

WOOL4BUILD: Improved isolation material for eco-building based on natural wool



R. del Rey¹, J. Alba¹ A. Uris², P. Candelas²

¹ UPV. Escuela Politécnica Superior de Gandía

² UPV. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

roderey@fis.upv.es

PACS: 43.55.Ev

Resumen

El proyecto europeo WOOL4BUILD se ubica dentro del programa de ECO-INNOVATION de EASME (Executive Agency for SMEs) de la European Commission. El objetivo de este proyecto es desarrollar un aislante térmico y acústico a partir de lana de oveja que pueda competir en cuanto a características técnicas y económicas con otros aislantes del mercado.

En la Escuela Politécnica Superior de Gandía de la Universitat Politècnica de Valencia (EPSG-UPV) se han realizado diferentes ensayos acústicos de muestras elaboradas por otros socios del proyecto: ensayos de control en tubo de Kundt, de la resistividad al flujo del aire, en cámara reverberante, en cámaras a escala, etc. Estas muestras combinan diferentes densidades, espesores y porcentajes de calidad de lana de oveja. También desde la EPSG-UPV se ha confeccionado una herramienta informática, de libre acceso, que permite diseñar y justificar soluciones acústicas y térmicas basadas en estos nuevos materiales.

Abstract

The European WOOL4BUILD project is part of the European Commission's EASME (Executive Agency for SMEs) belonging to ECO-INNOVATION program. The objective of this project is to develop a thermal and acoustic insulation from sheep wool that can compete in terms of technical and economic characteristics with other insulation of this Market.

Different acoustic tests have been carried out at the Polytechnic School of Gandía, of the Polytechnic University of Valencia (EPSG-UPV): control tests on Kundt tube, air flow resistivity, measurements in reverberant chamber of different samples made by other partners of the project, measurements in scale chambers, etc. The tested samples combine different densities, thicknesses and percentages of sheep wool quality. Adding to this, the EPSG-UPV has developed a free access computer tool, which allows making designs and also helps to justify acoustic and thermal solutions which are based on these new materials.

1. Introducción

En octubre de 2014 se inicia el proyecto europeo ECO-INNOVATION - WOOL4BUILD ECO/13/630249 – WOOL4BUILD «IMPROVED ISOLATION MATERIAL FOR ECO-BUILDING BASED ON NATURAL WOOL» (ECO-INNOVATION-WOOL4BUILD ECO/13/630249 WOOL4BUILD [1]. En este proyecto participan diferentes empresas y centros tecnológicos junto a la Universitat Politècnica de Valencia. Los diferentes socios del proyecto son: Inpelsa Grupo Lederval, como coordinador, Aitex (Textile research institute), Environment Park (Parco scientifico tecnologico per l'ambiente), Grupo ACR y la Universitat Politècnica de València.

El principal objetivo de este proyecto es desarrollar un producto sostenible para el aislamiento de edificios basado en los residuos de pelo y lana de oveja que se produce en la industria peletera con buen rendimiento en aislamiento térmico y acústico. En [2] se desarrolla con detalle el objetivo de este proyecto, se describen las características de la piel de oveja de donde se obtienen las fibras de la lana, y sus posibilidades para usarse en diferentes aplicaciones. En [2] también se describen detalles del diámetro de la fibra y se compara con fibras ya consolidadas como absorbentes acústicos como las de PET o Kenaf [3,4], aunque debe tenerse en cuenta que el diámetro medio de las fibras de lana de oveja, varía en función de la raza de oveja.

Este tipo de materiales es de gran interés actualmente. Se pueden encontrar en el mercado algunas lanas absorbentes que incorporan lana de oveja en su fabricación, o referencias que tratan los beneficios del uso de este tipo de materiales respecto a otros [5]. Sin embargo, es complicado encontrar el procedimiento de fabricación y/o la composición exacta. Incluso en algunos casos, es difícil encontrar los datos técnicos de interés para aislamiento acústico y térmico.

En WOOL4BUILD se plantean diferentes objetivos específicos, además de los objetivos propios de difusión que son requerimiento de este tipo de proyectos. El primer objetivo es evaluar de forma precisa la composición óptima de estos materiales para su uso en acústica de la edificación, teniendo en cuenta todos los factores que lo hagan rentable también desde el punto de vista económico. Se analizan y optimizan los diferentes pasos de una nueva línea de producción en la empresa peletera Inpelsa con el fin de mejorar el comportamiento y el rendimiento de las nuevas lanas. En [6] se pueden encontrar detalles del proceso de fabricación. Se caracterizan estas nuevas lanas de oveja en función de la resistencia térmica, resistencia al fuego e insectos, por parte de Aitex. También se caracterizan estas lanas en función del comportamiento acústico que presentan. Esta caracterización es la base de este trabajo y se realiza en la Escuela Politécnica Superior de Gandía de la Universitat Politècnica de Valencia (EPSG-UPV). El grupo ACR es el encargado de monitorizar in situ una edificación piloto que corrobora los ensayos realizados anteriormente.

La lana de oveja del proyecto WOOL4BUILD se encuentra actualmente en proceso de obtener el marcado CE. Presenta un bajo impacto en la huella de carbono y reduce las emisiones durante el ciclo de vida del edificio y por lo tanto, para construir EECN, según estudios realizados por Environment Park. Para ser coherente con el eco-ciclo, el material se embala con cartón reciclado.

En la figura 1 se muestran imágenes de la composición de éste material a escala microscópica, de muestras de lana utilizadas para los test de acústica y del embalado de estas lanas preparadas ya para su comercialización.

En este trabajo se presentan los resultados más relevantes en cuanto a la caracterización acústica de este proyecto Europeo, así como la aplicación informática diseñada por la EPSG-UPV. Esta aplicación es de libre acceso y permite diseñar una multitud de configuraciones simples o multicapa elaboradas con este tipo de eco-material.

2. Muestras de lana de oveja

Para la elaboración de este proyecto Europeo se han fabricado y analizado un total de 9 muestras distintas de lanas de oveja. Estas muestras difieren en densidad, espesor y cantidad de lana de 1ª y 2ª calidad [2], así como cantidad de poliéster necesaria para su termoconformación sin necesidad de utilizar resinas [6]. En la tabla 1 se detallan las características de elaboración de estas 9 muestras.

Tabla 1. Composición, densidad (kg/m²) y espesor de las 9 lanas de oveja evaluadas en el proyecto WOOL4BUILD.

Muestra	Composición			Densidad (Kg/m ²)	Espesor (mm)
	PET BI-CO	LANA 1ª CALIDAD	LANA 2ª CALIDAD		
S1	20	80	0	30	50
S2	20	40	40	30	50
S3	20	40	40	25	50
S4	20	40	40	30	40
S5	20	40	40	30	60
S6	20	40	40	40	50
S7	20	0	80	30	50
Premium	15	40	45	30	50
Comfort	15	40	45	25	40



Figura 1. Muestras del material absorbente de lana de oveja. Composición a nivel microscópico (izquierda), muestras preparadas para test acústicos (centro) y muestras embaladas preparadas para comercialización (derecha).

Durante los primeros meses de trabajo de este proyecto de 30 meses de duración (Octubre 2014- Marzo 2017), se analizaron las muestras de S1 a S7. Los resultados de los test realizados sobre estas siete muestras pueden encontrarse también en trabajos anteriores [7, 8]. A partir de los resultados que se obtienen en estos primeros test y tras realizar un ajuste de modelos de predicción acústica que describen el comportamiento frecuencial de estos materiales absorbentes [3,4][9-11] se decide diseñar, fabricar y validar las muestras Premium y Comfort como resultado comercial de este proyecto. Los resultados de Premium y Comfort (fruto final del proyecto) se presentan en este trabajo, y son los que finalmente se comercializan.

3. Caracterización acústica

3.1. Test como material Absorbente Acústico

Se realiza una caracterización acústica de estos nuevos materiales como materiales absorbentes. Se realizan ensayos del coeficiente de absorción en incidencia normal, según UNE EN ISO 10534-2:2002 [12], se evalúa su resistencia al flujo mediante dos procesos indirectos alternativos a la norma UNE EN 29053:1994 [13], estos son el método de Ingard&Dear [14] y el método de Dragonetti et al [15]. Detalles de estos procedimientos, así como comparativas de resultados normalizados se pueden encontrar en [16]. También se evalúa la absorción sonora de estas lanas en cámara reverberante normalizada de la EPSG-UPV [17].

En la figura 2 se muestran los resultados de los valores del coeficiente de absorción en incidencia normal [12] de las lanas Premium y Comfort. En la tabla 2 se mues-

tran los valores de la resistividad al flujo o resistencia por unidad de longitud. En la figura 3 se muestran los resultados de la absorción en incidencia aleatoria según procedimiento normalizado [17] de las lanas Premium y Comfort.

Tabla 2. Valores de la resistividad al flujo de aire para las muestras Premium y Comfort

	Resistividad al flujo (rayls/m) *1000
Premium	8.3
Comfort	10.0

3.2. Evaluación y clasificación de la absorción sonora

A partir de los resultados que se obtienen en cámara reverberante hemos obtenido valores medios o valores ponderados de la absorción sonora según se establece en el Código Técnico de la edificación [18] (α_m) o en la Norma UNE-EN ISO 11654:1998 [19]. La norma UNE-EN ISO 11654:1998 [19] establece un procedimiento de obtención de un único parámetro, (α_w , Coeficiente de absorción sonora ponderado) para evaluar el grado de absorción proporcionado por un material. Este valor ponderado se obtiene a partir de los valores de la absorción en tercios de octava que se obtienen de los ensayos en cámara reverberante y permite «clasificar» el material absorbente en 6 categorías (A, B, C, D, E y sin calificar) [19]. En la tabla 3 se especifican tanto el valor de alpha medio (α_m) según el Código Técnico de la Edificación [18], así como el alpha ponderado (α_w) según UNE EN ISO 11654:1998 [19] de las lanas Premium y Comfort. Se comparan estos valores con los resultados que se

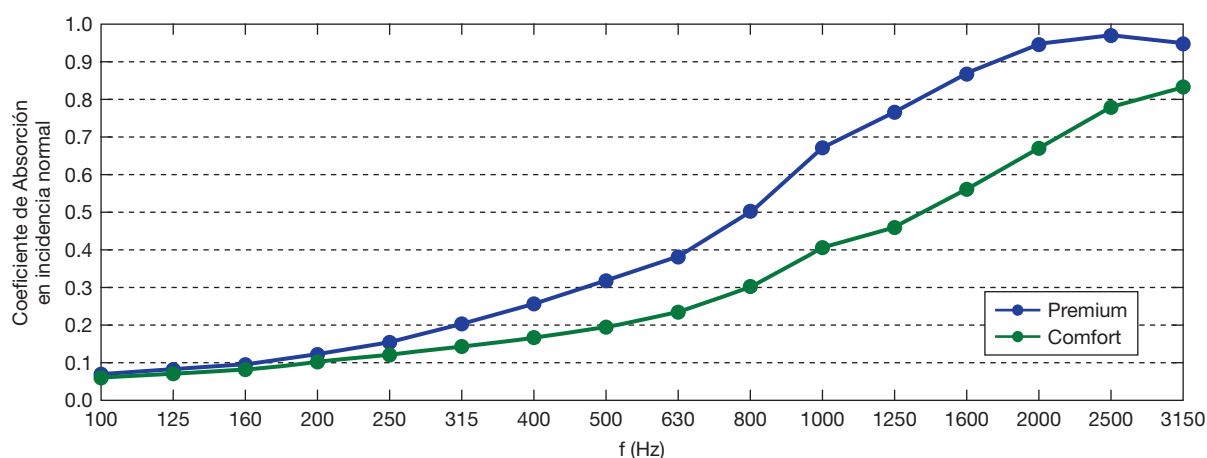


Figura 2. Coeficiente de absorción en función de la frecuencia en incidencia normal según UNE EN ISO 10534-2:2002 para las muestras Premium y Comfort.

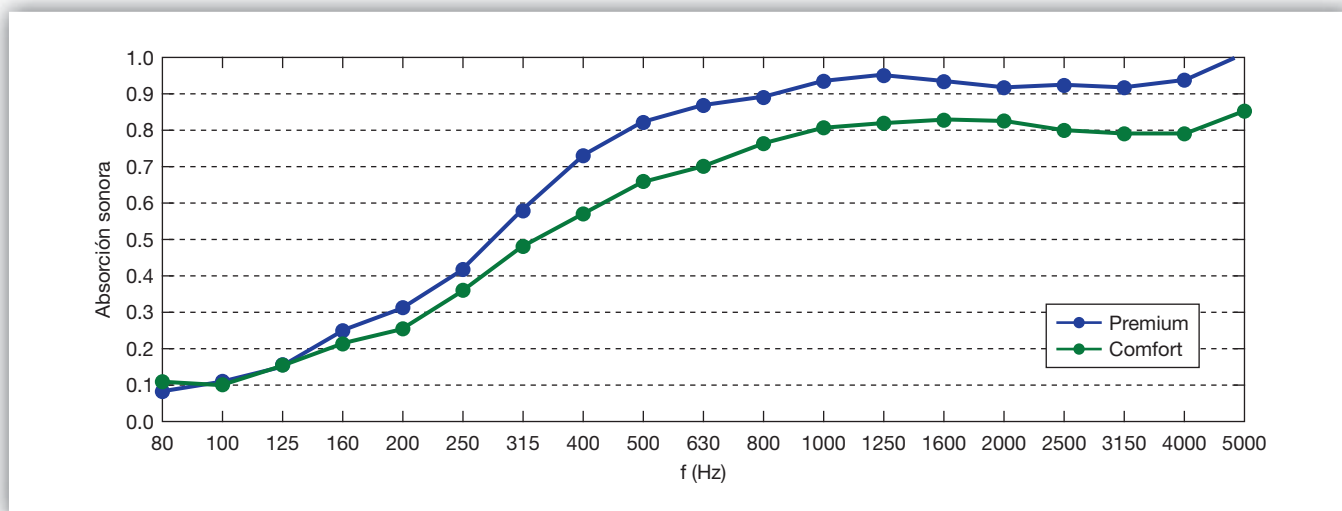


Figura 3. Absorción sonora en cámara reverberante de la EPSG-UPV según UNE EN ISO 354:2004 para las muestras Premium y Comfort.

obtienen para otro tipo de materiales absorbentes, como son el PET [3] y espumas recicladas [20].

3.3. Ajuste de modelos frecuenciales

Siguiendo el método propuesto por Delany&Bazley [9] se ajusta para las muestras de lana de oveja un modelo de predicción de absorción sonora en función de la frecuencia. Este modelo permite, a partir de los valores de la resistencia al flujo, obtener la impedancia característica y la constante de propagación y entender así el comportamiento acústico de éstos materiales en función de la frecuencia. Se obtienen 8 coeficientes de ajuste propios ($C_i, i=1, \dots, 8$) para las lanas de oveja descritas en este trabajo. Se pueden encontrar detalles de la descripción del modelo de predicción y de la función de ajuste utilizada en trabajos anteriores [3, 4, 10,11]. En la tabla 4 se

muestran los coeficientes propios que se obtienen para las lanas Premium y Comfort. Se muestran también los coeficientes descritos por Delany&Bazley [9] para lanas minerales.

En la figura 4 se puede observar el resultado del ajuste para las lanas Premium y Comfort.

El ajuste propio del modelo permite predecir la absorción de cualquier muestra de lana de oveja con las mismas características de composición que las muestras de este proyecto, pudiendo variar la densidad o el espesor. Los resultados obtenidos de este ajuste, junto con los test realizados tanto de acústica como de térmica, han permitido diseñar una herramienta informática (denominada «Quality control tool») de predicción que se describe en el siguiente apartado.

Tabla 3. Valores medios, valores ponderados y clasificación de la absorción sonora para las muestras Premium, Comfort, Espumas recicladas y PET.

Muestra	α_m (DB-HR)	α_w (11654:1958)	Clasificación
Premium	0,88	0,75	C
Comfort	0,75	0,65	C
Espuma reciclada	0,85	0,65	C
PET	0,68	0,70	C

Tabla 4. Coeficientes de ajuste del modelo frecuencial según Delany&Bazley para lanas minerales, y los coeficientes propios para las lanas Premium y Comfort.

Modelo	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
Delany&Bazley	0,057	0,754	0,087	0,732	0,189	0,595	0,098	0,70
Premium	0,0252	0,5560	0,0067	1,0902	0,2404	0,7717	0,1152	1,1384
Comfort	0,0656	0,3014	0,0727	0,6793	0,2080	0,6657	0,1047	0,8189

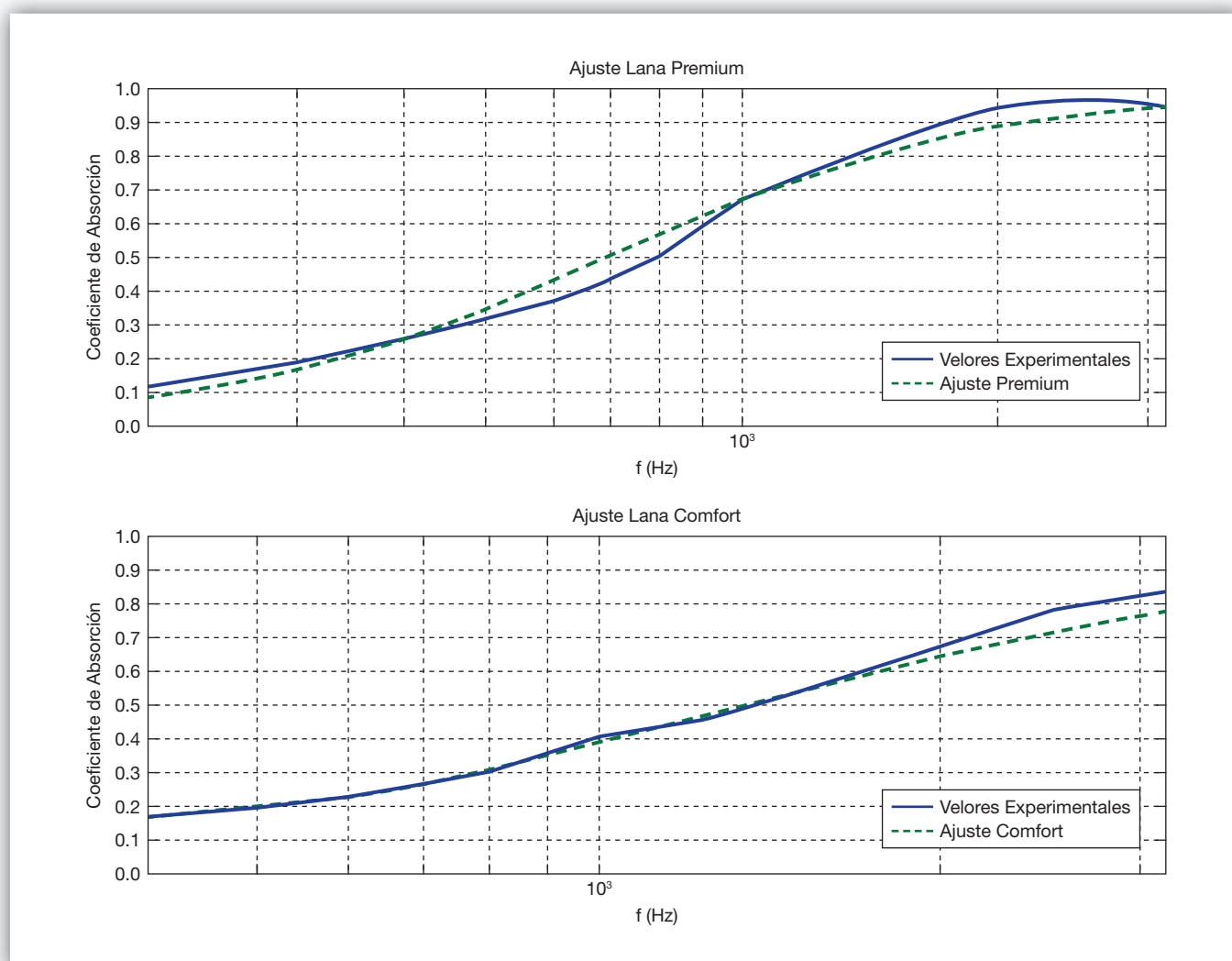


Figura 4. Resultados del ajuste propio para las lanas Premium y Comfort. (Línea continua; valores experimentales/ línea discontinua; resultados del ajuste).

3.4. Quality control tool

La «Quality control tool» es una herramienta informática innovadora que permite estimar parámetros térmicos (conductividad térmica) y acústicos (absorción sonora y aislamiento acústico) de soluciones multicapa, siempre tomando la lana de oveja Premium o Comfort como material en el montaje. Se ha diseñado en base a los datos acústicos y térmicos obtenidos de los distintos paquetes de trabajo definidos en el proyecto WOOL4BUILD. En este apartado se realiza una descripción de esta herramienta informática. Es posible seleccionar si se desea obtener simulaciones de absorción sonora o simulaciones de aislamiento acústico y térmico. En la figura 5 se muestra la pantalla principal de esta herramienta y en la figura 6 la pantalla de selección.

Para confeccionar la solución de absorción sonora es posible elegir entre un material absorbente (lana Premium, lana Comfort o aire) únicamente, o una placa im-

permeable junto el material absorbente. Esta capa impermeable puede o no ser perforada. También es posible diseñar el diámetro y el porcentaje de perforación de la misma. Toda esta estructura se cierra en la parte derecha con un panel de cierre. En la figura 7 se muestra la pantalla principal para la elección de los materiales para la simulación de la absorción sonora.

Los resultados de absorción sonora se ofrecen en forma de gráfica y de tabla de la simulación de las normas UNE-EN ISO 10534-2:2002 [12] y UNE-EN-ISO 354:2004 [17]. Además se realiza la clasificación según UNE-EN ISO 11654:1998 [19]. En la figura 8 se muestra un ejemplo de esta información.

Para el caso del aislamiento acústico y térmico, los cálculos se pueden realizar seleccionando en la pantalla principal (figura 6) la opción de la derecha. La pantalla de selección de materiales para el aislamiento térmico y acústico es muy similar a la de absorción sonora, incluyendo



Figura 5. Pantalla principal de la herramienta informática.



Figura 6. Pantalla de selección entre simulación de absorción (derecha) o aislamiento (izquierda).

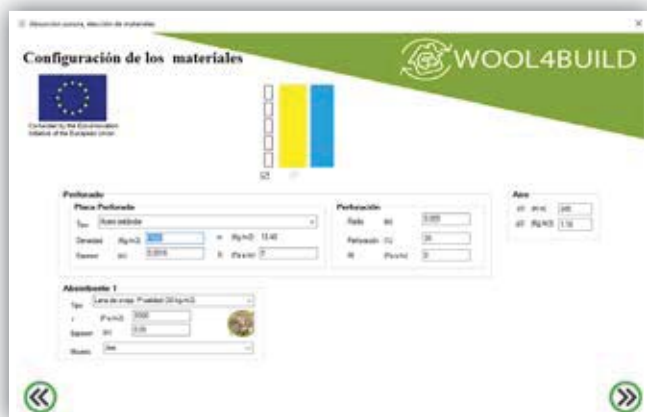


Figura 7. Diseño de la composición de la solución acústica para absorción.

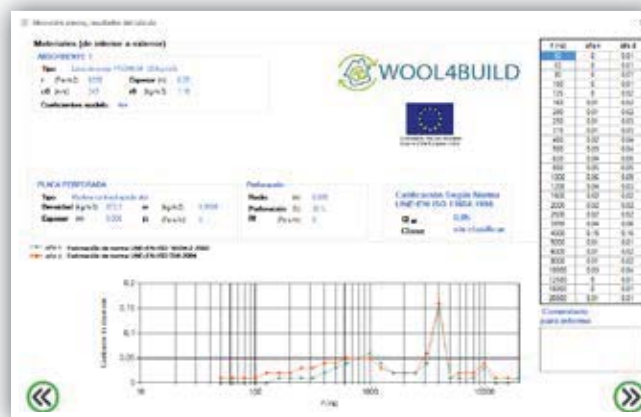


Figura 8. Ejemplo de información disponible como solución de absorción.

la posibilidad de un segundo material absorbente interior. Además el panel de base ahora se puede seleccionar, e incluso perforar. En este caso se simula la obtención de las pérdidas por transmisión en incidencia normal (TLn) e incidencia aleatoria (TLd). La calibración de la herramienta para la simulación de las pérdidas por transmisión en incidencia normal (TLn) se ha realizado en base a los test realizados en la EPSG-UPV según [21]. Para la calibración de la simulación del aislamiento en incidencia aleatoria se ha utilizado la cámara de transmisión para pequeñas muestras que se dispone en la EPSG-UPV [22,23] y los ensayos se han realizado conforme la Norma UNE-EN ISO 10140-2:2011 [24]. La calificación de la partición, dato también disponible a partir de esta herramienta, se ha realizado según UNE-EN ISO 717-1:2013 [25] y la transmitancia y resistencia térmica bajo limitación de transmisión horizontal según UNE-EN ISO 6946:2012 [26]. Confirmando los datos se puede pasar a la pantalla de generación del informe (figura 9).

Esta aplicación informática se explicará con detalle en el 48º Congreso Español de Acústica (Tecniciacústica 2017) que se celebra en A Coruña.

4. Conclusiones

En este trabajo se presenta el resumen de 30 meses de la parte acústica del proyecto europeo WOOL4BUILD, de donde, partiendo de los residuos generados en la industria peletera se consiguen los nuevos materiales absorbentes, Premium y Comfort.

En una primera fase se fabricaron y diseñaron diferentes muestras con espesores, composiciones y densidades diferentes. De su posterior análisis acústico y también como fruto de los estudios de otros parámetros técnicos (térmica, resistencia al fuego, a insectos, etc.) y económicos, se decide posteriormente la composición final de Premium y Comfort.

Las lanas de oveja PREMIUM y COMFORT se han evaluado y analizado con detalle. Este trabajo muestra datos acústicos que son competitivos en el mercado. Se han determinado por el resto de socios, otros parámetros de interés del material que pueden verse en [1]. Los datos acústicos obtenidos muestran materiales que técnicamente cumplen con las necesidades de diferentes soluciones

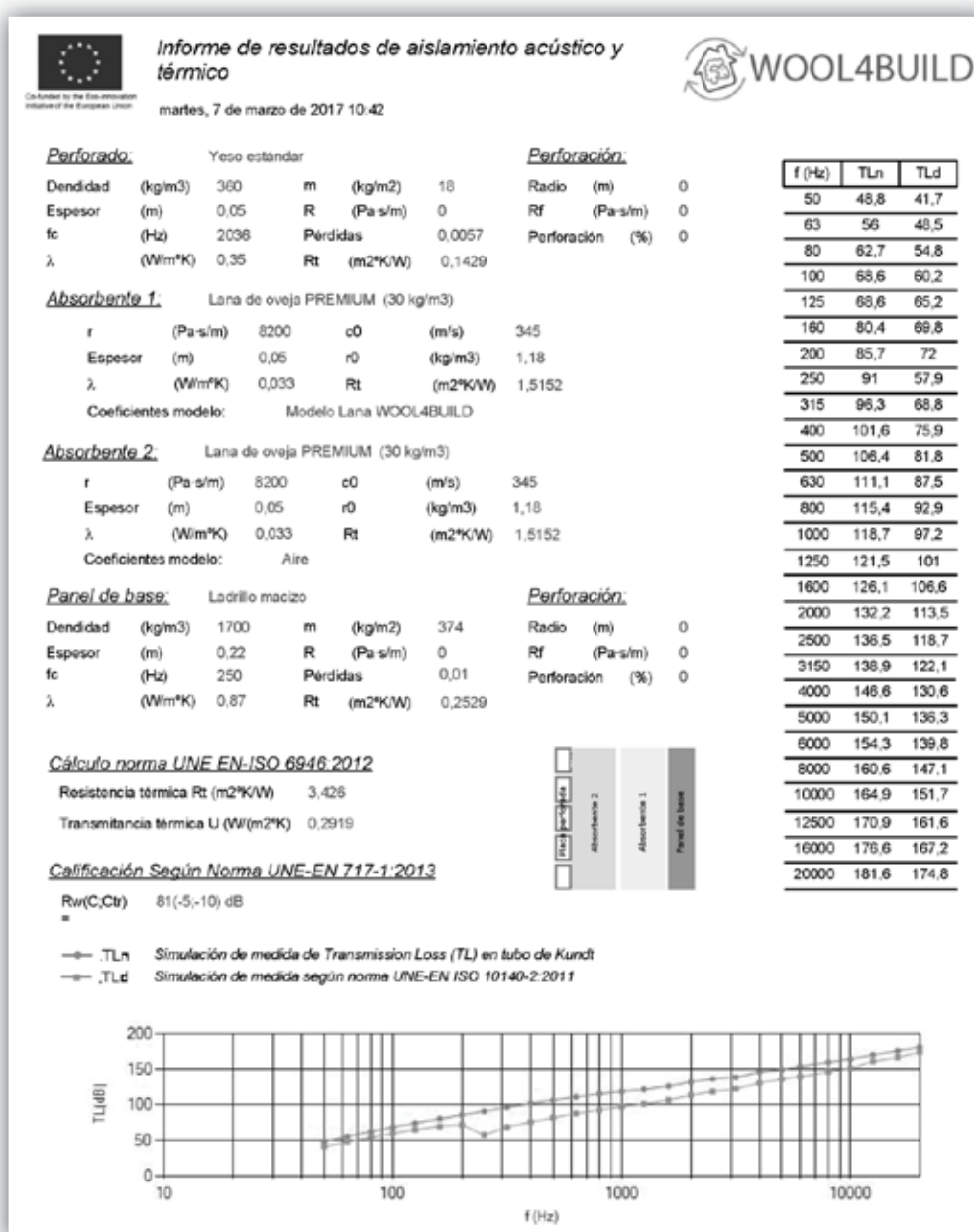


Figura 9. Ejemplo de informe de resultados de aislamiento.

constructivas, sobre todo en soluciones para elementos de separación vertical, medianeras o tabiquerías.

También se han obtenido modelos predictivos de comportamiento. A partir de esos modelos se diseña una herramienta informática que permite, bajo ciertas limitaciones, el cálculo del aislamiento acústico y térmico de distintas soluciones multicapa, así como la absorción sonora. Esta herramienta será de libre disposición gracias al programa ECO-INNOVATION.

5. Agradecimientos

This work was financially supported by Eco-innovation Initiative of the European Union. European Project ECO-

INNOVATION - WOOL4BUILD ECO/13/630249 – WOOL-4BUILD «IMPROVED ISOLATION MATERIAL FOR ECO-BUILDING BASED ON NATURAL WOOL».

This publication has been produced with the assistance of the European Union. The contents of this publication are the sole responsibility of the authors and can in no way be taken to reflect the views of the European Union.



Co-funded by the Eco-innovation Initiative of the European Union

6. Referencias

- [1] <http://www.wool4build.eu/>
- [2] Alba J., del Rey R., Blanes M., Marco B. «Estudio preliminar de la absorción sonora de lana de oveja de desechos de peletería», *Tecniacústica 2014*. 45º Congreso Español de Acústica, 8º Congreso Ibérico de Acústica y Simposio Europeo de Ciudades Inteligentes y Acústica Ambiental. España. Octubre, 2014.
- [3] R. del Rey, J. Alba, J. Ramis, V. Sanchis. «New absorbent acoustics materials from plastic bottle remnants». *Materiales de Construcción*, 2011. 61, 2204, 547-558.
- [4] J. Ramis, J. Alba, R. del Rey, E. Escuder. «New absorbent material acoustic based on kenaf's fibre». *Materiales de Construcción*, 2010. 60, 299. 133-143.
- [5] Korjenic A., Klair S., Hadzic A., Korjenic S. «Sheep Wool as a Construction Material for Energy Efficiency Improvement», *Energies* 2015, 8, 5765-5781.
- [6] Jimenez A., Capelli L., Marco B., Martinez M., Alba J., del Rey R., Cartasegna F. «WOOL4BUILD Un nuevo material aislante para la construcción basado en lana natural». III EECN. Congreso Edificios Energía Casi Nula, Pamplona, 2016.
- [7] Alba J., del Rey R., Uris A., Candelas P. «Lana de oveja: Una alternativa natural para la absorción sonora». *Tecniacústica 2015*. 46º Congreso Español de Acústica, Encuentro Ibérico de Acústica y Simposio Europeo de Acústica Virtual. Valencia. España. Octubre, 2015.
- [8] Capelli Luca. «WOOL4BUILD: Una alternativa al aislante mineral». *Revista ECOCONSTRUCCIÓN*. Febrero 2015.
- [9] Delany M. E., Bazley E. N.: «Acoustical Properties of Fibrous Absorbent Materials», *Applied Acoustics* 3, (1970), pp105 -116.
- [10] Arenas JP, Rebolledo J, Del Rey R, Alba J, Sound absorption properties of unbleached cellulose loose-fill insulation material. *BioResources*. 2014; 9; 6227-6240.
- [11] J. Ramis, R. del Rey, J. Alba, L. Godinho, J. Carballo. «Un modelo para materiales absorbentes acústicos derivados de la fibra de coco». *Materiales de la Construcción*, 2014. 64, 313.
- [12] UNE-EN ISO 10534-2:2002. Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia. (ISO 10534-2:1998).
- [13] UNE-EN ISO 29053:1994. Acústica. Materiales para aplicaciones acústicas. Determinación de la resistencia al flujo de aire (ISO 9053:1991).
- [14] Ingard K.U., Dear T.A. (1985), Measurement of acoustic flow resistance, *Journal Sound and Vibration*, 103, 4, 567-572.
- [15] Dragonetti R, Ianniello C, Romano AR. Measurement of the resistivity of porous materials with an alternating air-flow method. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2010; 129: 753-764.
- [16] Del Rey R, Alba J, Arenas JP, Ramis J. Evaluation of two alternative procedures for measuring airflow resistance of sound absorbing materials. *Archives of Acoustics*. 2013; 38: 547-554.
- [17] UNE EN-ISO 354:2004. Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante.
- [18] Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación (DB-HR del CTE)
- [19] UNE EN ISO 11654:1998. Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica (ISO 11654:1997).
- [20] del Rey R., Alba J, Arenas J.P., Sanchis V. An empirical modelling of porous sound absorbing materials made of recycled foam. *Applied Acoustics*. 2012; 73, 604-609.
- [21] Jung SS, Kim YT, Lee YB, Cho SI, Lee JK. Measurement of sound transmission loss by using impedance tubes. *J Korean Phys Soc* 2008; 53:596.
- [22] Alba J., Bertó L., del Rey R. «Validación de una cámara de transmisión a escala para medidas de elementos ligeros», *Tecniacústica 2014*. 45º Congreso Español de Acústica, 8º Congreso Ibérico de Acústica y Simposio Europeo de Ciudades Inteligentes y Acústica Ambiental. España. Octubre, 2014.
- [23] Del Rey R., Alba J., Llopis A., Guillem I. «Propuesta de soluciones ligeras para aislamiento acústico basadas en nanofibras y Green composites». *Tecniacústica 2015*. 46º Congreso Español de Acústica, Encuentro Ibérico de Acústica y Simposio Europeo de Acústica Virtual. Valencia. España. Octubre, 2015.
- [24] UNE-EN ISO 10140-2:2011. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 2: Medición del aislamiento acústico al ruido aéreo. (ISO 10140-2:2010).
- [25] UNE-EN ISO 717-1:2013. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. (ISO 717-1:2013)
- [26] UNE-EN ISO 6946:2012. Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo. (ISO 6946:2007).