

2017-2018

REFOC

Relaciones existentes entre el comportamiento de los materiales a la reacción al fuego y el comportamiento de los productos, contruidos con dichos materiales, a la resistencia al fuego

Nº Expte: IMDEEA/2017/115

Programa: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS

Breve descripción.

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

Realizado por:
AIDIMME

A continuación se muestra un resumen de las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto en la anualidad 2017-2018.

PT 1. Estudio del estado del arte

En este paquete de trabajo se ha obtenido información relativa a los siguientes temas:

- Qué parámetros y fases intervienen en un incendio
- Parámetros físicos y químicos relacionados con el comportamiento térmico de los materiales
- Formas de analizar el comportamiento frente al fuego, incidiendo en las diferencias entre la reacción y la resistencia
- Reglamentaciones, normas, legislaciones, ..., relativas al comportamiento frente al fuego
- Comportamientos conocidos de determinados materiales frente al fuego
- Formas de mejorar el comportamiento frente al fuego.

La finalidad de esta recopilación y estudio es extraer el máximo provecho posible de estudios previos, para poder volcarlos en la realización del proyecto

Los temas arriba indicados se han estructurado en 5 grandes tareas, cuya ejecución, ha dado lugar a la recopilación de información de dichos temas.

Tarea 1.1 Estudio de la influencia de parámetros físicos y químicos con el comportamiento térmico de los materiales

Para poder acometer esta tarea hay que conocer primero las fases de un incendio, a continuación se da una breve explicación de las mismas:

Un fuego es una reacción química de combustión, una oxidación rápida de una sustancia generando calor, luz (llamas), humo y gases, en la que se dan tres agentes:

- Energía de activación
Calor necesario para iniciar la reacción.
- Combustible
Es la materia que se quema (se oxida).
- Comburente
Es lo que reacciona (oxida) con el combustible generando la combustión.
Normalmente es el oxígeno presente en el aire,

Una vez que se ha iniciado el fuego, para que éste continúe se ha de producir una reacción en cadena. Lo que arde en un fuego siempre son gases. Cuando la cantidad de gases producidos es suficiente, el fuego se autoalimenta ya que genera más calor que produce más gases y así sucesivamente, y no se apaga hasta que se elimine alguno de los cuatro elementos.

Hay varias etapas diferenciadas en el desarrollo de un incendio:

- 1) Fase inicial, inmediatamente posterior a la ignición en la que el fuego se encuentra en estado latente, y solamente se incendia una pequeña parte del material combustible.
- 2) Fase de crecimiento, en la que aumenta la velocidad de combustión y el fuego se aviva por medio de radiación o de contacto directo con las llamas con otros materiales presentes, el incendio comienza a propagarse. Dentro de esta fase existe un punto característico denominado ignición en masa o flashover en el que se produce un incremento brusco de la temperatura, dando lugar a una situación de fuego totalmente desarrollado.
- 3) Fase incendio completamente desarrollado donde todos los materiales combustibles del recinto están en llamas. En esta fase se alcanza la temperatura máxima del incendio.
- 4) Fase de decrecimiento donde la temperatura máxima comienza a descender, bien por la consumición del combustible o bien por la falta de ventilación o ausencia de reacción en cadena (tetraedro del fuego).



En las dos primeras fases (antes del flashover), la estrategia de protección contra incendios consiste en **limitar el desarrollo** del mismo, actuando sobre la **inflamabilidad y contribución al fuego** de los materiales de construcción, muebles, revestimientos...

REACCIÓN AL FUEGO

En las dos últimas fases (después del flashover), la estrategia de protección se centra en **acotar las dimensiones del incendio y proteger la estructura** para que no se produzca un colapso de la misma.

RESISTENCIA AL FUEGO

Asimismo se diferenciaron entre las dos grandes propiedades frente al fuego de materiales y soluciones constructivas:

Reacción al fuego

La reacción al fuego evalúa la potencial contribución a que se mantenga y propague un fuego, intentando reproducir las primeras fases del incendio (inicio y desarrollo) en la que la aportación de los productos es muy importante.

Resistencia al fuego

La resistencia al fuego de un elemento es la capacidad del mismo para mantener, durante un período de tiempo determinado, la función portante que le sea exigible, así como la integridad y/o el aislamiento térmico en los términos especificados en el ensayo normalizado correspondiente.

Para mejorar el comportamiento térmico de los materiales especialmente frente al fuego, se cuenta con productos ignífugos.

Se trata de aquellos productos que protegen frente al fuego. Los ignifugantes se pueden introducir en un material de diversas formas:

- Durante su fabricación, de manera que queda embebido en la estructura del mismo. Esta posibilidad se suele dar en polímeros
- En forma de recubrimiento, de manera que se aplique una capa de producto que queda en la superficie, con algo de penetración en las primeras micras de ella
- Por inmersión, de manera que el producto penetra más que en el caso anterior, protegiendo al material durante más tiempo, ya que se introduce algo en masa y hace mejor frente a la abrasión y a otros agentes externos
- En autoclave, de manera que se introduce, a presión, a lo largo de un elevado espesor del material, siendo, por tanto, la protección más alta

Hay diversos tipos de ignifugantes y mecanismos de actuación, pudiéndose clasificar (con ejemplos) en:

- Resistentes a la llama
- Retardantes a la llama/fuego
 - o Retardantes halogenados
 - o Compuestos inorgánicos
 - Activos
 - ATH - Trihidróxido de aluminio – $\text{Al}(\text{OH})_3$
 - Dihidróxido de magnesio - $\text{Mg}(\text{OH})_2$
 - Pasivos
 - APP - Polifosfato de amonio – $(\text{NH}_4\text{PO}_3)_n$
 - Borato de zinc - $\text{Zn}_3(\text{BO}_3)_2$
 - Trióxido de antimonio – Sb_2O_3
 - Productos inorgánicos de sílice
 - De carbono
 - Nanotubos de carbono
- Recubrimientos intumescentes

Importancia de las características de los materiales

Desde hace mucho tiempo se sabe, experimentalmente, que las propiedades térmicas de los materiales que conforman paredes, techos y suelos de una habitación son muy importantes en la evolución de un incendio.

Las propiedades térmicas de los materiales de revestimiento que mayor influencia pueden tener sobre un incendio son:

- a) Conductividad térmica: λ (W/mK)
- b) Densidad: ρ (kg/m³)
- c) Calor específico (o capacidad térmica): c (J/kgK)

Estas propiedades sirven para definir otra característica térmica fundamental:

- d) Inercia térmica: b (J/m²s^{1/2}K)

La conductividad y el calor específico de un material dependen de la temperatura a que se encuentra el mismo.

Tarea 1.2. Comportamiento frente a incendios de diferentes materiales

Aunque todos los materiales son susceptibles de sucumbir ante un incendio completamente desarrollado (flash over), en el desencadenamiento de un incendio, dichos materiales tienen comportamientos sustancialmente distintos. Su comportamiento depende, fundamentalmente, de:

- la facilidad de ignición
- la velocidad con que se desarrolla (propagación de la llama)
- la intensidad del incendio (velocidad de liberación de calor)
- la velocidad y la capacidad de generación de humos

Como ya se ha indicado, la reacción al fuego es la parte que se encarga del estudio de este comportamiento inicial frente al fuego, mientras que la resistencia al fuego determina la capacidad de soportar en el tiempo, a la acción de un fuego desarrollado.

Se plasma, en el entregable 1.1, el comportamiento genérico de varios materiales ampliamente empleados en construcción:

- Madera
- Tableros derivados de madera: fibras duro, OSB, contrachapado, MDF y partículas
- Hormigón celular
- Polímeros
- Bloques de termoarcilla
- Cerámica y fábrica
- Revestimientos de interior
- Lana mineral
- Acero
- Hormigón

Es de destacar que para un mismo material, el comportamiento puede variar en función de algunas propiedades.

A modo de ejemplo, se puede indicar que, en el caso de la madera, el comportamiento frente al fuego depende, principalmente, de:

- La relación entre la superficie y el volumen de la pieza, de forma que, a mayor relación, mejor comportamiento frente al fuego, ya que se forma más capa aislante
- La existencia de fendas, principalmente en la dirección de las vetas, que avivan el fuego, debido a la presencia de oxígeno atrapado y a la conducción del fuego
- La densidad, de forma que, cuanto mayor es, más tarda en arder y la velocidad de la combustión es menor
- El contenido en humedad, pues cuando ésta es mayor, más vapor de agua se ha de evaporar y más tardará la madera en arder

Por otro lado, en materiales de tipo arcillosos, el hormigón y, en general, en la mayoría de los materiales, el espesor actúa a favor de una mayor resistencia al fuego. Ello es muy importante debido a la caída de resistencias mecánicas con la temperatura, de forma que un elevado espesor puede incrementar la temperatura crítica la que tiene lugar una disminución que implique riesgos elevados.

Por otro lado se compara la densidad óptica y la emisión de sustancias tóxicas entre el PVC, el aluminio y la madera. Estas propiedades están muy relacionadas con el peligro frente a un incendio, ya que determinan la facilidad de escapar del mismo. Por ello, son parámetros que se encuentran recogidos en los requisitos de las legislaciones y en las normas de ensayo correspondientes.

Asimismo se han buscado experiencias en las que se muestra el diferente eficacia de los tratamientos ignífugantes según el tipo de soporte, lo cual se puede deber al espesor de éste, su densidad, su capacidad de absorción, ... Esto da lugar a que, por ejemplo, los tableros OSB, presentando mejor comportamiento frente al fuego que los tableros de fibras duros, el tratamiento de ignifugación sea mucho menos eficaz en los primeros que en los segundos.

Desde un punto de vista general, sin incidir en cuestiones particulares que se puedan dar y que pueden variar el comportamiento esperado, se da una estimación de la clasificación frente al fuego de 9 materiales habituales en el sector de la construcción. Esta estimación se basa en la experiencia de resultados de ensayos realizados, los cuales se encuentran recogidos en la bibliografía. Las estimaciones de resultados presentando no sirven para una certificación ni para demostrar el cumplimiento de la legislación o de pliegos de condiciones, debiendo, para ello, realizar los ensayos pertinentes.

Tarea 1.3. Influencia de circunstancias ajenas a productos y materiales en la evolución de los incendios

Entre estas circunstancias se encuentran:

- Causas varias, como son:
 - Concentración de los comburentes y combustibles.
 - La superficie específica expuesta al ataque del fuego.
 - Condiciones del entorno y geometría del escenario.
 - Condiciones climatológicas.
 - Tamaño, número y distribución de los huecos de ventilación.
 - Propiedades térmicas de los cerramientos del recinto
 - Tamaño, composición y localización de las fuentes de combustible que se incendian en primer lugar.
 - Disponibilidad y ubicación de fuentes de combustible adicionales.
 - Correcto funcionamiento de las medidas de protección activa y pasiva del recinto

- La existencia de aberturas:
 - Tiene influencia porque suponen una entrada de oxígeno
 - El grado de influencia depende del tipo de material
 - En algunos casos puede tener más importancia que la misma inercia térmica de los materiales con que está construido el elemento

- El mantenimiento de los tratamientos
 - Hay tratamientos que pueden ser hidrosolubles, por lo que la humedad ambiente influye en su migración del material al ambiente, o que pueden eliminarse por el rozamiento, por lo que se pierde concentración del producto ignifugante en el elemento

Tarea 1.4. Reglamentaciones, normas, legislaciones, ..., relativas al comportamiento frente al fuego

Se ha recogido la información más importante de la legislación, presentándose en tablas de forma que se indica la clase inferior que se debe respetar en función del tipo de elemento constructivo y de su ubicación. Obviamente no se pueden dar estos requisitos para todo tipo de posibilidades, pues hay una gran variedad de elementos constructivos, pero sí se han recogido los más frecuentes.

Las especificaciones indicadas por la legislación están basadas en resultados de métodos de ensayo normalizados, la mayoría de ellos provenientes de normas europeas. Es de destacar que estos requisitos, para un mismo tipo de elemento constructivo y ubicación, son diferentes en función del país.

En España la ley que rige las especificaciones de los materiales y productos en la construcción, para las diferentes propiedades relacionadas con la seguridad de la misma y con el usuario (resistencias mecánicas estructurales, comportamiento frente al fuego, aislamiento acústico, ...), es el Código Técnico de Edificación.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). En el CTE quedan reflejadas las exigencias básicas que deben cumplir los edificios en cuanto a seguridad (seguridad estructural, seguridad contra incendios, seguridad de utilización) y habitabilidad (salubridad, protección frente al ruido y ahorro de energía).

Las tablas que se dan en esta ley recogen la exigencia, el tipo de elemento constructivo y su ubicación, dándose a continuación un ejemplo de los que se muestran en el entregable 1.1

Clases de reacción al fuego de los elementos constructivos

Situación del elemento	Revestimientos ⁽¹⁾	
	De techos y paredes ^{(2) (3)}	De suelos ⁽²⁾
Zonas ocupables ⁽⁴⁾	C-s2,d0	E _{FL}
Pasillos y escaleras protegidos	B-s1,d0	C _{FL} -s1
Recintos de riesgo especial	B-s1,d0	B _{FL} -s1
Espacios ocultos no estancos: tales como patinillos, falsos techos y 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 ⁽⁵⁾

(1) Siempre que superen el 5% de la superficie total 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 aquellos materiales que constituyan una capa contenida en el interior del techo o pared y que no esté protegida por una capa que sea EI 30 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) 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, retícula o entramado abierto, con una función acústica, decorativa, etc., esta condición no es aplicable.

Tarea 1.5. Simulaciones de evoluciones de incendios

Desde hace tiempo se han desarrollado programas de simulación de incendios que permiten el estudio teórico de cómo puede evolucionar un incendio, bajo distintas circunstancias, sin necesidad de realizar experimentos costosos y con riesgo.

A lo arriba indicado hay que añadir otras ventajas respecto a la experimentación o estudio analítico, como es el permitir tener en cuenta un conjunto muy amplio de variables, interactuando entre ellas, como son la geometría del habitáculo, su contenido, la ventilación, etc...

Por tanto, la simulación permite el estudio de un sinnúmero de posibilidades, es decir, de escenarios, analizando el comportamiento, sin realizar experimentos destructivos de mayor coste y riesgo.

Las herramientas de simulación de incendios se basan en programas de dinámica de fluidos, “computational fluid dynamics” (CPD), pudiendo tener de varias aplicaciones:

- Diseño de recintos para minimizar el riesgo
- Diseño de sistemas de protección contra incendios
- Investigación de fuegos reales, para intentar localizar las causas y evitar futuros problemas

PT 2. Selección de parámetros y muestras, con análisis de las mismas, relaciones propiedades- reacción y creación base de datos

A partir de la información recopilada en la primera actividad del proyecto, se pasa a estudiar qué materiales pueden ser los idóneos para llevar la parte experimental, así como se realizan ensayos de caracterización y se ponen las bases primeras para una base de datos de dichos materiales.

Tarea 2.1. Selección de materiales y características a analizar

Se selecciona qué materiales y qué características de los mismos se han de analizar para correlacionarlas con los resultados de la reacción al fuego. Estos materiales tienen que ser representativos de los que se emplean en el sector de la construcción, debiendo haber de diferente naturaleza química.

Así pues, con estos antecedentes, se decide seleccionar los siguientes materiales:

- Pintura plástica ignifugada destinada a ser empleada en el revestimiento de paredes de cemento
- Poliestireno expandido celular
- Piedra sintética
- Tablero de partículas recubierto con melamina
- Láminas de fibrocemento
- Madera de paulownia
- Superficie sólida de resina acrílica
- Material compuesto de aluminio con resina natural
- Madera maciza de ayous
- Tablero de partículas ignífugo recubierto con papel decorativo
- Tablero de fibras de densidad media ignifugado
- Tablero contrachapado de okume
- Material aislante natural compuesto por corcho triturado y resinas acrílicas
- Espuma de poliuretano rígida
- Poliuretano rechapado con HPL
- Revestimiento para PVC

De esta manera hay material celulósico, polímeros, metal y material, principalmente, inorgánico, aunque con mezcla orgánica (piedra sintética), por lo que hay una variedad amplia y diversa de materiales representativos del sector de la construcción.

Teniendo en cuenta lo indicado arriba, aparte la particularidad de cada caso, que lleva a realizar análisis específicos, en conjunto se decide estudiar para todos los materiales:

- a) Conductividad térmica y/o calor específico
- b) Densidad

Estas características son dos de las más importantes que en el estudio del estado del arte se han encontrado como las que más pueden influir en el comportamiento frente al fuego de las soluciones constructivas.

Además de los valores de las características arriba indicadas, también es importante la estructura del producto, es decir, por qué tipo de materiales está construido cada producto, hecho que también se tiene en cuenta en la selección de los productos, pues hay algunos que son homogéneos a lo largo de todo el espesor, mientras otros están formados por un conjunto de materiales que varían a lo largo del grosor o son sus propiedades las que van cambiando.

Tarea 2.2.- Realización de análisis

En esta tarea se realiza la caracterización de los materiales arriba seleccionados, no solo de aquellas propiedades que, a priori, se estiman más influyentes en el comportamiento frente al fuego, sino que se da una caracterización global de los mismos, con el fin de, posteriormente poder analizar si existe alguna relación de dichas propiedades con el comportamiento frente al fuego. los ensayos se llevan a cabo según normas.

Asimismo se estudia la composición de cada uno de los materiales.

A continuación se indica qué ensayos se han realizado de cada uno de los materiales y productos seleccionados.

Pintura plástica ignifugada destinada a ser empleada en el revestimiento de paredes de cemento

Adherencia, s/n ISO 4624
Densidad, s/n UNE-EN ISO 2811-1

Poliestireno expandido celular

Densidad, s/n UNE-EN 323
Conductividad térmica, s/n EN 12667
Estabilidad dimensional, s/n UNE-EN 318
Resistencia a la flexión, s/n UNE-EN 310

Piedra sintética

Densidad aparente, s/n UNE-EN 323
Resistencia a la flexión, s/n UNE-EN 310
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Tablero de partículas recubierto con melanina

Densidad, s/n UNE-EN 323
Resistencia a la flexión, s/n UNE-EN 310
Módulo de elasticidad, s/n UNE-EN 310
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Láminas de fibrocemento

Densidad, s/n UNE-EN 323
Resistencia a la flexión longitudinal, s/n UNE-EN 310
Contracción térmica, basado en UNE 56 533
Coeficiente de conductividad térmica, s/n EN 12667
Módulo de elasticidad longitudinal, s/n UNE-EN 310

Madera de paulownia

Densidad, s/n UNE-EN 323
Resistencia a la flexión, s/n UNE-EN 310
Módulo de elasticidad, s/n UNE-EN 310
Contracción volumétrica, basado en UNE 56 533
Coeficiente de contracción, basado en UNE 56 533
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Superficie sólida de resina acrílica

Densidad, s/n UNE-EN 323
Masa superficial, s/n UNE-EN ISO 2811-1
Módulo de elasticidad, s/n UNE-EN 310
Estabilidad dimensional, s/n UNE-EN 318
Conductividad térmica, s/n EN 12667
Calor específico, por calorimetría diferencial

Material compuesto de aluminio con material natural

Módulo de elasticidad, s/n UNE-EN 310
Masa superficial, s/n UNE-EN ISO 2811-1
Densidad, s/n UNE-EN 323
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Madera maciza de ayous

Densidad, s/n UNE-EN 323
Estabilidad dimensional, s/n UNE-EN 318
Coeficiente de contracción volumétrico, basado en UNE 56 533
Relación entre contracciones, basado en UNE 56 533
Módulo de elasticidad, s/n UNE-EN 310
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Tablero de partículas ignífugo recubierto con papel decorativo

Densidad, s/n UNE-EN 323
Módulo de elasticidad, s/n UNE-EN 310
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Tablero de fibras de densidad media ignifugado

Densidad, s/n UNE-EN 323
Módulo de elasticidad, s/n UNE-EN 310
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Tablero contrachapado de okume

Densidad, s/n UNE-EN 323
Módulo de elasticidad, s/n UNE-EN 310
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Material aislante natural compuesto por corcho triturado y resinas acrílicas

Densidad, s/n UNE-EN 323
Adhesión sobre hormigón, s/n ISO 4624
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Espuma de poliuretano rígida

Densidad, s/n UNE-EN 323
Conductividad térmica, s/n EN 12667
Adhesión a los soportes, s/n ISO 4624

Poliuretano rechapado con HPL

Densidad, s/n UNE-EN 323
Módulo de elasticidad, s/n UNE-EN 310
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Revestimiento de PVC

Densidad, s/n UNE-EN 323
Estabilidad dimensional, s/n UNE-EN 318
Conductividad térmica, s/n EN 12667

Para completar la tarea se lleva a cabo los ensayos de reacción al fuego tras la colocación en el equipo correspondiente que simule su puesta en uso. De estos ensayos se obtienen los resultados que permiten la clasificación de las soluciones constructivas.

Las características de estos materiales son las que a continuación se indican:

Pintura plástica ignifugada destinada a ser empleada en el revestimiento de paredes de cemento

Adherencia: $(0,9 \pm 0,01)$ MPa

Densidad: $(1,60 \pm 0,20)$ g/cm³

Resultado clase reacción al fuego

Clase: A2-s1, d0

Poliestireno expandido celular

Densidad: (18 ± 2) kg/m³

Conductividad térmica: $(0,036 \pm 0,002)$ W/mK

Estabilidad dimensional a 23°C y 50% HR: $\pm 0,2$ %

Resistencia a la flexión: 0,160 MPa

Resultado clase reacción al fuego

Clases: E

Piedra sintética

Densidad aparente: $(2,2 \pm 0,2)$ kg/m³

Resistencia a la flexión: $(65,5 \pm 2,5)$ MPa

Conductividad térmica: $(1,25 \pm 0,02)$ W/mK

Resultado clase reacción al fuego

Clase: A2-s2,d0

Tablero de partículas recubierto con melanina

Densidad: 620 kg/m³ (38mm) y 700 kg/m³ (10mm)

Resistencia a la flexión: 9 MPa (38 mm) y 14 MPa (10 mm)

Módulo de elasticidad: 1 300 MPa (38 mm) y 1 900 MPa (10 mm)

Conductividad térmica: $(0,12 \pm 0,02)$ W/mK

Resultado clase reacción al fuego

Clase: B-s1, d0

Láminas de fibrocemento

Densidad: $(1\,400 \pm 200)$ kg/m³
Resistencia a la flexión longitudinal: (8 ± 1) MPa
Estabilidad dimensional: 1,6 mm/m
Conductividad térmica: $(0,340 \pm 0,002)$ W/mK
Módulo de elasticidad longitudinal: $(4\,000 \pm 100)$ MPa

Resultado clase reacción al fuego

Clase: A1

Madera de paulownia

Densidad: (300 ± 50) kg/m³ (muy ligera)
Resistencia a la flexión: $(15,0 \pm 0,5)$ MPa (baja resistencia)
Resistencia a flexión: (25 ± 4) MPa
Módulo de elasticidad: $(2\,500 \pm 100)$ MPa
Contracción volumétrica: $(0,65 \pm 0,05)$ %
Conductividad térmica: $(0,075 \pm 0,005)$ W/mK

Resultado clase reacción al fuego

Clase: C-s1, d0

Superficie sólida de resina acrílica

Densidad: $(1\,700 \pm 200)$ kg/m³
Módulo de elasticidad: $(10\,000 \pm 2\,000)$ MPa
Estabilidad dimensional a 23 °C y 90 % de HR: 0,02 %
Conductividad térmica: $(0,385 \pm 0,005)$ W/mK

Resultado clase reacción al fuego

Clase: B-s1, d0

Material compuesto de aluminio con material natural

Módulo de elasticidad: $(65\,000 \pm 2\,000)$ MPa
Densidad: $(1\,500 \pm 100)$ MPa
Conductividad térmica: $(6,5 \pm 1,5)$ W/mK

Resultado clase reacción al fuego

Clase: B-s1, d0

Madera maciza de ayous

Densidad: $(400 \pm 50) \text{ kg/m}^3$ (madera semi-pesada)
Coeficiente de contracción volumétrica: $(0,30 \pm 0,05) \%$ madera muy estable
Resistencia a flexión: $(50 \pm 5) \text{ MPa}$
Relación entre contracciones: 1,73 %
Módulo de elasticidad: $(5\ 000 \pm 500) \text{ MPa}$
Conductividad térmica: 0,17 W/mK

Resultado clase reacción al fuego

Clase: B-s2, d0

Tablero de partículas ignífugo, de 19 mm, recubierto con papel decorativo

Densidad: $(620 \pm 50) \text{ kg/m}^3$
Resistencia a la flexión: $(30 \pm 5) \text{ MPa}$
Módulo de elasticidad: $(2\ 900 \pm 100) \text{ MPa}$
Conductividad térmica: $(0,10 \pm 0,02) \text{ W/mK}$

Resultado clase reacción al fuego

Clase: C-s2, d0

Tablero de fibras de densidad media ignifugado

Densidad: $(830 \pm 50) \text{ kg/m}^3$
Módulo de elasticidad: 3400 MPa
Conductividad térmica: $(0,10 \pm 0,02) \text{ W/mK}$

Resultado clase reacción al fuego

Clase: B-s2, d0

Tablero contrachapado de okume

Densidad: $(550 \pm 50) \text{ kg/m}^3$
Módulo de elasticidad: de 7 000 MPa a 5 000 MPa, según el espesor
Conductividad térmica: $(0,15 \pm 0,02) \text{ W/mK}$

Resultado clase reacción al fuego

Clase: B-s2, d0

Material aislante natural compuesto por corcho triturado y resinas acrílicas

Densidad: $(0,60 \pm 0,05) \text{ kg/m}^3$
Adhesión sobre hormigón: $(0,8 \pm 0,01) \text{ MPa}$
Conductividad térmica: $(0,06 \pm 0,2) \text{ W/mK}$

Resultado clase reacción al fuego

Clase: B-s2, d0

Espuma de poliuretano rígida

Densidad: $(240 \pm 20) \text{ kg/m}^3$
Conductividad térmica $(0,18 \pm 0,05) \text{ W/mK}$

Resultado clase reacción al fuego

Clase: C-s2, d0

Poliuretano rechapado con HPL

Densidad: cuando está pegado a tablero de partículas, de 755 kg/m^3 a 765 kg/m^3 y cuando está pegado a tablero MDF de 850 kg/m^3 a 880 kg/m^3
Conductividad térmica: $(0,25 \pm 0,05) \text{ W/mK}$

Resultado clase reacción al fuego

Clase: C-s2, d0

Revestimiento de PVC

Densidad: $(750 \pm 50) \text{ kg/m}^3$
Estabilidad dimensional:

- Incremento en longitud:
 - Paralelo (mm/m): 0,20
 - Transversal (mm/m): 1,45
- Incremento en espesor
 - Paralelo (%): 0,6
 - Transversal (%): 0,4
- Incremento en masa (%): 0,3

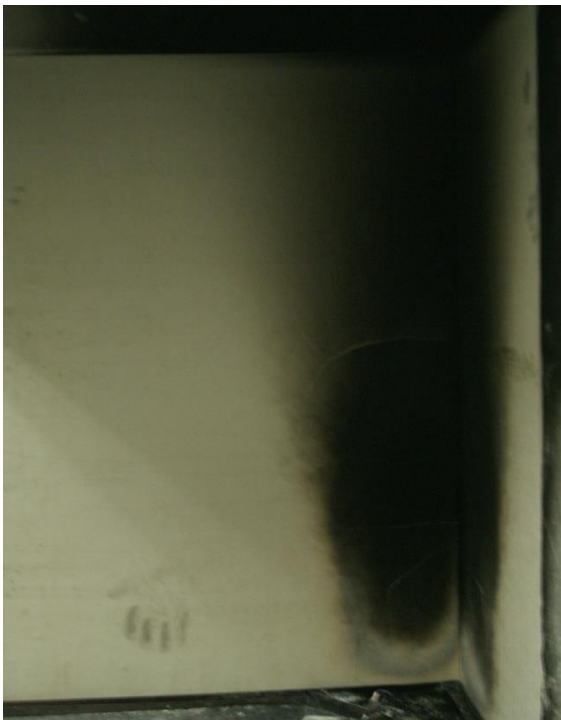
Conductividad térmica: $(0,19 \pm 0,02) \text{ W/mK}$

Resultado clase reacción al fuego

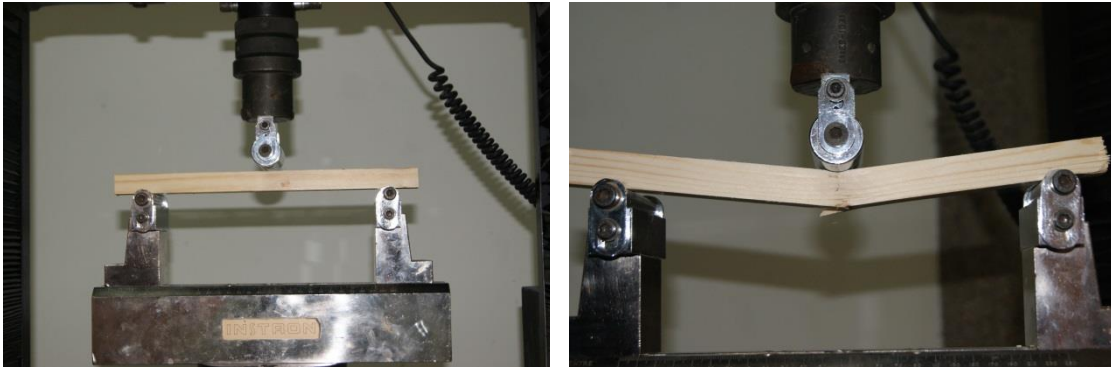
Clase: C-s3, d0

Fotos de algunos de los ensayos realizados mencionados anteriormente:

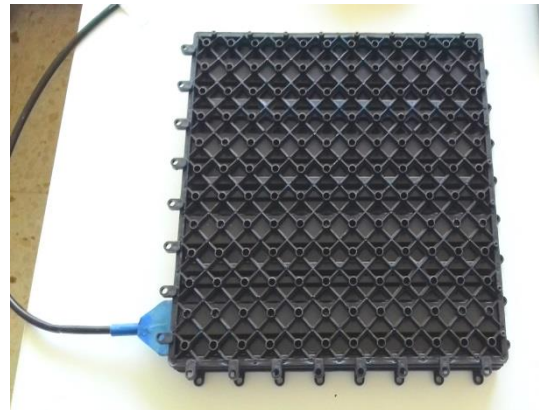
Ensayos de reacción al fuego Euroclases (SBI test s/n UNE-EN 13823:2012+A1:2016)



Ensayo de flexión (s/n UNE-EN 310)



Ensayo de conductividad térmica (s/n UNE-EN 12667)



Ensayo de adhesión (s/n ISO 4624)



A partir de las características de los materiales y la composición de los productos, junto con el resultado de la clase de reacción al fuego, se obtienen deducciones de cómo pueden los primeros influir en dicha clase.

Tarea 2.3.- Creación de una base de datos

Los datos analizados arriba se recogen en una amplia base de datos que, en el futuro, pueda ser empleada para elegir materiales que conformen productos que tengan un determinado comportamiento frente al fuego.

Esta base de datos es ampliable a nuevos materiales que se analicen.

PT3. Análisis de correlaciones reacción - resistencia

De esta actividad, en la que hay dos tareas, se ha llevado a cabo la primera, la tarea 3.1, la cual tiene por finalidad el planteamiento de la hipótesis de la influencia entre características y naturaleza de materiales y su reacción al fuego con la resistencia al fuego de productos construidos con combinaciones de los materiales.

Se trata de una tarea teórica, en función del estado del arte desarrollado en la primera actividad y de las deducciones realizadas, a partir del estudio experimental, en la segunda actividad.