

ESTUDIO MORFOLÓGICO DE PANTALLAS ACÚSTICAS PARA MEJORA DE SU RENDIMIENTO ESTÉTICO-FUNCIONAL

PACS: 43.10.Qs

Moreno Balboa, María de la O; Demaría Casteñeda, Ignacio; Abad Toribio, Laura;
Colorado Aranguren, David; Gabiola Ondarra, Francisco Javier; Velasco Fernández
Ana Isabel.

Universidad Alfonso X El Sabio
Escuela Politécnica Superior
Avenida de la Universidad, 1
28691 Villanueva de la Cañada, Madrid

Tel: 34 91 810 92 00

Fax: 34 91 810 91 01

E-mail: mmorebal@uax.es; idemariac@gmail.com; labad@uax.es, dcolara@uax.es;
gabiola@uax.es, aivelfer@uax.es

ABSTRACT

Different shape acoustic barriers have been studied placing a sound source with frequency controller in front of them. In order to configure the superficial textures, the geometric bodies have been classified in parallelepipeds, prismatic, pyramids, round geometric bodies and revolution solids. Each one can influence on the barrier surface adding or subtracting in a regular or random way. The acoustic attenuation produced has been obtained as the difference between the values readied by two sonometers placed behind and in front of the barrier. The industrial design axiom 'an effective shape can improve the functioning' has been proved once again

RESUMEN

Se han caracterizado acústicamente pantallas de distintas morfologías, mediante su colocación frente a una fuente sonora de frecuencia controlada. Para la preconfiguración de las texturas superficiales se han clasificado los cuerpos geométricos en paralelepípedos, prismas, pirámides, cuerpos geométricos redondos y sólidos de revolución. Cada uno de ellos puede incidir en la superficie de la pantalla mediante adición, sustracción, de manera regular o aleatoria. La atenuación producida se ha obtenido por diferencia de las lecturas de dos sonómetros colocados en la parte anterior y posterior, constatando un axioma del diseño industrial: "el uso efectivo de la forma puede mejorar la función".

1. INTRODUCCIÓN.

Tal y como exponen algunos textos, en función de su forma y del material usado, las barreras acústicas, ofrecen distintos niveles de reducción del ruido. Para algunos tipos de barrera, aún no se dispone de datos suficientes sobre el rendimiento acústico como para poder predecir el impacto sobre el ruido para determinados puntos locales, [1].

Por otro lado, las pantallas acústicas afectan a la zona donde se implanten, y en concreto al entorno visual de los vecinos; constituyen, per se, un marco de comunicación con el viajero, que lo visualiza a 100 kilómetros por hora o con el espectador estático que lo contempla. Esta relación dinámico-estática queda enriquecida visualmente con la diversificación de las formas, que presentan los paramentos, evitando elementos organizados monótonamente con seriación inexpressiva.

Por último, el uso de elementos modulares, permite la generación de innumerables texturas superficiales que brindarán a la sociedad la consecución de pantallas antiruido versátiles sin olvidar el espíritu de todo diseño industrial, su fabricación en serie.

2.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.

En la prefiguración de los objetos, cualquiera que fuera la índole de éstos, inciden variables muy distintas, a saber:

- Pragmáticas: aquéllas que se refieren a la utilidad (funciones de uso) y a los aspectos ergonómicos (adaptación a las condiciones físicas y psíquicas del usuario).
- Simbólicas: aquéllas que se refieren a los valores y códigos estéticos y culturales, [2].

2.1.-Evaluación Pragmática.

Para el análisis de la variable pragmática, o funcional, se ha utilizado un sistema que consta básicamente de una caja anecoica, un dispositivo electroacústico y 24 modelos a escala diferentes, generados a partir de la seriación de 9 motivos elementales previamente diseñados.

El sistema experimental utilizado para la evaluación funcional, está compuesto básicamente por un conjunto de elementos de ensayo específicos:

- A. Una caja anecoica:** Para realizar las mediciones acústicas se ha utilizado una caja, donde se pueden insertar los modelos a escala. Además, en su interior se puede colocar un sonómetro. La caja tiene como dimensiones totales: 50x70x52cm (medidas exteriores). Una de sus paredes es doble, de altura 44 cm, para poder llevar a cabo el ensayo, la pared situada frente a ésta ha sido eliminada, con el objetivo de poder situar los modelos como parte integrante de la caja. Esta caja ha sido ya fabricada y utilizada en la Universidad Alfonso X el Sabio para estudios de difracción en bordes de pantalla, [3], de atenuación acústica en hormigón con perlas de poliuretano expandido, [4], [5], y estudios morfológicos [6], [7].
- B. 24 motivos elementales, para la generación de texturas superficiales:** Se ha partido del diseño un primer motivo elemental, denominado motivo elemental básico y codificado como 01, consistente en un paralelepípedo de sección cuadrada de 600mm de arista y 100mm de profundidad. Sobre este motivo elemental básico se han generado diferentes geometrías superficiales o texturas en base a la inserción de cuerpos geométricos. Han sido clasificados en seis grupos, dando de este modo nombre a los cuadros morfológicos, matrices generadoras de soluciones, a utilizar en la generación de las texturas superficiales:
 - Sólidos platónicos: Poliedros regulares, [9].
 - Paralelepípedos.
 - Prismas.
 - Pirámides.
 - Cuerpos geométricos redondos.
 - Sólidos de revolución.

Cada uno de los cuerpos geométricos puede incidir en la superficie vertical, del motivo elemental básico, mediante adición, que produciría una textura convexa, o mediante sustracción, que produciría una textura cóncava. A su vez, en ambos métodos, se han considerado dos modos de distribución de los elementos geométricos en la superficie

vertical: de manera regular, en base a una red de puntos preestablecida, que genera texturas homogéneas, y aleatoria que genera texturas heterogéneas.

En base a la metodología expuesta, se diseñaron 49 motivos elementales que dieron lugar a 100 infografías en las que se muestran las diferentes texturas diseñadas. De entre los 49 motivos elementales diseñados, se seleccionaron mediante una evaluación en base a “metafunciones”, [9], 24 motivos elementales, [6], [7].

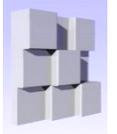
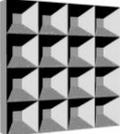
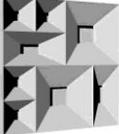
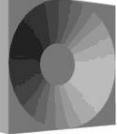
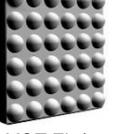
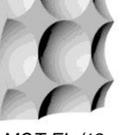
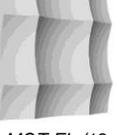
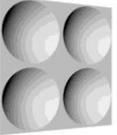
 <p>MOT.EL./01 Figura 1: Motivo elemental 01, Superficie sin inserciones.</p>	 <p>MOT.EL./02 Figura 2: Motivo elemental 02, Hexaedro adición regular.</p>	 <p>MOT.EL./03 Figura 3: Motivo elemental 03, Hexaedro adición aleatoria.</p>	 <p>MOT.EL./04 Figura 4: Motivo elemental 04, paralelepípedo oblicuo adición aleatoria.</p>
 <p>MOT.EL./05 Figura 5: Motivo elemental 05, prisma triangular adición regular.</p>	 <p>MOT.EL./06 Figura 6: Motivo elemental 06, Pirámide cuadrangular truncada sustracción regular.</p>	 <p>MOT.EL./07 Figura 7: Motivo elemental 07, Pirámide cuadrangular truncada sustracción aleatoria.</p>	 <p>MOT.EL./08 Figura 8: Motivo elemental 08, cilindro parabólico sustracción regular.</p>
 <p>MOT.EL./09 Figura 9: Motivo elemental 09, Cilindro oblicuo sustracción aleatoria.</p>	 <p>MOT.EL./10 Figura 10: Motivo elemental 10, Cono recto sustracción regular.</p>	 <p>MOT.EL./11 Figura 11: Motivo elemental 11, Cono recto truncado sustracción regular.</p>	 <p>MOT.EL./12 Figura 12: Motivo elemental 12, Cono recto R:100mm sustracción regular.</p>
 <p>MOT.EL./13 Figura 13: Motivo elemental 13, Cono recto R:100mm adición regular.</p>	 <p>MOT.EL./14 Figura 14: Motivo elemental 14, Esfera, radio 50mm, adición regular.</p>	 <p>MOT.EL./15 Figura 15: Motivo elemental 15, Esfera, radio 50mm, adición aleatoria.</p>	 <p>MOT.EL./16 Figura 16: Motivo elemental 16, Súper-esfera seccionada adición regular.</p>
 <p>MOT.EL./17 Figura 17: Motivo elemental 17, Elipsoide adición regular.</p>	 <p>MOT.EL./18 Figura 18: Motivo elemental 18, Paraboloide, foco 35mm, radio 150mm, sustracción regular.</p>	 <p>MOT.EL./19 Figura 19: Motivo elemental 19, Paraboloide, foco 150mm, sustracción regular.</p>	 <p>MOT.EL./20 Figura 20: Motivo elemental 20, Paraboloide, radio 460mm, sustracción regular.</p>
 <p>MOT.EL./21 Figura 21: Motivo elemental 21, Paraboloide, radio 142mm, sustracción regular.</p>	 <p>MOT.EL./22 Figura 22: Motivo elemental 22, Paraboloide, radio 107mm, sustracción tubular regular.</p>	 <p>MOT.EL./23 Figura 23: Motivo elemental 23, Paraboloide, radio 107mm, sustracción tubular aleatoria.</p>	 <p>MOT.EL./24 Figura 24: Motivo elemental 24, Paraboloide hiperbólico adición regular.</p>

Tabla 1: motivos elementales seleccionados.

Se han generado modelos a escala, basados en reproducciones de los motivos elementales seleccionados, de cara a realizar los ensayos en laboratorio.

En base a los datos obtenidos en los diferentes ensayos, se generaron tablas de medición, que contienen información sobre el número y denominación del motivo elemental generador de la pantalla acústica, la frecuencia de medición y la atenuación media de las mediciones seleccionadas, calculada como diferencia entre las medidas de L_{eq} a ambos lados de la pantalla, según se indica en la ecuación (1-1):

$$\text{Atenuación} = L_{eq1} - L_{eq2} \quad (1-1)$$

donde L_{eq1} son los valores registrados delante de la pantalla y L_{eq2} los valores registrados detrás de la pantalla, a partir de las cuales se llevaron a cabo las discusiones.

2.2.-Evaluación simbólica.

Para el análisis simbólico (estético) de los motivos elementales, se lanzó el **1er cuestionario para la evaluación estética de los motivos elementales planteados "ESTUDIO MORFOLÓGICO DE PANTALLAS ACÚSTICAS DISPERSAS Y SU APLICACIÓN AL DISEÑO DE UN MÉTODO PARA LA MEJORA DE SU RENDIMIENTO ESTÉTICO-FUNCIONAL"**. En el que se instó al conjunto muestral a seleccionar, de entre todos los motivos elementales, aquel que les pareciera el más agradable desde el punto de vista estético, [8].

3.- DISCUSIÓN Y ESTUDIOS COMPARATIVOS.

Se exponen a continuación evaluaciones estético-funcionales de los motivos elementales mediante comparaciones dos a dos. En ellas se pretende hacer comparaciones de motivos elementales similares desde el punto de vista de la geometría, para constatar qué modo de inserción, o qué tamaño de cuerpo geométrico tridimensional, es el más eficiente desde el punto de vista pragmático, funcional, atenuación del ruido y desde los puntos de vista simbólico, estético, así como de atracción por parte de los individuos encuestados. Se realizaron en total 12 comparaciones:

1. Discusión motivo elemental 02 frente al motivo elemental 01.
2. Discusión motivo elemental 04 frente al motivo elemental 05.
3. Discusión motivo elemental 06 frente al motivo elemental 07.
4. Discusión motivo elemental 08 frente al motivo elemental 09.
5. Discusión motivo elemental 10 frente al motivo elemental 11.
6. Discusión motivo elemental 12 frente al motivo elemental 13.
7. Discusión motivo elemental 14 frente al motivo elemental 15.
8. Discusión motivo elemental 16 frente al motivo elemental 17.
9. Discusión motivo elemental 18 frente al motivo elemental 19.
10. Discusión motivo elemental 20 frente al motivo elemental 21.
11. Discusión motivo elemental 22 frente al motivo elemental 23.
12. Discusión motivo elemental 01 frente al motivo elemental 24.

Dada la extensión del ensayo se presenta a continuación, a modo ilustrativo, la primera de las discusiones estético-funcionales.

3.1.- Discusión motivo elemental 02 frente al motivo elemental 01.

La discusión que aquí se plantea, pretende expresar, cuál de las dos geometrías obtenidas a partir de la inserción de un mismo cuerpo geométrico es más eficiente. Nos encontramos con

dos motivos elementales similares, en ambos casos se han concebido a partir de la inserción, sobre el motivo elemental básico de un hexaedro, [8].

- El motivo elemental 02, Hexaedro adición regular, MOT.EL./02, se obtiene al sustraer al motivo elemental básico un hexaedro de lado 150mm. La inserción en este caso se ha llevado a cabo de manera regular.
- El motivo elemental 03, Hexaedro adición aleatoria, se ha generado, MOT.EL./03, al sustraer del motivo elemental básico un hexaedro de 200mm de lado. Dichas inserciones se han llevado a cabo a diferentes profundidades y de modo aleatorio.

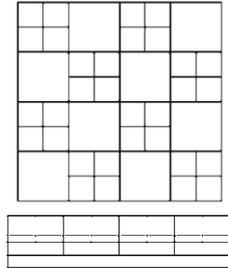


Figura 25: Alzado motivo elemental 02, Hexaedro adición regular.

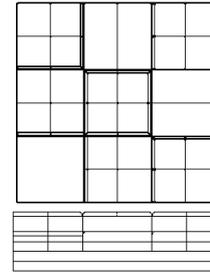


Figura 26: Alzado motivo elemental 03, Hexaedro adición aleatoria

3.1.1- Comparación pragmática. Eficiencia ante el ruido.

A continuación se presentan los datos relativos a cómo responden ambas pantallas frente a la atenuación del ruido.

En la tabla 2 se muestran datos relativos a la media de atenuaciones de cada motivo elemental frente al ruido de las diferentes frecuencias ensayadas. Las celdas marcadas en color indican cual es la atenuación superior, en una comparación frente a la frecuencia nombrada en la misma fila. Por otro lado se indica mediante el color naranja oscuro, cual es el motivo elemental mayor número de veces superior, frente a las atenuaciones a diferentes frecuencias de sonido.

FRECUENCIA (Hz)	% MEJORA EN LA ATENUACION	Atenuación media (dBA)		% MEJORA EN LA ATENUACION
		MOT.EL./02 V=22500000mm ³	MOT.EL./03 V=35953363mm ³	
63		6,5	7,9	21,3
100	31,9	9,5	7,2	
160		5,4	8,9	65,4
250		18,2	23,9	31,3
400	223,1	4,2	1,3	
630		0	1,6	
1000		3,0	6,3	112,1
1500	11,3	8,9	8,0	
2000		2,9	3,6	21,1
3000		11,2	12,7	13,8
4000		10,9	15,4	40,7
5000		11,6	16,2	40,3

Tabla 2: Tabla comparativa eficiencia motivos elementales 02 y 03.

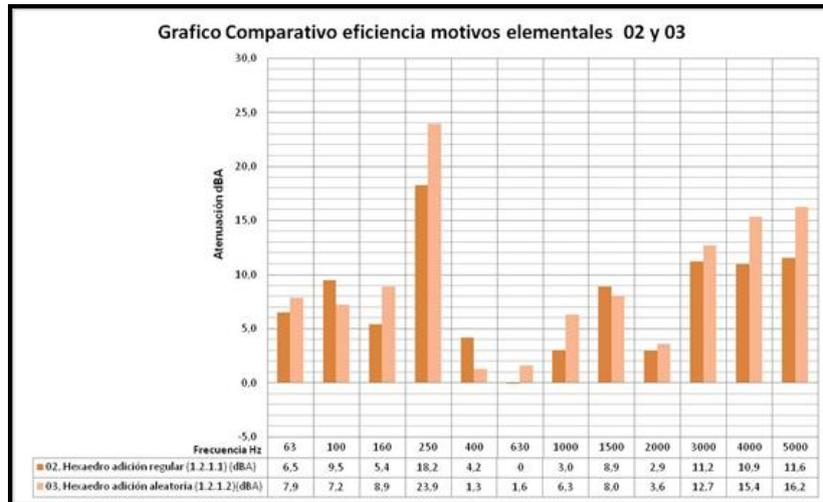


Figura 27: Gráfico Discusión parcial: Evaluación Eficiencia motivos elementales 02 y 03.

Como podemos apreciar en esta tabla de comparación, el MOT.EL./03 es más eficiente frente al ruido, ya que las atenuaciones medias efectuadas frente a las frecuencias ensayadas, son superiores en la mayoría de los casos. Esta superioridad puede ser debida al mayor volumen del MOT.EL./03, de 35953363mm³, frente a los 22500000mm³ de volumen, que tiene el MOT.EL./02. Salvo para frecuencias como 100Hz, 400 Hz y el caso aislado de 15000 Hz, el MOT.EL./03, parece atenuar mejor el ruido, no habiendo diferencias de atenuación superiores a 6dB entre ellas, siendo el caso extremo la frecuencia de 250Hz. Para determinadas frecuencias, tales como 250, 3000, 4000 y 5000 Hz, con ambos motivos elementales, aunque no en igual medida, atenúan significativamente el nivel de decibelios.

Por último, cabe reseñar que para las frecuencias más bajas (63, 100 y 160 Hz) las atenuaciones se mantienen constantes alrededor de 8 dB de media como máximo; en el caso del MOT.EL./03, sin grandes variaciones y en el caso del MOT.EL./02, con variaciones de +- 4 dB.

3.1.2- Comparación simbólica. Eficiencia ante los consumidores.

Se exponen, a continuación, los datos relativos a la evaluación estética llevada a cabo por 100 individuos encuestados en el 1er cuestionario planteado para la evaluación estética de los motivos elementales propuestos.

La pregunta que aquí nos ocupa es la nº 1, ¿Cuál de estas dos piezas, le parece más agradable estéticamente?, del cuestionario planteado.

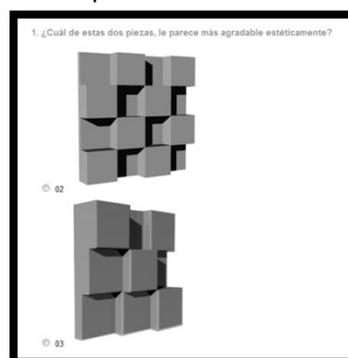


Figura 28: Visualización pregunta nº 1, relativa a la comparación de los motivos elementales 02 y 03

A continuación se muestra el informe de resultados para la pregunta 1, comparación entre los motivos elementales 02 y 03.

1 - ¿Cuál de estas dos piezas, le parece más agradable estéticamente?		
Motivo elemental	Respuestas total	Porcentaje
 02, Hexaedro adición regular	45	45%
 03, Hexaedro adición aleatoria	55	55%

Tabla 3: Tabla de resultados encuesta relativa a los motivos elementales 02 y 03.

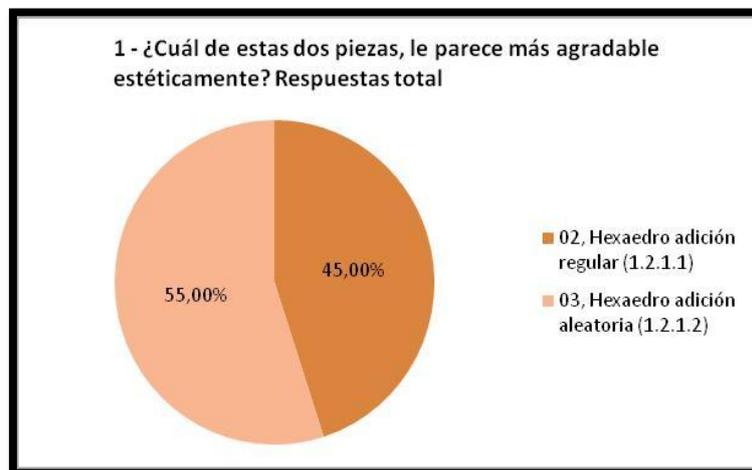


Figura 29: Gráfico de visualización de los resultados para la encuesta relativa a la pregunta nº1, relativa a la comparación de los motivos elementales 02 y 03.

Tal y como se aprecia en la figura 29, el MOT.EL./03, se muestra más agradable estéticamente para el 55% de los encuestados, siendo la diferencia con el MOT.EL./02, pequeña de tan solo un 5% de los encuestados: Nos encontramos ante la circunstancia, en la que las comparaciones funcional y estética arrojan como motivo elemental más eficiente al MOT.EL./03, por lo que podríamos pensar que es más eficiente el modo de inserción aleatorio que el modo de inserción regular.

4.- CONCLUSIONES.

4.1. Variable de inserción, adición o sustracción:

Desde el punto de vista funcional, en el 100% de los casos, es el modo de inserción mediante adición superior al modo de inserción mediante sustracción. Por otro lado, desde el punto de vista estético, ambos modos de inserción parecen eficientes en igual medida. Por lo que podemos concluir afirmando, que el modo de inserción mediante adición es más eficiente desde el punto de vista funcional (atenuación del sonido).

4.2. Variable de distribución, regular o aleatoria:

Desde el punto de vista funcional, en el 66,6% de los casos, es el modo de distribución aleatorio superior al modo de distribución regular. En la evaluación estética, en el 66,6% de los

casos, es el modo de distribución aleatorio superior al modo de distribución regular. Por lo que podemos concluir afirmando que el modo de distribución aleatorio es más eficiente, tanto funcional como estéticamente.

4.3. Variable volumen, mayor o menor volumen.

Desde el punto de vista funcional, en el 81.8% de los casos, son los motivos elementales con mayor volumen superiores desde el punto de vista funcional (atenuación del ruido). En cuanto a la estética, en el 54,5% de los casos, son los motivos elementales con mayor volumen superiores desde el punto de vista estético, atracción por parte del usuario. Por lo que podemos concluir afirmando, que los motivos elementales con mayor volumen son más eficientes, tanto funcional como estéticamente.

5. REFERENCIAS

- [1] KLOTH, M., VANCLUYSEN, K., CLEMENT, F. (2007) *Practitioner Handbook for Local Noise Action Plans—Recommendations from the SILENCE project*. AVL List GmbH: Austria. 128 p.
- [2] PIBERNAT, O. (1986). *El diseño en la empresa*. INFE. Madrid.
- [3] SERRANO PEREZ, M (2011) *Estudio de la difracción en el borde superior de las pantallas acústicas. Aplicación al diseño de las secciones de coronación y comparativa de la eficacia de la pantalla en función de la sección transversal*. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior, Universidad Alfonso X El Sabio. Madrid: 2011.
- [4] COLORADO, D. (2011) *Estudio de la atenuación del sonido en el hormigón, en función de su densidad y espesor, aplicación al diseño de barreras acústicas*. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior, Universidad Alfonso X El Sabio. Madrid, 2011.
- [5] COLORADO, D., ABAD, L., COUCEIRO, L., GARCÍA, T., MAGRO, R., SERRANO, M. (2010) *Atenuación acústica en hormigón con perlas de poliuretano expandido*. Tecnica Acústica León 2010 ISBN: 978-84-87985-19-5. Número especial de la Revista de Acústica Vol. 41
- [6] MORENO, M., ABAD, L., SERRANO, M., ABAD, L., COLORADO, D., DOMÍNGUEZ, J., *Estudio morfológico de pantallas acústicas dispersas. Reflexión de ondas y textura superficial. Valoración de la incidencia en el rendimiento estético-funcional*. Conama 10. Madrid, 22 al 26 de noviembre de 2010.
- [7] MORENO BALBOA, M. (2012) *Diseño de un método para la mejora del rendimiento estético-funcional de pantallas acústicas dispersas. Reflexión de ondas y textura superficial. Estética y redes modulares*. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior, Universidad Alfonso X El Sabio. Madrid:
- [8] SUTTON, D. (2005). *Sólidos platónicos y arquimedianos*. Oniro S.A. ISBN 84-9754-131-6.
- [9]. BONSIEPE, G. (1978) *Teoría y Práctica del Diseño Industrial*; Gustavo Gili, S.A., Barcelona. 1978. ISBN: 84-252-0697-9