

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Ingeniería Acústica



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

APLICACIONES ACÚSTICAS DE ELEMENTOS DECORATIVOS

TESIS DE MASTER

Autor:
Alicia Martínez Corell

Director/es:
D. Jesús Alba Fernández
Dña. Romina del Rey Tormos

GANDIA, 2012

APLICACIONES ACÚSTICAS DE ELEMENTOS DECORATIVOS

Autor: Alicia Martínez Corell

Director1: Jesús Alba Fernández

Director2: Romina del Rey Tormos

Resumen

En la actualidad, frente a los recintos, la sociedad exige un mayor atractivo visual y un ambiente más confortable. Por lo que es igual de necesario dotar tanto de una estética como de factores funcionales a un recinto. Todo ello requiere de estudios adicionales donde diferentes profesionales del mismo sector deben de llegar a un estado de compromiso para llevar con éxito un proyecto.

En este contexto y dirigido a los profesionales de la acústica, este trabajo pretende dar a conocer nuevos estudios de elementos decorativos con propiedades acústicas. Valorando la importancia de dotar con una estética cuidada al recinto se considera necesario conciliar materiales idóneos para el acondicionamiento acústico con el diseño de los mismos.

Abstract

At present, on the subject of enclosures, the society demands greater visual attractive and more comfortable environment so it is equally necessary to provide a determined aesthetic and functional factors an enclosure. All the above requires additional studies where different professionals, from the same sector, should find a compromise to carry out a project successfully.

In this context and aimed to acoustics professionals, this work tries to introduce new studies of decorative elements with acoustic proprieties. Taking into account the importance of providing a room with a careful aesthetic, it is considered necessary, to conciliate the right materials for the sound proofing with its design.

INDICE

| | | |
|---------|--|----|
| I. | OBJETO Y ANTECEDENTES..... | 3 |
| I.1. | Introducción..... | 3 |
| I.2. | Objetivos..... | 4 |
| I.3. | Estructura de la Tesina..... | 5 |
| II. | INTRODUCCIÓN TEÓRICA..... | 6 |
| II.1. | Elementos decorativos y su aplicación en acústica..... | 6 |
| II.1.1. | Aislamiento acústico a ruido aéreo/pérdidas por inserción..... | 6 |
| II.1.2. | Aislamiento acústico a ruido de impacto..... | 10 |
| II.1.3. | Absorción acústica..... | 11 |
| II.2. | Normativas de ensayo en acústica..... | 14 |
| II.2.1 | Evaluación del coeficiente de absorción. | 14 |
| II.2.2 | Evaluación del coeficiente de absorción a incidencia normal..... | 15 |
| II.2.3 | Evaluación del tiempo de reverberación. | 16 |
| III. | DESARROLLO DE LA TESINA..... | 17 |
| III.1. | Ensayos de coeficiente de absorción en cámara reverberante..... | 17 |
| III.1.1 | Cortinas. | 18 |
| III.1.2 | Murales. | 23 |
| III.1.3 | Paneles japoneses. | 28 |
| III.1.3 | Sofás. | 30 |
| III.2. | Ensayos coeficiente de absorción en incidencia normal..... | 38 |
| III.3. | Casos prácticos..... | 40 |
| III.3.1 | Medidas in situ en sala de reuniones. | 40 |
| III.3.2 | Medidas in situ en sala de conferencias. | 41 |
| IV. | CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN..... | 43 |
| IV.1. | Conclusiones de la Tesina..... | 43 |
| IV.2. | Futuras líneas de investigación..... | 46 |
| | AGRADECIMIENTOS..... | 46 |
| | REFERENCIAS..... | 47 |
| | ANEXO I..... | 48 |

I. OBJETO Y ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCIÓN

Del crecimiento económico basado en la edificación hemos logrado hacer evidente que la acústica y la construcción están relacionadas entre sí, desafortunadamente, dentro de la restauración y rehabilitación, esta percepción se desvanece. El nuevo cambio del modelo económico que se ha producido recientemente en toda Europa, especialmente en España nos obliga a abrir nuevos mercados, dando prioridad al acondicionamiento de locales ya existentes.

Frente a los nuevos recintos, cada vez más, la sociedad actual exige un ambiente estéticamente agradable, pero debemos considerar que el atractivo de un espacio determinado no debe residir, exclusivamente, en su imagen visual. Existen otros factores funcionales que requieren un estudio adicional, para conseguir ambientes confortables. De ahí la gran importancia por parte de los profesionales de la acústica en aprender a colaborar junto con diferentes especialistas del sector como pueden ser arquitectos, interioristas y decoradores, sin crear rivalidades e incompatibilidades para poder llevar a cabo, con mayor éxito, un proyecto.

En un mundo donde la buena parte del estrés lo genera una gran cantidad de mensajes que se suman unos a otros y nos atacan desde los medios de comunicación cobra relevancia el estilo minimalista donde se reduce al máximo los elementos, los volúmenes y las formas, prescindiendo del color y buscando la belleza en la mínima expresión.

El minimalismo, es referido a cualquier cosa despojada de elementos accesorios quedando en lo esencial. Es una tendencia en la arquitectura y la decoración que une líneas puras, formas geométricas básicas y colores neutros, en ambientes con equilibrio y armonía. Surge a finales de la década del 60 en Nueva York, pero sus orígenes están anclados en Europa, en las primeras ideas del arquitecto alemán Ludwig Mies Van Der Rohe. Su versión del racionalismo y posteriormente del funcionalismo, se ha convertido en modelos para el resto de los profesionales de su siglo. Su influencia se podría resumir en una frase que él mismo dictó y que se ha convertido en el lema de la arquitectura de vanguardia de la primera mitad del Siglo XX: “menos es más”.

Como corriente actual opuesta al estilo minimalista podemos encontrar el estilo kitsch que se refiere, en el sentido más libre, a cualquier arte pretencioso, pasado de moda o de muy mal gusto. Lo kitsch se limita a buscar el placer por la ostentación y por el derroche de formas y colores. En él se permite la mezcla indiscriminada de formas, colores, texturas y materiales, en una mezcla ecléctica de estilos, llamativa para el espectador. A día de hoy el interiorismo se vale del estilo kitsch para presumir de esa ola de modernidad y estridencia.

La utilización en el ambiente minimalista de materiales de textura sólida y lisa, como los guarnecidos y enlucidos, el metal, la piedra pulida, pavimentos duros y el predominio del vidrio, que son superficies altamente reflectoras al sonido, influye en el confort acústico interior de

algunos recintos modernos. De este modo cobra gran relevancia el mobiliario y los elementos textiles utilizados para vestir los espacios ya que suelen ser los únicos que aportan absorción.

Debemos tener en cuenta que espacios o ambientes minimalistas, donde no tiene cabida el exceso, la saturación, las estridencias y la contaminación visual, no debería representar un espacio ruidoso que devalúen la imagen de la actividad o negocio. Debemos asegurar el confort acústico. En definitiva, nunca deberíamos asociar determinado estilo decorativo o arquitectónico con el ruido

Es importante recalcar que no hay una solución única y genérica que sirva para todo ya que cada recinto en función de sus condiciones espaciales, usos y estética que, tendrá unas necesidades particulares.

El presente trabajo, dentro del contexto mencionado, pretende mostrar una visión más amplia de las aplicaciones acústicas de elementos decorativos e influir en la decisión de considerarlos a la hora de proponer soluciones en el estudio del acondicionamiento acústico de recintos. Valorando que con esta consideración, se está dotando de estética al proyecto y este valor añadido, nos permite inyectar un halo de aire renovado y actual a las soluciones más utilizadas.

1.2. OBJETIVOS

El objeto principal del TFM consiste en un amplio estudio, caracterización y valoración acústica de determinados materiales como elementos decorativos que pueden dar un valor añadido aportando una mejora acústica en el acondicionamiento de locales y salas.

En la actualidad la carencia de creación de nuevos recintos nos ofrece la necesidad de rehabilitar y reinventar espacios ya existentes. Para llevar a cabo con éxito este proyecto un gran grupo de profesionales del sector es necesario, por lo que las ideas preconcebidas, rivalidades e incompatibilidades no nos hacen ningún bien sino más bien disminuye el valor de nuestro trabajo.

Desde estas líneas se pretende brindar la oportunidad de realizar proyectos en conjunto, profesionales de la acústica y decoradores e interiorista. Es por ello que el enfoque que pretende dar este trabajo no es únicamente de dar valores cuantitativos de las propiedades acústicas de elementos decorativos, que ya por sí mismos son de gran valor, sino además enriquecer a estos con propuestas de usos en función del recinto y la estética de éste.

Una vez expuesta la contextualización que debe tomarse como referencia, es conveniente retomar el objetivo general planteado al inicio de esta sección para desglosarlo en objetivos más concretos:

- a) Evaluación del comportamiento acústico de textiles, concretamente de cortinas, murales y paneles japoneses en función de los materiales utilizados y de la colocación de los mismos mediante ensayos del coeficiente de absorción en cámara reverberante. Además de analizar para cada material la mejor solución que se le puede dar en función del espacio que se disponga en un recinto.

- b) Caracterización y evaluación del coeficiente de absorción sonora para objetos decorativos absorbentes como son el sillón y el sofá. Además del estudio de la aportación de absorción que puede ofrecer el sofá en un recinto.
- c) Determinación del coeficiente de absorción en incidencia normal de paneles absorbentes decorativos en forma de cuadros.

Interesándome por nuevos materiales para su utilización en el acondicionamiento acústico de recintos dándole a éste un valor añadido de diseño y estética más cuidada. Desarrollo este estudio con objeto de aportar un humilde grano de arena al análisis y conocimiento de aquello que hacemos.

En última instancia, cabe destacar que la redacción del presente trabajo lleva implícita la finalidad de cumplir con el actual plan de estudios de la titulación de Máster Universitario en Ingeniería Acústica, que imparte Escuela Politécnica Superior de Gandía, en concepto de tesina final de Máster, con lo que se pretende, desde el punto de vista académico, la obtención del título “Máster Universitario en Ingeniería Acústica” cumpliendo de esta manera con la normativa vigente del Ministerio de Educación y Ciencia.

1.3. ESTRUCTURA DE LA TESINA

Se ha creído conveniente distribuir el trabajo desarrollado en cinco apartados diferenciados de acuerdo con lo siguiente:

1. Objeto y antecedentes, donde se plantea los diferentes objetivos y contextualiza el problema.
2. Introducción teórica, comienza con un listado actual de elementos decorativos con propiedades acústica. Posteriormente se exponen y explican brevemente las normativas de aplicación para el desarrollo de la investigación.
3. Desarrollo de la tesina, recoge los ensayos de absorción acústica en cámara reverberante de diferentes elementos decorativos, específicamente de cortinas, murales, paneles japoneses, sillones y sofás, además del coeficiente de absorción sonora en incidencia normal en tubo de impedancia para paneles decorativos en forma de cuadros.
4. Casos prácticos, se realizan mediciones in situ, en diferentes salas, para cotejar la absorción sonora que pueden aportar a un recinto algunos de los materiales ensayados en el apartado anterior.
5. Conclusiones y líneas futuras, se recopilar los resultados más importantes del trabajo y se extraen todas las conclusiones alcanzadas al finalizar el trabajo. Se dejan abiertas líneas de investigación que han ido surgiendo durante el desarrollo del trabajo

II. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

II.1. ELEMENTOS DECORATIVOS Y SU APLICACIÓN EN ACÚSTICA

En un principio se debía escoger entre materiales técnicos que aportaban funcionalidad o materiales que aportaran diseño al recinto. Hoy en día esta elección desaparece gracias a la gran cantidad de materiales que disponemos en el mercado que nos aportan tanto estilo y diseño como propiedades técnicas como puede ser el aislamiento térmico, mantenimiento, limpieza, reacción al fuego, resistencia al desgaste o a los golpes, aislamiento acústico etc.

El conocimiento de dichos materiales nos brinda la oportunidad de no limitarnos al cumplimiento de una serie de normativas sino poder ofrecer en nuestros proyectos una mirada más imaginativa y cuidada. Con esta intención, a continuación, se muestra un listado de elementos decorativos en función de sus características acústicas ofreciendo materiales con una imagen más actual y fresca.

II.1.1. Aislamiento acústico a ruido aéreo/pérdidas por inserción

- Falsos techos

Los paneles de lana de roca o de vidrio revestidos con velo de protección han sido la combinación más utilizadas presentadas en forma de falso techo en recintos de uso terciario, ocio y docente. En la actualidad hay productos con una presentación mucho más cuidada. Dándonos a elegir múltiples soluciones como puede ser tener continuidad entre revestimientos de pared y techos, en modulación (juntas marcadas), aspecto liso, o con aspecto ondulado, prismático, horizontal o quebrado. Incluso en muchos casos la integración de la luminaria está perfectamente estudiada.

Las piezas de la marca francesa Deco.dal [1] sorprende con un muestrario muy variado de falsos techos con imágenes y fotografías.

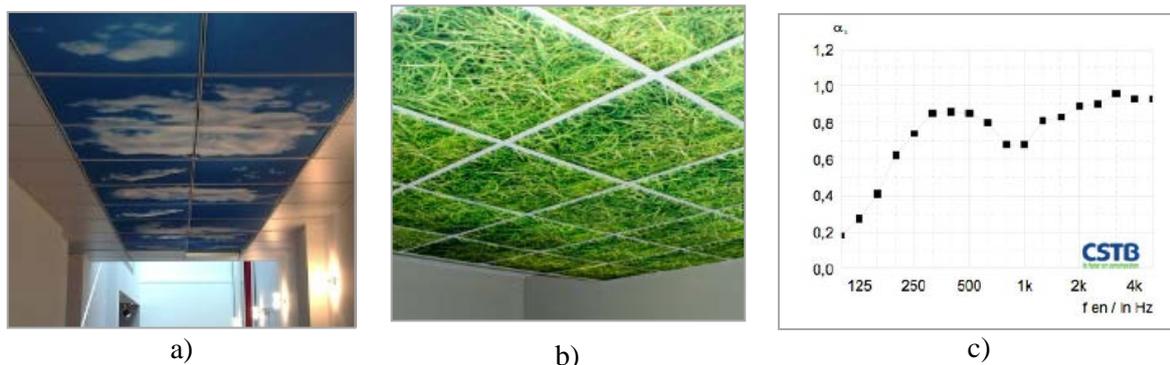


Fig. 1. Falsos techos. a) y b) Diseños de plafones de techo de la marca Deco.dal. c) Coeficiente de absorción acústica de los plafones de techo.

Otra propuesta que podemos encontrar actualmente son los falsos techos tensados microperforados que son muy ventajosos en obras de reformas y rehabilitación por no implicar excesivo trabajo dando un resultado final visual, novedoso y atractivo.

Un techo tensado está constituido por láminas extensibles y retráctiles de policloruro de vinilo (PVC). Su característica principal es la flexibilidad y resistencia, a lo que podemos sumar su adaptabilidad, fácil instalación, mediante un sistema de anclajes que tensa las láminas de PVC y sencillo mantenimiento y limpieza.

Es un material fácil de integrar en diferentes espacios, ya que se fabrica en distintos colores y acabados además de no ser inflamables y de permitir la instalación de luminaria y rejillas de aire empotradas en él. Incluso existen modelos para ambientes húmedos, con propiedades antibacterianas.

Para que este tipo de material tenga aplicación acústica y sea eficaz requiere de la colocación de material absorbente poroso en la parte trasera del material o en el techo.

Muestras de la flexibilidad del material es la Fig.2., la imagen corresponde a la firma francesa Barrisol [2]



Fig. 2. Falsos techos. Falso techo tensado microperforado de la firma Barrisol

En recintos donde no es posible el revestimiento de superficies limítrofes con materiales absorbentes, ya sea por la presencia de muros cortinas, altos ventanales, luminarias o por el respeto histórico-artístico de elementos que deben quedar vistos, recurriremos a las unidades absorbentes suspendidas colocadas de manera puntual o repetitiva, cuya característica de ligereza se debe a que suelen estar compuestas de espuma de poliéster o melanina.

A continuación, a modo de ejemplo se muestra unidades absorbentes, concretamente el modelo Ecophon Solo de la empresa Ecophon de Saint Gobain [3].

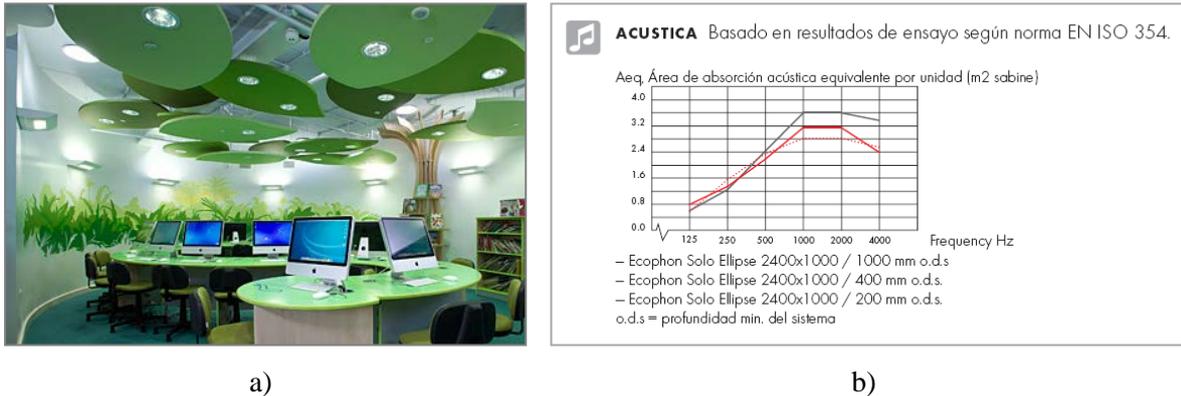


Fig. 3. Falsos techos. a) Fotografía modelo Ecophon Solo. b) Área de absorción acústica equivalente por unidad del modelo Ecophon.

- Revestimiento paredes

Cuando no sea posible o insuficiente el tratamiento del techo, puede ser una alternativa válida los revestimientos de absorbentes verticales. Al realizar esta elección lo que más se tiene que tener en cuenta a la hora de optar por un material u otro, es la resistencia al desgaste que posee, ya que en muchas ocasiones va a estar en contacto con el usuario.

Cada vez, con mayor presencia, se elige las celosías rígidas acompañadas de material absorbente poroso y fibroso como solución de revestimiento, estéticamente muy interesante.

En esta combinación lo importante es la elección del material absorbente trasero ya que el tipo de material del que este fabricado la celosía no nos va a influir en la eficacia acústica, siendo ésta solo un elemento que aporta protección y diseño al material absorbente.

Podemos encontrar una gran variedad de celosías de gran tamaño para poder aplicar en interiores en la empresa española Duralmond [4]



Fig. 4. Revestimiento paredes. Celosías Duralmond. Izquierda: pertenece a la colección Ornamental. Derecha a su Línea Orgánica.

Sobre el revestimiento de paredes existe una gran gama de paneles absorbentes decorativos, para colocar de manera individual o agrupada en formas cuadradas o rectangulares y de distintos colores. La marca alemana Acousticpearls [5] dispone de paneles absorbentes con la particularidad de que en un mismo panel puede contar con dos colores en su superficie.

Si lo que deseamos es personalizar la estancia, la firma alemana System Bau Klein [6] dentro de la serie llamada “Absorber Silence” caracteriza superficies lisas textiles para crear paneles absorbentes en forma de cuadros.

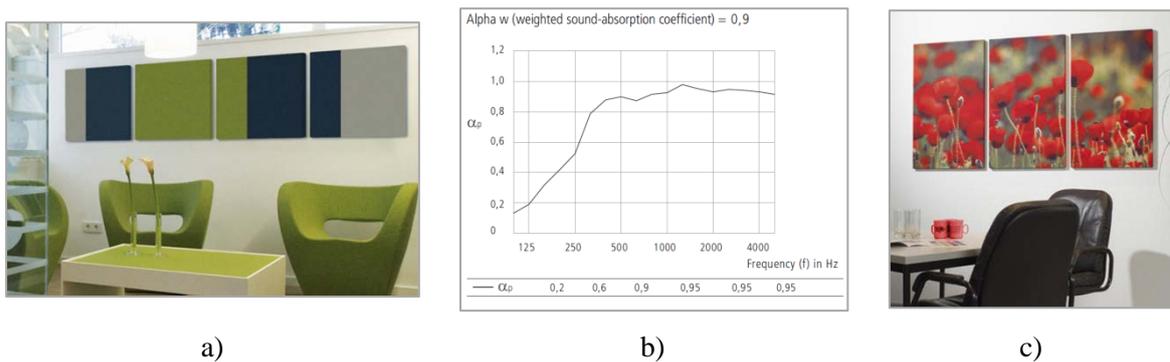


Fig. 5. Revestimiento paredes. a) Paneles de la marca Acousticpearls. b) Curva del coeficiente de absorción de paneles Acousticpearls. c) Serie “Absorber Silence” de la firma alemana System Bau Klein.

Un diseño atractivo de alto valor estético son los paneles componibles modulares, de la serie “Soundwave”, de la firma sueca Offecct [7]. La gama de texturas, relieves y colores es muy amplia y elegante. Los paneles absorbentes porosos son de poliéster reciclado con superficie de acabado en lana.



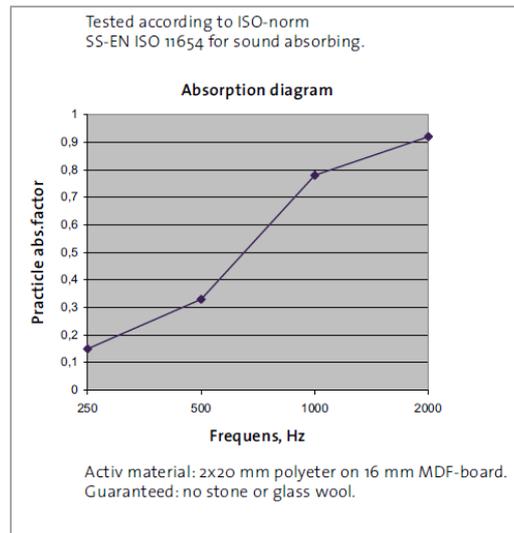
Fig. 6. Revestimiento paredes. Paneles de la serie “Soundwave” de la firma Offecct.

- *Biombos*

A la hora de separar ambientes en oficinas o en restaurantes una opción muy socorrida es la utilización de biombos. La firma sueca Glimakra [8] ofrece una alternativa muy llamativa y novedosa a los biombos de oficinas clásicos convirtiéndolos en biombos con forma de árbol plano, de diferentes colores y tamaños.



a)



b)

Fig. 7. Biombos. a) Imágenes de los biombos de la firma Glimakra b) Curva del coeficiente de absorción.

II.1.2. Aislamiento acústico a ruido de impacto

- Suelos flotantes

Actualmente, tanto los falsos techos como los suelos flotantes, tiene un gran mercado ganado ofreciendo multitud de variantes en materiales, colores, texturas y montaje además de ir innovando constantemente en sus propiedades.

La marca toledana IDEC [9] ofrece suelos íntegros de piedra natural (granito, pizarra, mármol...), hidrófugos e ignífugos de gran resistencia y durabilidad. Además de poder realizar inserciones de baldosas de vidrio de todos los colores, con opción de retroiluminadas.



a)



b)

Fig. 8. Suelos flotantes. a) Suelo técnico de piedra natural b) Inserciones de baldosas en vidrio.

- Moquetas

La marca suiza Forbo [10] apuesta por moquetas cuyos materiales provengan de recursos sostenibles, naturales y renovables. En la gama “Needlefel” las moquetas son de lana sin teñir pura y natural. Los colores se derivan de una mezcla de vellones de siete ovejas de diferentes razas, dando lugar a una paleta de colores cálidos de taupes, cremas, beige y color ámbar.



| | | | |
|---|------------------------|------------|-----------------------|
|  | Impact sound reduction | ISO 140-8 | 22 dB |
|  | Sound absorption | EN ISO 354 | $\alpha_w = 0,20$ (H) |

b)

a)

Fig. 9. Moquetas. a) Imagen moqueta de la gama Needlefel de la marca Forbo. b) Propiedades acústicas de la moqueta.

II.1.3. Absorción acústica

- Textiles

Algo fundamental para vestir una estancia son los textiles. Si nos fijamos en nuestro alrededor nos puede sorprender la multitud de usos, materiales, texturas y colores que los podemos encontrar. Por lo que tenerlos en cuenta a la hora del acondicionamiento, puede llegar a ser un gran aliado para conseguir nuestros objetivos acústicos.

Evidentemente cualquier textil no presenta cualidades acústicas, pero hoy en día, podemos encontrar una amplia gama de tejidos absorbentes en el mercado. Estos tejidos absorbentes son materiales porosos formados por la superposición de fibras, naturales o sintéticas, no necesariamente tejidas sino entrelazadas, debido a un proceso de prensado o a un pegado mediante resinas, de forma que presenten una resistencia al flujo homogénea a lo largo de la superficie del velo.

Una muestra sorprendente de tejidos absorbentes de gran originalidad, son las creaciones contemporáneas en tejidos naturales en relieve con texturas en 3 dimensiones, que se inspiran en formas orgánicas de la naturaleza, del estudio inglés de Anne Kyyrö Quinn [11], de corte, cosido y acabado a mano.

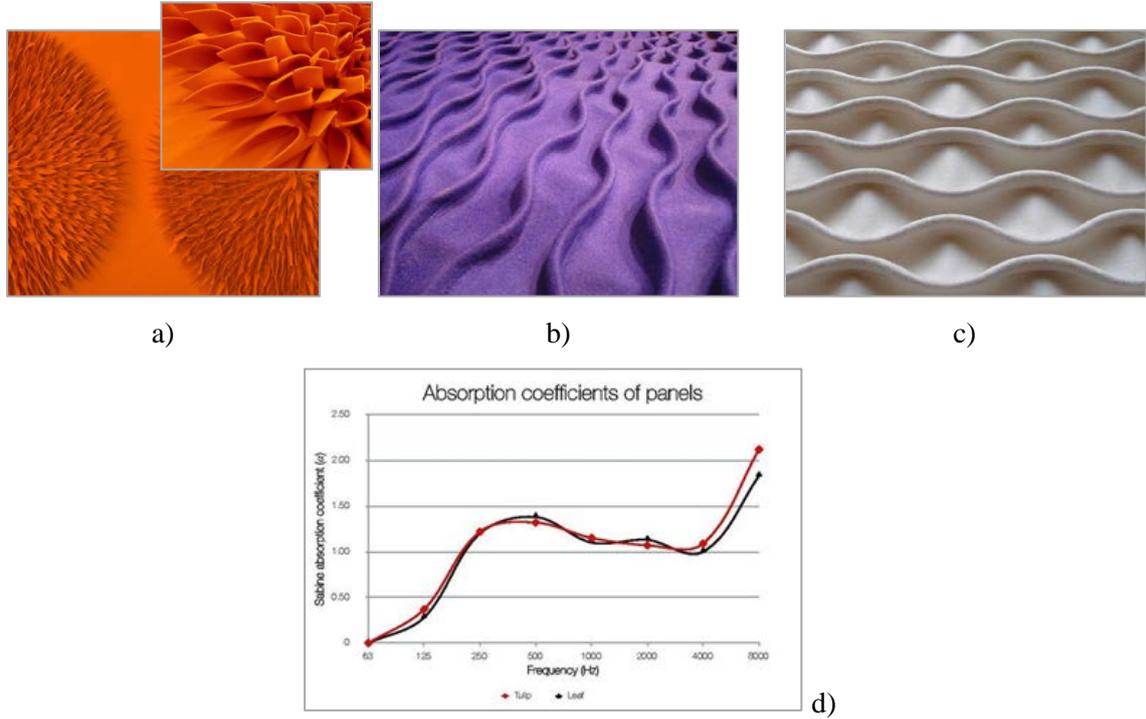


Fig. 10. Textiles. Tejidos de Anne Kyyrö Quinn. a) Panel Tulip. b) Panel Laine. c) Panel Lane. d) Coeficiente de absorción de los paneles Tulip(curva de color rojo) y Laine(curva de color negro).

La marca danesa Gabriel [12], en su colección “Silent Solution”, ofrece una solución tipo sándwich, de material reciclado (poliéster, algodón, lana), de 3 y 5 cm, para revestir paramentos o aplicar a mobiliario y puertas.

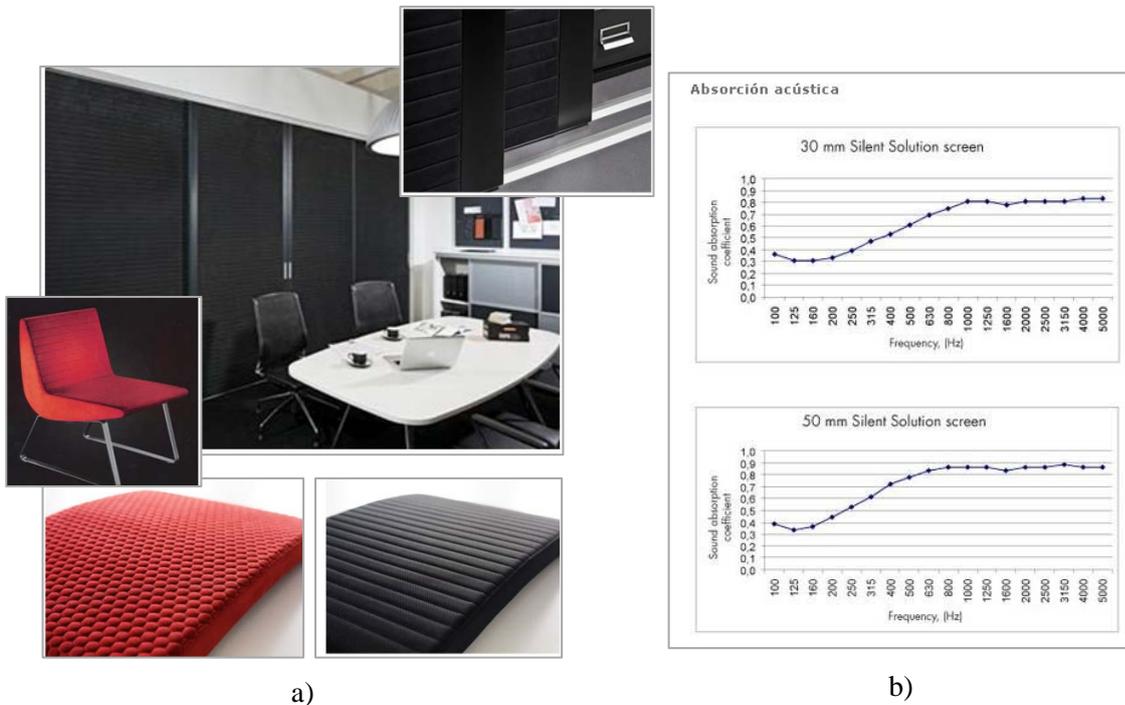


Fig. 11. Textiles. a) Aplicaciones y producto de la colección “Silent Solution”. b) Coeficiente de absorción

- Objetos absorbentes

Otra tendencia, cada vez más actual, es la utilización de plafones u objetos decorativos absorbentes, colocados de manera puntual o repetitiva. Una empresa que se dedica a la creación de objetos absorbentes, de formas curvas o rectas y para todos los estilos, incluso el infantil, que pueden crear composiciones llamativas por su colorido, es la sueca Wobedo [13].



Fig. 12. Objetos absorbentes. a) Objetos decorativos absorbentes de la marca Wobedo b) Curva de su coeficiente de absorción.

La firma austriaca Bene [14], dispone de sillones, sofás bancos corridos, pufs blandos y cabinas telefónicas, en material poroso absorbente al sonido de uso administrativo.

Ha creado una versión interesante e innovadora de puesto de trabajo semi abierto, absorbente acústico, en su gama “Toguna”.



Fig. 13. Objetos absorbentes. Imágenes de productos de la firma Bene

II.2. *NORMATIVAS DE ENSAYO EN ACÚSTICA*

II.2.1 *Evaluación del coeficiente de absorción.*

- UNE EN ISO 354:2004 Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.

Esta norma internacional define el método a seguir para determinar el coeficiente de absorción sonora de materiales acústicos.

Nos permite realizar mediciones, en una cámara reverberante, de materiales utilizados como tratamiento de paredes o techos, o el área de absorción sonora equivalente de objetos, tales como muebles, personas o absorbentes volumétricos.

El ensayo se basa en la medición del tiempo de reverberación promedio en la cámara con y sin muestra de ensayo.

- UNE-EN ISO 11654:1998 Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica.

Norma internacional que determina un método que permite convertir en un índice de evaluación único los valores del coeficiente de absorción acústica dependientes de las frecuencias. Además de contener en su Anexo B un método de clasificación basado en dichos valores únicos.

Esta norma internacional se aplica en principio a todos los productos de construcción para los cuales se ha determinado el coeficiente de absorción acústica de acuerdo con la Norma ISO 354.

El valor único, α_w , se emplea para calcular la clase de absorción acústica de acuerdo con la siguiente tabla:

| Clase de absorción acústica | α_w |
|-----------------------------|------------------------------------|
| A | 0,90; 0,95; 1,00 |
| B | 0,80; 0,85 |
| C | 0,60; 0,65; 0,70; 0,75 |
| D | 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55 |
| E | 0,25; 0,20; 0,15 |
| Sin clasificar | 0,10; 0,05; 0,00 |

Tabla 1. Clases de absorción acústica

- ASTM C-423-09. Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method.

Esta norma Americana describe también un método para la obtención de la absorción sonora en cámara reverberante, bastante similar al que marca la UNE-EN ISO 354:2004. En este caso la

norma indica una fórmula para la obtención de la velocidad de propagación del sonido en el aire, c , que permite un rango mayor de ajuste además de ampliar el rango de medida de 80 a 5000 Hz.

En esta norma se define dos nuevos parámetros. El primero es el “sound absorptio average”, SAA. Este parámetro es la media de los tercios de octava desde 200 Hz hasta 2500 Hz, redondeado a múltiplos de 0,01. El segundo, es el NRC (coeficiente de reducción de ruido), que se define como el valor medio de los coeficientes de absorción del material a las frecuencias de 250, 500, 1000 y 2000 Hz. Esta medidas se expresa como el múltiplo más cercano de 0,05.

- Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación

En Abril de 2009 entró en vigor el Documento Básico de Protección Frente el Ruido, aprobado a través del Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre y que forma parte del Código Técnico de la Edificación.

En él se establece las reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de protección frente al ruido. En este caso, para caracterizar los materiales acústicos, sólo tres de sus frecuencias son consideradas, promediando el valor del coeficiente de absorción sonoro en las frecuencias centrales de 500, 1000 y 2000 Hz. Obteniendo así el coeficiente de absorción medio, α_{medio} , cuyo significado técnico sólo es aplicable al DB-HR.

II.2.2 Evaluación del coeficiente de absorción a incidencia normal.

- UNE EN ISO 10534-2 Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia.

El conjunto de normas UNE EN ISO 10534, son normas a cumplir para determinar el coeficiente de absorción acústica e impedancia acústica en tubos de impedancia.

La segunda parte de esta norma se utilizada en el desarrollo del presente trabajo, recoge los criterios a seguir para el método de la función de transferencia.

Este método de ensayo es utilizado en la determinación del coeficiente de absorción acústica, para incidencia normal, de materiales absorbentes acústicos mediante un tubo de impedancia, dos posiciones de micrófono y un sistema digital de análisis de señal. Puesto que los cocientes de impedancia de un material absorbente acústico, se relacionan con sus propiedades físicas, este método de ensayo es útil en investigación básica y desarrollo de productos.

Se define como coeficiente de absorción acústica a incidencia normal, α , el coeficiente entre la energía acústica absorbida por superficie de muestra de ensayo (sin retorno) y la energía acústica incidente, para una onda plana con incidencia normal.

En el ensayo se generan ondas planas en el tubo mediante la fuente de ruido, situada en el extremo opuesto de la muestra a ensayo, y la descomposición del campo interferencial se realiza mediante la medición de la presión acústica en dos posiciones fijas de micrófono, seguido del cálculo de la función de transferencia compleja, la absorción a incidencia normal y los coeficientes de la impedancia del material.

II.2.3 Evaluación del tiempo de reverberación.

- UNE-EN ISO 3382-2:2008. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios.

En esta parte de la norma se especifica los métodos de medición del tiempo de reverberación en recintos ordinarios. Describe; el procedimiento de medición, el equipo necesario, el número de posiciones de medida y el método para evaluar los datos.

Los resultados se pueden utilizar para la corrección de otras mediciones acústicas o para la comparación con los requisitos del tiempo de reverberación en los recintos.

- Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación.

Como se ha comentado anteriormente, establece las reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de protección frente al ruido.

Para los valores límite del tiempo de reverberación se debe cumplir:

1. En conjunto los elementos constructivos, acabados superficiales y revestimientos que delimitan un aula o sala de conferencias, tendrán la absorción acústica necesaria de tal manera que:
 - a. El TR en aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación y sin mobiliario), cuyo volumen sea menor que 350 m^3 , no será mayor que 0,7 s.
 - b. El TR en aulas y salas de conferencias vacías, pero incluyendo el total de las butacas,, cuyo volumen sea menor que 350 m^3 , no será mayor que 0,5 s.
 - c. El TR en restaurantes y comedores vacios no será mayor que 0,9 s.
2. Para limitar el ruido reverberante en las zonas comunes de elementos constructivos, los acabados superficiales y los revestimientos que delimitan una zona común de un edificio de uso residencial o docente colindante con recintos protegidos con los que comparten puertas, tendrán la absorción acústica suficiente de tal manera que el área de absorción acústica equivalente, A , sea al menos $0,2 \text{ m}^2$ por cada metro cúbico del volumen del recinto.

III. DESARROLLO DE LA TESINA

III.1. ENSAYOS DE COEFICIENTE DE ABSORCIÓN EN CÁMARA REVERBERANTE

Este apartado engloba todos los ensayos realizados del coeficiente de absorción en cámara reverberante de la presente tesina. Las medidas realizadas han sido de diferentes materiales dentro de dos grandes grupos. El primer grupo pertenece a los textiles mientras que el segundo a objetos absorbentes.

Dentro del grupo de textiles se han realizado medidas para cortinas, murales y paneles japoneses. La diferencia entre ellos reside en la forma de colocar el material suspendido, es decir, en las cortinas, la tela con fruncidos en la parte superior para realizar los vuelos es colgada en raíles y cae por el propio peso de la misma. En los murales, la tela no tiene vuelos y es colgada con un contrapeso en la parte inferior de la tela con la función de tensarla. Por último, los paneles japoneses tampoco tienen vuelo y están compuestos de varios paneles independientes los cuales se pueden recoger todos hacia un lado o la mitad a la derecha y la otra mitad a la izquierda. En la Fig. 14 por medio de dibujos se representa a cada uno de estos materiales.

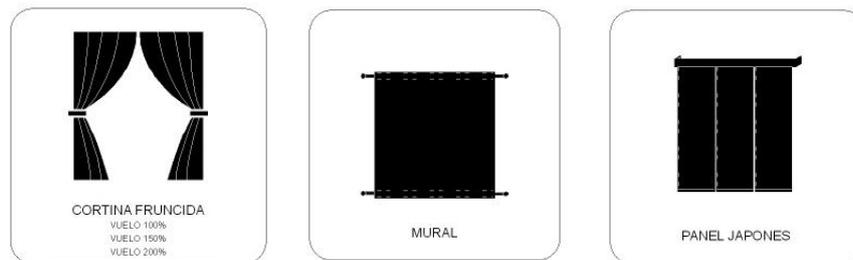


Fig. 14. Dibujos de los diferentes textiles ensayados en cámara reverberante.

En el grupo de objetos absorbentes se ha llevado a cabo las mediciones del coeficiente de absorción de un sillón y un sofá. Se llama sillón cuando su uso es sólo para una sola persona mientras que en el sofá pueden sentarse varias.

Todos los ensayos que se van a detallar a continuación para el cálculo de la absorción sonora de materiales se han realizando en la cámara reverberante de la EPSG y cumpliendo con la norma internacional UNE –EN ISO 345:2004.

III.1.1 Cortinas.

Los ensayos del coeficiente de absorción de cortinas en cámara reverberante desarrollado en el presente trabajo, y que se expone en líneas más abajo, parten de mediciones previas del coeficiente de absorción en incidencia normal según la normativa UNE-EN ISO 10534-2 de diferentes muestras de materiales utilizados para cortinas.

En dichos ensayos previos, se midió el coeficiente de absorción en incidencia normal de seis textiles diferentes, además, estos textiles con plenums de diferente espesor, concretamente de plenums de 5, 10 y 15 cm.

Una vez finalizado estos ensayos se quiso abordar la influencia del tintado en las muestras, interesándose por si éste puede variar la porosidad y por lo tanto la resistencia al flujo y sus características acústicas. Para ello se llevaron a cabo medidas del coeficiente de absorción en incidencia normal de tres de los seis textiles. Cada uno de estas tres muestras, se ensayó con tres tintes diferentes, y con plenums de 5, 10 y 15 cm de espesor.

Como resultado de todas estas mediciones se realizó una selección de los materiales a medir en cámara reverberante y se obtuvo la conclusión de que el plenum es quien marca el comportamiento acústico del textil, siendo la influencia del tinte un matiz a este comportamiento.

Una vez conocido de antemano los resultados de los ensayos llevados a cabo, anteriormente mencionados, se realizan las mediciones en cámara reverberante del coeficiente de absorción sonoro de diferentes combinaciones de cortinas, estudiando la influencia de los vuelos, plenums y telas.

Se han medido dos tipos de materiales, cuyas características se recogen en la tabla 2. Con dichos materiales se han realizado 7 combinaciones distintas de telas y plenums y 4 vuelos diferentes. Cuatro de las combinaciones son de un único material, bien TEXTIL1 o TEXTIL2, y los tres restantes son combinación de ambos. Los diferentes vuelos de las cortinas se expresaran en % siendo 0%, cortina sin vuelo, 100%, cortina con el doble de tela para realizar el fruncido, 150%, con 2,5 veces más de tela y 200%, con el triple de tela para el fruncido.

| | TEXTIL1 | TEXTIL2 |
|------------------------------|---------|---------|
| Densidad (g/m ²) | 318,3 | 296 |
| Espesor (cm) | 0,05 | 0,2 |

Tabla 2. Cortinas. Características de los materiales medidos.

En la tabla 3 se detallan todas las combinaciones de cortinas ensayadas. Todos los ensayos han sido referenciados con la letra y el número de configuración correspondiente más el vuelo, indicado en %.

| CONFIGURACIÓN | SIMPLE | | DOBLE | | |
|---------------|--------|----------|--------|----------|--------------|
| | Nº | Material | Plenum | Material | Plenum |
| C1 | | TEXTIL1 | 14,5 | | |
| C2 | | TEXTIL1 | 8,5 | | |
| C3 | | TEXTIL1 | 8,5 | + | TEXTIL2 14,5 |
| C4 | | TEXTIL1 | 8,5 | + | TEXTIL2 20,5 |
| C5 | | TEXTIL1 | 14,5 | + | TEXTIL2 20,5 |
| C6 | | TEXTIL2 | 20,5 | | |
| C7 | | TEXTIL2 | 14,5 | | |

Tabla 3. Cortinas. Configuraciones ensayadas de cortinas en cámara reverberante

Los ensayos se han realizado en la cámara reverberante de la EPSG, la cual cumple todos los requisitos exigidos por la normativa. El montaje se ha realizado como se indica en el anexo B apartado 5 (montaje tipo G) de UNE-EN ISO 345:2004, donde se especifica; la muestra de ensayo tipo cortina, debe colgarse paralela a la superficie de la cámara. La muestra puede ensayarse con o sin marco perimetral dependiendo de cómo se utilice en la práctica.

La colocación de las cortinas se ha llevado a cabo por profesionales de la empresa suministradora y se ha reproducido las condiciones prácticas reales como marca la norma.

La Fig. 15 recoge fotografías del montaje en cámara de las cortinas a medir.

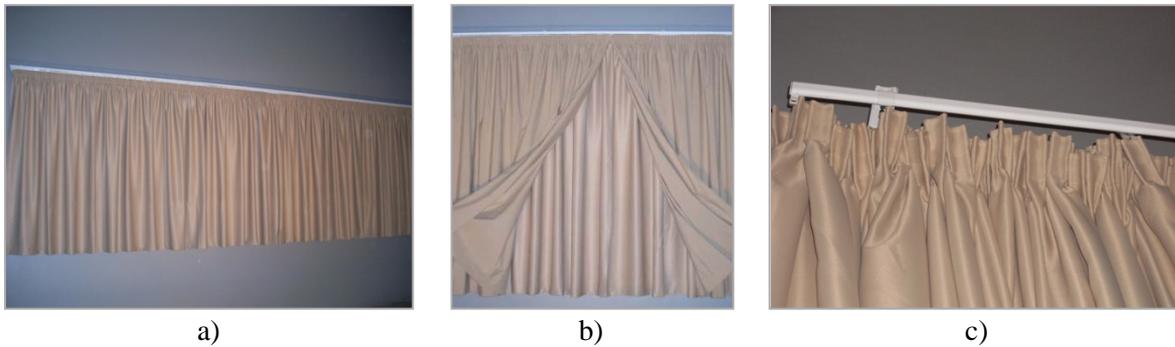


Fig. 15. Cortinas. Fotografías mediciones en cámara. a) Cortina simple. b) Cortina doble. c) Cortina con vuelo 200%.

Se ha realizado un total de 28 ensayos. A continuación se muestran agrupados por diferentes combinaciones según se ha creído conveniente para el estudio de las distintas características que presentan las cortinas.

- Estudio de la influencia del vuelo en cortinas

Para el estudio de la influencia del vuelo se ha representado las curvas de absorción sonora de un mismo material con los cuatro diferentes vuelos (0%, 100%, 150% y 200%), como se muestra en la Fig. 16 en la gráfica de la izquierda se comparan los diferentes vuelos para la configuración C1 mientras que en la de la derecha se ha realizado para la configuración C3, creando así un total de siete gráficas que se recogen en el Anexo I.

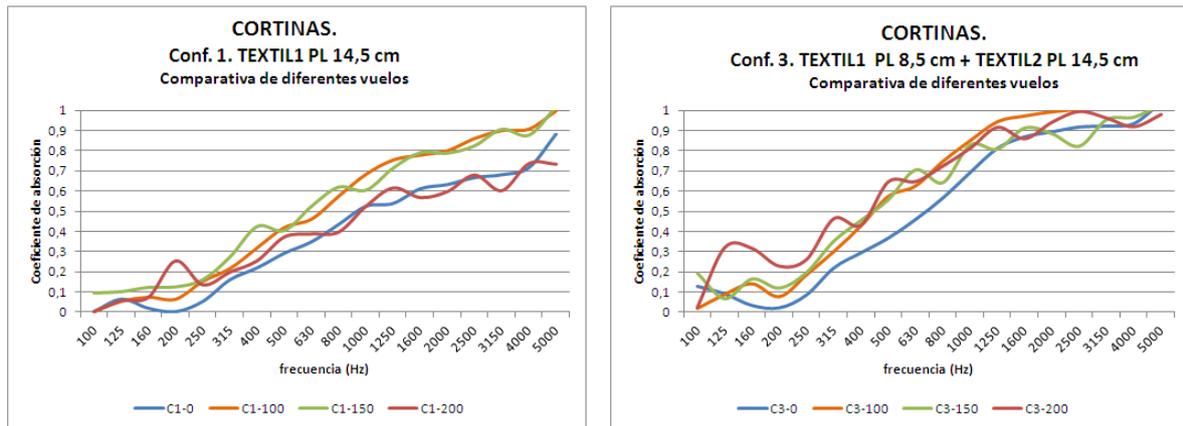


Fig. 16. Cortinas. Dos de las 7 gráficas de configuraciones con los vuelos de 0%, 100%, 150% y 200%.

Se observa que en todas las configuraciones estudiadas, tanto en los casos donde solo hay una tela como cortina (conf. C1, C2, C6 y C7) como en la que la cortina está compuesta por la combinación de ambas telas (conf. C3, C4 y C5) los valores más bajos del coeficiente de absorción sonora los encontramos en las cortinas sin vuelo (vuelo 0%).

Al realizar un análisis completo de la influencia del vuelo en cortinas podemos decir que no existe una correlación clara entre el aumento de vuelo y la mejora del coeficiente de absorción. En el caso de las configuraciones C1, C2 y C5 existe poca diferencia del coeficiente de absorción sonora entre los vuelos de 100%, 150% y 200%, en cambio esta diferencia es mayor a bajas frecuencias para las configuraciones C3 y C4 mientras, que para las configuraciones C6 y C7 se muestra un aumento del coeficiente de absorción a medias y altas frecuencias para el vuelo del 200%.

Destacar que si existe algún valor no típico en una curva de absorción, esto es resonancias a bajas-medias frecuencias, es el caso del vuelo de 150% en la configuración C4 o en la mayoría de los casos de vuelos de 200%.

- Estudio de la influencia de los plenums.

En este apartado lo que se pretende es realizar un estudio del comportamiento de las cortinas en función del plenum. Para ello se ha representado conjuntamente la configuración C1 y C2, cortinas

elaboradas exclusivamente con el TEXTIL1, para cada una de los diferentes vuelos, las configuraciones C3,C4 y C5, formadas por la combinación de ambos textiles, para cada vuelo y por último las configuraciones C6 y C7, cortinas con el TEXTIL2 para todos los vuelos.

A continuación se muestran una selección de las gráficas más representativas del estudio de la influencia de los plenums. En su totalidad se pueden consultar en el Anexo I.

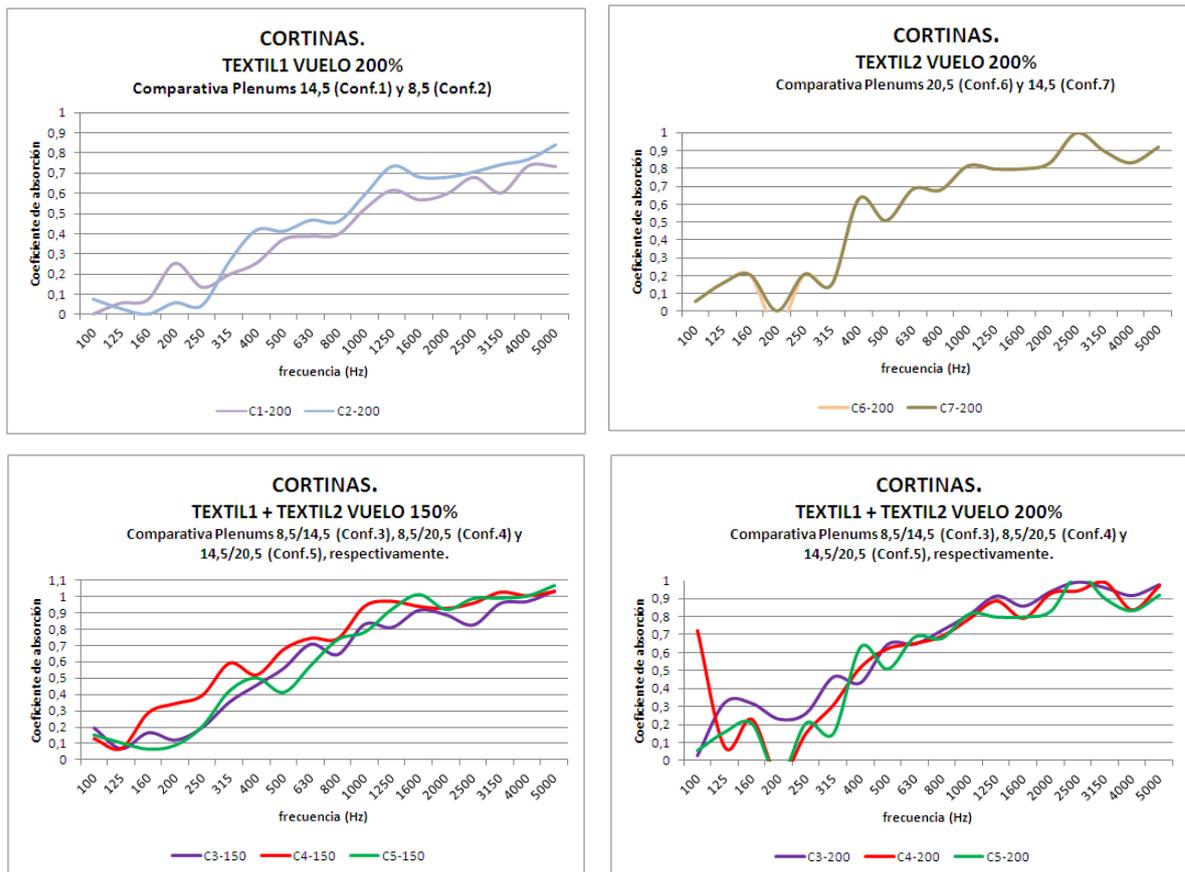


Fig. 17. Cortinas. Cuatro de las 12 gráficas del estudio de la influencia de los plenums en cortinas.

De los resultados obtenidos, observamos, que en las cortinas elaboradas con una única tela, bien TEXTIL1, con plenums de 14,5 y 8.5 cm, o TEXTIL2, con plenums de 20,5 y 14,5 cm sólo se muestra variación del coeficiente de absorción para el vuelo de 200%. Estas diferencias son más notables en el caso del TEXTIL2, donde existen diferencias de 0,3 o incluso de 0,6, situándose el plenum de 20,5 cm por encima del de 14,5 cm.

En las cortinas formadas por la combinación de ambos textiles, las variaciones aparecen en los vuelos de 150% y 200%. Entre las configuraciones C3 y C5 y la configuración C4 (TEXTIL1-8,5 cm + TEXTIL2-20,5 cm) existen diferencias de casi 0,3 a bajas frecuencias para el vuelo de 150%. En cambio, en el vuelo de 200% las diferencias son menores siendo superior la configuración C3 (TEXTIL1-8,5 cm + TEXTIL2-14,5 cm).

- Estudio de los índices de evaluación únicos

Como se ha comentado anteriormente en el apartado II.2.1 disponemos de varios índices de evaluación únicos para caracterizar materiales acústicos.

A continuación se muestra una tabla resumen con el coeficiente de absorción sonora ponderado, α_w , y la clase de absorción acústica definidos en la Norma Internacional UNE-EN ISO 11654, el coeficiente de reducción de ruido, NRC, de la Norma Americana ASTM C-423 y el coeficiente de absorción medio, α_{medio} del DB-HR del CTE, de las diferentes configuraciones para todos los vuelos estudiados.

| | | Conf. C1 | Conf. C2 | Conf. C3 | Conf. C4 | Conf. C5 | Conf. C6 | Conf. C7 |
|------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| vuelo 0% | | | | | | | | |
| ISO 11654 | α_w | 0,30 | 0,25 | 0,35 | 0,40 | 0,40 | 0,35 | 0,35 |
| | CLASE | D | E | D | D | D | D | D |
| ASTMC-423 | NRC | 0,35 | 0,35 | 0,50 | 0,55 | 0,55 | 0,40 | 0,40 |
| DB-HR | α_{medio} | 0,48 | 0,47 | 0,65 | 0,68 | 0,70 | 0,48 | 0,50 |
| vuelo 100% | | | | | | | | |
| ISO 11654 | α_w | 0,40 | 0,35 | 0,50 | 0,50 | 0,55 | 0,45 | 0,40 |
| | CLASE | D | D | D | D | D | D | D |
| ASTMC-423 | NRC | 0,50 | 0,45 | 0,65 | 0,70 | 0,70 | 0,55 | 0,50 |
| DB-HR | α_{medio} | 0,62 | 0,57 | 0,80 | 0,85 | 0,85 | 0,65 | 0,62 |
| vuelo 150% | | | | | | | | |
| ISO 11654 | α_w | 0,45 | 0,45 | 0,50 | 0,70 | 0,50 | 0,50 | 0,45 |
| | CLASE | D | D | D | C | D | D | D |
| ASTMC-423 | NRC | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,75 | 0,65 | 0,50 | 0,50 |
| DB-HR | α_{medio} | 0,63 | 0,60 | 0,72 | 0,83 | 0,75 | 0,62 | 0,60 |
| vuelo 200% | | | | | | | | |
| ISO 11654 | α_w | 0,40 | 0,45 | 0,60 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| | CLASE | D | D | C | D | D | D | D |
| ASTMC-423 | NRC | 0,40 | 0,45 | 0,65 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| DB-HR | α_{medio} | 0,48 | 0,58 | 0,78 | 0,77 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |

Tabla 4. Cortinas. Índices de evaluación únicos de todas las configuraciones y vuelos.

Debido a que desde el 2009 apareció el primer borrador del DB-HR, fue implantado en España y es norma de obligatorio cumplimiento nos fijamos en el coeficiente de absorción medio, α_{medio} , para destacar que en las cortinas formadas por dos telas los valores más altos de α_{medio} los encontramos en el vuelo de 100%. En las cortinas elaboradas con una sola tela no es así, habiendo diferencias mínimas entre los vuelos del 100, 150 y 200% para el TEXTIL1, y diferencias de 0,1 en el TEXTIL2 para los vuelos de 100% y 200%, siendo éste último superior.

Por último decir, que las cortinas formadas por la combinación de ambos textiles en todos los vuelos estudiados poseen los valores más elevados del α_{medio} .

III.1.2 Murales.

Se ha procedido a medir el coeficiente de absorción de cortinas murales en cámara reverberante.

Como se ha comentado al principio de este apartado los murales son telas sin vuelo colgadas con un contrapeso en la parte inferior de la tela con la función de tensarla.

En este apartado se pretende estudiar la influencia de diferentes espesores de plenums dobles y triples en el coeficiente de absorción del elemento decorativo de mural. Para ello se ha realizado 7 configuraciones diferentes con el material TEXTIL1, del apartado anterior, y con dos nuevos materiales TEXTIL3 y TEXTIL4, sus propiedades se recogen en la tabla 5. En las tres primeras configuraciones, como en las dos últimas (conf. M7 y M8) el mural está compuesto por dos telas y cada una de ellas con diferentes plenums. En las primeras configuraciones para hacer el mural doble se utiliza el mismo material, TEXTIL 1, en cambio en las últimas se combina el TEXTIL1 con una de las dos nuevas telas. La configuración M4 es idéntica a la M3 únicamente se ha añadido un contrapeso mayor. Las configuraciones M5 y M6 son composiciones triples del mismo material TEXTIL1 y diferentes plenums. En la tabla 6 se recoge la letra y numeración de cada una de las configuraciones realizadas.

| | TEXTIL1 | TEXTIL3 | TEXTIL4 |
|------------------------------|---------|---------|---------|
| Densidad (g/m ²) | 318,3 | 632,6 | 477,4 |
| Espesor (cm) | 0,05 | 0,8 | 2,7 |

Tabla 5. Murales. Características de los materiales medidos.

| CONFIGURACIÓN | SIMPLE | | DOBLE | | TRIPLE | |
|---------------|----------|--------|-----------|--------|------------------|--------|
| | Material | Plenum | Material | Plenum | Material | Plenum |
| M1 | TEXTIL1 | 8,5 | + TEXTIL1 | 14,5 | | |
| M2 | TEXTIL1 | 4,5 | + TEXTIL1 | 10 | | |
| M3 | TEXTIL1 | 2 | + TEXTIL1 | 4,5 | | |
| M4 | TEXTIL1 | 2 | + TEXTIL1 | 4,5 | CONTRAPESO MAYOR | |
| M5 | TEXTIL1 | 2 | + TEXTIL1 | 4,5 | + TEXTIL1 | 7 |
| M6 | TEXTIL1 | 4,5 | + TEXTIL1 | 7 | + TEXTIL1 | 10 |
| M7 | TEXTIL3 | 2 | + TEXTIL1 | 4,5 | | |
| M8 | TEXTIL4 | 4,5 | + TEXTIL1 | 7 | | |

Tabla 6. Murales. Configuraciones ensayadas de murales en cámara reverberante.

Los ensayos se han realizado en la cámara reverberante de la EPSG, cumpliendo con todos los requisitos exigidos por la normativa. Se ha realizado un montaje tipo G, según recoge la UNE-EN ISO 345:2004, de la misma manera que en el apartado anterior y su colocación se ha llevado a cabo por profesionales de la empresa suministradora del producto.

La Fig. 18 muestra dos fotografías de los diferentes montajes realizados en los ensayos.



Fig. 18. Murales. Fotografías mediciones en cámara.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados, agrupados en gráficas, en función del estudio que se pretende realizar; influencia de los diferentes espesores de plenums, influencia del contrapeso de la parte inferior del mural, influencia de las configuraciones dobles o triples e influencia de los materiales.

- Influencias de las distintas combinaciones de espesores de plenums

En la gráfica de la izquierda de la Fig. 19 se han representado las configuraciones dobles formadas por el mismo material, TEXTIL1, y distintos plenums (conf. M1, M2 y M3). En la gráfica de la derecha se muestran las combinaciones triples formadas por el TEXTIL1 y diferentes plenums (conf. M5 y M6).

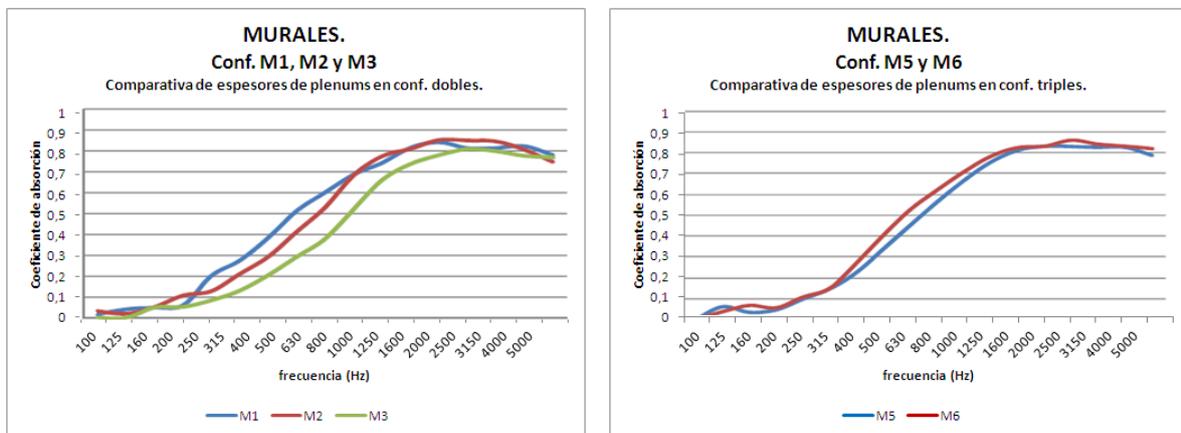


Fig. 19. Murales. Conf. 1, 2 y 3. Comparación de los distintos espesores de plenums en configuraciones dobles.

En las combinaciones dobles, gráfica de la izquierda, se observa diferencia a medias-altas frecuencias (300 Hz - 2500 Hz) entre las distintas combinaciones, siendo la configuración M1 (plenums de 8,5+14,5 cm), la de mayor valor del coeficiente de absorción, seguida por la configuración M2 (plenums de 4,5+10 cm), y por último habiendo una mayor diferencia con la configuración M3 (plenums de 2+4,5 cm). Se puede observar una clara tendencia del aumento del valor de la absorción sonora al aumentar el espesor total del plenum del mural.

En las combinaciones triples, gráfica de la derecha, conf. M5 (espesores de plenum de 2+4,5+7) y conf. M6 (espesores de plenum de 4,5+7+10), no se sigue esta misma tendencia, siendo los valores prácticamente idénticos.

- Influencia del contrapeso

Para valorar la influencia del contrapeso se han ensayado las configuraciones M3 y M4, las cuales son composiciones dobles de TEXTIL1 con los mismo espesores de plenums, su única diferencia es que el contrapeso del mural de la conf. M4 es más pesado que el de la conf. M3.

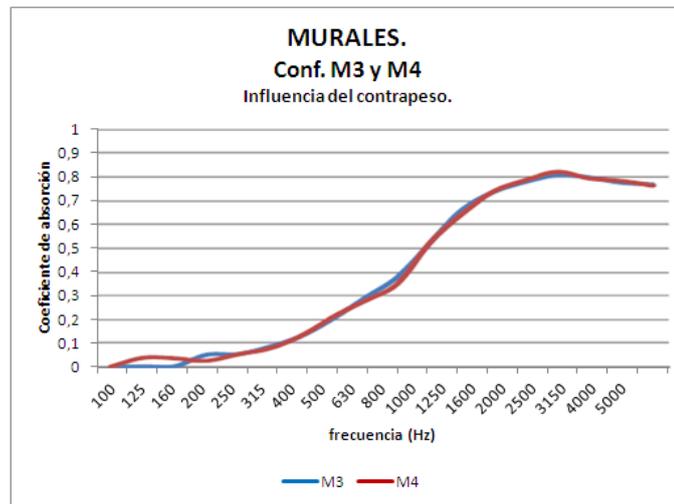


Fig. 20. Murales. Conf. 3 y 4. Influencia del contrapeso.

No se aprecian casi diferencias entre ambas curvas del coeficiente de absorción sonora. Valores idénticos del coeficiente en función de la frecuencia.

- Influencia de combinaciones dobles o triples

Se ha representado la conf. M3, mural doble con espesores de plenums de 2 y 4,5 cm, y la conf. M5, mural triple con espesores de plenums de 2, 4,5 y 7 cm.

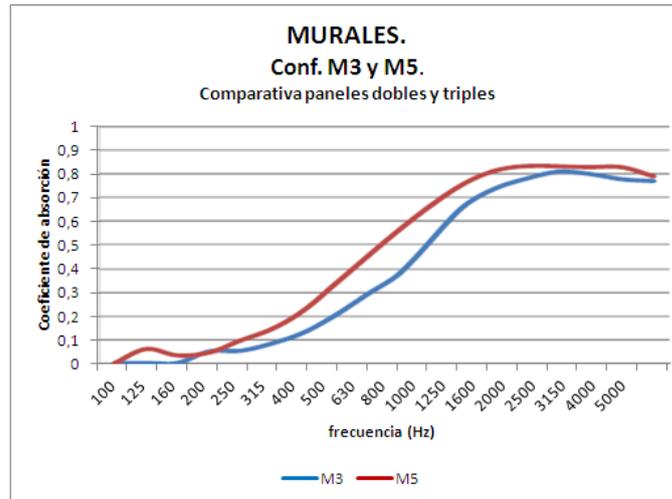


Fig. 21. Murales. Conf. 3 y 5. Comparación de combinaciones dobles o triples.

Se observa que el aumento del espesor del plenum total, combinación triple, mejora la absorción sonora a partir de frecuencias relativamente bajas, en torno a 250 Hz.

- Influencia del material

A continuación, se comparan dos combinaciones dobles con distintos materiales pero idénticos plenums. La configuración 3 está compuesta por dos TEXTIL1 y la combinación 7 por TEXTIL3 y TEXTIL1, respectivamente.

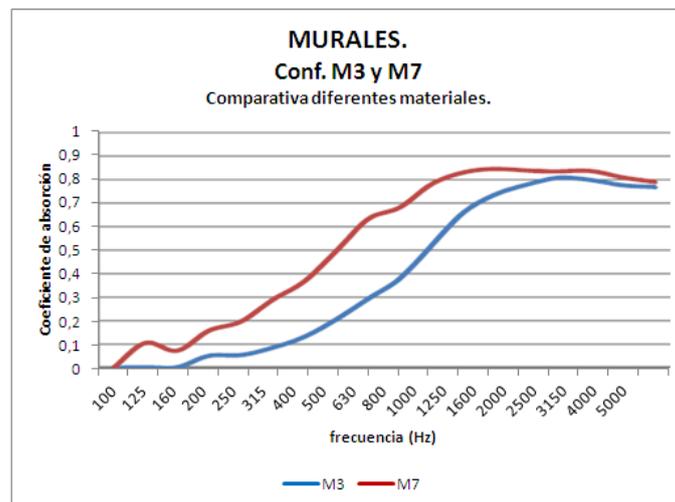


Fig. 22. Murales. Conf. 3 y 7. Comparación de diferentes materiales.

Se observan diferencias importantes en los valores del coeficiente de absorción en función de la frecuencia y desde frecuencias bajas siendo los valores de la configuración 7 superiores en todo el rango de frecuencia a los de la configuración 3.

- Comparación de todas las configuraciones

Por último, se ha decidido comparar todas las configuraciones estudiadas y descritas en la tabla 6.

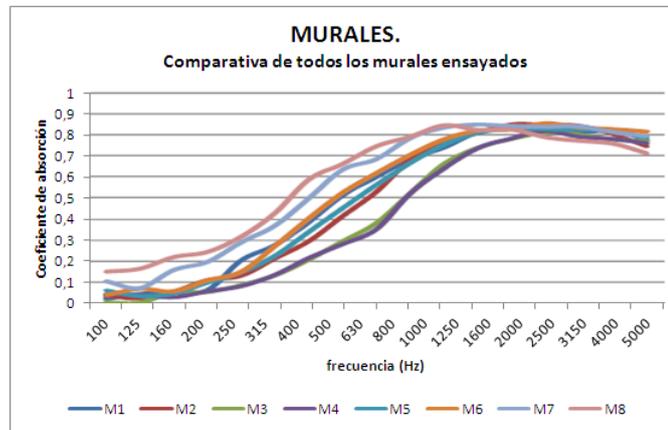


Fig. 23. Murales. Comparativa de todos los murales ensayados.

Se puede observar como todas las configuraciones describen una curva de absorción sonora en función de la frecuencia típica de un elemento absorbente acústico, es decir, el valor de la absorción aumenta con la frecuencia, aunque no todas las configuraciones aumentan con la misma tendencia. Se pueden diferenciar tres comportamientos distintos; un primer grupo, configuraciones M3 y M4, aumenta el valor del coeficiente de absorción suave con la frecuencia y por lo tanto tiene valores medios de la absorción a medias frecuencias, un segundo grupo aumenta la absorción a partir de bajas frecuencias y por lo tanto, valores de absorción importantes a medias frecuencias, configuraciones M7 y M8. Por último, el resto de configuraciones dobles y triples (conf. M1, M2, M5 y M6) presenta un comportamiento intermedio, aumentando de forma gradual el valor de la absorción con la frecuencia.

Destacar que todas las configuraciones presentan el mismo valor máximo del coeficiente de absorción, en torno a 0,8, a partir de 2500 Hz.

La tabla 7 muestra, a modo de resumen, los diferentes índices de evaluación únicos; coeficiente de absorción sonora ponderado, α_w , coeficiente de reducción de ruido, NRC, y el coeficiente de absorción medio, α_{medio} , de todas las configuraciones ensayadas.

| | | Conf. |
|------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
| ISO 11654 | α_w | 0,40 | 0,35 | 0,25 | 0,25 | 0,35 | 0,40 | 0,50 | 0,55 |
| | CLAS | | | | | | | | |
| | E | D | D | E | E | D | D | D | D |
| AS TMC-423 | NRC | 0,50 | 0,50 | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,6 |
| DB-HR | α_{medio} | 0,62 | 0,60 | 0,48 | 0,50 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,72 |

Tabla 7. Murales. Índices de evaluación únicos de todas las configuraciones de cortina mural.

III.1.3 Paneles japoneses.

Para finalizar las medidas realizadas del coeficiente de absorción de textiles se ha llevado a cabo ensayos de paneles japoneses en cámara reverberante.

Recordar que los paneles japoneses son cortinas sin vuelo y están compuestos de varios paneles independientes los cuales se pueden recoger todos hacia un lado o la mitad a la derecha y la otra mitad a la izquierda.

El panel japonés ensayado está formado por tres materiales, el primero, la cara incidente, es una tela que bien puede ser T1 o T2, luego encontramos la cara intermedia, donde se encuentra el material absorbente, en estos casos se ha utilizado lana de roca, LR1 o LR2 de 15 cm, y por último, la cara trasera del material la más cercana a la superficie rígida, volveremos a tener otra vez una tela, T1 o T2. Las propiedades de cada uno de estos materiales se recogen en la tabla 8.

| | T1 | T2 | LR5-15 | LR7-15 |
|-----------------------------|-------|-------|--------|--------|
| Densidad (g/m^2) | 228,6 | 157,4 | 130,3 | 707,3 |
| Espesor (cm) | 0,05 | 0,03 | 1,5 | 1,50 |

Tabla 8. Paneles japoneses. Características de los materiales utilizados en los ensayos.

Se ha realizado 7 ensayos para estudiar la influencia de los materiales y de los plenums. En la tabla de abajo se detalla las configuraciones de cada ensayo realizado.

| PANEL N° | Cara incidente del material | | Cara intermedia | | Cara trasera | | Plenum |
|----------|-----------------------------|---|-----------------|---|--------------|---|--------|
| PJ1 | T1 | + | L1 | + | T2 | + | 10 |
| PJ2 | T2 | + | L1 | + | T1 | + | 10 |
| PJ3 | T1 | + | L1 | + | T2 | + | 5 |
| PJ4 | T1 | + | L2 | + | T2 | + | 10 |
| PJ5 | T2 | + | L2 | + | T1 | + | 10 |
| PJ6 | T1 | + | L2 | + | T1 | + | 5 |
| PJ7 | T1 | + | L2 | + | T1 | + | 10 |

Tabla 9. Paneles japoneses. Configuraciones ensayadas.

El montaje se ha llevado a cabo por profesionales de la empresa proveedora y en cada ensayo se utilizan 9 paneles de 60x250 cm solapados 6 cm entre sí, como se puede ver en la Fig. 24.



Fig. 24. Paneles japoneses. Fotografía montaje en cámara reverberante.

La gráfica de a continuación muestra los resultados del coeficiente de absorción para cada uno de los paneles japoneses ensayados.

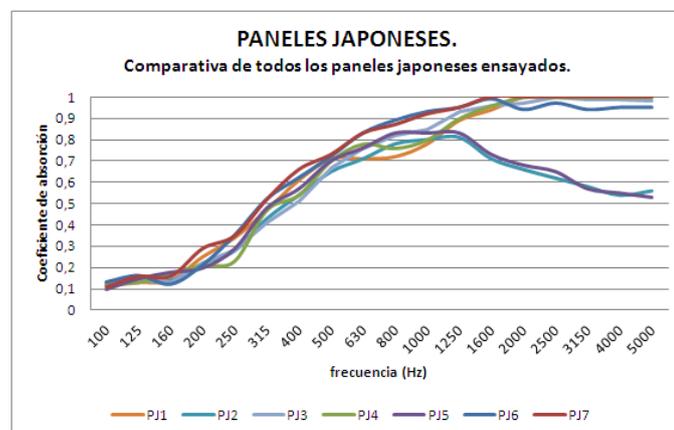


Fig. 25. Paneles japoneses. Resultados de los ensayos de paneles japoneses

- Influencia de los materiales

Casi todos los modelos ensayados dibujan una curva de absorción típica de materiales absorbentes excepto en los casos donde el material incidente es el T2, que a partir de los 800 Hz en lugar de tener una tendencia creciente con la frecuencia ocurre lo contrario los valores del coeficiente de absorción decrecen.

- Influencia del plenum

Se han medido dos paneles con diferentes plenums. Los paneles PJ1 y PJ3 están formado por los mismos materiales pero PJ1 tiene un plenum de 10 cm y PJ3 de 5 cm, lo mismo sucede con los paneles PJ6 y PJ7 en éste caso tienen plenum 5 y 10 cm respectivamente. En ambos casos la diferencia del coeficiente de absorción para el plenum de 5 o de 10 cm es pequeña, siendo superior el plenum de 10 cm excepto, para PJ1 y PJ3 donde a frecuencias medias, de 500 a 1600Hz, con el plenum de 5 cm se obtienen mejor resultado.

A continuación, se muestran los diferentes índices de evaluación únicos; coeficiente de absorción sonora ponderado, α_w , coeficiente de reducción de ruido, NRC, y el coeficiente de absorción medio, α_{medio} , de todos los paneles japoneses ensayados.

| | | PJ1 | PJ2 | PJ3 | PJ4 | PJ5 | PJ6 | PJ7 |
|------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| ISO 11654 | α_w | 0,65 | 0,70 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,65 | 0,60 |
| | CLASE | C | C | C | C | C | C | C |
| AS TMC-423 | NRC | 0,71 | 0,60 | 0,69 | 0,69 | 0,63 | 0,74 | 0,76 |
| DB-HR | α_{medio} | 0,83 | 0,70 | 0,83 | 0,84 | 0,74 | 0,86 | 0,90 |

Tabla 10. Paneles japoneses. Índices de evaluación únicos de todas las configuraciones.

III.1.3 Sofás.

Se pretende estudiar el comportamiento de la absorción acústica de sillones y sofás. Por lo que se han realizado diferentes ensayos para evaluar y calificar dichos elementos decorativos además de intentar mejorar las propiedades acústicas de éstos.

Las medidas se han realizado cumpliendo los criterios marcados por la norma internacional UNE-EN ISO 354:2004. En este apartado las muestras a ensayo son absorbente unitarios, por lo que el montaje y los ensayos se realizaran según el apartado 6.2.2 donde se recoge que, para el ensayo de objetos unitarios (sillas, personas, biombos...) debe colocarse de la misma forma en que son instalados en la práctica, pero deben estar a más de un metro de la pared. Si la muestra se compone solo de un objeto, debe ensayarse al menos en tres posiciones como mínimo, distanciadas al menos 2 metros y promediar los resultados.

En la Fig. 26 se muestra el sillón, uso solo para una persona, y sofá, uso para varias persona, utilizados para los ensayos. A diferencia del sillón, que es nuevo, el sofá ensayado es un sofá viejo ya utilizado.



Fig. 26. Sofás. Fotografías. a) Sillón ensayado b) Sofá.

Se ha realizado un total de 13 ensayos. Se ha estudiado la absorción acústica en las condiciones iniciales con las que llegaron los elementos, la influencia de la ocupación de los mismos, la influencia de la colocación de éstos en una sala y una serie de propuestas de mejora, en este caso sólo para el elemento decorativo de sofá.

- Caracterización del elemento decorativo de sillón y sofá

Los primeros ensayos que se realizan del sillón y del sofá son en condiciones iniciales, es decir, se ha medido tal y como se recibieron, sin realizar ninguna modificación.

Recordar que las partes del sofá son tres. La primera es el armazón, realizado con listones de madera, es el esqueleto del sofá que da forma y rigidez, luego este armazón se forra con gomaespuma para darle una textura blanda y por último se tapiza todo con una tela que puede ser de infinidad de materiales, texturas y colores. En la Fig. 27 se puede ver a la izquierda un armazón por la parte de abajo del sofá forrado con la gomaespuma y en la imagen de la derecha el armazón, la gomaespuma y la tela de nuestro sofá.



Fig. 27. Sofás. Fotografías. Partes de un sofá.

A continuación se muestra los resultados del área de absorción equivalente del sillón y del sofá, en metros cuadrados en condiciones iniciales.

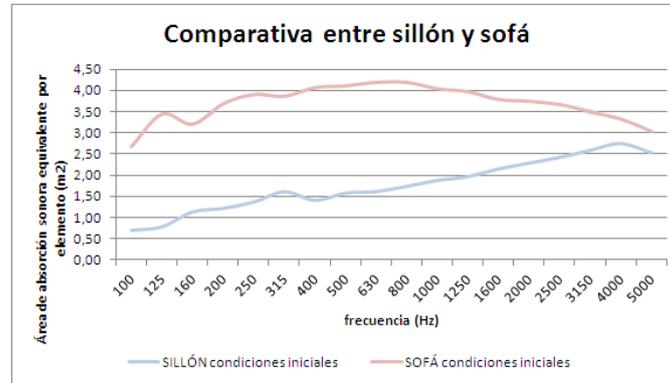


Fig. 28. Sofás. Área de absorción equivalente de sillón y sofá.

Como se puede apreciar en la gráfica, y cabía esperar por las dimensiones, el área de absorción equivalente del sofá es superior a la del sillón.

De la norma se entiende que, para objetos unitarios, se ha de calcular el área de absorción equivalente por elemento, resultados recogidos en la figura anterior. Pero si lo que pretendemos es conocer la absorción acústica no por elemento sino por metros cuadrados que ocupa éste, para ello debemos calcular el coeficiente de absorción sonora.

En el caso del sillón se ha estimado que ocupa una superficie de $0,9 \text{ m}^2$ y para el sofá de 2 m^2 . De ahora en adelante cuando, en el presente trabajo, se hable del coeficiente de absorción relacionado a sofás o sillones se da por entendido que no es por elemento en sí sino por los metros cuadrados de superficie que ocupa.

La Fig. 29 muestra el cálculo del coeficiente de absorción de la muestra de sillón y sofá. Se puede observar que los valores para la superficie de sofá no aumentan en función de la frecuencia sino que están comprendidos entre 0,5 y 0,75. En el caso del sillón sí que hay una ligera tendencia de aumentar el coeficiente de absorción en función de la frecuencia.

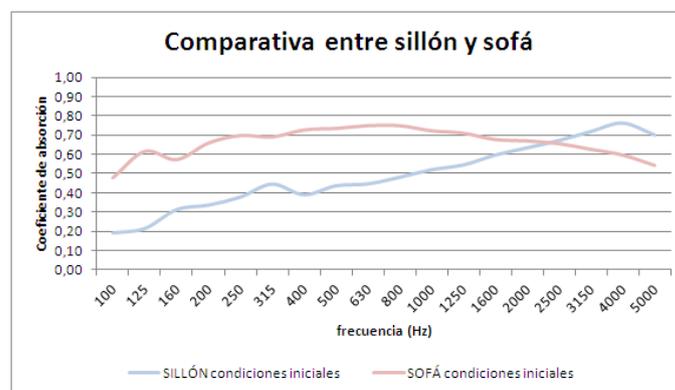


Fig. 29. Sofás. Coeficiente de absorción de la superficie de ocupación del sillón y sofá.

- Influencia de la ocupación del sillón y sofá

Al acondicionar una sala es importante conocer si el coeficiente de absorción del elemento va a variar notablemente en función de si están vacío u ocupados. Para ello se han realizado medidas del sillón y sofá vacíos y ocupados, en el caso del sillón ocupado por una única persona y en el del sofá ocupado por dos personas como se puede ver en la Fig. 30.



Fig. 30. Sofás. Fotografías de los ensayos de sillón, imagen de la izquierda, y sofá, imagen de la derecha, ocupados.



Fig. 31. Sofás. Comparación de la influencia de la ocupación del sillón y sofá.

Apenas se muestran variaciones en el coeficiente de absorción en función de la ocupación tanto en el caso del sillón como el del sofá.

- Influencia del posicionamiento respecto a una sala del sillón y del sofá

En este apartado lo que se pretende estudiar es si existen diferencias en las propiedades acústicas del sillón y sofá dependiendo de la posición de los mismos, es decir, si su coeficiente de absorción varía en función de si el sofá o sillón se encuentra en medio de la sala, donde todas sus caras están

libres de obstáculos, o si el sofá o sillón se encuentran apoyados en una superficie rígida como puede ser la pared, posición muy habitual de estos elementos decorativos.



Fig. 32. Sofás. Imágenes posición de medida en cámara.

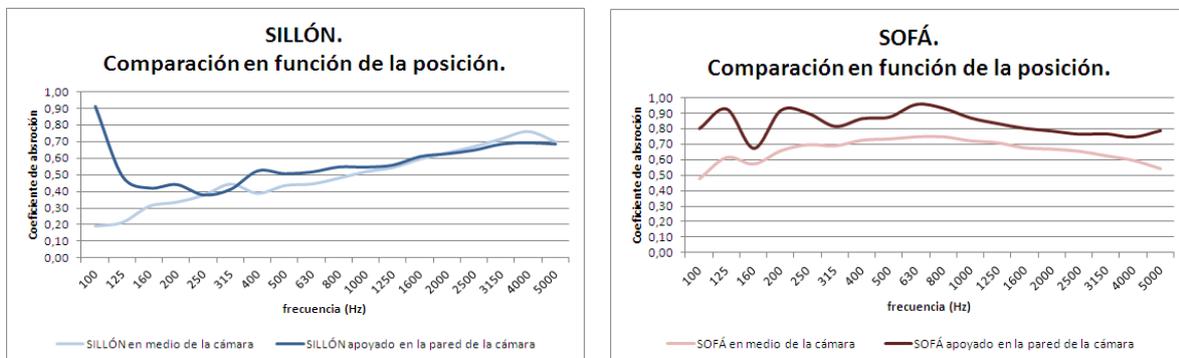


Fig. 33. Sofás. Comparación de la influencia de la posición del sillón y sofá.

En el caso del sillón apoyado en la pared no hay mucha diferencia entre el coeficiente de absorción del sillón en medio de la sala y apoyado en la pared excepto a bajas frecuencias que aparecen valores no típicos debido a resonancias. Se aprecia un incremento del coeficiente de absorción, en todas las bandas de frecuencia, entre 0,1 y 0,2 del sofá está apoyado en la pared respecto al sofá en medio de la cámara. Se aprecia un efecto plenum el cual da lugar a las propuestas de mejora que se detallan a continuación.

- Propuestas de mejoras para el sofá

Tras realizar los ensayos anteriores, y como ya se ha comentado, se observa, que el coeficiente de absorción del sofá aumenta al estar apoyado sobre una superficie rígida por lo que nos planteamos la posibilidad de si se puede mejorar las propiedades acústicas del sofá para obtener resultados parecidos a cuando está apoyado en la pared. Para ello se ha probado en añadir diferentes materiales en el sofá. Todos los ensayos han sido referenciados con la letra y el número de propuesta correspondiente que recoge la siguiente tabla:

| Propuesta Nº | SIMPLE | | DOBLE | | Lugar de colocación |
|-----------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|---|
| | Material | Espesor (cm) | Material | Espesor (cm) | |
| S1 | tablero laminado de madera | 0,5 | - | - | parte trasera del sofá y bajo el asiento |
| S2 | tablero laminado de madera | 1 | - | - | parte trasera del sofá y bajo el asiento |
| S3 | tablero laminado de madera | 1 | - | - | parte trasera del sofá |
| S4 | tablero laminado de madera | 2 | - | - | parte trasera del sofá |
| S5 | material absorbente | 4 | - | - | parte trasera del sofá |
| S6 | tablero laminado de madera | 1 | material absorbente | 2 | parte trasera del sofá |
| S7 | material absorbente | 2 | tablero laminado de madera | 1 | parte trasera del sofá |

Tabla 11. Sofás. Ensayos realizados como propuestas de mejora del sofá.

Al querer mejorar el sofá, lo primero que se pensó fue en dar rigidez al sofá, por lo que se ensayaron las propuestas S1 y S2, con la finalidad de que los tableros laminados de madera, tanto en la parte trasera como bajo los asientos del sofá realizaran la función de plenums. Las imágenes que muestran las modificaciones producidas en el sofá se recogen en la Fig. 34 y los resultados obtenidos con estas propuestas en la Fig. 35.



Fig. 34. Sofás. Modificaciones S1 y S2. Sofá con tablero laminado debajo de los asientos, sofá parte trasera propuesta S1 y parte trasera propuesta S2 respectivamente.

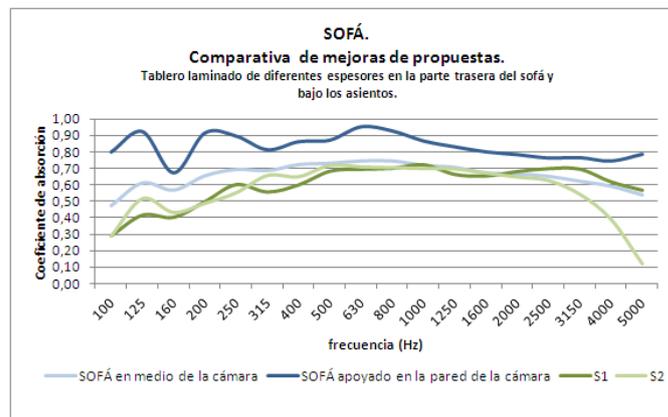


Fig. 35. Sofás. Comparación de los resultados de las propuestas S1 y S2.

Con estas dos soluciones no se consiguen los resultados propuestos, ya que las curvas del coeficiente de absorción para S1 y S2 se encuentran más cercanas al sofá en medio de la cámara, sofá en condiciones iniciales, que apoyado en la pared.

Intentando alcanzar el mismo propósito de mejorar la absorción acústica del sofá para asemejarla a la que obtuvimos cuando éste está apoyado en la pared, se opta por eliminar el tablero bajo los asientos y añadir más masa a la parte trasera del sofá. Por ello se realizan los ensayos de las propuestas S3 y S4, tableros laminados de madera de 1 y 2 cm de espesor, respectivamente, únicamente en la parte trasera.

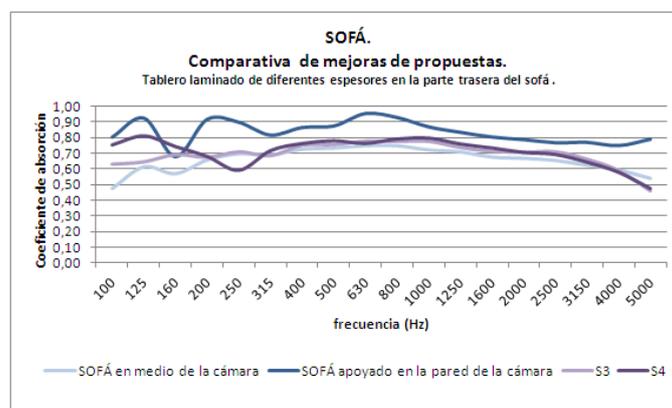


Fig. 36. Sofás. Comparación de los resultados de las propuestas S3 y S4.

Aumentando la masa en la parte trasera del sofá se obtiene valores superiores en el coeficiente de absorción pero sin llegar a los obtenidos con el sofá apoyado en la pared.

Viendo cómo actúa el tablero laminado, se propone cambiar éste por material absorbente de 4 cm en la parte trasera del sofá. Los resultados se muestran en la Fig. 37.

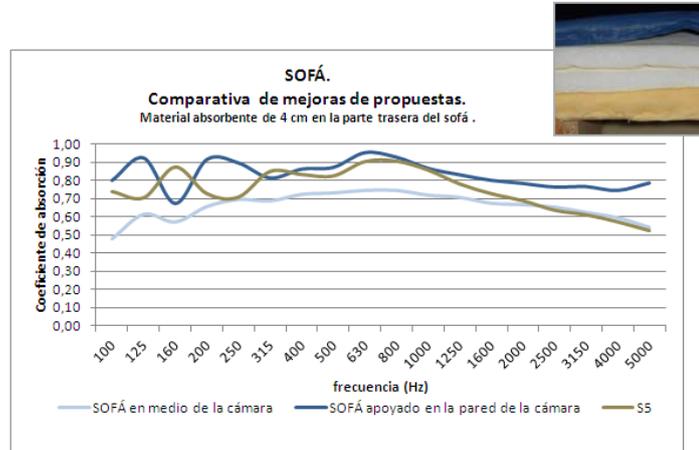


Fig. 37. Sofás. Comparación de los resultados de la propuesta S5.

Al cambiar los tableros laminados por material absorbente mejoramos el coeficiente de absorción. En este caso sí se consiguen resultados similares, sobretodo a medias frecuencias, al obtenido con el sofá apoyado en la pared.

Por último se prueba a realizar una combinación de ambos materiales. En la propuesta S6 se sitúa primero el tablero de 1 cm y después el material absorbente quedando éste en la cara incidente del sofá. Se colocan de forma viceversa en la propuesta S7.



Fig. 38. Sofás. Modificaciones S6 y S7.

A continuación se muestra los resultados de las últimas propuestas realizadas.

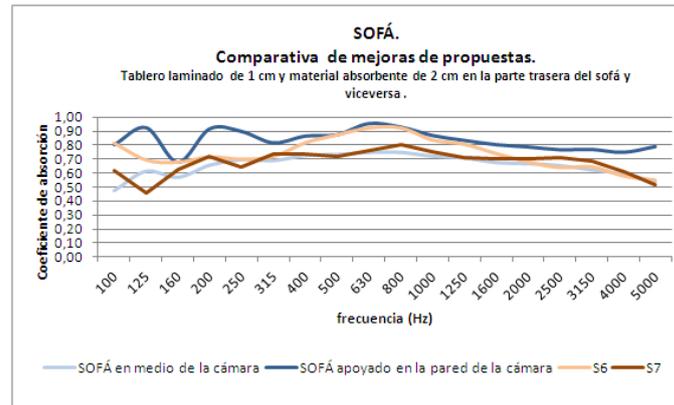


Fig. 39. Sofás. Comparación de los resultados de las propuestas S6 y S7.

Se puede observar como la propuesta S6 obtiene valores mayores del coeficiente de absorción que la propuesta S7. Esto es debido a que en la cara incidente está el material absorbente.

III.2. ENSAYOS COEFICIENTE DE ABSORCIÓN EN INCIDENCIA NORMAL

Los ensayos del coeficiente de absorción en incidencia normal han sido realizados para muestras de paneles absorbentes decorativos en forma de cuadros.

Lo que se ha evaluado en dichos elementos decorativos es si varía las propiedades acústicas de un material al imprimir sobre este un estampado, muestra decorada o al añadir un velo negro.

Las muestras ensayadas son dos, una primera muestra de 2,5 cm de espesor decorada con motivos paisajísticos, y una segunda de 2,7 cm de espesor, la cual por una cara está cubierta con un velo negro y por la otra no lo cubre nada y mantiene las características originales del material.

Los ensayos se han realizado según la UNE-EN ISO 10534-2:2002 descrita anteriormente.

A continuación se exponen los tres tipos de muestras ensayadas y los resultados obtenidos.

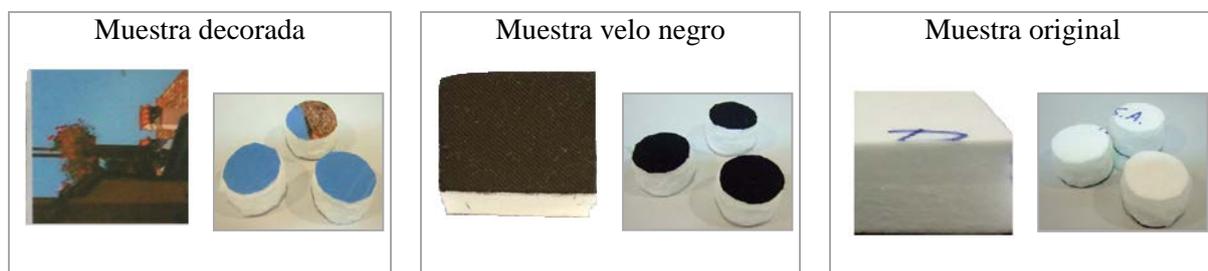


Fig. 40. Ensayos coeficiente de absorción en incidencia normal. Fotografías de las tres muestras ensayadas.

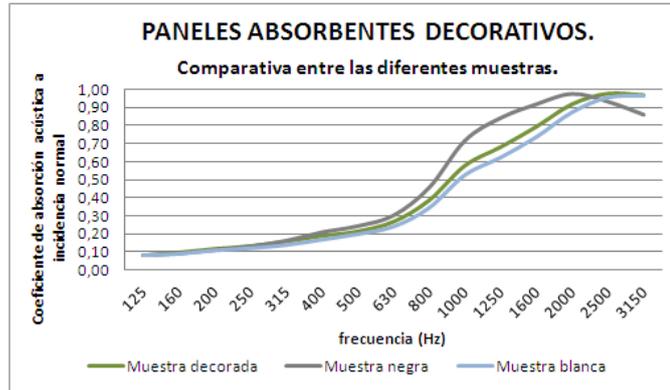


Fig. 41. Paneles absorbentes decorativos. Comparación de los resultados.

No se aprecia grandes diferencias entre el coeficiente de absorción acústico a incidencia normal entre la muestra decorada, original y con velo negro. Si es verdad que esta última tiene valores algo mayores desde la frecuencia 630 Hz hasta la 2 KHz.

III.3. CASOS PRÁCTICOS

Se ha querido valorar la influencia en la absorción acústica de recintos, mediante mediciones in situ, de algunos de los elementos decorativos ensayados en cámara reverberante.

III.3.1 Medidas in situ en sala de reuniones.

Se ha realizado mediciones in situ del tiempo de reverberación, según norma UNE-EN ISO 3382-2:2008, en una sala destinada para reuniones, sus dimensiones se recogen en la tabla 12. Se pretende estudiar las variaciones del tiempo de reverberación en la sala instalando cortinas en la misma.

La sala plantea problemas de aislamiento acústico. El panelado de madera existente no debe superar los 15-20 dBA de aislamiento acústico. La sala está amueblada con una mesa central y sillas alrededor. Las fotografías de la Fig.42 muestran todas las características comentadas de la sala.

| SALA DE REUNIONES | |
|---------------------------|------|
| Alto (m) | 4,5 |
| Ancho (m) | 3,8 |
| Largo (m) | 15,8 |
| Volumen (m ³) | 264 |

Tabla 12. Sala reuniones. Dimensiones



Fig. 42. Sala de reuniones. Fotografías.

Las medidas que se han llevado a cabo han sido para tres situaciones diferentes; ensayo de la sala de reuniones sin cortinas, ensayo con las cortinas cerradas y ensayo con las cortinas abiertas.



a)

b)

c)

Fig. 43. Sala de reuniones. a) Sin cortinas. b) Cortinas cerradas. c) Cortinas abiertas.

En la Fig.44 se compara los tiempos de reverberación medidos para cada una de las situaciones mencionadas.

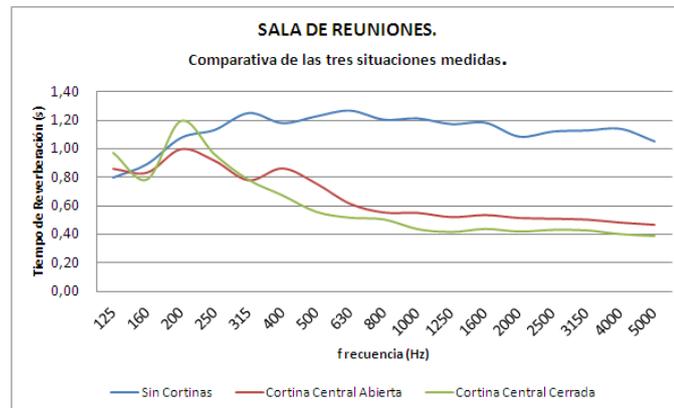


Fig. 44. Sala de reuniones. Tiempos de reverberación de la sala de reuniones.

Como se observa, al colocar las cortinas en la sala de reuniones se produce una disminución importante del tiempo de reverberación a partir de los 315 Hz además de conseguir cumplir con las exigencias del DB-HR del CTE, ya que el tiempo de reverberación medio ha bajado de 1,2 a estar entre 0,45 y 0,5 con cortina cerrada.

Si se pretende dotar al recinto de un mayor confort acústico, se debería combinar las cortinas con otros materiales que permitan la absorción a bajas frecuencias, ya que las utilizadas no lo disminuye en gran medida, o si se prefiere la estética de las cortinas plantearse soluciones de estudio con mayores distancias de la cortina a la pared, telas con mayor resistencia al flujo combinadas con cortinas traseras tipo guata ect.

III.3.2 Medidas in situ en sala de conferencias.

Las medidas se han realizado en una sala de conferencias de la EPSG, cumpliendo con la norma UNE-EN ISO 3382-2:2008, sus dimensiones se recogen en la tabla 13.

| SALA DE CONFERENCIAS | |
|---------------------------|------|
| Alto (m) | 2,4 |
| Ancho (m) | 5,7 |
| Largo (m) | 5,9 |
| Volumen (m ³) | 80,7 |

Tabla 13. Sala de conferencias. Dimensiones.

Se han realizado mediciones del tiempo de reverberación en tres situaciones diferentes, la sala vacía (amueblada de mesa y sillas), como se encuentra actualmente, la sala con el sofá en condiciones iniciales apoyado en la pared y por último la sala con el sofá modificado con la

propuesta S5, recordemos que dicha propuesta consiste en añadir en la parte trasera del sofá material absorbente, en medio del recinto. En la Fig. 45 se muestra fotográficamente las diferentes situaciones de medida.

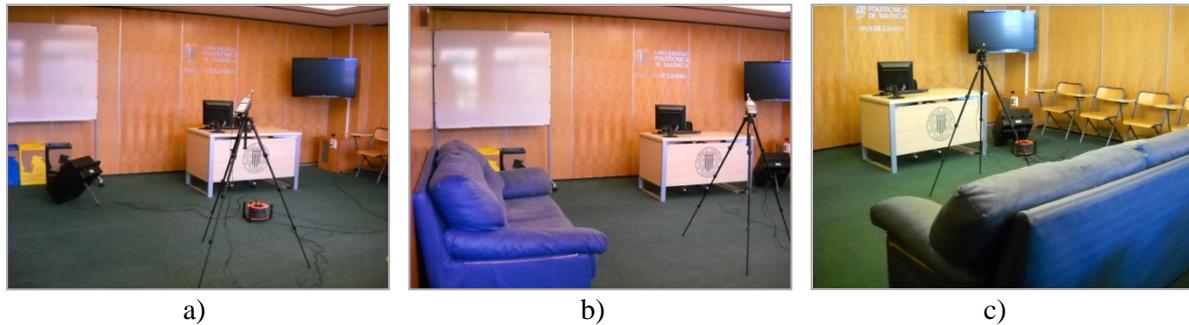


Fig. 45. Sala de conferencias. a) Sin sofá. b) Sofá condiciones apoyado en la pared. c) Sofá modificado con propuesta S5 en medio de la sala.

A continuación se muestra los resultados de las tres situaciones diferentes medidas en la sala de reuniones.

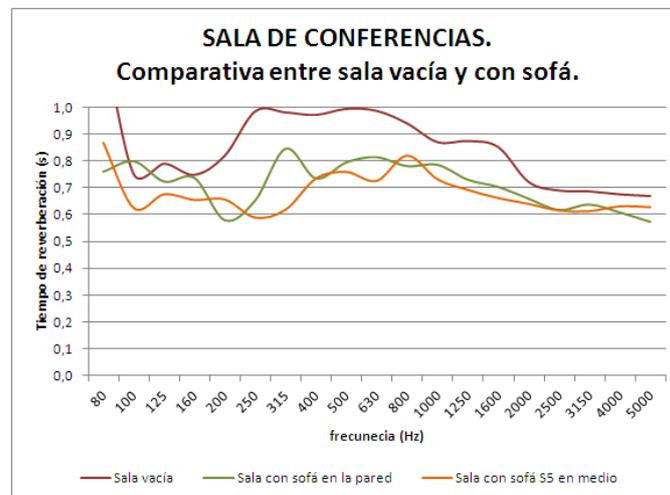


Fig. 46. Sala de conferencias. Tiempos de reverberación medidos.

De los resultados obtenidos se observan como al introducir el sofá en la sala de reuniones se consigue disminuir su tiempo de reverberación, sobretodo a medias frecuencias.

Para mejorar la calidad del recinto, es evidente, que únicamente introduciendo el elemento decorativo de sofá no va a ser suficiente, se deberán combinar con otros dispositivos acústicos que aportaran mayor absorción al recinto.

IV. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

IV.1. CONCLUSIONES DE LA TESINA

A lo largo del desarrollo del presente trabajo, se han realizado numerosos ensayos de diferentes elementos decorativos con propiedades acústicas. De todos ellos se han extraído las conclusiones que se detallan a continuación, siguiendo el mismo orden planteado en el capítulo III.

Respecto a los ensayos realizados en cámara reverberante de cortinas:

- a) Los valores más bajos de absorción sonora los encontramos cuando las telas no tiene vuelo, es decir al 0%. Esto significa que cuando utilicemos cortinas podemos realizar fruncidos en la tela creando vuelos y así aumentar el coeficiente de absorción de dicho elemento decorativo.
- b) No existe una correlación clara entre el aumento del vuelo y la mejora de la absorción acústica, pero analizando cada una de las curvas de absorción se llega a la conclusión de que el vuelo más óptimo teniendo en cuenta la absorción en relación a los metros cuadrados de tela utilizados es el vuelo del 100%.
- c) En función de las limitaciones de espacio que dispondremos en un recinto se tomará la decisión de elegir entre una cortina simple y una cortina doble. Con esta última siempre vamos a tener valores de α_{medio} más elevados, debido a los cambios de impedancia de ambas cortinas, en contra partida los plenums totales de las cortinas dobles son mayores que los de una cortina simple.
- d) La configuración más óptima, en relación a los metros cuadrados de tela utilizados y al coeficiente de absorción obtenido, para las cortinas simples es la C1 (TEXTIL1 PL14,5 cm) con vuelo del 100%. Para las cortinas formadas por la combinación de ambas telas es la configuración C3 (TEXTIL1 PL8,5 cm+TEXTIL2 PL14,5 cm) con vuelo del 100% ya que se obtiene una absorción sonora similar a otras configuraciones dobles, incluso de vuelos mayores, y se llega a ahorra en comparación con estas un 34% de espacio.
- e) Destacar que todos los valores obtenidos muestran resultados validos para el uso de las cortinas ensayadas para reducir el ruido reverberante excesivo planteado en el DB-HR.
- f) En la medición in situ de la sala de reuniones, se muestra como las cortinas pueden ayudar a conseguir el confort acústico de recintos. Pero no hay que olvidar de que las cortinas proveen de una acústica variable en función del vuelo y del plenum que se les otorgue.

Respecto a los ensayos realizados en cámara reverberante de murales:

- a) Al aumentar el espesor del plenum total de los murales dobles, aumenta su coeficiente de absorción. Pero la ganancia de absorción no siempre está justificada con el aumento del espesor del plenum, es decir, en combinaciones dobles la configuración de mayor absorción es la M3 pero teniendo en cuenta que para que se produzca un aumento de

absorción, en torno al 0,1 solo a medias frecuencias, se ha tenido que aumentar en 8,5 cm el plenum total en relación con la conf. M2. Por lo que se considera la conf. M2, la más óptima de los murales dobles.

- b) En los murales triples se obtiene resultados casi idénticos para diferentes plenums. La mejor configuración en murales triples es M5 ya que con ella se ahorra un espacio destinado a los murales del 37%.
- c) Los ensayos realizados para evaluar la influencia del contrapeso dan resultados idénticos para las configuraciones M3 y M4 (de mayor contrapeso). Hay que destacar que los valores de las masas de los contrapesos no son conocidos, por lo tanto, no se puede concluir que el valor del contrapeso no afecta a la absorción acústica, ya que puede ser que las diferencias entre las masas no contribuyan a cambios en las tensiones de las cortinas ensayadas.
- d) Con la combinación, en murales dobles, de dos materiales distintos se obtiene valores más altos del coeficiente de absorción, que en las combinaciones triples del mismo material.
- e) De todos los murales ensayados la configuración más óptima, en función de los materiales y espacio utilizado, es la M7. Mural doble con un espesor de plenum total de 6,5 cm.
- f) En el caso de murales también todos los valores obtenidos muestran resultados validos para el uso de estos para reducir el ruido reverberante excesivo planteado en el DB-HR.

Respecto a los ensayos realizados en cámara reverberante de paneles japoneses:

- a) A mayor espesor del plenum no obtenemos mayores valores del coeficiente de absorción sonoro.
- b) Los paneles japoneses ensayados tienen valores de α_{medio} elevados. Son una buena solución para reducir el ruido reverberante excesivo en recintos.
- c) Comparándolos con las otras dos soluciones ensayadas, cortinas y murales, es la que mayor absorción proporciona con necesidad de menor espacio. En contra partida se debe tener en cuenta su estética ya que no encaja en todos los ambientes, como quizá puede ser el caso de la cortina, sino más bien está destinado a espacios más modernos, contemporáneos.

Destacar que el juicio utilizado para la valoración de materiales ha sido en función del coste y de la absorción que proporcionan. Pero esta evaluación es insuficiente si los productos están destinados a entornos cualificados que requieren un diseño esmerado, desde el punto de vista acústico.

Respecto a los ensayos realizados en cámara reverberante de sillón y sofá:

- a) Los valores de área de absorción acústica tanto para el sillón como para el sofá son elevados. Son elementos decorativos que pueden ayudarnos a disminuir el tiempo de reverberación de un recinto.
- b) No hay apenas diferencia de absorción si el sillón o sofá están vacíos u ocupados.
- c) El sofá se puede considerar como un dispositivo de acústica variable, no solo por las variantes en el diseño y en el proceso de fabricación sino por la ubicación de éste dentro de la sala.
- d) De todas las propuestas de mejora ensayadas, obtenemos la opción más recomendable es añadir material absorbente en la parte trasera del sofá. Con esta propuesta se consigue mejorar el comportamiento acústico sin añadir complejidad en el montaje ni masa al elemento.
- e) Se han realizado mediciones in situ en una sala de conferencias que han servido para mostrarnos como el elemento decorativo del sofá sí que proporciona absorción acústica al recinto. La colocación de un sofá en una sala de estas características no es el lugar más idóneo para éste pero sí se podría considerar su utilización en el hall de un hotel, en habitaciones excesivamente grandes, despachos o incluso sala de reuniones donde se pretenda dar una sensación de ambiente más relajado e íntimo.

Respecto al coeficiente de absorción en incidencia normal en paneles absorbentes en forma de cuadros:

- a) No hay apenas diferencia del coeficiente de absorción entre la muestra decorada y la original. Esto abre un gran abanico de posibilidades a la hora del diseño ya que se puede llegar a caracterizar e incluso a personalizar los paneles, sin modificar sus propiedades acústicas, pudiéndolos utilizar en cualquier ambiente.

IV.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A continuación se plantean futuras líneas de investigación como continuidad del presente trabajo.

- Seguir realizando estudios del comportamiento acústico del elemento decorativo de sofá. Para ello es necesario fabricar un prototipo de sofá donde se pueda acceder con facilidad al armazón y así cambiar los materiales que lo componen. Además de poder tapizarlo con diferentes muestras de tela.
- Investigar nuevos elementos decorativos que puedan aportar mejoras acústicas a los recintos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a todas las empresas que, con la aportación de sus productos, han hecho posible el estudio de las propiedades acústicas de los elementos decorativos, del presente trabajo. Especialmente a Tapis Estil S.L. por la donación del sillón y del sofá.

Gracias a mis tutores por su apoyo y confianza.

Gracias a Laura Bertó, Fernando Hernández y Carlos Hervàs por su ánimo, por darme la fuerza que he necesitado y por compartir conmigo muchos momentos del Máster.

REFERENCIAS

- [1] Deco.dal <http://www.deco-dal.fr/>
- [2] Barrisol: <http://es.barrisol.com/>
- [3] Ecophon de Saint Gobain: <http://www.ecophon.com/es/>
- [4] Duralmond: <http://www.duralmond.com/htm/productos.html>
- [5] Acousticpearls: <http://www.acousticpearls.de/Home.97.0.html?&L=1>
- [6] System Bau Klein: <http://www.systembau-klein.de/>
- [7] Offecct: <http://www.offecct.se/en>
- [8] Glimakra: <http://www.glimakra.com/>
- [9] IDEC: <http://www.suelosidec.es/>
- [10] Forbo: <http://www.forbo-flooring.com/default.aspx?lang=en-US>
- [11] Anne Kyyrö Quinn: <http://www.architonic.com/es/pmpdfsht/bespoke-acoustic-wall-panels-anne-kyyr-quinn/6001868/1>
- [12] Gabriel: <http://www.gabriel.dk/>
- [13] Wobedo: <http://www.wobedo.com/eng/home.html>
- [14] Bene: <http://bene.com/>

ANEXO I

CORTINAS

Estudio de la influencia del vuelo en cortinas

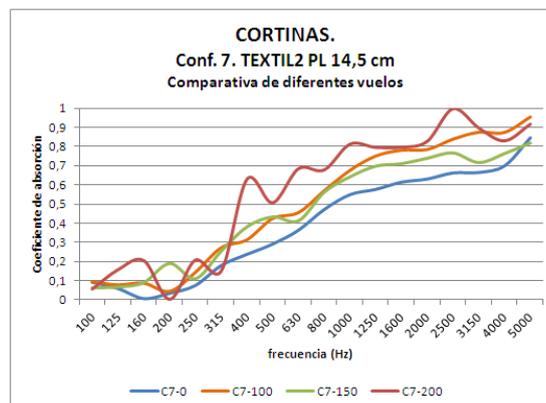
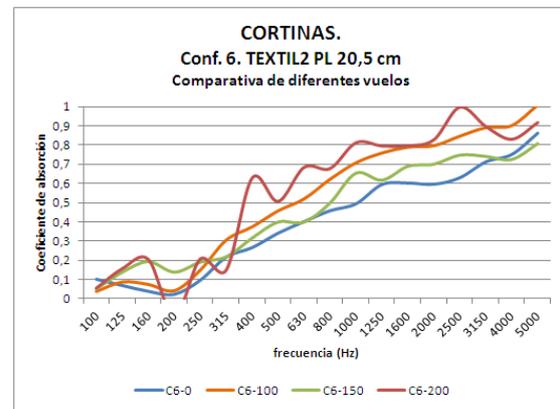
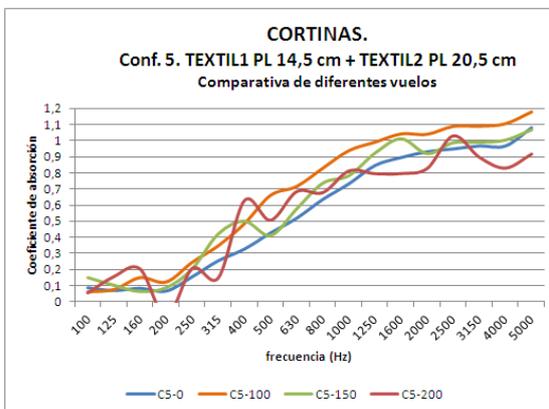
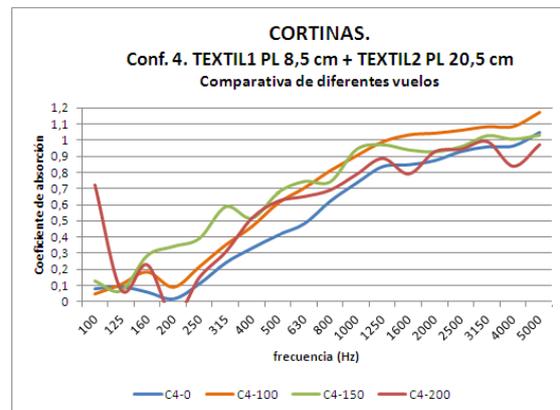
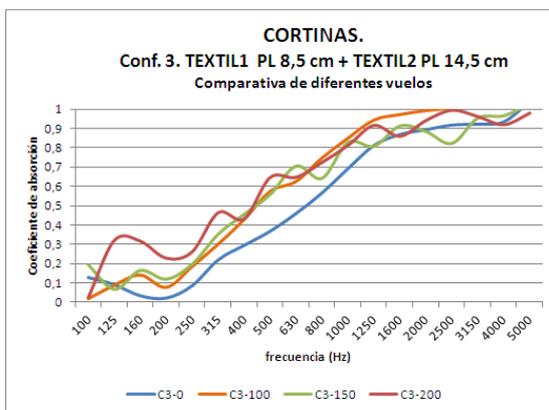
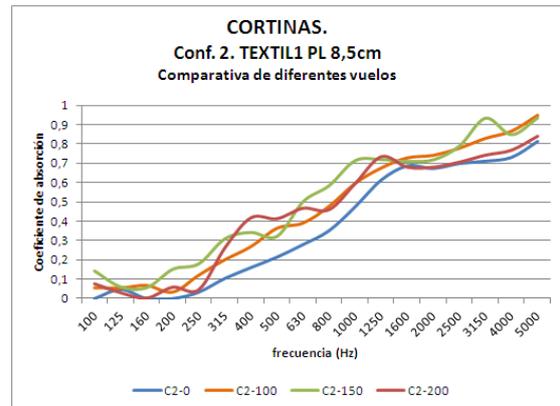
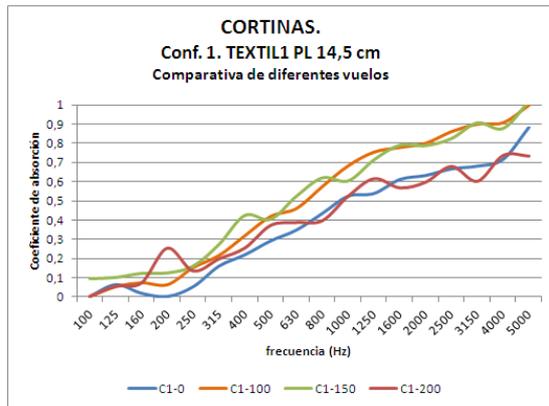
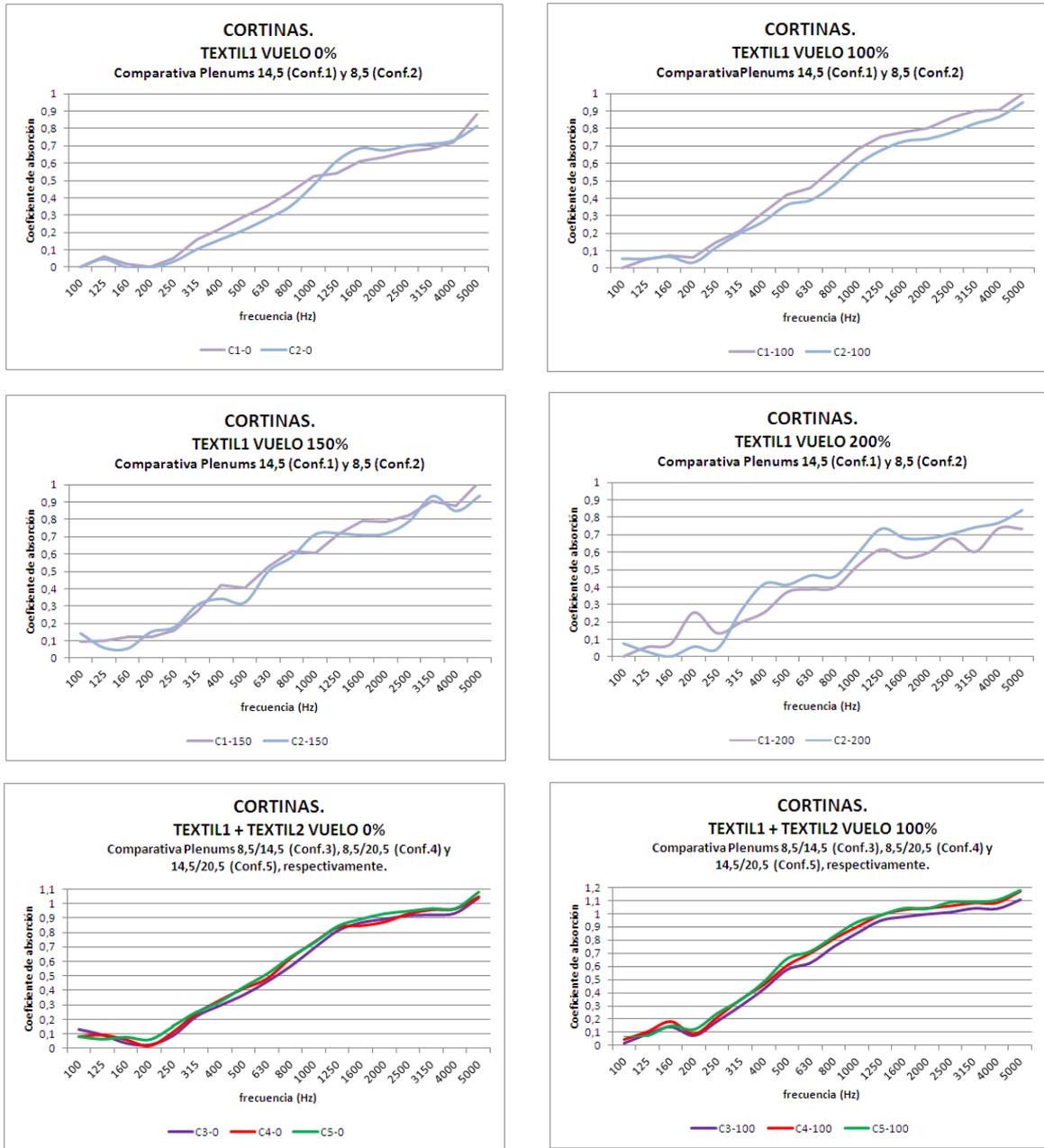


Fig. 47. Gráficas de las 7 combinaciones con vuelos de 0%, 100%, 150% y 200%.

Estudio de la influencia del plenum



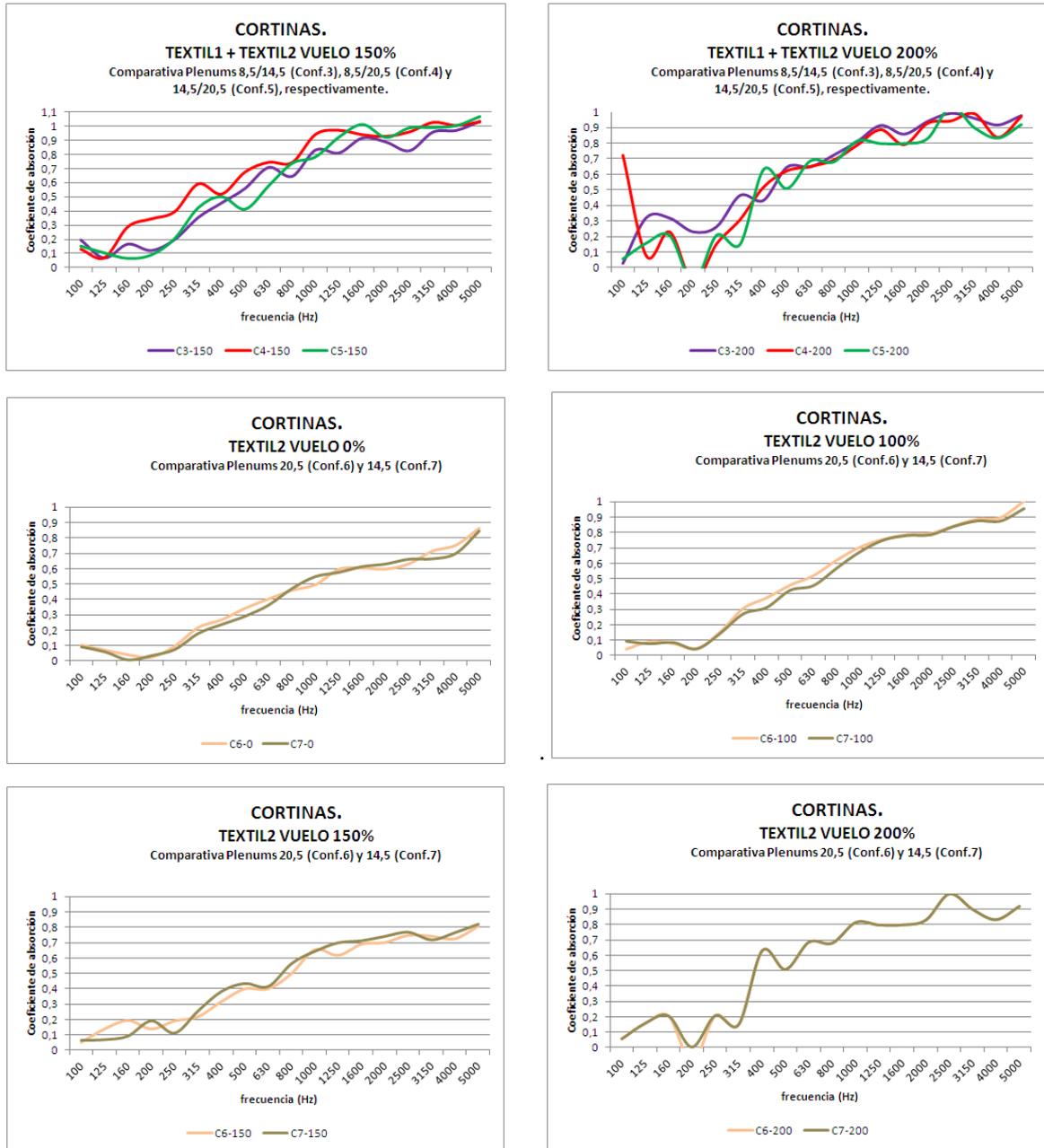


Fig. 48. Gráficas para el estudio de la influencia del plenum.