



Estudio de la Incidencia de la geometría superficial en el rendimiento funcional de pantallas acústicas dispersas

Autor: María de la O Moreno Balboa

Institución: Universidad Alfonso X El Sabio

Otros autores: José Domínguez de Posada (Universidad Alfonso X El Sabio);
Rafael Magro Andrade (ASIMAG Servicios Empresariales)

Resumen

Los estudios muestran que el ruido (ambiental) es una de las principales razones por las que la gente se traslada de la ciudad a las afueras, lo hace fundamentalmente por el ruido y la contaminación acústica [STAD03] [SILE07]). Además de generar más tráfico y ruido, la salida de tantos ciudadanos, también supone un riesgo para la economía de la ciudad, ya que, la cuota fiscal local está directa o indirectamente vinculada al número de habitantes. Existen, pues, importantes razones para abordar el tratamiento del ruido y la adopción de medidas correctoras. El uso de barreras absorbentes, barreras rematadas, barreras con ángulo y dispersión, muros de contención y montículos de tierra o barreras protectoras, pueden mejorar el rendimiento frente a la atenuación del ruido, en comparación con las barreras reflectantes sencillas. Son construcciones bastante caras, lo que impone estudiar la relación coste/beneficio para el lugar en cuestión, ya que depende en gran medida de la densidad de población y de otras consideraciones ambientales. En el diseño de nuevos productos, cualquiera que fuera la índole de estos, inciden variables muy distintas, cuyo manejo técnico es responsabilidad específica del Diseño Industrial, a saber [PIBE86]: Variables Pragmáticas, aquellas que se refieren a la utilidad (funciones de uso), Variables Simbólicas, aquellas que se refieren a los valores y códigos estéticos y culturales, Variables Tecnológicas, aquellas que se refieren a la resolución técnica y constructiva y a los procesos de producción. Es, pues, objetivo de este Estudio, profundizar en el estudio de pantallas acústicas reflectantes dispersas, de cara a plantear soluciones menos costosas. Se incide, en la variable Pragmática, en la influencia que tienen los parámetros geometría superficial y volumen total, en la capacidad de atenuación del ruido de la pantalla acústica, eficacia o funcionalidad de la pantalla acústica. El procedimiento de trabajo está basado en los siguientes pasos. Se han diseñado pantallas de diferentes texturas y morfologías para realizar estudios de atenuación por reflexión, posteriormente, se ha utilizado una caja anecoica para ensayar pantallas acústicas a escala, mediante la utilización de sonómetros se ha medido la atenuación acústica de cada pantalla y mediante la estadística clásica se han analizado los resultados.

Palabras claves: Pantalla acústica, reflexión de ondas, ruido, acústica geométrica, tráfico rodado, Funcionalidad

1. INTRODUCCIÓN.

Entre las soluciones disponibles para hacer frente al ruido ambiental, se encuentra la instalación de pantallas acústicas artificiales. De manera genérica, podemos hacer una primera clasificación de estas, partiendo de su comportamiento frente a la expansión de las ondas acústicas; así nos encontramos con pantallas acústicas reflectantes y pantallas acústicas absorbentes.

Nuestro Estudio pretende investigar si el “uso efectivo de la forma puede mejorar la función”.

Nos centraremos en las “pantallas acústicas reflectantes”, en concreto en las “pantallas acústicas reflectantes difusas”. Como primer acercamiento a la hipótesis se incidirá en la textura superficial de la pantalla acústica, (denominamos textura superficial, a las posibles variaciones geometrías) en concreto en la cara interna de la misma, (aquella que está expuesta de manera directa a las ondas acústicas); que es la que de manera efectiva ejerce la función principal de la acción anti-ruido.

2. METODOLOGÍA DEL ENSAYO.

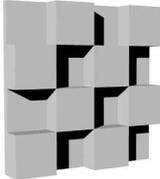
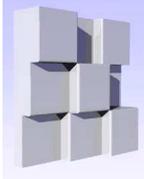
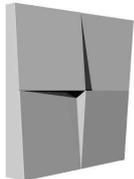
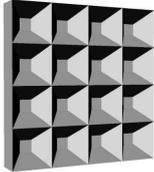
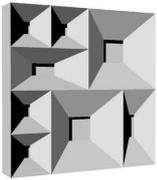
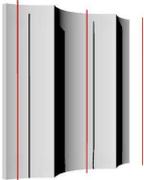
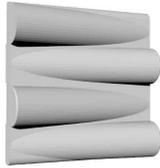
El sistema experimental que hemos utilizado para esta evaluación funcional, está compuesto básicamente por un conjunto de elementos de ensayo específicos:

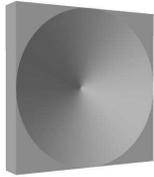
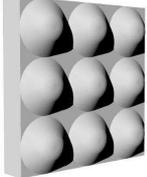
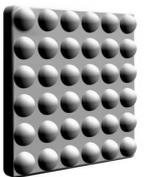
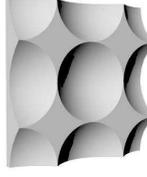
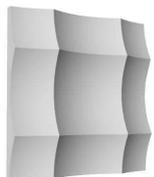
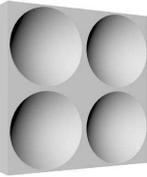
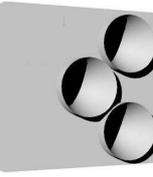
- A. **Una caja anecoica:** Para realizar las mediciones acústicas se ha utilizado una “caja” de madera de ocume (*Aucoumea klaineana*), donde se pueden insertar los modelos a escala, además, en su interior se puede colocar un sonómetro. La caja tiene como dimensiones totales: 50x70x52cm (medidas exteriores). Una de sus paredes es doble, de altura 44 cm, para poder llevar a cabo el ensayo, la pared situada frente a esta 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, [4], [5], [6] y de atenuación acústica en hormigón con perlas de poliuretano expandido, [7], [8], [9][10].
- 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. Que 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 [11]
 - 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 a una evaluación en base a “metafunciones”, 24 motivos elementales.

Tabla 3-1: motivos elementales seleccionados.

 <p>MOT.EL:/01 <i>Figura 1-25: Motivo elemental 01, Superficie sin inserciones.</i></p>	 <p>MOT.EL:/02 <i>Figura 1-26: Motivo elemental 02, Hexaedro adición regular (1.2.1.1).</i></p>	 <p>MOT.EL:/03 <i>Figura 6-27: Motivo elemental 03, Hexaedro adición aleatoria (1.2.1.2).</i></p>
 <p>MOT.EL:/04 <i>Figura 6-28: Motivo elemental 04, paralelepípedo oblicuo adición aleatoria (2.2.1.2).</i></p>	 <p>MOT.EL:/05 <i>Figura 6-29: Motivo elemental 05, prisma triangular adición regular (3.1.2.1.2).</i></p>	 <p>MOT.EL:/06 <i>Figura 6-30: Motivo elemental 06, Pirámide cuadrangular truncada sustracción regular (4.2.2.1.1).</i></p>
 <p>MOT.EL:/07 <i>Figura 6-31: Motivo elemental 07, Pirámide cuadrangular truncada sustracción aleatoria (4.2.2.1.2).</i></p>	 <p>MOT.EL:/08 <i>Figura 6-32: Motivo elemental 08, cilindro parabólico sustracción regular (5.1.1.1.1).</i></p>	 <p>MOT.EL:/09 <i>Figura 6-33: Motivo elemental 09, Cilindro oblicuo sustracción aleatoria (5.1.2.1.2).</i></p>

 <p>MOT.EL:/010 <i>Figura 6-34: Motivo elemental 10, Cono recto sustracción regular (5.2.1.1.1).</i></p>	 <p>MOT.EL:/11 <i>Figura 6-35: Motivo elemental 11, Cono recto truncado sustracción regular (5.2.3.1.1).</i></p>	 <p>MOT.EL:/12 <i>Figura 6-36: Motivo elemental 12, Cono recto R:100mm sustracción regular (5.2.1.1.1 - 2).</i></p>
 <p>MOT.EL:/13 <i>Figura 6-37: Motivo elemental 13, Cono recto R:100mm adición regular (5.2.1.2.1)</i></p>	 <p>MOT.EL:/14 <i>Figura 6-38: Motivo elemental 14, Esfera, radio 50mm, adición regular (6.1.2.2).</i></p>	 <p>MOT.EL:/15 <i>Figura 6-39: Motivo elemental 15, Esfera, radio 50mm, adición aleatoria (6.1.2.1).</i></p>
 <p>MOT.EL:/16 <i>Figura 6-40: Motivo elemental 16, Súper-esfera seccionada adición regular (6.1.2.1).</i></p>	 <p>MOT.EL:/17 <i>Figura 6-41: Motivo elemental 17, Elipsoide adición regular (6.2.1.1).</i></p>	 <p>MOT.EL:/18 <i>Figura 6-42: Motivo elemental 18, Paraboloide, foco 35mm, radio 150mm, sustracción regular (6.3.1.1).</i></p>
 <p>MOT.EL:/19 <i>Figura 6-43: Motivo elemental 19, Paraboloide, foco 150mm, sustracción regular (6.3.1.1 - 2).</i></p>	 <p>MOT.EL:/20 <i>Figura 6-44: Motivo elemental 20, Paraboloide, radio 460mm, sustracción regular (6.3.1.1 - 3)</i></p>	 <p>MOT.EL:/21 <i>Figura 6-45: Motivo elemental 21, Paraboloide, radio 142mm, sustracción regular (6.3.1.1 - 4).</i></p>
 <p>MOT.EL:/22 <i>Figura 6-46: Motivo elemental 22, Paraboloide, radio 107mm, sustracción tubular regular (6.3.1.1 - 5).</i></p>	 <p>MOT.EL:/23 <i>Figura 6-47: Motivo elemental 23, Paraboloide, radio 107mm, sustracción tubular aleatoria (6.3.1.1 - 6)</i></p>	 <p>MOT.EL:/24 <i>Figura 6-48: Motivo elemental 24, Paraboloide hiperbólico adición regular (6.6.3.2.1).</i></p>

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

- C. **Un dispositivo electroacústico:** Para poder realizar las mediciones sobre el modelo a escala construido, se ha instalado un dispositivo electroacústico que nos permite controlar la emisión de la señal. Los equipos acústicos utilizados para los ensayos son los siguientes [10]: Un altavoz de 12", un reproductor de CD, un previo mezclador, un ecualizador, un amplificador y dos sonómetro promedidores integradores, tipo 1.

Parte de este sistema experimental ha sido utilizado en otros ensayos y está descrito en las referencias [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10].

3.2.- MOTIVOS ELEMENTALES. ELEMENTOS SELECCIONADOS. DISPOSICIÓN.

Para poder proceder a la toma de datos se dispusieron los motivos elementales de manera seriada, sobre un material de soporte, una superficie de cartón pluma de 5mm de grosor, permitiéndonos posicionar la textura superficial en posición vertical, quedando así los modelos a escala, expuestos de manera análoga a como sucedería en la realidad.

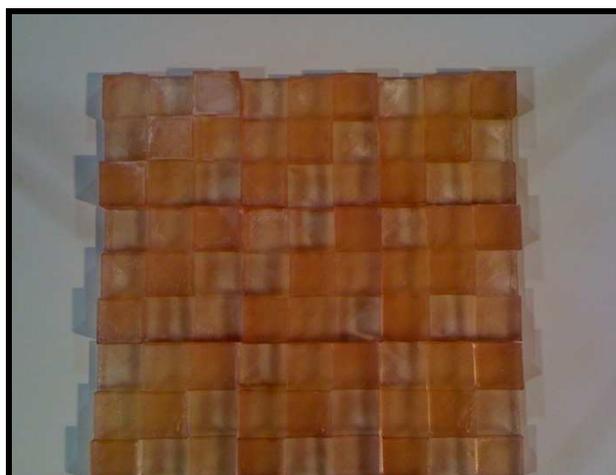


Figura 3-1: Textura superficial, compuesta por 9 motivos elementales, generados mediante reproducción por colada en resina de poliéster

3.3.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO.

Para el estudio morfológico de pantallas acústicas, desde el punto de vista funcional, se ha utilizado la siguiente metodología:

La campaña de ensayos prevista está compuesta por 24 pantallas a escala, generadas a partir de la repetición sistemática de 9 motivos elementales, previamente descritos, a los que hay que añadir el material de soporte, cartón pluma, que también ha sido ensayado, como base de comparación inicial, por lo tanto la campaña de ensayos está compuesta por 25 elementos diferentes.

Se ha sometido a una fuente fija de sonido, durante 2 minutos, cada uno de los 25 modelos. Dicho ensayo se ha llevado a cabo a un espectro de frecuencias comprendido entre 0 y 5000 Hz (63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000 y 5000 Hz). Las frecuencias elegidas corresponden a las frecuencias preferentes indicadas en la Norma UNE. Dichas frecuencias están grabadas en un CD y mediante el dispositivo electro-acústico descrito anteriormente se reproducen durante los ensayos. [5] [6]

La recogida de datos se ha realizado, mediante la medición con sonómetros, se ha registrado, para cada una de las frecuencias el L_{eq} , nivel de presión sonora continuo equivalente, durante los 2 minutos transcurridos.

Las mediciones se han llevado a cabo tanto en el exterior, como en el interior de la caja anecoica. Para ello se han utilizado dos sonómetros, el primero de ellos se colocó en el exterior de la caja anecoica, en entre la fuente fija de sonido, el altavoz, y el modelo a escala, situado en una de las caras de la caja anecoica, al nivel del suelo y centrado con respecto la misma. El segundo sonómetro se colocó en el interior de la caja anecoica, en la parte trasera de la misma, y del mismo modo orientado hacia la fuente de sonido y centrado con respecto a la caja anecoica.

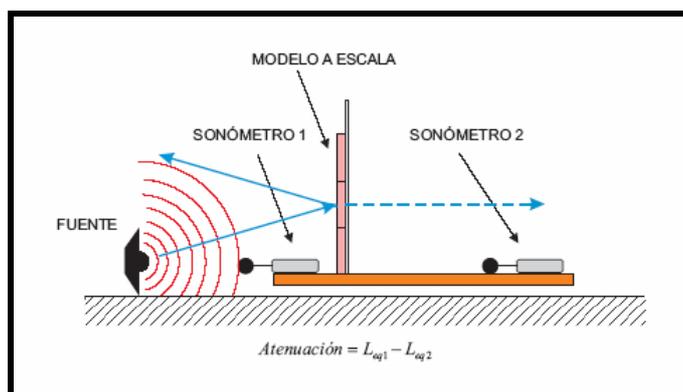


Figura 3-2: Disposición de uno de los sonómetros en el exterior de la caja.

Por último, con los datos obtenidos calculamos la atenuación producida por la pantalla, (la diferencia entre el L_{eq} exterior e interior registrados por los sonómetros). Se repite este proceso con las distintas frecuencias a estudiar y con los diferentes tipos de motivos elementales.

La atenuación, para cada motivo elemental se ha medido para las 12 frecuencias expuestas anteriormente, así durante la fase de experimentación se han realizado 12 ensayos para cada pantalla acústica, compuesta de 9 motivos elementales. Cada uno de los 12 ensayos se ha repetido 9 veces con el fin de obtener un valor medio estadístico de cada medida, lo que nos da un total de 108 mediciones para cada pantalla acústica. Al tener 24 motivos elementales diferentes y sabiendo que el material de soporte también ha sido ensayado, por lo tanto se han ensayado 25 pantallas diferentes, se han realizado en este proyecto un total de 2700 ensayos.

Una vez realizada la toma de datos y mediciones, se procede a analizar los mismos, a elaborar los informes y a realizar las conclusiones.

4- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Se han tabulado los datos obtenidos en los diferentes ensayos, 300 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 Leq 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.

Se incluyen, a modo de ejemplo, los resultados obtenidos en los ensayos para el motivo elemental 18, Paraboloides, foco 35mm, radio 150mm, sustracción regular (6.3.1.1), a frecuencia fija 63Hz.

Tabla 4-1: Ensayo de la pantalla nº18. Medidas de L_{eq} delante y detrás de la pantalla a frecuencia fija 63Hz.

Medición acústica en pantallas

			Medición delante pantalla		Medición detrás pantalla	Atenuación (dB)
Nº de ensayo	Nº de placa	Frecuencia (Hz)	Leq (dBA)	Leq (dBA)		
1	18	63	79,3	70,6		8,7
2	18	63	80,1	71,2		8,9
3	18	63	79,9	71,2		8,7
4	18	63	79,7	71,7		8
5	18	63	79,7	71,3		8,4
6	18	63	79,3	70,7		8,6
7	18	63	79,4	70,8		8,6
8	18	63	79,4	71,1		8,3
9	18	63	79,6	70,9		8,7
nº de ensayos 9			Atenuación media			8,5
			Varianza			0,1
			Desviación típica			0,3

4.1.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN LABORATORIO: EFICIENCIA

El Diseño Industrial, es una práctica de prefiguración de los objetos que componen el entorno físico y simbólico de las actividades sociales (trabajo, consumo, ocio etc.).

- Por prefiguración se entiende una producción intelectual abstracta, por la cual se concibe un objeto o una actividad antes de que se materialicen o se lleven a cabo.
- Por entorno físico y simbólico se hace referencia al conjunto de elementos artificiales, es decir, concebidos y producidos por una sociedad determinada.

En la prefiguración de los objetos, cualquiera que fuera la índole de estos, 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:** aquellas que se refieren a los valores y códigos estéticos y culturales.
- **Tecnológicas:** aquéllas que se refieren a la resolución técnica y constructiva y a los procesos de producción. [3].

Para evaluar las pantallas desde el punto de vista pragmático (funcional), el que nos ocupa, se ha llevado a cabo una evaluación de eficiencia, para ello presentaremos de diferentes modos los resultados.

- Resultados de eficiencia por Pantalla.
- Resultados de eficiencia por Frecuencia.

La evaluación desde el punto de vista pragmático (funcional); eficiencia, concluye con la definición del ranking de los motivos elementales, realizado mediante la evaluación a través de una matriz monocriterio, siendo este el criterio funcional; eficiencia, mejor atenuación.

4.2.- RESULTADOS EFICIENCIA POR PANTALLA.

Los análisis a frecuencia variable sobre cada uno de los tipos de pantalla, junto con las representaciones en dos dimensiones, nos permiten visualizar como se muestran las variables y cuáles son las relaciones existentes entre ellas. Se han realizado 25 estudios parciales de eficiencia por pantalla.

Para poder tener una base de comparación, se confeccionó un modelo a escala compuesto por motivos elementales básicos, que fue a su vez ensayado con los mismos parámetros expuestos en la metodología del ensayo. En la tabla 4-2 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 4-2: Atenuación acústica en función de la frecuencia del ruido para el material de colada 01 Superficie sin inserciones.

01 Superficie sin inserciones

FRECUENCIA (Hz)	Atenuación (dB)									Atenuación media (dB)	Varianza	Desviación típica	
	Ens. 1	Ens. 2	Ens. 3	Ens. 4	Ens. 5	Ens. 6	Ens. 7	Ens. 8	Ens. 9				
63	8,2	7,5	7,7	7,8	8,0	8,4	7,3	7,8	6,9	7,7	0,2	0,5	
100	6,5	6,7	6,7	7,4	8,0	7,6	6,5	6,8	6,7	7,0	0,3	0,5	
160	6,7	6,9	7,0	2,2	6,5	6,6	7,8	9,1	8,2	5,7	0,2	0,5	
250	22,4	19,6	21,8	23,6	24,5	23,7	22,8	24,0	22,5	23,0	0,4	0,6	
400	11,4	10,2	8,8	9,7	9,9	1,3	6,3	6,3	5,6	10,0	0,9	0,9	
630	1,2	0,4	5,8	4,8	1,1	1,2	2,1	4,0	1,2	1,4	0,2	1,3	
1000	8,7	4,9	5,6	4,9	5,1	4,8	3,5	3,0	0,1	4,8	0,5	0,7	
1500	5,3	8,2	9,5	15,4	8,0	12,2	8,5	10,1	10,1	9,1	0,9	1,0	
2000	11,3	10,7	9,0	14,5	18,2	14,6	13,8	10,9	12,2	13,3	2,1	1,8	
3000	7,4	13,2	14,1	21,9	14,6	15,4	16,2	20,3	17,9	15,2	2,8	1,7	
4000	14,9	12,3	10,8	12,9	11,5	14,7	15,5	14,1	18,2	14,4	1,0	1,0	
5000	14,9	17,1	18,8	16,7	10,1	13,6	15,4	13,0	14,9	15,1	1,2	1,1	
Volumen (mm²)	36000000									Σ	126,7		

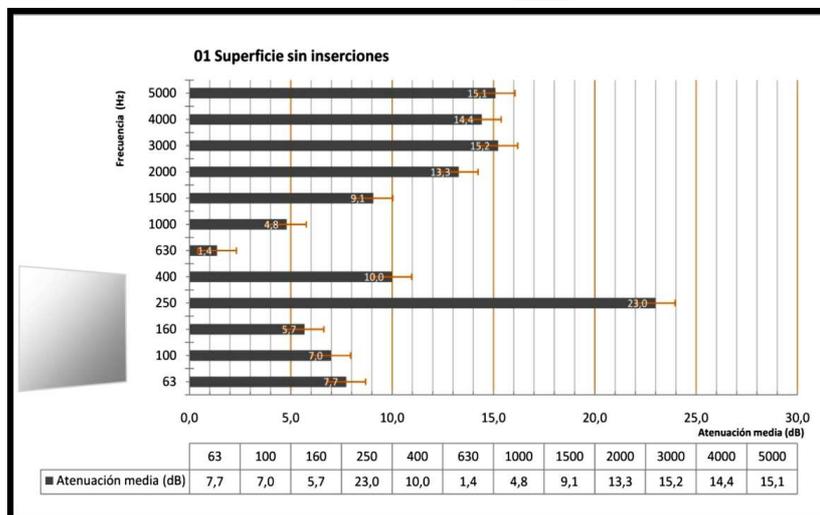
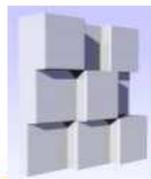


Figura 4-1: Atenuación acústica en función de la frecuencia del ruido para el material de colada 01 Superficie sin inserciones.

Como podemos apreciar en la figura 4-1, la superficie sin inserciones o motivo elemental básico, en lo sucesivo MOT.EL./01, fabricado en resina de poliéster, material de colada para todos los motivos elementales, es eficiente para todas las frecuencias a las que ha sido expuesta, siendo la atenuación con mayor valor la producida para la frecuencia de 250Hz, así como podemos apreciar que la atenuación más baja se produce para la frecuencia de 630hz. En este caso encontramos un intervalo de altas frecuencias en el que la atenuación ronda los 15dbA.

A modo de ejemplo se muestran a continuación los valores obtenidos en los ensayos sobre el motivo elemental 03, Hexaedro adición aleatoria (1.2.1.2), en lo sucesivo: MOT.EL./03

Tabla 4-3: Atenuación acústica en función de la frecuencia del ruido para el motivo elemental 03 Hexaedro adición aleatoria.



03 Hexaedro adición aleatoria (1.2.1.2)

FRECUENCIA (Hz)	Atenuación (dB)									Atenuación media (dB)	Desviación típica
	Ens. 1	Ens. 2	Ens. 3	Ens. 4	Ens. 5	Ens. 6	Ens. 7	Ens. 8	Ens. 9		
63	7,2	7,1	7,8	6,3	7,8	6,9	8,7	10,4	8,6	7,9	0,7
100	7,0	7,0	7,3	8,9	8,5	8,6	6,1	6,7	8,0	7,2	0,7
160	1,0	9,9	9,0	8,0	8,2	8,2	10,0	13,3	13,9	8,9	0,9
250	24,2	26,7	24,3	23,7	22,8	23,3	25,0	22,0	24,1	23,9	0,4
400	0,9	0,8	1,2	3,2	2,3	2,9	-1,7	4,2	1,1	1,3	0,6
630	1,7	1,5	2,0	-6,6	-2,4	-6,0	2,5	0,5	1,5	1,6	0,7
1000	9,0	6,6	7,3	6,2	5,8	5,8	2,2	6,2	7,7	6,3	0,6
1500	10,9	9,8	11,1	5,3	6,9	3,9	9,8	7,5	6,2	8	2
2000	3,5	2,2	4,2	1,8	4,4	3,5	6,7	8,0	7,6	3,6	0,9
3000	12,6	12,7	12,6	20,2	18,5	19,8	6,5	13,9	11,8	12,7	0,8
4000	12,6	14,5	12,8	22,2	15,3	23,4	13,4	16,7	16,9	15	2
5000	16,4	15,8	16,7	15,6	19,9	19,2	13,8	16,7	16,1	16,2	0,5
Volumen (mm³)	35953362,8									Σ	113

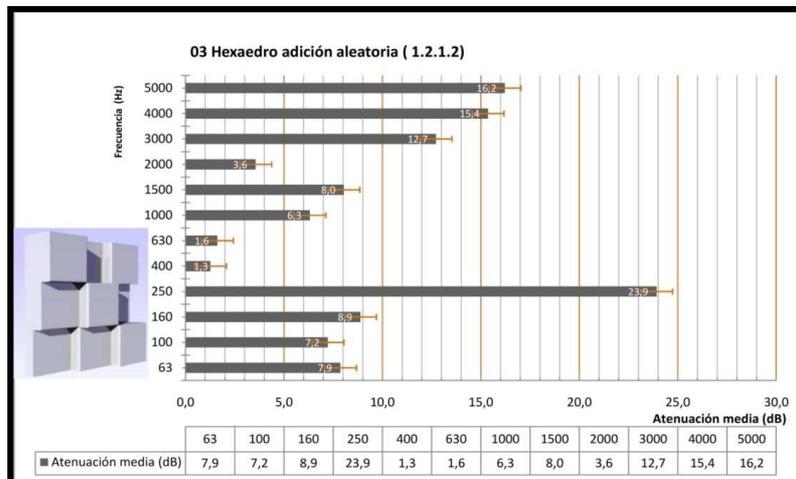


Figura 4-2: Atenuación acústica en función de la frecuencia del ruido para el motivo elemental 03, Hexaedro adición aleatoria.

La figura 4-2, el MOT.EL./03, es eficiente para todas las frecuencias a las que ha sido expuesto.

En la pantalla generada con el MOT.EL./03, la máxima atenuación se produce para la frecuencia de 250Hz, alcanzándose valores aproximados a los 24dB. La atenuación mínima se obtiene a 400 Hz, con un valor aproximado de 1,3 dB. En este caso, usar esta pantalla a esta frecuencia no sería eficaz. En general, las atenuaciones medias obtenidas con este tipo de pantalla son bajas, siendo la mayoría de los valores menores a los 10 dB.

La mera descripción de las atenuaciones en función de la frecuencia de emisión en el trabajo que nos compete no es suficiente, ya que se pretende evaluar cómo la forma puede ayudar a desarrollar la función. A continuación se presentan datos de porcentaje de mejora del Motivo elemental 13, Cono recto R: 100mm adición regular en lo sucesivo: MOT.EL./13, respecto a los datos de atenuación media, producida por el MOT.EL./01.

Tabla 4-4: Porcentaje de mejora en la atenuación del MOT.EL./13, respecto a los datos de atenuación media, producida por el MOT.EL./01.

FRECUENCIA (Hz)	Atenuación media (dBA)		% MEJORA EN LA ATENUACIÓN	%Promedio mejora para el intervalo	
	MOT.EL./01	MOT.EL./13			
63	7,7	8	3,9%	25,8%	BAJAS FRECUENCIAS
100	7	9,1	30,0%		
160	5,7	10,5	84,2%		
250	23	19,6	-14,8%	-47,3%	MEDIAS FRECUENCIAS
400	10	4,9	-51,0%		
630	1,4	0,9	-35,7%		
1000	4,8	-0,6	-112,5%	9,6%	ALTAS FRECUENCIAS
1500	9,1	10	9,9%		
2000	13,3	11,9	-10,5%		
3000	15,2	14,4	-5,3%	% Promedio total mejora atenuaciones	
4000	14,4	16,7	16,0%		
5000	15,1	20,9	38,4%		
			-4%	% DE REDUCCIÓN DE VOLUMEN	
VOLUMEN (mm3)	36000000	21249507	-41,0%		

Antes de proseguir es necesario exponer los factores que inciden en la determinación del origen y que la propagación del ruido de carreteras depende de la interacción de tres factores principalmente:

- Los vehículos que circulan por ésta,
- La estructura de la carretera (en cuanto a su trazado, construcción y materiales de superficie de rodadura)
- El entorno que la rodea

La geometría básica de una carretera, como emisora de ruido, es la de una fuente lineal con propagación cilíndrica y, por lo tanto, con una atenuación de 3 dB por duplicación de distancia, sin considerar reflexiones ni obstáculos. Por otra parte, la absorción del aire produce una atenuación de 0.7 a 0.8 dB cada 100 m. En una carretera, el tráfico de vehículos livianos y pesados, son considerados como fuentes lineales de ruido con una superficie de impacto paralela al recorrido. El ruido transmitido puede estar relacionado con los parámetros del tráfico y las propiedades acústicas de la superficie. De esta forma, el impacto sonoro de una carretera es producto de los niveles de inmisión que origina en su entorno, los que son función del nivel emitido y de las condiciones de propagación entre emisor y receptor. [12]

La emisión acústica de una carretera, sin considerar la propagación, depende fundamentalmente de dos aspectos:

- A. el tipo de vehículos
- B. la forma como circulan por ella.

Las fuentes de ruido en un vehículo tienen su origen en el funcionamiento de distintos elementos mecánicos. Los principales focos son: el ruido debido al sistema de motor (ventilador, motor y caja de cambios) y el ruido debido al movimiento del vehículo (neumáticos, frenos y ruido aerodinámico). [12]

La mayor o menor importancia de cada una de estas fuentes depende del tipo de vehículo, la velocidad a la que circule y el régimen de funcionamiento del motor. Así, a baja velocidad, la fuente de ruido predominante es el motor, pero a altas velocidades lo serán los neumáticos.

En cuanto al ruido aerodinámico, éste es totalmente despreciable a las velocidades límites, por lo tanto, el ruido debido al movimiento es preponderantemente atribuible a la interacción neumático/calzada: ya que mientras el ruido debido al sistema motor es relativamente constante e independiente de la velocidad, el ruido neumático/calzada aumenta entre 8 y 12 dB(A) cada vez que se dobla la velocidad. Por otra parte, las distintas fuentes de ruido de un vehículo tienen diferentes contenidos de frecuencias, resultando un espectro con mayor contenido de bajas frecuencias que altas frecuencias.

- Tonos graves: de 125 Hz a 250 Hz.
- Tonos medios: de 500 Hz a 1000 Hz.
- Tonos agudos: de 2000 Hz a 4000 Hz.

Dado que esta composición espectral afecta la propagación del ruido, es conveniente especificarla y considerarla en los cálculos.

Es importante mencionar que la molestia ocasionada por el tránsito vehicular es relativa, puesto que un vehículo a alta velocidad provocará un mayor nivel de ruido, pero el tiempo de exposición será breve. Caso contrario al de un vehículo a menor velocidad, cuyos niveles de emisión serán más bajos, pero el tiempo de exposición será mucho mayor. Esta variable será tomada en cuenta al momento de establecer el descriptor sonoro que se empleará para proyectar los niveles de ruido.

El comportamiento de una carretera es definida mediante tres parámetros principalmente:

- la intensidad o flujo,
- la composición de este flujo y
- la velocidad de circulación.

Teniendo en cuenta esta breve introducción, sobre las frecuencias y el tipo de ruido que emite una carretera, podemos realizar un análisis de los datos obtenidos en el laboratorio.

Nos encontramos en este caso, según nos muestra la tabla 4-4, con un motivo elemental cuya geometría resulta más eficaz, para dos de los rangos establecidos, para frecuencias bajas, con un porcentaje positivo de un promedio 25,8% de mejora, siendo de manera parcial menos eficaz para la frecuencia de 250Hz, por otro lado el **MOT.EL./13**, se muestra también más eficaz para frecuencias altas. Sin embargo el promedio total de atenuaciones arroja un valor negativo, aunque en este caso muy bajo, de un 4%, esto es debido a que la eficacia de la pantalla generada por el **MOT.EL./13**, es considerablemente menos eficaz para la frecuencia de 1000Hz. Si fijamos la atención sobre los valores del porcentaje promedio total de mejora de atenuaciones y del porcentaje de reducción de volumen, vemos que la eficacia de la geometría es considerable, ya que para una reducción de un 41% de volumen, tan solo ha disminuido la eficacia en un 4%.

4.3.- RESULTADOS EFICIENCIA POR FRECUENCIA.

En este apartado se muestran los análisis a frecuencia fija, junto con las representaciones en dos dimensiones, que nos permiten visualizar cómo varían los resultados y cuáles son las relaciones existentes entre las variables del ensayo. Se han llevado a cabo 12 estudios a frecuencia fija, para ello se han tabulado los datos a frecuencia fija en 12 tablas diferentes.

Estas tablas contienen información sobre el número de pantalla, la frecuencia de medición y la atenuación media, calculada como diferencia entre las medidas de L_{eq} a ambos lados de la pantalla, según se indica en la ecuación (1-1), así como la varianza y desviación típica de los datos. Además de estos datos, se presenta información cualitativa; es decir, se mide el grado de eficiencia de los distintos motivos elementales en una escala ordinal, de cómo responden ante el ruido cada uno de los motivos elementales. Para ello se ha establecido un ranking de satisfacción del criterio atenuación del ruido, que posteriormente será utilizado para la selección del motivo elemental que mejor respuesta presenta frente al ruido.

En cada una de las tablas se marcan: el motivo elemental con mejor respuesta frente a la frecuencia presentada, en color verde, y el motivo elemental con peor respuesta frente a la frecuencia presentada, en color rosado.

En la siguiente tabla, tabla 4-5, a modo de ejemplo, se resumen los resultados obtenidos de los ensayos a frecuencia fija de 100Hz, en función de los distintos motivos elementales diseñados.

Tabla 4-5: Atenuación acústica a frecuencia fija 100Hz, para todos los motivos elementales.

FRECUENCIA 100Hz				
Motivo elemental	Atenuación media (dB)	Varianza	Desviación típica	Ranking
00	9,2	0,0	0,2	3
01	7,0	0,3	0,5	20
02	9,5	0,7	1,7	1
03	7,2	0,4	0,7	19
04	7,4	0,5	0,7	18
05	7,2	0,1	0,3	18
06	9,4	0,9	1,0	2
07	8,6	0,4	0,6	6
08	8,2	0,7	0,9	10
09	8,3	0,3	0,6	8
10	8,7	0,1	1,0	5
11	7,3	0,0	0,2	17
12	7,6	0,9	1,2	15
13	9,1	0,2	0,5	4
14	5,5	0,3	0,6	25
15	8,6	0,7	0,9	21
16	8,6	0,3	0,8	23
17	7,8	0,2	0,9	14
18	7,9	0,2	0,4	12
19	8,3	0,1	0,4	9
20	8,5	0,4	1,2	7
21	5,5	0,9	1,0	24
22	7,9	0,5	0,7	11
23	7,8	0,3	0,5	13
24	8,6	0,4	1,1	22

Nos encontramos ante las atenuaciones medias producidas por los diferentes motivos elementales para la frecuencia 100Hz. Para esta frecuencia, la pantalla más efectiva es la generada por el MOT.EL./02, con una atenuación de 9,5dBA. Nos encontramos de nuevo con escasa diferencia de atenuaciones, ya que la atenuación producida por el MOT.EL./06, es de 9,4 dB lo que supone una diferencia de 0.1dB. El motivo elemental menos eficiente ante la frecuencia de 100Hz es el denominado MOT.EL./14.

Al analizar los datos relativos a la atenuación media producida por la totalidad de las pantallas ensayadas a frecuencia fija de 100hz, vemos que la media de atenuaciones en comparación con la obtenida para la frecuencia de 63Hz ha disminuido en 0.2dB. También los datos se muestran un poco más dispersos, siendo la desviación típica de 1,2. La figura 4-4, muestra gráficamente la información, comentada.

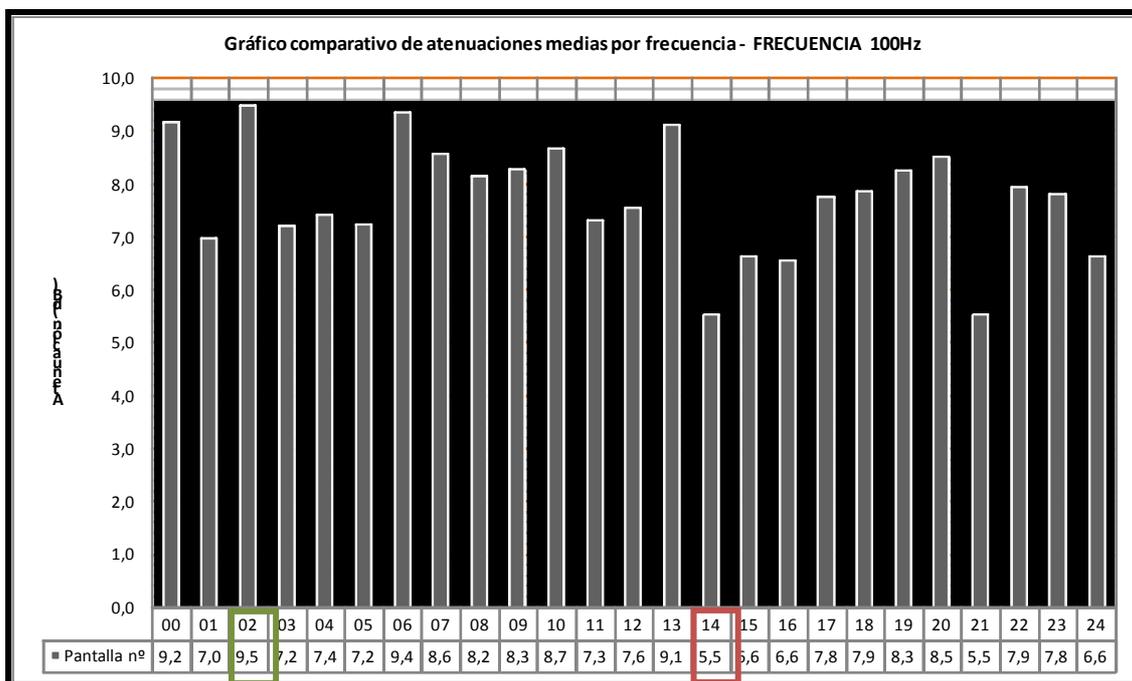


Figura 4-4: Atenuación acústica a frecuencia fija 100Hz, para todos los motivos elementales.

4.3.- MATRIZ DE VALORACIÓN MONOCRITERIO, EFICIENCIA.

Para determinar cuál de los motivos elementales es el más eficiente desde el punto de vista funcional se ha planteado una matriz de decisión cuyos elementos son los siguientes:

- **C_i : CRITERIO DE DECISIÓN:** Como criterio de decisión se plantea, las doce frecuencias de sonido, 63Hz, 100Hz, 160Hz, 250Hz, 400Hz, 630Hz, 1000Hz, 1500Hz, 2000Hz, 3000Hz, 4000Hz y 5000Hz, a las que hemos sometido los motivos elementales diseñados.
- **A_i: ALTERNATIVAS:** Como alternativas de diseño se plantean los 24 motivos elementales diseñados, también se ha incluido en esta valoración el material de soporte, por lo tanto son 25 las alternativas planteadas.
- **R_{ij}: RESULTADOS:** Como resultado se indica el puesto obtenido por el motivo elemental en una clasificación frente a la atenuación del ruido, desde el punto de vista de atenuación media obtenida frente a la frecuencia en concreto. Siendo el primer puesto para el motivo elemental más eficiente y el puesto vigesimoquinto para el motivo elemental menos eficiente. Estos resultados provienen de las tablas de resultados eficiencia por Frecuencia.

La matriz de valoración, contiene los criterios en las columnas y las distintas alternativas en filas. En las intersecciones de las filas y las columnas se indica la valoración o resultado de la alternativa de esa fila respecto al criterio de la columna.

La técnica elegida para la evaluación, es una técnica de decisión cualitativa, técnica en la cual se mide el grado de satisfacción de los distintos criterios en una escala ordinal. [13].

Al utilizar un método de tipo cualitativo sucede lo siguiente: las posiciones en dicha escala sólo dan información de su clasificación frente a las otras alternativas y no sobre las diferencias absolutas en eficiencia entre las propiedades evaluadas de cada alternativa.

Una vez planteada la matriz se ha utilizado, la regla de la suma de ratios para concretar cuál de los motivos elementales era el más eficiente, desde el punto de vista funcional, atenuación del sonido. Se trata de sumar para cada alternativa todos los ratios obtenidos en la matriz de valoración. [GARC01]. De este modo también se obtiene una clasificación de las distintas alternativas. El motivo elemental cuya suma de ratios sea menor será el mejor clasificado y por lo tanto el más eficiente desde el punto de vista funcional, atenuación del sonido perteneciente a las doce frecuencias estudiadas, 63Hz, 100Hz, 160Hz, 250Hz, 400Hz, 630Hz, 1000Hz, 1500Hz, 2000Hz, 3000Hz, 4000Hz y 5000Hz.

Los datos presentados en verde muestran cual de los motivos elementales ha sido el más eficiente frente a la frecuencia estudiada, mientras que los datos presentados en granate, muestran cual de los datos ha sido el menos eficiente frente a la frecuencia estudiada.

Tabla 4-6: Matriz de valoración monocriterio. Eficiencia en la atenuación del ruido.

PANTALLA	Frecuencia												Σ	Ranking
	63Hz	100Hz	160Hz	250Hz	400Hz	630Hz	1000Hz	1500Hz	2000Hz	3000Hz	4000Hz	5000Hz		
13	12	4	3	11	12	6	21	8	2	10	4	3	96	1
01	17	20	20	4	1	3	6	14	1	6	11	18	121	2
22	4	11	10	10	9	15	17	18	18	2	2	6	122	3
12	1	15	1	21	19	12	19	10	4	7	16	1	126	4
10	8	5	11	1	3	4	24	21	9	3	20	19	128	5
00	9	3	24	20	24	5	5	1	3	11	15	9	129	6
16	25	23	6	6	6	16	7	2	14	19	6	4	134	7
07	19	6	8	9	16	8	10	4	11	9	22	16	138	8
17	7	14	19	2	13	13	13	6	6	25	13	10	141	9
20	14	7	22	14	7	22	1	7	16	5	12	17	144	10
18	6	12	7	19	21	7	3	9	17	4	19	23	147	11
09	3	8	12	12	8	17	9	16	12	22	10	20	149	12
11	5	17	2	22	18	11	20	24	5	20	5	2	151	13
03	15	19	9	3	25	2	4	20	19	14	8	14	152	14
05	2	18	13	24	2	1	18	19	20	23	17	8	165	15
21	23	24	5	23	11	24	15	13	13	1	9	12	173	16
04	13	16	14	15	4	10	16	5	24	16	18	25	176	17
06	10	2	21	7	5	23	23	23	15	13	23	13	178	18
02	24	1	23	17	14	9	8	15	22	17	7	24	181	19
24	20	22	15	16	15	14	25	3	23	21	3	7	184	20
23	22	13	16	13	20	18	12	25	25	8	1	15	188	21
14	21	25	25	5	10	25	2	22	7	12	25	11	190	22
19	16	9	4	8	22	19	14	12	21	24	21	22	192	23
08	11	10	17	18	23	21	22	17	8	15	14	21	197	24
15	18	21	18	25	17	20	11	11	10	18	24	5	198	25

Si analizamos la tabla 4-6, podemos concluir afirmado que el motivo elemental más eficiente es el MOT.EL./13, cuya suma de ratios es la de menor valor. Hay que destacar que el MOT.EL./13, no ha sido para ninguna de las frecuencias estudiadas el más eficiente, ni tampoco el peor frente a la atenuación del sonido.

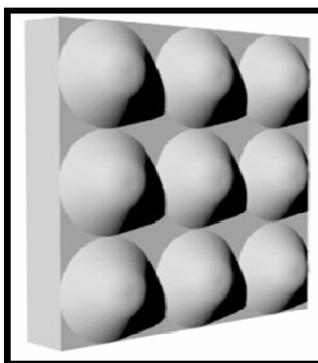


Figura 4-6: Motivo elemental 13, Cono recto radio 100mm truncado adición regular. Motivo elemental más eficiente.

Por otro lado el MOT.EL./15, es el menos eficiente frente a la totalidad de las frecuencias estudiadas.

También es destacable que el MOT.EL./01, Superficie sin inserciones, ha obtenido el segundo puesto desde el punto de vista funcional.

Nos encontramos también con la paradoja de que el material de soporte ha obtenido un sexto puesto en la valoración frente a la atenuación del sonido.

También podemos mencionar que el MOT.EL./12, es el que mayor número de veces ha obtenido un primer puesto frente a la atenuación del sonido de frecuencias, 63Hz, 160Hz y 5000Hz, sin embargo en la suma de ratios total ha obtenido un cuarto puesto. Del mismo modo el MOT.EL./14., ha sido cuatro veces la menos eficiente, para las frecuencias de 100Hz, 160Hz, 630Hz y 4000Hz, sin embargo no ha obtenido el puesto vigesimoquinto, sino el vigesimosegundo.

5. CONCLUSIONES.

La polución por el ruido de tráfico es uno de los agentes contaminantes que más deterioran la calidad de vida de los ciudadanos; por ello, durante los últimos años, se ha incrementado el uso de barreras acústicas a lo largo de las vías cercanas (de penetración y circunvalación) a las grandes ciudades. Se configura así un cuadro de componente dual emisor-receptor, entre los cuales se ha interpuesto un obstáculo de tal manera que interrumpa la onda acústica con reflexión o absorción de la energía incidente.

El concepto que dio lugar a este Proyecto de Investigación, entroncado en el diseño industrial y las ciencias ambientales, surgió a partir uno de los axiomas más utilizados en diseño industrial: “**el uso efectivo de la forma puede mejorar la función**”, esta función u objetivo, es atenuar la “percepción del ruido”.

Para la consecución de este objetivo se optó por la generación sistemática de texturas superficiales, a partir de cuerpos geométricos tridimensionales, destinadas a ser evaluadas en laboratorio.

El presente estudio nos ha permitido obtener una serie de conclusiones que esperamos nos ayuden a demostrar la validez de axioma enunciado, es decir la relación que existe entre la atenuación acústica y la geometría superficial.

Tras una minucioso examen de los resultados obtenidos, al ensayar los modelos a escala, diseñados para este trabajo de investigación, se puede considerar probado que relación que existe relación entre la atenuación acústica y la geometría superficial, por lo que queda probado el axioma: “el uso efectivo de la forma puede mejorar la función” y que por tanto debería ser tenido en cuenta en el diseño de las pantallas acústicas.

Tal y como se ha expuesto previamente, en el diseño de nuevos productos cualquiera que fuera la índole de estos, inciden variables muy distintas, cuyo manejo técnico es responsabilidad específica del Diseño [3], a saber:

- **Pragmáticas:** aquellas que se refieren a la utilidad (funciones de uso) y a los aspectos ergonómicos (adaptación a las condiciones físicas y psíquicas del usuario).
- **Simbólicas:** aquellas que se refieren a los valores y códigos estéticos y culturales.
- **Tecnológicas:** aquellas que se refieren a la resolución técnica y constructiva y a los procesos de producción.

Atendiendo a estas tres variables podríamos concluir diciendo:

En base a la variable pragmática, la atenuación acústica tiene una marcada relación con la geometría de la textura superficial de la pantalla antirruído, en concreto en la cara interna de la misma, aquella que está expuesta de manera directa a las ondas acústicas, y que es la que de manera efectiva ejerce la función principal de la acción anti-ruido.

La variable tecnológica, no ha sido evaluada en el presente estudio, por lo tanto sería aventurado emitir conclusiones relativas a esta variable. Cabe mencionar, desde el punto de vista de viabilidad tecnológica, que si atendemos a la evaluación realizada y entendiendo que el volumen está relacionado directamente con la cantidad de material que se ha de emplear para la fabricación de los motivos elementales, podemos observar como el motivo elemental más eficiente desde este punto de vista funcional es el motivo elemental 13, Cono recto radio 100mm troncado adición regular (MOT.EL/13). Por lo podemos asegurar que la geometría incide en la eficiencia de la pantalla, permitiéndonos generar texturas más eficientes con menor gasto de material.

5.1.- DETERMINACIÓN DE LA GEOMETRÍA MÁS EFECTIVA EN LA ATENUACIÓN ACÚSTICA

En un primer acercamiento a la hipótesis, en base a la acústica arquitectónica, se pensó que las geometrías basadas en cuerpos paraboloides serían las que mejor funcionarían; por lo que se generaron mayor número de motivos elementales basados en esta geometría. Para la obtención de resultados concluyentes, se ha utilizado la metodología de evaluación multicriterio, siendo los criterios de evaluación, las diferentes frecuencias de sonido emitidas frente a los modelos a escala. La técnica elegida para la evaluación, es una técnica de decisión cualitativa, técnica en la cual se mide el grado de satisfacción de los distintos criterios en una escala ordinal. A la luz de los resultados obtenidos podemos concluir afirmado que el motivo elemental más eficiente es el motivo elemental 13, Cono recto radio 100mm truncado adición regular (MOT.EL/13). Hay que destacar que dicho motivo, no ha sido para ninguna de las frecuencias estudiadas ni el más eficiente, ni tampoco el peor frente a la atenuación del sonido.

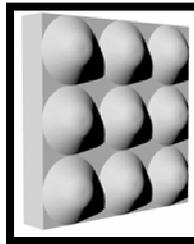


Figura 5-1: Motivo elemental 13, Cono recto radio 100mm truncado adición regular (5.2.1.2.1). Motivo elemental más eficiente frente a todas las frecuencias emitidas.

5.2.- RELACIÓN ENTRE GEOMETRÍA SUPERFICIAL Y FRECUENCIA DE SONIDO.

Tras evaluación de los resultados relacionan frecuencia del sonido y geometría superficial, partiendo de elementos geoméricamente descriptibles. Podemos generar las siguientes conclusiones:

1. Para la frecuencia de **63Hz** la información obtenida, nos arroja el siguiente resultado: es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental 12**, Cono recto radio 100mm truncado sustracción regular, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 9,2dB.

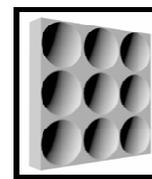


Figura 5-2: Motivo elemental 12.

2. Para la frecuencia **100Hz**, es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental 02**, Hexaedro adición regular, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 9,5 dBA.

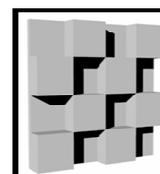


Figura 5-3: Motivo elemental 02.

3. Para la frecuencia de **160Hz**, es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental 12**, Hexaedro adición regular, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 13,4dB.

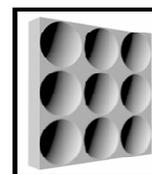


Figura 5-4: Motivo elemental 12.

4. Para la frecuencia de **250Hz**, es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental 10**, Cono recto sustracción regular, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 25,3dB.

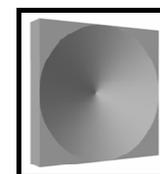


Figura 5-5: Motivo elemental 10.

5. Para la frecuencia de **400Hz**, es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental básico, 01**, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 10dB.



Figura 5-6: Motivo elemental 01.

6. Para la frecuencia de **630Hz**, es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental 05**, Prisma triangular adición regular, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 4dB.



7. Para la frecuencia de **1000Hz**, es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental 20**, Paraboloide, radio 460mm, sustracción regular, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 10,2 dB.

Figura 5-7: Motivo elemental 05.



Figura 5-8: Motivo elemental 20.

8. Para la frecuencia de **1500Hz**, la pantalla más efectiva Es el material de soporte, denominado **00**, el cartón pluma, con una atenuación de 17,1dB. Si descartamos la información recabada en los ensayos sobre este material, ya que se utilizó como experiencia piloto, podemos determinar que la variabilidad de los datos es relativamente pequeña encontrándonos con la máxima atenuación de 13,4, producida por el **motivo elemental 16**, Súper-esfera seccionada adición regular.
9. Para la frecuencia de **2000Hz**, es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental básico 01**, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 13,3dB.



Figura 5-9: Motivo elemental 16.



Figura 5-10: Motivo elemental 01.

10. Para la frecuencia de **3000Hz**, es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental 21**, Paraboloide, radio 142mm, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 19,8dBA.

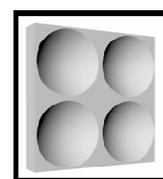


Figura 5-11: Motivo elemental 21.

11. Para la frecuencia de **4000Hz**, es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental 23**, Paraboloide, radio 107mm, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 20,5dB.

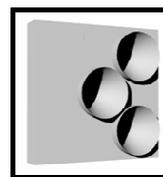


Figura 5-12: Motivo elemental 23.

12. Para la frecuencia de **5000Hz**, es la pantalla constituida a partir del **motivo elemental 12**, Cono recto radio 100mm troncado sustracción regular, la que mejor atenúa el sonido, con una atenuación de 25,5dB.

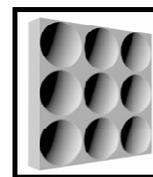


Figura 5-4: Motivo elemental 12

6.- BIBLIOGRAFIA.

- [1] STADT KÖLN, (2003). *Das Wanderungsgeschehen in Köln. Auswertung der Wanderungsmotivuntersuchung 2002 und aktueller Wanderungsstatistiken im Rahmen des Wohnungsgesamtplans 2003* [en línea]. Kölner Statistische Nachrichten 2003 Nr. 9. [Consulta: 7 mayo 2012]. Disponible en Web: <<http://www.demografie-und-raum.nrw.de/download/wmu-koeln-2003.pdf>>
- [2] 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.
- [3] Pibernat, Oriol (1986). *El diseño en la empresa*. INFE. Madrid.
- [4] ABAD, L., MAGRO, R., MORENO, M. de la O, SERRANO, M. (2010) *Diseño de una maqueta para medidas de atenuación de ruido en tráfico rodado*. Tecnol@ y desarrollo/Medioambiente y desarrollo, (2010) ISSN 1696-8085.
- [5] SERRANO, M., ABAD, L., COLORADO, D., MAGRO, R., MORENO, M. (2010). *Estudio de difracción en el borde de las pantallas acústicas. Variación de la eficacia de la pantalla en función de su sección transversal. La tipología de las pantallas acústicas*. Conama 10. Madrid, 22 al 26 de noviembre de 2010.
- [6] 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.
- [7] COLORADO, D., ABAD, L. COUCEIRO, L., GARCÍA, T., MAGRO, R. (2010) *Pantallas de hormigón con perlas de poliuretano expandido: Comparativa de atenuación acústica*. Tecnol@ y Desarrollo. Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Volumen VII año 2010. ISSN 1696-8085

- [8] COLORADO, D., ABAD, L., COUCEIRO, L., GARCÍA, T., MAGRO, R., SERRANO, M. (2010) *Atenuación acústica en hormigón con perlas de poliuretano expandido*. Tecniacústica León 2010 ISBN: 978-84-87985-19-5. Número especial de la Revista de Acústica Vol. 41
- [9] COLORADO, D., ABAD, L., CRUCEIRO, L., GARCÍA, T., SERRANO, M., MORENO, M. (2010) *Atenuación acústica del hormigón en función de la frecuencia de ruido*. Conama 2010. (Madrid, 22 al 26 de noviembre de 2010)
- [10] 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
- [11] SUTTON, D. (2005). *Sólidos platónicos y arquimedianos*. Oniro S.A. ISBN 84-9754-131-6.
- [12] SEGUÉS ECHAZARRETA, F. (2007). Conceptos básicos del ruido ambiental [en línea]. [Consulta: 13 enero 2010] Disponible en Web: <http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/acustica>
- [13] GARCÍA MELÓN, M. , CLOQUELL BALLESTER, V. (2001) *Metodología del Diseño Industrial*. Ed. UPV. Valencia, 2001 ISBN 84-9705-024-X

7.-AGRADECIMIENTOS.

La información que aquí se recoge son los resultados de la investigación que se ha desarrollando en el marco de tres proyectos de investigación financiados por el Banco Santander / Fundación Universidad Alfonso X el Sabio, con los Nombres:

“Morfología de las pantallas acústicas. Estudios de difracción en el borde de la pantalla”,

“Estudios de los factores asociados a la atenuación del sonido mediante barreras acústicas: densidades y espesores variables en pantallas de hormigón. Difracción en el borde superior de las pantallas y estudios morfológicos en pantallas acústicas dispersas mediante redes modulares”.

“Aplicación de las pantallas tubulares a la creación de pantallas sumidero para la implementación en el diseño y modelización de la función de atenuación acústica y su aplicación en obra civil”.