

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Ingeniería Acústica

---



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

# ESTUDIO DE PANTALLAS ACÚSTICAS ELABORADAS A PARTIR DE GREEN COMPOSITES

*TESIS DE MASTER*

Autor:

*René Alejandro Quirós Rodríguez*

Director/es:

*D Jesús Alba Fernández*

*D. Romina del Rey Tormos*

*GANDIA, 2013*

# Estudio de pantallas acústicas elaboradas a partir de Green Composites

*Autor:* René Alejandro Quirós Rodríguez

*Director1:* Jesús Alba Fernández

*Director2:* Romina del Rey Tormos

## **RESUMEN**

En esta época de concienciación por el medio ambiente en la cual ciudadanos, empresas u organizaciones toman prestigio por realizar sus actividades sin contaminar o dañar el medio ambiente, es importante la investigación de nuevos materiales ecológicos para diferentes usos.

El mundo de la acústica no escapa de este sentir y por eso se realizan diversos estudios para reemplazar los materiales convencionales por materiales ecológicos.

Nuestro estudio se centra en materiales ecológicos para pantallas acústicas. Las pantallas acústicas son la solución más usual a los problemas de ruido ocasionados por el tráfico. Debido a esto, se plantea colocar miles de kilómetros de pantallas acústicas en las carreteras de España y gran parte de países de la Unión Europea despertando el interés de utilizar materiales ecológicos para su construcción, tanto en el material absorbente que va dentro de las pantallas como en la superficie de esta.

Para poder utilizar estos materiales en la construcción de las pantallas acústicas, debemos conocer su comportamiento frente a la presión sonora. Es necesario poder clasificar los materiales como materiales absorbentes del sonido o materiales impermeables al sonido. Nosotros nos centraremos en caracterizar su comportamiento acústico, midiendo coeficiente de absorción, pérdida por transmisión y la absorción sonora de diversos materiales ecológicos para poder estudiar su uso en la construcción de las pantallas acústicas.

## **ABSTRACT**

In this age of environmental awareness in which citizens, companies or organizations take prestige by making their activities without polluting or damaging the environment, it is important to research on new organic materials for different uses.

The world of acoustics does not escape this feeling and so studies are performed to replace conventional materials for organic materials.

Our study focuses on eco-friendly materials for noise barriers. The noise barriers are the most common solution to the problems caused by traffic noise. Because of this, it considers to place thousands of kilometers of noise barriers on roads in Spain and in great part of the European Union countries attracting the interest of using green materials for its construction as much as in the absorbent material that goes into the screens as on its surface.

In order to use these materials in the construction of noise barriers, we must know their behavior regarding sound pressure. It is necessary to classify materials as sound-absorbing materials and sound-porous materials. We focus on characterizing their acoustic behavior, measuring absorption coefficient, transmission loss and sound absorption of various organic materials in order to study its use in the construction of noise barriers.

Autor: René Alejandro Quirós Rodríguez, email: renequir@hotmail.com

Fecha de entrega: 5-7-2013

**ÍNDICE**

<b>1. Introducción.....</b>	<b>3</b>
1.1 Introducción .....	3
1.2 Objetivos .....	3
1.3 Estructura de la tesina .....	4
<b>2. Fundamentos teóricos .....</b>	<b>4</b>
2.1 Composite .....	5
Definición.....	5
2.2 Pantallas acústicas .....	5
Definición.....	5
Tipos de pantallas acústicas .....	6
2.3 Norma de ensayo: une-en iso 354:2004. medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. ....	11
<b>3. Desarrollo de la tesina.....</b>	<b>12</b>
3.1 Estudio de diversos green composites.....	12
3.2 Coeficiente de absorción en cámara reverberante. ....	17
3.2.1 Equipo utilizado .....	18
3.2.2 Medida de solo el absorbente .....	19
3.2.3 Green composite.....	21
3.2.4 Estudio de los perforados .....	23
3.2.5 Perforado del green composite .....	26
<b>4. Conclusiones y líneas futuras .....</b>	<b>28</b>
4.1 Conclusión.....	28
4.2 Líneas futuras .....	29
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>30</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>31</b>
<b>Anexo .....</b>	<b>32</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

### *1.1 INTRODUCCIÓN*

Vivimos en una época en la cual se empieza a tomar conciencia del daño que le causamos a nuestro planeta, por esta razón muchas empresas y sociedad en general empiezan a buscar la forma de reducir la contaminación que conlleva nuestro estilo de vida.

Aunque existen datos de la preocupación por la contaminación acústica desde la época de los romanos, es un problema que se ha empezado a tratar desde hace poco y aún existen muchos países donde esto no es considerado problema. Lo cual es muy preocupante considerando que la OMS (Organización Mundial de la Salud) la considera una amenaza para la salud pública [1]. Dentro de las diferentes fuentes de contaminación acústica, la que más molestia ocasiona es el ruido generado por el tráfico [2], siendo las pantallas acústicas el principal método de control.

La Unión Europea ha exigido planes de acción que tienen por objeto afrontar las cuestiones relativas al ruido y a sus efectos. Dentro de estos planes de acción están la de colocar pantallas acústicas en las carreteras con un total de 534 km como podemos ver en el Anexo más detalladamente.

Debido a este gran desarrollo en pantallas acústicas, surge el interés de poder utilizar materiales reciclados o ecológicos para su construcción. Así podríamos reducir la contaminación acústica, con materiales que a su vez, reducen la contaminación ambiental lo cual sería ideal. Por esto, el objetivo de esta tesina es aportar nuestro granito de arena para la conservación del medio ambiente, dando a las pantallas acústicas un doble valor medioambiental.

Esta Tesina se ubica dentro del proyecto I+D para Grupos de Investigación Emergentes (GV/2012), de la Generalitat Valenciana, “Soluciones al ruido del tráfico rodado a partir de eco-materiales de bajo coste”.

### *1.2 OBJETIVOS*

El principal objetivo de este trabajo es el estudio y caracterización de materiales composites a base de fibras naturales para su uso en Pantallas Acústicas. Además, estudiar el comportamiento de estos Green-composites como panel perforado para su aplicación como elemento reductor del ruido.

Expuesto el objetivo principal, detallamos más concretamente las tareas que se realizarán:

1. Caracterización acústica del Green Composite en incidencia normal. Realizar ensayos del coeficiente de absorción en incidencia normal de las diferentes muestras de los Green composites según la Norma UNE EN ISO 10534-2. [3]
2. Realizar ensayos de pérdidas por transmisión de las diferentes muestras.
3. Caracterización acústica y optimización del perforado en incidencia normal. Perforar las muestras y realizar ensayos del coeficiente de absorción en incidencia normal según la Norma UNE EN ISO 10534-2. [3]
4. Estudio de la absorción acústica en incidencia aleatoria del Green Composite. Una vez escogido un Green composite, obtener el coeficiente de absorción según la Norma UNE-EN-ISO 354:2004 [4], utilizando la Cámara reverberante a escala de la UPV Gandía.
5. Caracterización acústica y optimización del perforado en incidencia aleatoria. Estudiar las propiedades del perforado en placas de metal para escoger un perforado y realizárselo al Green composite.
6. Obtener el coeficiente de absorción del Green composite perforado según la Norma UNE-EN-ISO 354:2004. [4]

### *1.3 ESTRUCTURA DE LA TESINA*

La Tesina cuenta con cuatro apartados:

1. INTRODUCCIÓN; se enuncia la importancia de esta tesina, los objetivos a cumplir y la estructura de la tesina.
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS; se explica lo que es un Green composite y pantallas acústicas, haciendo una clasificación de los diferentes tipos de pantallas acústicas que existen según su material de construcción. También, se expone un breve resumen de las distintas normas que fueron utilizadas.
3. DESARROLLO DE LA TESINA; se explican los estudios realizados y sus resultados. Exponiendo el proceso de selección de un Green composite para después pasar a realizar el estudio de este en la cámara reverberante. Además, se realiza el estudio de diversos perforados para así decidir cuál realizarle al Green composite.
4. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS; por último, se especifican las conclusiones a las cuales se ha llegado tras el desarrollo de la tesina, y se proponen líneas futuras de investigación.

## **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Las pantallas acústicas que se presentan en este trabajo son elaboradas a partir de Green Composites. Se estudian distintas configuraciones con este tipo de pantallas, evaluando la

influencia del perforado en el valor de la absorción sonora. Los ensayos realizados siguen directrices de medición Europea. En este apartado se detallan cada uno de los anteriores aspectos.

## 2.1 *COMPOSITE*

### *DEFINICIÓN*

Los composites o resinas compuestas son materiales sintéticos que están mezclados heterogéneamente y que forman un compuesto, como su nombre indica. Están compuestos por moléculas de elementos variados. Estos componentes pueden ser de dos tipos: de cohesión y de refuerzo. Los componentes de cohesión envuelven y unen los componentes de refuerzo (o simplemente refuerzos) manteniendo la rigidez y la posición de éstos. Los refuerzos confieren unas propiedades físicas al conjunto tal que mejoran las propiedades de cohesión y rigidez. Así, esta combinación de materiales le da al compuesto unas propiedades mecánicas notablemente superiores a las de las materias primas de las que procede. Tales moléculas suelen formar estructuras muy resistentes y livianas; por este motivo se utilizan desde mediados del siglo XX en los más variados campos: aeronáutica, fabricación de prótesis, astro y cosmonáutica, ingeniería naval, ingeniería civil, artículos de campismo, etc. [5]

El Composite utilizado para la elaboración de las pantallas que se presentan en este trabajo, ha sido elaborado por Sicomin Composites. El material es el GreenPoxy 55 [6], su nombre se debe a que un 55% de su estructura molecular es originaria de plantas, por lo tanto, el composite utilizado es un Green-Composite, con todas las ventajas que éstos aportan desde el punto de vista medioambiental.

## 2.2 *PANTALLAS ACÚSTICAS*

### *DEFINICIÓN*

Cualquier obstáculo sólido que impida o disminuya la transmisión del sonido entre la fuente y el receptor puede ser considerado pantalla o barrera acústica. Acústicamente opera reflejando gran parte de la energía que le incide, absorbiendo una fracción y difractando el resto.

Las barreras acústicas actúan con respecto a la onda incidente difractándola de tal forma que proporcionan diferentes atenuaciones a diferentes frecuencias y crean una zona de sombra acústica como se puede apreciar en la Fig. 1. [7]

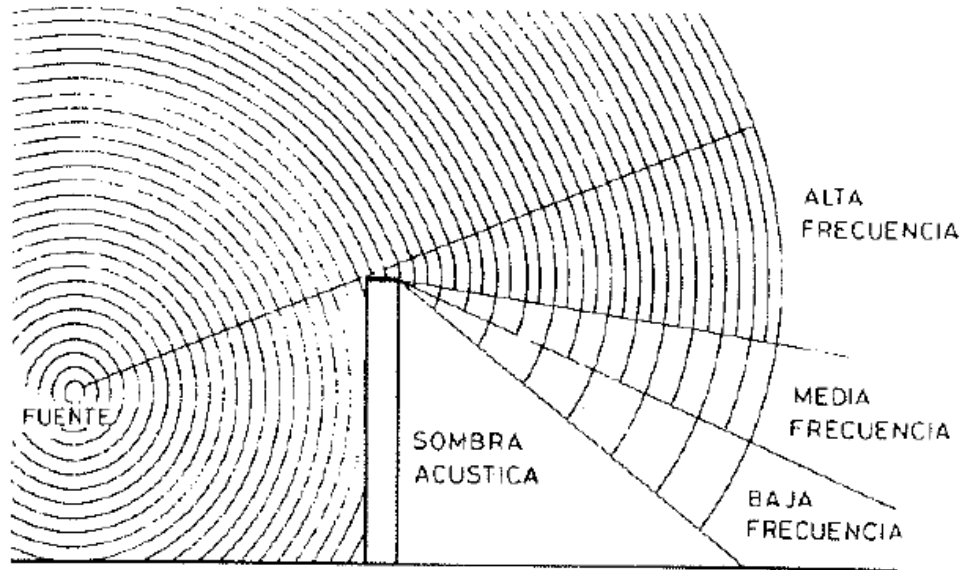


Fig. 1. Efecto de las pantallas acústicas. [7]

Cabe destacar, que las barreras acústicas proporcionan mayor atenuación a mayor frecuencia. La atenuación sonora proporcionada por las barreras acústicas para una fuente sonora de una potencia determinada es función de cinco parámetros fundamentales:

- Dimensiones de la barrera.
- Situación relativa receptor-emisor.
- Espectro sonoro del ruido.
- Material de construcción de la barrera.
- Características acústicas del lugar donde se instala.

En el estudio que nos ocupa, nos centramos en el material de construcción de la barrera.

### *TIPOS DE PANTALLAS ACÚSTICAS*

En términos generales existen tres tipos de pantallas acústicas, reflectantes, absorbentes y reactivas. Normalmente se seleccionan por motivos acústicos pero esta selección también influirá en su apariencia.

Las barreras con absorción del sonido contienen un elemento poroso que absorbe el ruido. Este material poroso puede formar la superficie de la barrera o pueden estar protegidos y encerrados dentro de la pantalla, en este caso el lado que mira hacia el ruido es perforado.

Por último, las barreras reactivas son aquellas que son diseñadas para atenuar frecuencias en particular por medio de la incorporación de cavidades o resonadores. [8]

### *PANTALLAS ACÚSTICAS DE TIERRA*

Son montículos de tierra muy utilizados en autopistas, carreteras en zonas rurales, semirurales.

Ubicándolos apropiadamente, tienen ciertas ventajas sobre otros tipos de pantallas contra el ruido como:

- Tienen un aspecto “natural” y puede que no parezcan pantallas acústicas en lo absoluto.
- Pueden crear una sensación de amplitud, en contraste con las pantallas verticales.
- Normalmente no requieren barreras de seguridad adicionales.
- Dependiendo del exceso de material en la construcción puede costar menos.
- Puede ser menos costosa de mantener.
- Por lo general, tienen una vida útil ilimitada. [8]



Fig.2. Pantalla Acústica de tierra [8]

### *PANTALLAS ACÚSTICAS DE HORMIGÓN*

Según el tipo de módulo prefabricado que se seleccione, este tipo de pantallas pueden ser reflectantes o absorbentes. [9]

Reflectantes, permiten soluciones arquitectónicas con una adecuada estética. Si la obra a realizar es de gran magnitud, es frecuente la realización de diseños especiales que confieren un carácter arquitectónico diferenciador a la pantalla.

Absorbentes, hay básicamente dos tipos, que se pueden categorizar como barreras de hormigón con fibras de madera y barreras de hormigón granulado. Usualmente los paneles son de 4 a 5 metros de altura y con un espesor de 140-190 mm, dependiendo de si son de absorción



en uno o ambos lados. En paneles de una sola cara de absorción, aproximadamente dos tercios de la anchura del panel es de absorción mientras que el tercio posterior es concreto sólido.

La superficie absorbente es por lo general perfilada, con el fin de aumentar el área de absorción. Estos perfiles pueden ser dispuestos verticalmente como horizontalmente.

#### Ventajas

- Buen aislamiento
- Fácil mantenimiento
- Gran durabilidad

#### Desventajas

- Obstaculización de la visión
- Poca absorción
- Mucha rigidez a impacto de vehículos



Fig.3. Pantalla de hormigón con fibras de madera. [8]

### *PANTALLAS ACÚSTICAS CON MÓDULOS METÁLICOS*

Las pantallas acústicas metálicas, suelen ser altamente absorbentes y están constituidas por paneles modulares metálicos con un material absorbente acústico en su interior.

Los paneles, tienen la doble función de aislamiento y absorción acústica, y están constituidos por una carcasa realizada con chapa plegada de acero o de aluminio y en su interior lleva el material absorbente que tradicionalmente ha sido lana mineral, utilizable en condiciones de saturación de humedad con un velo protector de agua y erosión eólica.

Este tipo de barreras, usualmente son diseñadas usando un metal perforado en la cara del frente, usando las propiedades del resonador de Helmholtz . [9]

Un resonador de Helmholtz nos permite seleccionar ciertas frecuencias donde se produce la absorción máxima. Esta frecuencia es la frecuencia de resonancia del sistema perforado y por lo tanto dependerá de los diámetros de perforado, del porcentaje (%) de superficie perforada, la distribución de los mismos, etc.

La elaboración del perforado de todos los paneles, y en concreto, de pantallas acústicas, se basa en ecuaciones simples que describen el comportamiento del resonador de Helmholtz. A continuación se describen las ecuaciones.

$$f_o = 5480 \sqrt{\frac{S}{D'V}} \quad (1)$$

$$f_o = 5480 \sqrt{\frac{p}{D'd}} \quad (2)$$

Donde,

S=Suma de las secciones transversales de los orificios ( $cm^2$ )

D'= longitud efectiva de los orificios (cm)

V= Volumen de la cavidad ( $cm^3$ )

$$D' = D + 1.6 a \quad (3)$$

$$p = \frac{\pi a^2}{D_1 D_2} \quad (4)$$

d = distancia de la base al panel.

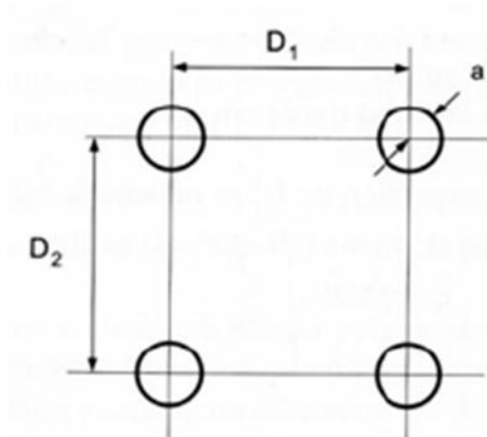


Fig.4. Perforado del panel

Este tipo de pantallas, pantallas perforadas, se clasifican como pantallas absorbentes o muy absorbentes.

**Ventajas**

- Poca reflexión
- Fácil mantenimiento y reposición
- Buen comportamiento a impacto de vehículos

**Desventajas**

- Obstaculización de la visión
- Vida media moderada
- Poca resistencia al vandalismo



Fig.5. Pantalla acústica de metal perforado. [8]

***PANTALLAS ACÚSTICAS DE MADERA***

Estas pantallas pueden ser reflectantes o absorbentes, según lleven o no material absorbente.

En el caso de ser absorbentes, generalmente están constituidas por una carcasa de madera que alberga unas planchas de lana mineral. En ciertos diseños, el material absorbente va adosado directamente sobre la carcasa de madera y se protege con tratamientos endurecedores de su superficie que a la vez la conforman para darle un cierto relieve. Estas pantallas presentan unos elevados resultados de absorción acústica. [9]

**Ventajas**

- Posibilidad de alta absorción
- Gran integración en medio ambiente

**Desventajas**

- Alto costo de mantenimiento
- Alta sensibilidad al vandalismo
- Riesgo de fuego

***PANTALLAS ACÚSTICAS TRANSPARENTES***

Son pantallas reflectantes, desde el punto de vista acústico, y generalmente se emplea para su construcción planchas de policarbonato, poli metacrilato o vidrio.

Cada uno de estos materiales presenta diferentes características de resistencia mecánica y fragilidad, envejecimiento en intemperie y de riesgo para la seguridad vial. [9]

## Ventajas

- Gran permeabilidad visual
- Buena apariencia estética
- Posibilidad de curvar

## Desventajas

- Reflecta sonido
- Vida media moderada
- Riesgo de accidentes para la fauna
- Riego por el impacto de vehículos

En este trabajo, se considera la pantalla elaborada a partir del Green Composite, como una pantalla de módulos metálicos, considerando la clasificación anteriormente descrita. Estas pantallas, como ya se ha comentado, se consideran como absorbentes. Por lo tanto, será imprescindible conocer la absorción sonora de las distintas configuraciones.

### 2.3 NORMA DE ENSAYO: UNE-EN ISO 354:2004. MEDICIÓN DE LA ABSORCIÓN ACÚSTICA EN UNA CÁMARA REVERBERANTE.

La base de la caracterización acústica de los prototipos de pantalla que se presentan en esta Tesina es la absorción sonora. En las mediciones se ha seguido la Norma UNE-EN-ISO 354-2004 [4] para determinar el coeficiente de absorción. Dicha norma, nos establece dos métodos de medida de las curvas de caída de nivel. Hemos utilizado el método de la señal de ruido interrumpida, este método es el resultado de un proceso estadístico y es obligatorio promediar varios tiempos de reverberación. Por lo cual utilizamos 6 posiciones de micrófono por cada una de altavoz, utilizando 2 posiciones de altavoz, nos da un total de 12 posiciones diferentes.

Para obtener los tiempos de reverberación, se mide en la cámara reverberante a escala el tiempo de reverberación sin la muestra (T1) y con la muestra (T2). Los resultados, se expresan por la media aritmética de las mediciones para cada banda de frecuencias.

Una vez tenemos los tiempos de reverberación, obtenemos el área de absorción sonora equivalente ( $A_T$ ) mediante la fórmula:

$$A_T = 55.3 V \left( \frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) \quad (5)$$

Donde

V es el volumen, en metro cúbicos, de la cámara reverberante vacía;

$c_1$  es la velocidad de propagación del sonido en el aire a la temperatura t1;

$c_2$  es la velocidad de propagación del sonido en el aire a la temperatura t2;

$T_1$  es el tiempo de reverberación, en segundos, de la cámara reverberante vacía;

$T_2$  es el tiempo de reverberación, en segundos, de la cámara reverberante con la muestra de ensayo.

La velocidad de propagación del sonido en el aire,  $c$ , puede obtenerse, en el rango de 15° a 30° C, aplicando la ecuación

$$c = 331 + 0.6t \quad (6)$$

El coeficiente de absorción sonora  $\alpha_s$  se calcula mediante la fórmula:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad (7)$$

Donde

$A_T$  es el área de absorción sonora equivalente, en metros cuadrados;

$S$  es el área, en metros cuadrados, de la muestra de ensayo.

La cámara reverberante a escala utilizada ha sido diseñada y calibrada por miembros de la Escuela Politécnica Superior de Gandía de la Universidad Politécnica de Gandía. Los detalles de su diseño y calibración se pueden encontrar en [10] y [11]. La gran ventaja que presenta esta cámara, es que, debido a sus dimensiones, poco más de 1m<sup>3</sup>, la superficie de ensayo necesaria es de 0.3 m<sup>2</sup> frente a los 10-12 m<sup>2</sup> necesarios en cámara reverberante estandarizada. Esta reducción en el tamaño de la muestra de ensayo es esencial en estudios como el que se presenta en este trabajo, ya que permite una reducción de costes primordial en el mundo actual de la investigación.

### 3. DESARROLLO DE LA TESINA

#### 3.1 ESTUDIO DE DIVERSOS GREEN COMPOSITES

Al iniciar el estudio se contó con pequeñas muestras de diferentes Green composites los cuales están referenciados como: 1T1, 2T1, 3T1, 1T2, 2T2 y 3T2.

El primer número: 1, 2 y 3 se refiere al número de capas de las fibras.

El segundo número: 1 y 2 se refiere al tipo de fibra.

En la Fig.6 podemos observar el coeficiente de absorción en incidencia normal de las diferentes muestras obtenidas según la norma UNE EN ISO 10534-2. [3]

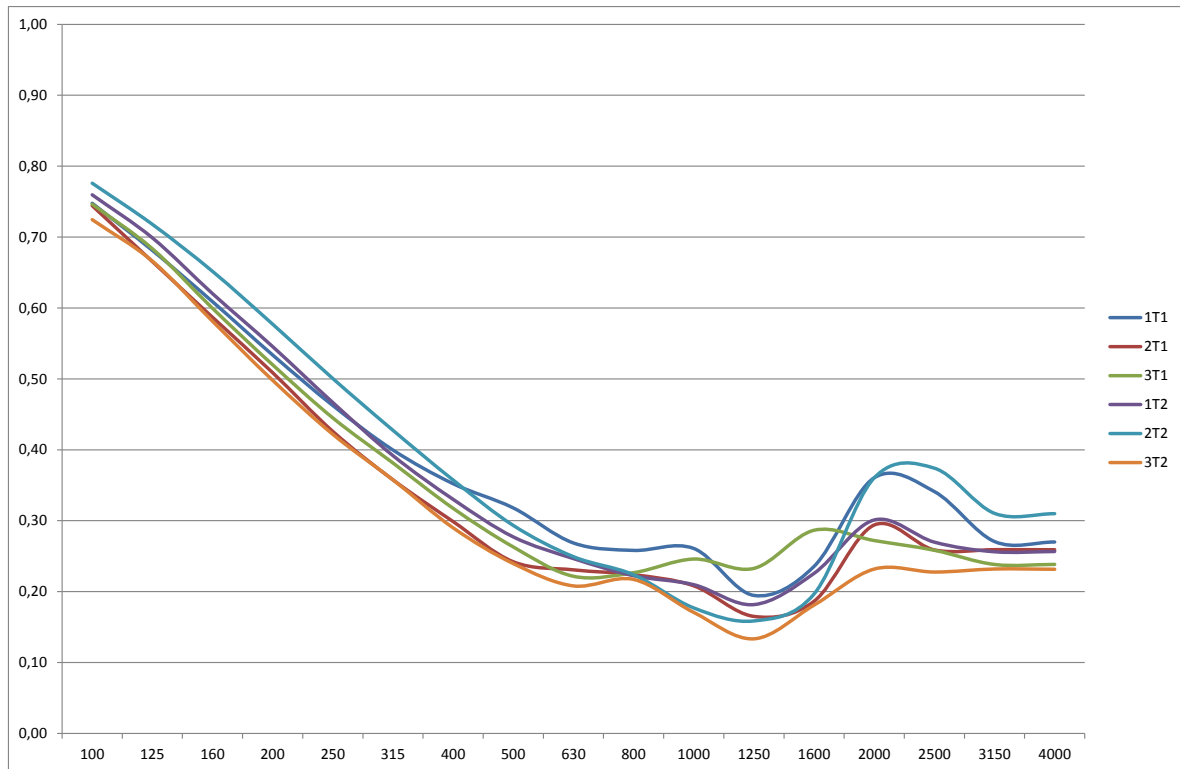


Fig. 6 Coeficiente de absorción de las diversas muestras

Estos ensayos se realizan sin cortar las muestras en su forma para el porta-muestras, debido a que esto es bastante complejo, solamente es posible con los composites de una sola capa. No se puede descartar que los altos valores del coeficiente de absorción a frecuencias bajas sean debido a la colocación de la muestra. Solamente consideramos la parte final de esta gráfica.

Si tomamos como referencia, por ejemplo los 2000 Hz en la Fig. 6, el composite con menor absorción acústica es 3T2, valores intermedios para 3T1, 1T2 y 1T1, y la mayor absorción la presentan 2T2 y 1T1.

Se realizaron ensayos de pérdida por transmisión (TL) de las diferentes muestras [12]. Este parámetro nos da una idea del aislamiento que presentan estos materiales, los resultados son los siguientes:

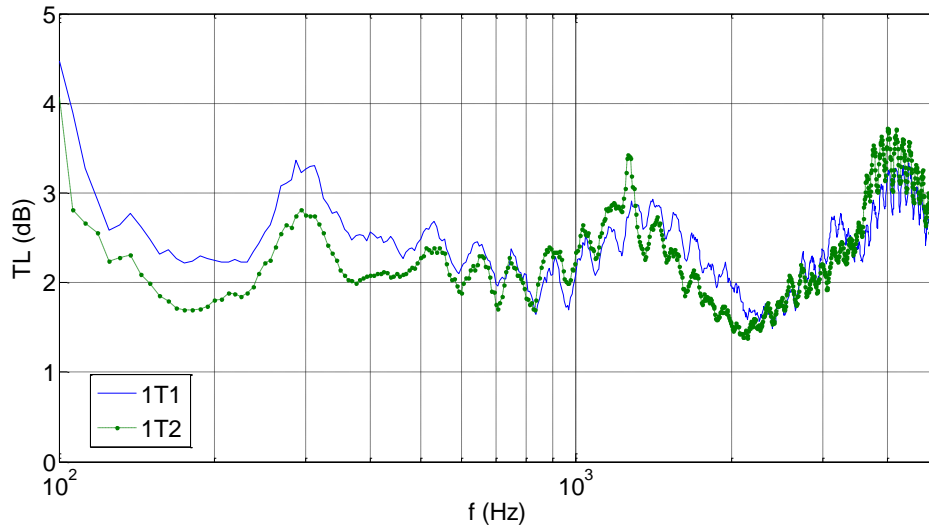


Fig.7. Perdida por transmisión de 1T1 y 1T2

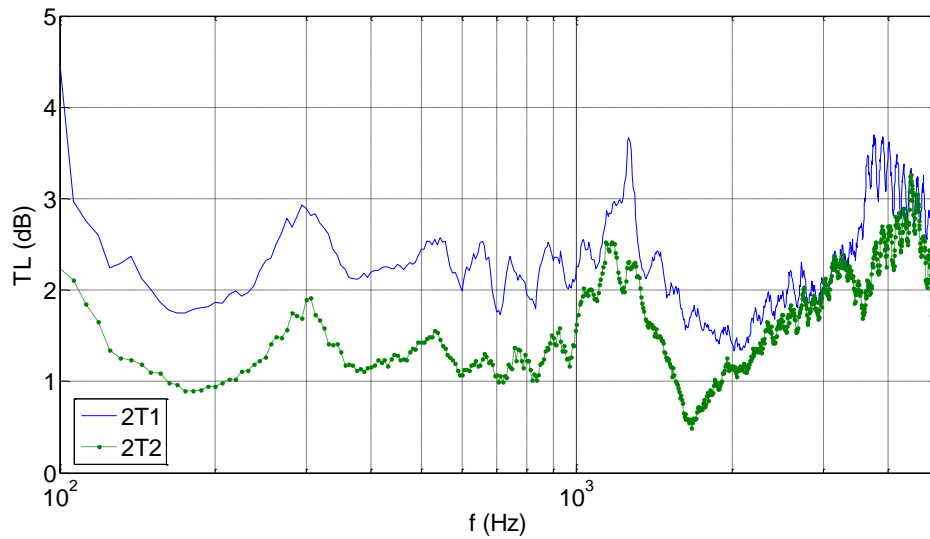


Fig.8. Perdida por transmisión de 2T1 y 2T2

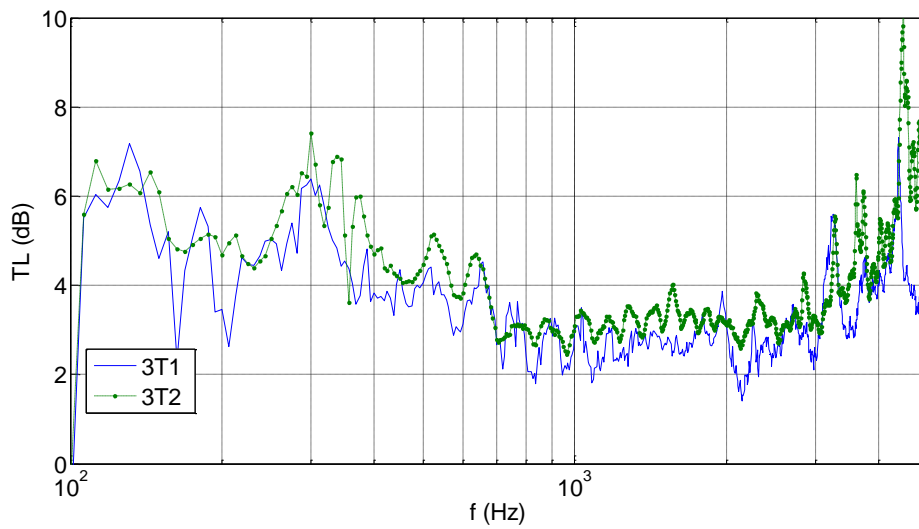


Fig.9. Perdida por transmisión de 3T1 y 3T2

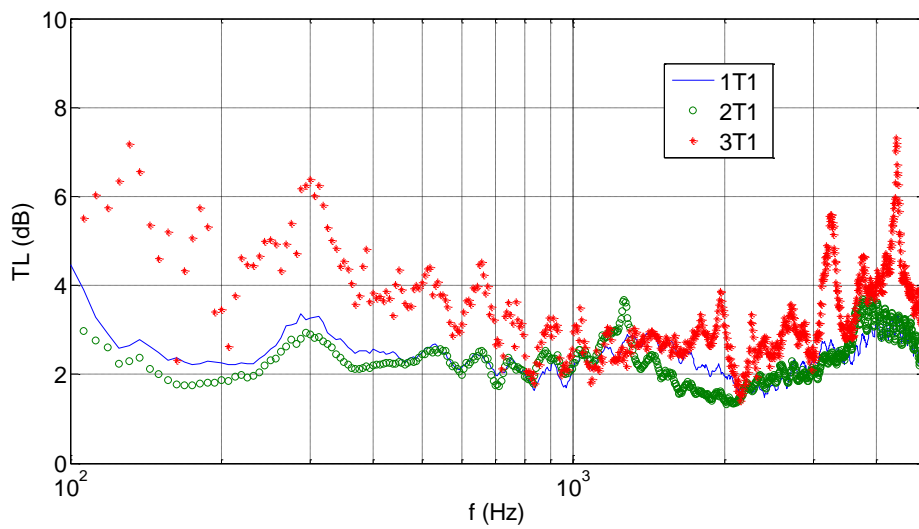


Fig.10. Perdida por transmisión de 1T1, 2T1 y 3T1

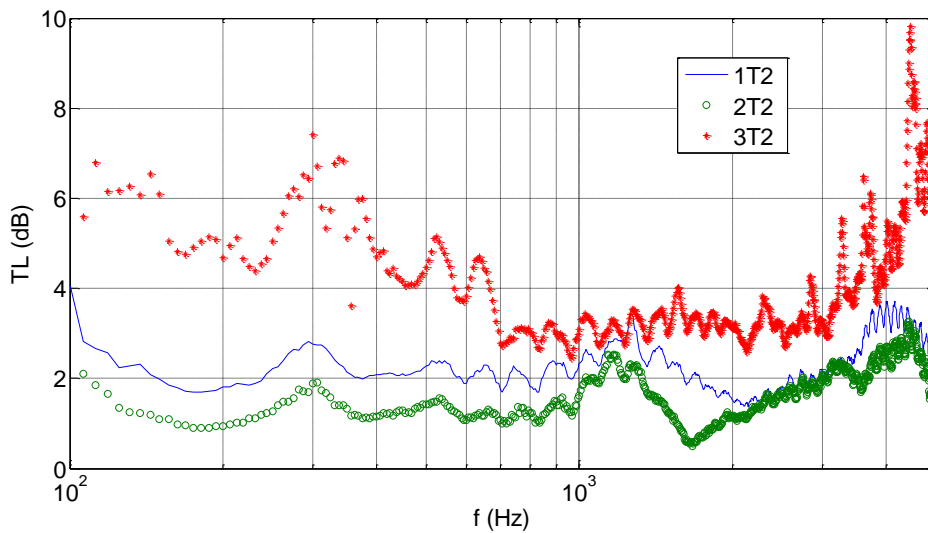


Fig.11. Perdida por transmisión de 1T2, 2T2 Y 3T2



Como conclusión del estudio de pérdida por transmisión (TL) tenemos que T1 es mejor que T2 para 1 y 2 capas, indiferente para 3 capas. Entre 1 y 2 capas se elige el de 1 capa.

Para estudiar la posibilidad de utilizar estos composites perforados y con absorbente, es necesario perforar. En vista de los resultados de TL y del coeficiente de absorción se propone perforar el 3T1 ya que presenta mayor valor de TL y 1T1 que es el más fácil de manipular y es el que mayor absorción presenta.

Se perfora un 9% de superficie y con perforación de 8mm de espesor 1T1 y 3T1. Se ensaya con plenum de 2cm, utilizando como absorbente PET reciclado [13] y con plenum de aire 2cm.

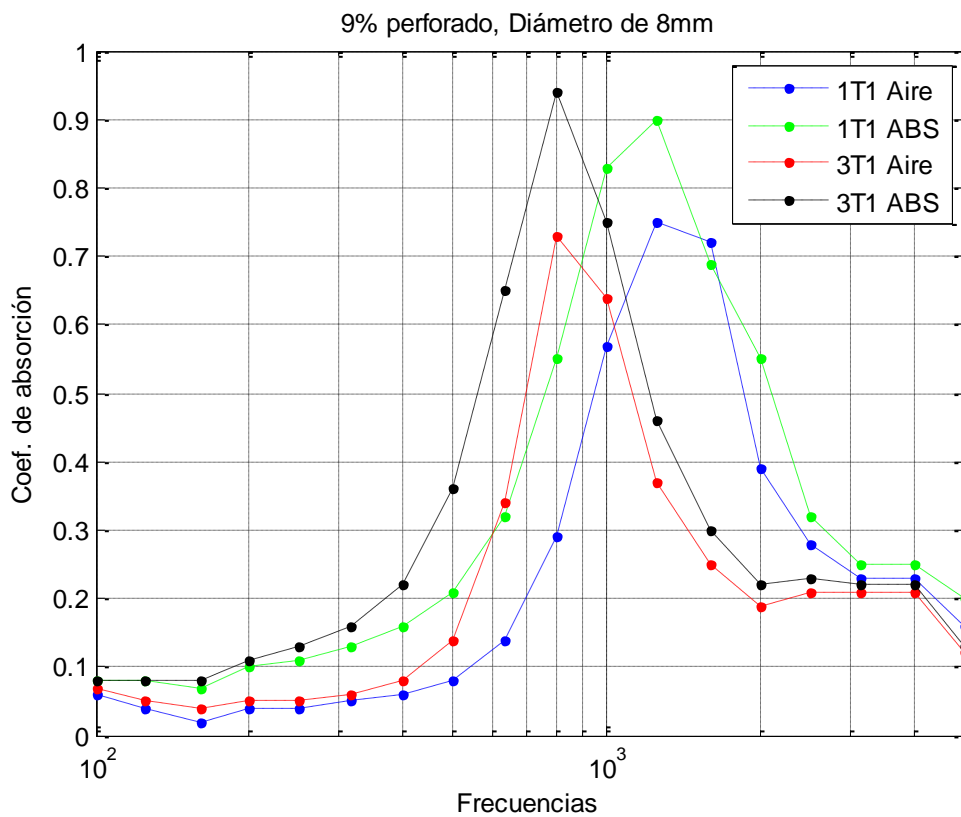


Fig.12. Coeficiente de absorción con perforación de 8mm

En la Fig.12 podemos observar que el 3T1 con absorbente (línea negra) es el que nos presenta un mayor coeficiente de absorción, se continúa el estudio con 3T1 utilizando un plenum de 4cm y las siguientes perforaciones.

Diámetros	Porcentaje perforado
8+4+2+2	6 (4,5+0,75+0,375+0,375)
8+6+3+3	8,5 (4,5+2+1+1)

Tabla 1: Perforados realizados

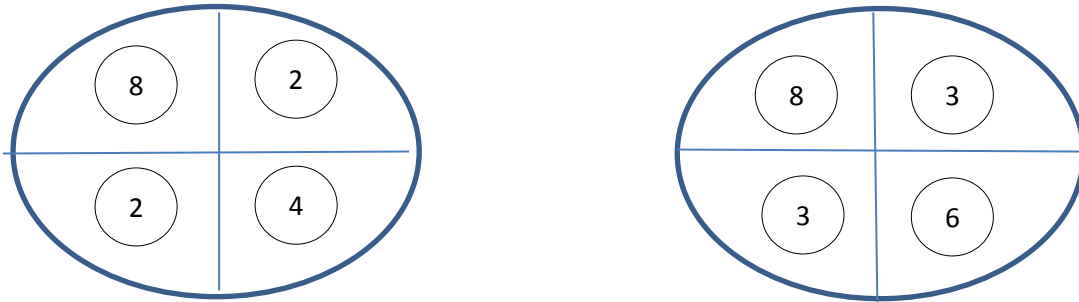


Fig.13. Perforados realizados

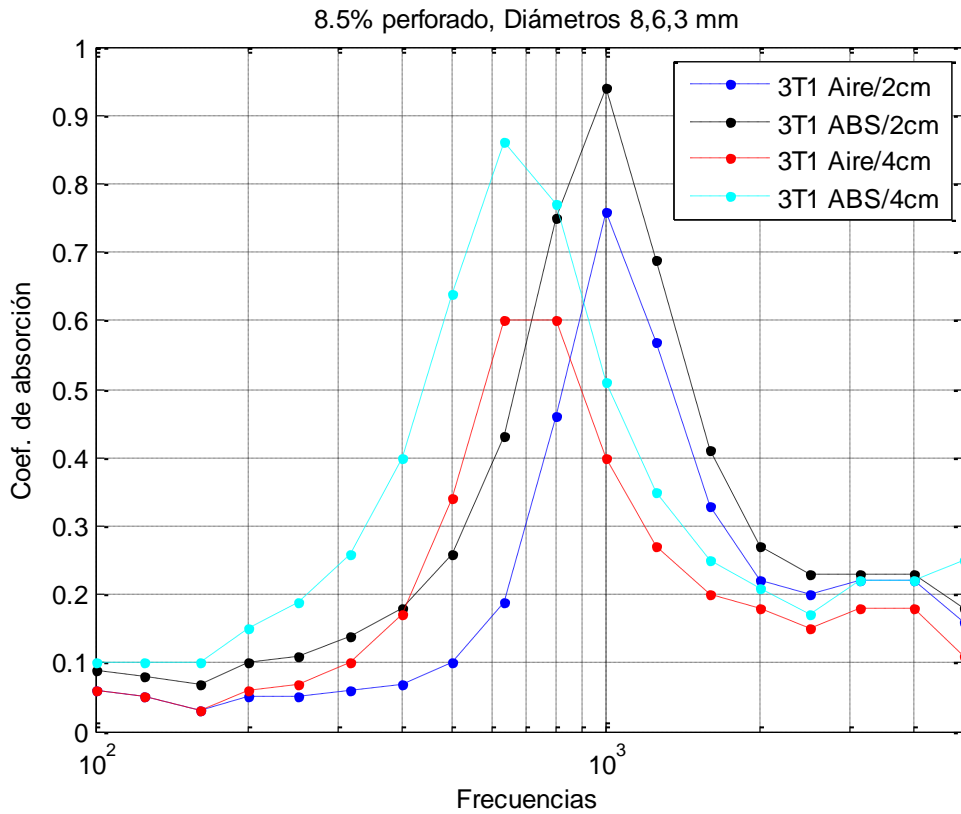


Fig.14. Coeficiente de absorción con perforación de 8,6 y 3mm

Se decide, a partir de los resultados en incidencia normal; coeficiente de absorción [3] y pérdidas por transmisión [12], que el Green Composite elegido para la fase de estudio en incidencia aleatoria es el 3T1.

### 3.2 COEFICIENTE DE ABSORCIÓN EN CÁMARA REVERBERANTE.

Una vez elegido el Green Composite, al estudiar su comportamiento en incidencia normal, se solicitaron 2 planchas de este material, 3T1. De esta forma, se ha reducido el coste tanto económico como temporal.

De las dos planchas del Green composite una se encontraba dañada por un problema en el secado de la resina, lo cual despertó el interés de, además de medir el coeficiente de absorción del Green Composite en buen estado, medir el que ahora llamaremos Green Composite dañado y comparar sus resultados.

Todas las mediciones se realizaron siguiendo la Norma UNE-EN-ISO 354 2004. [4]

Se estudian la absorción en cámara reverberante a escala de las planchas de Green-Composite, de material absorbente que utilizaremos en el interior de éstas, de distintos tipos de perforado, y de combinaciones de éstos. En la tabla 2 se detalla el orden de éstas medidas.

1. Absorbente (PET) de 2cm.
2. Absorbente (PET) de 4cm.
3. Green Composites con plenum de 2cm con absorbente.
4. Green Composites con plenum de 2cm sin absorbente (aire).
5. Green Composites con plenum de 4cm con absorbente.
6. Green Composites con plenum de 4cm sin absorbente (aire).
7. Placas de metal perforadas con plenum de 4cm. Perforado de 3mm de diámetro.
8. Placas de metal perforadas con plenum de 4cm. Perforado de 4mm de diámetro.
9. Placas de metal perforadas con plenum de 4cm. Perforado de 5mm de diámetro.
10. Placas de metal perforadas con plenum de 4cm. Perforado de 6mm de diámetro.
11. Placas de metal perforadas con plenum de 4cm. Perforado de diámetros combinados.
12. Green Composite dañado con perforado de 6mm y plenum de 4cm con absorbente.
13. Green Composite dañado con perforado de 6mm y plenum de 4cm sin absorbente (aire).

Tabla 2: Orden de las medidas realizadas

### 3.2.1 EQUIPO UTILIZADO

Para la realización de las medidas del tiempo de reverberación se utilizó:

1. Cámara reverberante a escala de la UPV Gandía.
2. Sonómetro tipo 1 de B&K modelo 2250.
2. Dos altavoces de Genelec modelo 8030.
4. Anemómetro.

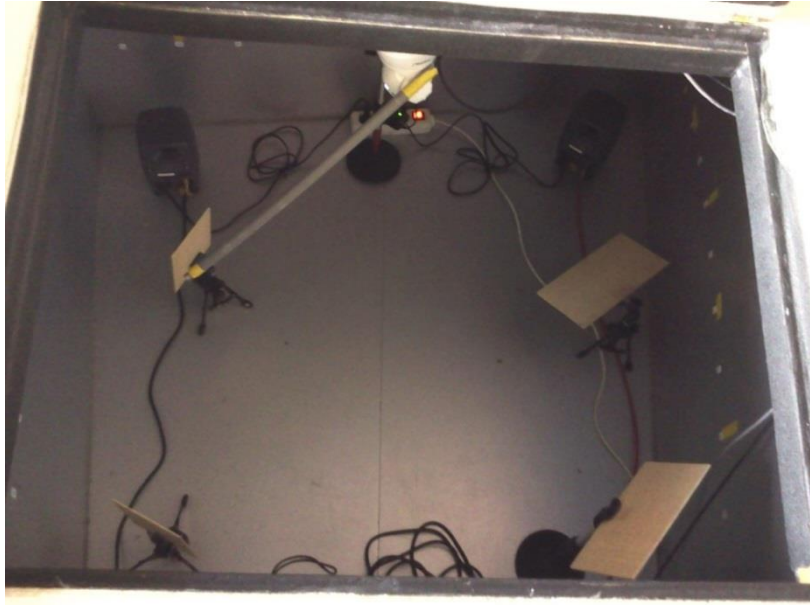


Fig.15. Cámara reverberante a escala de la UPV Gandía – Interior



Fig.16. Cámara reverberante a escala de la UPV Gandía - Exterior

### 3.2.2 *MEDIDA DE SOLO EL ABSORBENTE*

Medimos el coeficiente de absorción del absorbente (PET) de 2cm y 4cm. Con unas medidas de 0.5 m x 0.6 m.



Fig.17. Montaje para medir el coeficiente de absorción del absorbente

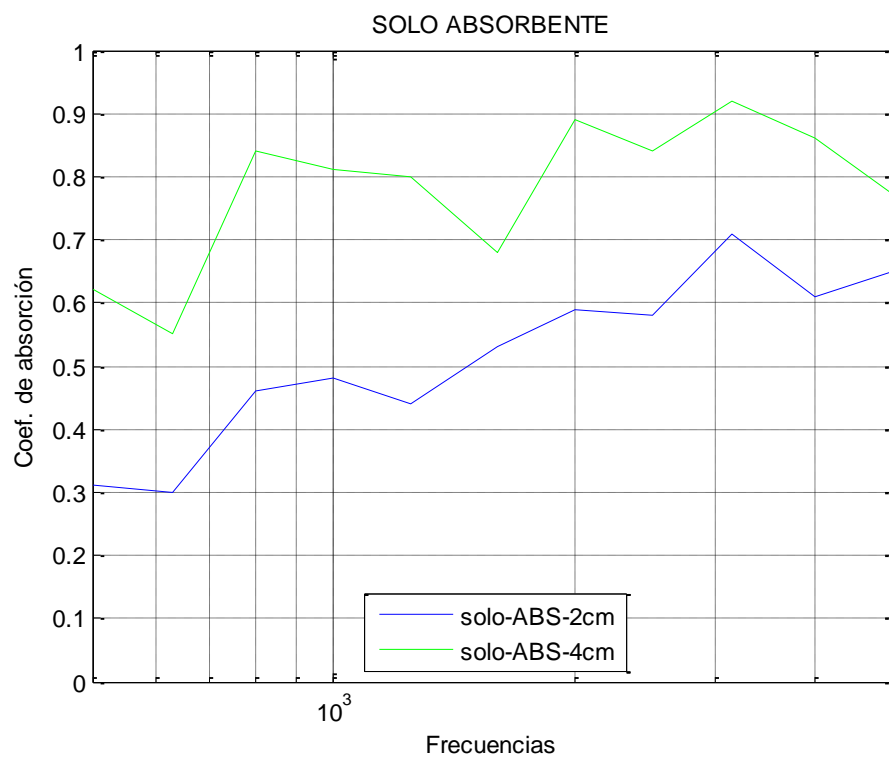


Fig.18. Coeficiente de absorción del absorbente de 2cm y 4cm

En la Fig.18 podemos observar como era de esperar, el de 4 cm nos da un mayor coeficiente de absorción.

### 3.2.3 GREEN COMPOSITE

Las planchas de Green Composite fueron cortadas para que cumplieran el tamaño de 0.6 m x 0.5 m, aprovechando la mayor cantidad de material posible y descartando el borde que no contaba con la resina, como podemos ver en la Fig. 19.



Fig.19. Green Composite antes de cortarlo

### *PLENUM DE 2CM*

En la Fig.21 podemos observar la comparación del coeficiente de absorción que presentan el Green Composite (GC) bueno y el dañado utilizando el absorbente y sin el absorbente. Se aprecia como el Green Composite con la resina dañada nos presenta un mejor coeficiente de absorción. En la Fig.20 se muestra una imagen de éste montaje.



Fig.20. Montaje para medir el coeficiente de absorción del Green Composite con plenum de 2cm.

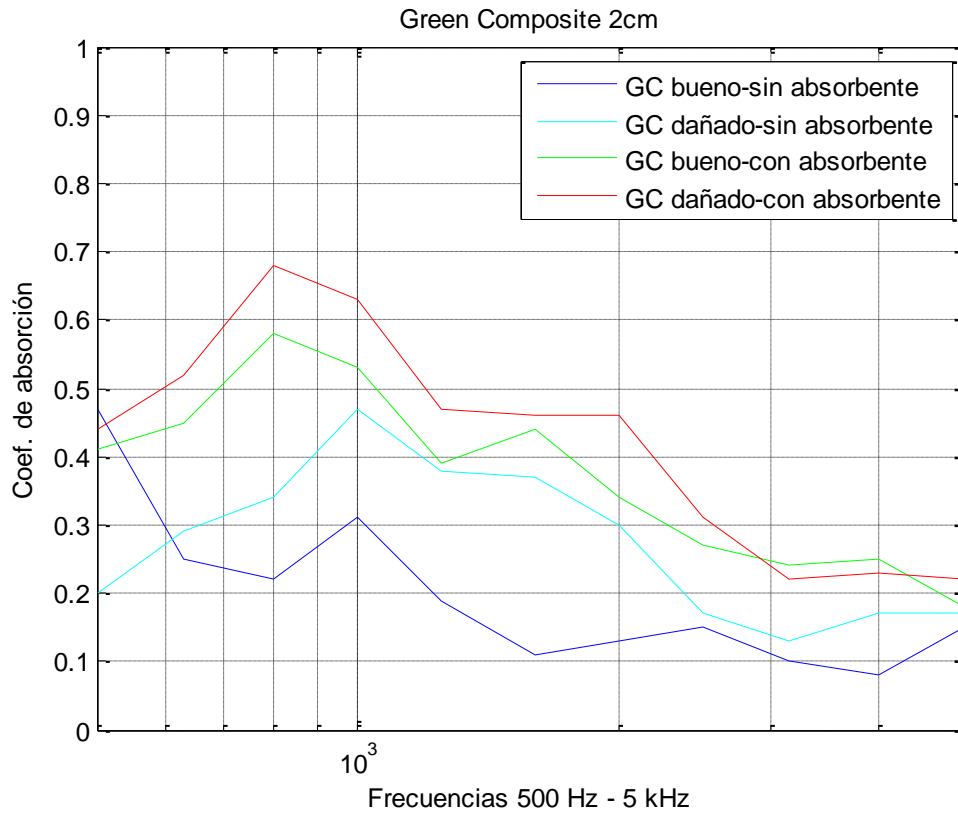


Fig.21. Coeficiente de absorción del Green Composite con plenum de 2cm

### *PLENUM DE 4CM*

En la Fig.23 comparamos los coeficientes de absorción obtenidos de las 2 diferentes placas del Green Composite (GC) con absorbente y sin absorbente, utilizando un plenum de 4cm. Se muestra una imagen del montaje en la Fig. 22.

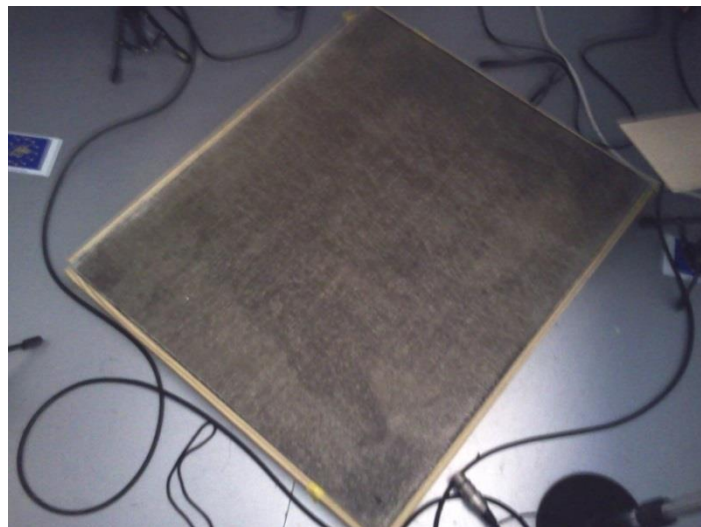


Fig.22. Montaje para medir el coeficiente de absorción del Green Composite con plenum de 4cm.

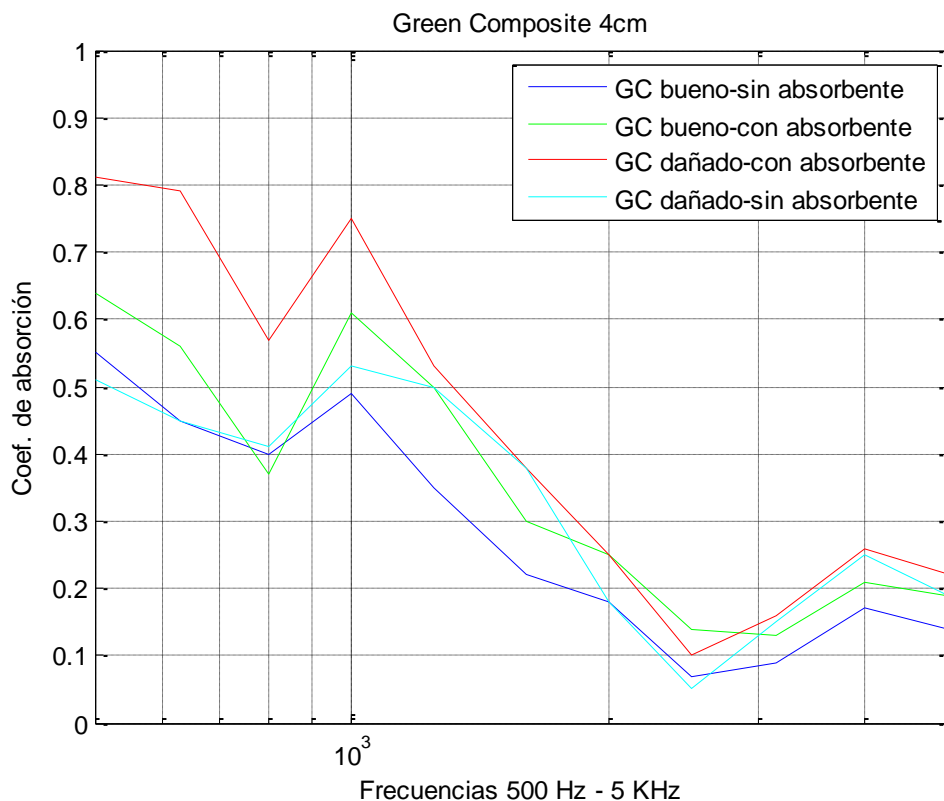


Fig.23. Coeficiente de absorción del Green Composite con plenum de 4cm

Como podemos observar en la Fig. 23 el Green Composite dañado nos presenta un mayor coeficiente de absorción en las dos configuraciones, con absorbente y sin absorbente. Por lo tanto, el secado del Green Composite influye en los valores de la absorción acústica.

### 3.2.4 ESTUDIO DE LOS PERFORADOS

Utilizamos distintas placas de metal con diferentes perforaciones con tamaño de 0.7 m x 0.4 m con un plenum de 4 cm, en todas las medidas se colocó el absorbente (PET) [13]. En la Fig. 24 se muestra alguno de éstos perforados.

Los diferentes perforados son:

Diámetro	Superficie perforada	Porcentaje de la placa perforada
3 mm	0.018 m <sup>2</sup>	6.11%
4 mm	0.033 m <sup>2</sup>	10.86%
5 mm	0.051 m <sup>2</sup>	16.96%
6 mm	0.073 m <sup>2</sup>	24.43%
Combinado	0.044 m <sup>2</sup>	14.59%

Tabla 3: Perforado de las placas





Fig.24. Montaje para la medida del coeficiente de absorción de las placas perforadas

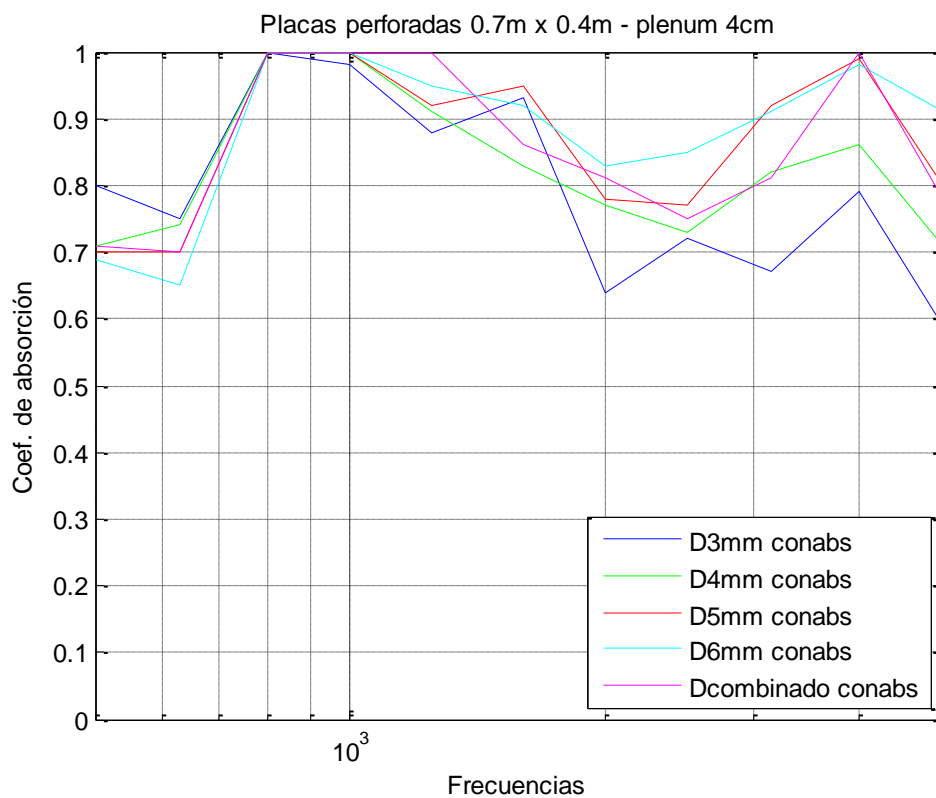


Fig.25. Comparación del coeficiente de absorción de las placas

Como podemos observar en la Fig. 25 el perforado de 6mm de diámetro es el que nos presenta mejor resultado de coeficiente de absorción.

También se contaba con otras planchas de metal con las mismas dimensiones de 0.7m x 0.4m y con el mismo diámetro de perforado pero con un diseño distinto. Como podemos ver en la Fig.26 este diseño tiene menor superficie de perforación, por lo que se midió el coeficiente de absorción para compararlo y así escoger que diseño utilizar. Se midieron el de diámetro combinado y el de 6mm.

Para diferenciar los dos diseños, llamaremos diseño 1 a las primeras expuestas (Fig. 24 y Fig. 25) y diseño 2 a las que presentaremos a continuación (Fig. 26 y Fig. 27).



Fig.26. Montaje para la medida del coeficiente de absorción de las plancha con el diseño 2

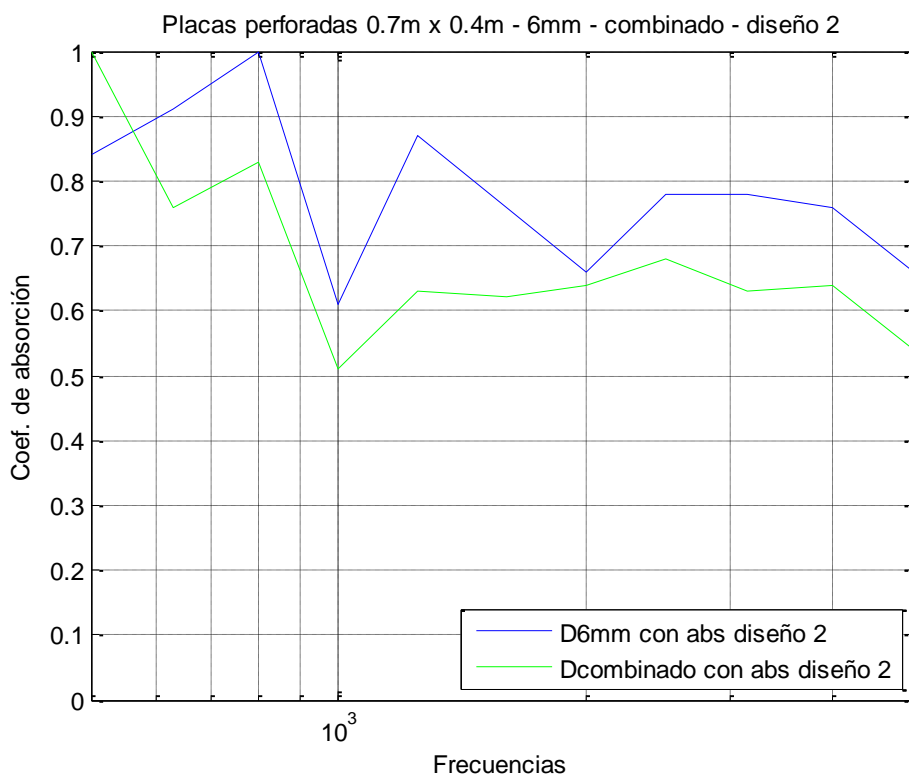


Fig.27. Coeficiente de absorción de las planchas con el diseño 2

Para poder tomar una decisión del diseño a utilizar comparamos los resultados de las medidas del coeficiente de absorción de ambos.

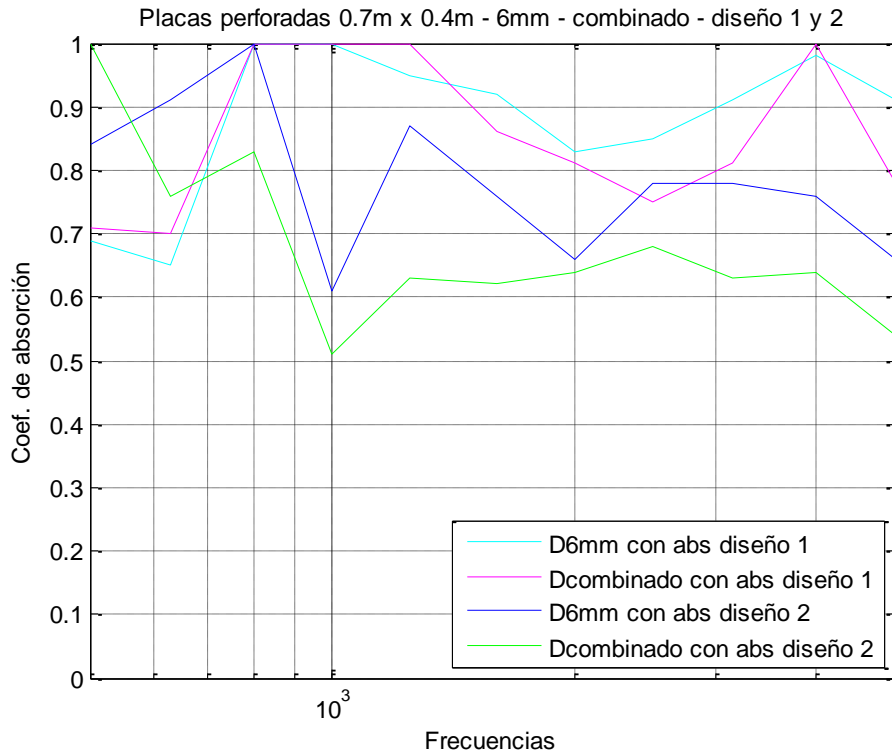


Fig.28. Comparación del coeficiente de absorción de los distintos diseños

Como podemos observar en la Fig. 28, el diseño que nos da mejor resultado es el primer diseño por lo cual este será el elegido para realizar sobre el Green composite y por razones prácticas se realizara el de 6mm.

### 3.2.5 PERFORADO DEL GREEN COMPOSITE

Al Green Composite considerado dañado, se le realizo el perforado con un diámetro de 6mm utilizando la placa de metal que habíamos medido como plantilla para el diseño de los agujeros. El diseño y perforación de la placa de Green Composite se realiza por el propio autor de este trabajo. El resultado final del perforado se puede observar en la Fig. 29.



Fig.29. Montaje del Green Composite perforado en Cámara reverberante

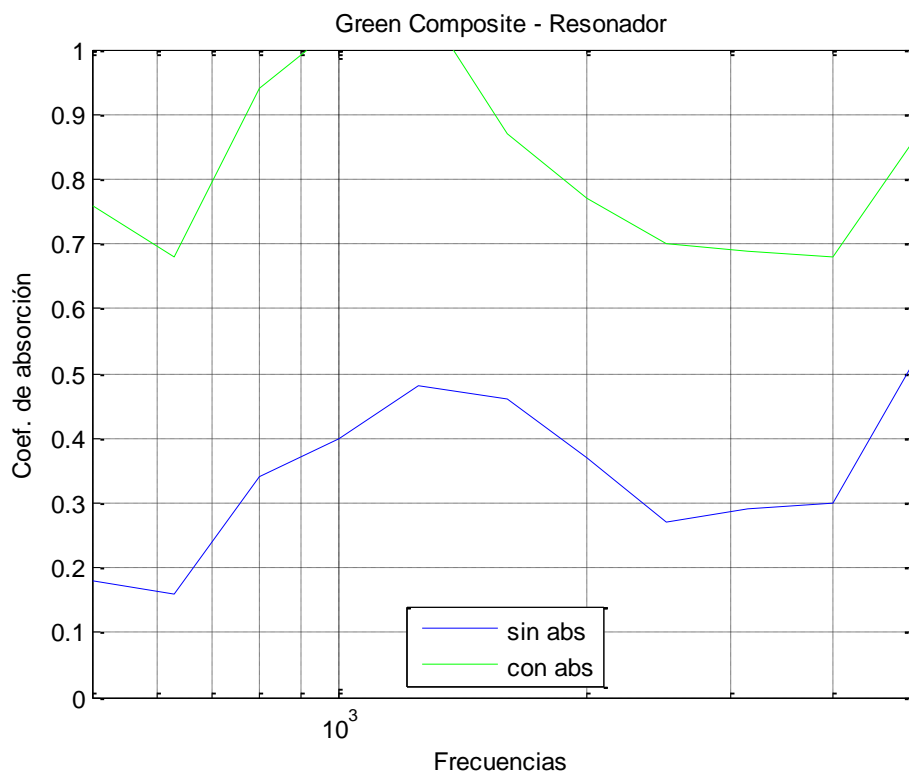


Fig.30. Coeficiente de absorción del Green composite perforado con y sin absorbente

En la Fig. 30 podemos ver la diferencia que presenta el Green composite perforado con el uso del absorbente.

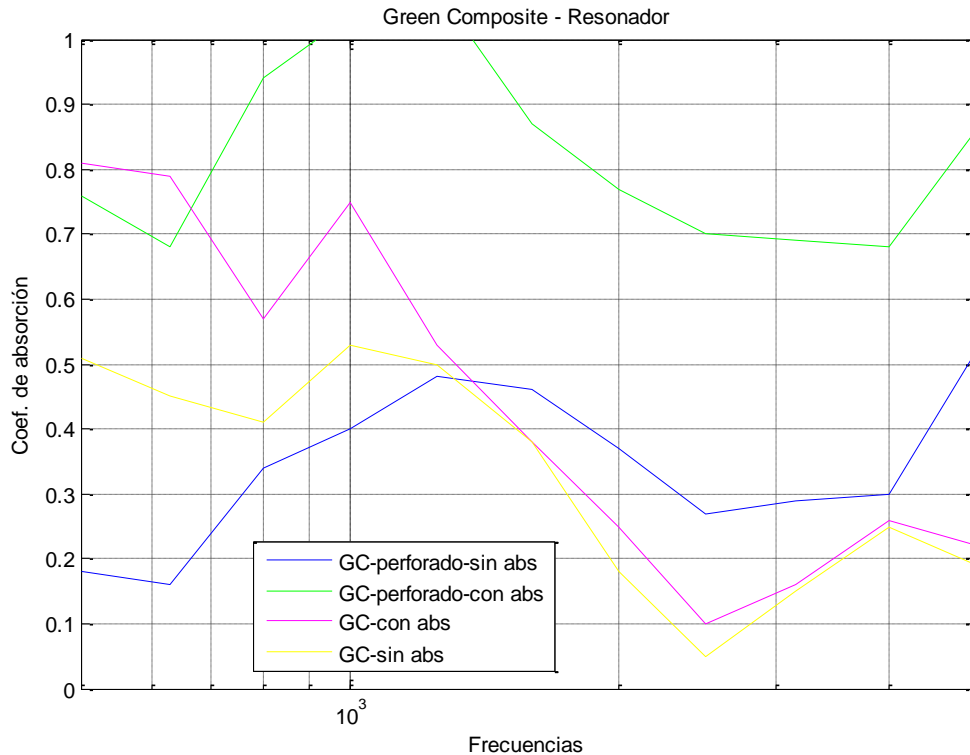


Fig.31. Comparación del coeficiente de absorción del Green Composite perforado y sin perforar

En la Fig. 31 comparamos el Green Composite perforado y sin perforar. Además vemos con 4cm de absorbente y sin el absorbente. Se puede comprobar que la configuración que nos da el mejor resultado es el del Green Composite perforado con el absorbente (línea verde).

## 4. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 4.1 CONCLUSIÓN

Se han caracterizado acústicamente 6 tipos distintos de Green Composites con el fin de optimizar el diseño de la pantalla acústica final. Para ello ha sido necesario realizar mediciones del coeficiente de absorción en incidencia normal y de las pérdidas por transmisión de cada una de ellos. Éstos resultados nos han indicado que las placas de Green Composites se pueden utilizar en la elaboración de pantallas acústicas como paneles, imitando la función de las placas metálicas en las tradicionales pantallas acústicas.

Se ha caracterizado acústicamente y en incidencia normal el tipo de perforado, así como el espesor del material utilizado como material absorbente. De este estudio previo del perforado se concluye que a partir, de aproximadamente un 6% de perforación ya se pueden obtener valores elevados de la absorción acústica.

Se ha caracterizado ya en incidencia aleatoria distintas combinaciones de prototipos de pantallas. Para ello ha sido necesaria la realización de un gran número de ensayos en cámara reverberante a escala.

Los resultados indican que a partir de los Green Composites presentados en este trabajo, y con una configuración de perforado y absorbente adecuado, se puede conseguir una pantalla acústica con muy buenos valores de absorción acústica. Esta solución acústica, presenta un valor medioambiental añadido: esta elaborada a partir de Green Composites, y como material absorbente se ha utilizado unas fibras de PET reciclado.

#### 4.2 LÍNEAS FUTURAS

Como todo trabajo de investigación, son muchas las líneas que han ido quedando abiertas durante la elaboración de esta Tesina:

1. Simulación numérica. Simular mediante Comsol el coeficiente de absorción de los paneles perforados para poder así realizar diferentes diseños y poder elegir el mejor sin la necesidad de tenerlos físicamente.

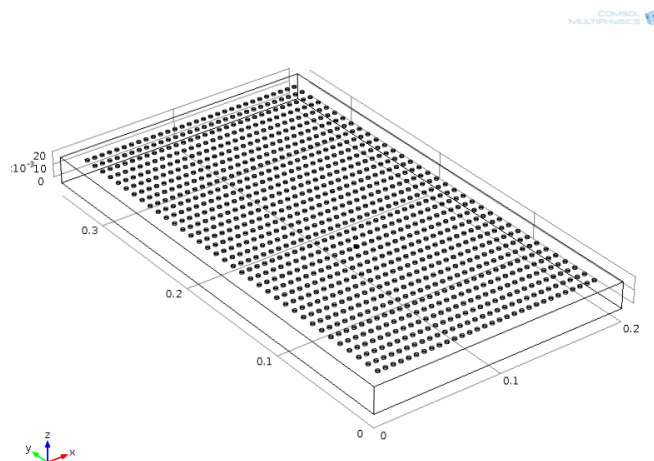


Fig.31. bosquejo del panel perforado en Comsol

2. Estudio de la influencia del secado del Composite. Estudiar más a fondo el efecto del secado de la resina en los valores del coeficiente de absorción, y la viabilidad de crear muestras con el mismo material pero con diferente secado de la resina para estudiar su comportamiento acústico.
3. Diseño de la pantalla a tamaño real. Obtener una muestra del material lo suficientemente grande para medirla en la Cámara reverberante normalizada.

## **AGRADECIMIENTOS**

Debo agradecer de manera especial a mis directores de tesis, Jesús Alba Fernández y Romina del Rey Tormos, por su apoyo y guía incansable.

A Laura Bertó, Andrés Teira y Ximo Penalba por su ayuda en todo momento.

A todos los profesores del Máster por sus enseñanzas.

A Rafael Balart Gimeno, profesor titular de la Universidad Politécnica de Valencia e Investigador del Instituto Tecnológico de Materiales (Campus Alcoy), por su dedicación en la elaboración de los Green Composites y la información sobre los mismos.

A mis compañeros, ahora amigos del Master por hacerme sentir en casa, estando lejos.

Y especialmente a mi madre, Graciela Rodríguez y mi padre, Rafael Quirós por todo su apoyo en todos los momentos de mi vida y en especial, en la decisión de venir a estudiar el Master en Ingeniería Acústica.

**REFERENCIAS**

- [1] El País 31 Marzo 2011. La OMS alerta de las enfermedades ligadas al ruido en las ciudades.
- [2] El tráfico, principal causa de contaminación acústica en Europa. <http://www.econduccion.es/es/trafico-principal-causa-de-contaminacion-acustica-en-europa>
- [3] UNE-EN ISO 10534-2:2002. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia.
- [4] UNE-EN ISO 354:2004. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.
- [5] Composite. <http://es.wikipedia.org/wiki/Composite>
- [6] GreenPox 55 High Biomass Carbon content. <http://www.mcmc-uk.com/prod-data-sheet/greenpox-55-ft-uk.pdf>
- [7] Flores Pereita Pedro. Manual de acústica, ruido y vibraciones. ISBN 84-87579-00-0. III edición. (1990).
- [8] Benz Kotzen and Colin English. Environmental Noise Barriers. A guide to their acoustic and visual design. ISBN 0-203-93138-6. Second Edition. (2009).
- [9] Dámaso Alegre, Domínguez Julián. Materiales para pantallas anti-ruido. Soluciones tipo más usuales. [http://www2.uah.es/tiscar/Complem\\_EIA/tipos-pantallas-acusticas.pdf](http://www2.uah.es/tiscar/Complem_EIA/tipos-pantallas-acusticas.pdf)
- [10] J. Alba, R. del Rey, F. Arrebola, L. Bertó, C. Hervás. Cámara reverberante a escala para el estudio de pantallas acústicas. VIII Iberoamerican Acoustics Congress. Acústica 2012. 1-3 Octubre 2012. Évora-Portugal.
- [11] Andrés Teira Arnosó. Adecuación y validación de una cámara reverberante a escala para ensayos de pantallas acústicas. <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29015/Memoria.pdf?sequence=1>
- [12] R. del Rey, J. Alba, L. Bertó, C. Hervás, V. Sanchís. Construcción de un tubo de impedancia para la medida de las pérdidas por transmisión. VIII Iberoamerican Acoustics Congress. Acústica 2012. 1-3 Octubre 2012. Évora-Portugal.
- [13] R. del Rey, J. Alba, J. Ramis, V.J. Sanchís New absorbent acoustics materials from plastic bottle remnants. *Materiales de Construcción*, ISSN: 0465-2746.Vol. 61, 304. (2011).



**ANEXO**

Propuesta de apantallamiento por zonas presentadas en el “Resumen de resultados y Plan de Acción PAR 2008-2012” del Ministerio de Fomento.

Enmarcadas en tres tablas dependiendo de la prioridad.

Demarcación	Nº zonas	Longitud pantallas (m)	Personas beneficiadas	Coste (euros)
<i>Andalucía occidental</i>	15	20.500	153.587	12.300.000
<i>Andalucía oriental</i>	23	20.300	101.539	13.380.000
<i>Aragón</i>	9	8.450	28.039	5.070.000
<i>Cantabria</i>	5	2.200	7.063	1.320.000
<i>Castilla y León occidental</i>	13	4.577	5.892	2.746.200
<i>Castilla y León oriental</i>	3	1.006	4.336	603.600
<i>Castilla La-Mancha</i>	11	6.908	16.863	4.144.800
<i>Cataluña</i>	37	42.886	106.436	26.511.600
<i>Madrid</i>	3	2.200	20.693	1.320.000
<i>Valencia</i>	37	21.625	55.325	12.975.000
<i>Extremadura</i>	5	635	6.847	381.000
<i>Galicia</i>	42	37.500	71.802	22.500.000
<i>Asturias</i>	16	9.050	26.032	4.050.000
<i>Murcia</i>	3	1.725	12.907	1.035.000
<b>TOTAL</b>	<b>222</b>	<b>179.562</b>	<b>617.361</b>	<b>108.337.200</b>

Propuesta de apantallamiento. Prioridad A

Demarcación	Nº zonas (márgenes)	Longitud pantallas (m)	Personas beneficiadas	Coste (euros)
<i>Andalucía occidental</i>	51	37.810	114.422	22.686.000
<i>Andalucía oriental</i>	4	1.550	7.989	930.000
<i>Aragón</i>	7	2.500	6.868	1.500.000
<i>Cantabria</i>	3	1.600	5.060	960.000
<i>Castilla y León occidental</i>	35	10.819	22.630	6.491.400
<i>Castilla y León oriental</i>	14	6.447	12.923	3.868.200
<i>Castilla La-Mancha</i>	33	18.136	76.748	10.989.600
<i>Cataluña</i>	17	11.448	60.010	6.868.800
<i>Madrid</i>	14	19.550	119.864	11.730.000
<i>Valencia</i>	29	21.395	21.063	12.837.000
<i>Extremadura</i>	16	2.159	5.801	1.295.400
<i>Galicia</i>	101	57.100	20.614	34.260.000
<i>Asturias</i>	35	10.300	23.853	6.180.000
<i>Murcia</i>	3	2.926	12.807	1.755.600
<b>TOTAL</b>	<b>362</b>	<b>203.740</b>	<b>510.652</b>	<b>122.352.000</b>

## Propuesta de apantallamiento. Prioridad B

Demarcación	Nº zonas (márgenes)	Longitud (m)	Personas beneficiadas
<i>Andalucía occidental</i>	6	20.500	27.507
<i>Andalucía oriental</i>	8	7.900	35.220
<i>Aragón</i>	4	6.400	3.192
<i>Cantabria</i>	-	-	-
<i>Castilla y León occidental</i>	-	-	-
<i>Castilla y León oriental</i>	-	-	-
<i>Castilla La-Mancha</i>	-	-	-
<i>Cataluña</i>	39	52.840	160.908
<i>Madrid</i>	10	11.750	56.363
<i>Valencia</i>	18	26.240	15.583
<i>Extremadura</i>	10	3.065	9.632
<i>Galicia</i>	6	7.600	13.312
<i>Asturias</i>	16	31.650	32.566
<i>Murcia</i>	10	17.900	65.210
<b>TOTAL</b>	<b>109</b>	<b>151.045</b>	<b>353.574</b>

## Actuaciones complejas