio C., Romero-García V., Sánchez-Pérez J. V. and Garcia-Raffi L. M., 2012. Desing, manufacture and characterization of an acoustic barrier made of multi-phenomena cylindrical scatterers arrangend in a fractalbased geometry, *Archives of Acoustics* 37(4), 455-462.
- [15] Castiñeira-Ibáñez, S., Romero-García, V., Sánchez-Pérez, J. V., García-Raffi, L. M., 2015. Periodic systems as road traffic noise reducing devices: Prototype and standardization. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 14(12).
- [16] European Committee for Standardisation, EN 1793-3, 1997. Road Traffic Noise Reducing Devices – Test Method for Determining the Acoustic Performance – Par 3: Normalised Traffic Noise Spectrum, CEN, Brussels, Belgium.