

2017-2018

WOODPLASTFOC

Nº Expte: IMDEEA/2017/126

Programa: PROYECTOS DE I+D CON COLABORACIÓN DE EMPRESAS

Breve descripción.

Se ha recopilado en el presente informe las actividades realizadas y los resultados obtenidos durante el segundo año de desarrollo del proyecto WOODPLASTFOC con el fin de informar a todos los medios posibles y a las empresas.

Realizado por: AIDIMME



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa



A continuación se muestran cada una de las actividades desarrolladas dentro de cada paquete de trabajo del citado proyecto.

Paquete de trabajo 1 – Estado del arte de la técnica. Definición de los requisitos técnicos

Vinculado al trabajo desarrollado en este PT1, se ha elaborado el **entregable 1 (E1)** que tiene por título: **Estado del arte en cuanto a tecnologías, materias primas y aplicación final de los productos WPC.**

El estado del arte de los productos WPC indica que el uso de los WPC a nivel mundial no es nuevo, ya que el mercado de este tipo de materiales se inició en los Estados Unidos hace casi tres décadas, donde se desarrolló y creció ampliamente hasta la actualidad. El mercado de este tipo de productos en Europa ha ido rezagado casi una década respecto al mercado americano aunque en los últimos años se ha registrado crecimientos significativos especialmente en países escandinavos, Alemania y Holanda). A nivel nacional, se estima un crecimiento en torno al 20-25%, destacando un factor de crecimiento en torno al 30-35% en el sector asiático, debido en gran parte a la producción china.

Gran parte de este crecimiento se debe a las numerosas posibles aplicaciones en varios sectores, entre los que cabe destacar:

- **Construcción:** terrazas y balcones exteriores (decking), revestimientos, etc...
- **Mobiliario interior y exterior** (jardinería, vallas, etc.).
- **Equipos eléctricos:** teclados, carcasas para móviles, cajas eléctricas.
- **Automoción:** paneles de puertas, bandejas, salpicaderos.
- **Envase y embalaje:** pallets, cajas/contenedores.

Los sectores de aplicación más importantes son la construcción (terrazas/balcones, revestimiento y cercado/vallado) y partes interiores de automóviles. Entre el 10 y el 15% del mercado europeo de los materiales compuestos está cubierto por Wood-Plastic Composites (WPC) y Natural Fiber Composites (NFC)

El volumen total de producción de WPC en Europa fue de 260,000 toneladas en 2012 (más 92,000 toneladas de Compuestos de fibra natural para la industria de la automoción). El nivel de penetración en el mercado de composites de base biológica varía entre regiones y entre un campo de aplicación y otro. Alemania lidera el camino en términos de cantidad de productores y producción. El 45% (85,000 toneladas) de la producción europea de WPC para terrazas (decking), vallados y otras aplicaciones de construcción (190,000 toneladas), fue extruido por 20 compañías alemanas.

Usos	Producción 2012 (miles de Tn)	Porcentaje %
Terrazas/balcones (decking)	174	67
Automoción	60	23
Revestimiento/vallado	16	6
Aplicaciones técnicas (otros)	5	2
Muebles	2,5	1
Bienes de consumo	2,5	1
Total Europa	260	100

Figura 1. Distribución por usos de la producción europea de WPC

La Figura 2 muestra los diversos campos de aplicación de WPC producidos en Europa. El mercado de terrazas (decking) lidera con un 67% (principalmente extrusión), seguido en la producción de partes interiores de automóviles con un 23% (fabricados principalmente por moldeo por compresión y extrusión de láminas, así como termoformado). Aunque todavía presentan valores de producción muy pequeños, los revestimientos y vallado, junto con otras aplicaciones técnicas (principalmente fabricadas por extrusión), bienes de consumo y muebles (principalmente obtenidas por moldeo por inyección), muestran los mayores incrementos porcentuales en los últimos años.

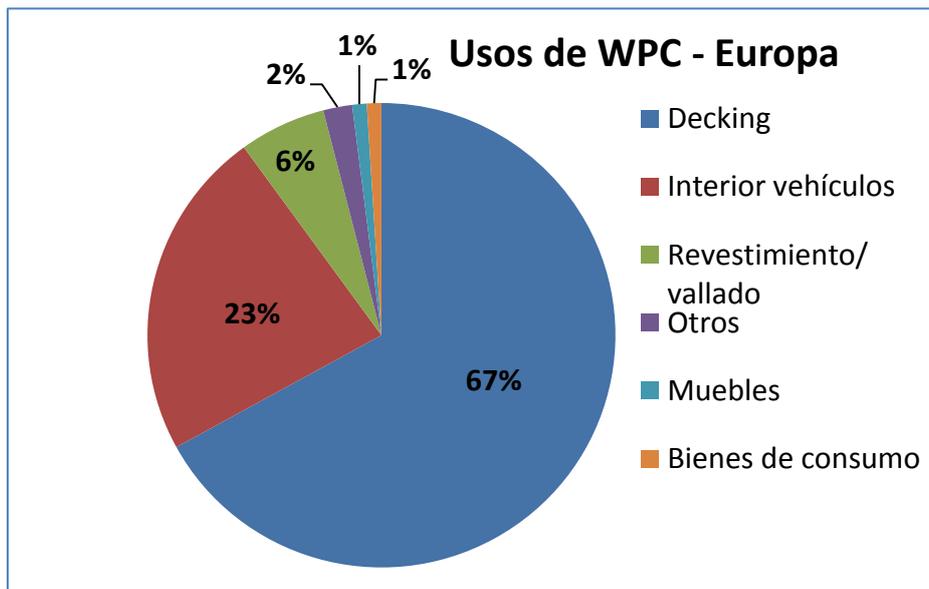


Figura 2. Diversos usos de WPC en Europa

El desarrollo de la distribución entre las posibles aplicaciones de los productos WPC apunta a que cada vez más se utiliza para otras aplicaciones distintas de las tradicionales (decking y automoción). Por ejemplo, productos WPC se utilizan cada vez más para producir muebles, piezas técnicas, bienes de consumo y electrodomésticos, utilizando moldeo por inyección y otros procesos diferentes del de extrusión.

Analizando la situación fuera del ámbito europeo podemos destacar que el mercado de terrazas/balcones (decking) de América del Norte vuelve a aumentar, después de un período de crisis de la vivienda y problemas de calidad de WPC que provocaron una sacudida de los principales productores de WPC.

Tal y como se ha mencionado, aproximadamente dos tercios de la producción de productos WPC está destinada al uso como decking, es decir, revestimiento de balcones y terrazas de uso exterior. Adicionalmente también tiene un marcado uso exterior los elementos de WPC tales como vallas y panelados de separación, aumentando hasta casi tres cuartos de la producción anual.

El 25% restante está dominado por productos WPC que serán utilizados como piezas en el sector de la automoción y otros vehículos ubicados en el interior.

Este análisis deja claro que los requisitos y ensayos que tengan como objetivo la evaluación del comportamiento en el exterior de materiales WPC adquieren especial relevancia. Dentro de los más representativos encontramos los grupos siguientes:

- **Durabilidad de los productos a los agentes biológicos**
- **Durabilidad de los productos al envejecimiento y la humedad**
- **Resistencia a los agentes biológicos**
- **Propiedades térmicas (conductividad térmica, reacción al fuego,...)**

No obstante, no hay que perder de vista los ensayos que tienen como objetivo la caracterización físicomecánica de los productos WPC para evaluar propiedades como densidad, módulo de flexión, deformación a la flexión, esfuerzo a la flexión, Resistencia a la tracción, esfuerzo de tracción en el punto de rotura, Módulo de Young.

Se realizó un estudio del estado del arte acerca de la información que proporcionan los fabricantes de varios productos WPC en sus páginas webs y fichas de producto y se pudo concluir que la información proporcionada acerca de las características es muy variada y rara vez coinciden. Cada fabricante decide declarar las propiedades que considera oportunas y esto hace que la comparación de los productos WPC existentes en el mercado sea muy complicada.

A su vez, en la mayoría de las ocasiones, las normas utilizadas para la evaluación de las propiedades proceden de normas del sector plástico o normas cuyo campo de aplicación es de los productos de madera y derivados de la madera.

Por estos motivos, es fundamental que los productos WPC sean ensayados según su normativa específica. Dicha normativa es de creciente creación y aún está en continuo desarrollo en alguna de sus partes. Uno de los hitos y objetivos de este proyecto es dar a conocer dicha normativa para que los productos WPC y NFC sean evaluados y comparados justamente.

Dependiendo del uso final de los productos WPC (perfiles, decking, revestimiento, vallado, etc...) los requisitos exigidos pueden variar enormemente, además de aplicar métodos de ensayo distintos. Durante la última década se ha ido desarrollando lentamente una normativa específica para productos compuestos de madera-plástico o fibra natural, la UNE-EN 15534, con el objetivo de que dichos productos no sean ensayados según normas de sus competidores naturales como son los productos fabricados exclusivamente de madera o aquellos que tienen una composición 100% polimérica.

Además, dicha normativa ha desarrollado partes específicas para cada tipo de producto, para intentar establecer un listado de requisitos obligatorios y otros adicionales, dependiendo del uso final de producto. Actualmente la normativa presenta 4 partes:

UNE EN 15534-2:2014 – Compuestos de madera-plástico (WPC). Parte 2: Caracterización de los materiales de WPC.

UNE EN 15534-4:2014 – Compuestos a base de materiales de celulosa y de termoplásticos [comúnmente llamados compuestos de madera-plástico (WPC) o compuestos de fibra natural (NFC)]. Parte 4: Especificaciones para perfiles de cubiertas y baldosas.

UNE EN 15534-5:2014. Compuestos a base de materiales de celulosa y de termoplásticos [comúnmente llamados compuestos de madera-plástico (WPC) o compuestos de fibra natural (NFC)]. Parte 5: Especificaciones para perfiles de revestimientos y baldosas.

UNE EN 15534-6:2014. Compuestos a base de materiales de celulosa y de termoplásticos [comúnmente llamados compuestos de madera-plástico (WPC) o compuestos de fibra natural (NFC)]. Parte 6: Especificaciones para perfiles y elementos para cercas

La parte 3 fue anulada por las partes 4 y 5 generadas posteriormente ya se produjo una división entre productos destinados al uso exclusivo exterior (parte 4) y aquellos productos que pueden llegar a tener un uso interior y/o exterior.

A su vez, también se llevó a cabo una recopilación de datos obtenidos de productos WPC ensayados en AIDIMME en los últimos años. El objetivo de esta actividad es poner de manifiesto que no todos los ensayos recogidos como obligatorios en la norma de producto, son realizados, predominando los ensayos físico mecánicos (flexión, módulo de elasticidad, dureza Brinell, etc...),.

En algunos casos, dependiendo del uso final de los productos puede ocurrir que estén sujetos a normativas específicas de seguridad, como es en el caso de comportamiento frente al fuego para revestimientos de paredes, techos y suelos.

Dichos requisitos adicionales son de obligado cumplimiento dependiendo de la legislación de cada territorio, por lo que no pueden ser incluidas como obligatorias en la norma (por eso figura como características adicionales).

En el caso de España, el Código Técnico de Edificación (CTE), publicado por el Ministerio de Fomento del Gobierno de España, dispone de un subapartado específico de seguridad contra incendios (DB SI). En el punto 4 del citado documento, se especifican las clases de reacción al fuego de los distintos elementos constructivos dependiendo de su ubicación y uso final.

SITUACIÓN DEL ELEMENTO	REVESTIMIENTOS ⁽¹⁾	
	DE PAREDES Y TECHOS ⁽²⁾⁽³⁾	DE SUELOS ⁽²⁾
Zonas ocupables ⁽⁴⁾	C-s2,d0	E _{FL}
Pasillos y escaleras protegidos	B-s1,d0	C _{FL} -s1
Aparcamientos y recintos de riesgo especial	B-s1,d0	B _{FL} -s1
Espacios ocultos no estancos, tales como patinillos, falsos techos o suelos elevados (excepto los existentes dentro de las viviendas) etc. o que siendo estancos, contengan instalaciones susceptibles de iniciar o de propagar un incendio	B-s3,d0	B _{FL} -s2 ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Siempre que superen el 5% de las superficies totales del conjunto de las paredes, del conjunto de los techos o del conjunto de los suelos del recinto considerado.

⁽²⁾ Incluye las tuberías y conductos que transcurren por las zonas que se indican sin recubrimiento resistente al fuego. Cuando se trate de tuberías con aislamiento térmico lineal, la clase de reacción al fuego será la que se indica, pero incorporando el subíndice L.

⁽³⁾ Incluye a aquellos materiales que constituyan una capa contenida en el interior del techo o pared y que no esté protegida por una capa que sea EI30 como mínimo

⁽⁴⁾ Incluye, tanto las de permanencia de personas, como las de circulación que no sean protegidas. Excluye el interior de viviendas. En uso Hospitalario se aplicarán las mismas condiciones que en pasillos y escaleras protegidos.

⁽⁵⁾ Véase el capítulo 2 de esta Sección (Locales y Zonas de Riesgo Especial)

⁽⁶⁾ Se refiere a la parte inferior de la cavidad. Por ejemplo, en la cámara de los falsos techos se refiere al material situado en la cara superior de la membrana. En espacios con clara configuración vertical (por ejemplo, patinillos) así como cuando el falso techo esté constituido por una celosía, retículo o entramado abierto, con una función acústica, decorativa, etc. , esta condición no es aplicable

Uno de los objetivos e hitos del proyecto era la elaboración de tablas que relacionaran las propiedades a evaluar, los requisitos, el método de ensayo y la norma donde se recoge dicho método de ensayo. Las tablas se han estructurado por tipo de producto y por familia de ensayo.

UNE EN 15534-2:2014 – Compuestos de madera-plástico (WPC)

Parte 2: Caracterización de los materiales de WPC

Esta especificación técnica identifica las propiedades requeridas y opcionales de los materiales compuestos de madera-plástico (WPC). Esta destinada a utilizarse como base para las especificaciones de los materiales WPC.

Características requeridas necesarias para caracterizar los materiales de WPC

Característica	Método de ensayo	Uso externo	Uso interno
Densidad	EN ISO 1183-1 EN ISO 1183-3	✓	✓
Temperatura de flexión por calor (HDT)	EN ISO 75-1 EN ISO 75-2	✓	✓
Propiedades de flexión - Módulos de flexión - Deformación a la flexión - Esfuerzo a la flexión	EN ISO 178	✓	✓
Hinchamiento y absorción de agua	EN 317	✓	✓
Resistencia contra los hongos basidiomicetos	ENV 12038	✓	-
Resistencia a la pudrición blanda causada por microhongos presentes en el terreno	CEN/TS 15083-2	✓	-
Resistencia a la decoloración por microhongos	ISO 16869	✓	-
Resistencia a la decoloración por algas	PrEN 15458	✓	-
Dilatación térmica lineal	ISO 11359-2	✓	-

Características opcionales necesarias para caracterizar los materiales de WPC

Característica	Método de ensayo	Uso externo	Uso interno
Contenido en humedad	ISO 16979	✓	✓
Impacto de flexión - Charpy	EN ISO 179-1/1fU	✓	✓
Propiedades en tracción - Resistencia a la tracción - Esfuerzo de tracción en el punto de rotura - Módulo de Young	EN ISO 527-1 EN ISO 527-2 (T.1B)	✓	✓
Comportamiento en fluencia (sólo para cubiertas) - Módulos de fluencia en flexión	EN ISO 899-2	✓	-
Resistencia indentación – dureza Brinell (sólo para cubiertas)	EN 1534	✓	-
Resistencia contra las termitas	EN 117	✓	✓
Resistencia contra los hongos basidiomicetos	ENV 12038	-	✓
Resistencia a la pudrición blanda causada por microhongos presentes en el terreno	CEN/TS 15083-2	-	✓
Resistencia a la decoloración por microhongos	ISO 16869	-	✓
Resistencia a la decoloración por algas	PrEN 15458	-	✓
Índice de oxígeno	EN ISO 4589-2	✓	✓

UNE EN 15534-4:2014 – Compuestos a base de materiales de celulosa y de termoplásticos [comúnmente llamados compuestos de madera-plástico (WPC) o compuestos de fibra natural (NFC)]

Parte 4: Especificaciones para perfiles de cubiertas y baldosas

Esta norma europea especifica las características de los perfiles de cubiertas y las baldosas a base de materiales de celulosa y termoplásticos, comúnmente denominados compuestos de madera-plástico (WPC) o compuestos de fibra natural (NFC) para uso externo.

Esta parte de la norma se aplica a perfiles extruidos pero también a baldosas fabricadas por otras técnicas de procesamiento de plásticos, por ejemplo, moldeado por inyección.

Características físicas

Característica	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Deslizamiento			
a) Ensayo del péndulo	Valor del péndulo ≥ 36	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.4.2	CEN/TS 15676
ó			
b) Ensayo de plano de inclinación	Clase C ($\geq 24^\circ$)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.4.3	En 13451-1:2011, Anexo E
ó			
c) Coeficiente dinámico de fricción (condición seco)	≥ 43	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.4.4	EN 13893
Masa lineal (aplicable a los perfiles)	Valores individuales $\geq 95\%$ de los valores declarados por el fabricante	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.5	Explicado sobre texto, no hay norma
Espesor, anchura y longitud (aplicable a los perfiles)	El fabricante debe declarar los valores dimensionales y sus tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.6.2	Explicado sobre texto, no hay norma
Desviación de la rectitud (aplicable a los perfiles)	El fabricante debe declarar la desviación de la rectitud y sus tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.6.3	Explicado sobre texto, no hay norma
Curvatura	El fabricante debe declarar el valor de la curvatura y sus tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.6.4	Explicado sobre texto, no hay norma

Características mecánicas

Resistencia al impacto por caída de masa

Requisitos	Parámetros de ensayo	Método de ensayo	Norma
Perfiles huecos			
Ninguna de las 10 probetas debe mostrar fallo con grieta de longitud $\geq 10\text{mm}$ o profundidad de indentación residual $\geq 0,5\text{ mm}$ En caso de que una falle, se deben ensayar 10 probetas más y no debe haber fallo con grieta de longitud $\geq 10\text{mm}$ o una profundidad de indentación residual $\geq 0,5\text{ mm}$	H: $(700 \pm 5)\text{ mm}$ M _s : $(1000 \pm 5)\text{ g}$	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.1.2.1	EN 477
Perfiles sólidos			
Ninguna de las 10 probetas debe mostrar fallo en una profundidad de indentación residual $\geq 0,5\text{mm}$. En caso de que una falle, se deben ensayar 10 probetas más y no deben presentar fallo con una profundidad de indentación residual $\geq 0,5\text{ mm}$	H: $(700 \pm 5)\text{ mm}$ M _s : $(1000 \pm 5)\text{ g}$	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.1.2.1	EN 477

Propiedades en flexión

Requisitos	Parámetros de ensayo	Método de ensayo	Norma
-F' _{max} $\geq 3300\text{ N}$ (valor medio aritmético) -F' _{max} $\geq 3000\text{ N}$ (valor medio aritmético)	Intervalo de uso declarado por el fabricante	UNE EN 15534-1:2014, anexo A	EN 310:1993
-Flexión bajo carga de $500\text{N} \leq 2,0\text{mm}$ (valor medio aritmético) - Flexión bajo carga de $500\text{N} \leq 2,5\text{mm}$ (valor medio aritmético)			

Comportamiento en fluencia

Requisitos	Parámetros de ensayo	Método de ensayo	Norma
Intervalo conocido de uso			
$A_s \leq 10$ mm para el valor medio aritmético $A_s \leq 13$ mm para valores individuales $A_{sr} \leq 5$ mm para el valor medio aritmético	El fabricante declara el intervalo de uso	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.4.1	Explicado sobre texto, no hay norma
Intervalo desconocido de uso			
$C_f \leq 6$ y CV (coeficiente de variación) $\leq 15\%$ $E_{IC} \geq 30\%$ y CV (coeficiente de variación) $\leq 15\%$		UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.4.2	Explicado sobre texto, no hay norma

Durabilidad de los productos a los agentes biológicos

Clases de uso ^a	Situación del servicio	Agentes biológicos
3	Uso externo, por encima del suelo	Basidiomicetos
4	Uso externo, en contacto con el suelo	Pudrición blanda causada por microhongos

^a Un producto se puede clasificar en clases de uso 3 o 4 o ambos

Característica	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Resistencia a los basidiomicetos	Se debe declarar el resultado del ensayo	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.2	ENV 12038
Resistencia a la pudrición blanda causada por microhongos	Se debe declarar el resultado del ensayo	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.3	CEN/TS 15083-2

Durabilidad de los productos al envejecimiento y la humedad

Propiedades	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Resistencia al envejecimiento artificial	Se debe declarar ΔL^* , $\Delta \alpha^*$, Δb^*	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.1	300 h EN ISO 4892-2 2016 h EN 927-6 750 h EN 16472
Dependiendo del método de ensayo, el mismo material se puede dirigir a diferentes valor de ΔL , $\Delta \alpha$, Δb			
Resistencia a la humedad en condiciones cíclicas de ensayo	<ul style="list-style-type: none"> - Media de la disminución de la resistencia a la flexión $\leq 20\%$ - Valor individual de la disminución de la resistencia a la flexión $\leq 30\%$ 	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.3.2 y 7.3.2	EN 321:2001 Propiedades de flexión según Anexo A (EN 310:1993)
Hinchamiento y absorción de agua (clase de uso 3 o 4)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Hinchamiento medio: $\leq 4\%$ en espesor $\leq 0,8\%$ en anchura $\leq 0,4\%$ en longitud 2) Valor individual de hinchamiento $\leq 5\%$ en espesor $\leq 1,2\%$ en anchura $\leq 0,6\%$ en longitud 3) Absorción de agua media $\leq 7\%$ en peso 4) Valor individual de la absorción de agua $\leq 9\%$ en peso 	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.3.1	EN 317
Ensayo de ebullición (sólo para control de producción)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Valor medio de absorción de agua $\leq 7\%$ en peso 2) Valores individuales de absorción de agua $\leq 9\%$ en peso 	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.3.3	Explicado sobre texto, no hay norma

Propiedades térmicas

Propiedades	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Coefficiente de expansión térmica lineal	$\leq 50 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.2	ISO 11359-2

Características adicionales

Se deben evaluar cuando lo requiera el cliente, una tercera parte o para cumplir con las regulaciones. El fabricante debe declarar el correspondiente resultado de ensayo y rendimiento, según proceda.

Propiedades	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Resistencia al envejecimiento natural	<ul style="list-style-type: none"> - Se debe declarar la disminución de la resistencia a la flexión - Se debe declarar ΔL^*, Δa^*, Δb^*, ΔE^* o la clasificación en escala de grises - Se debe declarar el cambio del módulo de elasticidad en flexión - El criterio de apariencia, según sea definido por el fabricante - Se deben declarar el lugar de exposición y las condiciones 	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.2	EN ISO 877-2 Metodo A o EN 927-3 Duración de la exposición: 8760 h

Propiedades	Método de ensayo	Norma
Propiedades térmicas		
Contracción por calor (aplicable a perfiles)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.3	EN 479
Acumulación de calor	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.4	Explicado sobre texto, no hay norma
Reacción al fuego – Ensayo de una fuente de llama	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.6.1	EN ISO 11925-2
Propagación del fuego – Ensayo de calor radiante	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.6.3	EN ISO 9239-1
Características mecánicas		
Módulo de elasticidad en flexión	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.3.2	Anexo A (EN 310:1993)
Resistencia a la flexión	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.3.2	Anexo A (EN 310:1993)
Resistencia a la indentación	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.5	EN 1534:2010
Resistencia a los agentes biológicos		
Resistencia a las termitas	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.4	EN 117
Resistencia a la decoloración microhongos decolorantes	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.4 y 8.5.5	ASTM D3273-00(2005) ISO 16869
Resistencia a la decoloración por algas	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.6	EN 15458:2007
Otras propiedades		
Resistencia la niebla salina (ensayo NSS)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.6	EN ISO 9227
Grado de enyesado	UNE EN 15534-1:2014, apartado 10.1	EN ISO 4628-6

UNE EN 15534-5:2014. Compuestos a base de materiales de celulosa y de termoplásticos [comúnmente llamados compuestos de madera-plástico (WPC) o compuestos de fibra natural (NFC)]

Parte 5: Especificaciones para perfiles de revestimientos y baldosas

Esta norma europea especifica las características de los perfiles de revestimiento y las baldosas a base de materiales de celulosa y termoplásticos, comúnmente denominados compuestos de madera-plástico (WPC) o compuestos de fibra natural (NFC) para uso interno o externo.

Esta parte de la norma se aplica a perfiles extruidos pero también a baldosas fabricadas por otras técnicas de procesamiento de plásticos, por ejemplo, moldeado por inyección.

Características físicas

Característica	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Masa lineal (aplicable a los perfiles)	Valores individuales $\geq 95\%$ de los valores declarados por el fabricante El fabricante debe declarar la masa lineal y las tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.5	Explicado sobre texto, no hay norma
Espesor, anchura y longitud (aplicable a los perfiles)	El fabricante debe declarar los valores dimensionales y sus tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.6.2	Explicado sobre texto, no hay norma
Desviación de la rectitud (aplicable a los perfiles)	El fabricante debe declarar la desviación de la rectitud y sus tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.6.3	Explicado sobre texto, no hay norma
Curvatura	El fabricante debe declarar el valor de la curvatura y sus tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.6.4	Explicado sobre texto, no hay norma

Características mecánicas

Requisitos	Parámetros de ensayo	Método de ensayo	Norma
Perfiles de material no celular			
Únicamente 1 de cada 10 probetas debe mostrar fallo	H: (1000 \pm 5) mm M _s : (500 \pm 2) g	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.1.2.2.1	EN 477:1995
Perfiles de material celular			
Únicamente 1 de cada 10 probetas debe mostrar fallo	H: (1000 \pm 5) mm M _s : (500 \pm 2) g	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.1.2.2.2	EN 477:1995

Propiedades en flexión

Requisitos	Parámetros de ensayo	Método de ensayo	Norma
-Flexión bajo carga de $250N \leq 5,0mm$ (valor medio aritmético) - Resistencia a la flexión	Intervalo de uso declarado por el fabricante	UNE EN 15534-1:2014, anexo A	EN 310:1993

Durabilidad de los productos a los agentes biológicos

Clases de uso	Situación del servicio	Agentes biológicos
2	Uso interno o lugar cubierto	Ninguno
3	Uso externo, por encima del suelo	Basidiomicetos

Característica	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Resistencia a los basidiomicetos	Se debe declarar el resultado del ensayo	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.2	ENV 12038

Durabilidad de los productos al envejecimiento y la humedad

Propiedades	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Resistencia al envejecimiento artificial (solo uso de clase 3)	- Se debe declarar ΔL^* , Δa^* , Δb^* - Criterio de apariencia, según sea definido por el fabricante	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.1	300 h EN ISO 4892-2 2016 h EN 927-6 750 h EN 16472
Resistencia a la humedad en condiciones cíclicas de ensayo (solo uso de clase 3)	- Flexión bajo una carga de $250 \text{ N} \leq 6,0 \text{ mm}$ (valor medio aritmético)	UNE EN 15534-1:2014, Anexo A	EN 310:1993
Hinchamiento y absorción de agua (clase de uso 2 o 3)	5) Hinchamiento medio: $\leq 10 \%$ en espesor $\leq 1,5 \%$ en anchura $\leq 0,6 \%$ en longitud 6) Valor individual de hinchamiento $\leq 12 \%$ en espesor $\leq 2 \%$ en anchura $\leq 1,2 \%$ en longitud 7) Absorción de agua media $\leq 8 \%$ en peso 8) Valor individual de la absorción de agua $\leq 10 \%$ en peso	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.3.1	EN 317
Ensayo de ebullición (sólo para control de producción)	3) Valor medio de absorción de agua $\leq 7 \%$ en peso 4) Valores individuales de absorción de agua $\leq 9 \%$ en peso	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.3.3	Explicado sobre texto, no hay norma

Propiedades térmicas

Propiedades	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Coefficiente de expansión lineal térmica (solo clase de uso 3)	$\leq 50 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.2	ISO 11359-2

Características adicionales

Se deben evaluar cuando lo requiera el cliente, una tercera parte o para cumplir con las regulaciones. El fabricante debe declarar el correspondiente resultado de ensayo y rendimiento, según proceda

Propiedades	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Resistencia al envejecimiento natural (solo clase de uso 3)	<ul style="list-style-type: none"> - Se debe declarar la disminución de la resistencia a la flexión - Se debe declarar ΔL^*, Δa^*, Δb^*, ΔE^* o la clasificación en la escala de grises - Se debe declarar el cambio del módulo de elasticidad en flexión - El criterio de apariencia, según sea definido por el fabricante - Se deben declarar el lugar de exposición y las condiciones 	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.2	EN ISO 877-2 Metodo A o EN 927-3 Duración de la exposición: 8760 h

Propiedades	Método de ensayo	Norma
Propiedades térmicas		
Contracción por calor (aplicable a perfiles)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.3	EN 479
Acumulación de calor	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.4	Explicado sobre texto, no hay norma
Características mecánicas		
Módulo de elasticidad en flexión	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.3.2	Anexo A (EN 310:1993)
Desgarro por clavos y tornillos	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.6	EN 13446
Resistencia a la incrustación	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.7	EN 1383
Comportamiento frente al fuego		
Reacción al fuego – Ensayo de una fuente de llama	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.6.1	EN ISO 11925-2
Ensayo utilizando un único objeto ardiendo (uso interior)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.6.2	EN 13823
Resistencia a los agentes biológicos		
Resistencia a las termitas	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.4	EN 117
Resistencia a la decoloración microhongos decolorantes	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.4 y 8.5.5	ASTM D3273-00(2005) ISO 16869
Resistencia a la decoloración por algas	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.6	EN 15458:2007
Otras propiedades		
Resistencia la niebla salina (ensayo NSS)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.6	EN ISO 9227
Grado de enyesado (solo para productos recubiertos)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 10.1	EN ISO 4628-6
Resistencia al pelado (solo para perfiles con hojas laminadas)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 10.3	Explicado sobre texto, no hay norma

UNE EN 15534-6:2014. Compuestos a base de materiales de celulosa y de termoplásticos [comúnmente llamados compuestos de madera-plástico (WPC) o compuestos de fibra natural (NFC)]

Parte 6: Especificaciones para perfiles y elementos para cercas

Esta norma europea especifica las características de los perfiles y elementos para cercas a base de materiales de celulosa y termoplásticos, comúnmente denominados compuestos de madera-plástico (WPC) o compuestos de fibra natural (NFC) para uso interno o externo.

Es aplicable para perfiles y elementos para cercas para sistemas de cercado no estructurales

REQUISITOS PARA LOS PERFILES PARA CERCADOS

Características físicas

Característica	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Masa lineal (aplicable a los perfiles)	Valores individuales $\geq 95\%$ de los valores declarados por el fabricante El fabricante debe declarar la masa lineal y las tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.5	Explicado sobre texto, no hay norma
Espesor, anchura y longitud (aplicable a los perfiles)	El fabricante debe declarar los valores dimensionales y sus tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.6.2	Explicado sobre texto, no hay norma
Desviación de la rectitud	El fabricante debe declarar la desviación de la rectitud y sus tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.6.3	Explicado sobre texto, no hay norma
Curvatura (si procede)	El fabricante debe declarar el valor de la curvatura y sus tolerancias	UNE EN 15534-1:2014, apartado 6.6.4	Explicado sobre texto, no hay norma

Características mecánicas

Requisitos	Parámetros de ensayo	Método de ensayo	Norma
Perfiles de material no celular			
Ninguna de las 10 probetas debe mostrar fallo	H: (1000 ± 5) mm M _s : (500 ± 2) g	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.1.2.2.1	EN 477:1995
Perfiles de material celular			
Ninguna de las 10 probetas debe mostrar fallo	H: (1000 ± 5) mm M _s : (500 ± 2) g	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.1.2.2.2	EN 477:1995

Propiedades en flexión

Requisitos	Parámetros de ensayo	Método de ensayo	Norma
Declaración de los módulos de elasticidad en flexión y en resistencia a la flexión	Espacio l ₁ : 20 veces el espesor <i>h</i> de la probeta y Espacio l ₁ ≥ 100 mm	UNE EN 15534-1:2014, anexo A	EN 310:1993

Durabilidad de los productos a los agentes biológicos

Clases de uso ^a	Situación del servicio	Agentes biológicos
3	Uso externo, por encima del suelo	Basidiomicetos
4	Uso externo, en contacto con el suelo	Pudrición blanda causada por microhongos

^a Un producto se puede clasificar en clases de uso 3 o 4 o ambos

Característica	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Resistencia a los basidiomicetos	Se debe declarar el resultado del ensayo	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.2	ENV 12038
Resistencia a la pudrición blanda causada por microhongos	Se debe declarar el resultado del ensayo	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.3	CEN/TS 15083-2

Durabilidad de los productos al envejecimiento y la humedad

Propiedades	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Resistencia al envejecimiento artificial	- Se debe declarar ΔL^* , $\Delta \sigma^*$, Δb^*	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.1	300 h EN ISO 4892-2 2016 h EN 927-6 750 h EN 16472
Resistencia a la humedad en condiciones cíclicas de ensayo	- Media de la disminución de la resistencia a la flexión $\leq 20\%$ - Valor individual de la disminución de la resistencia a la flexión $\leq 30\%$	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.3.2 y 7.3.2	EN 321:2001 Propiedades de flexión según Anexo A (EN 310:1993)

Propiedades térmicas

Propiedades	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Coefficiente de expansión lineal térmica	$\leq 50 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.2	ISO 11359-2

Características adicionales

Se deben evaluar cuando lo requiera el cliente, una tercera parte o para cumplir con las regulaciones. El fabricante debe declarar el correspondiente resultado de ensayo y rendimiento, según proceda

Propiedades	Requisitos	Método de ensayo	Norma
Resistencia al envejecimiento natural	<ul style="list-style-type: none"> - Se debe declarar la disminución de la resistencia a la flexión - Se debe declarar ΔL^*, Δa^*, Δb^*, ΔE^* o la clasificación en la escala de grises - Se debe declarar el cambio del módulo de elasticidad en flexión - El criterio de apariencia, según sea definido por el fabricante - Se deben declarar el lugar de exposición y las condiciones 	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.2	EN ISO 877-2 Metodo A o EN 927-3 Duración de la exposición: 8760 h

Propiedades	Método de ensayo	Norma
Propiedades térmicas		
Contracción por calor (aplicable a perfiles)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.3	EN 479
Acumulación de calor	UNE EN 15534-1:2014, apartado 9.4	Explicado sobre texto, no hay norma
Características mecánicas		
Resistencia a la indentación	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.5	EN 1534:2010
Arranque del clavo y tornillo	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.6	EN 13446
Resistencia a la incrustación	UNE EN 15534-1:2014, apartado 7.7	EN 1383
Resistencia a los agentes biológicos		
Resistencia a las termitas	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.4	EN 117
Resistencia a la decoloración microhongos decolorantes	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.4 y 8.5.5	ASTM D3273-00(2005) ISO 16869
Resistencia a la decoloración por algas	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.6	EN 15458:2007
Otras propiedades		
Resistencia la niebla salina (ensayo NSS)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.6	EN ISO 9227
Grado de enyesado, sólo para productos recubiertos	UNE EN 15534-1:2014, apartado 10.1	EN ISO 4628-6
Resistencia al pelado (perfiles con hojas laminadas)	UNE EN 15534-1:2014, apartado 10.3	Explicado sobre texto, no hay norma

REQUISITOS DE LOS ELEMENTOS PARA CERCAS

Característica	Requisitos	Método de ensayo
Deformación debida a la exposición a la radiación térmica del sol	Máximo arco: 1% del espacio (distancia entre dos fijaciones) Máximo curvado: 1% de la anchura del elemento para cercado	UNE EN 15534-1:2014, apartado 8.5.2

Resumen de las actividades desarrolladas

En el estado del arte de los productos WPC también hubo espacio para el estudio de los retardantes de llama utilizados hasta la fecha, dado que uno de los objetivos del proyecto es el desarrollo de nuevos productos WPC que presenten una mejora en el comportamiento frente al fuego de nuevos productos. No obstante, la información proporcionada será ubicada en el PT3, al estar directamente relacionada con los entregables 4 y 5, que tratan del uso de ignífugos en los productos WPC.

De manera análoga se procede con el estudio del arte de los componentes de la matriz polimérica y de la matriz celulósica. En el entregable 3, perteneciente al PT3, se ha realizado un estudio del arte sobre las principales matrices celulósicas (harina de madera, fibra de celulosa y fibras naturales: kenaf, yute, sisal, bambú, cáscara de arroz, fibra de coco) y sobre las principales matrices poliméricas (polietileno, policloruro de vinilo, polipropileno, poliestireno, ácido poliláctico).

No obstante, el uso eminentemente exterior de los productos WPC (terrazas, baldosas, vallados, productos de jardín, etc...) hace que las propiedades que evalúan el comportamiento de dichos materiales en el exterior cobren especial importancia. En este punto se analiza el estado del arte poniendo el foco de atención en las **propiedades biocidas** (degradación por hongos y bacterias). Es por ello que se ahondó en el estado del arte de estas características, averiguando que Existen numerosos estudios en los que su objetivo principal es poder alargar la vida útil de los materiales WPC existentes actualmente en el mercado, o lo que es lo mismo, aumentar la durabilidad de este tipo de material compuesto de residuos de plástico y madera. Los estudios se han dedicado tanto al estudio de aumentar la resistencia frente a hongos, así como también frente a bacterias, todos ellos microorganismos que pueden dañar los elementos de WPC y/o mermar sus propiedades higiénicas. Los compuestos WPC pueden contener un porcentaje de entre el 60-80% de astillas, fibras o partículas de madera de madera que se aglomeran con termoplásticos como el polipropileno, polietileno o PVC en proporciones mucho más pequeñas (alrededor del 20 %) para su extrusión en moldes.

El plástico también puede verse sujeto a degradación por bacterias y hongos debido a la composición de plastificantes que contenga. Por ejemplo el PU presenta esteres, ureas, uretanos, aminas, biurets y alofanatos que pueden servir de fuente de alimento para los microorganismos. Otros polímeros pueden presentar nitratos de celulosa, acetatos de celulosa, policaprolactonas, polietilén succinatos, alcoholes polivinílicos, poliestirenos, poliuretanos, policacetatos, poliglicolatos, nylons, etc. A continuación, se muestran los Plastificantes susceptibles al crecimiento de microorganismos (ordenados de forma decreciente):

<i>Tricresyl phosphate</i>
<i>Diisooctyl phthalate</i>
<i>Dioctyl phthalate</i>
<i>Bibutyl phthalate</i>
<i>Dinonyl phthalate</i>
<i>Dioctyl adipate</i>

Resumen de las actividades desarrolladas

<i>Dimethyl sebacate</i>
<i>Diisooctyl adipate</i>
<i>Diisooctyl sebacate</i>
<i>Butyl stearate</i>
<i>Dioctyl sebacate</i>
<i>Dihexyl adipate</i>
<i>Dibutyl sebacate</i>
<i>Dicapryl adipate</i>
<i>Dibenzyl sebacate</i>
<i>Polypropilene sebacate</i>
<i>Methyl ricinoleate</i>
<i>Butyl ricinoleate</i>
<i>Butoxyethyl stearate</i>
<i>Zinc ricinoleate</i>

Normalmente los daños que causan están relacionados con efectos físicos, como es la aparición de *cracking*, pérdida de peso, pérdida de integridad estructural, pérdida de brillo o corrosión. Se considera que el crecimiento de hongos sobre los plásticos puede estar relacionado con el “síndrome del edificio enfermo”, puesto que las toxinas que puedan excretar los hongos llegan a enfermar a las personas que habitan en un ambiente contaminado. Otros efectos que pueden causar son simplemente estéticos, como decoloración del sustrato, manchado, o que el mismo crecimiento visible a simple vista puede llegar a ser desagradable.

Como sistema de mantenimiento de los productos WPC, se recomienda su cepillado habitual, pero ello comporta que se provoque un desgaste superficial que deja al descubierto la fibras y partículas de madera que conforma este material. Este desgaste provoca que la madera se vea más expuesta a la humedad ambiental, si se encuentra en condiciones de exterior, lo que puede favorecer la aparición de hongos y mohos en su superficie con el paso del tiempo. El desarrollo en superficie de este tipo de microorganismos puede llevar numerosos problemas, desde un agrietado (pudrición) hasta la decoloración del material, lo que conlleva un problema estético, tal y como ocurre en la madera natural en condiciones de exterior.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Los hongos que presentan mayor potencial para crecer sobre materiales plásticos y derivados son:

<i>Alternaria alternata</i>	<i>Curvularia sp</i>	<i>Nigrospora spherical</i>	<i>Spicaria</i>
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Epicoccum purpurascens</i>	<i>Paecilomyces varitotii</i>	<i>Sporobolomyces roseus</i>
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Fusarium semitectum</i>	<i>Penicillium citrinum</i>	<i>Stemphylium sp</i>
<i>Aureobasidium pullulans</i>	<i>Gliocadium roseum</i>	<i>Pestalotia neglecta</i>	<i>Tetracocco sporium sp</i>
<i>Botryotichum sp</i>	<i>Haligena unicordata</i>	<i>Phoma sp</i>	<i>Trichoderma harzianum</i>
<i>Cephalosporium sp</i>	<i>Helminthosporium sp</i>	<i>Phytophthora sp</i>	<i>Ulocladium chartarum</i>
<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Lulworthia purpurea</i>	<i>Pythium sp</i>	<i>Zalerion maritima</i>
<i>Cladosporium resinae</i>	<i>Mesobotrys sp</i>	<i>Rhizopus sp</i>	
<i>Cladosporium sp</i>	<i>Monilia sp</i>	<i>Rhodotorula sp</i>	
<i>Corollospora marítima</i>	<i>Nigrospora oryzae</i>	<i>Scopulariopsis sp</i>	

Paquete de trabajo 2 – Estado del arte de la técnica. Definición de los requisitos técnicos

Vinculado al trabajo desarrollado en este PT2, se ha elaborado el entregable 1 (E2) en el que elaboró un Informe sobre la determinación de las propiedades de los distintos materiales evaluados y especificaciones técnicas a cumplir por los desarrollados en el proyecto.

Tomando como base la recopilación de requisitos dependiendo de las condiciones finales de uso, y ante la falta de una base de datos de resultados reales de diversos ensayos sobre un mismo producto WPC, se adquirieron muestras comerciales reales de WPC intentando abarcar el mayor número posible de aplicaciones posibles. Adicionalmente, para el desarrollo de esta actividad se contó con la cooperación de la empresa **ABANDA HOME CONTRACT, S.L.**, que proporcionó dos tipos de probetas fabricadas en WPC.

Caracterización instrumental

La opacidad de las empresas productoras hizo que fuera realmente complicado conocer la naturaleza de la matriz polimérica y prácticamente imposible el determinar los aditivos utilizados en la fabricación de un determinado producto.

Con el fin de disponer de una caracterización más profunda de los productos adquiridos para después poder establecer posibles relaciones entre resultados obtenidos y naturaleza de los productos que lo componen, se llevaron a cabo dos técnicas analíticas instrumentales de caracterización: **espectroscopia infrarroja (IR)** y calorimetría diferencial de barrido (**DSC**).

En la siguiente tabla se recoge un resumen tras la combinación de los resultados de ambos ensayos de caracterización instrumental:

Referencia	Composición tras análisis instrumental
WPF-01- Perfil 1	Policloruro de vinilo (PVC) y madera
WPF-02- Baldosa 1	Polietileno de alta densidad (HDPE) y madera
WPF-03- Perfil 2	Polietileno de alta densidad (HDPE) y madera
WPF-04- Perfil 3	Policloruro de vinilo (PVC) (sin madera)
WPF-05- Baldosa 2	Poliestireno (sin madera)
WPF-06- Baldosa 3	Mezcla de PVC + EVA y madera
WPF-07- Baldosa 4	Polipropileno (PP) y madera
WPF-08- Zócalo 1	Polietileno (sin madera)

Como se puede observar de las ocho muestras comerciales denominadas como productos WPC, **hay tres de ellos que no presentan en su composición matriz polimérica y por lo tanto no deberían ser englobados como productos WPC.**

El resto de probetas sí que presentan una mezcla de polímero y de matriz celulósica, siendo complicada la identificación de posibles aditivos utilizados para mejorar prestaciones.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Caracterización productos comerciales WPC

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales del proyecto era la mejora del comportamiento frente al fuego de los productos WPC, se estructuraron dos grandes grupos de ensayo:

- Ensayos de reacción al fuego
- Caracterización de propiedades valiosas dependiendo del uso final del producto

Evaluación de las prestaciones frente al fuego

Independientemente del uso final del producto, se evaluaron las prestaciones frente al fuego de los materiales recopilados con distintos métodos de ensayo con el fin de obtener una correlación, que permitan en el futuro su utilización como herramienta de predicción, para evitar la producción de probetas de dimensiones mayores de un producto WPC que no cumplan con los requisitos mínimos exigidos para su aplicación final.

Los ensayos seleccionados para la evaluación de las prestaciones frente al fuego, fueron los siguientes:

- **Índice de oxígeno (EN ISO 4589-2).** Se pretende conocer la cantidad mínima de oxígeno presente en la atmósfera que es necesaria para provocar la combustión.



Figura 3. Muestra de WPC durante el ensayo LOI

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

- **Inflamabilidad horizontal (ISO 3795).** Se evalúa el comportamiento frente a la acción de una llama que ataca a una probeta dispuesta horizontalmente.



Figura 4. Cámara de ensayo inflamabilidad horizontal

- **Inflamabilidad vertical (EN ISO 11925-2).** Se evalúa el comportamiento frente a la acción de una llama que ataca a una probeta dispuesta verticalmente.



Figura 5. Muestra de WPC durante el ensayo del pequeño quemador

- **Panel radiante (EN ISO 9239-1).** Se evalúa el comportamiento frente a la acción de un foco radiante y de un frente de llama.



Figura 6. Muestra de WPC durante el ensayo del panel radiante

Resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de reacción al fuego

Índice de oxígeno (EN ISO 4589-2)

En el cuadro adjunto se resumen los resultados obtenidos en el ensayo LOI

Muestra	Concentración de oxígeno (%)
WPF-02-Baldosa-01	14,0
WPF-05-Baldosa-02	13,5
WPF-06-Baldosa-03	25,0
WPF-07-Baldosa-04	8,5

Discusión de los resultados:

Teniendo en cuenta las composiciones de las probetas, cabe destacar que la probeta con matriz polimérica de PVC (**WPF-06-Baldosa-03**) es la que obtiene mejor resultado, cosa que no es de extrañar, debido a las inherentes propiedades del PVC como retardante de llama, además de poder tener en su composición algún aditivo más que ayudara a frenar el avance de llama.

No se observaron diferencias entre el HDPE (probeta **WPF-02-Baldosa1**) y poliestireno (**probeta WPF-05-Baldosa 2**), aunque se intuye una mayor peligrosidad de la baldosa cuya composición es únicamente de polímero de poliestireno.

Aunque el peor resultado fue el obtenido por la probeta de polipropileno, no se pueden extraer conclusiones, ya que se desconoce el porcentaje de polímero y de fibra de madera usado y por lo tanto no es comparable con los anteriores

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Inflamabilidad horizontal (ISO 3795).

En el cuadro adjunto se resumen los resultados obtenidos en el ensayo de inflamabilidad horizontal

Muestra	Velocidad de combustión (mm/min)
WPF-02-Baldosa-01	0,0
WPF-05-Baldosa-02	0,0
WPF-06-Baldosa-03	0,0
WPF-07-Baldosa-04	0,0

Discusión de los resultados:

Como se puede observar en el presente ensayo no es válido ya que no detecta las diferencias existentes entre las distintas muestras. Se desestima el ensayo del resto de muestras por el citado motivo.

Inflamabilidad vertical (EN ISO 11925-2).

En los cuadros adjuntos se resumen los resultados obtenidos en el ensayo de inflamabilidad horizontal

Condiciones del ensayo	
Tiempo de aplicación de la llama (s)	30
Condiciones de exposición (superficie y/o borde)	Superficie
Planicidad del material (S/N)	Si

Resultados de ensayo				
Muestra	WPF-01-Perfil-01		WPF-02-Baldosa-01	
Probeta	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Ignición de la probeta (S/N)	No	No	No	No
¿Alcanza la llama los 150 mm? (S/N)	No	No	No	No
Tiempo en que la llama alcanza los 150 mm (s)	-	-	-	-
Ignición papel de filtro (S/N)	No	No	No	No
Alteraciones superf. o deform. de la probeta (S/N)	Si	Si	Si	Si

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Otras observaciones	Ennegrecimiento de la superficie que está en contacto con la llama.	Ennegrecimiento de la superficie que está en contacto con la llama.
---------------------	---	---

Resultados de ensayo				
Muestra	WPF-03-Perfil-02		WPF-04-Perfil-03	
Probeta	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Ignición de la probeta (S/N)	No	No	No	No
¿Alcanza la llama los 150 mm? (S/N)	No	No	No	No
Tiempo en que la llama alcanza los 150 mm (s)	-	-	-	-
Ignición papel de filtro (S/N)	No	No	No	No
Alteraciones superf. o deform. de la probeta (S/N)	Si	Si	Si	Si
Otras observaciones	Ennegrecimiento de la superficie que está en contacto con la llama.		Ligero burbujeo y posterior ennegrecimiento de la superficie que está en contacto con la llama	

Resultados de ensayo				
Muestra	WPF-05-Baldosa-02		WPF-06-Baldosa-03	
Probeta	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Ignición de la probeta (S/N)	Si	Si	No	No
¿Alcanza la llama los 150 mm? (S/N)	No	No	No	No
Tiempo en que la llama alcanza los 150 mm (s)	-	-	-	-
Ignición papel de filtro (S/N)	No	No	No	No
Alteraciones superf. o deform. de la probeta (S/N)	Si	Si	Si	Si
Otras observaciones	Burbujeo y ligera fusión de la superficie que está en contacto con la llama.		Carbonización y posterior ennegrecimiento de la superficie que está en contacto con la llama	

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Resultados de ensayo				
Muestra	WPF-07-Baldosa-04		WPF-08-Zócalo-01	
Probeta	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 1	Probeta 2
Ignición de la probeta (S/N)	No	No	No	No
¿Alcanza la llama los 150 mm? (S/N)	No	No	No	No
Tiempo en que la llama alcanza los 150 mm (s)	-	-	-	-
Ignición papel de filtro (S/N)	No	No	No	No
Alteraciones superf. o deform. de la probeta (S/N)	Si	Si	Si	Si
Otras observaciones	Ennegrecimiento de la superficie que está en contacto con la llama.		Ennegrecimiento y fusión de la superficie que está en contacto con la llama.	

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Fotografías de las muestras tras los ensayos del pequeño quemador



Discusión de los resultados:

Todas las muestras quedan ambas clasificadas como **E_{FL}**, al superar el ensayo de pequeño quemador, si bien el comportamiento de las muestras es variable.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Panel radiante (EN ISO 9239-1)

A continuación se recogen los resultados en una tabla resumen:

	WPF-02- Baldosa-01	WPF-05- Baldosa-02	WPF-06- Baldosa-03	WPF-07- Baldosa-04
Fecha del ensayo	05/04/2018	28/03/2018	14/05/18	14/05/18
Especificaciones equipo / Condiciones anteriores al ensayo				
Velocidad del flujo de aire (m/s)	2,47	2,53	2,47	2,49
Temperatura panel radiante (°C)	581	577	579	579
Temperatura cámara ensayo (°C)	162	155	104	105
Cálculos de resultados / Eventos registrados				
CHF / HF (kW/m ²)	4,8	1,2	≥11	1,1
HF-10 (kW/m ²)	9,5	1,2	≥11	1,1
HF-20 (kW/m ²)	6,3	1,2	≥11	1,1
HF-30 (kW/m ²)	4,8	1,2	≥11	1,1
Tiempo en que la llama alcance la distancia de	50 mm	416	172	311
	100 mm	515	196	-
	150 mm	600	228	-
	200 mm	689	258	-
	250 mm	871	277	-
	300 mm	1046	287	-
	350 mm	1271	306	-
	400 mm	1653	316	-
	450 mm	-	335	-
	500 mm	-	347	-
	550 mm	-	363	-
	600 mm	-	380	-
	650 mm	-	393	-
	700 mm	-	409	-
750 mm	-	419	-	

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

	800 mm	-	432	-	312
	850 mm	-	457	-	321
	900 mm	-	480	-	336

Inflamación de la probeta (S/N)	Si	Si	Si	Si
Tiempo de extinción de llama (s)	1800	Extinción forzada	725	Extinción forzada
Distancia máxima de propagación de la llama (mm)	420	910	60	910
Atenuación de la luz (% x min)	422,96	892,19	450,59	932,47

Clasificación provisional s/n UNE-EN 13501-1:2007 + A1:2010			
WPF-02-Baldosa-01	WPF-05-Baldosa-02	WPF-06-Baldosa-03	WPF-07-Baldosa-04
C_{FL}-s1	E_{FL}-s2 ó PEOR	B_{FL}-s1	E_{FL}-s2 ó PEOR

Fotografías de las muestras tras los ensayos del pequeño quemador



Figura 8. Muestras tras ensayo de panel radiante (de izquierda a derecha y de arriba abajo: WPF06-Baldosa-03, WPF05-Baldosa-02, WPF02-Baldosa-01, WPF07-Baldosa-04)

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Discusión de los resultados:

Tras la realización de los ensayos y tal como se predijo tras los resultados del índice de oxígeno, la muestra que mejor clasificación obtuvo fue **WPF-06-Baldosa-03**.

En cambio para las muestras **WPF-02-Baldosa-01** y **WPF-05-Baldosa-02**, con un índice de oxígeno de 14% y 13,5%, respectivamente, se obtienen clasificaciones muy distintas, comprobando así que la velocidad de combustión y/o inflamación ocasiona una diferencia de al menos 2 clasificaciones, obteniendo **WPF-05-Baldosa-02** la peor clasificación de ambas, ya que como se observa en el cuadro de resultados la llama se extingue activamente al llegar el frente de llama al final de la muestra y obteniendo la peor clasificación posible con dicho ensayo.

La muestra **WPF-07-Baldosa-04**, obtiene un pésimo resultado al igual que **WPF-05-Baldosa-02**, con la diferencia que el frente de llama alcanza aún más rápidamente el final de la muestra objeto de ensayo.

Inicio intercorrelación de resultados.

Este punto se considera un hito importante en el proyecto, ya que el disponer de una herramienta predictiva puede conllevar el ahorro en cuanto al número de probetas necesarias para poder dilucidar el comportamiento frente al fuego de un material WPC. También supone un ahorro de coste en ensayos de reacción más complejos.

En la siguiente tabla se puede observar el ahorro en dimensiones de probetas y una estimación de la disminución del coste

Ensayo	Norma ensayo	Dimensiones (m ²)	Ratio dimensiones	Ratio coste
Panel radiante	UNE-EN ISO 9239-1	0,7245	1	1 vez
Índice de oxígeno	UNE-EN ISO 4589-2	0,03	24	3 veces
Inflamabilidad horizontal	ISO 3795	0,1525	4,75	9 veces
Pequeño quemador	UNE-EN ISO 11925-2	0,1350	5,4	5 veces

Como se puede observar se necesita 24 veces menos muestra en el ensayo del LOI que en el ensayo del panel radiante. Los ratios para los ensayos del pequeño quemador y de la inflamabilidad horizontal también presentan unos ratios de ahorro de dimensiones próximos a 5, muy interesantes.

Tampoco es nada desdeñable el ahorro que supone la posible predicción del resultado con un ensayo menos sofisticado. El ensayo del panel radiante requiere de equipamiento y calibraciones más complejas que elevan el coste final, por lo que el ensayo predictivo con métodos menos complejos pueden suponer un

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Anteriormente se han expuesto los resultados obtenidos sobre las diversas probetas WPC seleccionadas, pero aún es un número relativamente bajo de datos como para poder obtener una correlación fiable. En la segunda anualidad del proyecto se pretende la recopilación de más datos de la misma índole obtenidos al someter a ensayo los nuevos productos WPC con prestaciones frente al fuego mejoradas.

Evaluación de otras propiedades

Dentro de este gran grupo se han llevado a cabo ensayos físico-mecánicos, ensayos de durabilidad al envejecimiento, durabilidad agente biológicos, resistencia al deslizamiento y conductividad térmica, teniendo en cuenta que el principal uso de los productos WPC es exterior.

Ensayos físico-mecánicos

En la siguiente tabla se pueden observar los datos obtenidos:

Referencia	Composición	Densidad (g/cm ³)	Resistencia tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Flexión (GPa)
WPF-01- Perfil 1	PVC y madera	1,27	42	3,2	3,0
WPF-02- Baldosa 1	HDPE y madera	1,05	17,8	2,7	2,4
WPF-05- Baldosa 2	Poliestireno	1,04	28	NR	NR
WPF-07- Baldosa 4	PP y madera	1,02	30,9	3,9	3,9

NR : No realizado

Ensayo de resistencia al deslizamiento

Una característica fundamental para baldosas de uso exterior (balcones, terrazas, piscinas, etc...) es que posean buenas prestaciones para que el deslizamiento sea lo más bajo posible.

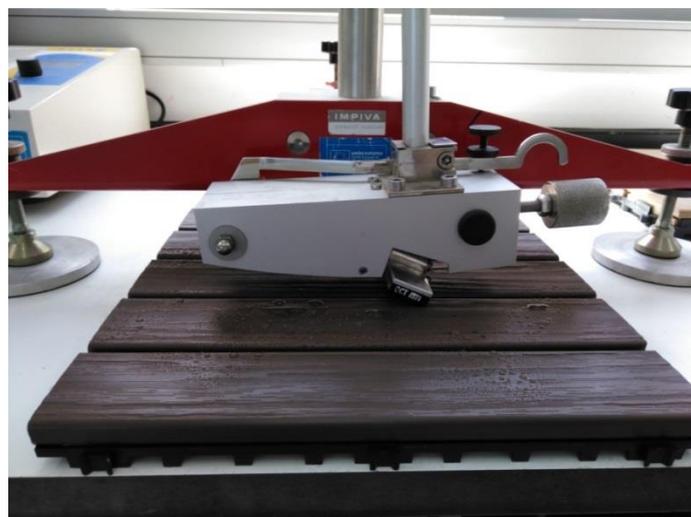


Figura 9. Muestra WPF-05-Baldosa-02 durante el ensayo de deslizamiento

Referencia	Valor deslizamiento
WPF-02- Baldosa 1	45
WPF-05- Baldosa 2	21
WPF-06- Baldosa 3	70
WPF-07- Baldosa 4	49

Como se puede observar se han obtenido resultados muy dispares, obteniendo un resultado muy bajo para la muestra **WPF-05-Baldosa-02** (21, quedando lejos del requisito mínimo exigido de valor superior a 36), obteniendo valores intermedios (45 y 49) para las probetas **WPF-07-Baldosa-04 y WPF-02-Baldosa-01** y valores muy altos (70) para la probeta **WPF-06-Baldosa-03**. Dicha diferencia depende del diseño de la baldosa, así como de su rugosidad superficial.

Durabilidad a los agente biológicos

Se ENSAYARON las muestras WPF-02-Baldosa-01 y la WPF-09-Decking-01 pues representan al resto de las muestras en cuanto al comportamiento frente a organismos bióticos.

Para caracterizar las muestras en cuanto al comportamiento frente a organismos xilófagos se llevó a cabo los ensayos determinados por la norma UNE-ENV 12038:2002 (Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Tableros derivados de la madera. Método de ensayo para determinar la resistencia a los hongos basidiomicetos xilófagos) según especificación técnica CEN/TS 15534-1:2007 (Compuestos de madera-plástico. Parte 1: Métodos de ensayo para la caracterización de los materiales y productos de WPC) ANEXO D (Resistencia de los materiales de WPC al ataque de basidiomicetos destructores de la madera).

Con esta norma se pueden obtener resultados que nos indiquen una primera aproximación del comportamiento de este tipo de materiales en condiciones de exterior, donde el primer riesgo importante biológico que pueden sufrir es el ataque por hongos de pudrición. Estos hongos son capaces de mermar las propiedades físico-mecánicas del material, por lo que es importante determinar su resistencia frente a este tipo de organismos como primera valoración del material. El ataque de termitas puede estar presente pero es un riesgo biológico ocasional y las normativas lo establecen como un riesgo local dependiendo de la zona donde sea colocado el material. Además, los materiales WPC suelen ser resistentes al ataque de termitas, a pesar de que las fibras de madera no se encuentran totalmente encapsuladas por la matriz plástica (a no ser que el ratio de madera/plástico sea mayor del 80%). En el peor de los casos las termitas solo atacan ligeramente la superficie de los elementos de WPC (Wood Plastic Composites. Anatole A. Klyosov). Ensayos con *Reticulitermes flavipes* siguiendo la norma ASTM D3345-74, cinco probetas de 2,5 x 2,5 x 0,6 cm³ de albura de pino y cinco probetas de WPC fueron expuestas a esta especie de termitas durante 8 semanas. Los resultados indicaron una pérdida media de masa de 9,1% para las probetas control de pino

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

y de solo un 0,2% en las probetas de WPC (dos de las cinco probetas quedaron intactas) (Wood Polymer Composites. K. Oksman Niska y M. Sain. 2008)

De la misma forma, el ataque por hongos cromógenos y de pudrición blanda son riesgos en los que el material debe de tener contacto con una fuente de humedad elevada durante un período de tiempo prolongado, así como estar en contacto directo con el suelo, respectivamente. Se realizaran estos ensayos en los casos en los que el material determine un uso bajo esas condiciones, y no como una primera caracterización del material como se expone en este apartado.

En las figuras adjuntas se puede observar el ataque biológico sobre las muestras de WPC.

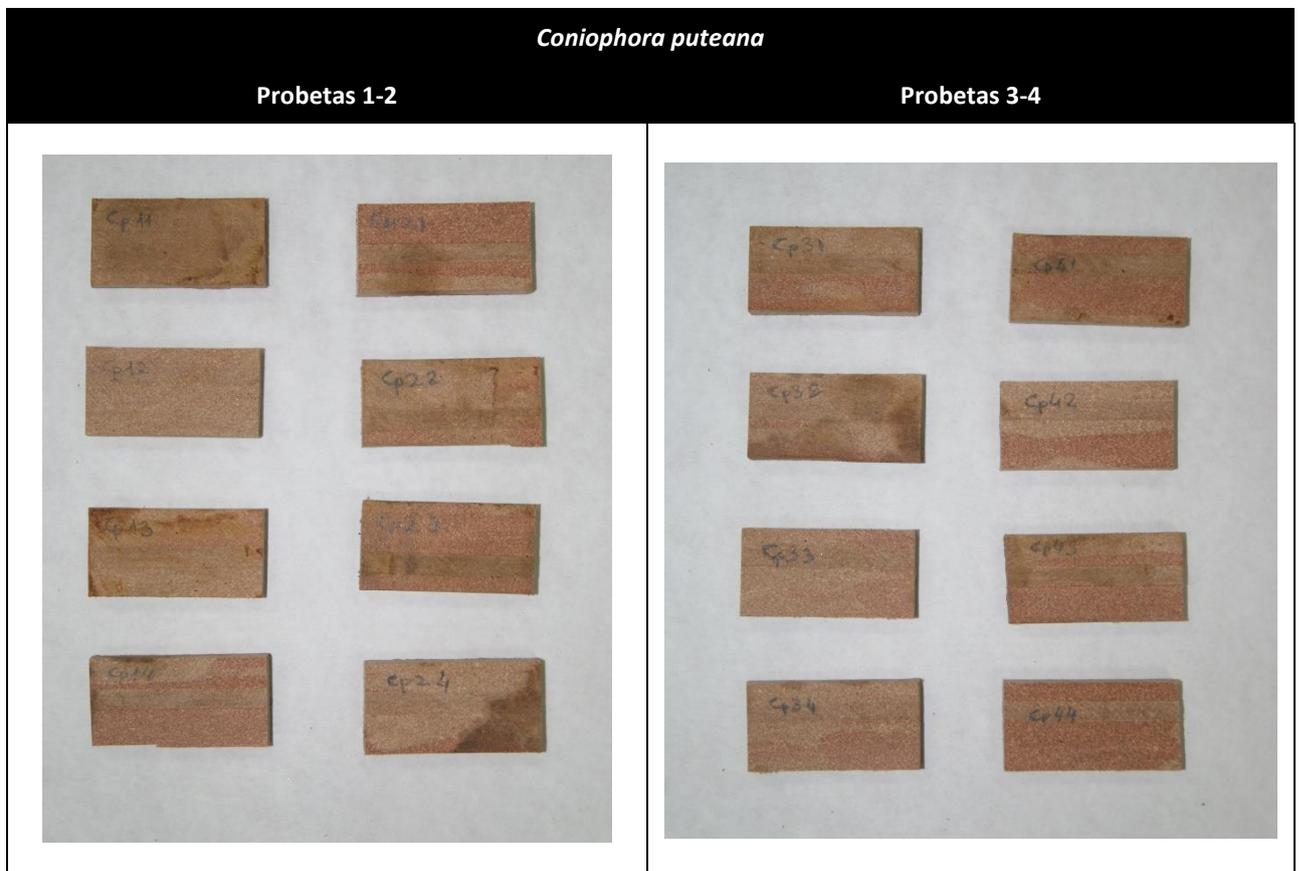


Figura 10. Ataque biológico de *Coniophora puteana*

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

En la tabla adjunta se resume el estado de las probetas al final del ensayo:

Hongo de ensayo	Extensión del ataque	Distribución del ataque
<i>Coniophora puteana</i> BAM 15	<i>Probetas rodeadas por el hongo pero con ausencia de desarrollo sobre las mismas</i>	<i>Ataque general</i>
<i>Pleurotus ostreatus</i> FPRL 40C	<i>Probetas totalmente recubiertas</i>	<i>Ataque general</i>
<i>Gloeophyllum trabeum</i> BAM 109	<i>Probetas rodeadas por el hongo pero con ausencia de desarrollo en la cara superior</i>	<i>Ataque general</i>
<i>Coriolus versicolor</i> CTB 863 A	<i>Probetas totalmente recubiertas</i>	<i>Ataque general</i>

Durabilidad al envejecimiento y la humedad

Solidez a la luz

En este caso el envejecimiento se realiza con radiación en seco, en un equipo de envejecimiento artificial con lámpara de xenon, Atlas Suntest CPS+, de acuerdo con las indicaciones de la norma UNE EN 4892-2, anexo B, sin control de humedad.



Figura 11. Equipo Suntest CPS + de ATLAS. Ejemplo de muestras de WPC ensayadas en el interior del equipo.

Con este ensayo se determina la resistencia al cambio de color de las diferentes muestras de WPC estudiadas cuando son sometidas a la acción de la luz de una lámpara de xenón, utilizando filtros de exterior.

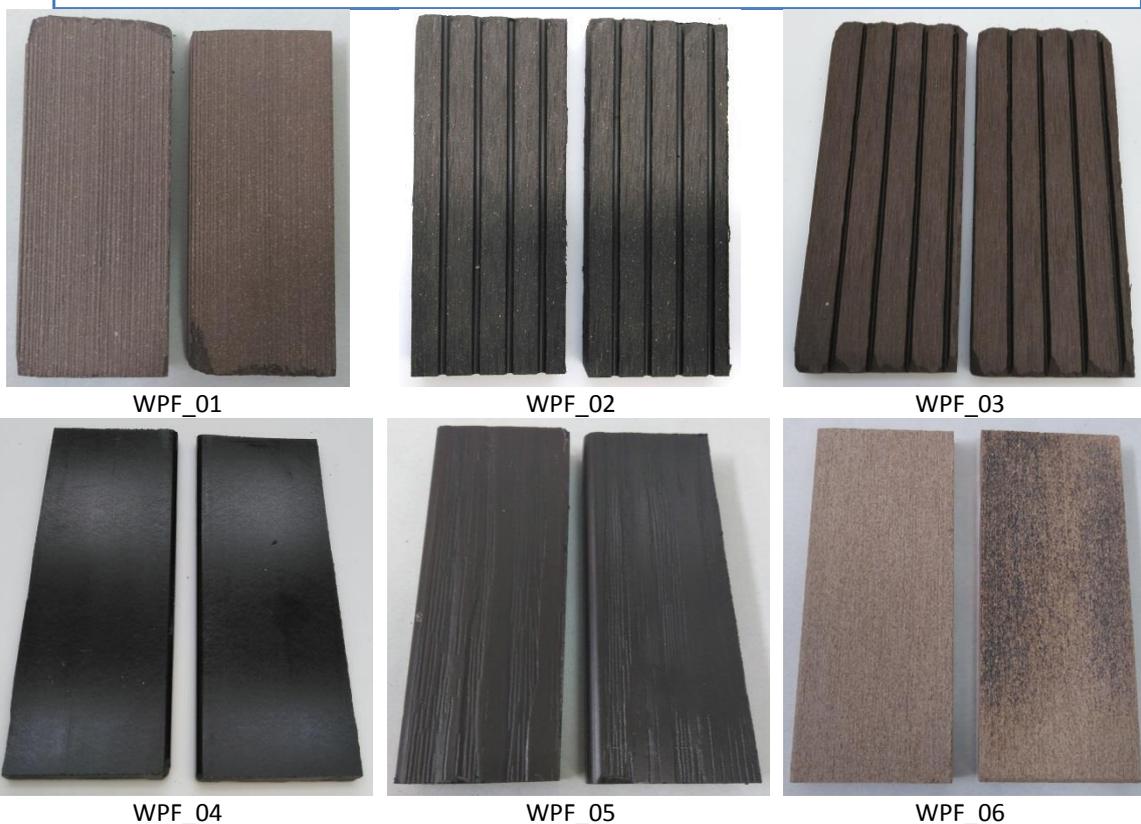
WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

La valoración se realiza mediante evaluación visual del contraste entre la muestra ensayada expuesta y la de control no expuesta, tomando como referencia una escala de grises patrón (5 sin cambios, 1 gran contraste), además se evalúa la posible aparición de otros defectos superficiales tales como grietas, etc.

Las muestras se evaluaron antes de la exposición, a las 250 horas y tras las 500 horas programadas. La valoración se resume en la siguiente tabla:

Muestra	Valoración tras 250 horas	Valoración tras 500 horas
WPF_01	5	5
WPF_02	5	5
WPF_03	5	5
WPF_04	5	5
WPF_05	5	5
WPF_06	3	1
WPF_07	4	3
WPF_08	5	4
WPF_09	5	5



WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

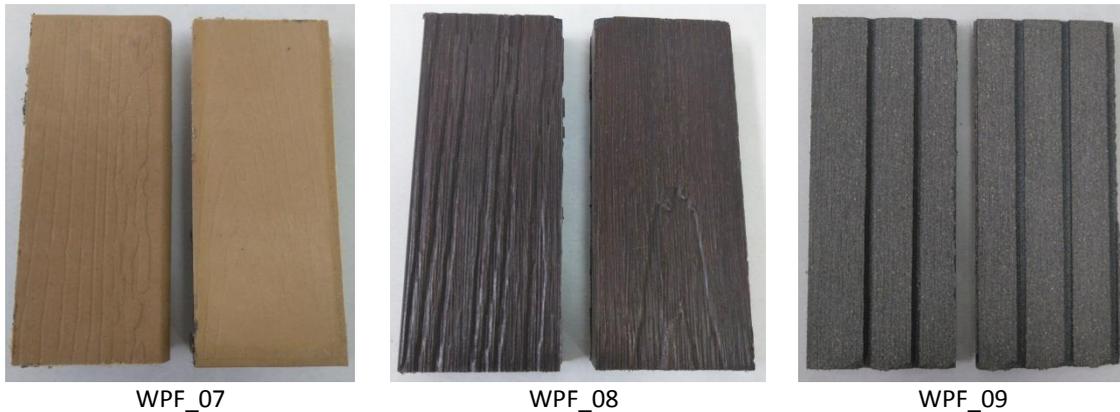


Figura 12. Muestras tras 500 horas de exposición comparadas con sus respectivas muestras de control. Izquierda, muestra de control. Derecha, muestra tras 500 horas.

Solo se observan cambios significativos en las muestras WPF_06 y WPF_07, que hacen que sean unas malas candidatas a ser usadas en el exterior.

Envejecimiento artificial, QUV

Las muestras son sometidas a una fase larga inicial de condensación, seguida por intervalos relativamente cortos de radiación UV y pulverización de agua. De esta manera, se provocan un gran número de cambios de corta duración en la superficie expuesta, al tiempo que, se provocan frecuentes choques térmicos.

El ensayo se lleva a cabo en un equipo de envejecimiento artificial, QUV de Q-lab.



Figura 13. Equipo de envejecimiento artificial con lámparas UV, QUV.

El ensayo en este caso ha consistido en un total de 6 ciclos de exposición con una duración total de 1008h. Cada ciclo de exposición tiene una duración de una semana y consiste en un

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

periodo de condensación seguido de una fase de pulverización de agua y de exposición a la radiación UV-A340 como se indica en la siguiente tabla:

Paso	Función	Temperatura	Duración	Condición
1	Condensación	(45 ± 3)°C	24 h	---
2	Subciclo: paso 3 seguido de paso 4	---	144 h consistentes en 48 ciclos de 3h formados por los pasos 3 y 4	---
3	UV	(60 ± 3)°C	2,5 h	Irradiance set point 0,89 W/(m ² nm) a 340 nm
4	Pulverización	---	0,5 h	6l/min a 7l/min, UV apagado

Se evalúan las propiedades de brillo y color y la posible aparición de defectos superficiales y/o en masa, como por ejemplo, la aparición de fisuras y/o grietas.

Los cambios de brillo más significativos se dan en las muestras WPF_04 y WPF_05, como se puede ver claramente en la siguiente gráfica. Puesto que se trata de muestras con diferente grado de brillo de partida, para poder comparar se selecciona el ángulo de 60°. Mientras que en la muestra WPF_04 se produce pérdida de brillo, en la muestra WP_05, el brillo aumenta, pero en ambos casos debido a la degradación de la superficie, si bien, posiblemente debido a la diferente composición, el efecto es distinto.

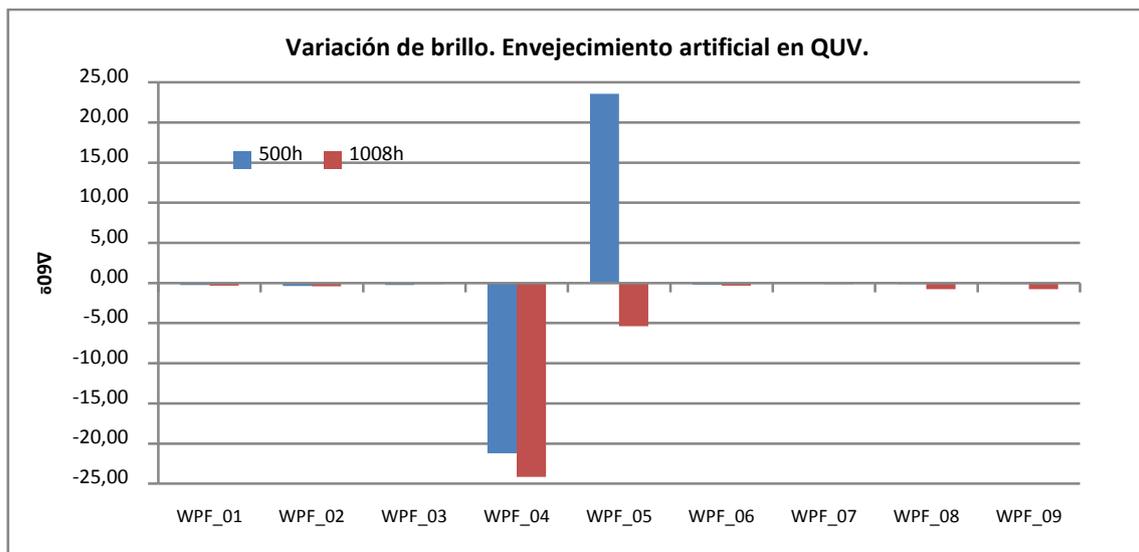


Figura 13. Representación de la variación de brillo de las muestras tras diferentes periodos de exposición

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

En todas las muestras en general, los cambios de color son más importantes que los cambios de brillo. Siendo los cambios de color más significativos los de las muestras WPF_04 y WPF_07 tras 500 horas de exposición, y de WPF_06 y WPF_07 tras 1008 horas de exposición. En la muestra WPF_07, ya tras solo 500 horas de exposición, el área de la muestra expuesta a la radiación y la humedad había perdido todo el color, además de presentar inicio de erosión superficial como consecuencia de la degradación de la muestra.

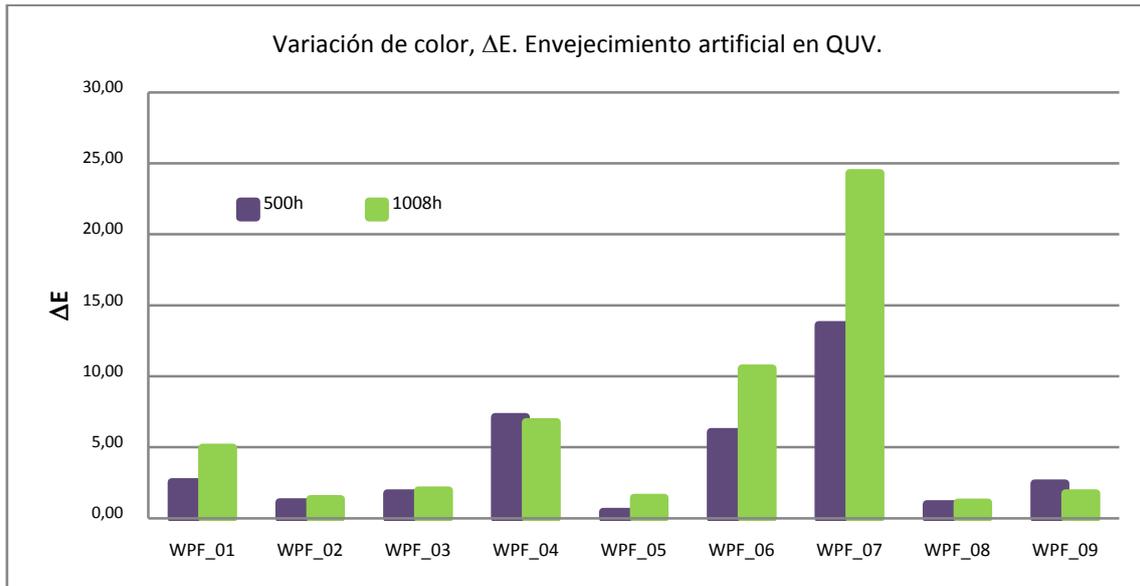


Figura 14. Representación de la diferencia de color total en las muestras tras diferentes periodos de exposición

La muestra WPF_04 y WPF_05 son las que presentan mayor variación en las medidas de brillo, ya tras 500 horas de exposición, mientras que las muestras WPF_06 y WPF_07 son las que presentan mayor variación de color, siendo esta última completamente descartable como se puede apreciar claramente en la siguiente tanda de imágenes.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas



Figura 16. Muestras **WPF_06** y **WPF_07** tras ensayo de **envejecimiento artificial en QUV**. De izquierda a derecha: probeta de control, probeta tras 504 horas de exposición, probeta tras 1008 horas de exposición.

Envejecimiento natural

El envejecimiento artificial se realiza según el método de ensayo de la norma UNE EN 15534-1 específica de materiales tipo WPC, que establece un máximo de 12 meses de exposición al exterior en un expositor con inclinación de 45º y orientado al sur. El expositor se encuentra en las instalaciones de AIDIMME, coordenadas geográficas WGS84Hd: Latitud, 39,54651ºN; Longitud, 0,46050ºW.



Figura 17. Expositor para envejecimiento natural en AIDIMME y muestras WPC seleccionadas.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Se evalúan las mismas propiedades que en envejecimiento artificial: variación de brillo, variación de color y aparición de posibles defectos.

Al igual que ocurría en envejecimiento artificial, los cambios de brillo más significativos se dan en las muestras WPF_04 y WPF_05, como se puede ver claramente en la siguiente gráfica. Puesto que se trata de muestras con diferente grado de brillo de partida, para poder comparar se selecciona el ángulo de 60º.

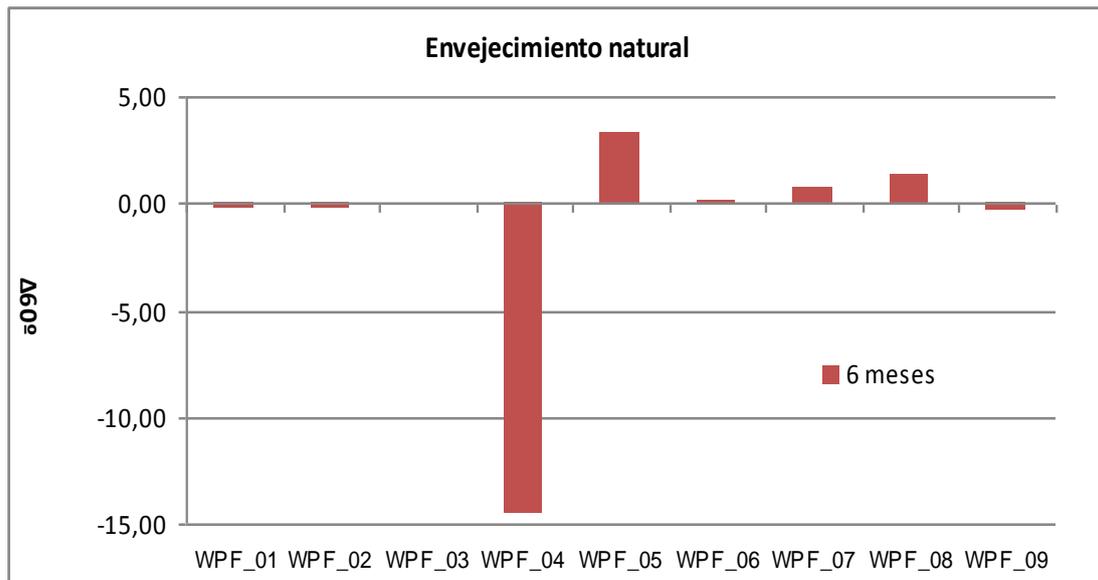


Figura 5. Representación de la variación de brillo de las muestras tras 6 meses de exposición.

Mientras que en envejecimiento artificial los cambios más significativos se han observado en las muestras WPF_06 y WPF_07, en el envejecimiento natural, hasta los 6 meses de exposición los cambios de color más significativos se dan en las muestras PF_04 y WPF_07, coincidiendo esta última con el envejecimiento artificial, siendo además el cambio mucho más significativo que en WPF_04. El mecanismo fotoquímico de envejecimiento es diferente en envejecimiento natural que en envejecimiento artificial, lo que explica las diferencias observadas en ambos estudios, pero falta ver qué ocurre tras los 12 meses de exposición natural.

En la siguientes gráficas se representan los valores obtenidos para la diferencia de color, ΔE , y para las coordenadas cromáticas: ΔL^* , Δa^* , Δb^* , tras 6 meses de exposición natural.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

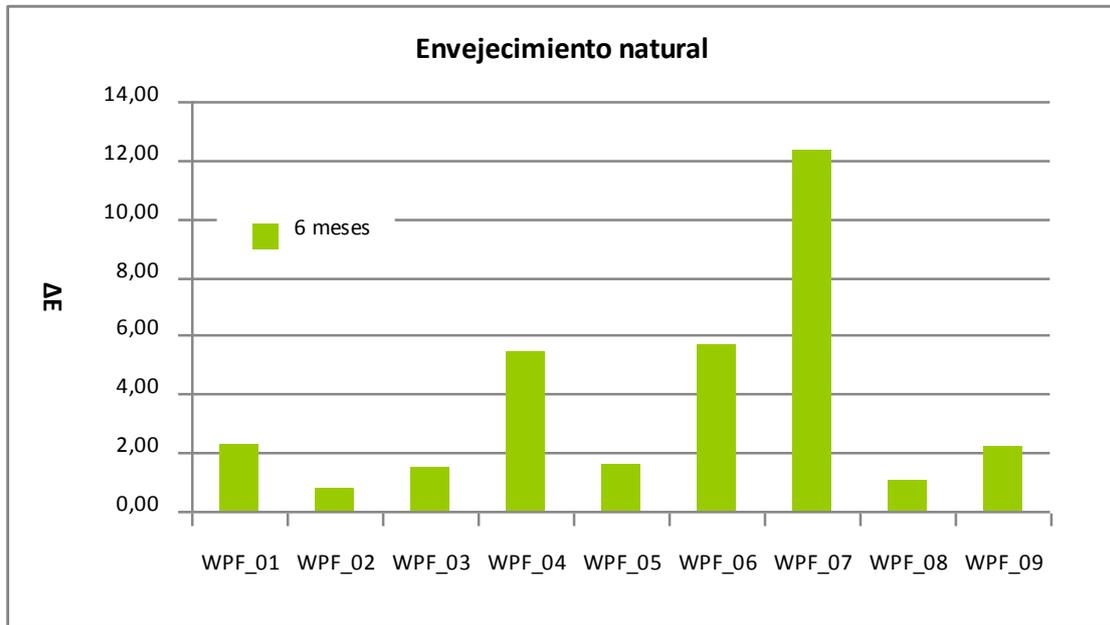


Figura 6. Representación de la diferencia de color total tras 6 meses de exposición

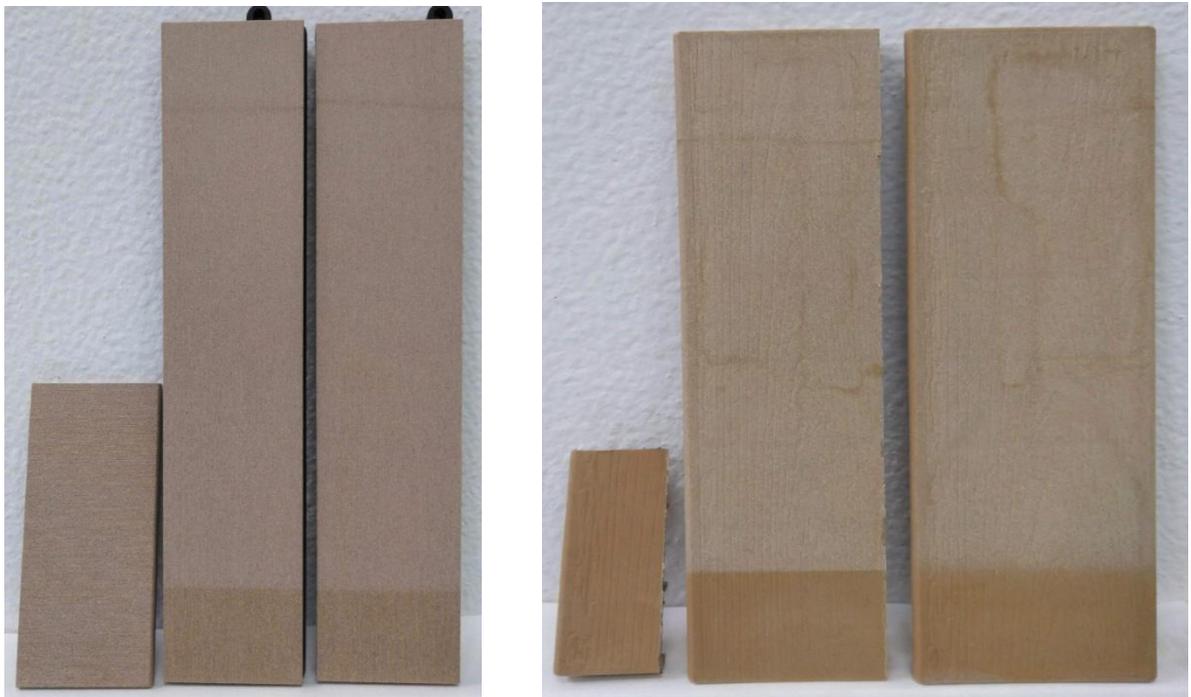


Figura 7. Muestras **WPF_06** y **WPF-07** tras **6 meses de exposición natural**. De izquierda a derecha: probeta de control, probetas tras 6 meses de exposición.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Ensayo de emisión de formaldehído

Se ha recalcado en varias ocasiones el gran porcentaje de productos WPC destinados al uso exterior, pero no hay que olvidar un uso muy común de los productos WPC, como es la presencia en interiores de vehículos. Es por este motivo sobre el que estriba la importancia en la baja emisión de sustancias tóxicas, que en un habitáculo de reducidas dimensiones puede llegar a acumular en un breve lapso de tiempo.

Se ha procedido al análisis del compuesto presente en numerosas composiciones de diversos productos, como es el formaldehído, cuya presencia es estrechamente vigilada por numerosas normativas alrededor de todo el mundo, al ser un producto muy utilizado, muy volátil y declarado como carcinogénico.

Para la determinación de emisión de formaldehído se realizaron los ensayos de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 12460-3:2016 Tableros derivados de la madera. Determinación de la emisión de formaldehído. Parte 3: Emisión de formaldehído por el método de análisis de gas.



Figura 21. Probetas cortadas para la realización del ensayo (izq). Cámara ensayo (dcha).

En la tabla adjunta se pueden observar los resultados obtenidos:

Muestra	Emisión de formaldehído (mg/h·m ²)
“WPF-01-Perfil-01”	0,3
“WPF-02-Baldosa-01”	0,2
“WPF-03-Perfil-02”	0,2
“WPF-04-Perfil-03”	0,1
“WPF-05-Baldosa-02”	1,2
“WPF-06-Baldosa-03”	0,1
“WPF-07-Baldosa-04”	0,1
“WPF-08-Zócalo-01”	0,1
“WPF-09-Decking-01”	0,1

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Todas las muestras obtuvieron valores muy bajos de emisión de formaldehído, a excepción de la muestra **“WPF-05-Baldosa-02”**, que obtuvo un valor más elevado ($1'2 \text{ mg/hm}^2$). Los resultados son lógicos si tenemos en cuenta que para la producción de dichos productos WPC no se han utilizado productos que contengan una elevada carga de formaldehído.

Aunque la emisión de formaldehído ha sido muy baja, sería conveniente realizar un ensayo para la determinación de un mayor número de compuestos orgánicos volátiles antes de poder concluir si dichos productos pueden ser aptos para ser utilizados en compartimentos interiores.

En la continuación del proyecto se evaluarán comparativamente muestras comerciales y los nuevos productos desarrollados que contengan una composición similar. Para la determinación de Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles (**COV**) se realizarán los ensayos de acuerdo a la norma UNE-ISO 16000-[3,6, 9 y 11].

Ensayo de conductividad térmica / acumulación de calor

Se determinó la conductividad térmica empleando el equipo FP2C (Neotim™), que utiliza el método del hilo caliente. Este método se basa en la transferencia de calor de una fuente controlada hacia un material y la medición del cambio de temperatura provocado por la disipación del calor a través de la muestra para determinar las propiedades térmicas de transporte del material.

Durante la medición, se genera una cantidad precisa de calor en un hilo resistivo incrustado en la muestra, en un entorno de temperatura constante, y se registra la temperatura medida por un termopar emplazado en su proximidad. El análisis de la evolución de la temperatura en este transitorio permite estimar la conductividad térmica.

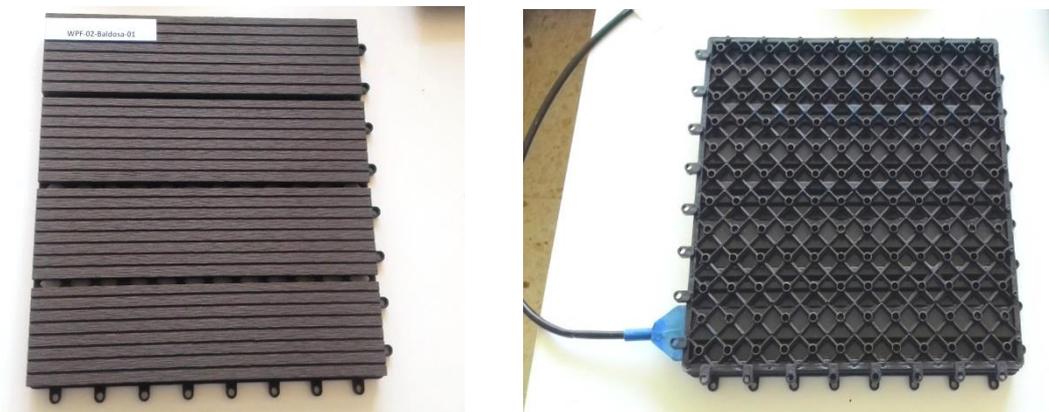


Figura 22. Muestra WPF-02-Baldosa-01 de WPC durante el ensayo de conductividad térmica

Resumen de las actividades desarrolladas

Como se puede observar en la gráfica adjunta la conductividad térmica está directamente relacionada con la composición polimérica de los productos WPC. Las probetas WPF-01-Perfil-01 y WPF-04-Perfil-03, presentan valores similares ya que ambas contienen PVC en su composición. Otro gran grupo (en morado) es el formado por aquellos productos cuyo polímero base es el HDPE (WPF-02-Baldosa-01, WPF-03-Perfil-02, WPF-08-Zócalo-01 y WPF-09-Decking-01)

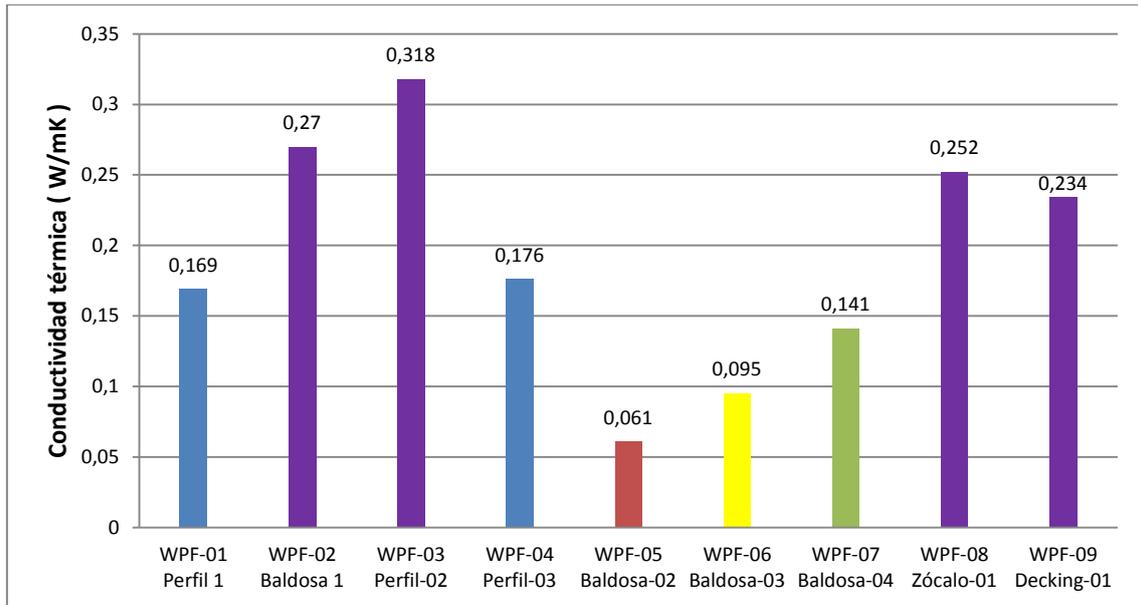


Figura 23. Resultados comparativos del ensayo de conductividad térmica sobre probetas WPC.

Los valores más bajos de conductividad térmica han sido obtenidos por la muestra **WPF-05-Baldosa-02** (poliestireno), **WPF-06-Baldosa-03** (mezcla de PVC y EVA) y **WPF-07-Baldosa-04** (polipropileno). Esto hace que si dichas baldosas son situadas en el exterior sean las que mayor acumulación de calor tengan (ya que son malas conductoras, no disipando el calor).

Paquete de trabajo 3 – Selección de los ignífugantes/ retardantes de llama en función de las condiciones finales de uso de los productos WPC. Efecto de la adición de nanoaditivos y óxidos de grafeno.

Vinculado al trabajo desarrollado en este PT3, se ha elaborado el **entregable 3 (E3)** que tiene por título: **Informe sobre los componentes de la matriz polimérica y la matriz celulósica**. El citado entregable tenía por objetivo el conocer información acerca de las principales matrices celulósicas (harina de madera, fibras de celulosa, fibras naturales tales como el kenaf, yute, sisal, bambú, cáscara de arroz, fibra de coco), así como de las principales matrices poliméricas (polietileno, policloruro de vinilo, polipropileno, poliestireno, ácido poliláctico).

Matriz celulósica

Los materiales celulósicos utilizados en la producción de WPC pueden ser de muy diferente tipo y proceder de numerosas fuentes, desde fibras celulósicas refinadas, hasta residuos industriales del sector maderero, pasando por materias y residuos agroforestales.

La madera se clasifica como un material lignocelulósico. Sus constituyentes mayoritarios son la celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo los constituyentes minoritarios cenizas y extractivos (aceites, ceras, taninos, resinas, etc...). Los principales constituyentes son componentes estructurales con un alto peso molecular. La madera está compuesta aproximadamente 60-75% de celulosa, 20-30% de lignina, 1-10% de extractivos y 0.45% de ceniza. La composición química de la madera varía según la especie.

Las fibras de madera son intrínsecamente hidrófilas debido a los grupos hidroxilo contenidos en las cadenas moleculares de celulosa, hemicelulosa y lignina, como se puede observar en las estructuras químicas adjuntas.

Sin embargo, la mayoría de los termoplásticos empleados en la fabricación de WPC son hidrofóbicos. Las fibras de madera se aglomerarán durante el proceso de compounding debido a los enlaces de hidrógeno. Como resultado, la matriz celulósica puede no estar bien dispersada en la matriz polimérica, y por lo tanto, su efecto reforzante puede verse comprometido y disminuir las propiedades mecánicas. Por lo tanto, la modificación de la fibra de madera es crítica para la producción de WPC mejorados. Para conseguir dicha modificación se pueden seguir varios caminos: **tratamiento térmico, tratamiento energético y tratamiento químico**

Las principales matrices celulósicas utilizadas para la fabricación de productos compuestos de madera y plástico (WPC) son: harina de madera, fibras de celulosa y fibras naturales

Harina de madera

El relleno de madera (wood filler) más común para mezclar con termoplásticos es la harina de madera. La harina de madera se define como una madera finamente molida. Se deriva de

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

varias virutas de madera, astillas, aserrín y otros desechos de madera limpia de aserraderos y desechos de otras industrias procesadoras de madera. El método de producción a menudo conduce a manojos de fibras en lugar de fibras individuales. La distribución del tamaño de partícula y la densidad son monitoreadas para proporcionar propiedades físicas y químicas constantes durante el procesamiento.

La harina de madera está disponible comercialmente en una variedad de distribuciones de tamaños y especies. La especie de harina de madera más comúnmente utilizada para los compuestos plásticos en los Estados Unidos son pino, roble y arce, mientras que en Europa las harinas de madera más utilizadas proceden del haya, pino y abeto.

El tipo de especies de madera constituye otro factor importante a considerar en la fabricación de WPC. En general, las harinas de madera de especies de madera blanda son generalmente preferibles a las de madera dura para facilitar el procesamiento y aumentar propiedades mecánicas.

El tamaño de partícula juega un papel fundamental en el proceso de fabricación de materiales compuestos de madera y plástico, ya que la mayoría de las propiedades varían en función del tamaño de partícula.

Fibras de celulosa

La mayoría de WPC comerciales contiene generalmente harina de madera. Los fabricantes de WPC utilizan harina de madera debido a su buena procesabilidad, bajo coste y alta disponibilidad. Sin embargo, la utilización de las fibras de madera como refuerzo en materiales compuestos está ganando interés.

Sin embargo, confusamente, el término "fibra de madera" se usa en general para cualquier forma de partículas de madera. La definición de fibras depende del punto de vista: biológico o técnico.

Desde el punto de vista biológico de la madera, las fibras son tipos de células, conocidas específicamente como traqueidas de madera blanda, traqueidas de madera dura y fibras libriformes de madera dura, que proporcionan estabilidad estructural al árbol.

Desde un punto de vista técnico, las fibras de madera o la harina de madera pueden contener fibras o haces anatómicos, fibras de orificio o fragmentos de fibra y se obtienen mediante procesamiento mecánico (pulpa termomecánica, TMP) o químico (pulpa blanqueada o sin blanquear, es decir, pulpa kraft).

Las fibras de madera difieren de la harina de madera en que las fibras son significativamente más largas que anchas.

Fibras naturales

Kenaf

Es una planta de la familia Malvaceae también llamada yute de Java o *Hibiscus cannabinus* que pertenece al género Hibiscus y es nativa del sur de Asia, aunque se desconoce su origen exacto. El nombre también se aplica a la fibra obtenida de esta planta. Es una planta anual o bianual de hasta 3,5 metros de alto, herbácea con una base leñosa, con hojas polimorfas de 10 a 15 cm de longitud. Las flores alcanzan de 8 a 15 cm de diámetro y son blancas, amarillas o púrpuras. El fruto es una cápsula de 2 cm de diámetro con varias semillas. Su ciclo de aprovechamiento es de unos 100 a 125 días y se cultiva sobre todo en Bangladés.

Las fibras en kenaf se encuentran en el líber (corteza) y el núcleo (madera). La corteza constituye el 40% de la planta. La "fibra cruda" separada de la corteza es multicelular, y consiste en varias células individuales pegadas entre sí. Las células de fibra individuales son de aproximadamente 2-6 mm de largo y esbeltas. La pared celular es gruesa (6.3 μm). El núcleo es aproximadamente el 60% de la planta y tiene células de fibra gruesa ($\approx 38 \mu\text{m}$) pero corta (0.5 mm) y de paredes delgadas (3 μm). La pulpa de papel se produce a partir de todo el tallo, y por lo tanto contiene dos tipos de fibras, desde la corteza y desde el núcleo.

Desarrollos científicos recientes han descubierto otra planta similar al yute con prestaciones similares. Debido a sus similitudes con el yute y el bambú, el Kenaf es una planta fibrosa que puede usarse para producir papel, aceites y como un agregado o sustituto del cáñamo en materiales de construcción o bio-hormigones. El alargamiento y la resistencia de esta planta fibrosa hacen que sea un sustituto directo y sostenible a las fibras de vidrio.

La extracción requiere un proceso de bajo costo que reduce el consumo de energía y al mismo tiempo reduce la huella de carbono.

Yute

Es una especie de arbusto de la familia Malvaceae cuyo nombre biológico es *Corchorus capsularis*, pero comúnmente se conoce como yute blanco. Es una de las fuentes de fibra de yute, considerada de calidad más fina que la fibra de *Corchorus olitorius*, la principal fuente de yute. Las hojas, las frutas verdes y las raíces se usan en la medicina tradicional.

Se trata de una hierba erecta, anual, rebasando fácilmente los dos metros de altura. Probablemente se originó en China, pero ahora se cultiva en Bangladesh y la India, y se encuentra diseminado en gran parte de África tropical. También se cultiva en la región amazónica de Brasil.

Sisal

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

También conocido como henequén, su nombre botánico es *Agave sisalana*, es originario de la península de Yucatán (México) y debe su nombre al antiguo puerto colonial español de Sisal (Yucatán).

Las plantas de sisal, consisten en una roseta de hojas con forma de espada de 1.5-2 metros de alto. Las hojas jóvenes pueden tener algunos dientes diminutos a lo largo de sus márgenes, pero los pierden a medida que maduran. La planta de sisal tiene una vida útil de 7-10 años y normalmente produce 200-250 hojas comercialmente utilizables. Cada hoja contiene un promedio de alrededor de 1000 fibras aunque sólo representan alrededor del 4% del peso de la planta. El sisal se considera una planta tropical y subtropical, ya que para su cultivo se requiere temperatura superior a 25°C y mucho sol.

La fibra se extrae mediante un proceso conocido como decorticación, donde las hojas se trituran, se machacan y se cepillan mediante un conjunto giratorio de ruedas con cuchillas romas, de modo que solo quedan fibras. Posteriormente, la fibra se seca, se cepilla y se empaqueta.

Fibra de bambú

Los bambúes pueden ser plantas pequeñas de menos de 1 m de largo y con los tallos (culmos) de medio centímetro de diámetro, aunque también los hay gigantes: de unos 25 m de alto y 30 cm de diámetro. Los hay herbáceos y leñosos, cespitosos y más expansivos, y los hay trepadores.

El uso de la fibra de bambú como fibra de relleno para la producción de WPC ha cobrado gran importancia en los últimos años, y podemos encontrar en el mercado varios productos WPC con una base de 60% de “madera de bambú”. Dicha tendencia puede ser debida a que el bambú crece en abundancia, de manera rápida y sin ser necesario el uso de pesticidas ni fertilizantes.

Cáscara de arroz

El interés en el uso de la cáscara de arroz como relleno en la fabricación de termoplásticos ha aumentado recientemente debido a la necesidad de superar los problemas ambientales causados por los subproductos agrícolas. La cáscara de arroz es un residuo agrícola importante; se produce como un subproducto durante el procesamiento del arroz. Ha sido un problema para los productores de arroz debido a su resistencia a la descomposición en el suelo, la digestión difícil y el bajo valor nutricional para los animales [15]

El contenido de lignina y hemicelulosa de la cáscara de arroz es inferior al de la madera, pero el contenido de celulosa es similar. La cáscara de arroz contiene en peso, celulosa al 35%, hemicelulosa al 25%, lignina al 20% y cenizas al 17% (sílice al 94%). Esto permite que la cáscara de arroz se procese a temperaturas más altas que la madera. Por lo tanto, el uso de cáscara de arroz en la fabricación de compuestos de polímeros está atrayendo mucha atención.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

La cáscara de arroz es liviana, de color amarillento y de forma convexa, ligeramente más grande que el grano de arroz. Se separa del grano de arroz integral como parte del proceso de molienda, después de lo cual se pule el arroz. Forma una quinta parte del volumen de arroz, es voluminoso y, por lo tanto, es difícil de almacenar.

- La cáscara de arroz es un buen material de aislamiento, ya que no se quema fácilmente sino se hacer pasar aire caliente.
- Es altamente resistente a la penetración de la humedad y la descomposición fúngica. La corteza de arroz se descompone lentamente debido al rico contenido de sílice y, por lo tanto, no puede considerarse como forraje.
- Cuando se quema la cáscara de arroz, su contenido de ceniza es del 17 - 26% mucho más alto que el de la madera y el carbón. Esto explica la necesidad de volúmenes mucho mayores de cáscara cuando se utiliza para la generación de energía.
- Su alto valor calórico lo convierte en una buena fuente de energía renovable

Fibra de coco

También conocida como bonote, es la más gruesa y resistente de todas las fibras naturales comerciales, es una fibra vasta y corta extraída de la corteza exterior del coco. Destaca por tener una baja tasa de descomposición.

El bonote se extrae de los tejidos que rodean la semilla de la palma de coco (Cocos nucifera), la cual es cultivada en 10 millones de hectáreas en las zonas tropicales.

Las fibras de bonote miden hasta 35 centímetros de largo con un diámetro de 12 a 25 micras. La cosecha de coco se recoge después de 45 días. Se estima que se pueden extraer 10 Kg de bonote de 1000 cocos. En comparación con el lino y el algodón, las fibras del bonote maduro contienen más lignina y menos celulosa.

Hay dos tipos de bonote: la fibra marrón, usada más comúnmente, que se obtiene de los cocos maduros, y la fibra blanca, más fina, que se extrae de los cocos verdes inmaduros tras humedecerlos por un período de hasta 10 meses.

Matriz polimérica

Los polímeros plásticos utilizados en la producción de WPC deben ser materiales de **bajo punto de fusión** con el fin de que puedan fundir y manipularse durante su transformación evitando la degradación térmica de la madera durante su fabricación. La temperatura de comienzo de degradación de la celulosa es de unos 200 a 210°C, lo que limita la utilización de los polímeros termoplásticos para WPC al **polietileno (PE)**, **polipropileno (PP)**, **policloruro de vinilo (PVC)** y **poliestireno (PS)**, aunque últimamente están surgiendo como alternativas el **politereftalato de polietileno (PET)** y su análogo más biodegradable conocido como **ácido poliláctico (PLA)**.

Plástico	Abreviatura	Temperatura de procesamiento (°C)
Poliestireno	PS	70-115
Polietileno de alta densidad	HDPE	130
Polietileno de baja densidad	LDPE	110
Policloruro de vinilo	PVC	75-90
Polipropileno	PP	160-170
Politereftalato de polietileno	PET	250-260

Figura 24. Temperaturas de procesamiento de los termoplásticos más comunes

Polietileno

El polietileno (PE) es químicamente hablando el polímero más simple y se representa con su unidad repetitiva $-(CH_2-CH_2)-_n$. Es uno de los plásticos más comunes debido a su bajo precio y simplicidad en su fabricación (80 millones de toneladas anuales en 2013). Se obtiene por polimerización del etileno y es químicamente inerte.

El polietileno es más bien blando, lo que hace que los materiales WPC basados en PE sean más fáciles de clavar, atornillar, cortar y serrar. El polietileno muestra una absorción de humedad casi nula (inferior al 0,02% tras inmersión en agua 24 h) y una resistencia muy alta a los productos químicos.

El polietileno muestra una resistencia relativamente alta a la oxidación en comparación con otras poliolefinas (entre ellas el polipropileno, ver más adelante), por lo tanto, requiere una cantidad menor de antioxidantes para su procesamiento para su uso exterior.

Por el contrario, el polietileno es bastante flexible y no muy fuerte. Su resistencia relativamente baja es generalmente aceptable para usos como terrazas (decking) pero generalmente no es suficiente para hacer barandillas y sistemas de barandas reforzados. En comparación con la madera, el polietileno muestra un mayor coeficiente de expansión-contracción térmica.

Polipropileno (PP).

El polipropileno (PP), también conocido como polipropeno, es un polímero termoplástico utilizado en una amplia variedad de aplicaciones. Es un polímero de adición fabricado mediante polimerización de crecimiento de cadena a partir del monómero de propileno.

El polipropileno es un material blanco, mecánicamente resistente, y es resistente a muchos solventes químicos, bases y ácidos. En 2013, el mercado mundial de polipropileno fue de aproximadamente 55 millones de toneladas. El polipropileno es el segundo plástico sintético más ampliamente producido en el mundo, después del polietileno.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Existen principalmente dos tipos de polipropileno: PP homopolímero y PP copolímero

- **Polipropileno homopolímero**

Se denomina homopolímero al PP obtenido de la polimerización de propileno puro. Según su tacticidad, se distinguen tres tipos:

- **PP isotáctico.** La distribución regular de los grupos metilo le otorga una alta cristalinidad entre 70 y 85%, gran resistencia mecánica y gran tenacidad.
- **PP atáctico.** Material de propileno que polimeriza dejando los metilos laterales espacialmente en desorden tal como se muestra en la figura 17. Este polímero tiene una "pegajosidad" tal que permite adherirse en superficies aún en presencia de polvo, por lo cual se utiliza como una goma en papeles adheribles, o como base para los adhesivos en fundido ("hot melt" o barras de "silicon").
- **PP sindiotáctico.** Muy poco cristalino, teniendo los grupos metilos acomodados en forma alterna, lo cual le hace ser más elástico que el PP isotáctico pero también menos resistente.

- **PP copolímero**

Al añadir entre un 5 y un 30% de etileno en la polimerización se obtiene un copolímero que posee mayor resistencia al impacto que el PP homopolímero. Existen, a su vez, dos tipos:

- **Copolímero aleatorio o random.** El etileno y el propileno se introducen a la vez en un mismo reactor, resultando cadenas de polímero en las que ambos monómeros se alternan de manera aleatoria.
- **Copolímero en bloques.** En este caso primero se lleva a cabo la polimerización del propileno en un reactor y luego, en otro reactor, se añade etileno que polimeriza sobre el PP ya formado, obteniéndose así cadenas con bloques homogéneos de PP y PE. La resistencia al impacto de estos copolímeros es muy alta, por lo que se les conoce como PP impacto o PP choque.

Cuando el porcentaje de etileno supera un cierto valor, el material pasa a comportarse como un elastómero, con propiedades muy diferentes del PP convencional. A este producto se le llama caucho etileno-propileno (EPR, del inglés Ethylene-Propylene Rubber).

- **Terpolímero EPDM.** Cuando se agrega un tercer componente del tipo dieno (Butadieno, por ejemplo) el resultado es un elastómero o hule de Etileno-Propileno, denominado EPDM.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

El polipropileno utilizado para aplicaciones comunes, incluida la producción de WPC, es atáctico (otras formas son isotácticas y sindiotácticas).

En varias propiedades, el polipropileno es superior en comparación con el polietileno. Es más ligero, más fuerte y más rígido; muestra una resistencia a la fluencia mejorada, menos desgaste y menos resbaladizo. Sin embargo, es más frágil que el polietileno, particularmente a bajas temperaturas, y tan rígido que es difícil de sujetar con clavos o tornillos. Es por eso que los WPC basados en PP se instalan usando sistemas especiales de fijación, recomendados por los fabricantes. Para una comparación, el uso de clavos y tornillos comunes hace que las placas de WPC basadas en polietileno sean tan fáciles de instalar. Además, los WPC basados en PP son mucho más difíciles de cortar y serrar en comparación con los tableros basados en PE.

La resistencia a la flexión para polipropileno (6000-7000 psi) es mucho más alta que la del polietileno (alrededor de 1400 psi). La resistencia a la compresión para PP también es más alta que la de HDPE.

Los polipropilenos son más propensos a la oxidación, por lo tanto, requieren cantidades significativamente más altas de antioxidantes y estabilizadores UV en comparación con la PE

Cloruro de polivinilo (pvc).

El Policloruro de vinilo (PVC) es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil. Se puede producir mediante cuatro procesos diferentes: suspensión, emulsión, masa y solución.

Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80°C y se descompone sobre 140°C. Es un polímero por adición y además una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroeteno. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama. Puede ser rígido o flexible.

En el mercado de tarimas de WPC, la proporción total de materiales basados en PVC es aún menor que aquellos basados en PP. Para reducir el costo del WPC basado en PVC y evitar las dificultades en la instalación (aserrado, clavado y atornillado) de productos WPC basados en PVC, la mayoría de dichos productos están espumados (foaming).

El PVC es el material más pesado en comparación con los polietilenos y polipropilenos. Comparado con el polietileno y el polipropileno, el PVC tiene algunas desventajas inherentes, entre ellas una baja estabilidad térmica y una alta fragilidad.

Una de las principales propiedades beneficiosas del PVC es que es intrínsecamente resistente al fuego. Sin embargo, el punto de autoignición para los materiales compuestos a base de PVC es levemente más bajo que para el WPC basado en HDPE.

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Cuando se quema, el PVC libera cloruro de hidrógeno tóxico, HCl, por lo tanto, se considera comúnmente como el más dañino para el medio ambiente entre los termoplásticos. Incluso a temperaturas superiores a 70°C, el PVC, si no se estabiliza, puede comenzar a degradarse y liberar HCl.

Otro factor clave para el usuario final es el precio, ya que los productos WPC basados en PVC tienen el menor contenido de madera en comparación con los compuestos a base de PE o PP, y por lo tanto son los compuestos más caros.

Poliestireno (PS).

El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno monómero.

Existen cuatro tipos principales de poliestireno

- **PS cristal** o **GPPS** (General Purpose Polystyrene), que es transparente, rígido y quebradizo.
- **Poliestireno de alto impacto** o **HIPS** (High Impact Polystyrene), resistente al impacto y opaco blanquecino
- **Poliestireno expandido** o **EPS** (Expandable Polystyrene; PSE en francés), muy ligero;
- **Poliestireno extruido (XPS)**, similar al expandido pero más denso e impermeable.

Las aplicaciones principales del PS de alto impacto y el PS cristal son la fabricación de envases mediante extrusión-termoformado, y de objetos diversos mediante moldeo por inyección. Las formas expandidas y extruida se emplean principalmente como aislantes térmicos en construcción y para formar coquillas de protección en los embalajes de objetos frágiles para protegerlos. El EPS también es utilizado para la producción de cajas de pescado o neveras para el transporte de vacunas, por su capacidad aislante.

El poliestireno es el cuarto plástico más consumido, por detrás del polietileno, el polipropileno y el PVC.

Ácido poliláctico (PLA).

El ácido poliláctico es un poliéster alifático termoplástico biodegradable y bioactivo derivado de recursos renovables, como el almidón de maíz (en los Estados Unidos y Canadá), raíces de mandioca, chips o almidón (principalmente en Asia) o caña de azúcar (en el resto del mundo). En 2010, el PLA tuvo el segundo mayor volumen de consumo de cualquier bioplástico del mundo.

Los polímeros de PLA varían desde polímero vítreo amorfo hasta polímero semicristalino y altamente cristalino con una transición vítrea de 60°C y puntos de fusión de 130-180°C. PLLA tiene una temperatura de transición vítrea de 60-65°C, una temperatura de fusión de 173-

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

178°C y un módulo de tracción de 2.7-16 MPa. El PLA resistente al calor puede soportar temperaturas de 110°C Las propiedades mecánicas básicas del PLA se encuentran entre las del poliestireno y el PET. La temperatura de fusión de PLLA se puede aumentar en 40-50°C y su temperatura de deflexión de calor se puede aumentar de aproximadamente 60°C a hasta 190°C al mezclar físicamente el polímero con PDLA (poli-D-láctido).

El ácido poliláctico se puede procesar como la mayoría de los termoplásticos en fibra (por ejemplo, usando procesos convencionales de hilado por fusión) y en película. El PLA tiene propiedades mecánicas similares al polímero PETE, pero tiene una temperatura de uso continuo máxima significativamente más baja. Con una alta energía superficial, el PLA tiene una facilidad de impresión que lo hace ampliamente utilizado en la impresión en 3-D.

También vinculado a este PT3, se han elaborado tanto el **entregable 4 (E4)** que tiene por título: **Informe sobre los retardantes de llama seleccionados**. El citado entregable tenía por objetivo el análisis de los posibles retardantes de llama a utilizar, y su posterior selección para formulación de los nuevos productos WPC con propiedades mejoradas ante el fuego, como el entregable 5 (E5) que tiene por título: y ahonda en la

El desarrollo de materiales poliméricos con buenas prestaciones frente al fuego es muy importante, ya que se estima que cada año, unas 5000 personas mueren en los incendios en Europa y más de 4000 en los EE. UU. Además. La pérdida directa de propiedad causada por los incendios asciende a alrededor del 0,2% del producto interno bruto, y el coste total generado por los daños ocasionados por incendios es de alrededor del 1% del PIB

Para poder proceder a la correcta selección de los retardantes de llama es necesario conocer las distintas tipologías de retardantes de llama existentes.

La descomposición de los plásticos quemados incluye la producción de gases combustibles, gases no combustibles, líquidos, sólidos (generalmente carbón) y partículas sólidas arrastradas (humo). Además, la combustión de plásticos puede producir riesgos tales como la evolución de gases tóxicos, pérdida de integridad física, fundido y goteo, provocando así otras fuentes de ignición. Una estrategia para mejorar el rendimiento del fuego de los plásticos es el uso de aditivos (retardantes de llama). Los retardantes de llama de tipo aditivo se agregan al plástico fundido durante su procesado y se presentan en muchas formas, aunque la mayoría de las veces es en forma de partículas o polvo. Los retardantes de llama de tipo aditivo pueden mejorar el rendimiento del fuego a través de los siguientes mecanismos;

- redirigir la descomposición y las reacciones de combustión hacia la evolución de gases no combustibles, o gases pesados que interfieren con el intercambio de gases de combustión y aire.
- redirigir la descomposición y las reacciones de combustión hacia la reducción del calor de la combustión.
- mantener la integridad física del material
- aumentar el calor específico o la conductividad térmica

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Estos mecanismos de actuación tienen como objetivo el limitar la presencia de uno de los cuatro componentes que forman el conocido triángulo del fuego.

Distintos tipos de retardantes de llama

Históricamente, los compuestos más eficaces para reducir la propagación de la llama son compuestos que contienen bromo, cloro o fósforo, o dos o más de estos elementos. Otros elementos que han exhibido algunos efectos retardantes de llama son antimonio, boro, nitrógeno, silicio y zinc. Estos elementos también se combinan a menudo con fósforo o compuestos halogenados.

Compuestos halogenados

Los compuestos halogenados basados en cloro y bromo son ignífugos efectivos. Si bien existen preocupaciones ambientales con respecto al uso de estos materiales, los ignífugos a base de bromo todavía se usan ampliamente en las poliolefinas. Los retardantes a base de bromo actúan en la fase condensada para redirigir o concluir las reacciones químicas implicadas en la combustión. Los gases de bromo pesado también protegen el material de la exposición al oxígeno y al calor.

El retardante de llama a base de bromo más común es el óxido de decabromodifenilo. Los retardantes de llama a base de bromo se usan prácticamente siempre junto con antimonio, a menudo trióxido de antimonio, debido a su sinergismo. Los compuestos de antimonio por sí solos son poco efectivos, pero en combinación con halógenos forman trihaluros de antimonio que eliminan los radicales libres y aumentan la formación de carbón.

Hidróxidos metálicos

Los hidróxidos metálicos son otro retardante de llama muy común. Los hidróxidos de metal más típicos están basados en aluminio o magnesio.

Los compuestos a base de magnesio son más adecuados para las poliolefinas que los compuestos a base de aluminio [5]. Tanto el aluminio como el magnesio son más efectivos como compuestos hidratados. La descomposición del trihidróxido de aluminio (ATH) y el dihidróxido de magnesio (MDH) produce vapor de agua, que diluye los gases combustibles. El calor requerido para la deshidratación también contribuye a las capacidades ignífugas [1]. Los altos niveles de carga de hidróxidos metálicos aumentan la capacidad calorífica total del material. Los hidróxidos metálicos funcionan como reductores de humo mediante la adsorción de materiales de carbono.

Retardantes basados en boro

Los retardantes de llama a base de boro son generalmente productores de capa protectora de carbón. La presencia de boro puede redirigir la descomposición para aumentar la producción de carbono en lugar de monóxido de carbono o dióxido de carbono. Al crear una capa

Resumen de las actividades desarrolladas

superficial de carbón, el boro ayuda a bloquear oxígeno de la superficie y ralentiza la emisión de gases. El boro también puede funcionar junto con el zinc en compuestos como el borato de zinc, $Zn_3(BO_3)_2$, para reducir la producción de humo. Al igual que en caso de los hidróxidos metálicos, la mayoría de los compuestos de borato de zinc se usan como hidratos. Sin embargo, el agua eliminada del borato de zinc durante la combustión no cambia la composición química del compuesto. El calor requerido para la deshidratación también contribuye a la capacidad ignífuga.

Compuestos de fósforo

Los compuestos de fósforo redirigen las reacciones de descomposición para dar lugar a reacciones que produzcan carbón en vez de monóxido de carbono o dióxido de carbono. El resultado es la formación de una capa protectora superficial de carbón de que inhibe el acceso al oxígeno. Se ha encontrado que el fósforo no aumenta la carbonización en las poliolefinas, a menos que haya otro aditivo formador de carbón (generalmente un compuesto que contenga nitrógeno). La melamina se combina a veces con fosfatos para lograr una sinergia entre el fósforo y el nitrógeno. La melamina ayuda a retardar la llama al descomponerse, dando lugar a generar reacciones endotérmicas y eliminar radicales libres.

La descomposición produce nitrógeno y amoníaco, lo que diluye los gases combustibles, mientras que la melamina ayuda en la formación de la capa superficial protectora de carbón. El polifosfato de amonio es otro compuesto que aprovecha la sinergia entre fósforo y nitrógeno. El polifosfato de amonio (APP) es conocido por su efecto intumescente. En un entorno caliente, se expandirá formando una especie de espuma que crea una barrera que bloquea el calor y retira el oxígeno de la superficie inflamable, favoreciendo así la formación de carbón (carbonización). El polifosfato de amonio también reduce la producción de humo, inhibe la combustión lenta sin llama. Sin embargo, el polifosfato de amonio es soluble en agua, por lo que puede no ser adecuado para productos expuestos a ambientes exteriores.

Nanocompuestos

En el caso de los WPC, los nanocomposites aparecen como nuevos aditivos de la matriz polimérica como retardantes de llama. Sin embargo, no se ha publicado mucho acerca de nanopartículas para mejorar el comportamiento frente al fuego con aplicación en la madera.

Los nanomateriales suelen ser adicionados a los polímeros en un 2-10% en seco para mejorar las propiedades ignífugas así como otras características mecánicas. En ellos se encuentran tres grupos de gran importancia: las nanoarcillas, los nanotubos de carbono y los óxidos metálicos. Sin embargo existen otros materiales, utilizados como retardantes de llama que pueden sintetizarse a escala nanométrica, como es el caso de algunos hidróxidos metálicos.

Los nanoaditivos incluyen rellenos inorgánicos (más frecuente) así como algunas arcillas de carácter orgánico.

Resumen de las actividades desarrolladas

- Arcillas de Montmorillonita y otras nanoarcillas.
- Aluminosilicatos y Vermiculita (silicatos de hierro, magnesio y aluminio)
- Óxidos metálicos: de titanio, de antimonio. Pero también ZnO y CuO
- Borosiloxanos
- Los hidróxidos metálicos como Mg(OH)₂ y Al(OH)₃. Nanopartículas de borato de zinc (también son biocidas), de sílice SiO₂
- Organoarcillas
- Nanotubos y grafeno

El mecanismo retardante de fuego de los nanocomposites es debido a la cubierta carbonizada formada durante la combustión, que permite aislar al polímero e inhibir la formación y escape de sustancias volátiles inflamables. Los nanocomposites retardantes de llama podrían ser adaptados también a los productos de madera, aunque las investigaciones en este punto son todavía preliminares. Su propiedad intumescente es una protección pasiva contra el fuego en las superficies donde se aplican. La intumescencia, hace referencia a la capacidad de hincharse por la acción del calor hasta el punto que la espuma que se produce es capaz de aislar la superficie. La propiedad ignífuga de un material hace referencia a la no contribución de la propagación de la llama ni de humos. Cuando el retardante se somete al calor de la llama se descompone, hincha y finalmente se endurece. Esta capa superficial creada es la que protege la entrada de oxígeno, aísla de la alta temperatura de fuego, impidiendo que se forme más humo, además de evitar las salidas de humo generado por el material.

Nanoarcillas

En el caso de las nanoarcillas, la montmorillonita es el compuesto de silicatos laminar más extendido debido a su bajo coste y elevadas prestaciones. Generalmente, es tratada y modificada previamente para su incorporación como nanomaterial en la matriz del polímero. La montmorillonita de sodio, también llamada bentonita sódica, es muy común en diversas formulaciones de pinturas, lacas, plásticos etc. por sus propiedades intumescentes. Al adicionar esta nanoarcilla a la matriz polimérica se ha demostrado la mejora de la estabilidad térmica, reducción de la liberación de calor, mayor rendimiento de la barrera de humo, mejora de las propiedades mecánicas y de formación de productos carbonizados y velocidad de pérdida de masa por descomposición de los productos. La configuración de la nanoarcilla en láminas actúa como barrera y previene la difusión del oxígeno y descomposición de productos evitando la propagación de la llama y la producción de humos nocivos. Debido a la capa carbonosa carbonizada producida durante la combustión en la superficie, estos nanocomposites protegen al material al que recubren.

Nanoesferas de sílice, óxidos metálicos y otras nanopartículas

La adición de nanopartículas de sílice SiO₂ se plantea como otro tipo de aditivo no tan desarrollado tecnológicamente pero sí muy documentado para mejorar el comportamiento

Resumen de las actividades desarrolladas

frente al fuego en diversos materiales como plásticos, aceros y también madera. Los recientes avances que implican la modificación de los recubrimientos retardantes de llama mediante la incorporación de nanopartículas, dan cabida a la adición de nanopartículas de sílice. Un procedimiento de síntesis de nanoesferas de sílice de amplio uso es el método sol-gel, produciéndose materiales cerámicos a partir de una suspensión de óxidos metálicos (sol), que posteriormente gelifica (gel). Se ha comprobado que los nanocomposites de SiO_2 en matrices poliméricas mejoró la resistencia al fuego y a la humedad, obteniendo aumentos de las propiedades mecánicas y de barrera así como en la permeabilidad.

Varios óxidos metálicos también han sido probados como nanopartículas retardantes de llama, TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 y ZnO . Entre estos, el TiO_2 a su vez ha sido utilizado como aditivo retardante de llama a escala no nanométrica probando la mejora de las propiedades frente al fuego de paneles de madera.

Los hidróxidos metálicos como $\text{Mg}(\text{OH})_2$ y $\text{Al}(\text{OH})_3$, por otra parte, son utilizados como aditivos retardadores de la llama, por ejemplo en polímeros, con sus diferentes aplicaciones: recubrimiento de cables, muebles, etc. El hidróxido de magnesio tiene la ventaja sobre otros tipos de retardadores de llama, de estar libre de halógenos y ácidos, por tanto, no es dañino para el medio ambiente y la salud. El $\text{Mg}(\text{OH})_2$ se descompone endotérmicamente bajo la acción del calor en MgO y agua. El agua actúa sofocando la llama por dilución y / o exclusión del oxígeno y los gases inflamables; y un material aislante del calor puede formarse en la superficie de ciertos materiales poliméricos que contengan hidróxido de magnesio en contacto con la llama, reduciendo la disponibilidad de productos de descomposición potencialmente inflamables. Al integrar adecuadamente el hidróxido de magnesio, debidamente tratado, a los recubrimientos tradicionales para madera, tales como barnices y selladores, o arquitectónicos, tales como pinturas, impermeabilizantes, etc., se logran excelentes efectos de retardo de llama y supresión de humo. La síntesis del hidróxido de magnesio en tamaños nanométricos es posible, ofreciendo ventajas, por ejemplo de transparencia, sin afectar las propiedades mecánicas del recubrimiento donde se aplica. El recubrimiento así preparado no cambia su apariencia final (brillo, transparencia, poder cubriente, resistencia mecánica, etc.).

Otra nueva alternativa de retardantes de llama a base de hidróxidos son los hidróxidos de doble capa LDH (Layered Double Hydroxides). Los nano hidróxidos de aluminio-magnesio de doble capa (nano-LDHs) absorben el calor y emiten H_2O y CO_2 cuando se queman, lo que disminuye la temperatura del sustrato y mejora la estructura de la capa de carbón. Además suprimen la formación de humo. En la literatura aparecen menos frecuentemente otras nanopartículas utilizadas como aditivos ignífugas. Un ejemplo es el borato de zinc nanométrico $\text{Zn}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Así mismo, se evidencia el efecto sinérgico de nanopartículas de CaCO_3 con otros retardantes de llama mejorando la estabilidad térmica y termo-oxidativa.

Nanocomposites orgánicos

Una alternativa en la que ya se han obtenido resultados sería en el campo de las pinturas y barnices, mediante la fabricación de un nanocomposite formado por una resina epoxy, que obtiene las propiedades de resistencia al fuego a través de una combinación de nanopartículas modificadas orgánicamente y un retardante al fuego organo-fosforado. Por lo que la combinación de varias técnicas para optimizar el proceso y las propiedades ignífugas se muestra como tratamientos eficientes.

Nanotubos y grafeno

Los nanotubos de carbono se presentan como una buena opción en la producción de composites poliméricos ya que resaltan sus propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas. Se ha observado mejorías en las características mecánicas de los composites plásticos con nanotubos, así como en la conductividad eléctrica y estabilidad térmica, influyendo en su inflamabilidad. El gran reto a la hora de mezclarlo en la matriz polimérica es la distribución homogénea de los nanotubos ya que tienden a aglomerarse.

Por otra parte, el grafito expandido es un compuesto poroso, insoluble en agua, contenedor de ácido sulfúrico, que ha dado buenos resultados en el estudio retardante de llama. Este compuesto se expande y crea una capa protectora al exponerse a elevadas temperaturas, lo que le da una resistencia mayor al grafito que contiene un compuesto polimérico. Además puede acumular en su interior gases y líquidos volátiles y no aumenta la propagación de humos. Se puede usar en combinación con compuestos no halogenados como APP (fosforados) y borato de zinc para crear un sistema intumescente eficaz.

Teniendo en cuenta la información recogida en el estado del arte del proyecto, se decidió seleccionar 3 retardantes de llama de distinta tipología, para estudiar cómo se comportan sus mecanismos de actuación en la compleja matriz polimérica/celulósica característica de los productos WPC. Pese al buen funcionamiento de los retardantes halogenados, se ha desestimado su uso por motivos medioambientales y de salud.

Hidróxido metálico

Se ha escogido el **ATH** (trihidróxido de aluminio), no sólo por su fácil accesibilidad sino también por sus propiedades reductoras de humo, teniendo en cuenta que los productos WPC generan gran cantidad de humos durante su combustión. Otro factor tenido en cuenta es la buena dispersión que puede lograr en la matriz del WPC. El mecanismo de actuación de este hidróxido metálico se basa en la producción de vapor de agua que diluye los gases combustibles, además de un gran gasto de energía calorífica empleado en la deshidratación del compuesto.

Combinación de fósforo y amonio

Polifosfato de amonio (APP) funciona muy bien como retardante de llama en matrices de poliolefinas (similar a la matriz polimérica del WPC). Se prevé que puede mantener las propiedades físico-mecánicas del WPC y es de fácil incorporación en el proceso de fabricación del WPC. El mecanismo de actuación se basa en la formación de capa de carbón protectora.

Nanocompuestos

Tal y como se especifica en el entregable 5, se ha escogido el uso de se han seleccionado tres tipos de nanoaditivos para mejorar las propiedades ignífugas e intumescentes) con el objetivo de ser añadidos en el proceso productivo de probetas WPC. Las **nanoarcillas de montmorillonita** se han escogido para comprobar su eficacia ya que es la más estudiada. Además de esto, se incluye las **nanopartículas de óxido de compuestos metálicos** ya que permitirán una buena cohesión con los retardantes convencionales. De estos, el más estudiado y de especial interés en la madera es el **TiO₂**. Finalmente se comprobaba el efecto retardante de llama de los **óxidos de grafeno modificados** para facilitar la dispersión de estos en el WPC y evitar aglomeraciones. De estos, el más frecuente es el **grafito expandido**. Además, también puede ser combinado con distintos compuestos retardantes de llama no halogenados.

El **entregable 6 (E6)** de título: **Informe sobre el proceso de fabricación escogido**, también está englobado dentro del PT3 y tenía como objetivo la descripción de los métodos de producción y tecnologías disponibles de los WPC para la elección del proceso más adecuado para la fabricación de nuevos productos WPC con propiedades al fuego mejoradas.

Teniendo en cuenta que los WPC se producen a partir de una extensa variedad de materias primas tanto para la matriz polimérica como de la matriz celulósica, existen diversos métodos de producción de los WPC, íntimamente relacionados con el proceso de fabricación de los plásticos. En esencia, el polímero granulado y la harina de madera son fundidos en condiciones de procesado, a temperaturas y presiones adecuadas, que aseguren que la madera no se degrade térmicamente (Temperatura proceso < 220 °C). El proceso de aglomeración es esencial para la correcta dispersión de las materias, por lo que comúnmente se mezclan la madera y el polímero con aditivos que mejoran el proceso de fabricación o bien le aportan propiedades específicas al WPC (color, durabilidad, resistencia al fuego...). Tras el mezclado, el aglomerado pasa por un proceso de transformación (extrusión, moldeado, inyección, compresión...) que le confiere la forma adecuada. Finalmente, se puede incluir un acabado donde se les añaden aditivos superficiales para cambiar la apariencia, color etc.

El proceso de fabricación del WPC puede ocurrir en dos etapas separadas (mezclado “**compounding**” y **moldeado/transformación**) o en una única etapa de **extrusión** (mezclado y moldeado por extrusión continua). Según el avance tecnológico, la maquinaria disponible y el tipo de aplicación del producto final, es posible realizar la aglomeración de las materias primas en la misma etapa que la extrusión ya que ambas etapas se pueden realizar con extrusora. Generalmente se procede de manera separa para garantizar mayor eficacia del “**compounding**” y ofrecer mayor diversidad de aplicaciones finales del producto. Los métodos

Resumen de las actividades desarrolladas

de moldeado de WPC más comunes son la **extrusión, el moldeado por compresión y termoconformado y el moldeado por inyección**. El uso de los distintos procesos dependerá de la aplicación del WPC. En resumen, se puede decir que en la fabricación de perfiles de WPC se opta generalmente por el uso de extrusoras, bien en una o dos etapas, siendo más idóneo para los productos de diversas geometrías el uso de otras técnicas de procesado.

Teniendo en cuenta la información obtenida en el estado del arte de las distintas técnicas de producción de WPC, se pudo comprobar que la extrusión es el método de producción más generalizado en los sectores del mueble, madera y construcción por lo que se seleccionó este proceso para la fabricación de las probetas de los nuevos productos WPC. Además, cabe resaltar que dicho proceso admite la dosificación de los aditivos previo a la fabricación del aglomerado, por lo que garantiza el cumplimiento de los perfiles fabricados en los códigos de construcción y otras normativas estandarizadas.

Extrusión

El compounding se basa, en su mayoría, en la técnica de extrusión para mezclar ambas materias primas, derritiendo el polímero y mezclando a su vez este con la madera y los aditivos. En el mercado hay distintos sistemas con husillos que conforman la extrusora para el mezclado.

a) Extrusora con husillo único

La maquinaria emplea dos etapas diferencias, dosificación y fundición donde incluye una aspiración de los compuestos volátiles. La dosificación suele ser por gravimetría, con la inclusión de una etapa de secado de los pellets/harina. El mezclado ocurre en un tambor con aplicación de calor y el mecanismo de atornillado del husillo a una determinada presión. El gran inconveniente de este sistema es que el polímero se funde conjuntamente con la adición de la fibra/harina de madera con el consecuente riesgo de descomposición térmica de esta última. Por lo general, para esta técnica se escogen polímeros con temperatura de fundición por debajo de la descomposición térmica de la madera.

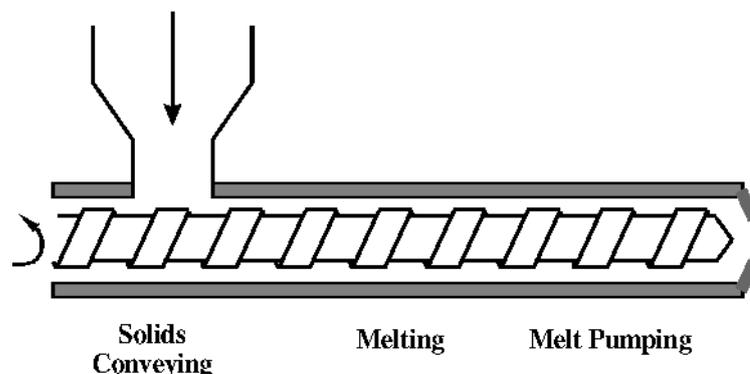


Figura 25. Extrusora monohusillo

Por razones técnicas, en la mejora del secado y mezclado de las materias primas, esta tecnología es aplicable mayoritariamente a la extrusión en dos etapas (primera etapa de mezclado o compounding con el uso de los sistemas que a continuación se detallaran y segunda etapa de extrusión y transformación mecánica con el uso de un único husillo) y no es tan frecuente en el proceso de compounding.

b) Extrusora de doble husillo co-rotantes o contra-rotantes

La maquinaria usada es análoga a la anterior pero en este caso se emplea dos husillos que pueden girar en el mismo sentido o en sentido contrario el uno al otro.

Debido al empleo de dos husillos idénticos, el proceso de mezclado es mejorado considerablemente.

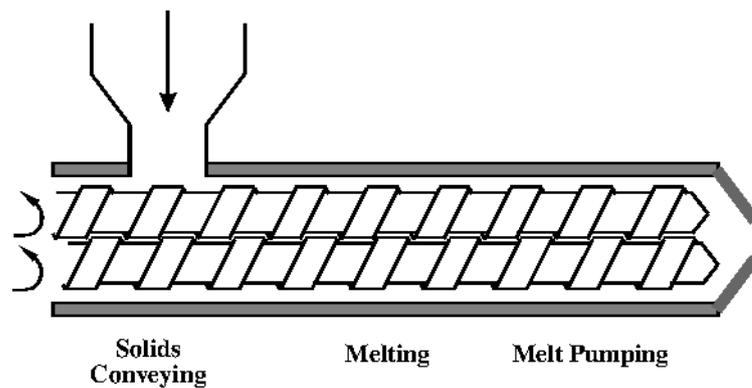


Figura 25. Extrusora de doble husillo co-rotantes

Permite adicionar mayor cantidad de material, mejora la eficiencia energética, reduce el tiempo de mezclado pero aumenta la homogeneidad de la mezcla. Esto se debe a que el mezclado se realiza también en la zona entre los dos husillos. En la siguiente figura se muestra la geometría de estos, que pueden ser cónicos (izquierda) o paralelos (derecha) o una combinación de ambos según sección, siendo la primera más eficaz para el mezclado y la segunda para la compresión.

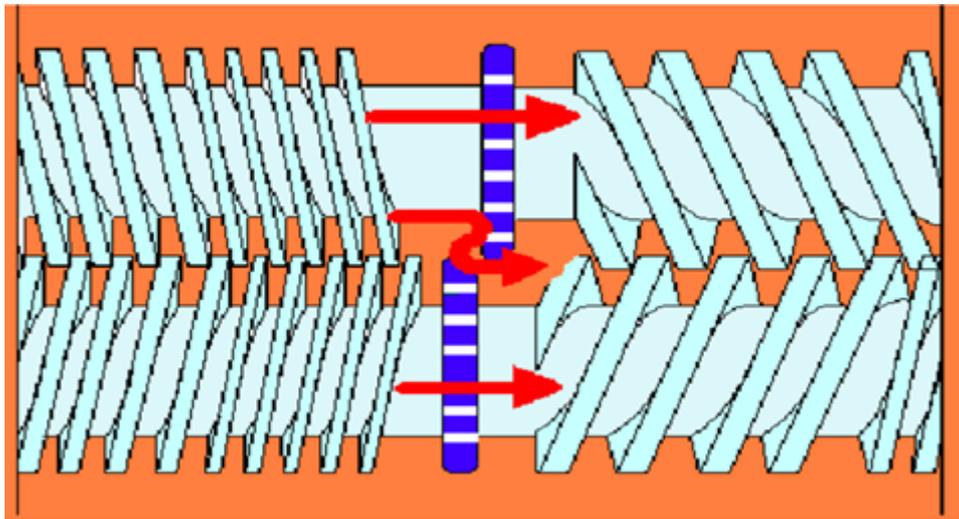


Figura 26. Husillos cónicos y paralelos y dirección de movimiento de la materia en extrusión.

Paquete de trabajo 6 – Difusión del proyecto

Vinculado al trabajo desarrollado en este PT6, se ha elaborado el **entregable 12 (E12)** que tiene por título: Difusión realizada en el año 2017, donde se detallan todas las acciones llevadas a cabo.

Medios de difusión

- Web de AIDIMME – [Información del desarrollo del proyecto WOODPLASTFOC](#)
- Newsletters y Blogs. Difusión del proyecto WOODPLASTFOC

ACTUALIDAD AIDIMME Nº 50 Abril 2018.- [Caracterización de productos WPC durante el Proyecto WOODPLASTFOC para la mejora de las propiedades ignífugas](#)

ACTUALIDAD AIDIMME Nº 37. Octubre 2017 [Proyecto WOODPLASTFOC. Mejora de las propiedades ignífugas de los materiales compuestos de madera y plástico \(WPC\) en función de su uso final.](#)

Noticias Hábitat. Abril 2018. [Caracterización de productos WPC durante el Proyecto WOODPLASTFOC para la mejora de las propiedades ignífugas](#)

Noticias Hábitat Octubre 2017. [Mejora de las propiedades ignífugas de los materiales compuestos de madera y plástico \(WPC\) en función de su uso final. Proyecto WOODPLASTFOC](#)

WOODPLASTFOC 2017 – IMDEEA/2017/126

Resumen de las actividades desarrolladas

Espacios y eventos de difusión

- [Cartel sobre el proyecto en las instalaciones de AIDIMME](#)
- [En feria HÁBITAT VALENCIA](#)
- [En feria FIMMA-MADERALIA](#)

Redes Sociales

- [Facebook AIDIMME](#)
- [Twitter AIDIMME](#)
- [INSTAGRAM](#)