

**MUITex**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CAMPUS D'ALCOI

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA TEXTIL**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**CAMPUS D'ALCOI**

**TRABAJO FINAL  
MASTER EN INGENIERIA TEXTIL**

***UTILIZACION DE MATERIALES TEXTILES  
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE FACHADAS  
VERDES.***

***Alumno: VICENTE JORGE SANCHIS RICO  
Tutores: Dra. D<sup>a</sup>. MARILES BONET ARACIL  
Dr. D<sup>o</sup>. PABLO DIAZ GARCIA***



## **AGRADECIMIENTOS**

A mis buenos amigos y mentores; ROMINA DEL REY TORMOS y JESUS ALBA FERNANDEZ;

Y

A mis tutores de Tesina D<sup>a</sup> MARILES BONET ARACIL y D<sup>o</sup> PABLO DIAZ GARCIA.



## RESUMEN

El proyecto pretende analizar las diferentes soluciones que la tecnología textil ofrece para ser utilizados como elemento arquitectónico en la construcción de fachadas verdes.

El objetivo general del presente trabajo, es explorar las metodologías utilizadas en la actualidad para el diseño de fachadas verdes desde el punto de vista del textil aplicado a la arquitectura; (GEOTEXTILES o CONSTRUCTEXTILES), teniendo en cuenta la relaciones entre la arquitectura y la vegetación – entre un sistema artificial y un organismo vivo, y la tecnología textil.

El objetivo específico de la tesina es definir las mejores posibilidades que desde el sector textil se pueden ofrecer para la elaboración de este tipo de aplicaciones en fachadas verdes con el fin de ser el soporte para la incorporación de vegetación en la arquitectura.

Para ello se analizaran muestras con distintas alternativa de materias textiles con el fin de dar valor a este tipo de aplicaciones desde el punto de vista de la acústica arquitectónica.



## Indice

I. ESTADO DEL ARTE.....	1
II.HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....	13
III.METODOLOGÍA.....	19
IV.RESULTADOS .....	33
V.PROCESOS DE OBTENCIÓN.....	46
VI.CONCLUSIONES .....	56
VII.LÍNEAS FUTURAS .....	58
VIII.ANEXOS .....	60
IX. BIBLIOGRAFIA.....	76

**MUITex**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CÀMPUS D'ALCOI

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA TEXTIL**



# I. ESTADO DEL ARTE



## A.- INTRODUCCIÓN

Desde mediados del siglo XX se observa una preocupación por el desequilibrio entre la urbanización y la conservación del medio ambiente. Así, entre 1950 y 2011, la población urbana aumentó casi cinco veces (United Nations Human Settlements Programme [UN-Habitat], 2011). Para el 2020, se calcula que el 85 % de la población pobre de América Latina y casi la mitad de África y Asia, se concentren en ciudades y centros urbanos. Para el año 2025, se estima que más de la mitad de la población mundial vivirá en las ciudades (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2010). La denominada “nueva bomba demográfica” supondrá urbes desbordadas, degradadas y empobrecidas, con una población numerosa y vulnerable (FAO, 2010). Las ciudades no están acondicionadas para acoger este crecimiento descontrolado; se observan desequilibrios en los ciclos atmosférico, hidrológico, energético, de materia orgánica y residuos, así como problemas edificatorios, salubres y sociales (Higuera, 1997).

Las ciudades son contaminadas por el CO y CO<sub>2</sub>, produciendo un calentamiento de la atmósfera y la aparición del efecto invernadero por la falta de circulación del aire. Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, procedentes de las ciudades, podrían estar entre el 60 y 70 % (UN-Habitat, 2011), según las cifras de consumo. Dichas emisiones han aumentado 25 % en los dos últimos siglos (Earth Work Group, 1992). Por otra parte, se observa una disminución de la humedad relativa y un aumento de la escorrentía superficial (Urbano-López de Meneses & Urbano-Terrón, 2012). Además, la población urbana en asentamientos construidos en tierras marginales se expone a deslizamientos e inundaciones repentinas (FAO, 2010). El ciclo de residuos presenta un aumento de los residuos sólidos urbanos ricos en materia orgánica y se ha perdido la fertilidad de las tierras por salinización (Sloan, Ampim, Basta, & Scott, 2012; Urbano & Urbano, 2012). Debido al desequilibrio entre la planificación y el crecimiento, aparecen deficiencias en la ocupación de patios y alturas, faltan zonas verdes (Rudolf & Rudolf, 1995), y las condiciones higiénicas, formales, constructivas, estéticas y de usos de las edificaciones son deficientes (Higuera, 1997). Algunos de los problemas sociales derivados de la urbanización son el hambre, la pobreza, la explotación y la falta de esperanza que pueden conducir a tasas elevadas de criminalidad, prostitución, falta de atención a los niños y consumo de drogas (FAO, 2010). Entre las enfermedades atribuidas al entorno urbano se encuentran, por una parte, las asociadas a los edificios con ambientes insalubres, y por otra, el síndrome del edificio enfermo, que origina irritación ocular y faríngea, cefaleas, fatiga, aturdimiento, molestias olfatorias, opresión torácica, síntomas asmáticos e irritación de la piel (Quirce & Bernstein, 2011).



## B.- ANÁLISIS

La naturación urbana es la acción de incorporar o fomentar la naturaleza mediante la recuperación de la flora y fauna autóctonas de una manera aceptable y sostenible (Briz, 1999; Briz & de Felipe, 2005). Rudolf (1992) definió la naturación de construcciones como el tratamiento técnico de superficies horizontales, verticales o inclinadas, a diferentes precios, con vegetación especialmente adaptada (Neila, Bedoya, & Britto, 1999; Urbano & Briz, 2004), para formar una capa multifuncional sobre dichas superficies. El objetivo es crear áreas naturadas de cierta extensión conectadas por cinturones y anillos verdes (De Felipe & Briz, 1998; Rudolf, Malhau, & Merino, 1995; Rudolf, & Rudolf, 1995) mediante la transformación de una parte del área urbana en bosques y plantas que sirvan de pulmón ecológico y recreo para los habitantes, y uniendo las áreas mediante corredores verdes y pasillos ecológicos, a cualquier altura, que permitan la renovación del aire.

Algunos de los beneficios que los sistemas de naturación proporcionan al medio ambiente, a los edificios y a los usuarios (Alonso et al., 2009; Briz & De Felipe, 2005; FAO, 2010; Rudolf, 1992; Urbano & Briz, 2004) son:

- a) Disminuyen la contaminación ambiental mediante la fijación de partículas contaminantes por las plantas y el sustrato (Vijayaraghavan, Joshi, & Balasubramanian, 2012).
- b) Absorben anhídrido carbónico y disminuyen el efecto invernadero (Gorbachevskaya, 2012; Gorbachevskaya & Schreiter, 2010; Rowe, 2011) aportando oxígeno en los ambientes irrespirables de los núcleos urbanos (Alonso et al., 2009).
- c) Contribuyen eficazmente a la reducción de ecos. Las cubiertas naturadas de garajes subterráneos reducen el ruido de los coches hasta en 4 dB (Yang, Kang, & Choi, 2012). Para Rudolf (1992), un descenso del ruido en 3 dB equivale a una reducción del 50 % de las molestias originadas por el tráfico.
- d) Mantienen la humedad debido al retorno del agua de lluvia a su ciclo natural (Jim & Peng, 2012; Ouldboukhitine, Belarbi, & Djedjig, 2012).
- e) Amortiguan las oscilaciones diarias de la temperatura y estabilizan la temperatura de la ciudad (Castañeda-Nolasco & Vecchia, 2007; Gross, 2012a; Rudolf, 1992), pudiendo valorar cada 4 cm de vegetación, más sustrato como si fuera 1 cm de aislante térmico convencional (Neila, Bedoya, Acha, Olivieri, & Barbero, 2008).
- f) Refrescan la temperatura exterior en entornos cálidos hasta en 5-7 °C (Alonso et al., 2009; FAO, 2010).
- g) Interceptan la radiación ultravioleta impidiendo que llegue directamente a la superficie terrestre, ya que la vegetación es capaz de absorber el 80 % de la radiación solar mediante diferentes procesos naturales (Alonso et al., 2009; Rudolf, 1992), y posibilitan el ahorro de energía debido a un mejor aislamiento de la edificación (Alonso et al., 2009; Tabares-Velasco, Zhao, Peterson, Srebric, & Berghage, 2012).
- h) Los sistemas naturados con aprovechamiento agrícola pueden contribuir al equilibrio del ciclo de residuos convirtiendo los desechos en compostaje. También se puede



conseguir la manipulación segura de las aguas residuales para el riego de jardines y huertas con las aguas grises de las cocinas y regaderas (FAO, 2010; Gómez-González et al., 2011).

- i) Benefician a los edificios disminuyendo la probabilidad de atasco de las bajantes debido al efecto colchón que genera la naturación. Asimismo, regulan el caudal de saneamiento de las lluvias torrenciales evitando la formación de charcos en las cubiertas hasta en 90 % (Metselaar, 2012; Nagase & Dunnett, 2012; Nardini, Andri, & Crasso, 2012). Además, aumenta la vida útil de los edificios y se reducen los costes de conservación por la disminución de las oscilaciones térmicas en los elementos constructivos y los efectos negativos de la dilatación como grietas y roturas, así como por el deterioro a causa de los rayos ultravioleta (Appl & Ansel, 2009; Rowe, 2011).
- j) Para los usuarios, el mejor aislamiento de la vivienda incide positivamente en las facturas de calefacción, refrigeración y aire acondicionado (Metselaar, 2012). Alonso et al. (2009) estimaron que una reducción de 5 °C puede suponer un ahorro del 50 % en la refrigeración del edificio. En invierno disminuyen las pérdidas de calor, pudiendo reducirse el consumo anual de energía del edificio en 6 (Gross, 2012b; Jaffal, Ouldboukhitine, & Belarbi, 2012).
- k) El paisaje urbano mejora y los propietarios revalorizan sus inmuebles.
- l) Los espacios para huertos urbanos se recuperan, lo que influye positivamente en el equilibrio psicosomático de los ciudadanos (Alonso et al., 2009; Ottele, Perini, Fraaij, Haas, & Raiteri, 2011); adicionalmente se fortalece la seguridad alimentaria y nutricional, y se contribuye a crear ciudades más verdes (FAO, 2010).

La naturación vertical, de fachadas o paredes vivas, consiste en cubrir los edificios con plantas permanentes capaces de tapizar por su cuenta o mediante estructuras de apoyo (Gross, 2012a). Las fachadas deben estar en buen estado y ser capaces de soportar el peso aplicado verticalmente (Ottele et al., 2011). Debe existir superficie suficiente junto a la fachada, que permita situar las plantas y los sistemas de anclaje (Hopkins & Goodwin, 2011), así como disponer de buen drenaje que evite la existencia de agua encharcada (Urrestarazu & Bures, 2012). Entre las soluciones utilizadas se encuentran las fachadas vegetales opacas en gaviones a partir de módulos, las fachadas de paneles vegetados desmontables en caja metálica, los paneles vegetados en celdas drenantes o las fachadas translúcidas, invernadero extraplano de vegetación intermedia y una protección exterior móvil (Alonso et al., 2009, 2010; Olivieri, Neila, & Bedoya, 2010).

En la actualidad las técnicas de fachadas vegetales, son realmente herencia de la arquitectura de antaño. Esta arquitectura en sus diversas formas y climas, desarrolló intuitivamente conceptos científicamente válidos, al utilizar materiales de construcción disponibles localmente y métodos de construcción adaptados de tal forma, que combinaban la comodidad y la belleza, con la funcionalidad social y física.



A pesar de sus carencias y no adaptarse a los estándares actuales de confort, la arquitectura dio respuestas a las necesidades de protección y abrigo del ser humano, junto con una alta adaptación, integración y respecto al medioambiente.

El uso de vegetación se puede encontrar principalmente en la arquitectura del norte de Europa y las islas Británicas. El uso de vegetación, como el césped o la turba, en estas zonas, fue la respuesta a unas condiciones climáticas adversas. Estos materiales vegetales ofrecían un aislamiento superior, frente a las construcciones edificios hechos realizadas exclusivamente de madera o piedra, además de la relativa dificultad para obtención de estos últimos materiales en cantidades suficientes.

En Islandia por ejemplo, la estructura de madera que soportaba las casas, era cubierta totalmente por bloques de turba y además en las cubiertas, se plantaba césped para que creciera sobre la turba. La utilización de la vegetación en la arquitectura, tiene una interesante influencia en esta por su capacidad para modificarla. Además de su función estética, está su intervención más funcional. Esto es debido principalmente a sus excelentes cualidades aislantes, fruto de la combinación de plantas junto con su capa de tierra, ya que en los climas fríos, hace que se retenga el calor en el interior del habitáculo, en cambio en climas calurosos actúa de manera inversa dificultando la entrada de calor del exterior.

La utilización de cubiertas verdes y jardines verticales, como parte o complemento de la arquitectura, o como elemento de definición espacial, viene desde tiempos inmemorables. Pasando desde los míticos jardines colgantes de babilonia (el año 605 a.d.C.), hasta la llamada arquitectura orgánica, la vegetación ha servido a los proyectistas no solo para acentuar o aligerar la arquitectura, sino también, para crearla y transformarla.

Pero centrándonos en la actualidad se puede encontrar en el mercado diferentes sistemas de vegetación vertical, en este punto hemos desarrollado una clasificación de los diferentes sistemas, al no haber encontrado ninguna clasificación completa de los sistemas existentes. La clasificación se ha establecido en función de cómo los sistemas proceden a la transformación ecológica de la fachada de un edificio o una construcción.

También se han analizado los sistemas de vegetación vertical, por un lado en el ámbito de las empresas que están desarrollando sistemas y tecnologías para la integración vegetación en fachadas y muros de los edificios, y por otro lado desde el ámbito de la normativa existente en

el ámbito de los sistemas vegetales verticales.

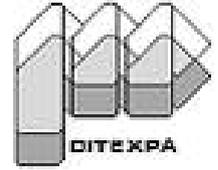
También hemos observado que por parte de las empresas que desarrollan estos sistemas vegetales hacen un gran hincapié en los aspectos positivos del empleo de sus sistemas en los edificios dejando de lado los aspectos negativos que se pueden dar, teniendo en cuenta que estos aspectos negativos pueden afectar al desarrollo del proyecto.

MUITex

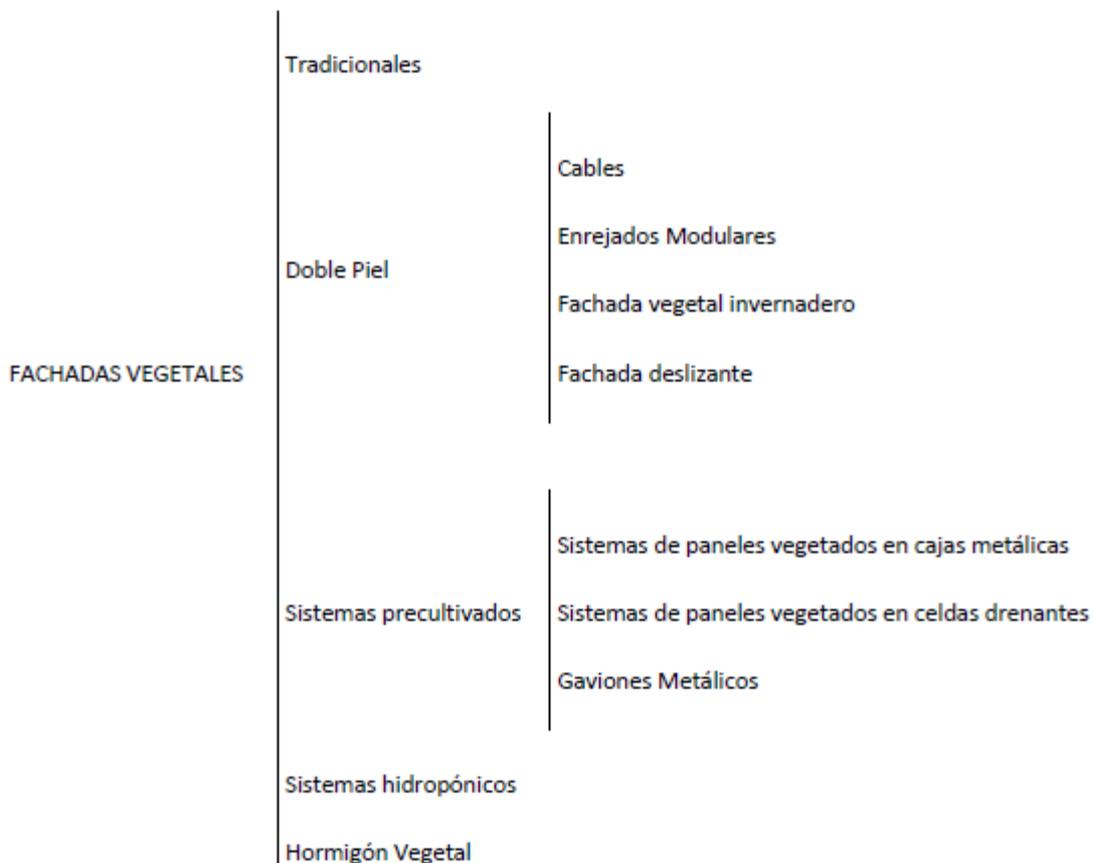


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CAMPUS D'ALCOI

## MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL



A continuación enumeraremos los diferentes sistemas vegetales:



Tipología de las fachadas verdes

Básicamente, los sistemas anteriormente mencionados podrían agruparse bajo un nombre común “Sistemas vegetales verticales para edificios”.

Pero por clasificarlos de alguna manera podemos afirmar que las dentro de las Fachadas Vegetales, hay un tipo de sistemas que se basan en la utilización de estructuras especialmente diseñadas, a base de mallas, gaviones tanto metálicos como sintéticos, cables, enrejados

Todas estas estructuras se colocan de manera independiente a la envolvente del edificio en cuestión, y sirven para que las plantas se desarrollen y crezcan cubriendo los paramentos del edificio, pero sin llegar a asociarse a la superficie del edificio.

Por otro lado el resto de fachadas están compuestas por paneles pre vegetados, módulos verticales o fieltros geotextiles plantados y fijados a la envolvente mediante marcos estructurales. Por lo que el sistema en este caso, forma parte de la envolvente del edificio,



sustentando y conteniendo la vegetación, con las plantas están realmente plantadas y crecen en el sistema.

El objeto final de este estudio es validar la viabilidad de aplicación de soluciones textiles en lo que serían los sistemas hidropónicos, dando como valor añadido el comportamiento acústico del conjunto.

El pionero de los jardines verticales hidropónicos es el biólogo francés Patrick Blanc que a partir de observar barrancos y taludes en el trópico creó un sistema de poco peso (30 Kg/M2) para lograr el propósito de cubrir paredes con vegetación.

Este tipo de sistemas consiste la instalación de unas láminas donde se propicia el crecimiento vegetal y un sistema de riego con agua totalmente automatizado y con capacidad de recirculación de agua. Éstos sistemas se sectorizan para el riego con un sistema completamente automatizado donde el agua se dejará caer en la te superior del jardín e irá humedeciendo el soporte, escurriendo a una canaleta lineal de recogida.

Al final de la canaleta se colocara una cesta para recogida de impurezas y desde la canaleta conducirá el agua sobrante a un depósito enterrado desde donde un equipo de bombas (ubicados en un cuarto de instalaciones) recirculará el agua de riego a la plantación vertical. Funcionando todo el sistema mediante una recirculación no siendo necesario el aporte de agua. Durante el proceso de recirculación las bombas peristálticas introducirán abono y fertilizante al agua de riego.

La reposición de agua en el sistema queda garantizada con el almacenamiento en otro depósito enterrado alimentado por un equipo de osmosis inversa conectado mediante acometida a la red pública de agua.

## **Ventajas**

Las ventajas principales en este tipo de sistemas son:

- **Ligereza:** Estos tipos de sistemas son los más ligeros del mercado, aproximadamente el peso por metro cuadrado terminado de jardín vertical es de 30Kg/m<sup>2</sup>, frente a los 150 Kg/m<sup>2</sup> de los otros sistemas es un gran avance.  
Sustitución de la vegetación: Una gran ventaja respecto a los otros sistemas ya que son plantas independientes cada una de ellas ubicadas en una especie de bolsitas creadas en el textil permitiendo por tanto la sustitución individual de cada una.
- La innovación principal de este sistema consiste en usar el sistema de cultivo hidropónico el cual se elimina la tierra de las plantas ya que estas son alimentadas mediante fertilizantes incluidos dentro del riego. Así mismo se evitan la aparición de insectos mediante la inclusión en el goteo de productos naturales que evitan la aparición de los mismos



- **Comportamiento ambiental:** Permite crear un entorno con gran similitud a entornos naturales. Gran efecto de aislamiento térmico en invierno. En verano reducen la temperatura ambiente a través de procesos de sombra y de evapotranspiración. Las hojas, las raíces y los microorganismos asociados a ellas limpiar el aire al capturar de contaminantes atmosféricos. Estos ayudan a la gestión de las aguas pluviales al transformar superficies impermeables creadas por el hombre. Requieren menos agua que las plantas regadas por métodos tradicionales, ya que el riego se dirige directamente a las raíces de las plantas.
- **Protección del edificio:** Al ser un cerramiento protector exterior, se evita el deterioro de la fachada a causa de las radiaciones solares, evitando la aparición de casos patológicos comunes en sistemas constructivos tradicionales.
- **Estética:** Esta es una de las principales ventajas del sistema puesto que permite emplear numerosas tipologías de plantas. Esto es así por que las raíces de las plantas tienen libertad para crecer a lo largo del sistema y no en un espacio limitado, como los sistemas de cajas modulares. Tener acceso a esa variedad permite un muchas posibilidades de diseño y libertad artística. Por lo que de cara al gran público, tiene un mayor atractivo estético.

## Desventajas

En lo referente a las desventajas podemos apreciar:

- **Instalación:** Requiere una cuidadosa instalación por parte de personal cualificado.
- **Inversión inicial:** Este tipo de sistemas tienen un alto coste de implantación al ser sistemas bastante complejos que necesitan equipos de riego, depósitos, equipos de osmosis bombas de impulsión, etc.
- **Mantenimiento:** Estos sistemas requieren de mucho mantenimiento. Las plantas al alimentarse mediante cultivo hidropónico necesitan estar monitorizadas contralando los niveles del Ph y la conductividad para que permanezcan equilibrio. El problema de estos sistemas es que si se produce un fallo eléctrico el sistema de goteo deja de funcionar siendo la vida útil de las plantas si estar alimentadas mediante el goteo de aproximadamente dos días. Lo que implica el mantenimiento de una empresa especializada que sea capaz de actuar en estos.



## C.- RESUMEN NORMATIVA EN SISTEMAS DE JARDÍN VERTICAL

En la actualidad únicamente existe en Europa un documento que regula el funcionamiento, construcción, diseño y mantenimiento de los sistemas verticales de vegetación de edificios. Se trata de las Directrices para la planificación, ejecución y mantenimiento de fachadas, con plantas trepadoras.

Es una normativa publicada en Alemania por la FFL (Asociación Alemana de Investigación y Desarrollo en Paisaje), pero únicamente se refiere a los usos plantas trepadoras o enredaderas.

Esta publicación surgió como consecuencia de la necesidad de regular una práctica habitual en este país, como era el utilizar plantas trepadoras o enredaderas en las paredes de las edificaciones, por motivos principalmente estéticos.

En los años 80 se llevó a cabo en este país una campaña para favorecer el desarrollo de estas fachadas en muchas ciudades para mejorar el ambiente urbano, y pasados unos años se consideró necesario la redacción de un documento que normalizara esta práctica.

El documento contempla la utilización de espalderas y soportes para el desarrollo de diferentes tipos de plantas trepadoras y enredaderas por las fachadas de los edificios, así como el uso de arbustos de porte colgante para balcones y en la parte superior de los edificios.

Señalar que esta norma regulación solo la actividad de jardinería en sí, por los usuarios de los edificios, pero no la regula desde el punto de vista constructivo, o como elemento previsto por los arquitectos o ingenieros en la fase de diseño.

En los últimos años la tendencia desde el punto de vista conceptual y de uso de estos elementos ha cambiado.

Al valor estético, los proyectistas han añadido otros valores estratégicos para el diseño de una edificación sostenible y respetuosa con el medio con el medio ambiente, y más eficiente desde punto de vista técnico. Esto ha provocado en parte la aparición en el mercado de nuevos sistemas y técnicas constructivas de vegetación vertical para la edificación. Este hecho sin embargo, no se ha venido acompañado de la redacción de un marco normativo que regule y clasifique las diferentes técnicas y sistemas, los estándares constructivos, los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad o las normas de funcionamiento y de mantenimiento. En este contexto destaca la ordenanza municipal Seattle Green Factor

Las líneas de investigación y desarrollo actuales se refieren a la adaptación de los sistemas a las condiciones del área a natural, a nuevos usos-aprovechamientos y a la planificación de ciudades sostenibles, para lo cual se llevan a cabo las siguientes acciones:

- El seguimiento de cubiertas monitorizadas que registran la temperatura y humedad en sistemas naturados (Neila et al., 2008) y que permiten cuantificar beneficios ambientales y económicos (Kim, Hong, & Koo, 2012)
- El ensayo de plantas, sustratos y resto de capas adaptados a las condiciones agroclimáticas de la zona a natural (Liu et al., 2012; Ottele et al., 2011; Rayner, Raynor, & Williams, 2008)



y que permiten desarrollar soluciones concretas para cada área (Barker & Lubell, 2012; Gross, 2012b; Teemusk & Mander, 2009).

- El desarrollo de sistemas precultivados y de promotores de crecimiento (Tani et al., 2012) para superar el lento crecimiento de la vegetación y obtener beneficios desde el primer momento (Gorbachevskaya et al., 2009; Neila et al., 2008; Urbano, 2006a).
- El ensayo de materiales sostenibles y respetuosos con el medio ambiente como lana de oveja en sustrato y llantas en el drenaje (Bianchini & Hewage, 2012; Herfort, 2010; Pérez, Vila, Rincon, Sole, & Cabeza, 2012; Solano, Ristvey, Lea-Cox, & Cohan, 2012; Urbano, 2006a, 2006b), y el análisis del ciclo de vida de cada una de las capas en diversas condiciones (Kim et al., 2012).
- El aprovechamiento de los sistemas como huertos urbanos, contribuyendo a la seguridad alimentaria y nutricional (FAO, 2010, 2012).
- La incorporación de las aguas residuales para la horticultura urbana mediante estanques de estabilización que utilizan algas y bacterias para eliminar los patógenos (FAO, 2010, 2012; Gómez-González et al., 2011).
- El estudio de la naturación como conservadora de la biodiversidad y el comportamiento animal en la ciudad (Ksiazek, Fant, & Skogen, 2012).
- La incorporación del concepto de naturación urbana en el desarrollo y políticas de ciudades sostenibles, ecociudades y arquitectura bioclimática (De Felipe & Briz, 1998; Urbano & Briz, 2005).

**MUITex**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CAMPUS D'ALCOI

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA TEXTIL**



Nuevas líneas de trabajo en temas de techos verdes y pantallas móviles



Sistemas de jardines flotantes sobre sustratos textiles



## II.HIPÓTESIS Y OBJETIVOS



## **HIPOTESIS**

Un edificio que integre la vegetación recupera una pequeña parte del territorio para la vida natural. Desde la antigüedad esta ha sido una manera de conexión del espacio donde vivimos con la naturaleza, ya sea por ser visualmente agradable o por proteger el espacio interior del viento, ruido, la lluvia o el sol.

Con el desarrollo de las grandes ciudades, el aumento de la contaminación y el agotamiento de los recursos naturales, en los últimos años se ha despertado el interés por los aspectos ecológicos y de eficiencia energética, de la relación entre la vegetación y la arquitectura. Algunas son las investigaciones científicas y proyectos que verifican los beneficios que puede proporcionar la incorporación de vegetación, como un sistema pasivo de regulación térmica de los edificios y el ahorro energético que esto conlleva, de la reducción del efecto isla de calor, la reducción de la contaminación del aire y la retención de dióxido de carbono, así como la disminución de problemas de contaminación relacionados con las escorrentías y la recuperación de la biodiversidad en áreas urbanas, algunas menos en cuanto a la contaminación acústica.

La idea de naturalizar la arquitectura está, por diferentes motivos, cada vez más presente, lo que ha provocado avances conceptuales y tecnológicos de los sistemas de integración de la vegetación en la construcción. En el mercado existe una gran variedad de estos sistemas, lo que por un lado permite nuevas soluciones arquitectónicas y una implementación más flexible, pero por otro hace que se tiendan a generalizar los efectos y beneficios que estos sistemas pueden proporcionar.

La incorporación de la vegetación en la arquitectura, siendo la vegetación un organismo vivo, o incluso un pequeño ecosistema, es mucho más compleja que el uso de materiales artificiales.

## **OBJETIVO**

Si nos centramos en un objetivo principal, la tendencia de la actual sociedad es la apuesta por la utilización de materiales sostenibles (reciclados y/o reciclables) y cuidado del medio ambiente. En tecnología se apuesta por la eco-innovación y la eficiencia energética, así como en arquitectura se apuesta por una arquitectura sostenible, a todos estos planteamientos la tecnología textil puede aportar soluciones viable técnica y económicamente. Además, en los nuevos planes urbanísticos deben desarrollarse zonas verdes y en algún escenario urbano esto es difícil de conseguir. La tendencia reciente de zonas verdes en alrededores ruidosos como carreteras o zonas industriales ha sido considerada como uno de los más baratos métodos de control de la contaminación acústica



en los países en desarrollo. Los estudios sobre la vegetación como absorbente de la energía acústica se pueden basar en transferencia de energía. Algunos estudios muestran que cuando una superficie de vegetación se somete a un campo sonoro existen patrones de vibración sobre la estructura que dependen de la estructura de la hoja. Otros autores realizan estudios más detallados considerando fenómenos de dispersión en numerosas muestras de zonas vegetales. El parámetro utilizado para esta evaluación son los valores de atenuación.

El hecho de que cada vez son más los edificios que se construyen cerca de autopistas aumentando así la gravedad de la contaminación acústica, hace que se piense en estas soluciones vegetales como en “fachadas verdes”. Aunque también existen estudios, sobre el comportamiento de masas vegetales en tejados con orientación vertical y no horizontal.

Si se considera la solución de capa vegetal como una fachada, el Código Técnico de la Edificación hace referencia al índice de reducción acústica, RA, y el ensayo normalizado a realizar es el que se describe en la norma UNE-EN ISO 140-5:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos constructivos. Parte 5: Mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas. Si pensamos en la solución de capa vegetal como un recubrimiento, los parámetros a estudiar serían la mejora del índice global y/o la mejora a ruido de impacto.

Los sistemas vegetales verticales son una innovadora técnica constructiva para la integración arquitectónica de la vegetación en los edificios y su entorno urbano.

La creciente preocupación por los problemas que afectan al medioambiente y la eficiencia energética en la construcción, ha provocado un mayor interés por una arquitectura responsable, que responda mejor a las condiciones medioambientales y que demande un menor consumo energético.

A pesar de que existen muchas ventajas en la introducción de vegetación en las superficies de los edificios y los espacios relacionados, esta práctica, también se enfrenta a una serie de problemas para su aplicación, por lo que debe ser plenamente estudiada para ser capaces de buscar soluciones adecuadas.

Ciertas ventajas a considerar derivan del proceso de evapotranspiración, a través del cual las plantas incrementan la humedad ambiental y regulan la temperatura y el ruido, suponiendo en consecuencia una mejora del microclima y del entorno en general. Las especies vegetales renuevan el aire del entorno mediante el proceso de fotosíntesis, y por la propia naturaleza de cada una de ellas minimizan el impacto acústico actuando como absorbentes del ruido.

Durante el período estival, una envolvente con estas características actuaría como un aislamiento orgánico; protegiendo del sobrecalentamiento los espacios, produciendo brisas frescas alrededor de las edificaciones, minimizando los impactos acústicos y propiciando una ventilación natural.

Las especies vegetales interceptarían los rayos solares antes de que se generaran fluctuaciones de temperatura en el interior. Durante el invierno, estos sistemas supondrían una óptima protección al viento, además de contribuir a mantener constantes las condiciones de temperatura interior, evitando pérdidas energéticas.



La clave del éxito de un jardín vertical o fachada verde reside en el medio de plantación y su equilibrio químico y biológico. Toda la vida vegetal depende de las interacciones entre el agua y el sustrato, los nutrientes disueltos se transfieren a lo largo de su estructura y son atraídos y mantenidos a través de enlace iónicos. En la naturaleza del sustrato contiene elementos como los ácidos humicos que ayudan a mantener estable el pH. Cuando colocamos un sustrato en vertical este equilibrio se trastoca y tenemos que solucionar problemas, en base a esto, existe una relación de propiedades que permite evaluar la idoneidad de un jardín vertical, con propuestas de solución que algunos procesos y productos textiles como los tejidos no tejidos, membranas, y acabados como laminados, micro encapsulados, e incluso aditivados durante los procesos de extrusión en algunas fibras artificiales.

Para la evaluación de la idoneidad, hay que tener en cuenta distintas cuestiones, clave para obtener un buen diseño o solución:

- Resistencia física del sustrato: es la capacidad, del sustrato de conservar su estructura a lo largo del tiempo y está directamente relacionado con la durabilidad del jardín vertical, y por ello de las fibras que van a conformar el material de soporte. No van a tener la misma resistencia los textiles fabricados con fibras naturales que los fabricados con fibras sintéticas.
- Durabilidad química. Es la vida útil del sustrato sometido a las condiciones de fertirrigación necesarias para su funcionamiento. Determinados sustratos se saturan de sales más rápidamente que otros.
- Retención de agua. Es la capacidad de un jardín vertical de sobrevivir sin necesidad de riego. En general los jardines hidropónicos (hay excepciones), requieren una circulación continua de riego que en caso de fallo conducen al fracaso del jardín vertical en un período corto de tiempo.
- Retención de nutrientes. Es la capacidad de un jardín vertical de sobrevivir sin aportación de nutrientes a través de fertirrigación. Los sistemas con sustrato tienen esta capacidad. Los hidropónicos puros no. Este punto podría ser un problema en cuanto a textiles no tejidos fabricados con fibras naturales por los problemas que pudieran originarse por la proliferación de hongos y bacterias.
- Facilidad de sustitución de plantación. La capacidad para sustituir fácilmente las plantas que han fallado es de vital importancia, algunos sistemas de jardinería vertical esta sustitución se realiza planta a planta, otros solo permiten sustituir paneles o macetas en otros sistemas la sustitución puede suponer un problema por caída de sustrato, suciedad, por motivos económicos, ...
- Facilidad en la sustitución de riego. El riego en un sistema de jardinería vertical debe ser perfectamente accesible y reemplazable en caso de fallo sin afectar al jardín. En



algunos sistemas las condiciones de riego quedan ocultas en la parte trasera de los paneles y son difícilmente accesibles

- Complejidad del sistema de riego y fertirrigación. Unos sistemas de jardinería vertical solo requieren sencillos sistemas de abonado y control del riego otros necesitan complejos sistemas de filtrado, control de los parámetros de riego (conductividad, pH, humedad...) y telegestión. Aunque la seguridad nunca esta de más, la sencillez que puede aportar un textil también es un valor añadido.
- Variedad de plantación. Sistemas que permiten una amplia gama de especies vegetales y por tanto a una optimización en los resultados que desde el punto de vista de la acústica nos van a aportar resultados mejores.
- Resistencia al frío. En climas fríos algunos sistemas presentan el problema de congelación de las raíces, por regla general conforme mas grueso, mayor densidad, mejor aislado está el sustrato y mejor comportamiento tiene el jardín vertical. Este sería un inconveniente en los fieltros no tejidos utilizados pero con una fácil solución teniendo en cuenta las distintas posibilidades que ofrecen otras fibras no aplicadas hasta el momento.
- Peso. El peso del sistema es una variable muy importante a considerar sobre todo en la actuación sobre fachadas ya existentes.

Y teniendo en cuenta el carácter innovador en la aplicación que se busca con el presente estudio en cuanto al comportamiento acústico del conjunto de los tres elementos que conformarían la idoneidad de las fachadas verdes, jardines verticales, fachadas verdes, paredes vivas, living walls,... habría que tener en cuenta las interacciones entre SOPORTE TEXTIL, sustrato y especie vegetal.

En la actualidad el sistema de textil no tejido se recomienda para grandes superficies en climas que no sufran heladas prolongadas, donde el cliente esté dispuesto a asumir un control gestionado. Podría recomendarse para aficionados en autoconstrucción y auto mantenimiento por el bajo precio de los materiales.



**MUITex**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CAMPUS D'ALCOI

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA TEXTIL**



Imágenes correspondientes a dos proyectos ejecutados, representativos de fachadas verdes.



### III.METODOLOGÍA



En la actualidad, el tema del aislamiento sonoro es una gran preocupación en diversos entornos, tanto académicos como empresariales, considerando que sus efectos pueden generar pérdida de capacidad auditiva, sueño, trastornos mentales, atrasos en el desarrollo de actividades cotidianas y laborales, aislamiento social, devaluación de la vivienda, etc.

Por todo esto y en el campo de la ingeniería en general, su investigación es un tema de actualidad, es decir, queremos conocer cómo poder aislar el ruido o una parte de él, esto lleva pues a la búsqueda y a la prueba de diversos materiales acústicos.

En este estudio vamos a centrarnos en el comportamiento acústico del material que se utiliza en las aplicaciones en acústica arquitectónica, pero centrándonos en una aplicación novedosa como lo son las fachadas verdes, jardines verticales o también conocidos como huertos verticales, que van a realizar una función de pantalla acústica, además de otras funciones.

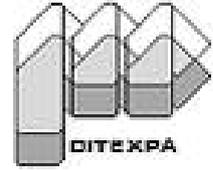


# MUITex



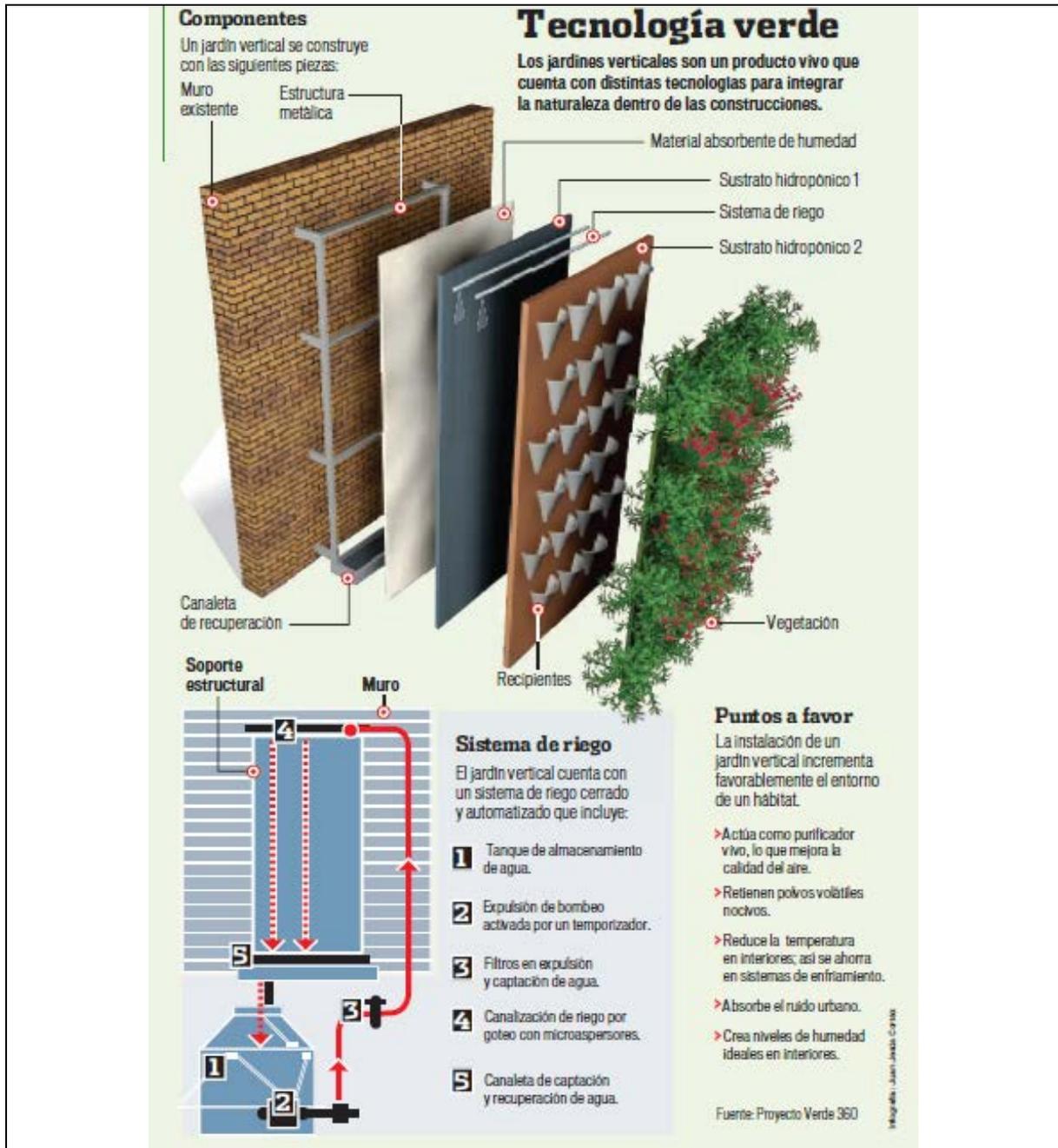
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CÀMPUS D'ALCOI

## MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL



1. BASE CON PRIMER SELLADOR
2. MODULO DE GEOTEXTIL NO TEJIDO (150gr/m<sup>2</sup>)
3. RIEGO AUTOMATIZADO POR GOTEO
4. BOLSAS DE GEOTEXTIL NO TEJIDO (150gr/m<sup>2</sup>)
5. SUSTRATO O/M + VEGETACION





Un buen diseño no tiene que tener en cuenta que una pantalla debe requerir un mantenimiento mínimo de limpieza o reparación de daños por un periodo largo de tiempo. Por lo tanto, se debe prestar atención a la selección de los materiales utilizados en la construcción de pantallas, en particular para las áreas sujetas a condiciones climáticas extremas. Una pantalla contra el ruido puede ser construida a partir de tierra, hormigón, mampostería, madera, metal, plásticos, TEXTILES y otros materiales o mediante una combinación de ellos.



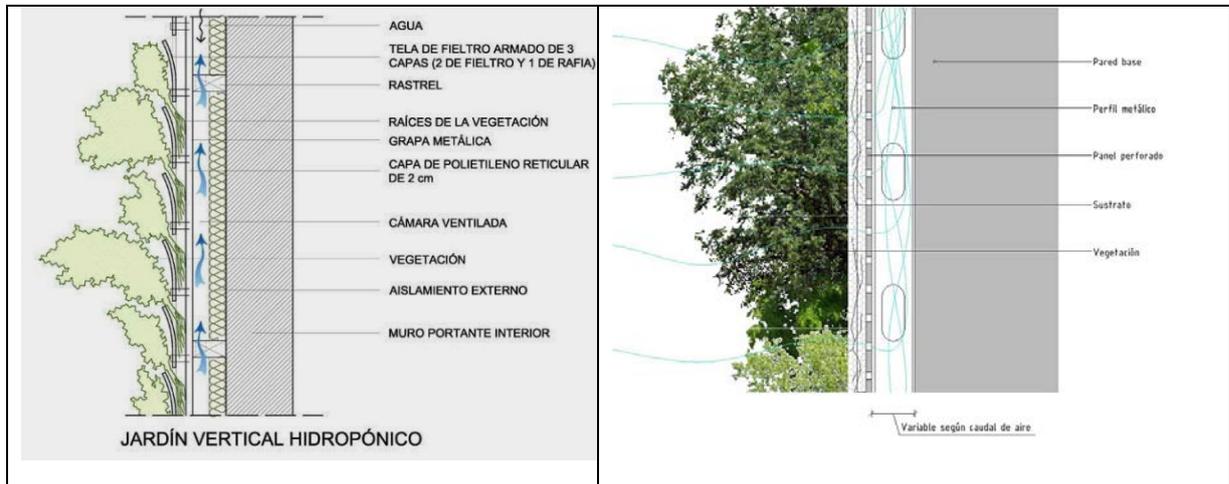
Una pantalla acústica es un dispositivo diseñado para reflejar la mayor parte de la energía sonora incidente hacia la fuente que genera el sonido. El uso de pantallas para controlar los problemas de ruido es un ejemplo de la aplicación práctica de una complicada teoría física: la teoría de la difracción, un fenómeno físico que corresponde a la reflexión no especular o dispersión de las ondas de sonido por un objeto. La mayoría de las teorías de la difracción fueron formuladas originalmente para la óptica, aunque muchas de estas teorías se pueden aplicar en acústica, y por lo tanto en los materiales textiles.

Para este trabajo, se han ensayado distintos productos textiles: tejidos y tejidos no tejidos obtenidos directamente de algunas empresas como GEOTEXAN, TEXDELTA, GRUPO SARI... y también de certámenes y ferias como TECHTEXTIL, CONSTRUMAT...

El uso de pantallas al aire libre para controlar el ruido de las carreteras es sin duda la aplicación más conocida de las pantallas. Si bien las pantallas de ruido no eliminan todos los ruidos de tráfico de la carretera, reducen significativamente el ruido global y mejoran la calidad de vida de las personas que viven junto a carreteras muy transitadas. Ejemplos de pantallas contra el ruido son las paredes, cercas, bermas de tierra, plantaciones densas, edificios o combinaciones de ellos, que interrumpen la línea de visión entre la fuente y el observador. Parece que la construcción de las pantallas es la principal alternativa utilizada para la reducción del ruido, aunque los asfaltos porosos absorbentes, el aislamiento de las residencias o el uso de túneles también se han utilizado para este propósito.

La teoría discutida hasta ahora se ha establecido para las fuentes puntuales o fuentes lineales coherentes. Sin embargo, el sonido irradiado desde una carretera se compone de varias fuentes incoherentes y móviles, constituidas por vehículos de diferentes tipos. Se ha demostrado (Kurze y Beranek, 1971), que cuando una fuente de ruido se aproxima a una fuente lineal incoherente (que representa el flujo de tráfico), la pérdida de inserción es de unos 5 dB menor que el calculado para una fuente puntual. De los resultados de medidas en terreno, también se ha observado que las bermas de tierra (montículos), producen alrededor de 3 dB más de atenuación que las paredes rectas de la misma altura. Entonces, los valores predichos de la atenuación de una pantalla serán siempre aproximaciones, puesto que además en el caso que nos ocupa, tendremos un producto final en el que van a intervenir tres elementos: planta vegetal, sustrato y soporte textil.

Toda atenuación que no sea el resultado de la divergencia de onda se conoce como el exceso de atenuación. La reducción de ruido debido a la pantalla se considera como una reducción que se añade a otras reducciones, debido a efectos tales como la propagación esférica, la atenuación debida a la absorción del sonido en el aire, el viento y los gradientes de temperatura, el tipo de vegetación, etc. Por lo tanto, es común referirse al exceso de atenuación de una pantalla en lugar de la pérdida de inserción de ésta.



Un diseñador debe recopilar toda la información para un proyecto específico con el fin de estimar el costo de la construcción de la fachada vegetal y su mantenimiento. Esto es particularmente importante ya que la rentabilidad económica es un parámetro para la decisión positiva sobre la construcción de una fachada verde.

## BASES CONCEPTUALES

El sonido se define como la energía producida por la vibración de algún objeto, esta vibración genera ondas, las cuales viajan por el aire y son captadas por el ser humano mediante el oído.

Sin embargo, y a pesar de que la mayoría de las ondas sonoras viajan por el aire, este no es el mejor medio de propagación; es decir, las ondas viajan más rápido en sólidos y en medios líquidos que en el aire; pero si no hubiera aire no podrían viajar las ondas sonoras.

El ruido es todo aquel sonido que resulta molesto para un individuo; esto puede producir daños severos en la persona, puede alterar el equilibrio emocional, salud física, etc. En el ambiente industrial, se pueden encontrar numerosos ejemplos de ruidos, sobre todo los producidos por las máquinas, entre otras fuentes.

Cuando la onda sonora que se desplaza por el aire choca contra una pared o un techo, esta lo dividirá en una fracción que será reflejada, es decir, que no va a pasar el medio, y otra llamada energía absorbida la cual es el resultado de la acción del material con el que choca y que a la vez está compuesto por la energía disipada y la energía transmitida.

la energía disipada es aquella que absorbe el material, es decir, la que se disipa en él y la energía transmitida es aquella que finalmente pasa hacia el recinto interno al material; para entender mejor el tema se presentan a continuación las ecuaciones correspondientes:

$$E_{\text{incidente}} (E_i) = E_{\text{reflejada}} (E_r) + E_{\text{absorbida}} (E_a)$$



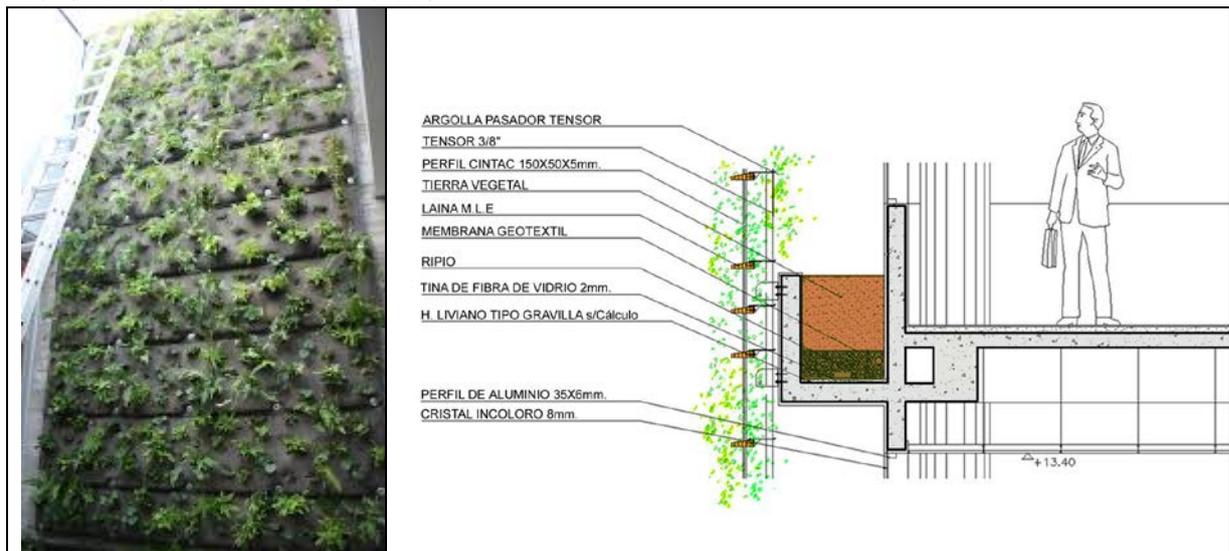
$$E \text{ absorbida } (E_a) = E \text{ dissipada } (E_d) + E \text{ transmitida } (E_t)$$

$$\text{Por lo tanto: } E_i = E_r + E_d + E_t$$

## MATERIALES

- MATERIALES ABSORBENTES POROSOS: TEXTILES.**

Los materiales absorbentes del sonido absorben la mayor parte de la energía sonora que incide sobre ellos reflejando muy poca. Por esta razón, los materiales absorbentes han sido muy útiles en el control del ruido. Se han venido utilizando en una gran variedad de lugares: cerca de las fuentes de ruido (por ejemplo, cerca de las fuentes en los motores eléctricos), en el camino de transmisión (por ejemplo, en las cumbres de las pantallas acústicas) y, a veces, cercade un receptor (por ejemplo, dentro de las orejeras de los protectores auditivos). Aunque, en general, todos los materiales absorben parte del sonido incidente, el término "material acústico" se ha aplicado principalmente a aquellos materiales diseñados con el objetivo específico de entregar altos valores de absorción sonora. Los principales usos de los materiales absorbentes son, casi siempre, para la reducción de los niveles de presión sonora reverberante y, en consecuencia, la reducción del tiempo de reverberación. Es por ello la finalidad de este trabajo que busca el uso de este tipo de materiales como soporte para construcción de fachadas verdes.



Existe una amplia gama de materiales absorbentes del sonido, que ofrecen propiedades de absorción dependientes de la frecuencia, la composición, el espesor, el acabado superficial y el método de montaje. Sin embargo, los materiales que tienen un alto valor del coeficiente de absorción sonora suelen ser porosos (Arenas y Crocker, 2010).



- **MATERIALES ABSORBENTES FIBROSOS: TEXTILES.**

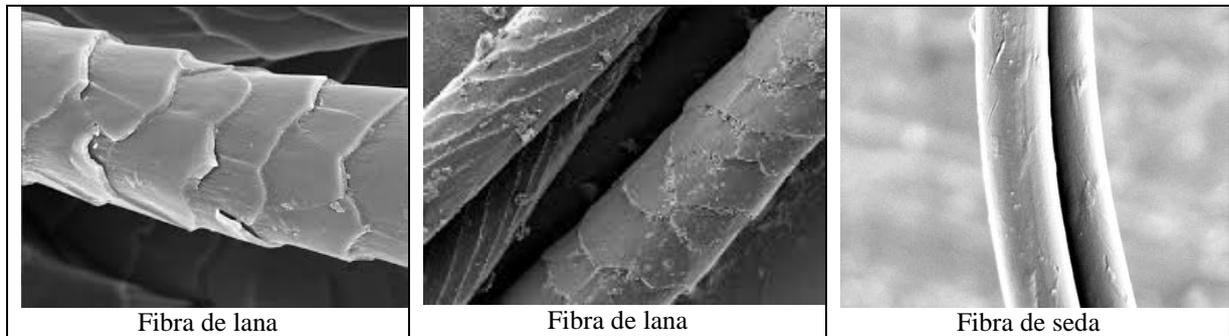
La mayoría de los materiales absorbentes porosos disponibles en el mercado son fibrosos. Los materiales fibrosos se componen de un conjunto de filamentos continuos que atrapan el aire entre ellos. Se fabrican en rollos o en placas, con diferentes propiedades térmicas, acústicas y mecánicas. Las fibras pueden ser clasificadas como naturales o sintéticas (artificiales). Las fibras naturales pueden ser vegetales (algodón, Kenaf, cáñamo, lino, madera, sisal, etc.), animales (lana, fieltro) o minerales (asbestos). Las fibras sintéticas pueden ser de celulosa (por ejemplo, fibra de bambú), minerales (fibra de vidrio, lana mineral, lana de vidrio, grafito, cerámica, etc.), o polímeros (poliéster, polipropileno, Kevlar, etc.)

Los materiales sintéticos fibrosos hechos de minerales y polímeros se utilizan sobre todo para la absorción acústica y el aislamiento térmico. Sin embargo, ya que son fabricadas con procesos de extrusión a elevadas temperaturas y mediante procesos industriales basados en productos químicos sintéticos, a menudo de fuentes petroquímicas, sus huellas de carbono son muy importantes.

Recientemente, el uso de fibras naturales en la fabricación de materiales absorbentes del sonido ha recibido mucha atención en la literatura científica (Ballagh, 1996; Zulkifli et al., 2008; Koizumi, 2002; del Rey et al., 2007). Las fibras naturales son en esencia completamente biodegradables y los desarrollos tecnológicos modernos han hecho el procesamiento de la fibra natural más económico y ecológico. Estos nuevos métodos pueden emplearse en la fabricación industrial de fibras de alta calidad a precios competitivos. Las propiedades de absorción sonora de estos materiales fibrosos pueden ser similares a las de los materiales fabricados a partir de minerales. Estas propiedades también pueden ser modificadas por tratamientos previos como el secado, carbonización, impregnado y la mineralización. Además, las fibras naturales también son más seguras para la salud humana en comparación con la mayoría de las fibras minerales sintéticas, ya que no necesitan precauciones en su manipulación.

Un parámetro microscópico importante de una fibra es su diámetro. El diámetro de la fibra está directamente relacionado con las características de absorción sonora de los materiales textiles, por ello la caracterización microscópica es una técnica fundamental para un buen desarrollo final

  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	<p><b>MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL</b></p>	 
---	---	---

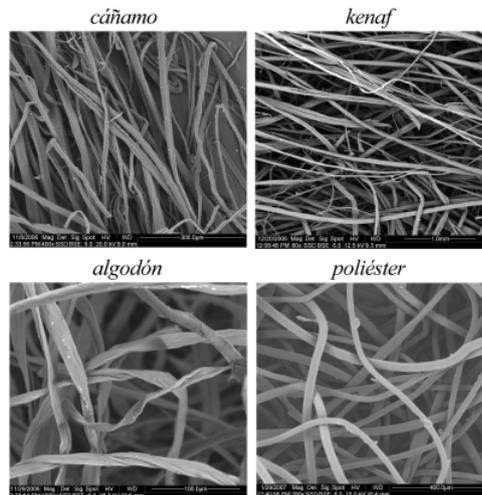


Una comparación de los diámetros promedio de varios tipos de fibras industriales medidos utilizando técnicas de microscopía electrónica. En general, el diámetro de las fibras naturales tiende a ser mayor que el diámetro de las fibras sintéticas obtenidas por extrusión (para estas aplicaciones concretas; fundamentalmente poliéster y polipropileno)

Origen	Material fibroso	Diámetro de la fibra ( $\mu\text{m}$ )
Sintético	Cerámico	2 – 6
	Lana mineral (Lana de roca y de escoria)	3 – 10
	Fibra de vidrio (filamento continuo)	6 – 13
	Lana de vidrio	3 – 7
	Grafito	5 – 10
	Basalto	7 – 13
	Bambú	14
	Polipropileno	5 – 25
	Poliéster	3 – 15
	Kevlar	12
Natural	Algodón	8 – 33
	Kenaf	21
	Cáñamo	22
	Madera	16 – 38
	Lino	19
	Corteza de caña	20
	Yute	20

Diámetro promedio de varias fibras industriales (Arenas y Crocker, 2010).

También con la utilización de las técnicas de microscopía podemos determinar que las fibras naturales tienen formas más irregulares y diámetros variables en comparación con las fibras sintéticas (Tascan y Vaughn, 2008; Vaughn y Tascan, 2008).



## CARACTERIZACION ACUSTICA DE LOS MATERIALES OBJETO DEL ESTUDIO

Con respecto a las muestras con mejores prestaciones de todas las ensayadas encontramos tanto sintéticas como naturales:

- PET 400/40: Poliéster Reciclado. 400 g/m<sup>2</sup>. 4cm
- PET 400/20: Poliéster Reciclado. 400 g/m<sup>2</sup>. 2cm
- MULTICOLOR RECICLADO DTL negro. 0.4 cm.
- Rafia PP 7 g/m<sup>2</sup>. 0.5 cm.
- Cáñamo: M16 (50% CAÑAMO+ 50% FIBRAS PP) 1800 g/m<sup>2</sup> y 1.1 cm
- Coco: M27 (50% COCO+35%ACRILICO+15% BICO PES) 1300 g/m<sup>2</sup> y 1.5 cm.
- Kenaf 1: M24 (50% Kenaf + 50% PP) 1700 g/m<sup>2</sup> y 1.0 cm
- kenaf 2: M25 (85% Kenaf + 15% Bico) 1200 g/m<sup>2</sup> y 1.1cm.

Esto nos va a permitir aplicar este tipo de productos en función de los requerimientos de los diferentes proyectos y necesidades, teniendo en cuenta en cada caso sus ventajas e inconvenientes, y la caracterización de cada uno de los materiales que va a ser indispensable para poder destinar estos a las distintas aplicaciones técnicas que dentro de lo que es la acústica arquitectónica, son útiles para minimizar los impactos y problemas que puedan presentarse.



Muestras utilizadas en el estudio facilitadas por el fabricante de maquinaria LAROCHE

## EL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN

Uno de los indicadores más importantes para determinar la absorción de un material es el Coeficiente de Absorción ( $\alpha$ ); matemáticamente, se puede definir como el coeficiente entre la energía absorbida ( $E_a$ ) y la energía incidente ( $E_i$ ).

$$\alpha = E_a / E_i \quad (4)$$

De la fórmula anterior, se puede deducir que este coeficiente indica el porcentaje de la energía incidente que se vuelve energía absorbida por acción del material; es decir, si, por ejemplo, resultase un coeficiente de absorción de 40%, entonces se interpretaría como que un 40% de la energía incidente en el material se ha vuelto energía absorbida por acción de este.



Ensayos de caracterización en tubo de Kundt, para conocer la absorción

## EL AISLAMIENTO ACÚSTICO

El aislamiento acústico se define como la protección que tiene un local o recinto contra la entrada de ruidos; lo que se pretende con esto es reducir los niveles de ruido mediante algún material que actúa como obstáculo.

Desde el punto de vista del material que actúa como aislante acústico, las pérdidas por transmisión indican la capacidad de este material para no transmitir las ondas sonoras. Estas pérdidas dependen, sobre todo, de su masa por unidad de área, su rigidez y el amortiguamiento. Estos factores permiten utilizarlo como elementos estructurales en paredes, pisos y techos de un local.

El acondicionamiento acústico de un local consiste en lograr que el sonido proveniente de una fuente o varias fuentes sea irradiado por igual a todas direcciones obteniendo un campo sonoro difuso ideal. Con ello se pretende mejorar las condiciones acústicas de sonoridad y aumentar el confort acústico interno del local.

Para su cálculo, se utiliza la fórmula del aislamiento acústico normalizado (R):

$$R = D + 10 \log (S/A)$$

En donde:

S: Superficie del elemento separador (m<sup>2</sup>)

A: Absorción del recinto receptor (m<sup>2</sup>)

El factor D es la diferencia entre niveles acústicos de dos locales; para su cálculo, se utiliza la siguiente expresión:

$$D = L_1 - L_2$$



En donde el cálculo de L o nivel acústico se realiza de la siguiente forma:

$$L = 10 \log (I/I_0)$$

Donde:

I: Intensidad acústica en (W/m<sup>2</sup>),

I<sub>0</sub>: Intensidad acústica de referencia, que se establece en 10<sup>-12</sup> (W/m<sup>2</sup>), para un metro de distancia.

Nivel de intensidad acústica a diferentes distancias del observador:

$$L_2 = L_1 + 20 \log (d_1/d_2)$$

Donde:

L<sub>1</sub>: Nivel de intensidad acústica en la distancia d<sub>1</sub>

L<sub>2</sub>: Nivel de intensidad acústica en la distancia d<sub>2</sub>

## RESUMEN INFRAESTRUCTURA DE ENSAYO

### Infraestructura 01: Laboratorio de materiales y dispositivos para el control de ruido Competencias:

- Caracterización clásica de materiales a nivel de laboratorio.
  - Absorción sonora en incidencia normal (UNE EN ISO 10534-2:2002)
  - Resistencia al flujo de aire por diversos métodos (Ingard&Dear, Dragonetti et al.)
  - Pérdidas por inserción (TL)
  - Rigidez dinámica (UNE EN 29052:1994)
- Análisis de vibraciones.
  - Seguimiento y control de piezas de automoción sometidas a vibración
- Simulaciones.
  - Diseño, evaluación y mejora de la acústica de recintos.
  - Mapas sonoros
  - Evaluación de impacto ambiental de zonas industriales, redes ferroviarias o infraestructuras de transporte en general.
  - Diseño y evaluación de soluciones constructivas de aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impacto.
  - Evaluación acústica de edificios.



**Infraestructura 02: Cámara reverberante normalizada Competencias:**

- Certificación de materiales, elementos y dispositivos de control de ruido.
  - Evaluación de la absorción sonora de cualquier material o dispositivo susceptible de comportarse como absorbente acústico, tales como materiales, paneles perforados, cortinas, barreras acústicas, sillas de cine, moquetas, etc. (UNE EN ISO 354:2004)
  - Evaluación de la potencia acústica generada por fuentes de ruido de diversa naturaleza.(UNE EN 3741:2001)
  - Evaluación de la potencia acústica generada por conductos de aire acondicionado, rejillas, difusores y compuertas

**Infraestructura 03: Cámara anecoica. Competencias:**

- Certificación de sistemas electro acústicos.
  - Evaluación y caracterización de todo tipo de sistemas electro-acústicos
- Otros - Evaluación de la efectividad de barreras acústicas.
  - Evaluación acústica de diferentes instrumentos musicales.

**Infraestructura 04: Cámara reverberante a escala. Competencias:**

- Evaluación de materiales y dispositivos de control de ruido.
  - Evaluación de la absorción sonora de materiales planos de tamaño reducido.
  - Evaluación de la absorción sonora de barreras acústicas de tamaño reducido.
  - Evaluación de la absorción sonora de paneles perforados de tamaño reducido.

**Infraestructura 05: Cámara de transmisión a escala. Competencias:**

- Evaluación de materiales y dispositivos de control de ruido.
  - Evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo de cualquier elemento constructivo ligero.
  - Evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo de barreras acústicas.
  - Evaluación del aislamiento acústico a ruido aéreo de cortinas y telas.



## IV.RESULTADOS



En lo referente a este apartado, se han realizado una serie de ensayos siguiendo la normativa vigente y adecuándose en gran medida a la finalidad del proyecto:

### **ENSAYOS DE ABSORCIÓN EN MUESTRAS DE REDUCIDO TAMAÑO**

El coeficiente de absorción en incidencia aleatoria, o campo difuso,  $a_{st}$ , se puede obtener mediante el procedimiento descrito en la norma europea UNE-EN ISO 354-2004 donde se obtiene por un proceso de medida del tiempo de reverberación, con y sin muestra, en cámara reverberante. Por tanto, si se pretenden utilizar el procedimiento normalizado, se requiere una cámara reverberante normalizada, además de una superficie de muestra, que en caso general suele ser de entre 10 y 12 m<sup>2</sup>. En este sentido es importante tener en cuenta que la difusión de la cámara deber ser la adecuada para que los datos ensayados sean realmente bajo incidencia difusa. Para el estudio de la muestra de fachada vegetal que se presenta en este trabajo, solamente se dispone de poco más de 4m<sup>2</sup> de superficie (2,03m \*2,03m).

Se ha realizado un estudio previo, que en estos momentos todavía está en fase de mejora, que permite conocer el valor de la absorción mediante la medida del Tiempo de Reverberación en cámara reverberante y utilizando la ecuación de Sabine, de superficies por debajo de los 10-12 m<sup>2</sup>, utilizando muestras de referencia. La absorción de estas muestras de referencia debe ser conocida con detalle.

### **ABSORCIÓN SONORA DE LA FACHADA VEGETAL**

Se han realizado ensayos de la absorción sonora en la cámara reverberante estandarizada de la Escuela Politécnica Superior de Gandía. La superficie de muestra de recubrimiento de fachada vegetal utilizada durante el ensayo es la que se disponía, 4 m<sup>2</sup>, por tanto, el método utilizado para el cálculo de la absorción ha sido en método indirecto expuesto en el apartado anterior. Como muestra de referencia se ha utilizado poliéster reciclado de absorción totalmente conocida.

Se ha estudiado la influencia en la absorción de la cantidad de tierra de la fachada vegetal, eliminando para el estudio toda la vegetación. La fachada vegetal está compuesta por una malla de rafia con distintos “bolsillos”. Estos bolsillos simulan las macetas desde el punto de vista del diseño. Con esta estructura ha sido muy fácil, rápido y cómodo poder evaluar la absorción de los distintos porcentajes (%) de relleno. Con respecto a algunos detalles de la preparación de la fachada para el estudio. Se ha evaluado la fachada sin relleno, al 25%, al 50% y al 90% de relleno. Como relleno se ha utilizado un substrato universal comercializado muy común, fertilizado ecológico para interior y exterior. Comparandose los valores de la absorción sonora que se obtienen, mediante el procedimiento indirecto de éstas 4 composiciones.

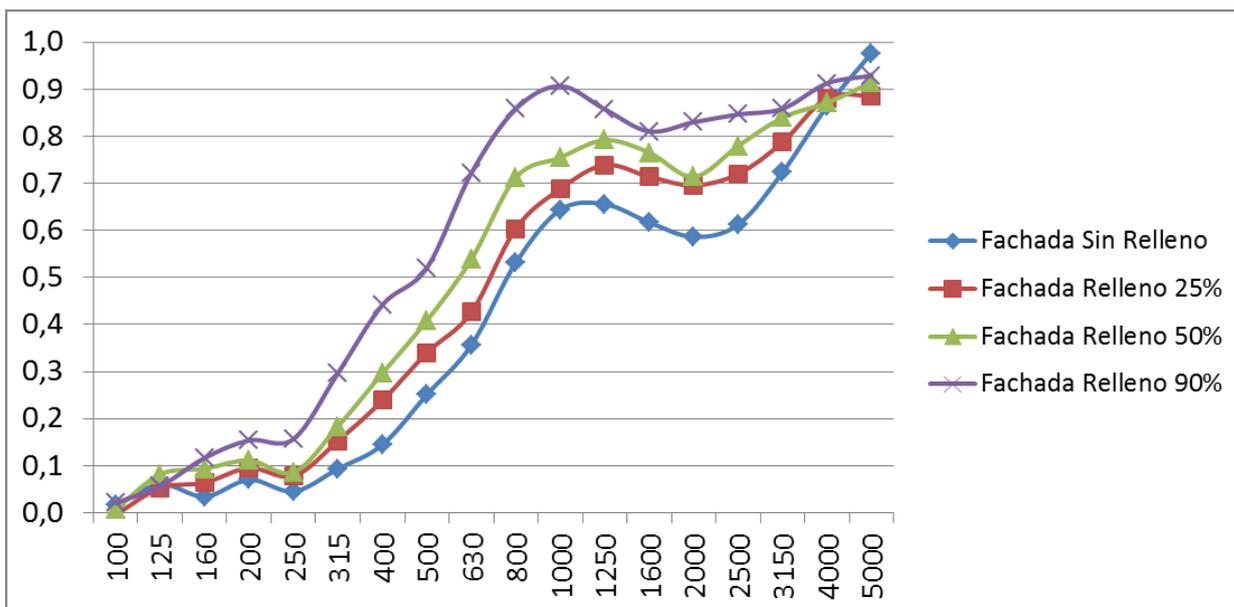


Figura 4. Comparación de la Absorción Sonora (método indirecto) en función de la frecuencia. Estudio de la influencia del % de tierra en la fachada vegetal.

## ENSAYOS

### Determinación del coeficiente de absorción acústica de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 10534-2:2002. Parte 2: Método de la Función de Transferencia

- **Poliéster Reciclado PET.** 40mm de espesor y 400 g/m<sup>2</sup> de densidad.

f(Hz)	$\alpha$ Medio
100	0,14
125	0,14
160	0,15
200	0,15
250	0,15
315	0,15
400	0,14
500	0,14
630	0,15
800	0,2
1000	0,31



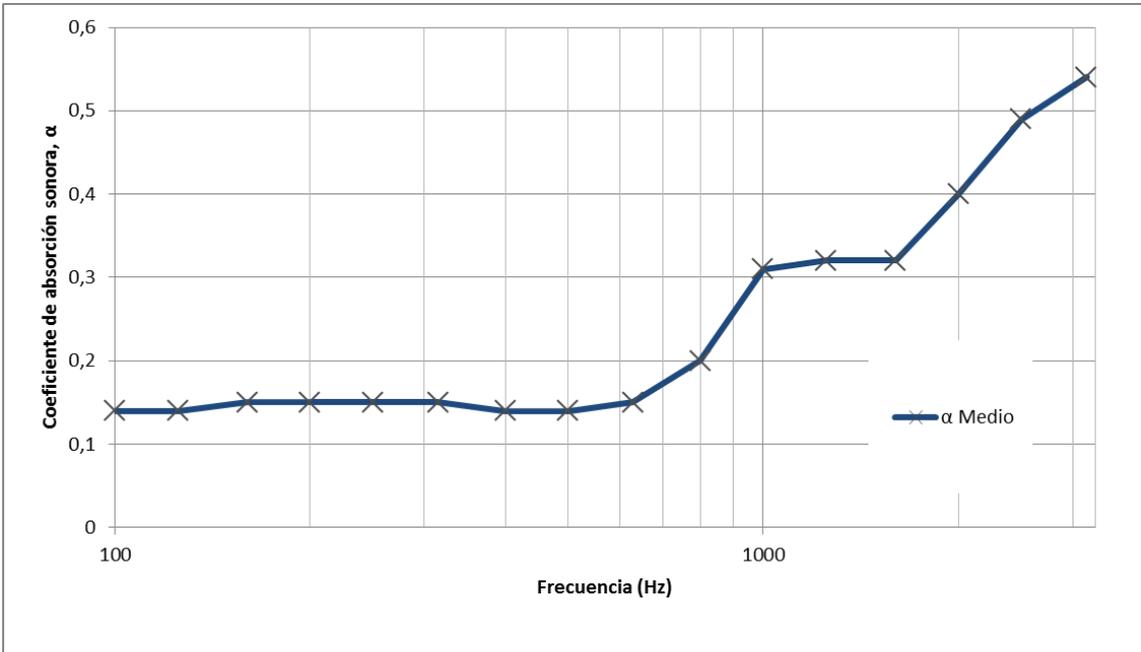
## MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL



1250	0,32
1600	0,32
2000	0,4
2500	0,49
3150	0,54



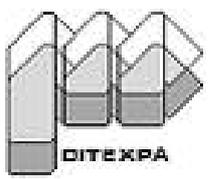
Montaje PET 1200



Comparación del coeficiente de absorción del PET400 sonora en diferentes frecuencias

Datos complementarios:

Resistividad al flujo de aire de acuerdo con el método Ingard & Dear **R=1.5 kPas/m<sup>2</sup>**

  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	<p><b>MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL</b></p>	 
---	---	---

- **Poliéster Reciclado PET.** 20mm de espesor y 500 g/m2 de densidad.

f(Hz)	$\alpha$ Medio
100	0,14
125	0,14
160	0,14
200	0,14
250	0,14
315	0,13
400	0,12
500	0,11
630	0,12
800	0,17
1000	0,23
1250	0,25
1600	0,26
2000	0,32
2500	0,4
3150	0,46

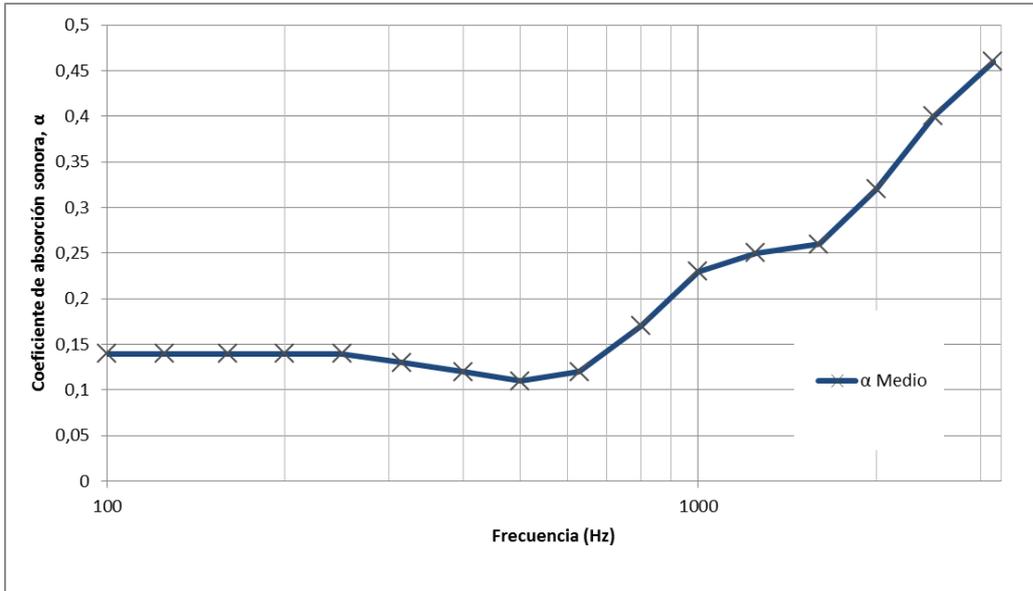
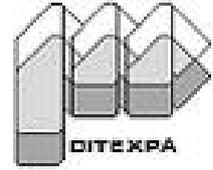


# MUITex



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CAMPUS D'ALCOI

## MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL



Comparación del coeficiente de absorción del PET500 sonora en diferentes frecuencias

Datos complementarios:

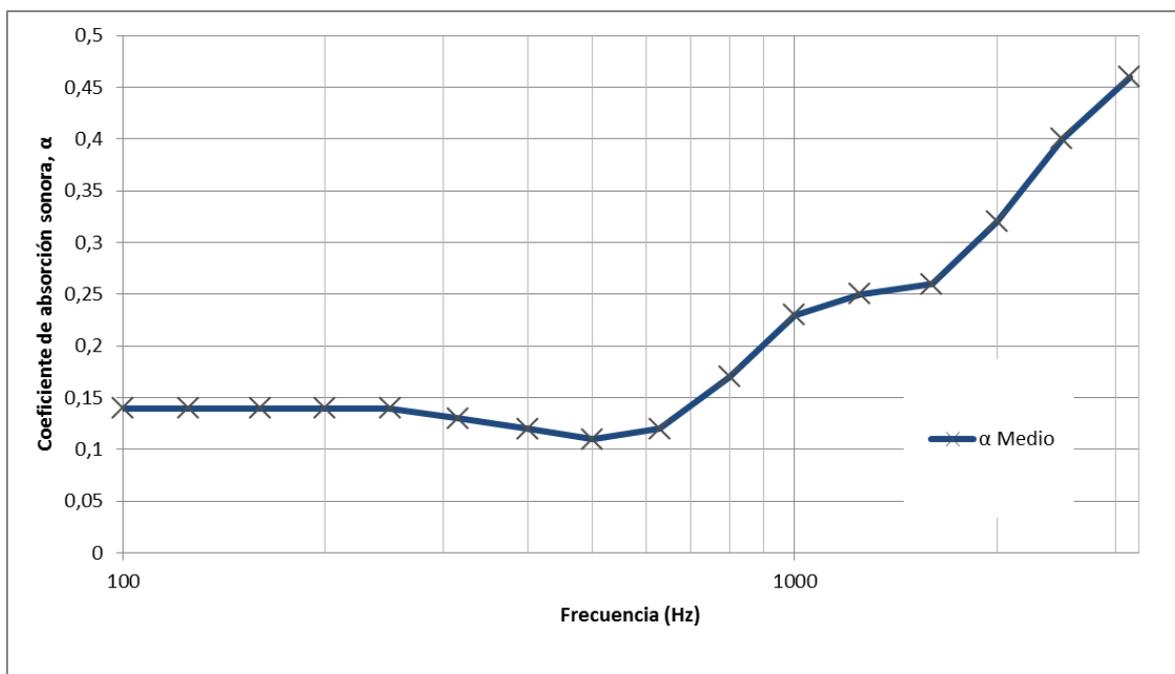
Resistividad al flujo de aire de acuerdo con el método Ingard & Dear  $R=2.8 \text{ kPas/m}^2$

- **Poliéster Reciclado PET.** 40mm de espesor y 800 g/m<sup>2</sup> de densidad

f(Hz)	$\alpha$ Medio
100	0,14
125	0,14
160	0,14
200	0,14
250	0,14
315	0,13
400	0,12
500	0,11
630	0,12
800	0,17
1000	0,23
1250	0,25
1600	0,26



2000	0,32
2500	0,4
3150	0,46



Comparación del coeficiente de absorción del PET800 sonora en diferentes frecuencias

Datos complementarios:

Resistividad al flujo de aire de acuerdo con el método Ingard & Dear **R=2.1 kPas/m<sup>2</sup>**

- **Poliéster Reciclado PET.** 40mm de espesor y 1200 g/m<sup>2</sup> de densidad.

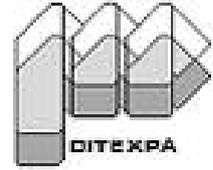
f(Hz)	$\alpha$ Medio
100	0,14
125	0,14
160	0,15
200	0,17
250	0,19
315	0,21
400	0,23
500	0,26

# MUITex



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CAMPUS D'ALCOI

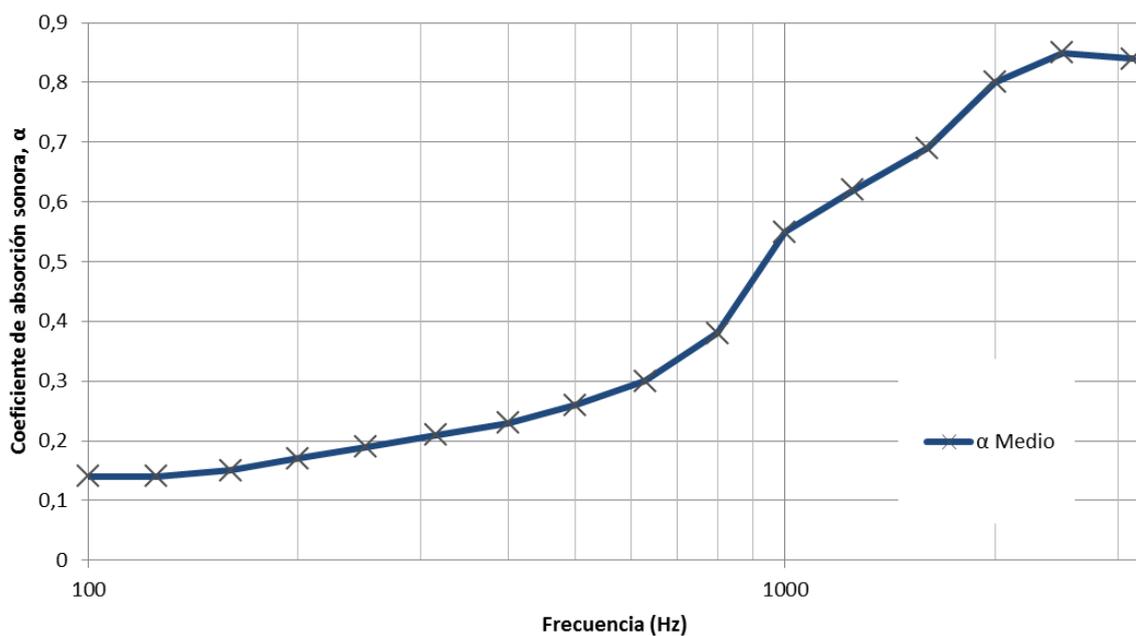
## MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL



630	0,3
800	0,38
1000	0,55
1250	0,62
1600	0,69
2000	0,8
2500	0,85
3150	0,84



Montaje PET 1200





Comparación del coeficiente de absorción del PET800 sonora en diferentes frecuencias

Datos complementarios:

Resistividad al flujo de aire de acuerdo con el método Ingard & Dear **R=3.8 kPas/m2**

- Muestra M1. Lana de oveja de 30Kg/m3 y 50mm de espesor. 20% de PET BICO y 80% WOOL

f(Hz)	$\alpha$ Medio
100	0,08
125	0,08
160	0,09
200	0,12
250	0,15
315	0,2
400	0,24
500	0,29
630	0,34
800	0,45
1000	0,6
1250	0,68
1600	0,79
2000	0,87
2500	0,91
3150	0,89



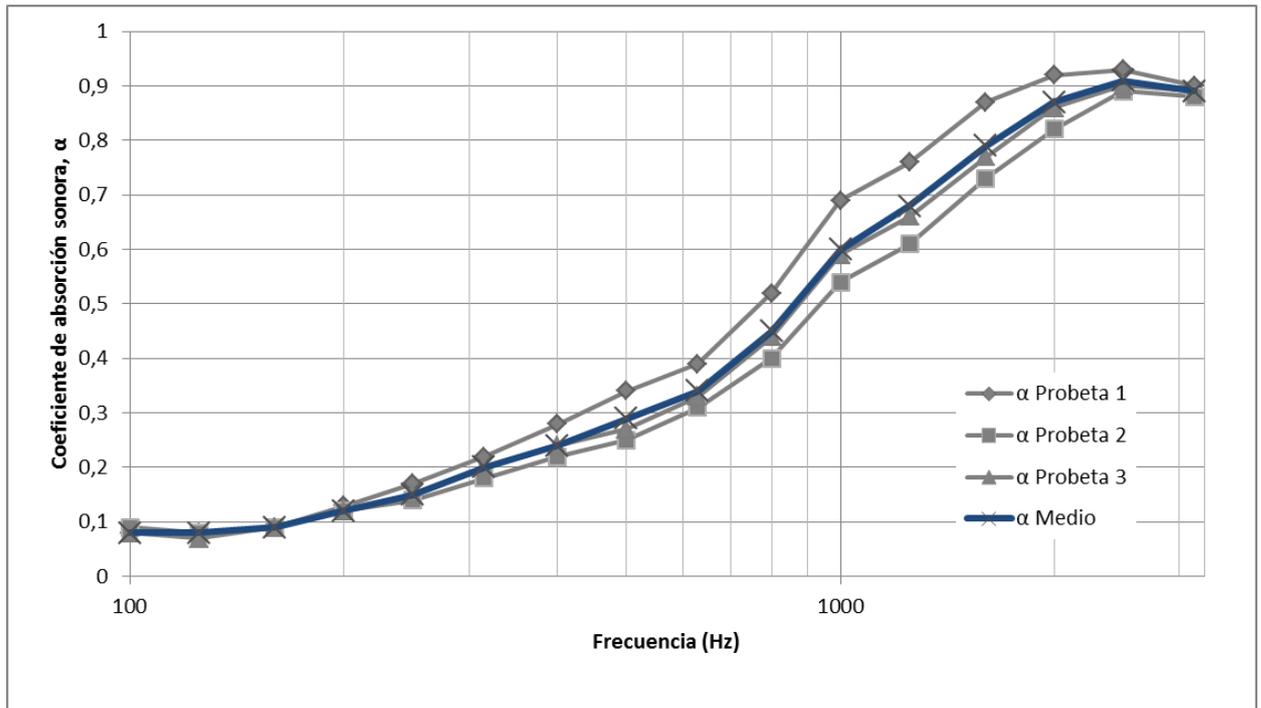
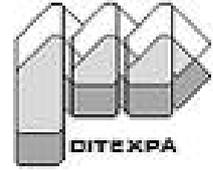
Muestra M1

# MUITex



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CAMPUS D'ALCOI

## MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL



Comparación del coeficiente de absorción de la muestra M1 sonora en diferentes frecuencias y diferentes probetas

Datos complementarios:

Resistividad al flujo de aire de acuerdo con el método Ingard & Dear **R=9.3 kPas/m<sup>2</sup>**

## CONCLUSIONES Y MEJORAS DESPRENDIDAS DE LA UTILIZACION DE TEXTILES EN LOS JARDINES VERTICALES

Durante el desarrollo de los jardines verticales se han desarrollado diversos estudios sobre los efectos que producen estos novedosos sistemas al integrarse en las edificaciones existentes o nuevas.

A continuación se ha desarrollado una agrupación de los efectos más importantes resultantes de la integración de los mismos:

Efectos a escala urbana

Retención de CO<sub>2</sub>.



Reducción de la escorrentía de aguas pluviales.  
 Reducción del efecto isla.  
 Retención de polvo, material en partículas y sustancias contaminantes.  
 Conservación de la naturaleza y biodiversidad urbana.  
 Recuperación de espacios autóctonos.

Efectos a nivel de la edificación

Reducción de la temperatura

Aislamiento e inercia térmica.

Variación de los efectos de la incidencia del viento sobre la edificación.

Reducción del ruido ambiental y la contaminación acústica. Cuando el jardín vertical posee grosores de vegetación suficientes, las formaciones o barreras vegetales pueden tener un cierto efecto de amortiguación del ruido, actuando como pantallas acústicas, pudiendo llegar en bajas frecuencias hasta aproximadamente 10 db

Mejora de la calidad del aire interior: Biofiltración.

Vandalismo.

Mejora de la estética del edificio

Efectos a escala social

Beneficios psicológicos. Mejora de la salud y el bienestar.

Beneficios económico

Las grandes ciudades masificadas presentan problemas en los ciclos ambientales, de residuos, edificatorios, sociales y salubres. La naturación urbana revierte esta tendencia y reporta beneficios al medio ambiente, a los edificios y a los usuarios. La naturación intensiva crea verdaderos jardines, y la naturación extensiva una lámina vegetal bien adaptada con cuidados mínimos. Como superficies naturadas se emplean cubiertas, fachadas, muros antirruidos, terraplenes, raíles de tranvía, aparcamientos y otros soportes en las ciudades. Los sistemas de naturación se componen de capas de protección de la edificación y capas de soporte de la vegetación. Se trabaja en la adaptación de los sistemas a condiciones específicas, en nuevos usos-aprovechamientos y en la integración de la naturación en la planificación de ciudades sostenibles.

Con respecto a las muestras con mejores prestaciones de todas las ensayadas encontramos tanto sintéticas como naturales :

-PET 400/40: Poliéster Reciclado. 400 g/m<sup>2</sup>. 4cm

-PET 400/20: Poliéster Reciclado. 400 g/m<sup>2</sup>. 2cm

-MULTICOLOR RECICLADO DTL negro. 0.4 cm.

-Rafia PP 7 g/m<sup>2</sup>. 0.5 cm.

-Cáñamo: M16 (50% CAÑAMO+ 50% FIBRAS PP) 1800 g/m<sup>2</sup> y 1.1 cm

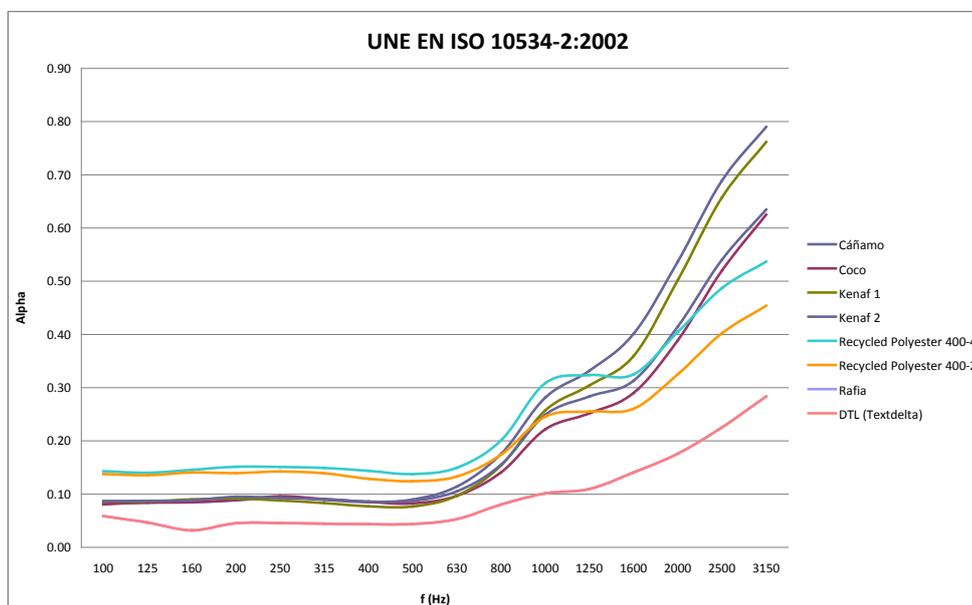
-Coco: M27 (50% COCO+35% ACRILICO+15% BICO PES) 1300 g/m<sup>2</sup> y 1.5 cm.

-Kenaf 1: M24 (50% Kenaf + 50% PP) 1700 g/m<sup>2</sup> y 1.0 cm



-kenaf 2: M25 (85% Kenaf + 15% Bico) 1200 g/m<sup>2</sup> y 1.1cm.

Esto nos va a permitir aplicar este tipo de productos en función de los requerimientos de los diferentes proyectos y necesidades, teniendo en cuenta en cada caso sus ventajas e inconvenientes, y la caracterización de cada uno de los materiales que va a ser indispensable para poder destinar estos a las distintas aplicaciones técnicas que dentro de lo que es la acústica arquitectónica, son útiles para minimizar los impactos y problemas que puedan presentarse.



El ruido y las vibraciones son motivo de preocupación en muchos sistemas mecánicos tales como máquinas industriales, electrodomésticos, vehículos de transporte y estructuras (Crocker, 2007). Una vez que las fuentes han sido identificadas, el ruido y las vibraciones de las maquinarias se pueden reducir mediante el uso del aislamiento a vibración, pantallas acústicas, materiales absorbentes del sonido, cerramientos, etc. Los materiales absorbentes del sonido se deben utilizar siempre en combinación con las pantallas acústicas y en el interior de los cerramientos para mejorar su eficacia (Crocker y Arenas, 2007). Estos materiales se están usando cada vez más . en la construcción de aviones, naves espaciales, automóviles y barcos, debido a su bajo peso y su eficiencia cuando se usan correctamente. Esta tendencia está impulsada por la demanda de mayor capacidad de carga y menor consumo de combustible para los automóviles, camiones y estructuras aeroespaciales. El diseño óptimo de los materiales absorbentes se puede lograr a través de una variedad de métodos que incluyen técnicas analíticas y numéricas.

En los últimos 50 años, el uso y la variedad de materiales absorbentes especiales disponibles en el mercado han aumentado considerablemente. Esto se debe básicamente a los avances tecnológicos y la preocupación de los usuarios sobre el ruido en la vida cotidiana. Los arquitectos y los ingenieros acústicos tienen ahora una variedad amplia de materiales



absorbentes del sonido, que no sólo proporcionan las propiedades acústicas deseadas, sino que también ofrecen una diversidad de colores, formas, tamaños, reflectividad de luz, clasificación ignífuga y de métodos de instalación, sin mencionar los costos de adquisición, instalación, mantenimiento

Todas estas son posibles aplicaciones y abren líneas de trabajo para desarrollar nuevas materias y materiales textiles para nuevas aplicaciones técnicas.



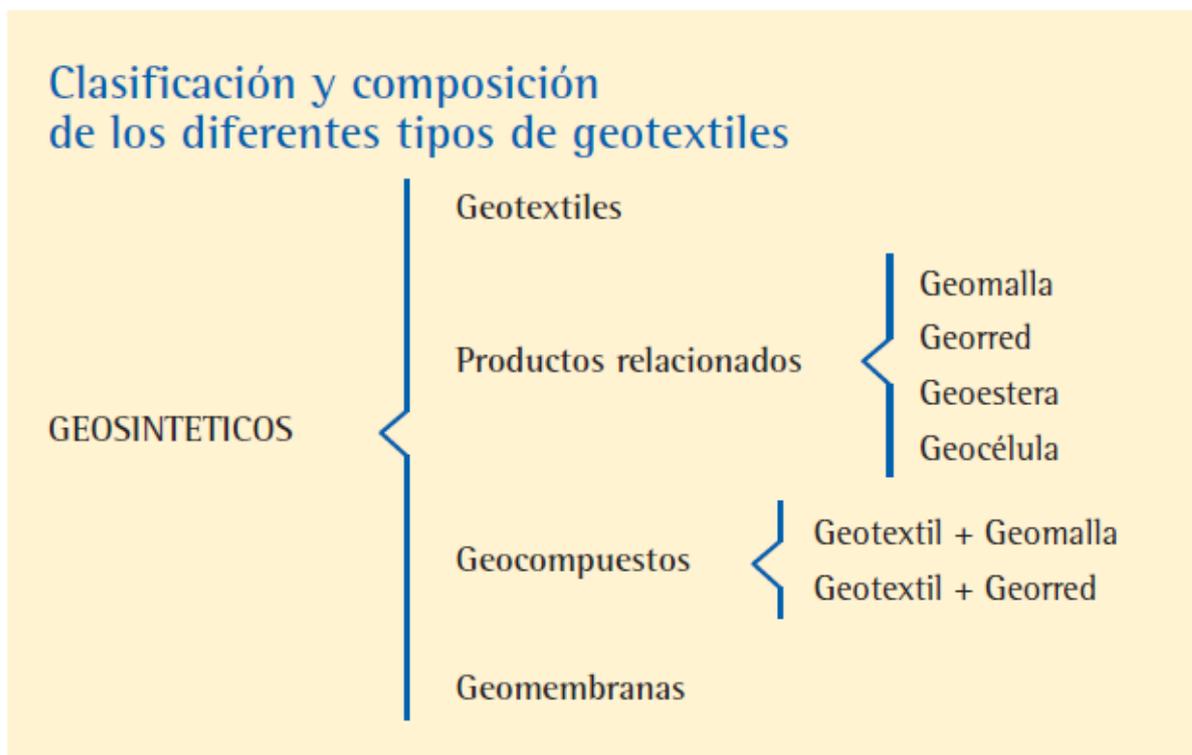
Nuevas aplicaciones textiles como soportes y estructuras colgadas, con prestaciones acústicas.  
P.e. BAFLES ECOLOGICOS ACUSTICOS



## V.PROCESOS DE OBTENCIÓN



Los textiles que incluimos en este estudio, los podríamos enmarcar en lo que conocemos como GEOTEXTILES y GEOSINTETICOS, CONSTRUCTEXILES y por su aplicación también podrían incluirse como un nuevo apartado en los AGROTEXTILES.



La utilización de los geotextiles en diversos campos de la ingeniería se ha visto incrementada de una forma considerable en los últimos años. Recientemente, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento ha publicado dos artículos sobre geotextiles para incluirlos al PG3, en la Orden Circular 326/00 “Sobre geotecnia vial en lo referente a materiales para la construcción de explanaciones y drenajes. Se trata, en concreto, del artículo 290 “Geotextiles” y del artículo 422 “Geotextiles como elemento de filtro y drenaje”. El primero recoge varios aspectos generales que se deben de tener en cuenta sobre geotextiles mientras que el segundo incluye, básicamente, los valores mínimos requeridos a estos materiales cuando se van a utilizar en obras de carreteras, cuya función sea la de separar capas de diferentes granulometría o la de filtro en sistemas de drenaje. También cabe destacar la colaboración entre la citada Dirección General y la Universidad de Cantabria en la elaboración de un Manual de Geotextiles en Carreteras. Qué son los geotextiles Los geotextiles se pueden definir como un material textil plano, permeable y polimérico, que se emplea en contacto con suelos y otros materiales para aplicaciones geotécnicas en ingeniería civil. Los polímeros utilizados en la fabricación de geotextiles



suelen ser de origen sintético debido a su mayor durabilidad frente a los naturales. Los principales son las poliamidas, poliésteres y las poli olefinas (polietileno y polipropileno). Las primeras referencias de la utilización moderna de geotextiles datan de los años 60 y se refieren a la construcción de obras marítimas en Holanda. Comenzaron a emplearse en funciones de drenaje y filtración. A partir de ese momento, la tecnología de diseño y aplicación se va desarrollando tanto en Europa como en Estados Unidos y se consiguen nuevas funciones para otros campos de la obra civil, como son el refuerzo y separación del terreno. Un momento clave en la historia de estos materiales fue la aparición de la palabra “geotextil” en el año 1977.

En un Simposio Internacional sobre el empleo de textiles en la Geotecnia celebrado en París, J.P. Giroud bautizó a estos productos con ese nombre. A partir de entonces, se organizan conferencias y congresos para avanzar en el desarrollo tecnológico y la normativa a aplicar sobre estos materiales. Funciones Los geotextiles se caracterizan por desarrollar varias funciones simultáneas una vez colocados en el terreno. Esta propiedad les garantiza una posición ventajosa frente a otros sistemas o productos que existen en el mercado: – Filtración: El geotextil retiene las partículas de grano fino al fluir el agua de la capa de grano fino a la capa de grano grueso.

- Separación: Separa dos capas de suelo de diferentes propiedades físicas (granulometría, plasticidad, consistencia) y así evita la mezcla de materiales.
- Drenaje: El geotextil conduce y evacua líquidos (agua) e incluso gases en su mismo plano.
- Refuerzo: Aumenta la capacidad portante (resistencia al corte) del suelo y la estabilidad en la construcción.
- Protección: El geotextil protege a membranas y otros productos relacionados contra ataques físicos (perforaciones y desgaste).

Además de estas funciones, los geotextiles presentan una serie de ventajas que son la causa del espectacular aumento del empleo de estos productos en todo el mundo a lo largo de los últimos 15 años; entre las más importantes destacan:

- facilidad de puesta en obra;
- son económicos;
- permiten ahorros de tiempos de ejecución;
- posibilitan soluciones medioambientales correctas;
- ofrecen muchas variantes y posibilidades de uso.

Se caracterizan por sus buenas propiedades mecánicas, por lo que se utilizan principalmente en funciones de refuerzo. Dado su actual consumo y previsible crecimiento, se ha convertido en un producto muy interesante. Asimismo, existen en el mercado español otros productos relacionados con los geotextiles que también se emplean, cada vez más, en obra civil. Son materiales de tipo polimérico y entre ellos destacan las geomallas, georredes, geoesteras, geocélulas, geocompuestos y las geomembranas. Los geocompuestos están formados por un



geotextil más otro producto relacionado, usualmente una georred. Con frecuencia, se utiliza el vocablo geotextil para referirse a un grupo de materiales de diversa naturaleza y tipologías que tomaron ese nombre de su origen textil; sin embargo, actualmente se han diversificado mucho. Como se verá más adelante, estos materiales se pueden englobar dentro de un concepto más general que es el de geosintéticos. De hecho, existe una sociedad internacional que se dedica al desarrollo científico y tecnológico de estos productos IGS “International Geosynthetics Society” que ya toma en su nombre el vocablo geosintético.

**Clasificación y composición de los diferentes tipos de geotextiles** Los geotextiles forman parte del grupo de los geosintéticos. Estos se pueden definir como productos en los que, al menos, uno de sus componentes está formado por un polímero sintético o natural. De forma plana, como cinta o en estructura tridimensional, son usados en contacto con suelos o/y otros materiales para aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil. Se pueden dividir en cuatro grandes grupos: geotextiles, productos relacionados con geotextiles, geocompuestos y geomembranas.

Los productos relacionados con los geotextiles se caracterizan por funcionar de forma análoga a los geotextiles y por cierta resistencia a tracción; además, están fabricados mediante entrelazado y ligadura de fibras y filamentos. Los más usados son los siguientes: geomallas, georredes, geoesteras (geomat) y geocélulas. Por otro lado, se llama geocompuesto al producto en el que al menos uno de sus componentes es un geotextil o un producto relacionado y se emplea, como los geotextiles, en aplicaciones geotécnicas en ingeniería civil.

El más utilizado es el ‘geotextil + geomalla’, sobre todo en sistemas de drenaje. Las geomembranas, por su parte, son materiales planos de naturaleza polimérica que se diferencian de los geotextiles en su capacidad impermeable. También se utilizan en aplicaciones geotécnicas de ingeniería civil.

En cuanto a los geotextiles, se pueden establecer tres tipos de clasificaciones que se enumeran a continuación, en función de su importancia:

- según el método de fabricación;
- según la naturaleza del polímero;
- según la presentación del polímero.

**Clasificación según el método de fabricación** Los geotextiles y productos relacionados con geotextiles se fabrican utilizando diferentes procesos. Todos están fabricados con polímeros estirados en forma de fibras o hilos, formados por un determinado número de fibras. Los diferentes procesos de fabricación conducen a la obtención de productos geotextiles que poseen una amplia gama de propiedades. Para la producción de geotextiles no tejidos se utilizan filamentos continuos o fibras (cortadas). Los geotextiles se fabrican utilizando diferentes tipos de hilos tales como hilados, filamentos y cintas de película, o hilos y cintas fibrilados. Las cintas de película e hilos fibrilados se producen normalmente sólo a base de polipropileno y polietileno. Estos productos se fabrican mediante extrusión de una película; se corta la película en cintas individuales y se procede al posterior estirado mediante un proceso uniaxial. Las cintas de película gruesa son demasiado rígidas para la manipulación



en el urdido y en la tejeduría, y, por consiguiente, son fibriladas después del proceso de estirado y antes del bobinado y torcido. Estos tipos de hilo se denominan después hilos de película fibrilados. Llegado este punto conviene recalcar que el proceso de estirado es muy importante en la producción de los diferentes tipos de fibras poliméricas, de filamentos y de cintas. Durante este proceso, las cadenas poliméricas resultan alineadas a lo largo del filamento o de la longitud de la cinta y su cristalinidad, propiedades mecánicas y durabilidad aumentan. Y es que las propiedades mecánicas del producto dependen de los detalles del proceso de fabricación. Los tipos de fibras, filamentos y cintas utilizados en la fabricación de tales geotextiles son producidos principalmente por un proceso de hilatura por fusión. Para producir fibras y filamentos, el polímero fundido es extruido a través de los orificios de una hilera, enfriado, estirado por extensión y de acuerdo con el uso final:

- depositado sobre una pantalla para formar una estructura plana (filamento continuo o no tejido);
- convertido en fibras cortadas mediante rizado y corte a una longitud determinada;
- convertido en multi o monofilamentos y enrollado de los filamentos después del estirado directamente sobre carretes. En el caso de la producción de multifilamentos esta técnica es conocida como hilatura-estirado.

● **Geotextiles no tejidos:** Se define como un geotextil plano con fibras, filamentos u otros elementos orientados aleatoriamente, unidos química o mecánicamente, por medio de calor, o por combinación de ellos. La orientación aleatoria de sus componentes le confiere un carácter isótropo. Este tipo son los geotextiles más utilizados en España. Son aplicados en funciones de drenaje, filtración y separación. Se caracterizan por ofrecer una resistencia a tracción no muy elevada y una gran deformabilidad. Además, poseen, generalmente, buenas características hidráulicas. Pueden ser de fibra cortada o filamento continuo. A los primeros, si no son mayores de 15 cm, se les conoce como geotextiles no tejidos de “vía seca”. En cambio, se denominan geotextiles no tejidos de “vía húmeda” a los que se obtienen por hilado directo de un polímero y posterior formación de la estructura plana. Los segundos, es decir, los geotextiles de telas no tejidas de filamentos continuos, están fabricados en un proceso en continuo que empieza por la fabricación del polímero y continúa con la producción del filamento, la formación del geotextil y el ligado de los filamentos. El proceso concluye con la confección del rollo de la tela. Por su parte, los geotextiles de telas no tejidas de fibra cortada son fabricadas en un proceso que consta de dos etapas: la primera consiste en la producción de fibra (extrusión y cortado) y la segunda consta de la formación del geotextil, ligado y producción del rollo acabado. El ligado de los geotextiles no tejidos, formados bien sea a base de filamentos continuos o de fibras cortadas, es efectuado mecánicamente por punzonado mediante agujas, por ligadura térmica (cohesiva) –utilizando calor con o sin presión (calandrado)–, por ligadura química (adhesiva) o por una combinación de estos procesos. En cuanto a la estructura física y las propiedades de los productos no tejidos, hay que matizar que están a menudo relacionados con el sistema de ligado. Más específicamente, los tejidos ligados por calor y los no tejidos son productos delgados en los que las fibras están orientadas en una estructura bidimensional. Los no



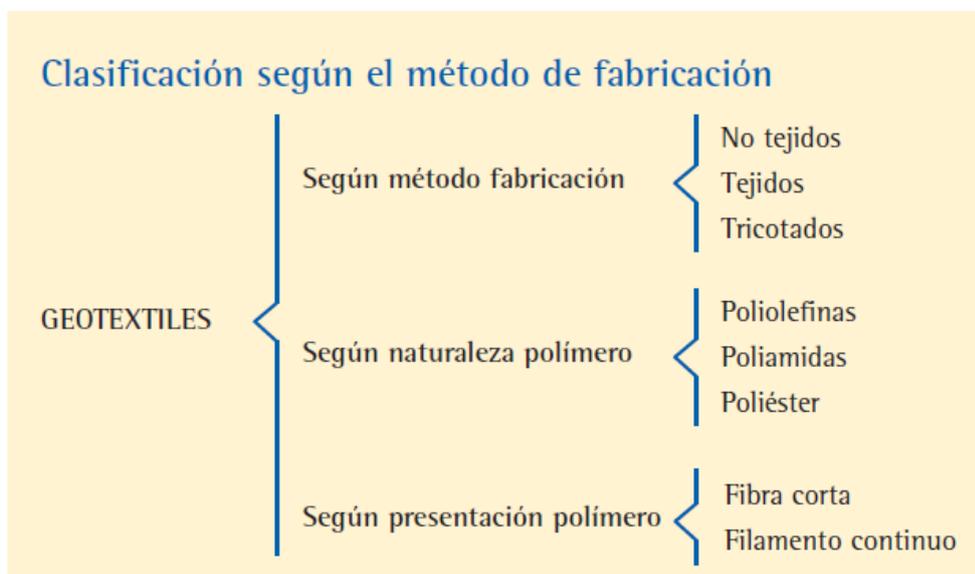
tejidos punzonados con agujas tienen una estructura tridimensional cuya configuración puede fijarse por una etapa de ligado térmico final. Según la técnica empleada en la unión de los filamentos, pueden ser: – Ligados mecánicamente o agujereados: la unión es mecánica de forma que un gran número de agujas provistas de espigas atraviesan la estructura en un movimiento alterno rápido; – Ligados térmicamente o termo soldados: la unión entre filamentos se consigue por calandrado, es decir, acción conjunta de calor y presión. – Ligados químicamente: la unión entre filamentos se consigue mediante una resina

- Geotextiles tejidos: Se define como un geotextil fabricado al entrelazar, generalmente en ángulo recto, dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos, cintas u otros elementos. Se utilizan, principalmente, en aplicaciones de refuerzo del terreno, en terraplenes, taludes y muros. Se caracterizan por ofrecer una resistencia a tracción muy elevada y poca deformabilidad. Este tipo de geotextiles presenta una gran anisotropía, ya que poseen dos direcciones preferentes, perpendiculares entre sí: el sentido de fabricación (dirección de la máquina) y el perpendicular al sentido de fabricación. Se debe tener presente esta propiedad a la hora de colocar el geotextil en la obra. Existen varios tipos: – De filamento sencillo (monofilamento): Se obtiene a partir de la trama de una sola fibra textil de gran longitud. – De filamento múltiples (multifilamentos): Se consigue a partir de la trama de varias fibras de gran longitud. – De hilos de fibra corta: Se logra a partir de la trama de fibras cortadas en determinadas longitudes (hasta 15 cm).

- Geotextiles tricotados: Se puede definir, aunque no queda muy clara la diferencia con los tejidos, como un geotextil fabricado por el entrelazado de hilos, fibras, filamentos u otros elementos. No hay constancia de su aplicación en España. Es un tipo de geotextil que los fabricantes no ofrecen en sus catálogos ya que se está imponiendo la clasificación dual de tejidos y no tejidos. Clasificación según la naturaleza del polímero Todas las fibras, filamentos y cintas que forman los geotextiles son polímeros. Estos últimos se definen como sustancias orgánicas macromoleculares de grandes pesos moleculares (10.000 g/mol). Los polímeros utilizados en la fabricación de los geotextiles son de origen sintético, es decir, producidos por vía química a partir de sustancias de bajo peso molecular. Cualquier polímero consta de largas cadenas moleculares, cada una de las cuales está compuesta de muchas unidades químicas idénticas. Cada unidad puede estar integrada por uno o varios monómeros, cuyo número determina la longitud de la cadena polimérica y el peso molecular resultante. El peso molecular puede afectar a las propiedades físicas (resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad, resistencia al impacto y al calor así como a la durabilidad). Las propiedades físicas y mecánicas de los plásticos están también afectadas por los enlaces dentro y entre cadenas, la ramificación de la cadena y el grado de cristalinidad. La orientación de los polímeros por estiramiento mecánico para formar fibras y filamentos trae como resultado unas propiedades de tracción más altas y una durabilidad aumentada. Cuando las moléculas se vuelven más orientadas, las fibras resultan más fuertes. No se suelen utilizar polímeros naturales porque se degradan más fácilmente frente a ataques químicos que los sintéticos; además, los sintéticos se producen de forma más barata



que los naturales. A los polímeros se les suele añadir algún aditivo para mejorar determinadas características. Los más utilizados, en lo referente a la fabricación de geotextiles, son los protectores de la radiación ultravioleta, debido a que los rayos UV provocan la degradación del geotextil.



- Poliolefinas (polietileno y polipropileno): Son los polímeros más utilizados en la fabricación de geotextiles, principalmente el polipropileno (PP) y el polietileno (PE). El primero es un polímero termoplástico de cadena larga. Se utiliza normalmente en forma isostática estereorregular en la que los monómeros de propileno están unidos en la modalidad de cabeza y cola y los grupos metilo están alineados en el mismo lado del núcleo del polímero. El PP tiene una estructura semicristalina que le proporciona una alta rigidez, buenas propiedades a la tracción y resistencia a los ácidos, a los álcalis y a la mayoría de disolventes. La posibilidad de que el carbón terciario pueda reaccionar con radicales libres, obliga a añadir estabilizadores para evitar la oxidación durante la fabricación y mejorar, generalmente, la durabilidad a largo plazo, incluyendo la estabilidad a los agentes climáticos. El polietileno es uno de los polímeros orgánicos más sencillos. Se utiliza en su forma de baja densidad (PEBD), que es conocida por su excelente flexibilidad, facilidad de manipulación y buenas propiedades físicas, o como polietileno de alta densidad (PEAD), que es más rígido y resistente químicamente. El PE puede estabilizarse para aumentar su resistencia a los agentes climáticos. Sus características más importantes son las siguientes: – Son fácilmente inflamables, produciendo humo negro y olor a cera. – Poca resistencia a fluencia. – Gran deformación en rotura.



- **Poliámidas:** Las poliámidas (PA) o nilones son termoplásticos procesables fundidos que contienen un grupo amida como parte repetitiva de la cadena. Las poliámidas ofrecen una combinación de propiedades que incluyen una alta resistencia a temperaturas elevadas, ductilidad, una buena resistencia a la abrasión y al desgaste, bajas propiedades friccionales, una baja permeabilidad a los gases e hidrocarburos y una buena resistencia química. Sus limitaciones incluyen una tendencia a absorber humedad, con el resultado de la producción de cambios en las propiedades mecánicas y dimensionales y una resistencia limitada a los ácidos y a los agentes climáticos. Sus características más importantes son las siguientes: – Son hidrolizables, es decir, pierden hasta un 30% de resistencia a tracción tras permanecer en agua. – Presentan buen comportamiento a fluencia.

- **Poliésteres:** Son un grupo de polímeros. El tipo empleado con más frecuencia en geotextiles es el polietiléntereftalato (PET) que es un polímero de condensación de un ácido dibásico y un dialcohol. Puesto que se utiliza por debajo de la temperatura de transición vítrea (Tg), el PET ofrece buenas propiedades mecánicas, incluyendo una baja razón de deformación por fluencia y buena resistencia química a la mayoría de ácidos y a muchos disolventes. El grupo éster, importante enlace polimérico, puede ser hidrolizado muy lentamente en presencia de agua produciéndose un ataque más rápido bajo condiciones fuertemente alcalinas. Para las funciones de refuerzo se recomienda utilizar poliéster de alta tenacidad con pesos moleculares mayores de 30.000 gr/mol. Se caracterizan por: – ser fácilmente hidrolizables a pH muy altos; – poco deformables. – muy resistentes al ataque por rayos UV – su buen comportamiento a fluencia; – módulo de elasticidad elevado

Investigaciones para mejorar Algunos fabricantes están desarrollando nuevas materias primas para la fabricación de geosintéticos. Uno de estos compuestos es un ‘polivinilalcohol’, que dará lugar a materiales más estables y resistentes a los agentes agresivos químicos. Otro producto que se está empezando a utilizar en aplicaciones especiales es la denominada ‘aramida’ que proporciona geosintéticos con unas características elastomecánicas muy altas y mantendrá la función de filtro. Se debe tener en cuenta que en las cualidades del geotextil, no sólo influyen las propiedades de los distintos tipos de polímeros, sino que también tiene mucha importancia el proceso de fabricación. Los principales campos donde la naturaleza del polímero tiene una gran importancia son las propiedades de durabilidad y el comportamiento a fluencia del geotextil. Clasificación según la presentación del polímero

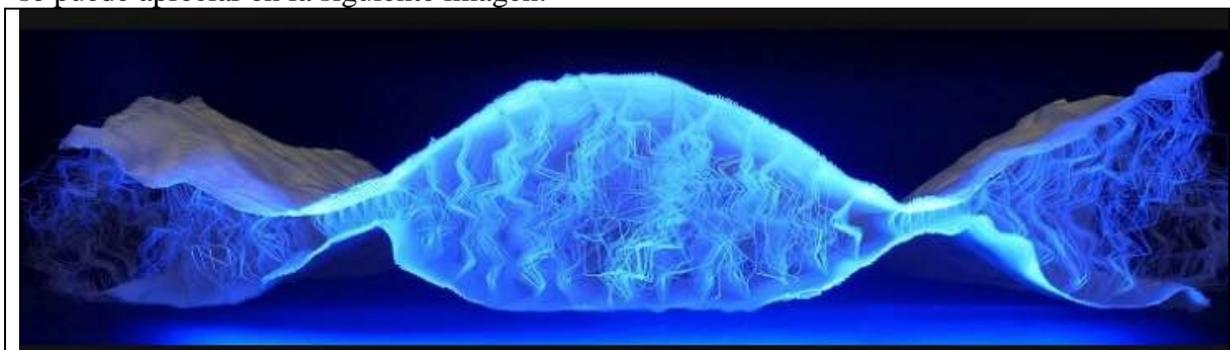
- **geotextil de fibras cortas:** El polímero para fabricar el geotextil se presenta en forma de pequeñas fibras cortadas de una longitud entre 2 y 15 centímetros. Las técnicas de unión de las fibras son las ya comentadas anteriormente: mecánica (mediante agujado), térmica (mediante calor más presión) y química (mediante resina). Ahora bien, es muy importante controlar el origen de las fibras utilizadas. El proceso ideal es el corte sistemático de rollos de polímero producido en una planta industrial; de esta forma, se puede asegurar tanto la composición como la naturaleza de las fibras. Asimismo, otra forma de conseguir fibras es recoger y cortar los desechos y residuos de otros procesos textiles y utilizar ese



subproducto industrial. El inconveniente, en este caso, es que no es tan fácil conocer la composición de las fibras y sus posibles desviaciones de calidad y naturaleza.

- Geotextil de filamento continuo: El polímero para fabricar el geotextil se presenta en forma de rollos de filamento continuo. Las técnicas de unión de los filamentos son, al igual que las fibras cortas, las siguientes: mecánica (mediante agujado), térmica (mediante calor más presión) y química (mediante resina). El proceso de fabricación tiene tres fases bien diferenciadas: – Fabricación del polímero. Se mezclan en un depósito las materias primas que componen el polímero con los distintos aditivos que se desea que incorpore el producto terminado. Esta mezcla se extruye para que tome una forma de hilo. Los hilos resultantes se conducen hasta los equipos de unión de filamentos. – Unión de filamentos mediante las técnicas comentadas. Los filamentos se unen como se ha explicado anteriormente, utilizando una o varias de las técnicas descritas. – Formación de la estructura plana y empaquetamiento. Tras unir los filamentos, se le proporciona una configuración plana mediante un estirado. El producto ya terminado se empaqueta en rollos de distintas anchuras y longitudes según el fabricante

Por todo ello se ha tomado como base para este desarrollo y caracterización tejidos no tejidos vía seca unidos mecánicamente por el sistema de punzonado, descartándose otras alternativas actualmente, principalmente por motivos económicos, ya que técnicamente se puede dar solución para aplicaciones en las bolsas soporte para fachadas verdes tal y como se puede apreciar en la siguiente imagen:



Estructura de bolsa tejida con máquinas de punto

Con respecto a otros desarrollos aplicables al campo de la acústica y ya mencionado en capítulos anteriores, podemos utilizar estructuras tejidas como soportes para el desarrollo de sistemas flotantes verdes, que también podría cumplir una función de atenuante acústico.

**MUITex**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CAMPUS D'ALCOI

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA TEXTIL**



Estructuras tejidos como soporte para huertos / baffles vegetales flotantes



## VI. CONCLUSIONES



A partir de los resultados expuestos, se pueden obtener conclusiones oportunas haciendo una valoración positiva de todos los materiales textiles no tejidos estudiados, fundamentalmente como absorbentes acústicos, por su propia naturaleza fibrosa y porosa (célula abierta).

Teniendo en cuenta otras propiedades como las de aislamiento térmico, los no tejidos de poliéster mejoran las propiedades de algunos materiales utilizados actualmente como sustratos en fachadas verdes. Tanto en sustratos textiles con fibras naturales (cáñamo, coco, lana de oveja,...), como en otros materiales alternativos PVC, PUR, etc...

Con respecto a la densidad y espesor, podemos determinar que la configuración adecuada resultante de este estudio estaría definida en 4 mm y 400 gr/metro cuadrado.

En el caso de estas estructuras de soporte y en su comparativa con materiales semejantes a ellos, llegamos a las siguientes conclusiones:

- La idoneidad de los no tejidos utilizados puede variar en función de las condiciones climatológicas de la localización de la aplicación/proyecto; ya que algunos de ellos, por la tipología de sus fibras pueden verse afectados por la humedad (fibras naturales), radiación solar (PP), etc...
- La elección del material no tejido, siempre va a depender de los responsables del proyecto (arquitectos,...) que son los prescriptores y quienes decidirán, el material más recomendable para las condiciones y requisitos globales del proyecto.
- El mundo de las materias y materiales textiles, es muy amplio y cada vez más complejo. Muchas veces estamos rodeados de ellos y la mayoría del tiempo no nos paramos a pensar, lo que pueden mejorar nuestra calidad de vida. La capacidad del ser humano para escoger los más propicios para su existencia es fundamental, por ello cada día existen más expertos en la materia, que investigan e innovan en este campo.

La mayoría de las ocasiones que se introduce un nuevo material pasa totalmente inadvertido, inclusive durante largos periodos de tiempo o para siempre.



## VII.LÍNEAS FUTURAS



Resultaría difícil enumerar alguna línea de investigación concreta debido sobre todo a la cantidad de grupos de investigación multidisciplinares que desarrollan su trabajo a nivel de materiales.

No hay que olvidar estas investigaciones se están apoyando en programas informáticos de simulación de las posibles combinaciones, de esta manera se puede ver el comportamiento y modificarlo mientras se está realizando la simulación antes de llevar a cabo un proceso real, por lo que se ahorra tiempo y recursos económicos.

Las herramientas informáticas son una ayuda necesaria para la realización de todos los procesos de mejora de las propiedades de nuevos materiales

En estas nuevas líneas de investigación se podrían desarrollar materiales no tejidos y tejidos inteligentes, con elementos de sonorización incorporados, que permitieran tener monitorizada la eficiencia energética y otros parámetros en tiempo real.

Otra línea de investigación bastante en auge es fabricar materiales cuya materia prima sea a partir de materiales reciclados; es una manera de resolver el problema de los desechos y darles un uso. Como los son las fibras plásticas/sintéticas con cargas de todo tipo de origen natural.

Haciendo un pequeño resumen de las líneas de investigación serían las siguientes:

- Nanotecnología
- Materiales inteligentes y funcionales
- Materias primas/fibras recicladas y/o de origen natural/renovable
- Eficiencia energética
- Menor toxicidad y fácil reciclabilidad después de la vida útil.
- Nuevas propiedades en un mismo producto.



## VIII. ANEXOS



## **NORMATIVA APLICABLES A LOS TEXTILES PARA LA CARACTERIZACION PARA APLICACIONES EN ACUSTICA.**

En este apartado se resumen las normas de interés, tanto americanas como europeas, que tratan la medida del coeficiente de absorción de materiales acústicos y/o pantallas acústicas, el aislamiento acústico desde un punto de vista genérico o particularizando en pantallas acústicas y otras normativas que pretenden la evaluación “in situ” de las pantallas.

Posteriormente se entregaran en una serie de ficheros e informes que se han utilizado a lo largo del proyecto y que han servido de base para ampliar lo máximo posible la información

## **ABSORCION SONORA EN CAMPO DIFUSO PARA MATERIALES Y PANTALLAS**

En este apartado se describen las normas acústicas para el ensayo de absorción sonora en cámara reverberante, tanto para materiales como para pantallas acústicas.

### **UNE-EN ISO 354:2004**

La norma UNE-EN ISO 354:2004 establece el procedimiento para la determinación del coeficiente de absorción sonora en campo difuso. Este coeficiente se obtiene a partir de los resultados de las medidas del tiempo de reverberación, con y sin muestra, en el interior de una cámara reverberante. Las limitaciones e incertidumbres asociadas a este procedimiento pueden consultarse en la literatura (Cremer et al., 1982).

En el caso de medir sin muestra, se realizan mediciones de dicho parámetro insertando en la cámara tan solo el bastidor si la configuración lo incluyera, a fin de no sobreestimar el coeficiente de absorción por efectos de borde. Dichas mediciones se realizan de la forma habitual en bandas de tercio de octava, entre 100 y 5000 Hz, y en octavas, de 125 a 4000 Hz, definidas por la norma UNE EN ISO 266:1998.

El área de absorción sonora equivalente, A, en metros cuadrados de la muestra, se calcula según la norma, utilizando la ecuación

$$A = 55,3V \left( \frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1),$$

Donde V es el volumen de la cámara reverberante, el subíndice 2 indica datos de cámara reverberante con la muestra en el interior y el subíndice 1 con la cámara vacía, T<sub>i</sub> es el tiempo de reverberación (en segundos), c<sub>i</sub> es la velocidad de propagación del sonido en el



aire y  $m_i$  es el coeficiente de atenuación sonora según la ISO 9613-1:1993, obtenido empleando las condiciones climáticas de la cámara reverberante durante la medición. Puede calcularse a partir del coeficiente de atenuación  $a$ , utilizado en dicha norma, mediante la fórmula

$$m = \frac{\alpha}{10 \log(e)}$$

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

$$c = 331 + 0,6t,$$

Donde  $t$  es la temperatura del aire en grados centígrados.

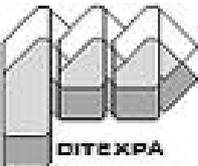
Una vez determinada el área de absorción sonora equivalente de la muestra, se obtiene el coeficiente de absorción sonora,  $\alpha$ , mediante la relación:

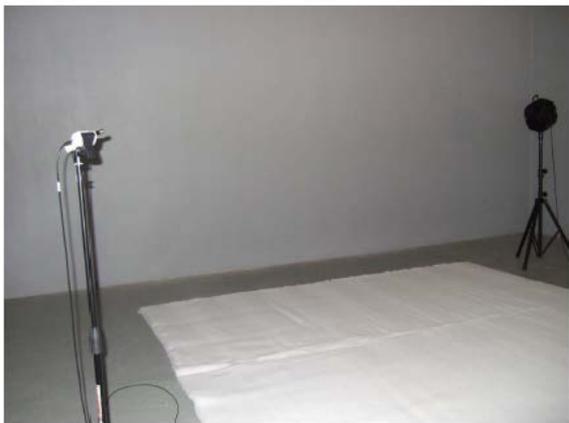
$$\alpha = \frac{A}{S_{\text{muestra}}},$$

Donde  $S_{\text{muestra}}$  es la superficie ocupada por la muestra ensayada. En el caso de absorbentes planos, la muestra debe tener un área entre 10 y 12 m<sup>2</sup>. Si el volumen de la cámara es mayor a 200 m<sup>3</sup>, el límite superior para el área de la muestra de ensayo debe incrementarse en el factor  $(V/200 \text{ m}^3)^{2/3}$ . Para realizar el ensayo se deben utilizar diferentes posiciones de micrófono, que disten entre ellas por lo menos 1,5 m, ubicadas a 2 m de cualquier fuente sonora y a 1 m de cualquier superficie de la cámara y de cualquier muestra de ensayo. Respecto a las posiciones de fuente, entre ellas debe haber un mínimo de 3 m. Se exige un mínimo de 12 curvas de caída diferentes, con al menos tres posiciones de micrófono y 2 posiciones de fuente. Para cualquier detalle debe consultarse la norma.

Los resultados de un ejemplo de ensayo en la cámara reverberante de la Escuela Politécnica Superior de Gandía, de una lana de poliéster obtenida del reciclado de botellas de plástico PET (del Rey et al., 2011) con un recubrimiento textil se muestran

Esta cámara tiene un volumen de 238 m<sup>3</sup> y una superficie total de 236 m<sup>2</sup>. Datos sobre la cámara y otros detalles se pueden consultar en la literatura (Ramis et al., 2005).

  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	<p><b>MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL</b></p>	 
---	---	---

	<table border="1"> <thead> <tr> <th><i>f</i> (Hz)</th> <th>Coefficiente de absorción (UNE-EN ISO 354: 2004)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>125</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>0,41</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>0,72</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>0,78</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>0,71</td> </tr> <tr> <td>4000</td> <td>0,57</td> </tr> </tbody> </table> <p>Configuración ensayada en cámara reverberante de la EPS Gandia</p>	<i>f</i> (Hz)	Coefficiente de absorción (UNE-EN ISO 354: 2004)	125	0,19	250	0,41	500	0,72	1000	0,78	2000	0,71	4000	0,57
<i>f</i> (Hz)	Coefficiente de absorción (UNE-EN ISO 354: 2004)														
125	0,19														
250	0,41														
500	0,72														
1000	0,78														
2000	0,71														
4000	0,57														

### UNE-EN ISO 11654:1998

La norma UNE-EN ISO 11654:1998 establece un procedimiento de obtención de un único parámetro,  $\alpha_w$ , denominado coeficiente de absorción sonora ponderado, para evaluar el grado de absorción proporcionado por un material.

El primer paso consiste en pasar los resultados del coeficiente de absorción sonora  $\alpha$  a tercios de octava y obtenidos con la norma UNE-EN-ISO 354:2004, a valores para cada banda de octava entre 250 Hz y 4000 Hz que en la norma se designan como  $\alpha_p$ , el coeficiente de absorción sonora práctico. Para ello, se promedian sin ponderar las tres bandas de tercio de octava incluidas en cada banda de octava. Por ejemplo, para obtener el  $\alpha_p$  a 250 Hz se suman los valores de  $\alpha$  a 200Hz, 250Hz y 315Hz y se divide por tres. El siguiente paso es redondear en pasos de 0,05. Por último, se pondera según una curva de referencia, de la forma indicada en la normativa, obteniendo el coeficiente de absorción sonora ponderado ( $\alpha_w$ ).

Puede ocurrir que, para alguna banda de octava, la curva de valores de  $\alpha_p$  supere en más de 0,20 a la curva de referencia. En ese caso, se acompañara el indicador  $\alpha_w$  con una letra que expresa el rango de frecuencias donde se produce este exceso. Las letras serán L para la banda de 250 Hz, M para 500 Hz y 1000 Hz, y H para las bandas de 2000 Hz y 4000 Hz. Es de destacar que se pueden dar casos en los que se deban utilizar dos o más letras para indicar que se excede de la curva de referencia en más de 0,20 y en más de una banda de frecuencias. Así, por ejemplo, si se excede en 0,25 a 250 Hz y en 0,3 a 1000 Hz se utilizara LM.

Finalmente, se debe señalar que el indicador  $\alpha_w$  permite obtener la clase de absorción acústica proporcionada por el material



Clase de Absorción Acústica	$\alpha_w$
A	0,90 o mayor
B	entre 0,8 y 0,85
C	entre 0,6 y 0,75
D	entre 0,3 y 0,55
E	entre 0,15 y 0,25
sin clasificar	0,10 o menor

Clase de absorción acústica de acuerdo a la norma UNE-EN-ISO 11654:1998

### ASTM C423 - 09a

La norma americana ASTM C423-09a (última versión del año 2009), trata también un método para la obtención de la absorción sonora en cámara reverberante, bastante similar al que indica la UNE-EN ISO 354:2004. En este caso, para la obtención de la velocidad de propagación del sonido en el aire, la norma hace referencia a la fórmula

$$c = 20,047 \sqrt{273,15 + t},$$

Donde t es la temperatura del aire en grados centígrados. Esta fórmula permite un rango mayor de ajuste.

En esta norma las mediciones se realizan de forma habitual en bandas de tercio de octava, entre 80 y 5.000 Hz, es decir, se amplía la banda de tercio de octava de 80 Hz respecto a la norma UNE-EN ISO 354:2004.

Hay que destacar también la aparición de dos parámetros que no se contemplan en la UNE-EN ISO 354:2004. El primero es la absorción sonora promedio (SAA, por su sigla en inglés). 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 llamado coeficiente de reducción del ruido (NRC, por su sigla en inglés), que se define como el valor medio de los coeficientes de absorción del material a las frecuencias de 250, 500, 1.000 y 2.000 Hz. Además, esta media se expresa como el múltiplo más cercano de 0,05.

### UNE-EN 1793-1:1998

La norma UNE-EN 1793-1:1998 se utiliza para obtener la absorción sonora de pantallas acústicas. La medición se realiza según la norma UNE EN ISO 354:2004, con lo cual se refiere en todo momento a esta norma. La muestra a ensayar debe montarse en la cámara de ensayo de la misma manera que el dispositivo se usa en la práctica, con los mismos ensamblajes y juntas de estanqueidad entre los componentes.



**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL**

frecuencia (Hz)	Coefficiente de absorción sonora
80	0,05
100	0,08
125	0,18
160	0,29
200	0,31
250	0,38
315	0,53
400	0,62
500	0,74
630	0,80
800	0,78
1000	0,78
1250	0,77
1600	0,72
2000	0,70
2500	0,71
3150	0,65
4000	0,58
5000	0,48

Datos del coeficiente de absorción en cámara reverberante de acuerdo a norma ASTM C423-0 9a

La clasificación del índice de evaluación,  $DL_{\alpha}$ , se realiza mediante la expresión:

$$DL_{\alpha} = -10 \log \left| 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{S_i} 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1L_i}} \right|,$$

donde  $\alpha_{S_i}$  es el valor del coeficiente de absorción sonora de la  $i$ -ésima banda de tercio de octava y  $L_i$  es el nivel de presión sonora normalizado en dB(A), del ruido de tráfico rodado dentro de la banda de tercio de octava  $i$ -ésima del espectro definido en la norma UNE-EN 1793-3:1998.

En la norma UNE-EN 1793-3:1998 se propone un espectro normalizado de ruido de tráfico, que se utiliza para evaluar y estimar el comportamiento acústico de los dispositivos anti ruido diseñados para reducir el ruido que genera el tráfico en las inmediaciones de las carreteras.

Dado que las principales propiedades acústicas de los dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras, la pérdida por transmisión y la absorción, dependen de la frecuencia, es



necesario definir un espectro de ruido de tráfico para calcular los índices de evaluación en los ensayos.

Esta norma define las propiedades fundamentales del ruido de tráfico rodado medido junto a la carretera mediante un espectro sonoro normalizado característico del tráfico, que es necesario para determinar los índices de evaluación de los dispositivos reductores de ruido, excepto cuando se emplean en condiciones reverberantes, como por ejemplo, en túneles.

$f$ (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
dB(A)	-20	-20	-18	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-9
$f$ (Hz)	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000		
dB(A)	-8	-9	-10	-11	-13	-15	-16	-18		

Espectro normalizado de ruido de tráfico

En algunos casos, el valor del coeficiente de los sumatorios dentro de la expresión de  $DL_a$  puede ser superior a 1, por lo que debe limitarse a 0,99. La categoría se determina según la Tabla

Categoría	$DL_a$ (dB)
A0	no determinado
A1	< 4
A2	4 a 7
A3	8 a 11
A4	> 11

Categorías según UNE-EN 1793-1:1998

A continuación se muestra un ejemplo de ensayo en la cámara reverberante de la Escuela Politécnica Superior de Gandía de una pantalla acústica metálica, con lana de poliéster en su interior, constituida por paneles de chapa de 1 mm de espesor. Una de las caras es ciega y la otra dispone de perforaciones de 3, 4, 5 y 6 mm de diámetro dispuestas al tresbolillo, separadas 10 mm entre sí. La lana de poliéster tiene un espesor total de 80 mm, dividido en dos densidades de 15 y 10 kg/m<sup>3</sup>. Se muestra una fotografía del ensayo y la Tabla con, los datos de ensayo. Esta pantalla tiene un  $DL_a$  de 4 y una clasificación de A2.



$f$ (Hz)	Coefficiente de absorción (UNE-EN ISO 354: 2004)
125	0,28
250	0,54
500	0,74
1000	0,62
2000	0,55
4000	0,68

Resultados de la medición del coeficiente de absorción en cámara reverberante de una pantalla acústica.



Imagen de la configuración ensayada en cámara reverberante

### **ABSORCION SONORA DE MATERIALES EN INCIDENCIA NORMAL**

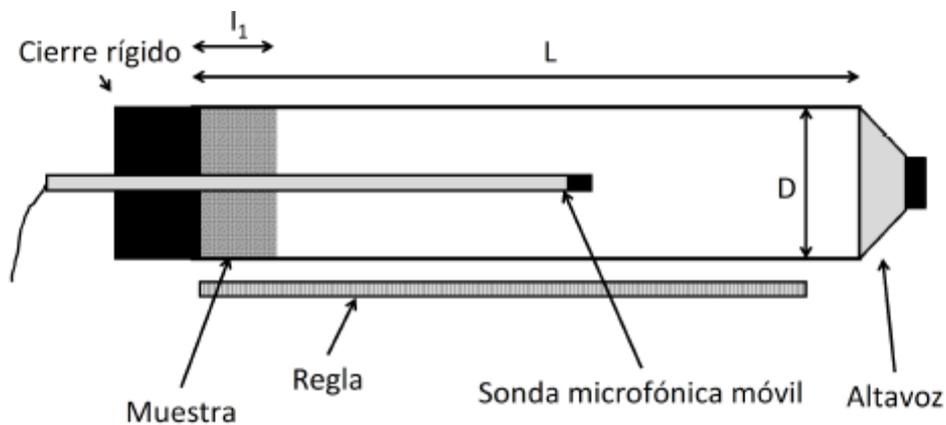
Existen diferentes normativas que permiten la obtención, bajo ciertas limitaciones, del coeficiente de absorción en incidencia normal. Estas normas se resumen a continuación.

#### **UNE-EN ISO 10534-1:2002**

La norma UNE-EN ISO 10534-1:2002 utiliza el método de ondas estacionarias para obtener el coeficiente de absorción sonora. Si consideramos un tubo de longitud  $L$  y un diámetro  $D$ , de forma que las ondas que se propagan en él sean ondas planas, debe cumplirse la condición

$$\lambda \gg 1,7D,$$

siendo  $\lambda$  la longitud de onda del sonido en el tubo. Esta condición es general en todo método que utilice un tubo de estas características. El tubo propuesto debe ser rígido y su terminación también debe serlo.



Montaje experimental para obtener el coeficiente de absorción sonora e impedancia en incidencia normal.



Imágenes con muestras ensayadas en el tubo de kunt

Se introduce en el extremo rígido una muestra de material absorbente acústico de espesor  $l_1$ . Al principio del tubo se coloca un altavoz capaz de generar tonos de frecuencias bajas. Una vez descrito el montaje, el proceso de medida es el siguiente: se alimenta el altavoz con un tono de una frecuencia determinada y se mide mediante una sonda que recorre el tubo la presión máxima,  $P_{\max}$ , y mínima,  $P_{\min}$ . A partir de estos valores se obtiene la relación de onda estacionaria,  $s$ , para esa frecuencia

$$s = \frac{|p_{\max}|}{|p_{\min}|}$$

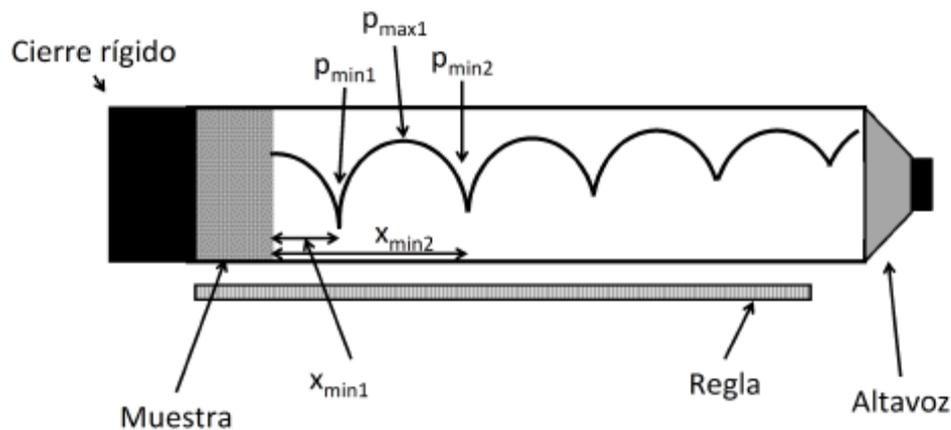
A partir de la ecuación se puede obtener el valor del coeficiente de absorción sonora en incidencia normal, como

$$\alpha = \frac{4s}{(1+s)^2}$$

El método también permite obtener la impedancia de cierre de la muestra, midiendo la distancia del primer mínimo a la muestra,  $x_1$  y aplicando la relación

$$Z = \rho_0 c \frac{1 + \frac{s-1}{s+1} e^{j(2k(L-x_1)-\pi)}}{1 - \frac{s-1}{s+1} e^{j(2k(L-x_1)-\pi)'}}$$

donde  $k$  es el número de onda (en  $m^{-1}$ ).



Muestra de la onda estacionaria en el tubo de medida

Hay que tener en cuenta que esta norma requiere el uso de una sonda microfónica que debe desplazarse para la localización de las amplitudes de los mínimos y máximos de presión sonora.

#### ASTM C384 - 04

La norma americana ASTM C384-04 describe un método de ensayo similar a la UNE-EN ISO 10534-1:2002, con lo que es de aplicación todo lo indicado en dicha norma. Es



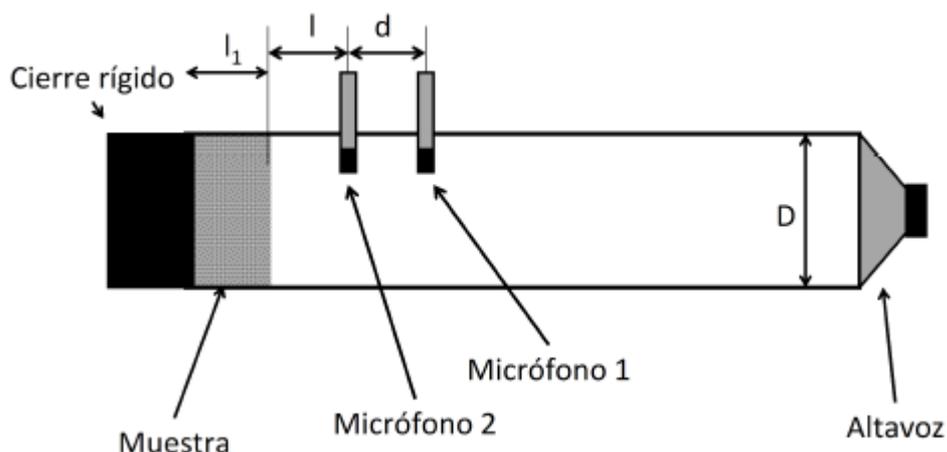
recomendable la lectura de ambas normas para obtener mas detalles constructivos y de ensayo con este método.

**UNE-EN ISO 10534-2:2002**

La norma UNE-EN ISO 10534-2:2002 describe un método de ensayo que permite, con el registro simultáneo de las señales de dos micrófonos fijos instalados en el tubo de Kundt, obtener el coeficiente de absorción sonora y la impedancia acústica en incidencia normal.

De los valores de estas dos señales y con ayuda del análisis FFT se determina la función de transferencia acústica compleja, y de esta función de transferencia se calcula el coeficiente de reflexión complejo para incidencia normal, el coeficiente de absorción sonora para incidencia normal y la impedancia normalizada del material en estudio.

Las frecuencias de trabajo dependen de las dimensiones del tubo. la distancia de separación entre los micrófonos marca un límite en frecuencia en el ensayo



Montaje experimental descrito en la UNE EN ISO 10534-2:2002. donde se muestra un esquema de las posiciones de micrófonos y muestras.

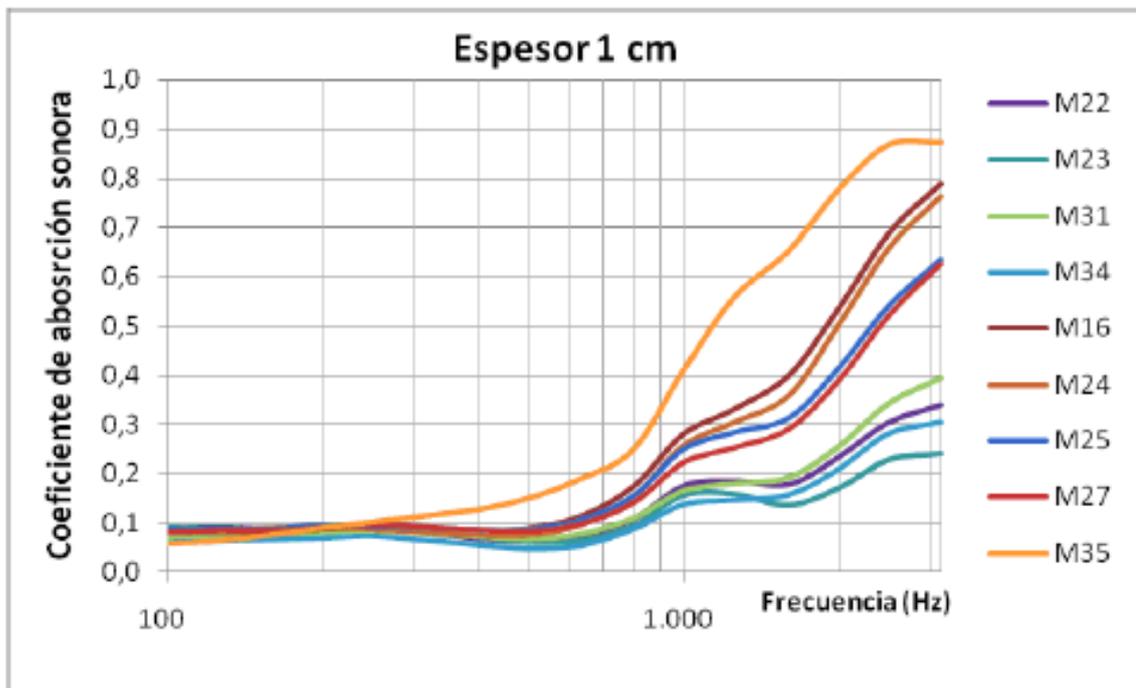
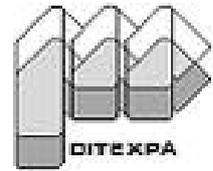
A continuación se muestran se muestran algunos ejemplos de los ensayos realizados en el laboratorio de acústica de la Escuela Politécnica Superior de Gandía, de diferentes materiales compuestos de fibras naturales y/o recicladas de 1 cm de espesor.

# MUITex



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CÀMPUS D'ALCOI

## MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL



Ejemplo de ensayo de materiales textiles realizados en los laboratorios de la EPS-Gandia

Código	Descripción
M22	Kenaf 100%
M23	Sisal 100%
M31	Coco 100%
M32	45% Algodón, 40% reciclado acrílico, 15% PP reciclado
M35	Falta información
M25	85% Kenaf, 15% bico
M27	50% coco, 35% acrílica, 15% PES bico
M16	50% cáñamo, 50% Kenaf
M24	50% Kenaf, 50% PP

Identificación de los materiales textiles ensayados



### **ASTM E1050 - 10**

La norma americana ASTM E1050-10 es similar a la UNE-EN ISO 10534-2:2002, con lo que lo indicado en el punto anterior es extrapolable también a esta norma. Es recomendable la lectura de ambas normas para obtener mas detalles constructivos y de ensayo con este método.

### **TRANSMISION SONORA DE LAS PANTALLAS ACUSTICAS**

En este punto se repasan las normativas para la determinación del aislamiento acústico a ruido aéreo. Como se podrá comprobar, existen normativas genéricas de ensayo para diferentes situaciones, así como normas específicas para pantallas.

### **UNE-EN ISO 140-3:1995**

La norma UNE-EN ISO 140-3:1995 detalla un procedimiento de ensayo del aislamiento acústico a ruido aéreo en cámara de transmisión acústica. En ella se describe de forma pormenorizada la forma de realizar la medición: los equipos posibles para la medida, la ubicación de la(s) fuente(s), la colocación de los micrófonos, las condiciones de ruido de fondo, la colocación detallada de los elementos de construcción a estudiar, etc. Es conveniente ir a esta norma para cualquier duda que se produzca

### **UNE-EN 1793-2:1998**

La medida de las propiedades acústicas intrínsecas de los dispositivos reductores del ruido para carreteras no viene específicamente detallada en la norma UNE EN 1793-2:1998. En esta norma se hace referencia a la norma UNE-EN ISO 140-3:1998, donde se especifica el procedimiento de ensayo en laboratorio de elementos constructivos. Es conveniente, por tanto, consultar ambas normas para cualquier duda que se produzca.

Las instrucciones a seguir para la medición de las propiedades acústicas intrínsecas de las pantallas acústicas ya están especificadas en el procedimiento de medida que hace referencia a la UNE-EN ISO 140-3:1998. En este apartado solo se detallaran las modificaciones pertinentes.

La normativa que estamos tomando como referencia pide como valor para la valoración de las propiedades intrínsecas de las pantallas, el índice de evaluación del comportamiento de aislamiento al ruido aéreo, DLR, expresado en una cifra decimal y en dB. Este índice se calcula mediante la donde  $R_i$  es el índice de aislamiento acústico en la  $i$ -ésima banda de tercio de octava,  $L_i$  es el nivel de presión sonora normalizado, en dB(A), de ruido de tráfico rodado dentro de la  $i$ -ésima banda de tercio de octava del espectro definido en la norma UNE EN 1793-3:1998



### **ASTM E90 - 09**

La norma americana ASTM E90-09 describe un método de ensayo similar al escrito en la UNE-EN ISO 140-3:1995. Por tanto, son de aplicación todas las cuestiones expuestas en el punto 4.3.1. En este caso, en vez de denominarse “índice de reducción sonora”, R, como en dicha normativa, se define con el nombre de “perdida por transmisión” (TL por su sigla en inglés). Puede comprobarse como la expresión es idéntica a la ecuación

$$TL = D + 10 \log \frac{S}{A'}$$

donde D es el aislamiento bruto, S es el área de la muestra, en m<sup>2</sup>, que coincide con el área de la abertura de medida y A es el área de absorción sonora equivalente en el recinto receptor, en m<sup>2</sup>. Para el cálculo de esta área se utiliza la fórmula de Sabine, expresada en la ecuación.

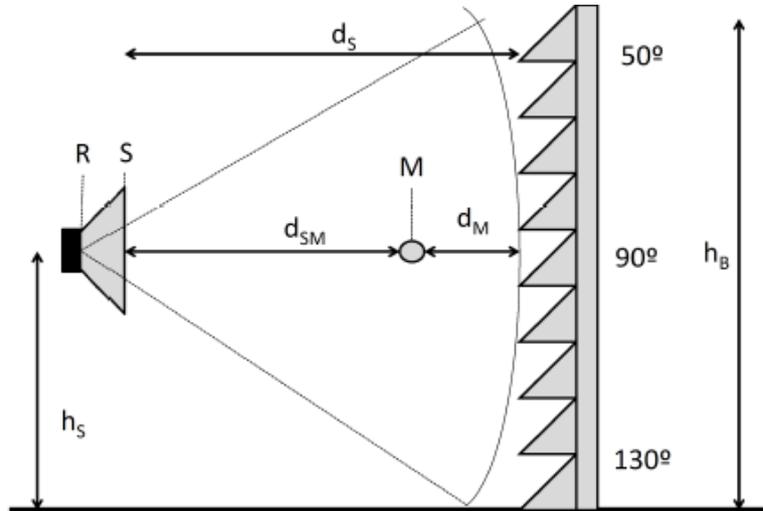
### **COMPORTAMIENTO EN CAMPO LIBRE DE LAS PANTALLAS ACÚSTICAS**

A continuación se resumen las normas que se han utilizado y que tratan sobre el comportamiento de las pantallas acústicas en campo libre (sin reflexiones).

#### **CEN/TS 1793-5:2003**

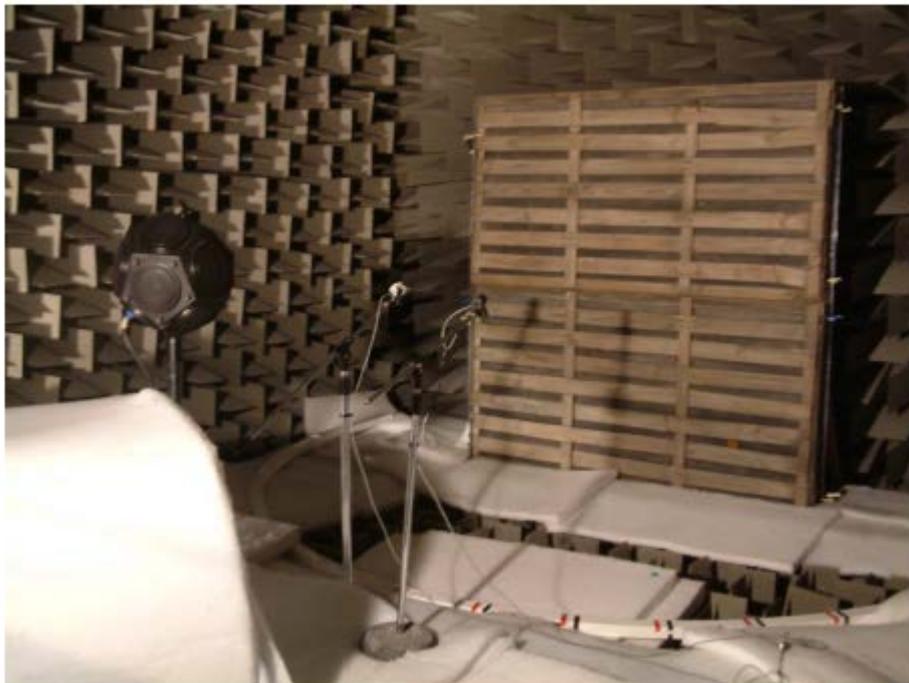
La norma CEN/TS 1793-5:2003 pertenece a la familia de normas CEN 1793 que tratan diferentes cuestiones acústicas de las pantallas. Esta normativa solo está publicada en algunos países europeos y está pendiente de publicación en España. En ella se trata el problema de valorar la pantalla “in situ”, analizando la reflexión sonora y el aislamiento acústico de pantallas ya instaladas.

El procedimiento básico de medida para la determinación del índice de reflexión se basa en la obtención de la presión sonora reflejada a partir de la presión sonora incidente sobre la barrera a estudiar. Se emite desde una fuente una señal de referencia. Un micrófono, colocado a la distancia adecuada, capta esta señal. Una vez obtenidas las señales temporales, a partir del análisis en frecuencia correspondiente y las correcciones asociadas a la atenuación de onda en campo libre, se obtiene el índice de reflexión como el cociente (para la frecuencia considerada), de la presión sonora reflejada respecto a la presión sonora incidente en el micrófono.

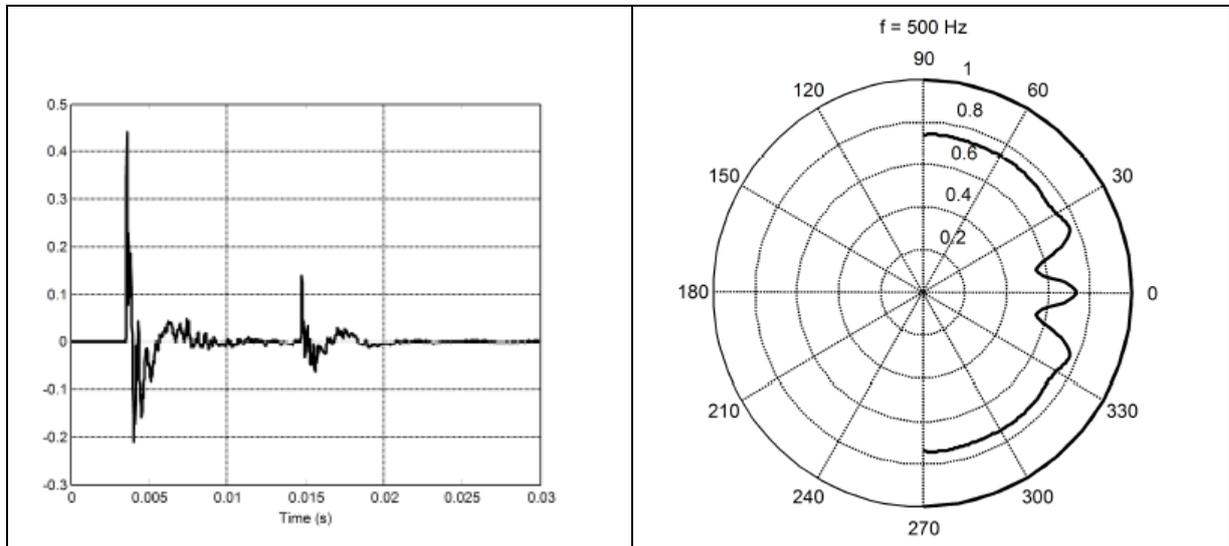


Un esquema dado por la normativa, con rotación entre 50 y 130 grados con saltos de 10 grados en el plano de rotación (en este caso vertical). En esta figura, R es el eje de rotación, S es la posición de la cara del altavoz, y M la posición del micrófono

La norma describe diferentes situaciones de colocación y tipos de pantalla, así como los pasos a seguir en el procesado. Además, permite la obtención de índices de reflexión y de aislamiento “in situ”



Un ejemplo de colocación ensayado en la cámara anecoica de la Escuela Politécnica Superior de Gandia



La señal registrada y diagrama del índice de reflexión para una frecuencia de 500 Hz, de la pantalla ensayada.

**ISO 10847:1997**

La norma ISO 10847:1997, especifica métodos para determinar la pérdida de nivel sonoro por la inserción de pantallas acústicas exteriores. Esta norma está pensada para determinar la eficiencia de una pantalla, para la ingeniería de esta o para un diagnóstico de su calidad acústica.

Se especifican dos métodos de evaluación: Directo (mediciones antes y después de la instalación de una pantalla), e Indirecto (si no es posible medir antes de la instalación de una pantalla). Se evalúan las pérdidas por inserción, DIL.



## IX. BIBLIOGRAFIA



## REFERENCIAS

Las referencias y bibliografía de este trabajo se acompañan a continuación, incluyéndose ponencias presentadas, artículos., normas y libros.

AEM (2008), Micro-honeycomb material wears out engine noise, in *Aerospace Engineering & Manufacturing*, p. 10, Nov/Dec.

Alba, J, del Rey, R, Ramis, J, Arenas, JP (2011). An inverse method to obtain porosity, fiber diameter and density of fibrous sound absorbing materials, *Arch Acoust*, 36, 3, 561–574.

Alba, J, Ramis, J, Lorenzana, MT, Del Rey, R (2008). Propuesta de modelo empírico para materiales absorbentes acústicos, *Rev Int M'et Num C'al Dis Ing*, 24, 2, 147–162.

**Alba, J, Ramis, J, Redondo, J, Sanchis, V (2004a). Aislamiento acústico a ruido aéreo con lanas textiles, CIATEA, Gijón, España.**

**Alba, J, Ramis, J, Redondo, J, Sanchis, V (2004b). Soluciones al ruido reverberante excesivo basadas en fibras de Poliéster, IV Congreso Ibero-Americano de Acústica, Guimaraes, Portugal.**

Alfredson, RJ, Du, X (1995). Special shapes and treatment for noise barriers, *Proceedings of Internoise 95*, Newport Beach, CA, 381–384.

Allard, JF (1993). *Propagation of Sound in Porous Media*, Elsevier Applied Science, London.

Allard, JF, Champoux, Y (1992). New empirical equations for sound propagation in rigid frame fibrous materials, *J Acoust Soc Am*, 91, 6, 3346–3353.

Arenas, JP (2006). Sound barriers and environmental impact studies, distinguished keynote lecture. In: *Proc. 13th International Congress on Sound and Vibration*, 2–6 July 2006, Vienna, Austria, 2006.

Arenas, JP (2007a). Use of barriers. In: Crocker MJ, editor. *Handbook of Noise and Vibration Control*. JohnWiley and Sons, New York, pp. 714–724.

Arenas, JP (2007b). Sound attenuation provided by earth mounds used for reducing traffic noise from highways. In: *Proc. 2007 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*, 28–31 August, Istanbul, Turkey.



Arenas, JP (2008). Potential problems with environmental sound barriers when used in mitigating surface transportation noise. *Sci Total Environ*, 475, 173–179.

Arenas, JP, Crocker, MJ (2010). Recent trends in porous sound absorbing materials for noise control, *Sound Vib*, 44, 7, 12–17

Arenas, JP, Monsalve, AM (2001). Modification of the diffracted sound field by some noise barrier edge design. *Int J Acoust Vib*, 6, 76–82.

Asdrubali, F (2006). Survey on the Acoustical Properties of New Sustainable Materials for Noise Control, *Proceedings of Euronoise, Tampere, Finland*.

Asdrubali, F, Horoshenkov, K (2002). The Acoustic Properties of Expanded Clay Granulates, *Build Acoust*, 9, No 2, 85–98.

Asdrubali, F, Pispola, G (2007). Properties of Transparent Sound-Absorbing Panels for Use in Noise Barriers, *J Acoust Soc Am*, 121, No 1, 214–221.

Ashby, MF, Tianjian, LU (2003). Metal Foams: A Survey, *Science in China Series B*, 46, No 6, 521–532.

ASTM C384–04. Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Method

ASTM C423–09a. Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method

ASTM E1050 - 10. Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System

ASTM E90 - 09. Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements

Attenborough, K (1982). Acoustical characteristics of porous materials, *Physics Reports (Review Section of Physics Letters)*, 82, 3, 79–227.

Attenborough, K (1983). Acoustical characteristics of rigid fibrous absorbents and granular materials, *J Acoust Soc Am*, 73, 3, 785–799.

Attenborough, K, Bashir, I, Taherzadeh, S (2011). Outdoor ground impedance models, *J Acoust Soc Am*, 129 (5), 2806–2819.



Attenborough, K, Umnova, O (2005). Acoustics of Rigid-Porous Materials, in Lecture Notes on the Mathematics of Acoustics (Ed. M.C.M. Wright), Imperial College Press, London, 157–176.

Bailey, K, Grossardt, T (2006). Structured public involvement in contextsensitive noise wall design using casewise visual evaluation. *Transp Res Rec*, 1984, 112–120.

Ballagh, KO (1996). Acoustical Properties of Wool, *Appl Acoust*, 48, 101–120.

Banhart, J (2000). Manufacture, Characterization and Application of Cellular Metals and Metal Foams, *Progress Mat Sci*, 46, No 3, 559–632.

Barry TM, Reagan, J (1978). FHWA Highway traffic noise prediction model, Report No FHWA-RD-77-108, Washington, DC, Federal Highway Administration.

Behar, A, May, DN (1980). Durability of sound absorbing materials for highway noise barriers, *J Sound Vib*, 71, 33–54.

Champoux, Y, Stinson, MR (1992). On acoustical models for sound propagation in rigid frame porous materials and the influence of shape factors, *J*

*Acoust Soc Am*, 92, No 2, 1120–1131.

Chessell, CI (1977). Propagation of noise along a finite impedance boundary, *J Acoust Soc Am*, 62, 825–834.

Cobo, P, Pfretzschner, J, Cuesta, M, Anthony, DK (2004). Hybrid passiveactive absorption using microperforated panels, *J Acoust Soc Am*, 116, No 4, 2118–2125.

Cox, TJ, D'Antonio, P (2004). *Acoustic absorbers and diffusers: Theory, design, and application*, Spon Press, London.

Cremer, L, Muller, HA, Schultz, TJ (1982). *Principles and Applications of Room Acoustics*, Vol. 1, Applied Science, London.

Crocker, MJ (2007). *Handbook of Noise and Vibration Control*, John Wiley and Sons, New York.

Crocker, MJ, Arenas, JP (2007). Use of Sound-Absorbing Materials, Chapter 57 in *Handbook of Noise and Vibration Control* (Ed. M.J. Crocker), John Wiley and Sons, New York, pp. 696–713.



Crocker, MJ, Li, Z, Arenas, JP (2005). Measurements of tyre/road noise and of acoustical properties of porous road surfaces. *Int J Acoust Vib*, 10,52–60.

Crocker, MJ, Price, AJ (1975). *Noise and noise control*, Vol. I, CRC Press, Cleveland.

Crombie, DH, Hothersall, DC, Chandler-Wilde, SN (1995). Multiple-edge noise barriers, *Appl Acoust*, 44, 353–367.

DB-HR (2007). Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Documento Básico "DB-HR Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (BOE 23-octubre-2007). Corrección de errores y erratas de la orden VIV/984/2009,

de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación, aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. (BOE 23-septiembre-2009)

De Ridder, K, Adamec, V, Banuelos, A, Bruse, M, Burger, M, Damsgaard, O, Dufek, J, Hirsch, J, Lefebvre, F, Perez-Lacorzana, JM, Thierry, A, Weber, C (2004). An integrated methodology to assess the benefits of urban green space. *Sci Total Environ*, 334/335, 489–497.

DeJong, BA, Moerkerken, A, van der Toorn, JD (1983). Propagation of sound over grassland and over an earth barrier, *J Sound Vib*, 86, 23–46.

**Del Rey, R, Alba, J, Arenas, JP, Sanchis, VJ (2011b). An empirical modelling of porous sound absorbing materials made of recycled foam, *Appl Acoust* (enviado).**

**Del Rey, R, Alba, J, Ramis, J, Sanchis, VJ (2011a). Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plástico, *Materiales de Construcción*, (Aceptado, pendiente de publicación)**

**Del Rey, R, Alba, J, Sanchis, V (2007). Proposal of an empirical model for absorbent acoustical materials based in Kenaf, *Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Congress on Acoustics, Madrid, Spain*.**

Delany, ME, Bazley, EN (1970). Acoustical properties of fibrous absorbent materials, *Appl Acoust*, 3, 2, 105–116.

Department of Transport (1976), *Noise barriers standards and materials*, Technical Memorandum H14/76, Department of Transport, London.



Dong, W, et al. (2009). Acoustic Properties of Organic/Inorganic Composite Aerogels, in *Architected Multifunctional Materials* (Ed. Y. Brechet, J.D. Embury, and P.R. Onck), Materials Research Society Symposium Proceedings, Vol. 1188, Warrendale, PA.

Dunn, IP, Davern, WA (1986). Calculation of acoustic impedance of multilayer absorbers, *Appl Acoust*, 19, 5, 321–334.

Elliott, S (2009). Active Control in Vehicles and in the Inner Ear, *Int J Acoust Vib*, 14, No 4, 212–219.

Embleton, TFW, Piercy, JE, Daigle, GA (1983). Effective flow resistivity of ground surfaces determined by acoustical measurements, *J Acoust Soc Am*, 74, 1239–1244.

Environmental Agency (2002). *Horizontal Guidance for Noise: Part 2– Noise Assessment and Control*, Integrated Pollution Prevention and Control, Bristol.

Fahy, FJ, Ramble, DG, Walker, JG, Sigiura, M (1995). Development of a novel modular form of sound absorbent facing for traffic noise barriers, *Appl Acoust*, 44, 39–51.

Fehr, RO (1951). The reduction of industrial machine noise, *Proc. 2<sup>nd</sup> Ann. Nat. Noise abatement symposium*, Chicago, 93–103.

FKA (2007), *Determination of Weight Elasticity of Fuel Economy for Conventional ICE Vehicles, Hybrid Vehicles and Fuel Cell Vehicles*, Report 55510, Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH, Aachen.

Forman, RTT, Alexander, LE (1998). Roads and their major ecological effects. *Annu Rev Ecol Syst*, 29, 207-231.

Foss, RN (1976). Noise barrier screen measurements: Double-barriers, *Research Program Report 24.3*, Olympia, WA, Washington State Highway Commission.

Fujiwara, K, Ando, Y, Maekawa, Z (1977). Noise control by barrier, Part 1: noise reduction by a thick barrier, *Appl Acoust*, 10, 147–159.

Fujiwara, K, Furuta, N (1991). Sound shielding efficiency of a barrier with a cylinder at the edge, *Noise Control Eng J*, 37, 5–11.

Furstoss, M, Thenail, D, Galland, MA (1997). Surface Impedance Control for Sound Absorption: Direct and Hybrid Passive/Active Strategies, *J Sound Vib*, 203, No 2, 219–236.



Galland, MA, Mazeaud, B, Sellen, N (2005). Hybrid Passive/Active Absorbers for Flow Ducts, *Appl Acoust*, 66, No 6, 691–708.

Garai, M, Pompoli, F (2005). A simple empirical model of polyester fibre materials for acoustical applications, *Appl Acoust*, 66, 12, 1383–1398.

Hao, GL, et al. (2009). Processing and Damping Behaviour of Porous Copper, *Powder Metallurgy*, 52, No 2, 145–150.

Hickling, R (1998). Surface transportation noise. In: Crocker MJ, editor.

*Handbook of Acoustics*. JohnWiley and Sons, New York, pp. 897–906.

Highways Agency (1994). Design guide for environmental barriers, Chapter 10, Section 5 in Design manual for roads and bridges, Part 1, HA65/94, London.

Highways Agency (1995), Environmental barriers: Technical requirements, Chapter 10, Section 5 in Design manual for roads and bridges, Part 2, HA66/95, London.

HMSO (1988). Department of Transport and Welsh Office, Calculation of road traffic noise, HMSO, London.

Ho, SST, Busch-Vishniac, IJ, Blackstock, DT (1997). Noise reduction by a barrier having a random edge profile, *J Acoust Soc Am*, 101, Pt.1, 2669–2676.

Horne, JA, Reyner, LA (1999). Vehicle accidents related to sleep: a review. *Occup Environ Med*, 56, 289–294.

Horstmann, K, Klennert, K, Phantumvanit, D (1985). Environmental Impact Assessment (EIA) for development. In: Proc. of a Joint DSE/UNEP

International Seminar, DSE/ZEL, 9–12 April 1984, Feldafing, Germany.

Hothersall, DC, Crombie, DH, Chandler-Wilde, SN (1991). The performance of T-Profile and associated noise barriers, *Appl Acoust*, 32, 269–287.

Hurtado, JP, Fernandez, J, Larrondo, JL, Blanco, E (2003). Spanish method of visual impact evaluation in wind farms. *Renew Sust Energ Rev*, 8, 483–491.

Iida, K, Kondoh, Y, Okado, Y (1984). Research on a device for reducing noise, in Transport Research Record 983, National Research Council, Washington, DC, 51–54.



I-INCE (2004), International Institute of Noise Control Engineering, Draft Report from I-INCE Technical Study Group 5: Global Noise Control Policy.

Publication 05-1 of the. Volume 52, Number 6. November-December.

Ingard, KU, Dear, TA (1985). Measurement of acoustic flow resistance.

Journal of Sound and Vibration 103(4),

Ishizuka, T, Fujiwara, K (2004). Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions. Appl Acoust, 65, 125–141.

ISO 10534–2:1998. Acoustics–determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes–Part 2: transfer-function method, International Organization for Standardization, Geneva.

ISO 10847:1997. Acustica–Determinacion de la perdida por insercion in situ de todo tipo de pantallas acusticas exteriores. International Organization for Standardization, Geneva.

ISO 17624:2004, Acoustics – Guidelines for noise control in offices and workrooms by means of acoustical screens. International Organization for Standardization, Geneva.

ISO 9613–1:1993. Acoustics–Attenuation of sound during propagation outdoors–Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. International Organization for Standardization, Geneva.

ISO 9613–2:1996, Acoustics–Attenuation of sound during propagation outdoors, Part 2: General method of calculation. International Organization for Standardization, Geneva.

ISO/TS 15666:2003. Acoustics–Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. International Organization for Standardization, Geneva.

Jiejun, W, et al. (2003). Damping and Sound Absorption Properties of Particle Reinforced Al Matrix Composite Foams, Composites Sci Tech, 63, 569–574.

Kang, J, Brocklesby, MW (2005). Feasibility of applying micro-perforated absorbers in acoustic window systems, Appl Acoust, 66, 669–689.

Kazragis, A, Gailius, A, Jukneviute, A (2002). Thermal and acoustical insulating materials containing mineral and polymeric binders with celluloses fillers, Mat Sci, 8, No. 2, 193–195.

Keller, JB (1962). The geometrical theory of diffraction, J Opt Soc Am, 52, 116–130.



Kidner, MRF, Hansen, CH (2008). A comparison and review of theories of the acoustics of porous materials, *Int J Acoust Vib*, 13, No 3, 112–119.

Kim, KS, Park, SJ, Kweon, YJ (2007). Highway traffic noise effects on land price in an urban area. *Transport Res D-TR E*, 12, 275–280.

Klingner, RE, McNerney, MT, Busch-Vishniac, I (2003). Design Guide for Highway Noise Barriers, Report No FHWA/TX-04/0-1471-4, Austin, TX, Federal Highway Administration.

Koizumi, T (2002). The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers and their acoustic properties, *Proceedings of Inter- Noise 2002*, Dearborn, MI.

Kotzen, B, English, C (1999). Environmental noise barriers- A guide to their acoustic and visual design. E&FN Spon, London.

Kurze UJ, Anderson, GS (1971). Sound attenuation by barriers, *Appl Acoust* 4, 35–53.

Kurze UJ, Beranek, LL (1971). Sound propagation outdoors, Chapter 7 in *Noise and Vibration Control*, edited by L.L. Beranek, McGraw-Hill, New York (1971).

Kurze, UJ (1974). Noise reduction by barriers, *J Acoust Soc Am*, 55, 504– 518

Leroy, P, Atalla, N, Berry, A, Herzog, P (2009). Three dimensional finite element modeling of smart foam, *J Acoust Soc Am*, 126, No 6, 2873–2885.

Leroy, P, Berry, A, Atalla, N, Herzog, P (2008). Smart Foams for Enhancing Acoustic Absorption, presented in *Acoustics'08*, Paris, France, July.

Li, KM, Wong, HY (2005a). A review of commonly used analytical and empirical formulae for predicting sound diffracted by a thin screen. *Appl Acoust*, 66, 45–76.

Li, KM, Wong, HY (2005b). The acoustic performance of a cranked barrier: An approximate integral formulation. *Acta Acoust United Ac*, 91, 680– 688.

Lindeld, G, Penny, J (1995). *Numerical Methods Using Matlab* (Ellis Horwood Series in Mathematics y Its Applications), Pearson Education, New York.

Lu, TJ, Hess, A, Ashby, MF (1999). Sound absorption in metallic foams, *Journal of Appl Phys*, 85, No 11, 7528–7539.



Maa, DY (1987). Microperforated panel wide band absorbers, *Noise Control Eng J*, 20, No 3, 77–84

Maa, DY (1998). Potential of microperforated panel absorber, *J Acoust Soc Am*, 104, No 5, 2861–2866.

Maa, DY (2007). Practical single MPP absorber, *Int J Acoust Vib*, 12, No 1,3–6.

MacDonald, HM (1915). A class of diffraction problems, *Proc Lond Math Soc*, 14, 410–427.

Maekawa, Z (1968). Noise reduction by screens. *Appl Acoust*, 1, 157-173.

Magrini, U, Ricciardi, P (2000). Surface sound acoustical absorption and application of panels composed of granular porous materials, *Proceedings of Inter-Noise 2000*, 27–30, Nice, Francia.

May DN, Osman, MM (1980). The performance of sound absorptive, reflective and T-profile noise barriers in Toronto, *J Sound Vib*, 71, 67–71.

Mechel, FP (2002). *Formulas of acoustics*, Springer-Verlag, Berlin.

Menge, CW, Rossano, CF, Anderson, GS, Bajdek, CJ (1998). *FHWA Traffic Noise Model Technical Manual*, Report No FHWA-PD-96-010, Washington, DC, Federal Highway Administration.

Mesonero, A. (1994). *Psicología de la educación psicomotriz*. Universidad de Oviedo, Servicio de Publicaciones, España

Miki, Y (1990a). Acoustical properties of porous materials-modifications of Delany- Bazley models, *J Acoust Soc Jpn (E)*, 11, 1, 19–24.

Miki, Y (1990b). Acoustical properties of porous materials-Generalizations of empirical models, *J Acoust Soc Jpn (E)*, 11, 1, 25–28.

Mok, JH, Landphair, HC, Naderi, JR (2006). Landscape improvement impacts on roadside safety in Texas. *Landsc Urban Plan*, 78, 263-274.

Moreland, J, Minto, R (1976). An example of in-plant noise reduction with an acoustical barrier, *Appl Acoust*, 9, 205–214.



Morgan, P (2006). Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces, FEHRL Report 2006/02, Brussels.

Morgan, SM, Kay, DH, Bodapati, SN (2001). Study of noise barrier lifecycle costing. J Transp Eng-ASCE, 127, 230–236.

Mser, M, Volz, R (1999). Improvement of sound barriers using headpieces with finite acoustic impedance, J Acoust Soc Am, 106, 3049–3060.

Muller-BBN (2006). Thermal Hemp 045, Measurement of Sound Absorption in the Reverberation Room According to DIN EN ISO 354, Test Report M52 297/1, March 2006.

Nick, A, Becker, U, Thoma, W (2001). Improved acoustic behavior of interior parts of renewable resources in the automotive industry, J Poly Environ, 10, No. 3, 115–118.

Nilsson, ME, Berglund, B (2006). Noise annoyance and activity disturbance before and after the erection of a roadside noise barrier. J Acoust Soc Am, 119, 2178–2188.

OECD (1991), Organisation for Economic Cooperation and Development, Fighting Noise in the 1990s, Paris, Francia.

Ohrstrom, E (2004). Longitudinal surveys on effects of changes in road traffic noise-annoyance, activity disturbances, and psycho-social well-being.

J Acoust Soc Am, 115, 719–729. OPB (1986). RS 814.41: Ordonnance fédérale sur la protection contre le bruit, Swiss Confederation.

Pamanikabud, P, Tansatcha, M (2003). Geographical information system for traffic noise analysis and forecasting with the appearance of barriers. Environ Modell Softw, 18, 959–973.

Parsons, R, Tassinary, LG, Ulrich, RS, Hebl, MR, Grossman-Alexander, M (1998). The view from the road: implications for stress recovery and immunization.

J Environ Psych, 18, 113–140 Pfretzschner, J, Simon, F, de la Colina, C, Moreno, A (1996). A rating index for estimating insertion loss of noise barriers under traffic noise conditions, Acustica 82, 504–508.

Press, WH, Teukolsky, SA, Vetterling, WT, Flannery, BP (1992). Numerical Recipes in C (Second Edition), Cambridge University Press, Cambridge.



Queensland Government (2004). Gobierno de Queensland. Environmental Assessment of Tugun Bypass Project, Nerang Qld, Department of Main Roads.

**Ramis, J, Alba, J, del Rey, R, Escuder, E, Sanchis, V (2010). New absorbent material acoustic based on kenaf's fibre, *Materiales de Construccion*, 60, 299,133–143.**

Ramis, J, Alba, J, Martinez, J, Redondo, J (2005). The uncertainty in absorption coefficients measured in reverberant chambers: A case study, *Noise & Vibration Worldwide*, 36, 7–12.

Ramp, D, Caldwell, J, Edwards, KA, Warton, D, Croft, DB (2005). Modelling of wildlife fatality hotspots along the Snowy Mountain Highway in New SouthWales, Australia. *Biol Conserv*, 126, 474-490.

Ramp, D, Wilson, VK, Croft, DB (2006). Assessing the impacts of roads in peri-urban reserves: Road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biol Conserv*, 129, 348–359.

Rathe, EJ (1969). Note on two common problems of sound propagation, *J Sound Vib*, 10, 472–479.

Rawlins, AD (1976). Diffraction of sound by a rigid screen with a soft or perfectly absorbing edge, *J Sound Vib*, 45, 53–67.

Recuero, M (1998). *Influencia del sonido en el desarrollo de los pueblos*, Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.

Redfearn, RS (1940). Some acoustical source-observer problems, *Phil Mag J Sci*, 30, 223–236.

Reijnen, R, Foppen, R, Veenbaas, G (1997). Disturbance by traffic of breeding birds: evaluation of the effect and considerations in planning and managing road corridors. *Biodivers Conserv*, 6, 567–581.

Ricciardi, P, Gibiat, V, Hooley, A (2002). Multilayer absorbers of silica aerogel, in *Proceedings of Forum Acusticum*, Sevilla, Spain.

Rouquerol, J, et al. (1994). Recommendations for the characterization of porous solids, *Pure Appl Chem*, 66, No. 8, 1739–1758.

Sakagami, K, Morimoto, M, Yairi, M (2008). Application of microperforated panel absorbers to room interior surfaces, *Int J Acoust Vib*, 13, No 3, 120–124



Sanchez, J (1991) El Ruido de Trafico en Valladolid, Universidad de Valladolid y Caja Salamanca y Soria. Serie Arquitectura y Urbanismo.

Sandberg, U, Ejsmont, JA (2002). Tyre/Road Noise Reference Book. Infomex, Kisa, Sweden.

Sandberg, U, Ejsmont, JA (2007). Tyre/Road Noise - Generation, Measurement, and Abatement, Chapter 86 in Handbook of Noise and Vibration

Control (Ed. M.J. Crocker), JohnWiley and Sons, New York.

Schaeffer, P (1988). Tratado de los objetos musicales. Traducción al castellano, título original: Traite des Objets Musicaux (1966), Alianza Editorial, Madrid.

Scheffler, M, Colombo, P (2005). Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications, Wiley–VCH, Weinheim.

Schmid, M, Schwertfeger, F (1998). Applications for silica aerogel products, J Non-Crystalline Solids, 225, No 1, 364–368.

Shoshani, Y, Yakubov, Y (2000). Numerical assessment of maximal absorption coefficients for nonwoven fiberwebs. Appl Acoust 59 77–87.

Simon, F, Pfretzschner, J, de la Colina, C, Moreno, A (1998). Ground influence on the definition of single rating index for noise barrier protection, J Acoust Soc Am, 104, 232–236.

Tang, HP, et al. (2007). Sound Absorption Characters of Metal Fibrous Porous Material, in Porous Metals and Metallic Forms (Ed. L.P. Lefebvre, J. Banhart, and D.C. Dunand), DEStech Publications, Lancaster, 181–184.

Tascan, M, Vaughn, EA (2008). Effects of fiber denier, fiber cross-sectional shape and fabric density on acoustical behavior of vertically lapped nonwoven fabrics, J Eng Fibers and Fabrics, 3, No 2, 32–38.

Tatge, RB (1973). Barrier-wall attenuation with a finite-sized source, J Acoust Soc Am, 53, 1317–1319.

Umnova, O, Attenborough, K, Li, KM (2001). A cell model for the acoustical properties of packings of spheres, Acustica, 87, 226–235.



UNE-EN 12354-6: 2004. Acustica de la edificacion. Estimacion de las características acusticas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 6: Absorción sonora en espacios cerrados. (EN 12354- 6:2003)

UNE-EN ISO 140-1: 1998. Acustica-Medición del aislamiento acustico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Requisitos de las instalaciones del laboratorio sin transmisiones indirectas (ISO 140-1: 1).

UNE-EN ISO 717-1: 1997. Acustica-Evaluación del aislamiento acustico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo (ISO 717-1: 1996).

UNE-EN 1793-1:1998. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Metodo de ensayo para determinar el comportamiento acustico. Parte 1: Características intrínsecas relativas a la absorción sonora.

UNE-EN 1793-2:1998. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Metodo de ensayo para determinar el comportamiento acustico.

UNE-EN 1793-3:1998. Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Metodo de ensayo para determinar el comportamiento acustico. Parte 3: Espectro normalizado de ruido de tráfico.

UNE-EN 29053:1994. Acustica. Materiales para aplicaciones acusticas. Determinación para la resistencia al flujo de aire. (ISO 9053:1991).

UNE-EN ISO 10532-2:2002 Acustica. Determinación del coeficiente de absorción acustica y de la impedancia acustica en tubos de impedancia, parte 2, Metodo de la función de transferencia. (ISO 10534-2:1998)

UNE-EN ISO 10534-1:2002. Determinación del coeficiente de absorción acustica y de la impedancia acustica en tubos de impedancia. Parte 1: Metodo del rango de onda estacionaria.

UNE-EN ISO 10534-2:2002. Determinación del coeficiente de absorción acustica y de la impedancia acustica en tubos de impedancia. Parte 2: Metodo de la función de transferencia. (ISO 10534-2:1998).

UNE-EN ISO 11654:1998. Acustica-Absorbentes acusticos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acustica (ISO 11654:1997)



UNE–EN ISO 140-3:1995. Medicion del aislamiento acustico en los edificios y de los elementos de construccion. Parte 3: Medicion en laboratorio del aislamiento acustico al ruido aereo de los elementos de construccion. Medida del aislamiento acustico a ruido aereo.

UNE–EN ISO 266:1998. Acustica–Frecuencias preferentes (ISO 266:1997).

UNE–EN ISO 354:2004. Acustica–Medicion de la absorcion acustica en una camara reverberante (ISO 354:2003).

USDT (2000). US Department of Transportation, Highway traffic noise barrier construction trends, Federal Highway Administration, Office of Natural Environment, Noise Team, Washington, DC.

USDT (2001). US Department of Transportation, Keeping the noise down-Highway traffic noise barriers, Publication No FHWA-EP-01-004, Federal Highway Administration, Washington, DC.

Van Renterghem, T, Botteldooren, D, Cornelis, WM, Gabriels, D (2002). Reducing screen-induced refraction of noise barriers in wind by vegetative screens. *Acta Acoust United Ac*, 88, 231–238.

Vaughn, EA, Tascan, M (2008). Effects of total surface area and fabric density on the acoustical behavior of needlepunched nonwoven fabrics, *Textile Res J*, 78, No. 4, 289–296.

Voronina, N (1994). Acoustical properties of fibrous materials, *Appl Acoust*, 42, 2, 165–174.

Voronina, N (1996). Improved Empirical Model of Sound Propagation Through a Fibrous Material, *Appl Acoust*, 48, 2, 121–132.

Voronina, N (1998). An empirical model for elastic porous materials, *Appl Acoust*, 55, 1, 67–83.

Voronina, N (1999). An empirical model for rigid-frame porous materials with low porosity, *Appl Acoust*, 58, 3, 295–304.

Voronina, N, Horoshenkov, KV (2003). A new empirical model for the acoustic properties of loose granular media, *Appl Acoust*, 64, 4, 415–432.

Wang, C, Bradley, JS (2002). A mathematical model for a single screen barrier in open-plan office, *Appl Acoust*, 63, 849–866.



Warnock, ACC (1974). Acoustical effects of screens in landscaped offices, Canadian Building Digest, 164, National Research Council of Canada.

Wathern, P (1998). Environmental Impact Assessment: Theory and Practice. Routledge, London.

Watts, G, Chinn, L, Godfrey, N (1999). The effects of vegetation on the perception of traffic noise. Appl Acoust, 56, 39–56.

Watts, GR, Crombie, DH, Hothersall, DC (1994). Acoustic performance of new designs of traffic noise barriers: full scale tests, J Sound Vib, 177, 289–305.

WHO(1999). World Health Organization, Guidelines for Community Noise. Edited by Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela.

WHO(2005). European Centre for Environment and Health, Bonn Office. Report on the third meeting on night noise guidelines; Lisbon, Portugal., 26- 28 April 2005.

WHO (2011). World Health Organization, The Regional Office for Europe, Burden of disease from environmental noise.

Williams, ID, McCrae, IS (1995). Road traffic nuisance in residential and commercial areas. Sci Total Environ, 169, 75–82.

Willis, KG, Garrod, GD, Harvey, DR (1998). A review of cost-benefit analysis as applied to the evaluation of new road proposals in the UK Transport Res D-TR E, 3, 141–156.

Wilson, S (2002). Guidelines for Landscape & Visual Impact Assessment. Taylor & Francis, London.

Zannin, PHT, Diniz, FB, Barbosa, WA (2002). Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. Appl Acoust, 63, 351–358.

Zannin, PHT, Ferreira, AMC, Szeremeta, R (2006). Evaluation of noise pollution in urban parks. Environ Monit Assess, 118, 423–433.

Zulkifli, R, et al. (2008). Acoustic properties of multi-layer coir fibres sound absorption panel, J Appl Sci, 8, No 20, 3709–3714.

Zwikker, C, Kosten, CW (1949). Sound Absorbing Materials, Elsevier, New York

**MUITex**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA  
CAMPUS D'ALCOI

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA TEXTIL**



Pantalla Acustica verde movil