

# MATLIG 2

## Desarrollo de materiales ligeros con propiedades ad-hoc para usos determinados

Programa: Líneas de I+D independiente del Plan de Actividades de carácter no económico de AIDIMME

### Entregable E.1: Resumen de resultados

#### Breve descripción.

En el presente documento se incluye una recopilación de las principales tareas llevadas a cabo durante la ejecución del proyecto MATLIG 2, con el objetivo de difundir sus resultados.

**Realizado por:**  
AIDIMME



GENERALITAT  
VALENCIANA

**iVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional  
*Una manera de hacer Europa*

## DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO DEL ENTREGABLE

Una de las líneas estratégicas de actuación que lleva a cabo AIDIMME en el campo de la investigación y desarrollo, consiste en el estudio y caracterización de materiales existentes así como el desarrollo de nuevos materiales, para su adaptación a usos específicos en los que puedan ofrecer unas elevadas prestaciones técnicas o nuevas funcionalidades.

El proyecto MATLIG 2 (*Desarrollo de materiales ligeros con capacidad de obtención de propiedades ad-hoc para usos determinados*) pone el foco en los materiales ligeros y aligerados. Este tipo de materiales suscitan gran interés ya que presentan un menor impacto medioambiental y en algunos casos no muestran una merma importante en el resto de sus propiedades. Asociado a su peso sensiblemente reducido, estos materiales facilitan operaciones de transporte y montaje, reduciendo la huella de carbono generada. En concreto, el proyecto aborda principalmente aspectos relacionados con su capacidad como aislantes térmicos.

El proyecto consta de una parte de estudio y análisis de materiales ligeros y aligerados capaces de ofrecer unas propiedades similares a los productos convencionales en diversos usos específicos, y de otra de ensayo y caracterización de los mismos, con el fin de generar un conocimiento que pueda difundirse a las empresas para generar nuevas oportunidades de negocio.

En el presente documento se incluye una recopilación de las principales tareas llevadas a cabo durante la ejecución del proyecto MATLIG 2, con el objetivo de difundir sus resultados. Se recogen un resumen de los principales resultados obtenidos durante el año 2019.

## CONTENIDO

1. DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO
2. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN
3. OBJETIVOS GENERALES
4. OBJETIVO ESPECÍFICOS
5. RESULTADOS ESPERADOS
6. PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS
7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

## 1. DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO

**PROYECTO: MATLIG 2** (Desarrollo de materiales ligeros con propiedades ad-hoc para usos determinados)

Acrónimo: MATO

### PROGRAMA EN EL QUE SE DESARROLLA:

Líneas de I+D independiente del Plan de Actividades de carácter no económico de AIDIMME

### LINEA ESTRATÉGICA:

APLICACIONES AVANZADAS DE LOS MATERIALES. Estudio y desarrollo de nuevas aplicaciones para materiales compuestos y modificados, estructuras aligeradas, resistencia al fuego, etc.

### SUBLÍNEAS DE TRABAJO:

MAT 1. Modificación de propiedades post-tratamientos

MAT2. Materiales compuestos de base madera

MAT3. Uniones en aleaciones metálicas

MAT4. Caracterización avanzada de materiales conformados por procesos no convencionales

### ACTIVIDADES DE I+D INDEPENDIENTES:

IVACE FONDOS FEDER – WOODPLASTFOC

IVACE FONDOS FEDER – REFOC

IVACE FONDOS FEDER – DISSWELD

FONDOS GVA 2019 – MATLIG 2

## 2. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

Durante el año 2018 AIDIMME realizó dentro de las tareas del proyecto MATLIG un estudio de las características clave demandadas a los materiales aligerados que permitiera su comparación con los materiales convencionales.

Con la ejecución del proyecto MATLIG 2 llevada a cabo a lo largo del año 2019 se ha dado continuidad a los trabajos realizados, con la profundización y la puesta a punto de metodologías de análisis específicas y procedimientos internos de ensayo.

### 3. OBJETIVOS GENERALES

Ampliación de la recopilación de información relativa a las propiedades, familias, tipología de productos y requisitos que deben satisfacerse para los diferentes usos previstos de los materiales ligeros y aligerados.

Desarrollo de metodologías y procedimientos internos para el estudio de los materiales en función de su uso final.

Evaluar su aplicabilidad y su viabilidad en el hábitat, con el objetivo de mejorar la sensación de confort térmico de los usuarios.

### 4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Ampliación** de los **materiales ya analizados**, de forma que se **genere una base de datos** con un mayor número y tipo de materiales.
- **Generar nuevo conocimiento** acerca de la respuesta ante **diferentes factores de envejecimiento** de los materiales (cambios de humedad, temperatura, radiación ultravioleta...) de este tipo de materiales, dado que este punto es esencial y se detecta una carencia de esta información técnica en bibliografía.
- Caracterización de la **inercia térmica**, dado que ésta última no se puede determinar inequívocamente por el valor de una variable, existiendo actualmente múltiples aproximaciones para su estimación.
- **Estudio estadístico** de los datos obtenidos con el fin de establecer correlaciones entre las distintas propiedades analizadas que permitan anticipar su respuesta de forma que se permita la obtención de materiales con propiedades ad-hoc para ciertos usos determinados
- Disponer del conocimiento que permita evaluar la **potencialidad** de uso de los materiales para **adaptarlos a un uso concreto**.

### 5. RESULTADO ESPERADOS

De la ejecución del presente proyecto se pretende disponer de un conocimiento más profundo de las posibilidades que los materiales ligeros y aligerados pueden ofrecer en el campo del aislamiento térmico, permitiendo la obtención de productos altamente competitivos.

Del mismo modo, el desarrollo de nuevos materiales y metodologías de evaluación de los mismos favorecerá la obtención de valores de referencia que tomar como datos de partida para analizar su aptitud y viabilidad como aislantes térmicos y acústicos.

Adicionalmente, este proyecto constituye una continuación dentro de las líneas estratégicas de investigación en el campo de nuevos materiales de AIDIMME.

## 6. PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS

Dentro del proyecto, se han estudiado distintas tipologías de materiales ligeros y/o aligerados en base a distintos enfoques entre los que se encuentran:

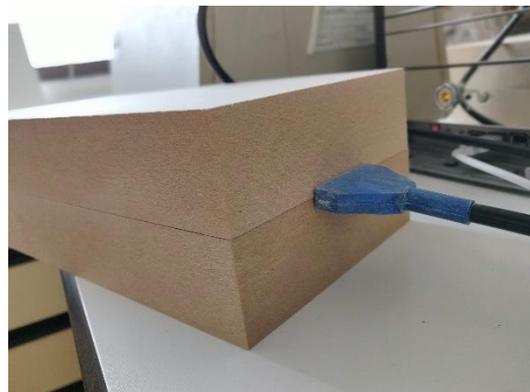
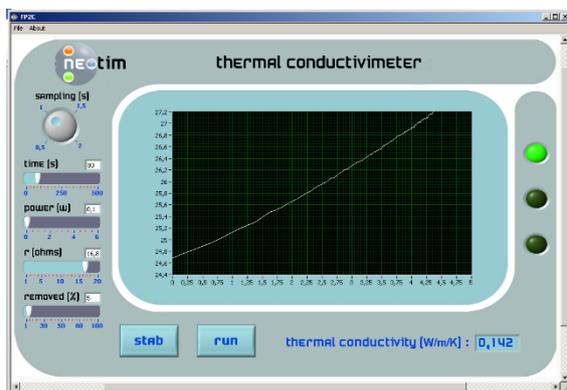
- Estudio de su conductividad térmica
- Estudio aislamiento acústico
- Aproximación a su inercia térmica
- Características tableros contrachapados empleados en construcción
- Tablero a base de resina poliéster cargas y madera reciclada
- Conductividad térmica de hormigón con material reciclado
- Estudio morteros térmicos

### 6.1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Dentro de la categoría de los métodos dinámicos transitorios para la determinación de la conductividad térmica se encuentra el **método del hilo caliente**, ya que su medida se basa en el empleo un flujo transitorio de calor. En esta técnica se transfiere calor desde una fuente controlada hacia el seno de un material y se registra el cambio de temperatura en el proceso de disipación de calor a través de la muestra, lo que permite la determinación de las propiedades térmicas de transporte del material.



La principal ventaja de este método es su rapidez y un costo más reducido en relación a los métodos normativos de referencia, método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor, ya que en este no es necesario esperar a que se alcance un régimen de estado estacionario. No obstante, presenta los inconvenientes de sólo poder ser empleado en materiales homogéneos y de no ser el método referencia que figura como requisito en la normativa y legislación.



En el proyecto se ha trabajado en la caracterización de nuevos materiales por el método de referencia y el método del hilo caliente para evaluar la utilidad de este último como método que permita obtener información como valor estimado y en desarrollo de productos. Asimismo, también se ha estudiado en algunos casos el efecto en la conductividad del envejecimiento en condiciones de alta humedad mediante el método del hilo caliente.

### Determinación conductividad térmica

Material	Método	Temperatura (°C)	Resultado (W/mK)
Tablero fibra vidrio referencia <sup>1</sup> (123 kg/m <sup>3</sup> )	Valor teórico	24,3	0,032
	Hilo caliente	24,3	0,029
Suelo laminado madera acetilada 6 mm (850 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,120
		20	0,128
Suelo laminado 8 mm (870 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,148
Suelo laminado 8 mm (890 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,145
		20	0,150
Tablero contrachapado uso encofrado (738 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,099
		20	0,099
Hormigón celular (450 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,125
	Hilo caliente	23	0,100
Tablero madera reciclada hidrofugada (590 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,079
		20	0,083
	Hilo caliente	20	0,088
Tablero cemento reforzado fibras	UNE-EN 12667		0,14
	Hilo caliente	20	0,144
Poliestireno expandido alta densidad (30 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,025
	Hilo caliente	23	0,022
	H.C. 23 °C /85 % H.R.	23	0,028
Poliestireno expandido baja densidad (10 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,041
	Hilo caliente	23	0,026
	H.C. 23 °C /85 % H.R.	23	0,030

<sup>1</sup> Tablero fibra de vidrio de referencia  $\lambda = (1,10489 \times 10^{-4}) \times T = 0,032$  (W/mkg)

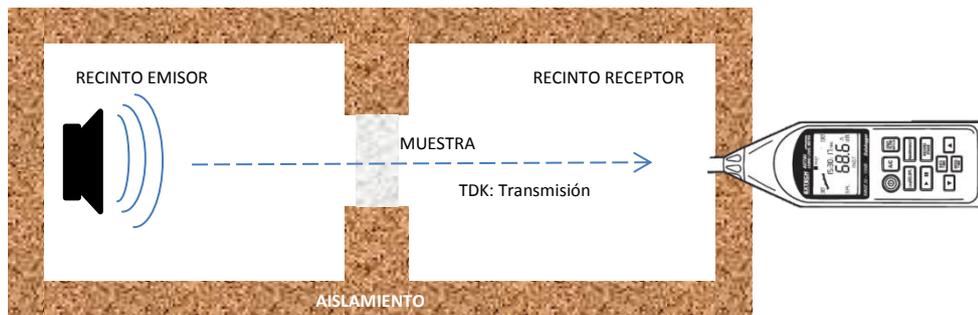
Material	Método	Temperatura ( °C)	Resultado (W/mK)
Tablero MDF en caras y núcleo de partículas y EPS	Hilo caliente	20	0,149
Tablero revestido melamina 45 mm, MDF caras y núcleo partículas (450 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,120
	H.C. 23 °C /85 % H.R.	20	0,142
Tablero fibras de madera (MDF) 80 mm (580 Kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,120
	H.C. 23 °C /85 % H.R.	20	0,081
Revestimiento pintura sobre fibrosilicato (1000 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,096
		20	0,105
		20	0,071
Polietileno expandido grafitado (13 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,033
		20	0,035
		Hilo caliente	20

## 6.2 AISLAMIENTO ACÚSTICO

En el campo de la construcción se citan valores de aislamiento acústicos de elementos constructivos que aparecen tabulados. No obstante, es necesario determinar mediante ensayo estos valores para que no se indiquen solamente a título orientativo, máxime cuando la solución constructiva o material innovador no figura en dichas tablas. Adicionalmente, cuando el material presenta elementos blandos a flexión tales como fibras de madera, cartón-yeso, etc. es imperativo realizar esta determinación mediante ensayo.

Para disponer de información aproximada sobre el aislamiento proporcionado por los materiales o soluciones que se están desarrollando, AIDIMME trabajó en el la puesta a punto de un método interno que permitiera discriminar el comportamiento acústico del material o sistema constructivo empleado en sus fases de desarrollo.

Para ello se diseñó un prototipo de equipo a partir del siguiente esquema:



Para la determinación del aislamiento acústico se mide la presión sonora ( $L_{eqT}$ ) en el local receptor, tanto para el blanco (sin muestra entre el local emisor y receptor,  $L_{eqT0}$ ), como para las diferentes muestras una vez colocadas entre el local emisor y el receptor ( $L_{eqT}$ ), en las bandas de tercio de octava entre 250 Hz y 8 kHz:

El espectro de ruido rosa que se utiliza en el ensayo consta de seis intervalos de frecuencia diferentes:

	Valor promedio (Hz)
176,8-353,5 Hz	250 Hz
353,6-707,1 Hz	500 Hz
707,1-1414,2 Hz	1000 Hz
1414,3-2828,4 Hz	2000 Hz
2828,5-5656,8 Hz	4000 Hz
5656,9-11313,7 Hz	8000 Hz

Las diferentes medidas se toman durante los 12 segundos que dura cada intervalo de frecuencias, de manera que tendremos para cada muestra 6 valores de  $L_{eqT0}$  para el blanco y 6 valores de  $L_{eqT}$  para la muestra, todo ello multiplicado por tres repeticiones que se hacen de cada muestra. Seguidamente con estos valores se calcula el aislamiento acústico específico global de cada tablero.

$$D = L_{eqT0} - L_{eqT}$$

Para el cálculo de aislamiento acústico global ( $D_{global}$ ) se hace la media de todos los aislamientos acústicos específicos de cada una de las frecuencias, de manera que se obtiene un valor para cada material que permite su comparación, de modo que cuanto mayor es el valor del aislamiento acústico global de un material, mayor aislamiento acústico presenta el mismo.

#### Sin muestra

	$L_{eqT}$ (dB)					
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
	98,2	100,0	99,0	98,3	98,0	97,5
	98,4	100,0	99,1	98,3	97,9	97,5
	98,3	99,4	99	98,2	97,9	97,4
Media	98,3	99,8	99,0	98,3	97,9	97,5
Desviación	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1

DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES DEL MATERIAL					RESULTADO
MATERIAL	R.F (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	( $\alpha$ ) (250 a 500 hz)	( $\alpha$ ) (1000 a 2000 hz)	$D_{global}$ (dB)
Tablero MDF muy ligero 45 mm (450 Kg/m <sup>3</sup> )	10	1200	0,10	0,20	19,3
Tablero compuesto por caras de MDF e interior tablero partículas 44 mm (450 Kg/m <sup>3</sup> )	7	1050	--	--	18,7
Tablero ligero compuesto por caras de MDF delgado y relleno de MDF muy ligero 50 mm (400 Kg/m <sup>3</sup> )	5	1200	0,10	0,20	17,6
Tablero ligero compuesto por caras de MDF delgado y relleno de MDF muy ligero 40 mm (450 Kg/m <sup>3</sup> )	8	1300	0,10	0,20	15,3
Tablero ultraligero formado por caras de MDF e interior de MDF delgado en forma de cuadrícula 50 mm (220 Kg/m <sup>3</sup> )	7	900	--	--	16,5

DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES DEL MATERIAL					RESULTADO
MATERIAL	R.F (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	(α) (250 a 500 hz)	(α) (1000 a 2000 hz)	D <sub>global</sub> (dB)
Tablero ultraligero formado por caras de MDF e interior de MDF delgado en forma de cuadrícula 38 mm (260 Kg/m <sup>3</sup> )	10	1000	--	--	17,0
Tablero fibras de madera (MDF) 80 mm (580 Kg/m <sup>3</sup> )	16	1700	0,10	0,20	18,6
Tablero ligero de fibras de madera (MDF) 44 mm (510 Kg/m <sup>3</sup> )	14	1200	0,10	0,20	18,6

R.F. Resistencia a la flexión; E: Modulo de elasticidad; α: Coeficiente de absorción Acústica: -- dato no disponible

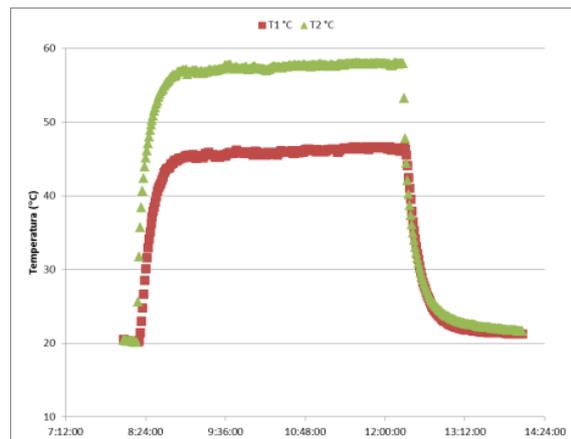
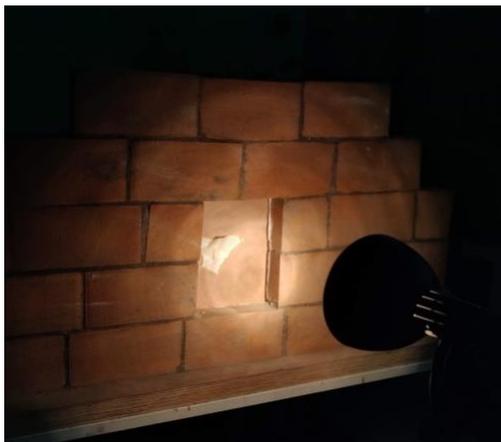
### 6.3 INERCIA TÉRMICA

La inercia térmica de un material suele definirse la inercia térmica como la capacidad de un objeto para absorber calor y mantenerlo. Dicha propiedad no se puede determinar inequívocamente por el valor de una variable, existiendo actualmente múltiples aproximaciones para su estimación. La inercia es el fruto de las propiedades intrínsecas de los materiales que conforma la solución constructiva a analizar, de su geometría, así como del entorno en el que se sitúa.

A la hora de estimar la inercia térmica de un material uno de los enfoques parte del cálculo de los factores de amortiguamiento y desfase generado en la respuesta del mismo ante un estímulo, en forma de excitación oscilatoria, que en muchos casos vendría a simular las condiciones variables entre el día y la noche a la que puede estar expuesta la envolvente de un edificio.

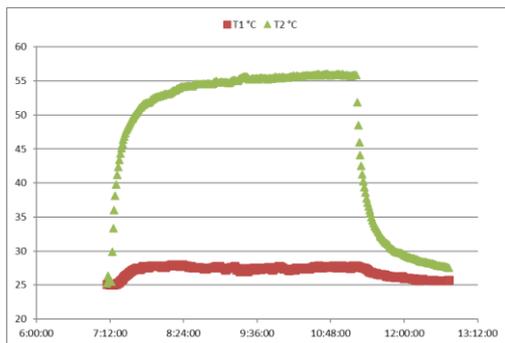
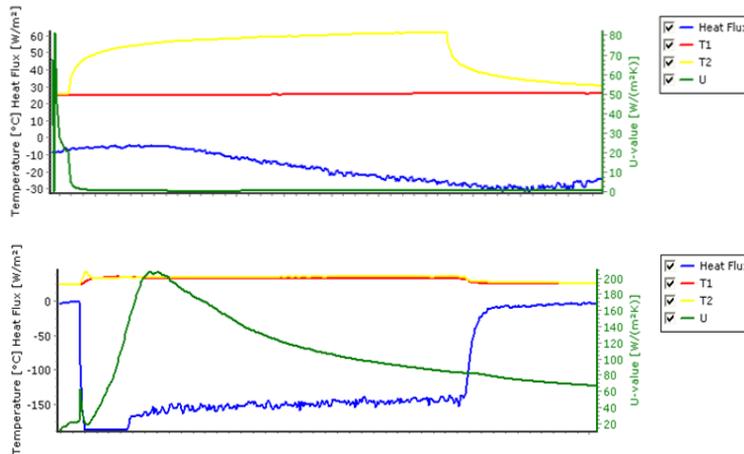
Cabe indicar que generalmente la eficiencia energética de los edificios es deficiente si estos se consideran como un intercambiador, principalmente debido a su poca área de transferencia, unos coeficientes de transferencia convectivos bajos, y a que los componentes másicos del edificio (paredes, suelos y techos) no suelen intervenir en el flujo de aire que se genera en el interior del edificio. Es por ello, que además del empleo de materiales con una elevada inercia térmica también es fundamental un buen diseño del edificio en lo relativo al aprovechamiento de los mismos.

Para intentar discriminar la inercia térmica de los distintos materiales o soluciones constructivas se diseñó un método interno basado en la fabricación de un muro material refractario en el que se dispuso una abertura en la que situar la muestra a analizar. Una vez fijada la muestra, se situó una fuente de radiación infrarroja (*Philips BR125 IR 250W E27 230-250V Rojo*) a una distancia determinada y se programó una perturbación de tipo pulso para analizar el comportamiento del material con ayuda de sensores de temperatura en la cara expuesta y la cara no expuesta y de sensores de flujo de calor.

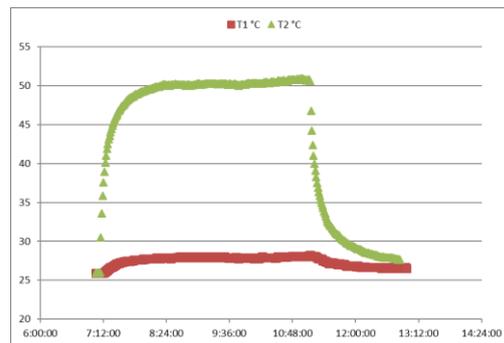


*Imagen montaje experimental (izquierda) y detalle monitorización temperaturas en cara expuesta a la radiación (T2) y cara no expuesta (T1)*

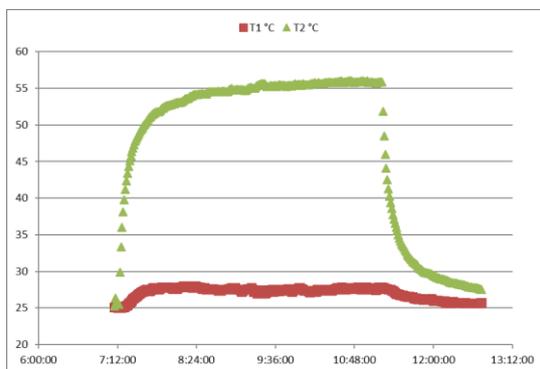
En base a este esquema se encontrarían materiales con cierta capacidad para absorber el calor y mantenerlo y liberarlo a lo largo de un cierto periodo de tiempo (tablero derivados de la madera, parte superior), mientras que otros materiales no consiguen que exista un desfase temporal entre la cara expuesta (T2) y la cara no expuesta (T1) (laminado de piedra con trasera de resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio, parte inferior)



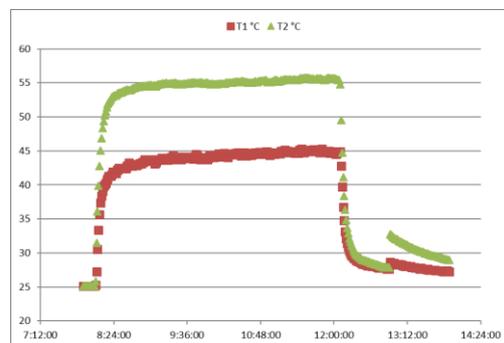
*Tablero ultraligero formado por caras de MDF e interior de MDF delgado en forma de cuadrícula 50 mm (220 Kg/m<sup>3</sup>)*



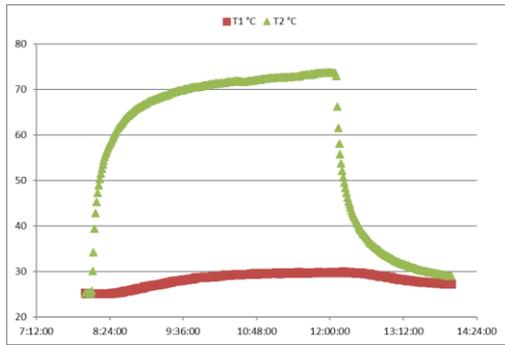
*Tablero ultraligero formado por caras de MDF e interior de MDF delgado en forma de cuadrícula 38 mm (260 Kg/m<sup>3</sup>)*



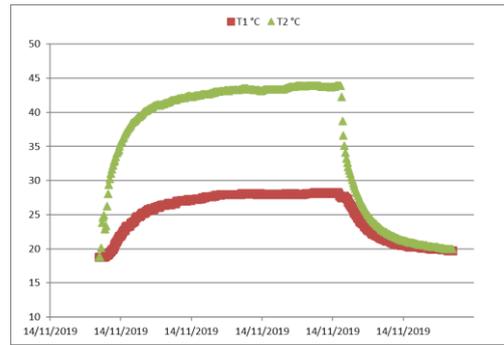
*Tablero fibras de madera (MDF) 80 mm (580 Kg/m<sup>3</sup>)*



*Laminado de piedra reforzado con resina de poliéster y fibra de vidrio*



Tablero MDF en caras y núcleo de partículas y EPS



Suelo laminado con lámina de corcho en cara inferior

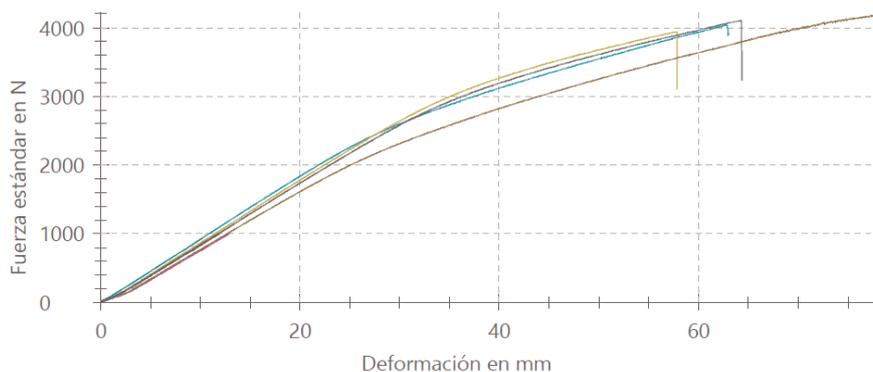
REFERENCIA	Amortiguamiento (°C)	Desfase (min)
Tablero contrachapado uso encofrado (738 kg/m <sup>3</sup> )	11,5	20
Suelo laminado con lámina de corcho en cara inferior	15,7	17
Tablero MDF en caras y núcleo de partículas y EPS	43,9	13
Laminado de piedra reforzado con resina de poliéster y fibra de vidrio	10,5	1
Tablero contrachapado uso encofrado (745 kg/m <sup>3</sup> )	11,5	21
Tablero ultraligero formado por caras de MDF e interior de MDF delgado en forma de cuadrícula 50 mm (220 Kg/m <sup>3</sup> )	28,0	12
Tablero ultraligero formado por caras de MDF e interior de MDF delgado en forma de cuadrícula 38 mm (260 Kg/m <sup>3</sup> )	22,7	9

## 6.4 TABLERO CONTRACHAPADO USO CONSTRUCCIÓN

El tablero contrachapado es uno de los materiales empleados para generar grandes superficies de hormigón sin juntas mediante encofrado. Este tipo de tablero es muy resistente y presenta una superficie lisa que ayuda a producir un acabado del hormigón visto excelente.

En su fabricación se suelen emplear láminas de distintas especies de madera, usualmente se emplean de abedul y/o abeto, que se encolan con adhesivos fenólicos y que finalmente se revisten mediante prensado a alta temperatura con una película impregnada en resina fenólica en ambas caras que aporta resistencia química y mecánica al tablero.

Dentro del proyecto se ha llevado a cabo un estudio de las propiedades de los mismos en base a sus densidades y espesores. En base a los resultados, se observa una relación directa entre espesor y resistencia a la flexión mientras que en cuanto a la densidad la relación es inversamente proporcional.



*Detalle equipo de ensayo y resultados obtenidos*

REFERENCIA	ESPESOR (mm)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (N/mm <sup>2</sup> )
C01 Abedul	6,5	805 (8)	10,5 (1,5)	58,8 (3,2)
C02 Abedul	9,1	735 (9)	8,9 (0,5)	53,4 (3,1)
C03 Abedul	12,0	715 (10)	10,8 (0,1)	46,4 (1,2)
C04 Abedul	15,0	709 (21)	9,3 (0,1)	44,5 (4,5)
C05 Abedul	17,8	740 (5)	10,6 (0,2)	42,3 (1,2)
C06 Abedul	20,8	732 (9)	10,4 (1,3)	39,8 (2,6)
C07 Abedul	29,8	685 (10)	9,2 (1,2)	36,2 (2,6)

REFERENCIA	ESPESOR (mm)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (N/mm <sup>2</sup> )
TC-08 Abeto	6,5	455 (5)	10,5 (1,5)	27,5 (4,5)
TC-09 Abeto	8,9	448 (6)	8,9 (0,5)	25,1 (2,8)
TC-10 Abeto	11,8	447(5)	10,8 (0,1)	21,3 (4,2)
TC-11 Abeto	14,9	430 (8)	9,3 (0,1)	20,7 (3,3)
TC-12 Abeto	17,7	432 (3)	10,6 (0,2)	18,2 (4,1)
TC-13 Abeto	20,9	425 (6)	10,4 (1,3)	17,8 (2,5)
TC-14 Abeto	29,7	416 (6)	9,2 (1,2)	17,5 (1,9)

## 6.5 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE HORMIGÓN CON MATERIAL RECICLADO

Se realizaron experiencias fabricando bloques de hormigón adicionados con materiales reciclados, empleándose Tereftalato de polietileno (PET) y celulosa. Para ello se emplearon distintas proporciones (10%, 20%, 50% y 75%)

Como conclusión se observó que el valor de la conductividad térmica disminuye en proporcionalmente a la mayor cantidad de material reciclado introducido en las probetas, tal como cabe esperar y aparece descrito en la literatura.



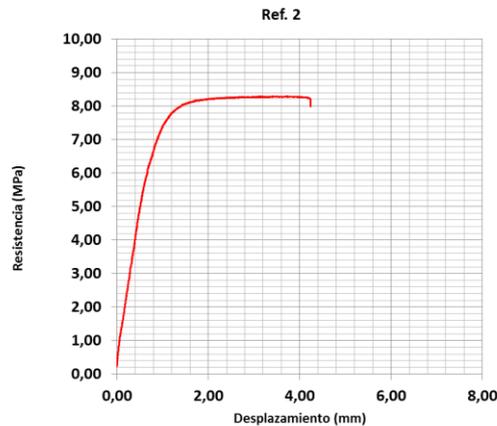
*Celulosa*

Referencia	Conductividad térmica (W/m K)
H-01 Bloque de control (arena, cemento)	2,111
H-02 10% celulosa	1,105
H-03 20% celulosa	0,922
H-04 50% celulosa	0,837
H-05 75% celulosa	0,565
H-06 10% PET	1,901
H-07 20% PET	1,826
H-08 50% PET	1,444
H-09 75% PET	0,813

## 6.6 TABLERO DERIVADO MADERA RECICLADA

En el caso de los tableros de madera reciclada se estudió la influencia del cambio de porcentaje másico de fibras empleado como refuerzo en cuanto a la resistencia a la tracción, partiendo de la formula base de un material compuesto de matriz polimérica de naturaleza poliéster e incrementando su porcentaje en la composición.

Existen múltiples factores que influyen de forma significativa en las propiedades las propiedades mecánicas de los materiales compuestos como la forma de las fibras, su orientación, las propiedades mecánicas de los componentes, la interacción con la matriz-refuerzo y las proporciones de los componentes dentro del material. En este caso se fijaron el resto de variables y se analizó el efecto del incremento de madera reciclada introducida. Tampoco se contempló el uso de agentes compatibilizantes.



### Resultados obtenidos:

MUESTRA	LÍMITE ELÁSTICO (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	ALARGAMIENTO ROTURA (%)
Producto base	6 (1)	8 (1)	6,7 (2)
Producto base + 10%	5 (1)	6 (1)	5,2 (2)
Producto base + 20%	8 (1)	11 (1)	9,8 (2)
Producto base + 30%	7 (1)	8 (1)	6,7 (2)

Se observa que la resistencia a la tracción disminuye respecto al material base con el incremento de fibra del 10%, tras esto se detecta un máximo en los valores de resistencia a la tracción para el 20%, y finalmente los valores vuelven a disminuir con un mayor porcentaje de fibra.

## 6.7 ESTUDIO MORTEROS TÉRMICOS CON POLIESTIRENO RECICLADO

En la edificación actual existe una necesidad creciente para mejorar el aislamiento de los edificios, es por ello que el uso de materiales aislantes como el poliestireno expandido, celulosa, fibra de vidrio, corcho, etc. es capital. Estos mismos materiales, así como la incorporación de estos mismos materiales una vez reciclados constituyen un componente importante en la fabricación de morteros térmicos.

Estos morteros térmicos, fabricados que emplean como ligantes cementos o cales y que incorporan como áridos ligeros materiales aislantes se emplean proyectados o dentro de soluciones técnicas constructivas aportando un peso reducido y un buen comportamiento térmico.



Dentro del proyecto se han estudiado distintas formulaciones de morteros térmicos en las que se ha variado la dosificación del árido ligero seleccionado (poliestireno expandido, virgen o reciclado) con el fin de optimizar sus prestaciones.

Referencia	Descripción
<b>MT-1</b>	Mortero convencional
<b>MT-2</b>	Mortero térmico (Poliestireno expandido (EPS) virgen)
<b>MT-3</b>	Mortero térmico (poliestireno expandido (EPS) con grafito +)
<b>MT-4</b>	Mortero térmico (poliestireno expandido (EPS) con grafito -)
<b>MT-5</b>	Mortero térmico (Poliestireno expandido (EPS) reciclado)
<b>MT-6</b>	Mortero térmico (Poliestireno expandido (EPS) virgen y reciclado 1:1)

En base a las propiedades intrínsecas de los componentes y su dosificación las propiedades del material pueden variar en gran medida. Los morteros térmicos presentan una conductividad térmica intermedia entre el material convencional de partida y el material aislante que se ha incorporado como árido ligero en la formulación.

Por otra parte, es importante controlar la merma en las prestaciones mecánicas del mortero debido al proceso de aligeramiento.

## Resistencia a la compresión



*Detalle del equipo de acondicionamiento y de las muestras colocadas en su interior*

Muestra	Longitud (mm)	Altura (mm)	Anchura (mm)	Sección transversal media (mm <sup>2</sup> )	Volumen medio (cm <sup>3</sup> )	Peso medio (g)	Densidad aparente media (g/cm <sup>3</sup> )
1.1	40.20	39.96	40.74	1617.14	64.90	53.51	0.82
1.2	40.09	40.15	39.46				
1.3	40.80	40.15	40.25				
1.4	40.23	40.13	40.01				

Muestra	Longitud (mm)	Altura (mm)	Anchura (mm)	Sección transversal media (mm <sup>2</sup> )	Volumen medio (cm <sup>3</sup> )	Peso medio (g)	Densidad aparente media (g/cm <sup>3</sup> )
2.1	40.15	40.16	40.30	1583.07	63.30	22.19	0.35
2.2	40.09	37.69	40.20				
2.3	40.22	40.27	40.36				
2.4	39.75	39.98	39.08				

Muestra	Longitud (mm)	Altura (mm)	Anchura (mm)	Sección transversal media (mm <sup>2</sup> )	Volumen medio (cm <sup>3</sup> )	Peso medio (g)	Densidad aparente media (g/cm <sup>3</sup> )
3.1	39.90	39.97	38.84	1574.07	61.00	11.36	0.19
3.2	38.89	39.51	38.53				
3.3	40.01	39.75	39.89				
3.4	39.07	40.30	38.66				

Muestra	Longitud (mm)	Altura (mm)	Anchura (mm)	Sección transversal media (mm <sup>2</sup> )	Volumen medio (cm <sup>3</sup> )	Peso medio (g)	Densidad aparente media (g/cm <sup>3</sup> )
4.1	40.34	40.17	40.06	1603.20	64.40	18.80	0.29
4.2	40.11	40.12	40.44				
4.3	40.13	39.32	40.14				
4.4	40.02	40.11	40.14				

Muestra	Longitud (mm)	Altura (mm)	Anchura (mm)	Sección transversal media (mm <sup>2</sup> )	Volumen medio (cm <sup>3</sup> )	Peso medio (g)	Densidad aparente media (g/cm <sup>3</sup> )
5.1	39.97	40.36	39.92	1574.00	62.80	15.80	0.25
5.2	39.84	38.75	40.00				
5.3	39.71	39.34	39.96				
5.4	39.44	39.98	39.75				

Muestra	Longitud (mm)	Altura (mm)	Anchura (mm)	Sección transversal media (mm <sup>2</sup> )	Volumen medio (cm <sup>3</sup> )	Peso medio (g)	Densidad aparente media (g/cm <sup>3</sup> )
6.1	39.99	39.72	34.42	1555.03	52.20	13.77	0.26
6.2	38.72	40.24	33.94				
6.3	39.68	39.20	32.36				
6.4	39.67	38.27	33.46				

**Resultados obtenidos:**

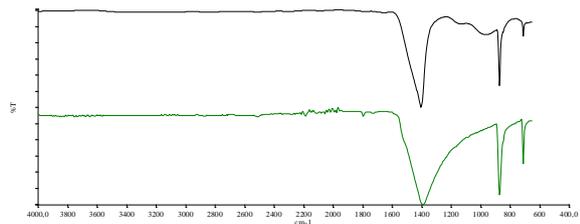
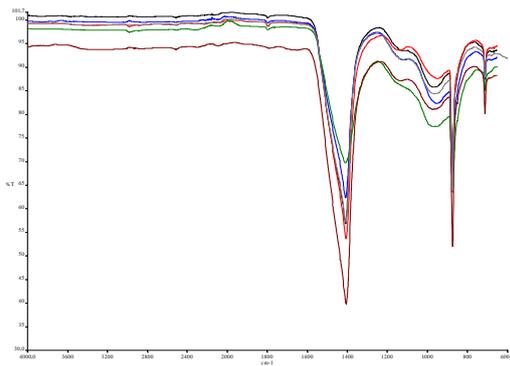
Referencia	Resistencia a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )
MT-1	2,3
MT-2	0,2
MT-3	0,1
MT-4	0,3
MT-5	0,2
MT-6	0,2



*Detalle del sistema de montaje y del utillaje empleado*

**Contenido en cenizas**

Contenido en cenizas					
Muestra	Masa crisol vacío (g)	Masa crisol + muestra <sub>0</sub> (g)	Masa crisol + muestra <sub>1</sub> (g)	Masa muestra (g)	CONTENIDO EN CENIZAS (%)
MT-1	35,29	38,30	37,97	3,02	89
MT-2	39,86	42,87	42,31	3,02	81
MT-3	42,90	45,92	45,34	3,02	81
MT-4	37,50	40,68	40,11	3,19	82
MT-5	44,08	47,16	46,63	3,10	82
MT-6	58,97	62,10	61,54	3,15	82



- Muestra tipo  
- Espectro IR carbonato cálcico referencia

En cuanto a la naturaleza de las cenizas obtenidas se detecta en todos los casos la presencia del carbonato cálcico y en menor medida sílice

### Conductividad térmica

Material	Método	Temperatura ( °C)	Resultado (W/mK)
<b>MT-1</b> (825 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,146
		20	0,148
	Hilo caliente	20	0,122
<b>MT-2</b> (550 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,067
		20	0,070
<b>MT-3</b> (210 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,053
		20	0,059
<b>MT-4</b> (361 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,069
<b>MT-5</b> (270 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,058
		20	0,060
	Hilo caliente	20	0,061
<b>MT-3</b> (260 kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 12667	10	0,053
		20	0,056

## 5.6 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En relación al estudio de la inercia de los materiales y soluciones constructivas sería interesante llevar a cabo un análisis más exhaustivo variando el tipo de perturbaciones de entrada y ampliar el número de muestras analizadas para validar el método, del mismo modo también sería necesario realizar un análisis de los mismos para el régimen de bajas temperaturas.

Por otra parte, cabe señalar que, salvo los metales y el vidrio, que son impermeables al vapor de agua, el resto de materiales presentan cierta permeabilidad, es por ello que, puesto que el agua posee un coeficiente de conductividad térmica elevado, una vez los materiales aligerados y aislantes entran en contacto con agua o humedad, sus prestaciones térmicas se reducen drásticamente. La condensación del vapor de agua en el seno de los materiales aislantes cambia sus propiedades y empeora su comportamiento térmico. El espacio que previamente ocupaba en muchos casos el aire, que es capaz de romper el proceso de conducción reduciendo la conductividad térmica, pasa a ser ocupado por agua, haciendo que la respuesta de los aislantes no sea la esperada.

En este sentido, conseguir que los materiales aislantes sean capaces de eliminar este contenido en humedad o impedir que ésta acceda a los mismos constituye una línea de trabajo en la que investigar con el fin de conseguir una elevada eficiencia energética en las construcciones.