

2019-20

# MATRAFOC

## MEJORA DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE LA MADERA TRATADA DESTINADA A DIFERENTES USOS

Nº Expte: IMDEEA/2019/33

Programa: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS.

### Actividades desarrolladas MATRAFOC 2019-2020

#### Breve descripción.

Memoria justificativa de las actividades desarrolladas en el PROYECTO MATRAFOC 2019-2020

Realizado por:

**AIDIMME**



**GENERALITAT  
VALENCIANA**

**iVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



**UNIÓN EUROPEA**  
Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional

*Una manera de hacer Europa*

## Contenido

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUCCIÓN AL ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>AGENTES BIÓTICOS DEGRADADORES DE LA MADERA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>HONGOS XILÓFAGOS.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2</b>	<b>INSECTOS XILÓFAGOS .....</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>NORMATIVA Y LEGISLACIÓN APLICADA A MADERA TRATADA .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>DURABILIDAD DE LA MADERA .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2</b>	<b>PRESTACIONES FRENTE AL FUEGO .....</b>	<b>36</b>
<b>5.</b>	<b>TIPOS DE TRATAMIENTO PARA LA MADERA.....</b>	<b>40</b>
•	<b>APLICACIÓN DEL PRESERVANTE A PRESIONES CONSIDERABLEMENTE SUPERIORES A LA ATMOSFÉRICA. ....</b>	<b>40</b>
•	<b>APLICACIÓN DEL PRESERVANTE SIN PRESIÓN, DEPENDIENDO DEL PROCEDIMIENTO Y EQUIPO EMPLEADO. ....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>APLICACIÓN DEL PRESERVANTE A PRESIONES CONSIDERABLEMENTE SUPERIORES A LA ATMOSFÉRICA (TRATAMIENTOS DE PRESIÓN). ....</b>	<b>40</b>
<b>5.1.1</b>	<b>PROCESOS EN EL TRATAMIENTO EN AUTOCLAVE DE LA MADERA. ....</b>	<b>40</b>
<b>5.2</b>	<b>APLICACIÓN DEL PRESERVANTE SIN PRESIÓN, DEPENDIENDO DEL PROCEDIMIENTO Y EQUIPO EMPLEADO. ....</b>	<b>42</b>
<b>5.2.1</b>	<b>APLICACIONES EN SUPERFICIE .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2.2</b>	<b>INMERSIÓN .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2.3</b>	<b>NUEVOS PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DE LA MADERA .....</b>	<b>44</b>
<b>6.</b>	<b>AGENTES PRESERVANTES EN EL TRATAMIENTO DE LA MADERA.....</b>	<b>46</b>
<b>7.</b>	<b>OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS.....</b>	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS PROBETAS .....</b>	<b>56</b>
<b>8.2</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
<b>8.3.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>ENSAYO DE HIGROSCOPICIDAD (UNE-EN 16755:2018 – ANEXO A). ....</b>	<b>62</b>	
<b>9.2.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>10.1</b>	<b>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO. ....</b>	<b>63</b>
<b>10.2</b>	<b>EVALUACIÓN ANTES DEL ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL.....</b>	<b>63</b>
<b>10.3</b>	<b>EVALUACIÓN DESPUÉS DEL ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL.....</b>	<b>65</b>
<b>ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL, QUV.....</b>	<b>65</b>	
<b>10.4</b>	<b>CLASE DE DURABILIDAD DE REACCIÓN AL FUEGO.....</b>	<b>68</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante la ejecución del proyecto **MATRAFOC**, se han llevado a cabo los entregables técnicos paquete de trabajo 4 (Tarea 4.1, Tarea 4.2 y Tarea 4.3) y el paquete de trabajo 5 (Tarea 5.1 y Tarea 5.2, Tarea 5.3 y Tarea 5.4). De la misma forma se ha ejecutado los paquetes de trabajo horizontales que se desarrollan a lo largo de todo el tiempo de ejecución del proyecto, concretamente los paquetes de trabajo PT1 (Gestión/Coordinación), PT2 (Difusión), PT3 (Transferencia de resultados)

### Paquete de trabajo 4 – Estado del arte de la técnica. Definición de requisitos técnicos.

Vinculado al trabajo desarrollado en el PT4, se ha elaborado el **entregable 3 (E3)** en el que se incluye un recopilatorio del estado del arte actual en cuanto al tratamiento de la madera y la normativa exigida según su uso final.

## 2. INTRODUCCIÓN AL ESTADO DEL ARTE.

La madera es un material de construcción versátil, ecológica, estéticamente agradable y sencillo de convertir en componentes utilizables a un costo relativamente bajo. Es fácilmente maleable, no contamina en gran medida el medio ambiente dado que sus residuos son biodegradables y, debido a sus excelentes propiedades físicas y mecánicas, proporciona una buena opción como material en una amplia gama de usos finales.

La madera posee intrínsecamente en su naturaleza una durabilidad natural frente al ataque de agentes biológicos (hongos xilófagos, coleópteros, termitas, xilófagos marinos, etc.). Esta durabilidad difiere de una especie a otra y, debido a su extendido uso en distintas condiciones finales, existen situaciones en la que es necesario tratar la madera frente a distintos agentes biológicos que la degradan.

Según los riesgos que existan para cada situación, la madera se cataloga según una clase de uso determinada según la norma **UNE-EN 335:2013** (explicada en el apartado 4.1 de este mismo entregable: *durabilidad de la madera*) y se le aplica una protección determinada que alcance la especificación requerida.

Sin embargo, debido a su inflamabilidad y sus características de propagación de llama, su uso está regulado por la normativa de seguridad contra incendios. Un proceso de ignifugación adecuado puede hacer que estos productos alcancen estas especificaciones técnicas y, por lo tanto, se puedan emplear en una gran variedad de usos.

El proyecto **MATRAFOC** tiene como objetivo poder analizar las prestaciones de reacción al fuego de la madera tratada según las condiciones finales de uso. La **nueva** norma europea **EN 16755:2017** (cuya versión oficial en español es la UNE-EN 16755:2018) tiene como finalidad la **evaluación** de la **durabilidad** de las prestaciones de **reacción al fuego** para poder **clasificar** los productos derivados de la madera ignifugados para su utilización en **interior y exterior**, ya que las prestaciones de reacción al fuego alcanzadas con el tratamiento con aditivos retardantes de llama puede verse afectado por la exposición al vapor de agua y/o condiciones húmedas. Por ello, debe demostrarse la capacidad de los tratamientos ignifugantes para mantener dichas prestaciones incluso después de la exposición a las condiciones anteriormente citadas. Por tanto, un producto derivado de la madera no solo deberá ser clasificado según la **UNE-EN 335:2013** sino que también deberá catalogarse según la nueva normativa **EN 16755:2017**, y

hay que dilucidar si la madera clasificada como clase de uso exterior actual es capaz de conseguir la clase de durabilidad exterior según la nueva normativa.

### 3. AGENTES BIÓTICOS DEGRADADORES DE LA MADERA

Los agentes bióticos que degradan la madera se pueden clasificar en los siguientes grupos:

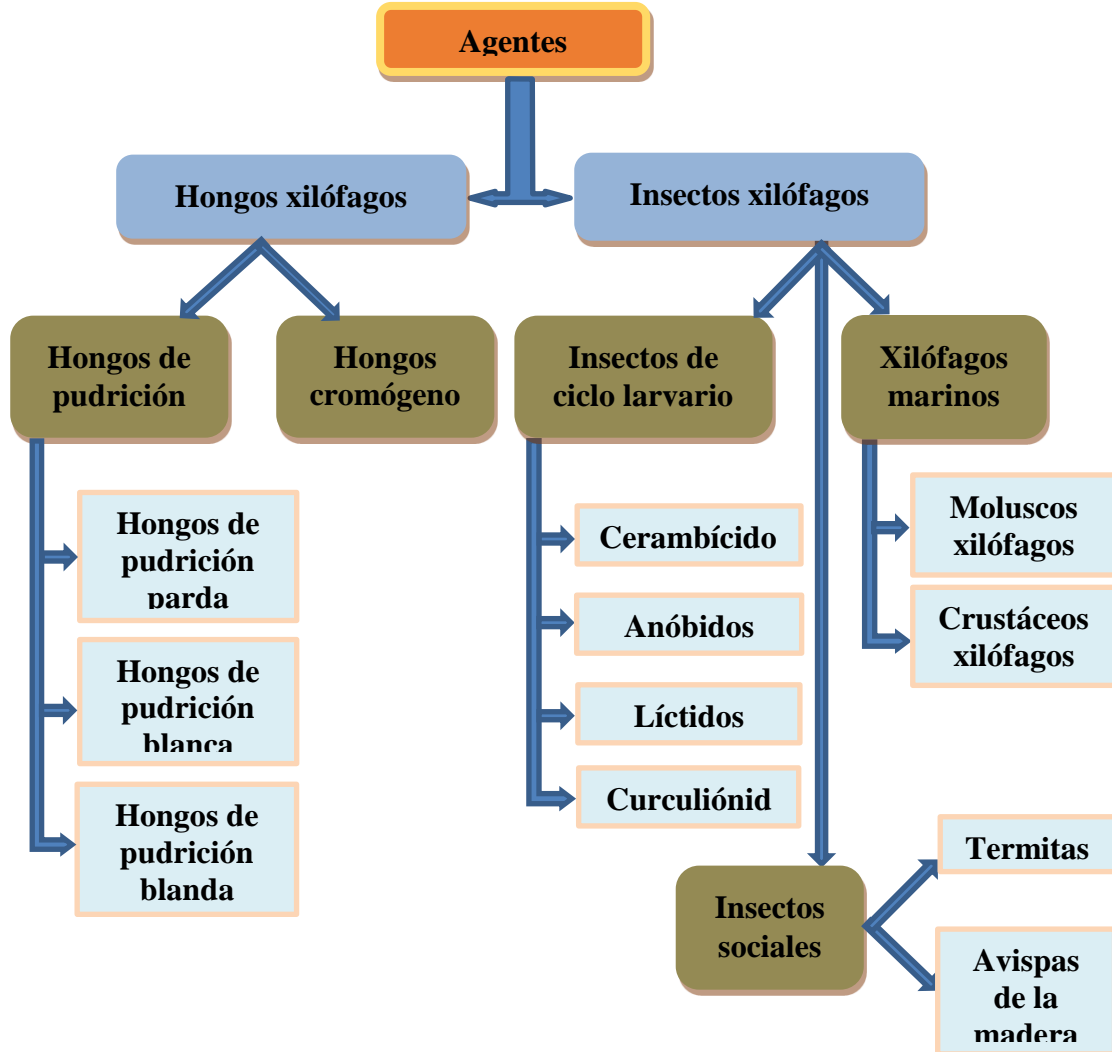


Figura 1. Esquema de clasificación de los agentes bióticos.

El carácter orgánico de la madera hace que pueda ser atacada por organismos xilófagos (organismos cuya dieta consiste principalmente en madera). Sin embargo, esta situación se da lugar en unas condiciones determinadas de temperatura, humedad y lugar de uso. Estas variables se tienen en cuenta a la hora de emplear agentes preservantes que puedan proteger a la madera durante un periodo de servicio determinado (se explicará posteriormente los factores que se tienen en cuenta a la hora de realizar un tratamiento a la madera).

Las principales familias de agentes degradadores de la madera son: **hongos** e **insectos xilófagos**.

### 3.1 HONGOS XILÓFAGOS

Los hongos xilófagos se dividen principalmente en dos tipos: **hongos cromógenos** y **de pudrición**.

#### -Hongos cromógenos:

Los hongos cromógenos se alimentan principalmente del contenido celular de las células vivas de la madera, pero no de la pared celular. Producen un cambio en la tinción de la madera a azulado o grisáceo, pero no suele afectar a las propiedades físicas del material, ya que no altera la pared celular, responsable de la resistencia mecánica. Estos organismos tienen su actividad a partir de 18 - 22 % de humedad, quedando latentes por debajo de estos niveles.



Figura 1. Coloración azulada de la madera a causa de los hongos cromógenos.

#### -Hongos de pudrición:

Son hongos los cuales se alimentan de los componentes de la pared celular (celulosa o lignina) y provocan una degradación estructural de la madera. Sus filamentos (hifas) segregan unas enzimas que catalizan la disolución de los componentes de la madera (celulosa 40 - 60 % y lignina 20 - 30 %) con los que posteriormente se alimentan. De esta manera la madera cambia su color original, disminuye su densidad y su capacidad portante (propiedades mecánicas).

- **Hongos de pudrición parda (cúbica):**

Son hongos que se alimentan principalmente de la celulosa y de la hemicelulosa, dejando en los residuos de color marrón a la lignina. Al secarse queda agrietado siendo su aspecto final el de un material quebradizo que tiene estructura de pequeños cubos o prismas. Esta exposición favorece que el material pueda ser atacado por insectos de ciclo larvario (explicados más adelante).

Entre los ejemplos que se pueden encontrar en hongos de pudrición parda existen dos tipos: **pudrición parda seca** y **húmeda**.

La pudrición parda seca es llevada a cabo solamente por el hongo *Serpula lacrymans*, el cual es capaz de atacar maderas con escaso o nulo contenido de humedad, dado que sus hifas son capaces de transportar agua desde zonas húmedas hasta la madera seca.

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

La pudrición parda húmeda es llevada a cabo por la mayoría de hongos de pudrición. Atacan a la madera siempre y cuando exista un cierto contenido de humedad, siendo el óptimo entre el 40 - 50 %. Ejemplos de hongos que actúan de esta manera son el *Laetiporus sulphureus* y el *Phaeolus schweinitzii*.



Figura 2. Madera afectada por hongos de pudrición parda

- **Hongos de pudrición blanca (fibrosa):**

Estos hongos se alimentan principalmente de lignina, que la destruye por oxidación, degradando en menor grado la celulosa. Su aspecto final son unas vetas blancas de aspecto fibroso de la celulosa resultante no afectada. Ejemplos de hongos que realicen este tipo de pudrición son *Ganoderma applanatum* y el *Phanerochaete chrysosporium*.



Figura 3. Madera afectada por hongos de pudrición blanca

- **Hongos de pudrición blanda:**

La pudrición blanda es causada por hongos descomponedores de la familia de los ascomicetos, aunque algunos basidiomicetos también pueden afectar a la madera de forma similar. Son hongos que desarrollan sus hifas en el interior de la pared secundaria y se alimentan de la celulosa localizada en esta zona, dejando un aspecto gelatinoso, esponjoso y blando. Este fenómeno ocurre en condiciones de humedad alta, tanto en el ambiente como en la madera, y es común encontrarlo en madera en contacto directo con el suelo. Su aspecto final es un blanco amarillento que en ocasiones se puede confundir con la pudrición blanca (Figura 4). Como ejemplo de hongo de pudrición blanda está el ascomiceto *Ustulina deusta*.



Figura 4. Madera afectada por un hongo de pudrición blanda

### 3.2 INSECTOS XILÓFAGOS

En la naturaleza existe una gran cantidad de insectos que se alimentan de madera. Dentro de los más comunes se distinguen dos familias según su ciclo biológico. Así, se dividen en **insectos de ciclo larvario** e **insectos sociales**.

#### -Insectos de ciclo larvario (coleópteros):

Son insectos que sufren un proceso de metamorfosis en el cual pasan por cuatro estados: huevo, larva, pupa e insecto. De esos cuatro estados, es en la etapa de larva donde se alimentan de madera. Este proceso se inicia cuando las hembras depositan los huevos en las aberturas existentes en la madera (fendas, orificios...). De los huevos que se depositaron originalmente, nacen pequeñas larvas que van aumentando su tamaño según se van alimentando de madera, abriéndose paso a través de galerías que van diezmando las propiedades mecánicas del material.

Dependiendo de la especie de insecto, el periodo de larva puede ser desde meses hasta años. Cuando el periodo de larva está cerca de finalizar, éstas se aproximan hasta la superficie del material y crea una cavidad aislada en donde se transforma en pupa y, posteriormente, en insecto. En esta última etapa, rompe una fina capa de madera y sale de la cavidad, dejando un orificio en la superficie. En ese momento, el insecto sale para aparearse y de esta manera comenzar otro ciclo con una nueva generación.

- **Cerambícidos:**

Dentro de este grupo se encuentra el *Hylotrupes bajulus* (**carcoma gruesa**) y *Hesperophanes cinereus*. El *Hylotrupes bajulus* ataca solamente a la madera de las especies coníferas (pino, abeto, cedro...). Mientras que el *Hesperophanes cinereus* tiene el mismo efecto solamente con las frondosas (roble, castaño, nogal...). Las larvas de estos insectos se alimentan de la celulosa de la pared celular. Sus galerías son de aproximadamente 6 mm de diámetro con un serrín muy basto. Dejan orificios ovalados característicos por donde salen de la madera de un diámetro similar. Dependiendo del tiempo en la que la madera ha estado infectada, las posteriores generaciones de larvas pueden debilitar estructuralmente el producto de madera.

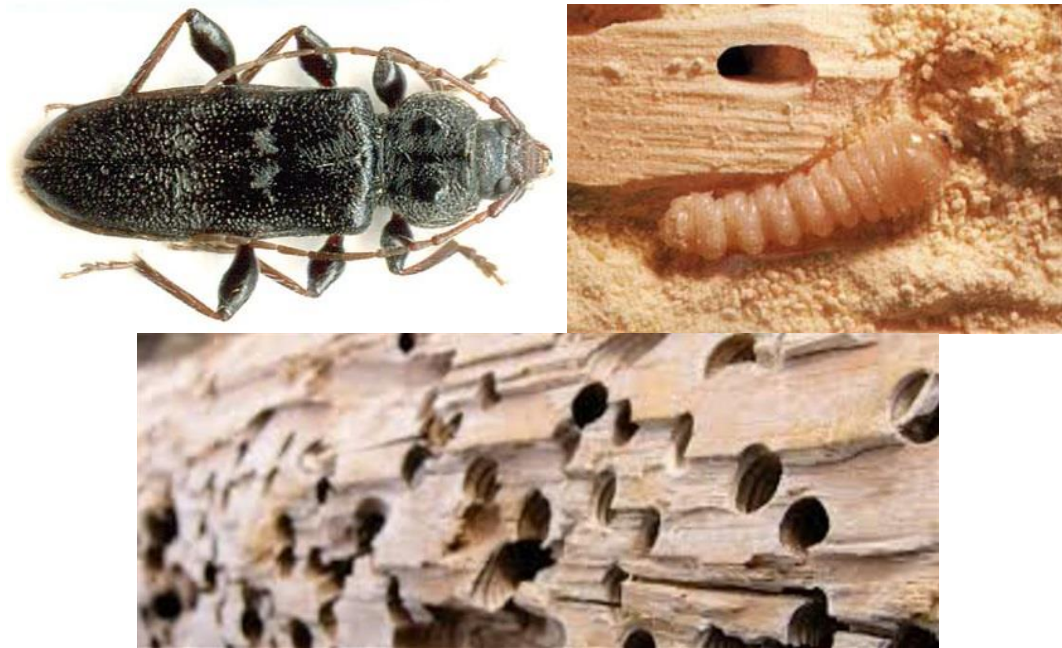


Figura 5. Etapa adulta y larvaria del *Hylotrupes bajulus* y aspecto final de la madera atacada

- **Anóbidos:**

Son una familia de coleópteros conocidos vulgarmente como **carcoma fina**. Entre los más comunes se encuentra el *Anobium punctatum* y el *Xestobium rufovillosum*. De la misma forma que los cerambícidos, sus larvas se alimentan de la pared celular. Sus galerías tienen un diámetro menor (2 - 3 mm) pero atacan madera de todo tipo, tanto especies coníferas como frondosas, aunque sus efectos se suelen observar en la parte de la albura. Las larvas llegan a durar hasta tres años, tiempo en el cual han estado atacando la madera. Este ataque se ve favorecido por una pudrición incipiente de la madera afectada.



MATRAFOC. Actividades desarrolladas

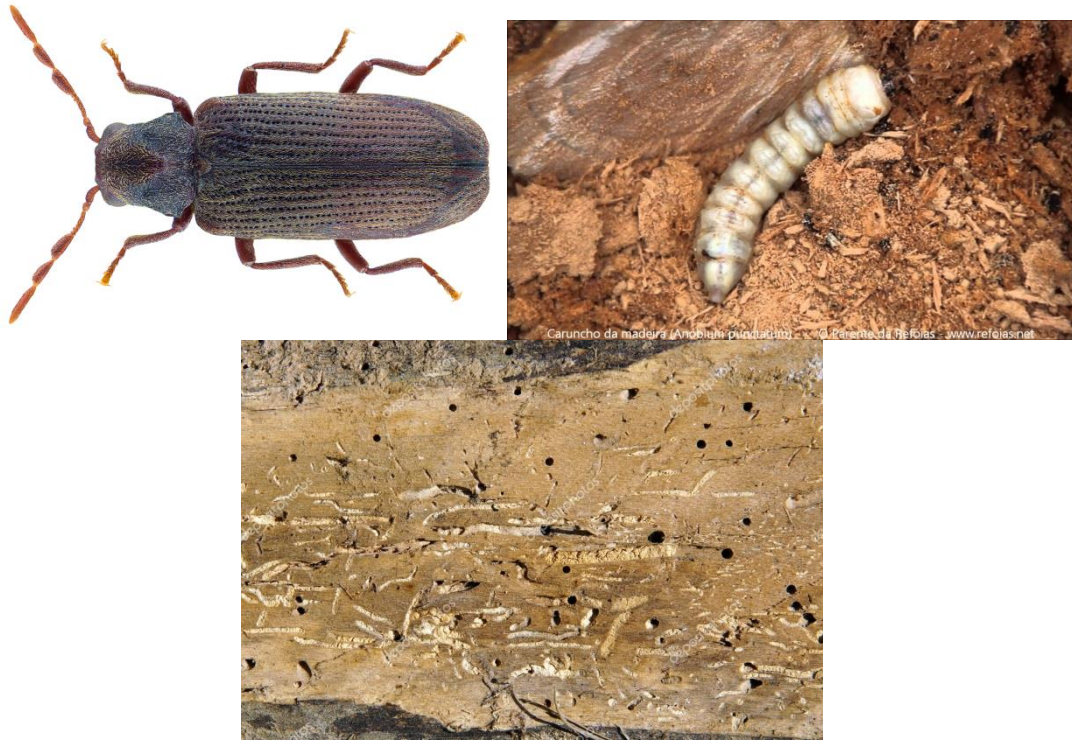


Figura 6. Etapa adulta y larvaria del *Anobium punctatum* y aspecto final de la madera atacada.

- **Líctidos:**

Los líctidos (*Lyctus brunneus* y *Lyctus linearis*) son los coleópteros conocidos vulgarmente con el nombre de “polillas”. Las hembras buscan desovar en los vasos conductores, donde deposita sus huevos. Cuando nacen las larvas se alimentan del almidón existente en la pared celular que hay en las fibras de madera, dado que no son capaces de digerir la celulosa. Forman galerías de 1 mm de diámetro, con una medida similar de los orificios de salida de los ejemplares adultos. Los daños que producen no suelen afectar en gran medida a las propiedades mecánicas, aunque empeora la estética del producto.

Ataca preferentemente a las especies de madera blanda (nogal, roble, pino y abeto, entre otros). No suelen atacar a maderas adultas, con más de 10 años, las maderas barnizadas o con algún acabado aplicado, ya que en esa situación las hembras no pueden depositar sus huevos.



Figura 7. Etapa adulta y larvaria del *Lyctus brunneus*

MATRAFOC. Actividades desarrolladas

• **Curculiónidos:**

Los curculiónidos engloban a los comúnmente llamados **picudos** o **gorgojos**, englobando a especies como el picudo rojo (*Rhynchophorus ferrugineus*), gorgojo del pino (*Dendroctonus frontalis* e *Hylobius abietis*, entre otros), o el gorgojo del eucalipto (*Gonipterus scutellatus*).

Atacan a madera que ha sido previamente debilitada por hongos de pudrición y con alto contenido en humedad, ya que cuando la madera se seca estos insectos desaparecen. La hembra deposita los huevos en la corteza y son las larvas las que se encargan de taladrar a lo largo de la albura creando galerías superficiales cuyo diámetro está comprendido entre 1 - 2 mm.



Figura 8. Etapa adulta y larvaria del *Rhynchophorus ferrugineus*

-**Insectos sociales:**

Se trata de insectos que viven en grupos organizados o sociedades. Se componen de uno o varios progenitores y gran número de descendientes.

• **Termitas:**

Son insectos del orden isóptera que se organizan bajo grupos o castas, que necesitan a la colonia y no pueden vivir solitariamente. Existen tres tipos de termitas: obreros, soldados y reproductivos.

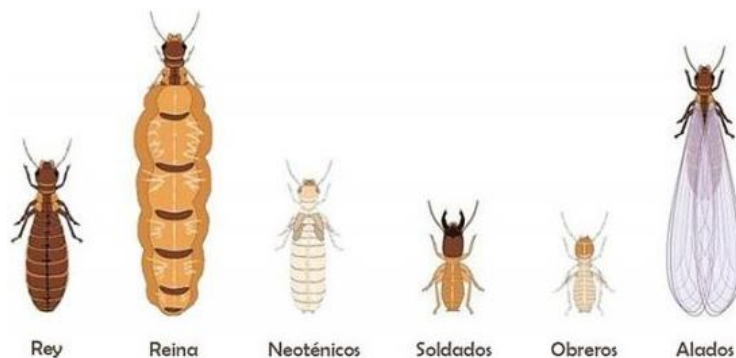


Figura 9. Diferentes ejemplares de las castas de termitas

-**Obreros:** son individuos de ambos sexos y estériles. Se encargan de la construcción y mantenimiento del nido, buscar alimento y cuidar a los individuos reproductivos.

-**Soldados:** al igual que los obreros pueden ser de ambos sexos y son estériles. Poseen una cabeza y mandíbula grande para defender a la colonia y otros con glándulas para repeler a otros animales con chorros de esta secreción.

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

**-Individuos reproductores:** dentro de esta casta se encuentran los individuos alados, la pareja real (reproductores primarios) y los reproductores secundarios.

Los individuos alados son insectos sexualmente maduros los cuales todavía conservan sus alas y que pueden producir nuevas parejas reales (rey y reina). Una vez alcanzada la madurez y cuando la humedad es óptima en el nido, realizan un vuelo nupcial en donde tras este acontecimiento pierden sus alas y se aparean. A partir de ahí, un macho y una hembra se convierten en una pareja real.

La pareja real son los reproductores primarios, siendo el rey y la reina. El tamaño de ambos es considerablemente mayor que el de los obreros y los soldados, sobretodo en el caso de la reina cuyos ovarios tienen hipertrofia debido a que de media las puestas de huevos suelen ser entre 8.000 a 10.000 diarios.

Los reproductores secundarios son termitas adultas que se encargan de sustituir a la reina cuando esta muere o disminuye su ritmo reproductivo, su abdomen tiene mucha menos hipertrofia que el reproductor primario. A su vez, son requeridos en el caso de formar una nueva colonia cuando un grupo ha quedado aislado.

Las termitas son los insectos que realizan el ataque más fuerte a la madera. Se alimentan de la celulosa proveniente del material lignocelulósico, ya que posee unos microorganismos en el tracto digestivo que les ayuda a digerir este biopolímero ya que por sí solas no tienen capacidad metabólica. Pueden llegar a ocasionar la completa degradación del producto y que una estructura ceda y se derrumbe debido a la pérdida total de sus propiedades mecánicas. Estos insectos se alimentan de la celulosa de la madera y evitan el contacto con la luz, por lo que es difícil detectar una estructura infectada hasta que está muy debilitada.

Dentro del género *Reticulitermes*, el cual es el más común dentro de las termitas, la especie *Reticulitermes flavipes* se encuentra en la zona occidental de Francia y la *Reticulitermes grassei* en el sur de Francia y suroeste de la península ibérica. Existen otras variedades de termitas, como son:

*Reticulitermes lucifugus* (termitas subterráneas), que se desplaza subterráneamente desde su nido principal hacia los edificios donde instalan su nido secundario. En ese momento pueden llegar a cortar la comunicación con el principal. Necesitan un alto grado de humedad y es por ello que recubren las galerías con tierra húmeda y siempre en dirección de las fibras y sin atacar algunas capas exteriores de la madera, hecho que les protege del exterior y evitan ser descubiertas. Es por ello que aunque tardan ciertos años en poder realizar un daño importante, su invisibilidad hace que puedan producir grandes daños a la estructura.

*Cryptotermes brevis* (termitas de madera seca), forma colonias de desarrollo lento. Al contrario que las termitas comunes, la reina solamente pone entre 1 y 2 huevos al día, formando colonias entre 100 y 250 individuos. El problema es que, por lo general, en una misma estructura se encuentran un gran número de colonias que hace que la capacidad de destrucción sea muy elevada. Los orificios por donde penetran hacia el interior de la estructura los tapan con una secreción que forma una película fina, quedando disfrazado hacia el exterior. El ataque a la celulosa de la madera lo realizan las ninfas provenientes de las larvas, que no evolucionan a la casta obrera, sino que se mantienen en el estado de ninfas. Buscan madera de contenido de humedad bajo, preferentemente menor de un 20 %.

- **Avispas de la madera:**

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

Los sirícidos (avispa de la madera) son unos insectos similares a las avispas que atacan los árboles de conífera enfermos o recién cortados. Las hembras depositan sus huevos y las larvas cavan túneles alimentándose de la madera.



Figura 10. Ejemplar adulto y larva de la avispa de la madera

Las hembras infectan la madera al perforar y depositar sus huevos mediante un ovopositor, un tubo que penetra unos dos centímetros hacia el interior de la madera y los inserta. Las larvas se encargan posteriormente de cavar túneles que perforan la madera. Al igual que en el caso de las termitas, necesitan de hongos simbióticos para digerir la celulosa. El material infectado se caracteriza por tener una gran cantidad de orificios de salida no camuflados en donde los ejemplares adultos entran y salen de ellos.

### -Xilófagos marinos:

Estos agentes biológicos afectan a la madera en contacto con el agua marina. Afectan tanto a la albura como al duramen y, como veremos posteriormente en el capítulo de “Normativa y legislación aplicada a la madera tratada”, esta exposición es la más dura para los productos de madera y sus requisitos de tratamiento son por tanto los más exigentes.

- **Moluscos xilófagos:**

Los Teredos (denominados también *gusanos de la madera o broma*) son una familia de moluscos bivalvos que se alimentan de la celulosa de la madera sumergida, perforándola y realizando galerías que acaban anulando las propiedades mecánicas del producto y destruyéndolo. Su daño es notable en estructuras de madera conífera y frondosa templada, en agua salada y con aporte de oxígeno. Esto ocurre en muelles que desembocan en agua salada, embarcaderos, barcos de madera, etc.

Tras la fecundación, las larvas resultantes se fijan mediante una sustancia viscosa a la superficie de la madera y la perforan dejando unos orificios circulares de 0.5 mm a 1 mm de diámetro. Posteriormente sufren una metamorfosis y pasan a ser gusanos de unos 20 a 30 cm de longitud, con una cabeza que posee dos conchas calizas estriadas con las que se ayudan para alimentarse. El Teredo permanece toda su vida en la misma madera y su daño depende del tiempo en el que ha estado atacando el material y de las condiciones en las que ha vivido, como son: temperatura, salinidad, % de materia orgánica o transparencia del agua.



Figura 2. Gusanos de Teredo perforando una sección de madera y aspecto final de la misma tras ataque prolongado

- **Crustáceos xilófagos:**

Las principales especies de este grupo son *Limnoria* y *Sphaeroma*. Poseen un exoesqueleto duro y se agrupan en el interior del material formando colonias. El macho fecunda a la hembra en el interior y ésta deposita los huevos los cuales tienen la misma forma que los adultos pero en un tamaño inferior. Los crustáceos tienen un aspecto similar a las cochinillas con 7 pares de patas y se pueden mover libremente por el interior sin estar aprisionados como los moluscos. Su daño es muy visible y evidente ya que forman múltiples galerías de longitud menor a 1 mm y diámetro de 2 mm. Las separaciones entre galerías son tan finas que se rompen por el desgaste del agua, debilitando todavía más el producto de madera. Su desgaste anual es menor al producido por parte de los Teredos, pero las condiciones son menos estrictas, dado que se pueden desarrollar tanto en aguas turbias como transparentes.



Figura 12. *Limnoria* en fase adulta y aspecto final de la madera atacada

El daño causado por *Sphaeroma* es menor que el producido por *Limnoria*, sin embargo, el primero se ha llegado a encontrar también en agua dulce, mientras que el segundo solamente habita en agua salada. Las estructuras incluso con tratamiento más fuerte y penetrante frente a los agentes bióticos no aguantan el ataque continuado de estas especies, comportándose frente a estos agentes bióticos de forma similar a la madera sin tratar.

## 4. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN APLICADA A MADERA TRATADA

La normativa y legislación que afecta a los productos de madera tratada se puede dividir en dos grandes grupos según el riesgo al que se quiere analizar el producto. Por una parte, los estándares relativos a la **durabilidad de la madera** establecen los parámetros a considerar en la protección de productos frente a agentes biológicos, mientras que las normas relativas a **prestaciones frente al fuego** constituyen las propiedades a alcanzar por parte de la madera para poder emplearse según sus condiciones finales de uso.

### 4.1 DURABILIDAD DE LA MADERA

Con la finalidad de poder explicar el procedimiento necesario que hay que llevar a cabo para la elección de preservante a día de hoy de un producto de madera maciza, la norma UNE-EN 351-1:2008 incluye el diagrama de flujo adjunto (Figura 13) de las normas a consultar necesarias para realizar el proceso correctamente. Esta norma, aunque sigue estando vigente, no se le ha realizado una revisión recientemente (la versión actual es de 2008) y en el diagrama se hace referencia a las siguientes normas: EN 335-1:2006, EN 335-2:2006, EN 350-2:1994, EN 460:1994 y EN 599-1:1996, las cuales están ya anuladas y han sido sustituidas por otras en las cuales se han modificado parámetros y clasificaciones. Es por ello que a lo largo de este apartado se explica el procedimiento operativo de cada una de las normas actualizadas.

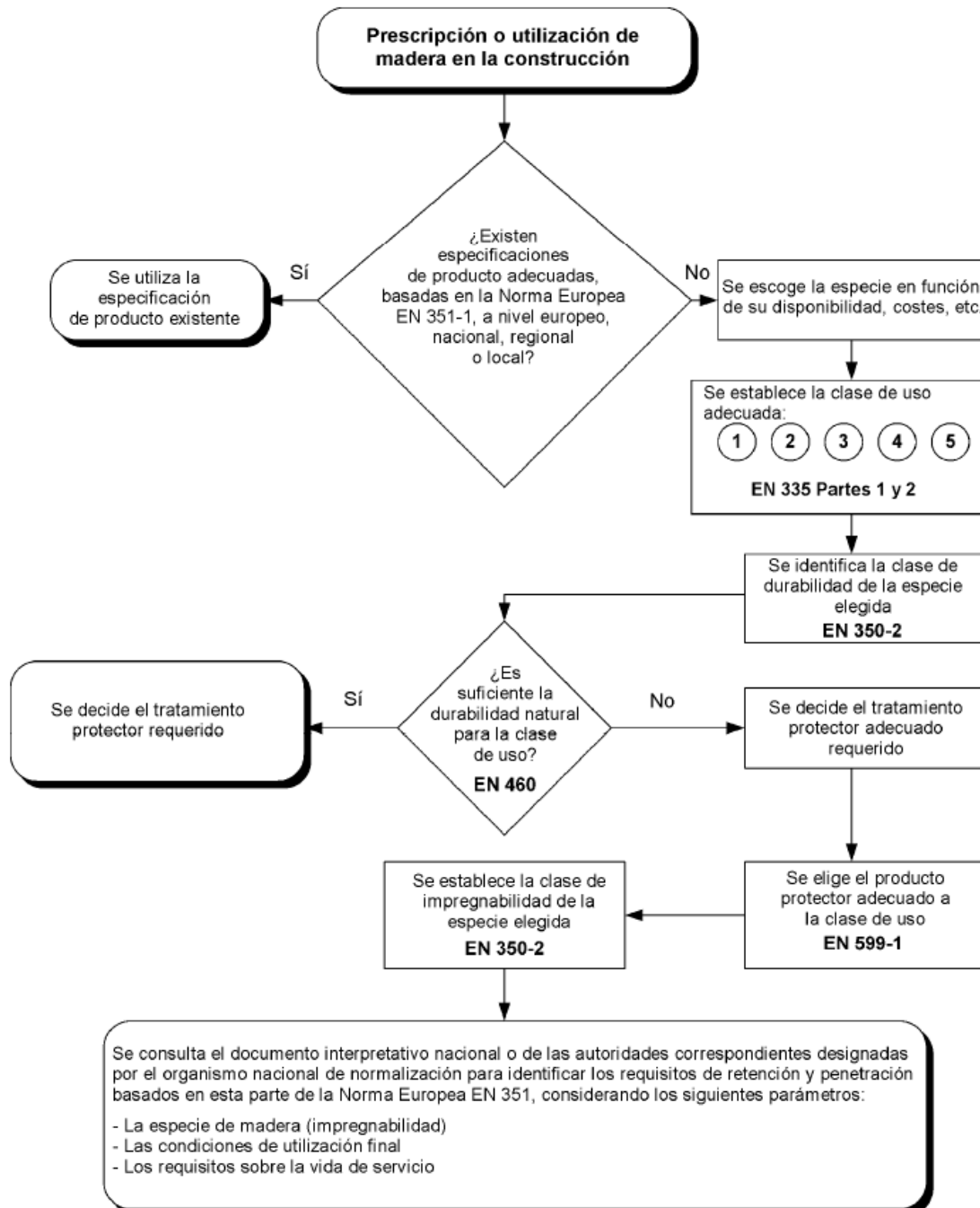









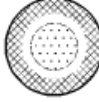


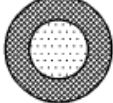
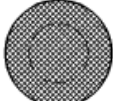



Figura 13. Diagrama de flujo para la elección del preservante en el producto de madera maciza.

### Norma UNE-EN 351-1:2008

Esta norma describe distintos niveles de penetración (NP) del preservante en la madera (seis, de NP1 a NP6), definidas por la distancia hacia el interior que ha alcanzado la sustancia en la madera y si es en albura o duramen.

MATRAFOC. Actividades desarrolladas

Tabla 1. Clases de penetración con los requisitos de penetración y las zonas de análisis correspondientes para las mediciones de retención.

Clases de penetración	Requisitos de penetración <sup>b</sup>	Zona de análisis	Ilustración esquemática de los requisitos de penetración
NP1	Ninguno	3 mm en las caras laterales	
NP2	Al menos 3 mm en las caras laterales en la albura	3 mm en las caras laterales en la albura <sup>c</sup>	  Si no es posible la distinción entre la albura y el duramen
NP3	Al menos 6 mm en las caras laterales en la albura	6 mm en las caras laterales en la albura <sup>c</sup>	    Si no es posible la distinción entre la albura y el duramen
NP4 <sup>a</sup>	Al menos 25 mm en las caras laterales	25 mm en las caras laterales en la albura <sup>c</sup>	 Grosor de la albura > 25 mm
NP5	Penetración total en la albura	Penetración total en la albura <sup>c</sup>	    Si no es posible la distinción entre la albura y el duramen
NP6	Penetración total en la albura y al menos 6 mm en la madera de duramen expuesta	Penetración total en la albura y al menos 6 mm en la madera de duramen expuesta	   Si sólo hay presencia de madera de duramen
<p>Legendas de los esquemas:</p> <p>_____ límite de la albura cuando se distingue del duramen. ----- límite de la albura cuando no se distingue del duramen.</p> <p><sup>a</sup> Se aplica sólo a la madera en rollo de especies no impregnables. <sup>b</sup> La aptitud para cumplir con los requisitos de una clase de penetración dependerá de la impregnabilidad de la madera correspondiente. Debería admitirse que, con determinadas especies de madera no será posible alcanzar determinados requisitos de penetración y que con algunas de ellas pueden requerirse medidas especiales para alcanzar los objetivos de penetración (por ejemplo incisiones, cédulas de secado especiales, inmersión-difusión). La experiencia demuestra que este es el caso para los tratamientos NP5 y NP6 con picea (<i>Picea</i> spp.). <sup>c</sup> Si no se puede distinguir el límite entre la zona de albura y el duramen, el requisito de penetración y la zona de análisis se deben suponer del mismo grosor de albura especificado para la clase de penetración correspondiente.</p>			

El requisito de penetración citado en la Tabla 1 se refiere a la penetración lateral en la albura, pero incluye también el duramen cuando no se puede distinguir la albura del duramen a simple vista y en determinadas circunstancias particulares cuando el duramen se ha expuesto por aserrado. Los requisitos de penetración lateral también pueden complementarse con un requisito de penetración longitudinal, el cual debe ser como mínimo diez veces mayor que el correspondiente al requisito de penetración lateral.



## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

La penetración se debe determinar detectando la presencia de protector hasta el límite de la zona requerida o más allá de dicha zona.

### Norma UNE-EN 335:2013

La norma **EN 335:2013** establece las clases de uso (CU) de la madera según la exposición ambiental que puede estar sometido el producto final. Se aplica a la madera maciza y a productos derivados de la madera. Así, según la **clase de uso** en donde se va a emplear, podemos encontrar las siguientes aplicaciones:

- **Clase de uso 1 (CU 1):**

Situación en la que la madera se utiliza en el **interior** de una construcción y **no expuesto a la intemperie ni a la humidificación**.

El ataque por hongos cromógenos o por hongos xilófagos es insignificante y siempre accidental. Es posible el ataque por insectos xilófagos incluyendo las termitas y la carcoma, aunque la frecuencia y la importancia del riesgo dependen de la ubicación geográfica.

Ejemplos de aplicación de la madera en esta condición de uso puede ser: mobiliario y carpintería interior, vigas, pilares, escaleras...

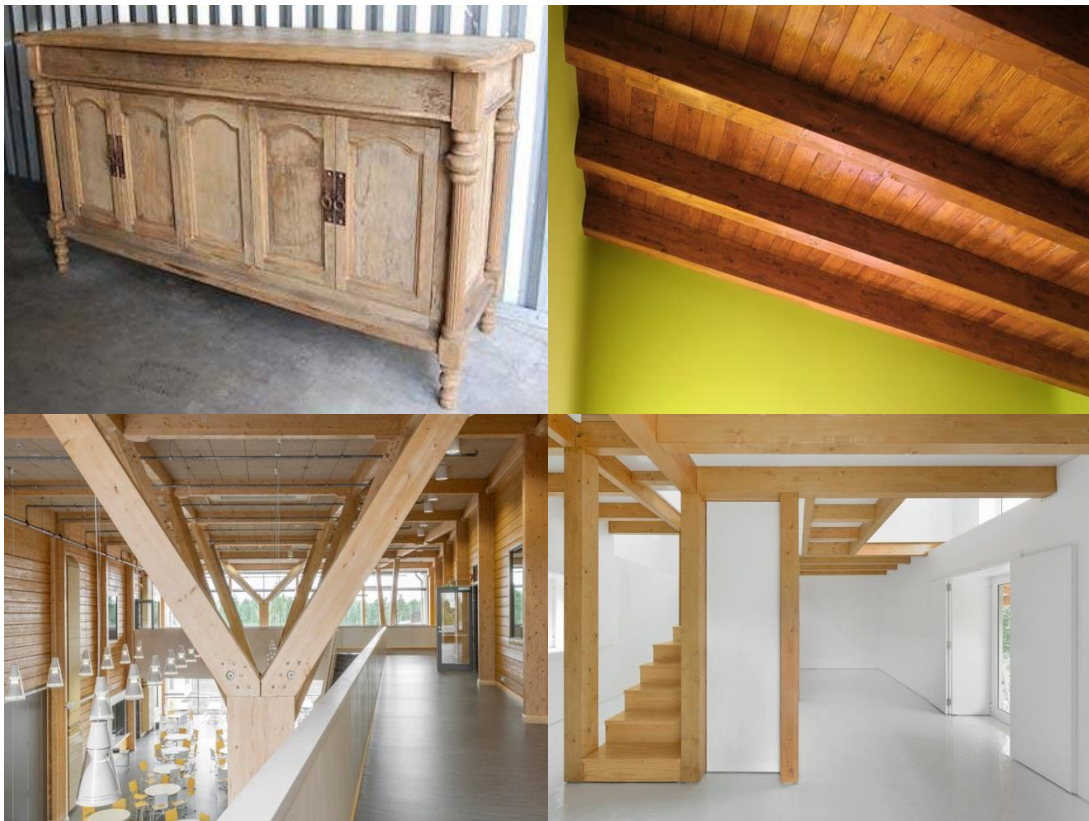


Figura 14. Diferentes aplicaciones de madera para clase de uso 1. (Fuentes [69], [70], [71] y [72]).

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

- **Clase de uso 2 (CU 2):**

Situación en la que la madera se encuentra **bajo cubierta y no expuesto a la intemperie** (en particular a la lluvia horizontal) pero en la que puede estar **sometida a una humidificación ocasional pero no persistente**. En esta clase de uso puede producirse una condensación superficial en la madera y materiales derivados de la madera.

Se puede producir ataque por hongos cromógenos y por hongos xilófagos. Es posible el ataque por insectos xilófagos incluyendo las termitas, aunque la frecuencia y la importancia del riesgo dependen de la ubicación geográfica.

Como ejemplo de aplicación de madera con esta clase de uso se encuentran: cubierta de piscina y spa, estructura interior y revestimiento de una sauna seca...



Figura 15. Diferentes aplicaciones de madera para clase de uso 2. (Fuentes [73] y [74]).

- **Clase de uso 3 (CU 3):**

Situación en la que la madera está **por encima del suelo y expuesto a la intemperie** (en particular a la lluvia).

Se puede producir ataque por hongos cromógenos y hongos xilófagos. Es posible el ataque por insectos xilófagos incluyendo las termitas, aunque la frecuencia y la importancia del riesgo dependen de la ubicación geográfica. El grado de exposición puede ser muy diferente por lo que según los casos, la clase de uso 3 se puede subdividir en dos subclases: la clase de uso 3.1 y la clase de uso 3.2.

- **Subclase 3.1 (CU 3.1):**

En esta situación los productos de madera no permanecen húmedos durante largos periodos. El **agua no se acumula**. Ejemplo madera con CU 3.1 es el suelo de madera de una terraza o el tejado de madera de una casa (el agua resbala), todos estos materiales sin contacto con el suelo.



Figura 16. Tejado con pendiente perteneciente a clase de uso 3.1. (Fuente [75]).

➤ **Subclase 3.2 (CU 3.2):**

En esta situación los productos de madera permanecen húmedos durante largos periodos. El **agua puede acumularse**. Ejemplo madera con CU 3.2 es la estructura de madera de una terraza sin pendiente donde el agua puede quedar estancada.



Figura 17. Terraza sin pendiente correspondiente a clase de uso 3.2. (Fuente [76]).

• **Clase de uso 4 (CU 4):**

Situación en la que la madera o los materiales derivados de la madera están **en contacto directo con el suelo y/o el agua dulce**.

Se puede producir ataque por hongos cromógenos y por hongos xilófagos. Es posible el ataque por insectos xilófagos incluyendo las termitas, aunque la frecuencia y la importancia del riesgo dependen de la ubicación geográfica.

Ejemplos de madera con CU 4 son: madera en contacto con el suelo de puentes de madera, pasarelas de ríos, postes de la luz, traviesas del tren...

MATRAFOC. Actividades desarrolladas



Figura 18. Diferentes aplicaciones de madera con clase de uso 4. (Fuentes [77], [78], [79] y [80]).

- **Clase de uso 5 (CU 5):**

Situación en la que la madera está **sumergida en agua salada** (es decir agua de mar o agua salina) de forma regular o permanente.

El ataque por invertebrados marinos es el problema principal, especialmente en aguas templadas donde organismos tales como *Limnoria* spp., *Teredo* spp. y *Pholades* pueden ocasionar daños importantes. Pueden también producirse ataques por hongos xilófagos o desarrollarse mohos superficiales y hongos cromógenos de azulado. La parte aérea de determinados elementos, por ejemplo los pilotes de muelle puede estar expuesta al ataque por insectos xilófagos.

Ejemplos de madera con CU 5 son: embacaderos, pasarelas de la playa, muelles, embarcaciones de madera...



Figura 19. Ejemplos de madera de clase de uso 5. (Fuentes [81] y [82]).

**Legislación de elección del tipo de protección frente a agentes bióticos.**

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

La protección de la madera frente a agentes bióticos que la degradan es un factor que se tiene muy en cuenta a la hora de la construcción con este material. Por ello, se establecen medidas para garantizar la durabilidad de la estructura al menos durante el tiempo de servicio y en condiciones de uso adecuado.

En España, el Código Técnico de Edificación (CTE), publicado por el Ministerio de Fomento del Gobierno de España, dispone de un subapartado específico de seguridad estructural (DB-SE) dentro del cual se subdivide según material o sector que afecta (en el caso de la madera es el DB-SE-M). En el punto 3 del citado documento, se trata la cuestión de la durabilidad y, en particular, en el punto 3.2 la protección preventiva de la madera. Dentro de este punto, es el apartado 3.2.1.3 donde se indica la elección del tipo de protección que debe realizarse frente a agentes bióticos en función de la clase de uso, especificado en un cuadro de equivalencias (Tabla 2):

**Tabla 2. Elección del tipo de protección en función de la clase de uso.**

Clase de uso	Nivel de penetración NP (UNE-EN 351-1)	
1	NP1 <sup>(1)</sup>	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas
2	NP1 <sup>(2)(3)</sup>	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas
3.1	NP2 <sup>(3)</sup>	Al menos 3 mm en la albura de todas las caras de la pieza.
3.2	NP3 <sup>(4)</sup>	Al menos 6 mm en la albura de todas las caras de la pieza. Todas las caras tratadas.
4	NP4 <sup>(5)</sup>	Al menos 25 mm en todas las caras
	NP5	Penetración total en la albura. Todas las caras tratadas
5	NP6 <sup>(4)</sup>	Penetración total en la albura y al menos en 6 mm en la madera de duramen expuesta.

<sup>(1)</sup> Se recomienda un tratamiento superficial con un producto insecticida  
<sup>(2)</sup> El elemento de madera deberá recibir un tratamiento superficial con un producto insecticida y fungicida.  
<sup>(3)</sup> Los elementos situados en cubiertas ventiladas se asignarán a la clase 2. En cubiertas no ventiladas, se asignarán a la clase 3.1, salvo que se incorpore una lámina de impermeabilización, en cuyo caso se asignarán a la clase 2. Asimismo, se considerarán de clase 3.1 aquellos casos en los que en el interior de edificaciones exista riesgo de generación de puntos de condensación no evitables mediante medidas de diseño y evacuación de vapor de agua  
<sup>(4)</sup> Las maderas no durables naturalmente empleadas en estas clases de uso deberán ser maderas impregnables (clase 1 de la norma UNE-EN 350-2).  
<sup>(5)</sup> Sólo para el caso de madera de sección circular (rollizo).

## Norma UNE-EN 350:2016

La norma UNE-EN 350:2016 indica las clases de durabilidad (DC) de la madera frente a distintos agentes degradadores.

➤ Durabilidad frente a hongos xilófagos:

Frente a hongos basidiomicetos y hongos de pudrición blanda, se establece una escala de cinco niveles de durabilidad:

Tabla 3. Clases de durabilidad de la madera frente a los ataques de hongos xilófagos.

Clases de durabilidad	Descripción
DC 1	Muy durable
DC 2	Durable
DC 3	Medianamente durable
DC 4	Poco durable
DC 5	No durable

- Durabilidad frente a coleópteros xilófagos:  
Frente a los coleópteros (*Hylotrupes bajulus*, *Anobium punctatum*, *Lyctus brunneus* y *Trichofeus holosericeus Rossi*) según la escala se incluyen dos niveles:

Tabla 4. Clases de durabilidad de la madera frente a los ataques de coleópteros xilófagos.

Clases de durabilidad	Descripción
DC D	Durable
DC S	No durable

- Durabilidad frente a termitas:

Tabla 5. Clases de durabilidad de la madera frente al ataque de termitas.

Clase de durabilidad	Descripción
DC D	Durable
DC M	Medianamente durable
DC S	No durable

- Durabilidad frente a xilófagos marinos:

Tabla 6. Clases de durabilidad de la madera frente a los ataques de xilófagos marinos.

Clase de durabilidad	Descripción
DC D	Durable
DC M	Medianamente durable
DC S	No durable

En el anexo C de la citada norma se definen las clases de impregnabilidad de la madera. Estas clases se determinan en función de la facilidad o dificultad para introducir el preservante en su interior (tiempo y NP obtenido).

Tabla 7. Clasificación de impregnabilidad de la madera.

Clase de impregnabilidad	Descripción <sup>a</sup>	Explicación
1	Impregnable	Impregnable. La madera aserrada puede ser impregnada totalmente con tratamiento a presión.
2	Medianamente impregnable	Fácil de impregnar. Normalmente no es posible una impregnación completa, pero después de 3 h o 4 h de tratamiento a presión se puede alcanzar una penetración de más de 6 mm en las coníferas, y en las frondosas, se puede conseguir impregnación en una proporción grande de los vasos.
3	Poco impregnable	Difícil de impregnar. Después de 3 h a 4 h de tratamiento bajo presión se alcanzan como máximo penetraciones laterales de 3 a 6 mm.
4	No impregnable	La madera es prácticamente imposible de impregnar. Después de 3 h a 4 h de tratamiento bajo presión las cantidades de producto absorbidas son mínimas. Las penetraciones longitudinales y laterales son mínimas.
<sup>a</sup> Tradicionalmente se han utilizado otros métodos descriptivos que se aproximan a estas clases de impregnabilidad de la forma siguiente: clase 1 = permeable; clase 2 = medianamente resistente; clase 3 = resistente; clase 4 = extremadamente resistente.		

En el anexo B se adjunta un listado de durabilidad biológica e impregnabilidad de las especies de madera que se encuentra con frecuencia en el mercado en Europa, de las cuales se ha incluido en el entregable una selección de las más empleadas en el mercado:

- Especies coníferas:

Tabla 8. Durabilidad e impregnabilidad de las especies coníferas más frecuentes.

Nombre científico (Nombre común)	Durabilidad del duramen				Impregnabilidad		Otros datos / información cuando está disponible
	Hongos	<i>Hylotrupes</i>	<i>Anobium</i>	Termitas	Duramen	Albura	
<i>Abies alba</i> (Abeto común)	4	S	S	S	2-3	2v	No resistente a xilófagos marinos
<i>Cedrus atlantica</i> (Cedro atlántico)	1-2	D	D	M	3	-	No resistente a xilófagos marinos
<i>Pinus nigra</i> (Pino laricio)	4v	D	D	S	4v	1v	No resistente a xilófagos marinos
<i>Pinus pinaster</i> (Pino marítimo)	3-4	D	D	S	4	1	No resistente a xilófagos marinos
<i>Pinus radiata</i> (Pino insigne)	4-5	D	S	S	2-3	1	No resistente a xilófagos marinos

MATRAFOC. Actividades desarrolladas

<i>Pinus sylvestris</i> (Pino silvestre)	3-4	D	D	S	3-4	1	-
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Abeto Douglas)	3-4	D	D	S	4	2-3	No resistente a xilófagos marinos

\*"v" indica que la especie presenta un nivel elevado de variabilidad infrecuente.

- Especies frondosas templadas:

Tabla 9. Durabilidad e impregnabilidad de las especies frondosas templadas más frecuentes.

Nombre científico (Nombre común)	Durabilidad del duramen			Impregnabilidad		Otros datos / información cuando está disponible
	Hongos	<i>Anobium</i>	Termitas	Duramen	Albura	
<i>Acer pseudoplatanus</i> (Arce blanco)	5	D	S	1	1	No resistente a xilófagos marinos
<i>Betula pendula</i> (Abeto europeo)	5	D	S	1-2	1-2	-
<i>Eucalyptus globulus</i> (Eucalipto común)	5	-	S	3	1	-
<i>Fagus sylvatica</i> (Haya común)	5	S	S	1v	1	-
<i>Fraxinus excelsior</i> (Fresno)	5	S	S	2	2	No resistente a xilófagos marinos
<i>Juglans regia</i> (Nogal europeo)	3	D	S	3	1	-
<i>Malus Sylvestris</i> (Manzano)	4	-	-	-	-	-
Paulownia (Paulownia)	5	-	S	-	-	No resistente a xilófagos marinos
<i>Populus alba</i> (Álamo común)	5	S	S	3v	1v	No resistente a <i>Trichoferus holosericeus</i> . No resistente a xilófagos marinos.
<i>Prunus avium</i> (Cerezo europeo)	3-5	S	D	-	-	-
<i>Quercus robur</i> (Roble europeo)	2-4	D	M	4	1	Albura no resistente a <i>Lyctus</i> y <i>Trichoferus holosericeus</i> .

\*"v" indica que la especie presenta un nivel elevado de variabilidad infrecuente.

- Especies frondosas tropicales:



Tabla 10. Durabilidad e impregnabilidad de las especies frondosas tropicales más frecuentes.

Nombre científico (Nombre común)	Durabilidad del duramen				Impregnabilidad		Otros datos / información cuando está disponible
	Hongos	Anobium	Termitas	Xilófagos marinos	Duramen	Albura	
<i>Acacia</i> (Acacia)	3-4	S	S	S	3	-	-
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Ipé)	1	D	D	D	4	-	-
<i>Khaya anthotheca</i> (Caoba)	3	D	S	S	4	2	-
<i>Milicia excelsa</i> (Iroko)	1-2	D	D	D	4	1	Albura no resistente a <i>Lyctus</i> . No resistente a las termitas en condiciones de laboratorio.
<i>Tectona grandis</i> (Teca)	1-3	D	M	M-D	4	3	-
<i>Triplochiton scleroxylon</i> (Ayous)	5	S	S	S	3	1	No resistente al <i>Lyctus</i> .

\*"v" indica que la especie presenta un nivel elevado de variabilidad infrecuente.

A partir de la durabilidad natural de la especie escogida, se deberá valorar si es suficiente para la clase de uso donde se va a emplear (UNE-EN 460:1995) o si es necesario un tratamiento con preservante.

### Norma UNE-EN 460:1995

La norma UNE-EN 460:1995 establece una relación entre las normas EN 350-2:1994 (durabilidad natural de la madera maciza), EN 335-1:1992 y EN 335-2:1992 (definición de las clases de riesgo de ataque biológico), de tal forma que recomienda elegir una madera con una durabilidad natural suficiente, o bien mejorar las características de durabilidad mediante un tratamiento de con el preservante adecuado.

Esta norma, aunque sigue estando vigente, no se le ha realizado una revisión recientemente (versión de 1995) y hace referencia a las normas citadas anteriormente (EN 350-2:1994, EN 335-1:1992 y EN 335-2:1992) las cuales ya están anuladas y cuyas definiciones han variado respecto a las que están vigentes (véanse las normas ya anexadas UNE-EN 350:2016 y UNE-EN 335:2013).

La norma tiene en cuenta las **clases de riesgo** de las normas **EN 335-1:1992** y **EN 335-2:1992**, sin embargo, como podemos ver en la Tabla 11, por mera comparativa de las definiciones

MATRAFOC. Actividades desarrolladas

podemos deducir que se trata de una clasificación equivalente a la **UNE-EN 335:2013**, aunque esta última define más extensamente cada una de las clases de uso.

Tabla 11. Situaciones generales de servicio y clases de riesgo establecidas en la norma EN 335-1:1992.

Clases de riesgo	Situaciones generales de servicio
1	No en contacto con el suelo bajo cubierta (ambiente seco)
2	No en contacto con el suelo bajo cubierta (ambiente húmedo)
3	No en contacto con el suelo. A la intemperie
4	En contacto con el suelo o con agua dulce
5	En contacto con el agua del mar

Por tanto, y cómo podemos comprobar en la Tabla 12, la norma **UNE-EN 460:1995** sirve como **referencia** para poder decidir si es necesario tratar una madera con una **durabilidad natural** definida en la **UNE-EN 350:2016** teniendo en cuenta que se va emplear en una **clase de uso** definida en la **UNE-EN 335:2013**.

Tabla 12. Guía de clases de durabilidad de las especies de madera adecuadas según su empleo en las clases de riesgo.

Clase de riesgo	Clases de durabilidad				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	(0)	(0)
3	0	0	(0)	(0)-(x)	(0)-(x)
4	0	(0)	(x)	x	x
5	0	(x)	(x)	x	x

Clave:

- 0 Durabilidad natural suficiente.
- (0) Durabilidad natural normalmente suficiente pero en la que puede ser recomendable un tratamiento protector para determinados usos. (Véase anexo A).
- (0)-(x) La durabilidad natural puede ser suficiente, pero puede ser necesario un tratamiento protector según la especie de madera, su permeabilidad (véase apartado 6.1) y su uso (véase anexo A).
- (x) Se recomienda normalmente la aplicación de un tratamiento protector, pero para ciertos usos la durabilidad natural puede ser suficiente (véase anexo A).
- x Tratamiento protector necesario.

NOTA – Se recomienda considerar la albura de todas las especies de madera como clase de durabilidad 5.

**Norma UNE-EN 599-1:2010+A1:2014**

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

Esta norma establece para cada una de las **clases de uso** de **EN 335-2:2007**, los ensayos biológicos necesarios para evaluar la eficacia de los preservantes empleados en el tratamiento de la madera maciza, así como de las pruebas de envejecimiento mínimas exigibles según las clases de uso.

De la misma forma, en esta norma se señala el método de cálculo del valor crítico de un preservante. El valor crítico es el valor que debe emplearse para calcular la retención recomendada del producto protector adecuado en las condiciones de servicio especificadas. El valor crítico no se corresponde necesariamente con la retención recomendada o el nivel mínimo de penetración del preservante. Debido a la gran cantidad de requisitos relativos a los riesgos, condiciones de exposición y vida de servicio aplicables en Europa hacen necesario tener en cuenta los aspectos locales en el cálculo de la retención requerida de los productos protectores; la norma EN 351-1 prevé el ajuste del valor crítico para considerar estos valores.

En las siguientes tablas se adjunta, a modo informativo, los criterios de eficacia de los ensayos biológicos para cada una de las clases de uso:

Tabla 13. Criterios de eficacia de los ensayos biológicos para la clase de uso 1.

Clase de uso	Tipo de tratamiento propuesto (véase 5.2.2)	Requisitos	Requisitos mínimos para los ensayos con insectos spp (véase 5.2.3)				Ensayos complementarios (véase 5.2.4)
			Bien con:			o	Termitas (T)
			<b>Hylotrupes bajulus (H)</b>	<b>Anobium punctatum (A)</b>	<b>Lyctus brunneus (L)</b>	Todos los insectos spp.(I)	
1	Tratamiento superficial	Tipo de ensayo	EN 46-1 o EN 46-2 (véase 5.2.6)	EN 49-1	EN 20-1	EN 46-1 o EN 46-2 o (A) o (L) (véanse 5.2.3 b + 5.2.3 c y 5.2.5)	EN 118
		Prueba de envejecimiento	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)
		Valor máximo de aplicación en el ensayo	200 g/m <sup>2</sup> (inmersión o pincelado)	200 g/m <sup>2</sup> (inmersión o pincelado)	200 g/m <sup>2</sup> (inmersión o pincelado)	200 g/m <sup>2</sup> (inmersión o pincelado)	200 g/m <sup>2</sup> (inmersión o pincelado) (véase 5.2.7)
		Criterio para el valor de referencia biológico	EN 46-1: 100% de mortalidad al final del ensayo, EN 46-2: 100% de repelencia (ningún huevo colocado sobre las muestras tratadas aunque la fertilidad de los insectos se haya probado) o 100% de la mortalidad total al final del ensayo	ninguna larva viva al final del ensayo	ninguna larva viva o insecto emergente al final del ensayo	EN 46-1: 100% de mortalidad al final del ensayo, EN 46-2: 100% de repelencia (ningún huevo colocado sobre las muestras tratadas aunque la fertilidad de los insectos se haya probado) o 100% de la mortalidad total al final del ensayo	ningún ataque de clasificación > 2, solo uno = 2
	Tratamiento por impregnación	Tipo de ensayo	EN 47 (véase 5.2.9)	EN 49-2 (véase 5.2.9)	EN 20-2 (5.2.8) (véase 5.2.9)	EN 47 o (A) o (L) (véanse 5.2.3 b + 5.2.3 c)	EN 117
		Prueba de envejecimiento	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)
		Valor máximo de aplicación en el ensayo	r.a.f. para albura de pino silvestre (véase 5.2.10)	r.a.f. para albura de pino silvestre (véase 5.2.10)	r.a.f. para roble	r.a.f. para albura de pino silvestre (véase 5.2.10)	r.a.f. para albura de pino silvestre (véase 5.2.10)
		Criterio para el valor de referencia biológico	m.t.v. (véase 5.2.3)	m.t.v. (véase 5.2.3)	m.t.v. (véase 5.2.3)	m.t.v. (véase 5.2.3)	{A1 ▶} ningún ataque de clasificación > 2, únicamente una muestra 2 {◀A1}

Tabla 14. Criterios de eficacia de los ensayos biológicos para la clase de uso 2.

Clase de uso	Tipo de tratamiento propuesto (véase 5.2.2)	Requisitos	Especificaciones mínimas frente a hongos Basidiomicetos (véase 5.2.2)	Ensayos complementarios o locales (véase 5.2.4)		
				Azulado (B)	Insectos spp (véase 5.2.3) (I)	Termitas (T)
2	Tratamiento superficial	Tipo de ensayo	EN 113 (véanse 5.2.11 y 5.2.15, 5.2.12) (sin <i>C. versicolor</i> ) (véase 5.2.13)	EN 152	Si se precisan, añadir los de la clase 1	Si se precisan, añadir los de la clase 1
		Prueba de envejecimiento	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)	{A1▶} según la Norma EN 73 (véase 5.2.14) {◀A1}		
		Valor máximo de aplicación en el ensayo	100 kg/m <sup>3</sup> (véase 5.2.15)	200 g/m <sup>2</sup>		
		Criterio para el valor de referencia biológico	<i>u.e.m.</i> para el hongo más agresivo (véase 5.2.16)	ninguna clasificación ≥ 2 al final del ensayo; zona sin azulado mín.:1,0 mm; media ≥ 1,5 mm		
	Tratamiento por impregnación	Tipo de ensayo	EN 113 (sin <i>C. versicolor</i> ) (véase 5.2.13)	EN 152	Si se precisan, añadir los de la clase 1	Si se precisan, añadir los de la clase 1
		Prueba de envejecimiento	según la Norma EN 73 (véase 5.2.6)	según la Norma EN 73 (véase 5.2.14)		
		Valor máximo de aplicación en el ensayo	<i>r.a.f.</i> para albura de pino silvestre (véase 5.2.10)	según las especificaciones comerciales del fabricante		
		Criterio para el valor de referencia biológico	<i>u.e.m.</i> para el hongo más agresivo (véase 5.2.16)	ninguna clasificación ≥ 2 al final del ensayo; zona sin azulado mín.:1,0 mm; media ≥ 1,5 mm		

Tabla 15. Criterios de eficacia de los ensayos biológicos para la clase de uso 3.

Clase de uso	Tipo de tratamiento propuesto (véase 5.2.2)	Requisitos	Requisitos mínimos de los productos protectores listos para su empleo frente a los hongos				Ensayos complementarios o locales (véase 5.2.4)				
			con o sin revestimiento	solamente bajo revestimiento			Ensayo de campo (F)	<i>Coriolus versicolor</i> (V)	Azulado (B)	Insectos spp (I) (véase 5.2.3)	Termitas (T)
			Opción 1 (véase 5.2.17)	Opción 2 (véase 5.2.18)	Opción 3 (véase 5.2.18)						
			Basidiomicetos	Basidiomicetos	Basidiomicetos	Ensayos de campo					
3	Tratamiento superficial	Tipo de ensayo	CEN/TS 839 (sin <i>C.versicolor</i> ) (véase 5.2.19)	EN 113 (véase 5.3.14) (sin <i>C. versicolor</i> ) (véase 5.2.19)	EN 113 (véase 5.2.15) (sin <i>C. versicolor</i> ) (véase 5.2.19)	EN 330	EN 330	CEN/TS 839 o EN 113 (sobre albura de pino silvestre y/o haya) (véase 5.2.19)	EN 152	Si fuera necesario añadir los de la clase 1+ de la Norma EN 84	Si fuera necesario añadir los de la clase 1+ de la Norma EN 84
		Prueba de envejecimiento	Según las Normas EN 73 y EN 84 por separado (véase 5.2.17)	Según las Normas EN 73 y EN 84 por separado (véase 5.2.18)	Según la Norma EN 73 (véase 5.2.18)	Ningún envejecimiento complementario según los métodos de laboratorio	Ningún envejecimiento complementario según los métodos de laboratorio	Según las Normas EN 73 y EN 84 por separado (véase 5.2.17)	Como se indica en la Norma EN 152		
		Valor máximo de aplicación en el ensayo	200 g/m <sup>2</sup>	100 kg/m <sup>3</sup> (véase 5.2.15)	100 kg/m <sup>3</sup> (véase 5.2.15)	r.a.f	r.a.f	100 kg/m <sup>3</sup> (véase 5.2.15)	200 g/m <sup>2</sup>		

Clase de uso	Tipo de tratamiento propuesto (véase 5.2.2)	Requisitos	Requisitos mínimos de los productos protectores listos para su empleo frente a los hongos				Ensayos complementarios o locales (véase 5.2.4)				
			con o sin revestimiento	solamente bajo revestimiento			Ensayo de campo (F)	<i>Coriolus versicolor</i> (V)	Azulado (B)	Insectos spp (I) (véase 5.2.3)	Termitas (T)
			Opción 1 (véase 5.2.17)	Opción 2 (véase 5.2.18)	Opción 3 (véase 5.2.18)						
			Basidiomicetos	Basidiomicetos	Basidiomicetos	Ensayos de campo					
3		Criterio para el valor de referencia biológico	Nivel mínimo de aplicación para el cual no más de una probeta presenta signos visibles de degradación interna y no más de una probeta presenta signos visibles de degradación exclusivamente sobre la superficie y presenta una pérdida de masa superior a 3,0% (m/m) e inferior al 5,0% (m/m) independientemente del número de repeticiones válidas (véase 5.2.20)	<i>u.e.m</i> para el hongo más agresivo (véase 5.2.16)	<i>u.e.m</i> para el hongo más agresivo (véase 5.2.16)	Después de que las muestras no tratadas hayan alcanzado una clasificación media $\geq 3$ : $V^I$ , $V^R$ y $V^J$ igual o mejor que para el producto de referencia, $R2^{TP}$ igual o menor que $R2^R$ (véase 5.2.21)	Después de que las muestras no tratadas hayan alcanzado una clasificación media $\geq 3$ : $V^I$ , $V^R$ y $V^J$ igual o mejor que para el producto de referencia, $R2^{TP}$ igual o menor que $R2^R$ (véase 5.2.21)	Para la Norma EN 113: <i>u.e.m.</i> (véase 5.2.16) Para la Especificación Técnica 839: Nivel mínimo de aplicación para el cual no más de una probeta presenta signos visibles de degradación interna y no más de una probeta presenta signos visibles de degradación exclusivamente sobre la superficie y presenta una pérdida de masa superior a 3,0% (m/m) e inferior al 5,0% (m/m) independientemente del número de repeticiones válidas (véase 5.2.20)	Al final del ensayo, ninguna clasificación $\geq 2$ ; zona mín. sin azulado 1,0 mm; media $\geq 1,5$ mm		

Clase de uso	Tipo de tratamiento propuesto (véase 5.2.2)	Requisitos	Requisitos mínimos de los productos protectores listos para su empleo frente a los hongos			Ensayos complementarios o locales (Véase 5.2.4)				
			Con o sin revestimiento	Solamente bajo revestimiento		Ensayo de campo (F)	Coriolus versicolor (V)	Azulado (B)	Insectos spp (I) (5.2.3)	Termitas (T)
			Opción 1 (véase 5.2.22)	Opción 2 (véase 5.2.23)						
			Basidiomicetos	Basidiomicetos	Ensayo de campo					
3	Tratamiento por impregnación	Tipo de ensayo	EN 113 (sin <i>C. versicolor</i> (véase 5.2.19))	EN 113 (sin <i>C. versicolor</i> (véase 5.2.19))	EN 330	EN 330	EN 113 sobre albura de pino silvestre y/o haya (véase 5.2.19)	EN 152	Si fuera necesario o añadir los de la clase 1+ de la Norma EN 84	Si fuera necesario añadir los de la clase 1+ de la Norma EN 84
		Prueba de envejecimiento	según las Normas EN 73 y EN 84 por separado (véase 5.2.22)	según la Norma EN 73 (véase 5.2.23)	<b>ningún envejecimiento complementario según los métodos de laboratorio</b>	<b>ningún envejecimiento complementario según los métodos de laboratorio</b>	según las Normas EN 73 y EN 84 por separado (véanse 5.2.22 y 5.2.23)	Como se indica en la Norma EN 152		
		Valor máximo de aplicación en el ensayo	<i>r.a.f.</i> para albura de pino silvestre (véase 5.2.10)	<i>r.a.f.</i> para albura de pino silvestre (véase 5.2.10)	<i>r.a.f.</i>	<i>r.a.f.</i>	<i>r.a.f.</i> para albura de pino silvestre o haya (véanse 5.2.10 y 5.2.19)	Según las especificaciones comerciales del fabricante		
		Criterio para el valor de referencia biológico	<i>u.e.m</i> para el hongo más agresivo (véase 5.2.16)	<i>u.e.m</i> para el hongo más agresivo (véase 5.2.16)	Después de que las muestras no tratadas hayan alcanzado una clasificación media $\geq 3$ : $V^a$ , $V^e$ y $V^j$ igual o mejor que para el producto de referencia, $R2^{TP}$ igual o menor que $R2^R$ (véase 5.2.21)	Después de que las muestras no tratadas hayan alcanzado una clasificación media $\geq 3$ : $V^a$ , $V^e$ y $V^j$ igual o mejor que para el producto de referencia; $R2^{TP}$ igual o menor que $R2^R$ (véase 5.2.21)	<i>u.e.m.</i> (véase 5.2.15)	Al final del ensayo, ninguna clasificación $\geq 2$ ; zona mín. sin azulado 1,0 mm; media $\geq 1,5$ mm		



Tabla 16. Criterios de eficacia de los ensayos biológicos para la clase de uso 4.

Clase de uso	Tipo de tratamiento propuesto (véase 5.2.2)	Requisitos	Requisitos mínimos frente a hongos		Ensayos complementarios o locales (véase 5.2.4)			
			Basidiomicetos	Pudrición blanda	Ensayos de campo (F)	Azulado (B)	Insectos spp (I) (véase 5.2.3)	Termitas (T)
4	Tratamiento superficial	Tipo de ensayo	Los procedimientos de tratamiento superficial no son adecuados para la clase de uso 4					
		Prueba de envejecimiento						
		Valor máximo de aplicación en el ensayo						
		Criterio para el valor de referencia biológico						
	Tratamiento por impregnación	Tipo de ensayo	EN 113 (con <i>C. versicolor</i> sobre albura de pino silvestre y/o haya) (véase 5.2.24)	ENV 807:2001	EN 252 (véase 5.2.25)	si es preciso añadir los de la clase 3	si es preciso añadir los de la clase 1 + EN 84	si es preciso añadir los de la clase 1 + EN 84
		Prueba de envejecimiento	según las Normas EN 73 y EN 84 por separado	como se indica en la Norma Experimental ENV 807	Ninguna			
		Valor máximo de aplicación en el ensayo	<i>r.a.f.</i> para albura de pino silvestre (véase 5.2.10)	<i>r.a.f.</i>	<i>r.a.f.</i>			
		Criterio para el valor de referencia biológico	<i>u.e.m.</i> para el hongo más agresivo (incluyendo <i>C. versicolor</i> ) (véase 5.2.16)	<i>r.e.n.</i> según el capítulo 10 y el anexo E de la Norma Experimental ENV 807 (véase 5.2.26)	después de 5 años, media de <i>rsnP/0,75</i> , y de <i>rinP/0,17</i> (véase 5.2.27)			

Tabla 17. Criterios de eficacia de los ensayos biológicos para la clase de uso 5.

Clase de uso	Tipo de tratamiento propuesto (véase 5.2.2)	Requisitos	Especificaciones mínimas frente a hongos		Ensayos complementarios o locales (véase 5.2.4)			
			Basidiomicetos	Pudrición blanda	Ensayos de campo (F) FN y/o FS (véase 5.2.28)	Azulado (B)	Insectos spp (I) (véase 5.2.3)	Termitas (T)
5	Tratamiento superficial	Tipo de ensayo	Los procedimientos de tratamiento superficial no son adecuados para la clase de uso 5					
		Prueba de envejecimiento						
		Valor máximo de aplicación en el ensayo						
		Criterio para el valor de referencia biológico						
	Tratamiento por impregnación	Tipo de ensayo	EN 113 (con <i>C. versicolor</i> sobre albura de pino silvestre y/o haya) (véase 5.2.24)	ENV 807:2001	EN 275	Si es preciso añadir los de la clase 3	Si es preciso añadir los de la clase 1 + EN 84	Si es preciso añadir los de la clase 1 + EN 84
		Prueba de envejecimiento	según las Normas EN 73 y EN 84 por separado	como se indica en la Norma Experimental ENV 807	ninguna			
		Valor máximo de aplicación en el ensayo	<i>r.a.f.</i> para albura de pino silvestre (véase 5.2.10)	<i>r.a.f.</i>	<i>r.a.f.</i>			
		Criterio para el valor de referencia biológico	<i>u.e.m.</i> para el hongo más agresivo (incluyendo <i>C. versicolor</i> ) (véase 5.2.16)	<i>r.e.n.</i> según el capítulo 10 y el anexo E de la Norma Experimental ENV 807 (véase 5.2.26)	después de 5 años, media de <i>rsnP/0,75</i> , y de <i>rinP/0,17</i> (véanse 5.2.27 y 5.2.28)			

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

Paralelamente al proceso de elección del preservante para el producto de madera, se establecen unas **clases de servicio** las cuáles son un sistema de clasificación distinto a las **clases de uso**. Este sistema de clasificación es equivalente al que posteriormente se explicará para catalogar los ambientes de uso de la madera según la norma de durabilidad de las prestaciones de reacción al fuego de los productos de madera impregnados EN 16755.

### Norma UNE-EN 1995-1-1:2016 (Eurocódigo 5)

La norma **EN 1995-1-1 punto 2.3.1.3** establece las **clases de servicio (CS)** de la madera maciza y a productos derivados de la madera.

- **Clase de servicio 1 (CS 1):**

Se caracteriza por un contenido en humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del aire que sólo supere el 65 % durante unas pocas semanas al año.

En la clase de servicio 1 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 12 %. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente interior.

- **Clase de servicio 2 (CS 2):**

Se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del aire que sólo supere el 85 % durante unas pocas semanas al año.

En la clase de servicio 2 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 20 %. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera a cubierto, pero abiertas y expuestas al ambiente exterior, como es el caso de cobertizos y viseras. Las piscinas cubiertas, debido a su ambiente húmedo, encajan también en esta clase de servicio.

- **Clase de servicio 3 (CS 3):**

Se caracteriza por unas condiciones climáticas que conduzcan a contenidos de humedad mayores que en la clase de servicio 2.

En la clase de servicio 3 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas excede el 20 %. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente exterior sin cubrir.

En el anexo 2 de la susodicha norma se exponen ejemplos de asignación a distintos tipos de construcción de sus correspondientes clases de servicio.

Tabla 18. Ejemplos de asignación a las clases de servicio.

Tipo de construcción		Clase de servicio
Estructura de una cubierta cuyo espacio bajo techo sólo es accesible para mantenimiento y no tiene calefacción. Por ejemplo almacenes, buhardillas y trasteros		2
Estructura de una cubierta cuyo espacio bajo techo es habitable, está aislado térmicamente y suele contar con calefacción		1
Piscinas cubiertas		2
Forjados intermedios entre espacios habitables		1
Forjados de planta baja sobre local o espacio sin calefacción. Por ejemplo garajes sin calefacción y cámaras sanitarias bajo forjado de planta baja		2
Muros entramados interiores (situados dentro de la construcción)		1
Muros entramados de cerramiento de la construcción con revestimiento	Con la estructura en el interior del espacio aislado térmicamente	1
	Con la estructura al exterior del espacio aislado térmicamente	2
Uso al exterior cuando la pieza está protegida de la caída directa del agua. Por ejemplo: cobertizos sin paredes, estructura de pasarelas y puentes con cubierta y protegida del agua de lluvia, frontones abiertos y cubiertos		2
Uso al exterior totalmente expuesto (pérgolas sin cubierta, pasarelas y puentes con estructura expuesta directamente al agua de lluvia)		3

## 4.2 PRESTACIONES FRENTE AL FUEGO

### Legislación de seguridad contra incendios en productos de madera

La seguridad contra incendios es una preocupación muy importante en todo tipo de construcción. Tanto es así que es un factor clave que se refleja en las limitaciones y requisitos de diseño de producto en licitaciones y legislaciones de construcción nacionales.

En España, el CTE 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, como podemos observar en la Tabla 19.

Tabla 19. Clase de reacción al fuego mínima exigida en el CTE según el uso final del producto.

SITUACIÓN DEL ELEMENTO	REVESTIMIENTOS <sup>(1)</sup>	
	DE PAREDES Y TECHOS <sup>(2)(3)</sup>	DE SUELOS <sup>(2)</sup>
Zonas ocupables <sup>(4)</sup>	C-s2,d0	E <sub>FL</sub>
Pasillos y escaleras protegidos	B-s1,d0	C <sub>FL</sub> -s1
Aparcamientos y recintos de riesgo especial	B-s1,d0	B <sub>FL</sub> -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 <sub>FL</sub> -s2 <sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup> 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.

<sup>(2)</sup> 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.

<sup>(3)</sup> 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.

<sup>(4)</sup> 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.

<sup>(5)</sup> Véase el capítulo 2 de esta Sección (Locales y Zonas de Riesgo Especial).

<sup>(6)</sup> 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.

### Norma UNE-EN 16755:2018

Esta norma establece los requisitos de clasificación de la durabilidad de las prestaciones de reacción al fuego de los productos de madera impregnados (en profundidad o superficial) o derivados de la madera cuya utilización final está prevista en condiciones de uso interior y exterior.

Esta norma se incorporó a raíz de la observación con el paso del tiempo de reducción en las prestaciones de reacción al fuego por exposición al vapor de agua y/o condiciones húmedas por migración de los productos químicos ignifugantes en el producto de madera, produciendo una cristalización salina en la superficie que puede anular o reducir las propiedades de reacción al fuego mejoradas. Es por ello que esta norma establece que debe demostrarse la capacidad de los tratamientos para mantener esta prestación incluso después de la exposición a dichas condiciones.

La norma clasifica tres clases de durabilidad de prestación de reacción al fuego (clases de DRF):

- Clase **INT 1** de **DRF**: para una utilización permanente en aplicaciones en ambiente seco interior, en clase de servicio 1 (por ejemplo en productos para muros y techos).
- Clase **INT 2** de **DRF**: para una utilización permanente en aplicaciones en ambiente húmedo interior, en clase de servicio 2 (por ejemplo en productos para muros y techos).
- Clase **EXT** de **DRF**: para una utilización permanente en aplicaciones de exterior en clase de servicio 3 (por ejemplo para recubrimientos de fachada en condiciones de utilización exterior).

A raíz de esta clasificación, se genera un pliego de requisitos para cumplir cada una de las clases de DRF definidas (Tabla 20).

Tabla 20. Requisitos aplicables a las clases de DRF de los productos derivados de la madera ignifugados para aplicación en interior y exterior.

Clase DRF		Requisitos existentes de reacción al fuego	Requisitos de prestación complementarios en función de las diferentes aplicaciones de los productos derivados de la madera ignifugados <sup>a</sup>	
	Uso previsto	Clase inicial de reacción al fuego	Propiedades de higroscopicidad <sup>b</sup>	Prestación de reacción al fuego después de exposición a la intemperie
INT 1	Aplicación en ambiente seco interior	Clase correspondiente de reacción al fuego	-	-
INT 2	Aplicación en ambiente húmedo interior	Clase correspondiente de reacción al fuego	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenido de humedad &lt; 28%</li> <li>- Sin exudación de líquido</li> <li>- Cantidad mínima de sal visible, sin ningún aumento en superficie</li> </ul>	-
EXT <sup>c</sup>	Aplicaciones exteriores	Clase correspondiente de reacción al fuego	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenido de humedad &lt; 28%</li> <li>- Sin exudación de líquido</li> <li>- Cantidad mínima de sal visible, sin ningún aumento en superficie</li> </ul>	Permanencia de la prestación de reacción al fuego <sup>d, e</sup> después de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Envejecimiento acelerado, o</li> <li>- Envejecimiento natural</li> </ul> Puede indicarse la aplicación de un mantenimiento específico

- a Se debe cumplir utilizando un producto elaborado con el mismo procedimiento de fabricación y teniendo un nivel de retención similar, como para la prestación de reacción al fuego.
- b Para INT2, a una HR de (90 ± 5) % y a una temperatura de (27 ± 2) °C conforme al anexo A. Las clases INT 2 y EXT son solamente aplicables para tasas de retención de producto ignifugante menores o iguales al mayor nivel ensayado. Se supone que los productos derivados de la madera tratados a una tasa de retención mayor pertenecen a la clase INT1.
- c Para otros métodos de la Norma EN 13823 conformes con el apartado 5.2.2.2, deben aplicarse criterios de clasificación adecuados según la Norma EN 13501-1. Debe alcanzarse como mínimo el mismo nivel de clasificación.
- d Criterios de los ensayos de reacción al fuego a escala reducida según el apartado 5.2.2.3 después de exposición a la intemperie:
- Productos de clase B (según la Norma EN 13501-1): flujo de calor,  $HRR_{30s\ media} \leq 150 \text{ kW/m}^2$  para una duración de ensayo de 600 s desde el inicio de la combustión y emisión total de calor,  $THR_{600s}$  no aumentando en más del 20% respecto a los ensayos de fuego previos a la exposición a la intemperie.
  - Productos de clase C (según la Norma EN 13501-1): flujo de calor,  $HRR_{30s\ media} \leq 220 \text{ kW/m}^2$  para una duración de ensayo de 600 s desde el inicio de la combustión y emisión total de calor,  $THR_{600s}$  no aumentando en más del 20% respecto a los ensayos de fuego previos a la exposición a la intemperie.
- e Para la clase EXT de DRF, la clasificación de durabilidad de la prestación de reacción al fuego sólo es válida para el tipo de sistema de recubrimiento que se va a evaluar (con una pintura no ignífuga).
- f La evaluación de la clase EXT de DRF obtenida sin sistema de recubrimiento (con una pintura no ignífuga) es válida también para el mismo producto recubierto, siempre que el recubrimiento no reduzca la prestación de reacción al fuego según el apartado 5.2.1.

Es plausible por tanto decir que los productos de la clase EXT de DRF cumplen las especificaciones INT 1 e INT 2 de DRF, pero a la inversa no tiene por qué cumplirse.

## 5. TIPOS DE TRATAMIENTO PARA LA MADERA

Según el uso final de la madera tratada, es decir, las condiciones ambientales, los distintos riesgos de ataque de hongos e insectos y el tipo de madera empleada (especie de madera, densidad, albura, duramen, resina, retención, nivel de penetración exigido...), se escogen un tipo u otro de tratamiento para la aplicación del preservante. Los métodos son principalmente de dos tipos:

- Aplicación del preservante a presiones considerablemente superiores a la atmosférica.
- Aplicación del preservante sin presión, dependiendo del procedimiento y equipo empleado.

### 5.1 APLICACIÓN DEL PRESERVANTE A PRESIONES CONSIDERABLEMENTE SUPERIORES A LA ATMOSFÉRICA (TRATAMIENTOS DE PRESIÓN).

Es el modo de aplicación más comúnmente empleado, debido a que es el método que ayuda a preservar más años la madera, sobretodo en exposición al exterior. Son procesos en los cuales el tratamiento se realiza en cilindros (también llamados autoclaves) en los cuales se introduce la madera en vagones y, a menudo, se incrementa la temperatura. Se sumerge la madera en un conservante y se aplica ciclos de vacío para abrir los poros de la madera y presión para forzar al preservante a entrar al interior de la matriz. En la mayoría de casos, se obtiene un producto acabado con una penetración del producto más profunda y uniforme. Además, las condiciones de tratamiento se pueden controlar para que la retención y la penetración se puedan variar en producción a gran escala. Existen tres procesos de presión conocidos que vamos a describir a continuación, los cuáles difieren en detalles, aunque el principio general es el mismo (**celda vacía, celda llena y celda llena modificado**).



Figura 20. Disposición del autoclave en etapas de su uso. Carga de la madera

#### 5.1.1 PROCESOS EN EL TRATAMIENTO EN AUTOCLAVE DE LA MADERA.



## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

### Proceso de celda vacía:

Fue la primera metodología aplicada en la industria. Se llevó a cabo en el ferrocarril, en los sistemas de comunicación terrestres y en la energía al implantarse en las traviesas de los raíles, los postes de los tendidos eléctricos y de telefonía. El protector más comúnmente utilizado fue la creosota.

El objetivo del proceso de celda vacía es obtener una penetración profunda del preservante con una **retención** relativa **baja**. Existen dos métodos, **Rüping** y **Lowry**, donde ambos se emplean la fuerza expansiva del aire comprimido para expulsar parte del conservante absorbido durante el período de presión.

- **Método Rüping:**

Se emplea el procedimiento general que se explica a continuación:

1. Una vez introducida la madera dentro del cilindro, se aplica aire a presión (entre 172 a 689 kPa). Dependiendo de la especie de madera que se esté tratando, el aire penetrará en unos minutos o tardará más tiempo. Para las especies de madera cuya penetrabilidad es baja, el aire comprimido se mantiene de media hora a una hora antes de introducir el preservante.
2. Una vez transcurrido el periodo de aplicación de aire comprimido, el tanque se llena del preservante por completo y el aire comprimido se va extrayendo progresivamente a una velocidad que mantenga la presión en todo momento dentro del cilindro constante. Una vez lleno, la impregnación se realiza a una presión superior a la anteriormente empleada para el aire comprimido y se mantiene hasta que se cumplan las especificaciones requeridas para la madera tratada (pruebas previas).
3. Al final del proceso de impregnación, el preservante es drenado del interior del tanque y el sobrante es retirado mediante un vacío para retirar el exceso de producto que ha quedado en las cavidades celulares. La cantidad recuperada de preservante está en un intervalo entre el 20 y el 60 %.

- **Método Lowry:**

En el método Lowry, el proceso de celda vacía se realiza sin presión de aire inicial. Es decir, el preservante se introduce en el tanque sin una presión de aire inicial, sino que el aire que se encuentra dentro está a presión atmosférica. Una vez llenado el cilindro, se aplica presión y el proceso es el mismo que el descrito para el proceso Rüping.

El proceso Lowry tiene la ventaja de que el equipo para el tratamiento de la madera no requiere los accesorios necesarios en el proceso Rüping, como es un compresor de aire, un tanque adicional para el preservante y una bomba que forzara la entrada del preservante en el cilindro en contra de la presión del aire interna.

Sin embargo, ambos procesos tienen sus ventajas y son ampliamente utilizados. En productos donde el sangrado de preservante en la madera no se puede aceptar, se añade en el proceso un calentamiento con un máximo de 116 °C antes del vacío final.

- **Proceso Bethell o celda llena:**

Es un proceso que consta de tres etapas: vacío, impregnación y vacío. Este sistema se emplea cuando la **retención** que se quiere conseguir del preservante es **máxima**, llegando a controlar casi por completo la penetración del preservante en la madera, según el requerimiento que se quiera alcanzar. También se emplea para maderas difíciles de impregnar, debido a la especie de madera o a su naturaleza donde el duramen es difícilmente impregnable. Es un

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

procedimiento estandarizado para el tratamiento de madera en contacto con agua marina, donde se requiere protección frente a organismos perforadores marinos.

Consta de los siguientes pasos:

1. Se realiza un vacío inicial en el cilindro con una duración estimada de media hora o más para anular la presión capilar de la madera y eliminar el aire del tanque.
2. Se llena el cilindro con el preservante sin romper el vacío. Dependiendo del producto y la madera empleada, esta parte se realiza a temperatura ambiente o con aumento de ésta.
3. Una vez lleno el cilindro, se aplica presión hasta que la madera no admite más preservante o se ha llegado a la retención requerida.
4. Se retira el conservante que no ha penetrado en la madera.
5. Se suele aplicar un vacío final para recoger el preservante que ha quedado superficialmente en el producto y que no ha podido penetrar.

El proceso de celda llena se diferencia básicamente en el de celda vacía en la existencia de un vacío inicial, como se puede observar en la Figura 21:

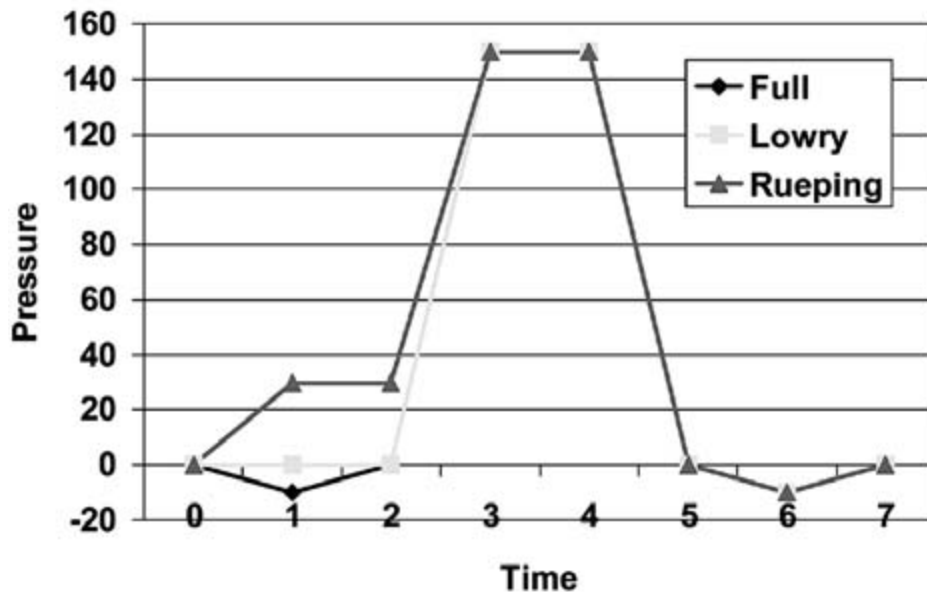


Figura 21. Gráfica comparativa de la presión en cada una de las etapas para los tres procesos de autoclave (Presión en psi y tiempo en horas). [Adaptada de la fuente [87]].

## 5.2 APLICACIÓN DEL PRESERVANTE SIN PRESIÓN, DEPENDIENDO DEL PROCEDIMIENTO Y EQUIPO EMPLEADO.

### 5.2.1 APLICACIONES EN SUPERFICIE

Dentro de este campo se incluye la aplicación a brocha y pulverización. Son los métodos más sencillos para el mantenimiento preventivo de la madera en materiales de construcción.

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

Proporciona una superficie delgada de protección frente al ataque de hongos e insectos. Dependiendo del disolvente, preservante y madera empleada, el producto penetrará por capilaridad en mayor o menor medida. Esta protección es más efectiva en el caso de clases de uso de madera sin contacto con el suelo, sobre todo si se vuelve a aplicar regularmente, pero no proporciona protección en madera si está en contacto con éste.



**Figura 22. Representación de las distintas aplicaciones en superficie de preservantes. Aplicación a brocha (izquierda, adaptada de la fuente [88]) y pulverización (derecha, adaptada de la fuente [89]).**

Los preservantes más comúnmente empleados para este tipo de aplicación son el naftenato de cobre (base aceite) y combinaciones en base agua de naftenato de cobre, quinolinato de cobre, hidróxido de cobre y boratos. Debido a la naturaleza de la difusividad de cada una de estas especies químicas, el borato tenderá a difundirse hacia el interior de la madera mientras que el cobre se quedará en la superficie. [84]

### 5.2.2 INMERSIÓN

En esta práctica, la madera se introduce en un baño con una disolución orgánica o base agua, según el preservante empleado. Esta práctica aporta una protección ligeramente mayor que la aplicación superficial, aunque de nuevo la introducción del preservante es a través de la estructura capilar de la madera. Al igual que en el resto de métodos de tratamiento, dependiendo de la especie de madera y el tiempo de inmersión, la penetrabilidad en el duramen puede ser muy limitada o inexistente. La penetración se puede mejorar, por un lado, al aumentar la temperatura ya que se reduce la viscosidad de la disolución y favorece la entrada por los capilares y, por otro lado, al reducir la humedad de la madera, ya que los espacios que deja el agua pasan a ocuparlos el preservante.

Es un método común para tratar marcos de ventana y otros trabajos de carpintería, antes o después del ensamblaje. Es común emplear compuestos de boro para este tipo de uso final. En el caso de uso final en exterior en contacto con el suelo, como es el caso de postes de luz, telefonía, etc... Se realiza con disoluciones en base aceite de pentaclorofenol con inmersiones de 24 a 48 horas en frío en el caso de la especie del pino. Los niveles de retención como es de esperar son generalmente menores a los obtenidos mediante tratamientos a presión.

Existe una variante para el tratamiento de madera en exterior no estructural (postes, cercas...) en el cual la inmersión se hace en dos etapas. En la primera inmersión se emplea un

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

compuesto de cobre y, posteriormente, se realiza una inmersión en otro compuesto de cromo. De esta manera, el cromo (VI) reacciona con el cobre y la madera para formar un precipitado insoluble que brinda protección a largo plazo en ambiente exterior. [87]

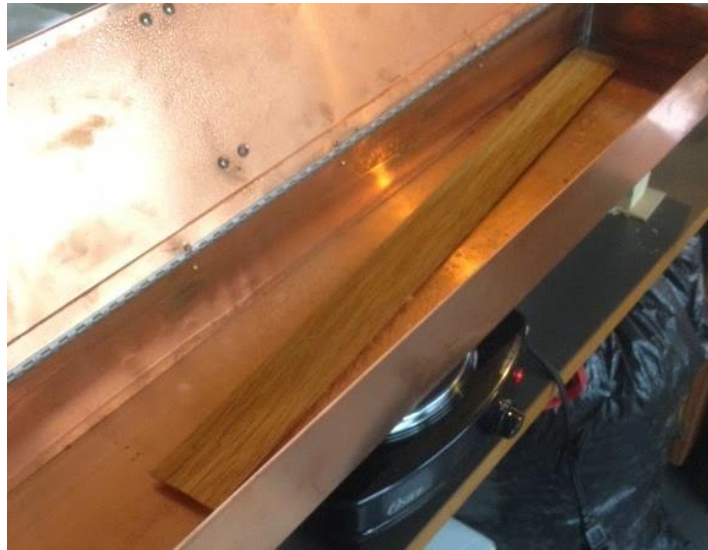


Figura 3. Tratamiento por inmersión de la madera en un tanque de cobre y una fuente radiante (adaptada de la fuente [90]).

### 5.2.3 NUEVOS PROCESOS EN EL TRATAMIENTO DE LA MADERA

Los métodos para una penetración en profundidad del preservante en la madera (tratamientos de presión en autoclave) son procesos diseñados hace ahora más de un siglo (método Rüping patentado en 1902 y Lowry en 1906). [91][92] Son procesos que se siguen empleando porque son económicamente viables y eficaces para el uso final previsto. Sin embargo, estos métodos tienen ciertas desventajas:

- El tratamiento a presión de muchos materiales derivados de la madera con preservantes en medio acuoso produce una deformación irreversible en el producto, modificando sus propiedades físicas y su valor.
- La presión aplicada para ayudar a la penetración del preservante no puede superar por completo la resistencia inherente de muchas especies de madera a la entrada de fluidos, por lo que la impregnabilidad no es completa.

Es por ello que se han propuesto distintas alternativas al uso de autoclave, si bien las más empleadas a día de hoy son el tratamiento en fase vapor y la impregnación por fluidos supercríticos.

#### Tratamiento en fase vapor:

En este tratamiento, la madera se introduce en un cilindro a vacío con un compuesto con alta presión de vapor, como es el trimetilborato. El compuesto químico se difunde en la madera y reacciona con la humedad presente en ésta para producir metanol, según la reacción química indicada:

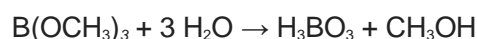


Figura 4. Reacción entre el trimetilborato y la humedad de la madera.

**MATRAFOC. Actividades desarrolladas**

Al eliminar el vacío, se libera el borato en la madera junto con el metanol que se obtiene como subproducto de la reacción. En la bibliografía se indica que la cantidad de humedad presente en la madera previa al tratamiento es un factor clave para poder realizarlo. Como ejemplo, el tratamiento de madera de la especie *Pinus radiata* con trimetilborato al 0 % en una sección transversal de 50 x 100 mm obtuvo una penetración total, mientras que al 12 % la penetración fue insignificante. [93]

Las ventajas de este proceso son: aumento de la velocidad de entrada del preservante en el interior de la madera (difusión) respecto al autoclave, disminución de residuos producidos durante el tratamiento y capacidad de poder secar, tratar la madera y acondicionarse en el mismo tanque.

**Tratamiento con fluidos supercríticos:**

En este tipo de tratamiento el disolvente más comúnmente utilizado es CO<sub>2</sub> supercrítico (SC-CO<sub>2</sub>), un disolvente que ofrece unas propiedades intermedias entre un gas y un líquido. Este disolvente benigno es otra de las posibles alternativas al uso tradicional en la industria de la madera. Tiene una difusión cercana al gas, por tanto con una capacidad de impregnación en especies de madera que normalmente son difíciles de impregnar. Por otra parte, puede solvatar el biocida con propiedades cercanas al líquido, con lo que puede transportar el producto a través de la madera y proporcionarle protección frente a agentes degradadores.

Existen diversos procesos publicados acerca del tratamiento de madera con fluidos supercríticos [94] e incluso ha habido casos en los que se ha llegado a poner en marcha a nivel industrial, [95] donde el proceso llevado a cabo se describe a continuación:

Este procedimiento se realiza en un tanque típico para tratamiento de madera en autoclave. Una vez introducida la madera, se aumenta la presión empleando CO<sub>2</sub>. Una vez se ha alcanzado aproximadamente 150 bar y una temperatura entre 40 - 60 °C, se introduce el CO<sub>2</sub> mezclado con el preservante, el cual penetra a través de los poros de la madera. Tras un tiempo determinado en anteriores pruebas según el tipo de madera y la impregnación que se quiere alcanzar, el exceso de preservante se recoge y el depósito se despresuriza.

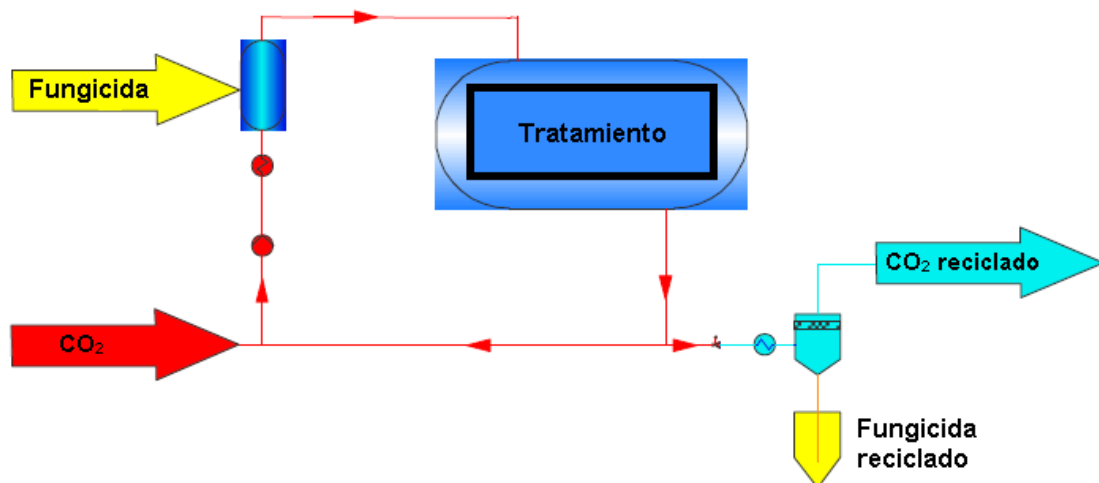


Figura 5. Esquema del proceso del tratamiento con SC-CO<sub>2</sub>. (Adaptada de la fuente [95]).

Este método contiene una serie de ventajas respecto al método tradicional por autoclave:

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

- Si el preservante empleado es un producto orgánico no nocivo para el medio ambiente, el proceso completo es 100 % ecológico, dado que el disolvente desaparece por completo una vez acabado el proceso.
- La impregnación de la madera es completa, tanto de albura y duramen.
- Tras el tratamiento, las propiedades físicas de la madera no se modifican.
- Es un proceso adaptado a las necesidades de cada cliente, donde se puede modificar la concentración de preservante y se puede emplear para diversas especies de madera.

## 6. AGENTES PRESERVANTES EN EL TRATAMIENTO DE LA MADERA

El preservante es, en general, un compuesto químico que actúa como protección en la madera según la amenaza externa a la que se tiene que enfrentar en su uso final. Existe multitud de preservantes utilizados en el tratamiento, si bien se ha clasificado según la matriz en la que están formados:

- **Hidrosolubles:** son compuestos con facilidad para lixiviarse en contacto con agua, por tanto es recomendable su uso en ambientes interiores o, en el caso de emplearse en exterior, adicionar un elemento que permita obtener un aditivo estable que se pueda adherir a la madera. En este grupo se encuentra: **cobre micronizado, preservantes PTI, arseniato de cobre cromatado (CCA), Bis-(N-ciclohexildiazoniumdioxi)-cobre (Cu-HDO), conservantes de borato y conservantes a base de silicato de sodio y potasio.**
- **Oleosolubles:** son productos orgánicos que resisten a la humedad en madera expuesta en exterior. La madera tratada con este tipo de preservantes presenta un alto grado de inflamabilidad al principio, que va disminuyendo con el paso del tiempo según el disolvente se va volatizando. En este conjunto está: **pentaclorofenol, creosota, conservantes de bifrentrina, naftenato de cobre, oxina de cobre e IPBC.**

### ▪ Preservantes hidrosolubles:

#### -Cobre micronizado:

En este producto, el cobre se ha reducido a perlas que varían de 1 a 700 nm, con un promedio inferior a 300 nm. [124] El tamaño de partícula tan pequeño se debe a que deben ser capaces de poder atravesar la pared celular vegetal. El cobre forma una suspensión en agua en vez de hacerse reaccionar con otros ligantes, como en el caso del **ACQ** o el **cobre azul**.

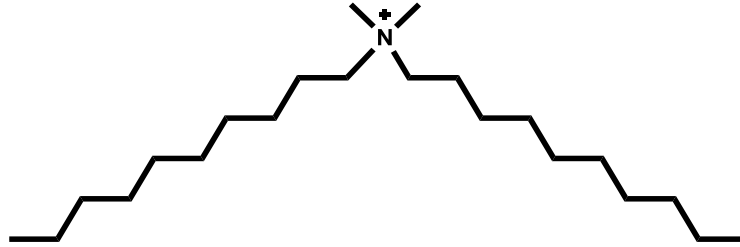
Debido al alto contenido de cobre, la madera tratada con este tipo de preservantes acelera la corrosión se sujeciones metálicas en comparación con la madera no tratada. Por tanto, es necesario que los acoples cumplan o superen los requisitos de la ASTM A 153 Clase D, como revestimientos cerámicos, galvanizados e incluso grados comunes de corrosión de acero inoxidable.

En cuanto a su peligrosidad, debido a que el preservante porta nanopartículas de óxido de cobre y carbonato de cobre, diversos estudios [125] [126] señalan la liberación de pequeñas cantidades durante condiciones de uso normal, que se pueden acumular en los pulmones tras una exposición prolongada, aunque los estudios de toxicidad que se han realizado hasta el momento revelan que los parámetros obtenidos están muy por debajo del umbral de peligrosidad. [127]

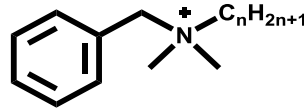
MATRAFOC. Actividades desarrolladas

➤ **Cobre alcalino cuaternario (ACQ):**

El ACQ es un preservante de madera de base acuosa, que está formado por complejos de Cu(II) y grupos de amonio cuaternarios (quats) como es el caso del didecilo dimetil amonio (DDA) o alquildimetilbencilamonio (ADBA).



▪ **Figura 25. Estructura molecular del DDA.**

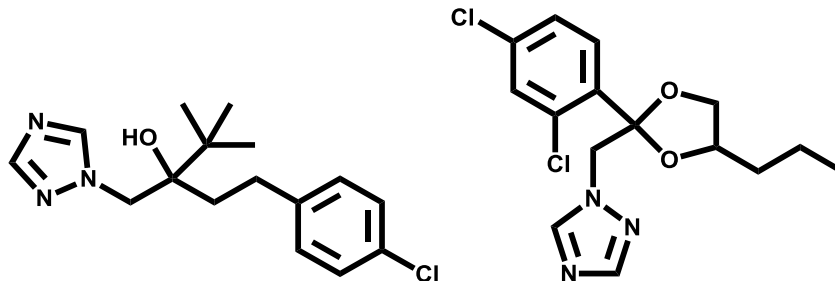


▪ **Figura 26. Estructura molecular del ADBA.**

Dentro del mecanismo de acción, el cobre actúa como fungicida y el compuesto de amonio cuaternario (quat) actúa como insecticida que a su vez aumenta el tratamiento fungicida. Durante el tratamiento, el preservante forma un compuesto insoluble con la lignina, celulosa, hemicelulosa y otros compuestos de la madera. [127]

➤ **Cobre azol micronizado (CBA):**

El CBA se basa principalmente en aminas junto con la acción del cobre para poder prevenir a la madera tanto de la pudrición (hongos) como del ataque de los insectos. Estas aminas son triazoles como el Tebuconazol y el Propiconazol, que definen el tipo de formulación del producto: el cobre azol Tipo A (CBA-A) contiene 49% cobre, 49% ácido bórico y 2% Tebuconazol. El Tipo B (CBA-B) no contiene ácido bórico y está formado por 96% cobre y 4% Tebuconazol. El acabado final de la madera tratada con estos productos adquiere un tinte verdoso.



▪ **Figura 27. Estructura molecular del Tebuconazol (izquierda) y el Propiconazol (derecha).**

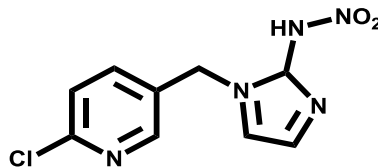
Estos productos están registrados por la AWPA (American Wood Protection Association) para el tratamiento de numerosos tipos de madera blanda. Sin embargo, para su utilización en

**MATRAFOC. Actividades desarrolladas**

especies de madera dura, se debe usar con medio amoniaco en disolución, donde la superficie de ésta se puede ver ligeramente afectada y oler al disolvente inicialmente. [128]

**-Preservantes PTI:**

Los preservantes de tipo PTI, formado por Propiconazol, Tebuconazol (ambos en la figura 58) e Imidacloprid (figura 59) es una solución de base agua compuesta por dos fungicidas (Propiconazol y Tebuconazol) y el insecticida Imidacloprid.



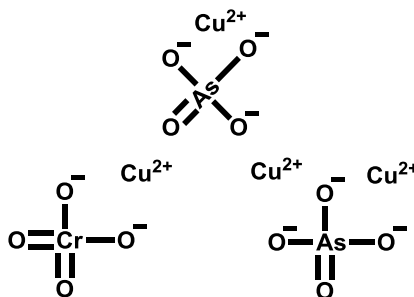
▪ **Figura 28. Estructura molecular del Imidacloprid.**

El preservante PTI no cambia prácticamente el color natural de la madera, por lo que, generalmente, se adiciona un colorante a la mezcla en el caso de querer diferenciarlo de la madera no tratada. Las maderas tratadas con este preservante no tienen incompatibilidades con aplicaciones de pinturas ni aumento del poder corrosivo respecto a la madera sin tratar.

Actualmente se encuentra entre los tratamientos enumerados por la AWWPA solamente para aplicaciones sobre el suelo, como cubiertas. La eficacia del preservante PTI se mejora mediante la incorporación de un estabilizador repelente al agua, permitiendo una retención más baja para que el tratamiento sea efectivo. [84]

**-Arseniato de cobre cromatado (CCA):**

En este producto, el cobre actúa como fungicida principal, el arsénico ejerce como segundo fungicida e insecticida, mientras que el cromo es un fijador que también proporciona resistencia a la radiación ultravioleta (UV).



▪ **Figura 29. Disposición de los iones en el CCA.**

La madera tratada con CCA tiene un aspecto verdoso al igual que ocurre con otros preservantes que contienen cobre. Ha sido un preservante extensamente utilizado para



## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

aplicación en casas residenciales. Sin embargo, se ha limitado su uso y actualmente se está limitado gradualmente, ya que se busca preservantes libres de arsénico. [85]

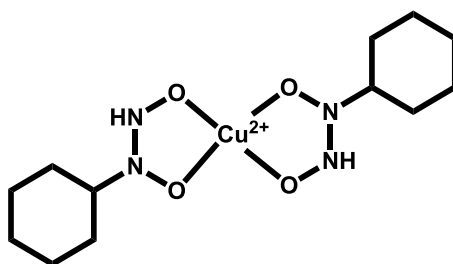
El arsénico (As) es un elemento químico que se encuentra dentro del grupo de los “metales pesados”, conocidos por su alta toxicidad en el cuerpo humano. Dañan el sistema nervioso central, así como los pulmones, riñones, hígado y otros órganos vitales. Diversos estudios confirman que su toxicidad radica en la generación de radicales libres durante su metabolismo en las células. Así, estos radicales causan daños en las células e incluso la muerte prematura a través de la activación de vías de señalización oxidativa. [129]

Los metales pesados entran en el cuerpo humano a través de la comida, agua, aire o se absorbe en contacto con la piel. El arsénico se ha empleado, además de preservantes para madera, en pesticidas, fungicidas... Es durante esa exposición crónica o si se ha ingerido prolongadamente agua contaminada con este metal ( $> 10 \mu\text{g} / \text{L}$  según la OMS) cuando se han detectado efectos adversos en los individuos, como cáncer de piel, pulmón, vejiga así como problemas cardiovasculares y efectos neurológicos adversos. [130]

Todas las alternativas al CCA dependen del cobre como componente activo principal porque es un excelente fungicida, relativamente económico y una toxicidad para los mamíferos relativamente baja. [131]

### -Bis-(N-ciclohexildiazaniumdioxo)-cobre (Cu-HDO):

El Cu-HDO es un fungicida eficaz contra los hongos xilófagos, incluyendo aquellos que causan la pudrición blanda. Después de fijarse en la madera, es un producto cuyo lixiviado es bajo, siendo resistente a la intemperie. Es un preservante que comparte ventajas con el ACQ y el cobre azol, ya que carece de cromo y arsénico en su formulación. [87]



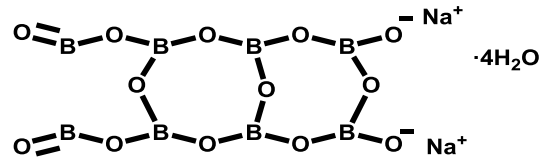
▪ **Figura 30. Estructura molecular del Cu-HDO.**

Actualmente, el Cu-HDO está normalizado solamente para aplicaciones sobre el suelo, como cubiertas. Uno de los productos comerciales más empleados con esta formulación es **Wolmanit® CX-8** de BASF Wolman GmbH. Su aplicación se realiza mediante impregnación por autoclave.

### -Conservantes de borato:

El ácido bórico, los óxidos y las sales (boratos) son conservantes de la madera efectivos y se suministran con numerosas marcas en todo el mundo. Uno de los compuestos más comunes utilizados es el octaborato de sodio tetrahidratado (comúnmente abreviado DOT).

MATRAFOC. Actividades desarrolladas



▪ **Figura 31. Estructura molecular del DOT.**

En un gran porcentaje de casos, el uso de conservantes a presión (como por ejemplo ACQ o CCA) no es rentable debido a la baja probabilidad de que los componentes tratados se mojen según su uso final. La aplicación superficial de un compuesto de borato ayuda a prevenir (aplicación por el fabricante) o detener la infección por moho o pudrición por hongos (aplicación “in situ” después de instalar). De esta manera, el borato puede desempeñar un papel importante en la protección de las partes vulnerables una vez se haya producido condensación o fugas. [132] En el caso de ambientes húmedos en condiciones de exterior, los preservantes de borato son unas sales que se lixivian si se expone repetidamente al agua.

A su vez, posee una serie de ventajas adicionales que se enumeran a continuación:

- Es un preservante económico, por tanto se puede aplicar en grandes superficies.
- No modifica el color de la madera, tampoco modifica su olor inicial.
- Además de su acción fungicida, es también un insecticida empleado para combatir termitas, hormigas carpinteras o cucarachas.
- Es un protector contra la corrosión, lo que no obliga a emplear tornillería ni apliques especiales como ocurre en el caso de los preservantes a base de cobre.
- Tiene propiedades de retardante de llama en porcentajes altos de uso.
- No es tóxico para el cuerpo humano y no contiene cobre ni otros metales pesados.
- Tiene una buena difusión en la madera, lo que hace que pueda penetrar incluso en maderas duras.

**-Conservantes a base de silicato de sodio y potasio:**

Desde el siglo XIX, las soluciones acuosas de silicato de sodio y potasio se han empleado como preservante contra el ataque de insectos. Se ha investigado las combinaciones con otros compuestos inorgánicos (ej. ácido bórico). Sin embargo, estos compuestos son higroscópicos y se lixivian fácilmente por la humedad del ambiente. [133]

Al estar formado por materias primas minerales, estos conservantes no son tóxicos ni liberan sustancias nocivas para la salud o el medio ambiente.

➤ **Silicato de sodio:**

El silicato de sodio se forma a partir de la fusión de carbonato de sodio con sílice. Es un producto fácilmente disponible y económico, además de no ser dañino para el medio ambiente. En la siguiente figura se puede ver el proceso de síntesis:



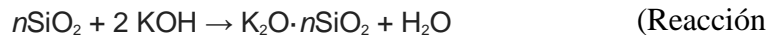
▪ **Figura 32. Síntesis del silicato de sodio.**

Las propiedades tensoactivas y desecantes de este conservante tienen como aplicación en autoclave para proteger la madera contra la descomposición por hongos. [134] Posee cierta capacidad ignífuga. Sin embargo, se lixivian fácilmente por la humedad, formando una capa en tipología de escamas en la parte superficial de la madera. Se suele utilizar como apoyo a otro tratamiento para aumentar la capacidad preservante, ya que la eliminación de humedad impide el desarrollo de microorganismos en el interior de la madera.

**MATRAFOC. Actividades desarrolladas**

➤ **Silicato de potasio:**

Es un conservante similar al silicato de sodio, dado que comparten estructura química y propiedades. Se forma a partir de la fusión de sílice e hidróxido potásico, como se puede observar en la siguiente fórmula:



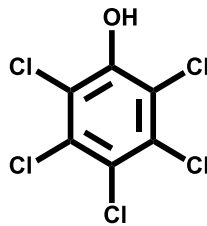
▪ **Figura 33. Síntesis del silicato de potasio.**

En el caso del silicato de potasio, este preservante se emplea en mayor medida para recubrimientos superficiales, que a su vez también posee propiedades ignífugas. Las superficies tratadas con este producto poseen un pH > 7 que facilita la protección frente a la proliferación de microorganismos (algas, líquenes, hongos de pudrición). Por otra parte, crea una barrera protectora que impide la entrada de vapor de agua, por el cual este recubrimiento es usual en el tratamiento de muros y paredes con problemas de humedades. [135]

▪ **Preservantes oleosolubles:**

**-Pentaclorofenol (Penta):**

Es un producto orgánico halogenado con un fuerte olor penetrante, con una solubilidad en agua prácticamente nula, lo que hace que esté disuelto en disolventes orgánicos y el lixiviado por parte de la humedad sea bajo, es por ello su uso principal en exterior. Su carácter volátil, junto con el disolvente en el que se aplica (en autoclave, aspersión, brocha o inmersión), hace que le proporcione a la madera un fuerte olor a petróleo.



▪ **Figura 34. Estructura molecular del Pentaclorofenol.**

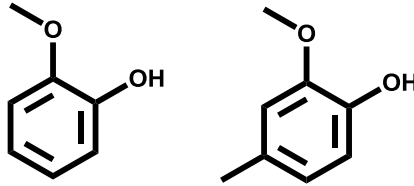
Es un preservante persistente y tras el tratamiento a presión puede proteger la madera durante 40 años de hongos, bacterias e insectos. El Penta tiene graves efectos para los humanos a largo plazo: es mutagénico, causa alteraciones en el sistema inmunológico y endocrino (como consecuencia baja las defensas del individuo, aumentando la susceptibilidad a infecciones) y altera las funciones reproductivas. [136]

El Penta es una sustancia lipófila. Debido a esta característica, puede cruzar fácilmente las membranas celulares y ser absorbido en pulmones, tracto gastrointestinal y piel. Se cree ampliamente que el Penta ejerce sus efectos tóxicos, al menos en parte, al desacoplar la fosforilación oxidativa mitocondrial, lo que provoca un metabolismo aeróbico acelerado y una mayor producción de calor. [137] Es por ello que se está disminuyendo o incluso prohibiendo su uso en numerosos países debido a estudios que señalan los efectos graves a los humanos mencionados anteriormente.

**-Creosota:**

## MATRAFOC. Actividades desarrolladas

La creosota es un producto producido a partir de la carbonización del carbón bituminoso y la resina de las hojas del arbusto creosota. De la misma manera que el Penta, la creosota desprende un fuerte olor a petroquímica, debido a su composición siendo una mezcla de creosol y guaiacol. [138]



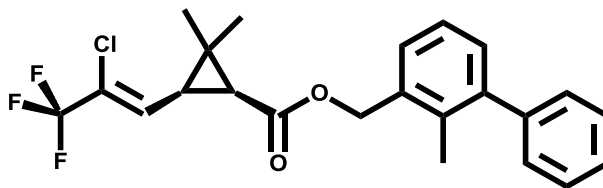
▪ **Figura 35. Estructura molecular del guaiacol (izquierda) y el creosol (derecha).**

Fue el primer producto químico en emplearse como preservante para madera, donde se necesitaba una **larga vida útil** en condiciones ambientales de **exterior**. Además de fungicida e insecticida, la creosota es un repelente natural del agua que sirve para poder impermeabilizar postes de la luz o las traviesas de las vías del tren, donde debe cumplir los dos requisitos anteriormente descritos. Ha tenido un extenso uso durante años debido a su penetración, retención (no se lixivia prácticamente con la humedad) y la protección que proporciona a largo plazo.

Su uso en interior está prohibido debido a la peligrosidad de los vapores de creosota, que pueden causar irritación en el tracto respiratorio. El contacto directo prolongado con la piel con bajas concentraciones o vapores puede aumentar la sensibilidad a la luz, dañar la córnea y la piel. [139] Solamente se permite su uso para aplicaciones ferroviarias, vallas, postes de la luz, telefonía... Para aplicaciones en la que la madera esté en contacto con el suelo, agua dulce o salada. Debido a estos peligros, se debe evitar en la medida de lo posible su contacto directo, por ello en Estados Unidos su aplicación está restringida a tratamiento por autoclave. [140]

### -Conservantes de Bifentrina:

La bifentrina es un insecticida de la familia de los piretroides. Es un compuesto que elimina el balance de iones sodio a lo largo de las células nerviosas en los insectos. Esto interrumpe la transmisión normal de los impulsos nerviosos, lo que resulta en una parálisis y finalmente la muerte del insecto. Aunque no es un ovicida, la bifentrina es efectiva contra todas las etapas de la vida de los insectos.



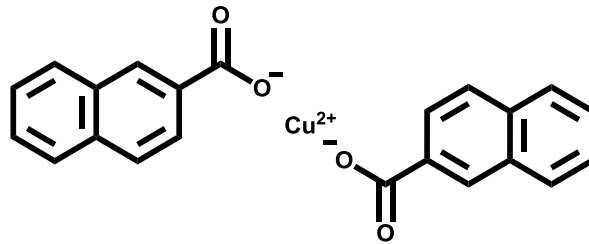
▪ **Figura 36. Estructura molecular de la bifentrina.**

Este preservante se emplea principalmente rociándolo en spray sobre la superficie de la madera. Al aplicarse de esta forma, solamente penetra unos 2 mm hacia el interior (dependiendo de la clase de madera). De esta forma, la protección a largo plazo frente a insectos puede verse afectada, sobre todo para clases de uso exterior. Es por ello que este tratamiento se suele emplear como complementario a un tratamiento principal con autoclave para mejorar la resistencia a insectos en lugares de riesgo. [141]

### -Naftenato de cobre:

**MATRAFOC. Actividades desarrolladas**

El naftenato de cobre es un pesticida que se obtiene a partir de la reacción entre el cobre y el ácido nafténico, el cual es subproducto de la industria del petróleo.



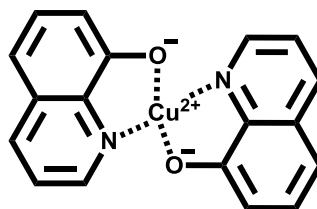
▪ **Figura 37. Disposición molecular del naftenato de cobre.**

Es un preservante que se empezó a emplear en la década de 1940 como suplemento a la creosota, sin embargo tuvo poco uso después ya que era más costoso que el Penta. La normativa restrictiva que se empezó a aplicar al Penta en la década de 1980 ha aumentado el uso de este compuesto químico. Es un producto ligeramente menos efectivo que el Penta, pero su toxicidad es 10 veces menor. [87]

Este pesticida está registrado en la EPA para uso únicamente en exterior y aplicación tanto a brocha, inmersión o tratamiento a presión, [142] como es el caso de postes de luz y telefonía, postes de cercas, traviesas de las vías del tren... Es decir, estructuras de madera en contacto con el suelo.

**-Bis(8-quinolinato) de cobre (Oxina de cobre):**

La oxina de cobre es un fungicida cuya principal ventaja es que se puede emplear en aplicaciones en contacto con alimentos.



▪ **Figura 38. Disposición molecular de la oxina de cobre.**

Su eficacia se reduce cuando es usado en contacto con el suelo o el agua. Es un preservante bastante costoso, por tanto su uso se ha limitado a tratamiento de mesas de picnic, envases de comida, estructuras para camiones refrigerados y otras aplicaciones específicas.

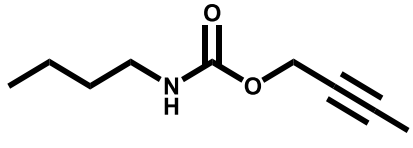
La oxina de cobre carece de olor, tiene un color marrón verdoso y es tóxico para los hongos de pudrición y los insectos, mientras que la toxicidad frente a humanos y animales es baja. [143]

**-Yodopropinil-butil-carbamato (IPBC):**

El IPBC es un fungicida empleado contra el azulado de la madera y los hongos de pudrición, disponibles tanto en disolventes orgánicos (extraídos del petróleo) como en base agua. Dependiendo del disolvente empleado, el producto final admite un acabado superficial tras secado. La AWPA enumera este preservante dentro de los posibles productos a utilizar en el tratamiento con autoclave de la madera. El IPBC no es efectivo por sí solo, por ello es común encontrarlo en el mercado combinado junto con otros fungicidas, como el DDA o insecticidas, como la Permetrina. Existen a su vez estudios donde se combina con compuestos de

MATRAFOC. Actividades desarrolladas

organosilicio, donde su capacidad fungicida se ve severamente reducida al exponerse a condiciones de exterior. [144]



▪ **Figura 39. Estructura molecular del IPBC.**

No produce cambio en el aspecto final de la madera y no aumenta la corrosión respecto a la madera sin tratar, por tanto no hay que emplear sujeciones que superen los requisitos de la norma de galvanizado ASTM A 153. Su aplicación se restringe a uso de la madera sin contacto con el suelo.

Su toxicidad relativa es baja para humanos en comparación con maderas tratadas con otros fungicidas. Se ha comprobado que es un compuesto químico que se degrada rápidamente en contacto con el suelo o en ambientes acuáticos, por lo que se esperaría una baja bioacumulación en las cadenas alimentarias, aunque es altamente tóxico para peces e invertebrados acuáticos. Dado que normalmente se consigue una gran penetrabilidad debido al uso de disolventes orgánicos volátiles, no es un preservante que se caracterice por sufrir deslavado o lixiviado. [143]

En la siguiente figura podemos ver una comparativa del aspecto final de la madera tras el tratamiento con algunos de los distintos preservantes para la madera.



▪ **Figura 6. Comparativa del aspecto final de los distintos tratamientos para la madera**

A continuación, se presenta una tabla a modo de resumen de los preservantes de los que se han explicado hasta el momento, con objeto de poder hacer una comparativa con el disolvente empleado, su uso, acabado, restricciones (si las hay), color final, olor de la madera y si provoca corrosión en sujeciones metálicas empleadas según su uso final.

TABLA RESUMEN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE PRESERVANTES

Disolvente	Preservante	Uso	Superficie / Restricciones de uso	Color de la madera	Olor	Corrosión de las piezas metálicas
<u>Acuoso</u>	<b>Cobre micronizado</b>	Excepto en contacto con agua salada	Seca / No restringido	Verdoso	Tenue	Peor que la madera sin tratar
	<b>Preservantes PTI</b>	Excepto en contacto con el suelo		Incoloro	Tenue	Similar a la madera sin tratar
	<b>CCA</b>	Sin restricción	Seca / Restringido por EPA	Verdoso	Inoloro	Similar a la madera sin tratar
	<b>Cu-HDO</b>	Excepto en contacto con el suelo	Seca / Restringido para uso en contacto con agua			Menor corrosión que la madera sin tratar
	<b>Conservantes de borato</b>	Interior, normalmente para protección contra insectos.	Seca / No restringido	Incoloro		Menor corrosión que la madera sin tratar
	<b>Silicato de sodio y potasio</b>	Sin restricción				
<u>Orgánico</u>	<b>Pentaclorofenol</b>	Excepto en contacto con agua salada	Aceitosa, restringido para contacto humano	Marrón oscuro	Fuerte y duradero	Similar a la madera sin tratar
	<b>Creosota</b>	Cualquier uso		Incoloro	Tenue	
	<b>Bifentrina</b>	Excepto en contacto con agua salada			Verdoso	
	<b>Naftenato de cobre</b>	Excepto en contacto con agua salada	Seca / No restringido	Marrón verdoso	Tenue	
	<b>Oxina de cobre</b>	Cualquier exposición, sin contacto con el suelo		Incoloro	Tenue	
	<b>IPBC</b>	Parcialmente protegido y sin contacto con el suelo				

## **Paquete de trabajo 5 – Selección, adquisición y caracterización de productos comerciales de madera tratada**

En este paquete de trabajo se evalúan las prestaciones de la madera y su comportamiento frente al fuego de muestras comerciales reales.

### **7. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS**

Las muestras de madera tratada se obtuvieron de diferentes proveedores con el fin de poder realizar un muestreo representativo de la situación actual del mercado de la madera tratada.

Por otra parte, se realizó un muestreo de productos comerciales de madera tratada disponibles en los distribuidores de materiales de construcción. Tras observar un patrón de productos iguales entre ellos, se decidió recopilar productos de distinta tipología (tipo de madera, clase de uso (CU), preservante, tipo de tratamiento, formato comercial). Destacar que fue difícil encontrar madera con tratamiento de ignifugación, lo que denota la falta de información en la sociedad acerca de la normativa contra el fuego y de la falta de exigencia de este requisito en las licitaciones.

Por este motivo, con objeto de poder evaluar madera preservada e ignifugada en un mismo producto, se encargó el doble tratamiento de muestras de madera a una empresa privada., realizando tratamientos para distintas clases de uso con el mismo tratamiento de ignifugación, para poder comprobar también si puede existir incompatibilidad entre ellos.

### **8. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS PROBETAS**

Debido a que el **objetivo principal** del proyecto es la **evaluación del comportamiento frente al fuego de la madera tratada destinada a diferentes usos**, se han realizado las siguientes familias de ensayos:

- Evaluación de las **prestaciones** de la madera.
- Evaluación del **comportamiento frente al fuego** según norma **EN 16755**.

De esta manera, los valores obtenidos se establecerán como referencia de las propiedades del producto que se encuentra actualmente en el mercado y será tomado como punto de partida a la hora de realizar una posible posterior mejora.

Con el objeto de poder tener una estructura del entregable clara y concisa, se ha realizado una pequeña introducción de cada uno de los ensayos (propósito, método, equipamiento...) para poner en contexto de los resultados que posteriormente se presentarán. El orden se ha establecido según como se ha ido desarrollando el proyecto, de tal forma que hasta no haberse completado cada uno de los ensayos, no se ha podido realizar el siguiente, ya que la norma establece el siguiente diagrama de ensayos (Figura 41), mediante el cual se clasifica cada producto acorde a la tabla de clasificación de la norma **EN 16755**.



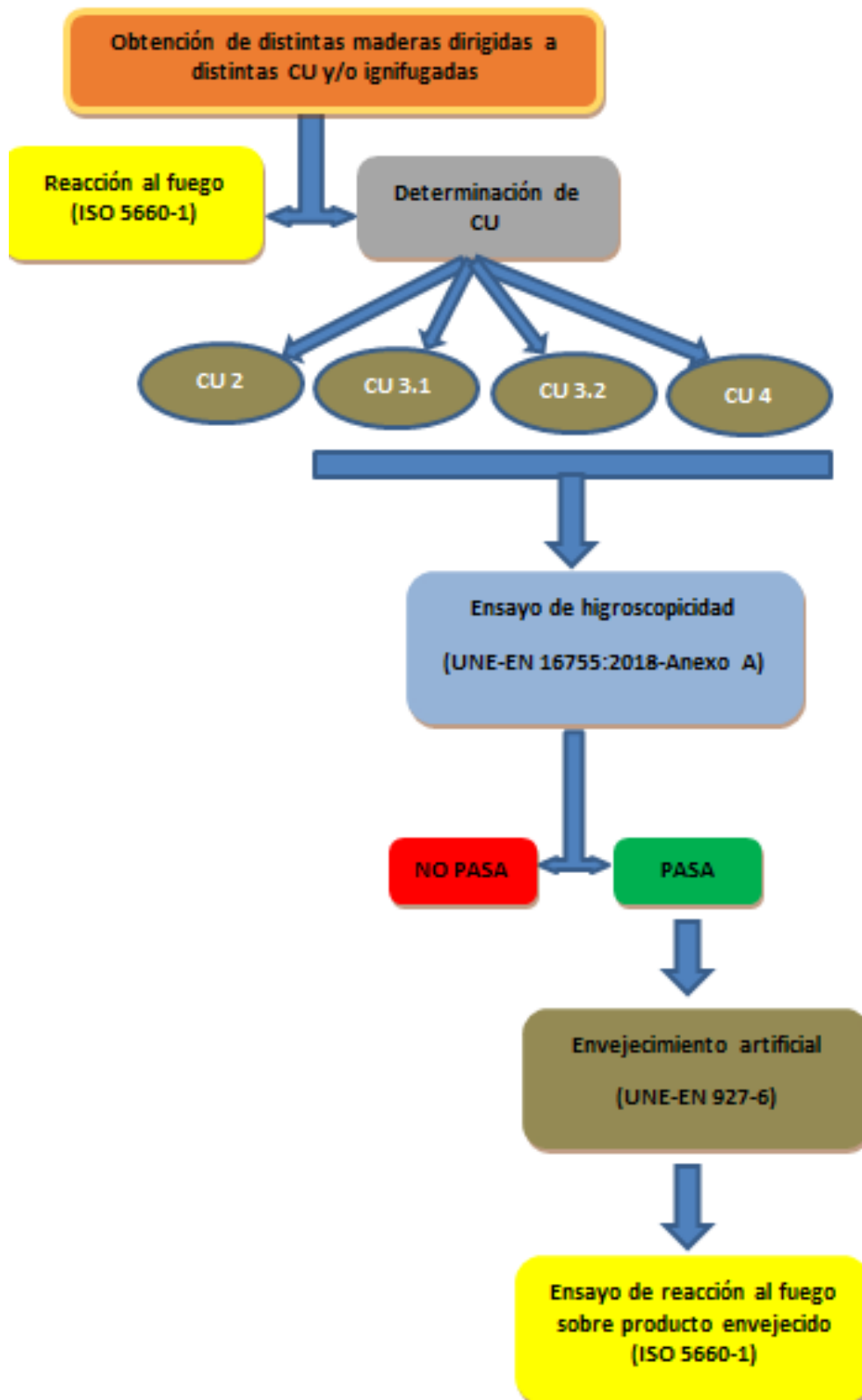


Figura 41. Diagrama de ensayos del proyecto

En la evaluación de prestaciones de la madera, se determinó la clase de uso de cada una de las probetas caracterizadas. En función de la naturaleza de los compuestos activos biocidas con las que están tratadas se emplean metodologías distintas para su detección:

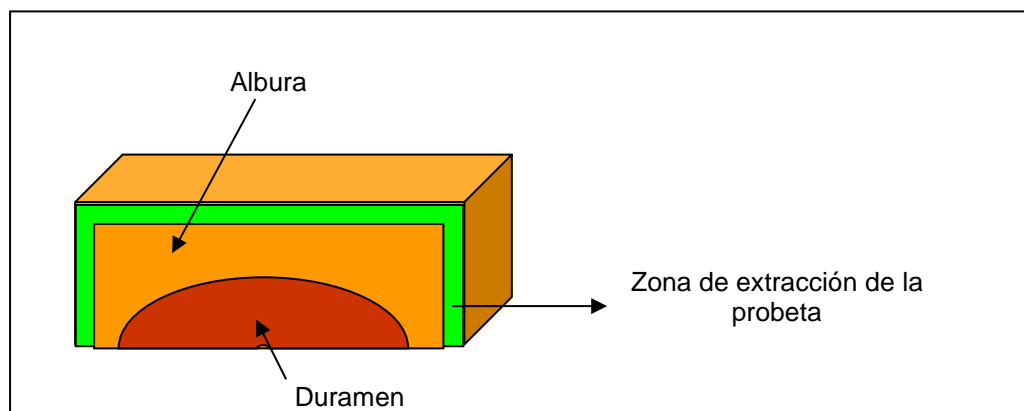
#### **A. Análisis de penetración del tratamiento de protección inorgánico de la madera.**

Debido a la presencia de cobre como principio activo biocida mayoritario en las muestras que se encuentran tratadas con sales de cobre, se realiza el ensayo especificado en la norma UNE 21152:1986 (Impregnación con sales a presión de los postes de madera de pino. Sistema por vacío y presión). Este ensayo determina la profundidad de impregnación del producto protector.

Para ello, mediante los reactivos correspondientes, se determina la superficie ocupada por el duramen y por la albura, lo que resulta imprescindible para valorar la profundidad de impregnación del producto protector, pues la madera de duramen y albura no responden de la misma forma a la absorción y retención del producto. Posteriormente, a través de otro tipo de reactivos, se determina la profundidad a la que ha llegado el producto protector.

#### **B. Análisis de penetración del tratamiento de protección orgánico de la madera.**

Para la realización de este ensayo se extrajeron probetas de entre 1-2 mm a partir de las de las caras de la muestra, como se ilustra en la siguiente figura, según se indica la norma EN 351-1:2008 para una clase de uso 2.



**Figura 42. Detalle del lugar de extracción de la muestra para una clase de uso 2.**

El método utilizado para la extracción y análisis de los componentes químicos del producto protector está basado en la norma EN 71 (Seguridad en los juguetes) parte 9 (Compuestos químicos orgánicos. Requisitos), parte 10 (Compuestos químicos orgánicos. Preparación y extracción de muestras) y parte 11 (Compuestos químicos orgánicos. Métodos de análisis), ya que no existe una norma específica para madera en construcción para este tipo de productos protectores.

Los principales pasos seguidos en el análisis en el laboratorio son:

1. Triturado de la muestra para su homogeneización a un tamaño de partícula no superior a 3 mm.
2. Extracción con disolventes de los compuestos orgánicos del protector a través de ultrasonidos.
3. Análisis del resultado de la extracción con un equipo de GC-MS (cromatografía de gases-masas) para determinar cualitativamente si los compuestos que forman parte del protector utilizado se encuentran retenidos en la madera.

### **C. Correspondencia con la clase de uso.**

Para la asignación de clase de uso se ha seguido la norma europea EN 351-1:2007 (Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores) y el Documento Básico de Seguridad Estructural en Madera (DB SE-M) del Código Técnico de Edificación (CTE) donde se hace la correspondencia entre los diferentes niveles de penetración con las clases de uso. Las clases de uso se definen según la normativa UNE-EN 335-2013:

a) Clase de uso 1: situación en la que la madera o el material derivado de la madera se utiliza en el interior de una construcción y no expuesto a la intemperie ni la humidificación.

b) Clase de uso 2: situación en la que la madera o material derivado de la madera se encuentra bajo cubierta y no expuesto a la intemperie (en particular a la lluvia horizontal) pero en la que puede estar sometido a una humidificación ocasional pero no persistente. En esta clase de uso puede producirse condensación superficial en la madera y derivados.

c) Clase de uso 3: Situación en la que la madera o derivado está por encima del suelo y expuesto a la intemperie (en particular a la lluvia). Esta clase de uso se subdivide en dos:

- Clase de uso 3.1: los productos de madera y derivados no permanecen húmedos durante largos periodos. El agua no se acumula.
- Clase de uso 3.2: los productos de madera y derivados permanecen húmedos durante largos periodos de tiempo. El agua puede acumularse.

d) Clase de uso 4: situación en la que la madera y derivados están en contacto directo con el suelo y/o el agua dulce.

e) Clase de uso 5: situación en la que la madera y derivados están sumergido en agua salada (agua de mar o salina) de forma regular o permanente.

**Tabla 23. Clases de uso en función de la profundidad del tratamiento, según el DB SE-M del CTE.**

Clase de uso		Nivel de penetración NP (UNE-EN 351-1)
1	NP1 (1)	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas.
2	NP1(2) (3)	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas.
3.1	NP2 (3)	Al menos 3 mm en la albura de todas las caras de la pieza.
3.2	NP3 (4)	Al menos 6 mm en la albura de todas las caras de la pieza. Todas las caras tratadas.
4	NP4 (5)	Al menos 25 mm en todas las caras.
	NP5	Penetración total en la albura. Todas las caras tratadas.
5	NP6 (4)	Penetración total en la albura y al menos en 6 mm en la madera de duramen expuesta.

(1) Se recomienda un tratamiento superficial con un producto insecticida.

(2) El elemento de madera deberá recibir un tratamiento superficial con un producto insecticida y fungicida.

(3) Los elementos situados en cubiertas ventiladas se asignarán a la clase 2. En cubiertas no ventiladas, se asignarán a la clase 3.1, salvo que se incorpore una lámina de impermeabilización, en cuyo caso se asignarán a la clase 2. Asimismo, se considerarán de clase 3.1 aquellos casos en los que en el interior de edificaciones exista riesgo de generación de puntos de condensación no evitables mediante medidas de diseño y evacuación de vapor de agua.

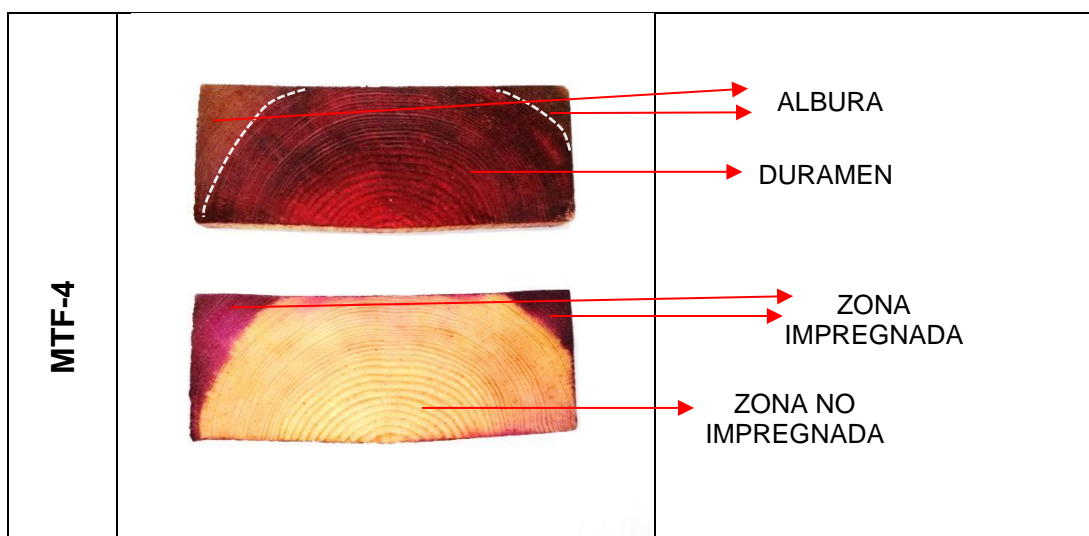
(4) Las maderas no durables naturalmente empleadas en estas clases de uso deberán ser maderas impregnables (clase 1 de la norma UNE-EN 350:2016).

(5) Sólo para el caso de madera de sección circular (rollizo).

## 8.2 RESULTADOS

### A. Análisis de penetración del tratamiento de protección de la madera. Muestras tratadas con sales de cobre.

A continuación, se muestra alguna de las imágenes tomadas tras el ensayo colorimétrico para determinar la proporción de presencia de albura/duramen, así como el nivel de penetración del tratamiento a lo largo del perfil.



**Figura 43. Muestra MTF-4: resultado de ensayo de penetración del producto protector.**

## B. Análisis de penetración del tratamiento de protección de la madera. Muestras tratadas con productos orgánicos.

La detección de los compuestos orgánicos con los que están tratadas estas muestras, se obtienen mediante el equipo de GC-MS (cromatografía de gases masas), con el que se determina cualitativamente si los compuestos que forman parte del protector utilizado se encuentran retenidos en la madera.

A continuación, se muestran los gráficos obtenidos tras el análisis con cromatografía de gases masas para la determinación cualitativa de los compuestos biocidas que forman parte del protector de las muestras de análisis MTF-17 y MTF-19.

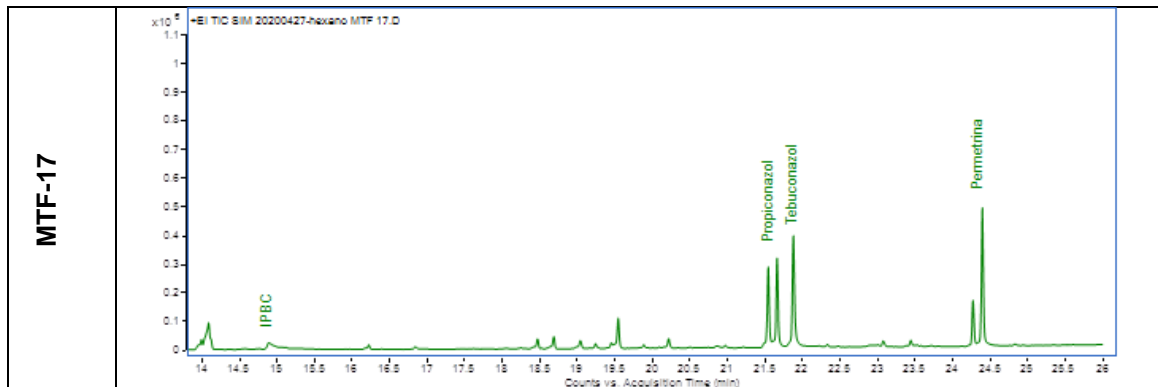


Figura 45. Cromatograma obtenido de la muestra MTF-17. Se indican los picos de interés de cada uno de los compuestos activos presentes en la muestra.

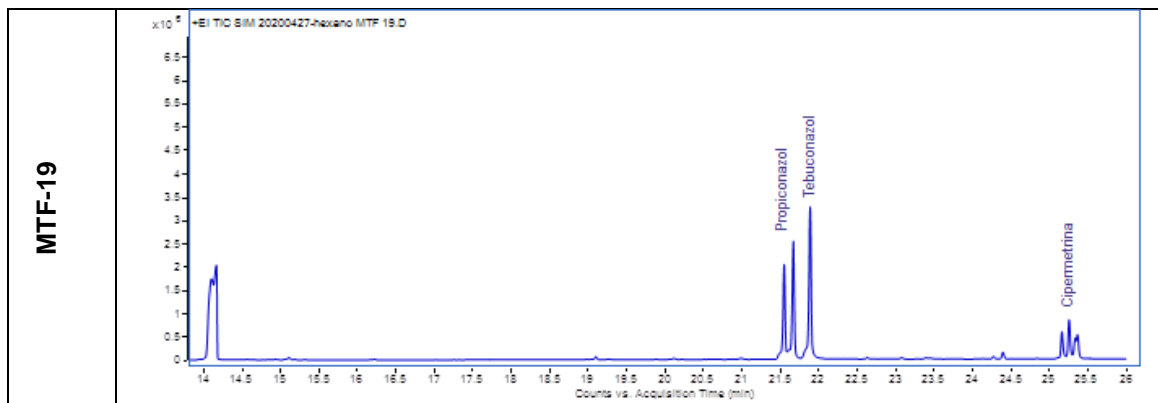


Figura 46. Cromatograma obtenido de la muestra MTF-19. Se indican los picos de interés de cada uno de los compuestos activos presentes en la muestra.

## 8.3. CONCLUSIONES

Cabe destacar que **únicamente en un 8% de los casos**, las prestaciones de clase de uso declarada en la ficha técnica no coinciden con la clase de uso asignada tras la evaluación realizada

## 9.1 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE HIGROSCOPICIDAD.

### ENSAYO DE HIGROSCOPICIDAD (UNE-EN 16755:2018 – ANEXO A).

Este método establece un procedimiento para la determinación del contenido de humedad en equilibrio después de exposición a condiciones normalizadas de humedad relativa de  $(90 \pm 5)$  % y a una temperatura de  $(27 \pm 2)$  °C, en función de la clase de durabilidad de reacción al fuego (ver Tabla 2).

#### Objeto y campo de aplicación.

El método se aplica a la evaluación de las propiedades higroscópicas de los productos de madera tratados con un producto retardante de llama. De la misma forma, se aplica a madera que ha recibido un tratamiento ignífugo superficial, incluyendo los productos filmógenos, no filmógenos y los productos intumescentes. El tratamiento de la madera con esta tipología de producto puede cambiar las propiedades higroscópicas de la misma, pudiendo ser incluso mayores que la de los productos no tratados.

Un mayor contenido en humedad de la madera puede suponer la aparición de manchas debido al desarrollo de hongos, de una mala adherencia de la pintura e incluso de una migración de sales de productos químicos hacia la superficie.

#### Preparación de las probetas.

Las probetas que se preparan son de la zona de la albura de la madera exenta de nudos, fendas visibles, manchas, pudrición, ataques de insectos u otros defectos. Las medidas de las probetas deben ser de  $50 \times 25 \times 15$  mm  $\pm 10$  %, con tres repeticiones.

#### Método de ensayo.

El ensayo se basa en diferencia de pesadas tras la exposición de la madera a diferentes condiciones ambientales.

Las probetas deben acondicionarse a una humedad relativa de  $(50 \pm 3)$  % y a una temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C, hasta peso constante a  $\pm 2$  % previamente a la exposición a la humedad elevada.

- a) Se pesa cada probeta con una precisión de  $\pm 0.1\%$  de la masa anotada.
- b) Se exponen todas las probetas a condiciones de humedad relativa constante de  $(90 \pm 5)$  % y  $(27 \pm 2)$  °C de temperatura hasta alcanzar peso constante. Las probetas deben colocar en rejillas de tal forma que todas sus superficies queden expuestas.
- c) Se debe tener en cuenta los posibles exudados e incluir sus pesos con los de la probeta, además de anotarse todo fenómeno que ocurra durante el ensayo.
- d) Se pesa cada probeta inmediatamente con una precisión del  $\pm 0.1$  % de una en una, conforme vayan retirándose de la cámara de acondicionamiento. Se repiten las pesadas a intervalos regulares hasta peso constante (se considera una diferencia de menos del 0.1 % en un intervalo de 24 h). Las probetas se deben colocar en la cámara de acondicionamiento inmediatamente después de cada pesada. Se anota el aspecto general de cada una de las probetas (manchas, exudados, presencia de sales).
- e) Se seca cada probeta en estufa a una temperatura de  $103 \pm 2$  °C hasta alcanzar un peso aproximadamente constante (diferencias menores del 0.1 % en 2 h).

### **Análisis de los datos.**

El contenido en humedad de cada probeta se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{A - B}{B} \cdot 100$$

Dónde:

A: Peso antes de la humedad elevada.

B: Peso después el secado en la estufa.

## **9.2. CONCLUSIONES**

Todas las probetas evaluadas cumplen con los requisitos de higroscopicidad.

## **10.1 EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO.**

Se ha investigado el comportamiento frente al fuego de las muestras comerciales recopiladas durante el proyecto MATRAFOC, antes y después de realizarle el envejecimiento artificial. Se ha realizado el ensayo de cono calorimétrico (**ISO 5660-1:2015**) tal y como especifica la propia norma **UNE-EN 16755:2018**.

### **CONO CALORIMÉTRICO (ISO 5660-1:2015).**

Se evalúa el comportamiento de las probetas frente a la acción de niveles controlados de irradiancia con un ignitor externo. El procedimiento se lleva a cabo mediante la norma ISO 5660-1:2015. *Ensayos de reacción al fuego. Calor emitido, producción de humo y pérdida de masa. Parte 1: Tasa de emisión de calor (método del cono calorimétrico) y tasa de producción de humos (medida dinámica).*

## **10.2 EVALUACIÓN ANTES DEL ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL.**

Con objeto de poder realizar una comparativa del comportamiento frente al fuego de una misma probeta antes y después del envejecimiento artificial, se ha evaluado la prestación inicial de reacción al fuego en **dos fases**. En una primera fase se han ensayado las muestras sin barnizar para ver su comportamiento frente al fuego inicial y posteriormente se han ensayado las mismas muestras barnizadas (nótese la diferencia en la adición de la letra "B" (Barnizada) en la referencia). La irradiancia escogida durante todo el proyecto ha sido de **50 kW / m<sup>2</sup>** y distancia entre el cono y la superficie de la muestra de **25 mm**.

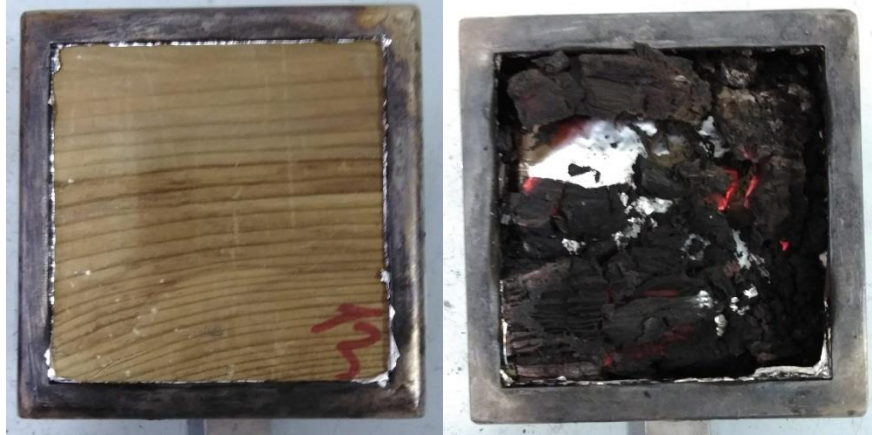
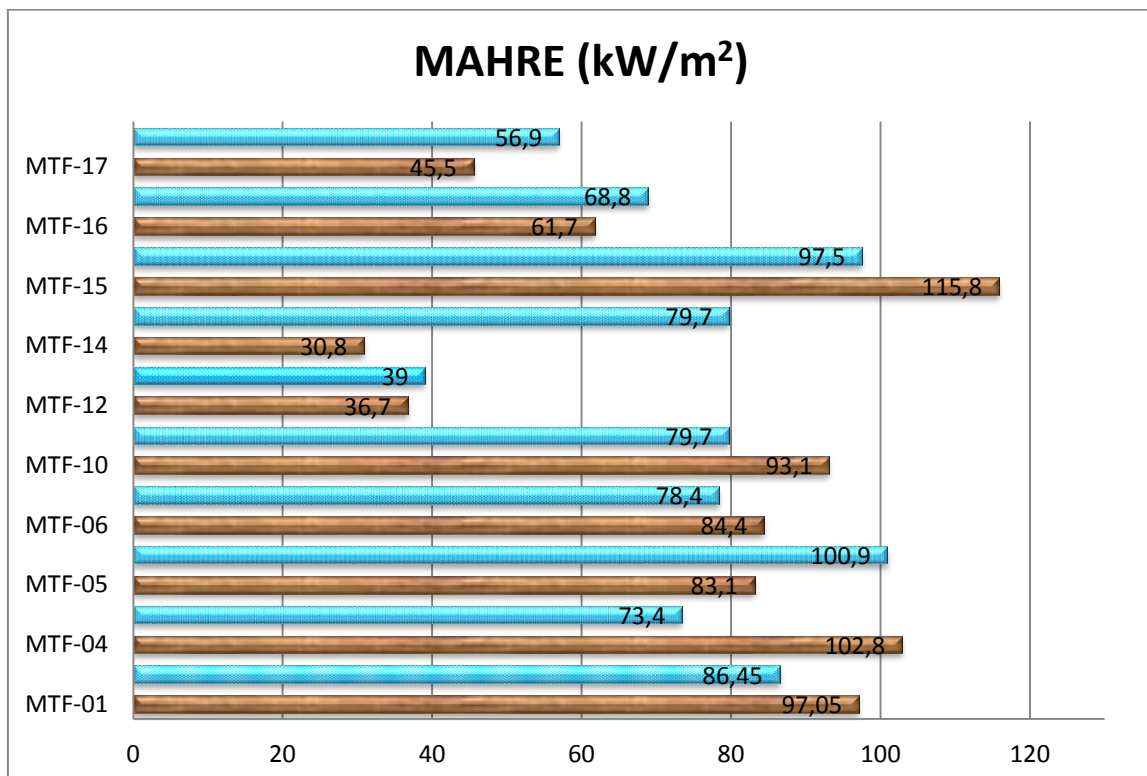


Figura 49. Comparativa MTF-12 antes y después del ensayo de reacción al fuego.

**Discusión de los resultados:**

A partir de los valores recogidos durante las experiencias con el cono calorimétrico, se han analizado especialmente los valores de los parámetros THR (Total Heat Release: Calor total emitido), MAHRE (Máximo Heat Release Rate: máximo de la tasa de emisión de calor). En el gráfico adjunto se ha realizado una comparativa entre los valores obtenidos por las probetas de madera tratada (en marrón) y de madera tratada barnizada (en azul).



Estos resultados ponen de manifiesto que no se puede extraer conclusión alguna acerca de si la aplicación del barniz convencional para uso exterior tiene un efecto (positivo o negativo) a la hora de evaluar su comportamiento frente al fuego.



### 10.3 EVALUACIÓN DESPUÉS DEL ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL.

#### ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL, QUV.

El envejecimiento artificial se realiza según el procedimiento de la norma UNE-EN 16755:2018, que a su vez cita el método de ensayo de la norma EN 927-6. Con este método se pretende evaluar la durabilidad del tratamiento ignifugante sometida a un envejecimiento acelerado simulando la exposición a la intemperie.

La experiencia se lleva a cabo en un equipo de envejecimiento artificial, QUV.



Figura 50. Equipo de envejecimiento artificial con lámparas UV, QUV.

En este caso se ha empleado un programa con un total de 4 ciclos de exposición con una duración total de 672 h, pero se ha realizado un control tras el segundo ciclo, 336 horas, al detectar que comenzaba a producirse un lixiviado de sales en las muestras de madera ignifugada. Cada ciclo de exposición tiene una duración de una semana y consiste en un periodo de condensación seguido de una fase de pulverización de agua y de exposición a la radiación UV-A340 como se indica en la Tabla 5:

Tabla 25. Ciclos y condiciones de la prueba de envejecimiento artificial.

Paso	Función	Temperatura	Duración	Condición
1	Condensación	$(45 \pm 3) ^\circ\text{C}$	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	$(60 \pm 3) ^\circ\text{C}$	2,5 h	Irradiance set point $0,89 \text{ W}/(\text{m}^2\text{nm})$ a 340 nm
4	Pulverización	---	0,5 h	6 L/min a 7 L/min, UV apagado



Figura 51. Comparativa envejecimiento 4 semanas muestra MTF-19.

### **Discusión de los resultados:**

Una vez finalizado el envejecimiento de 4 semanas, se puede apreciar como las condiciones ambientales de exterior aceleradas han afectado en distinto grado a las diferentes probetas. Con carácter general, el barniz ha logrado proteger a la mayoría de las muestras (solamente en el caso de MTF-01 y MTF-04 el cambio ha sido mayor). En estos casos, el velado se ha producido por la acción conjunta de la humedad y la radiación UV sobre las sustancias químicas del barniz.

Por otra parte, las muestras ignifugadas que no habían sido barnizadas (MTF-18, 19 y 20), han sido las más castigadas tras el ensayo de QUV. En particular, la muestra MTF-18 ha desprendido gran cantidad de sales (presumiblemente del producto ignífugo) como se puede apreciar en la figura 72. Este hecho ya se vislumbraba tras 2 semanas de envejecimiento y se comentaron sus posibles causas en la anterior discusión.

En las muestras MTF-19 y 20 se ha producido un gran desgaste superficial de la madera al no estar protegida, hecho que no se apreciaba tras 2 semanas. De nuevo, no se ha observado un lixiviado de sales hacia la superficie, lo que denota una menor absorción de ignífugante.

### **Determinación de las propiedades frente al fuego tras envejecimiento artificial**

Según el diagrama de flujo comentado en la Figura 41, se realizan los ensayos de cono calorimétrico a las probetas envejecidas, para evaluar su posible pérdida de prestaciones frente al fuego. Los resultados son comparados con los obtenidos en los ensayos de cono calorimétrico realizado sobre las mismas probetas, pero sin envejecer.

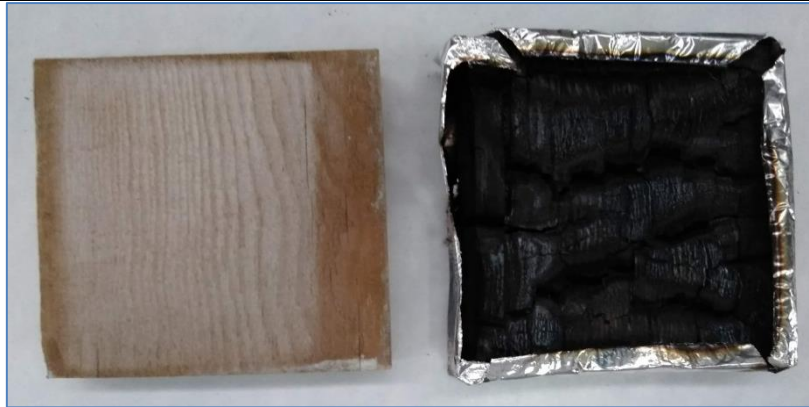


Figura 52. Comparativa MTF-19E antes y después del ensayo de reacción al fuego.

### Discusión de los resultados:

Atendiendo a los resultados obtenidos en la segunda tanda de ensayos de reacción al fuego de las probetas envejecidas, si la comparamos con los ensayos de las probetas sin envejecer, podemos observar como el **comportamiento frente al fuego** de las probetas barnizadas en general **mejora tras el envejecimiento acelerado**.

A partir de estos resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El proceso de barnizado aplicado a la probetas sin ignífugas no aporta una mejora en el comportamiento frente al fuego, pero después la posible degradación por humedad de las resinas que constituyen la capa de acabado o el proceso de curado al que se somete por la radiación UV hace que aporte menos carga de combustible durante la ignición, aportando así una mejora en el comportamiento frente al fuego.
- Por otra parte, el proceso ignífugo en autoclave se ve perjudicado por el envejecimiento de la madera debido a las severas condiciones ambientales de exterior y por no disponer de la capa protectora del barniz. En las tres referencias ensayadas, su comportamiento frente al fuego empeora tras el envejecimiento.

## 10.4 CLASE DE DURABILIDAD DE REACCIÓN AL FUEGO.

Atendiendo a los requisitos establecidos en la norma **UNE-EN 16755:2018, tabla 1**, se procede a clasificar las probetas ensayadas según su **clase de durabilidad de reacción al fuego (DRF)**. Para las muestras que no han sido ignifugadas, y tampoco han sido previamente clasificadas según normativa Euroclases (UNE-EN 13501-1:2019), se asigna la clasificación para madera maciza tabulada en el Real Decreto 842/2013 (procedente de las normas de producto UNE-EN 13353), suponiendo una densidad superior a  $400 \text{ Kg/m}^3$  y un espesor mínimo de 12 mm. Dicha clasificación es **D-s2, d2** para revestimiento de paredes y techos.

### Conclusiones

Como resultado del proyecto, se ha comprobado la disminución en las propiedades frente al fuego de la madera ignifugada tras ser sometidas al envejecimiento artificial acelerado. Esto es debido a la migración hacia la superficie desde el interior de la madera de las sales usadas como retardante de llama. Este resultado corrobora la hipótesis planteada en el proyecto: es **absolutamente necesario evaluar las prestaciones frente al fuego teniendo en cuenta la degradación** de la madera tratada según su clase de uso previsto. En el siguiente gráfico se muestran los límites en los que el parámetro de ensayo puede variar en la muestra envejecida sin variar la clase inicial de reacción al fuego:

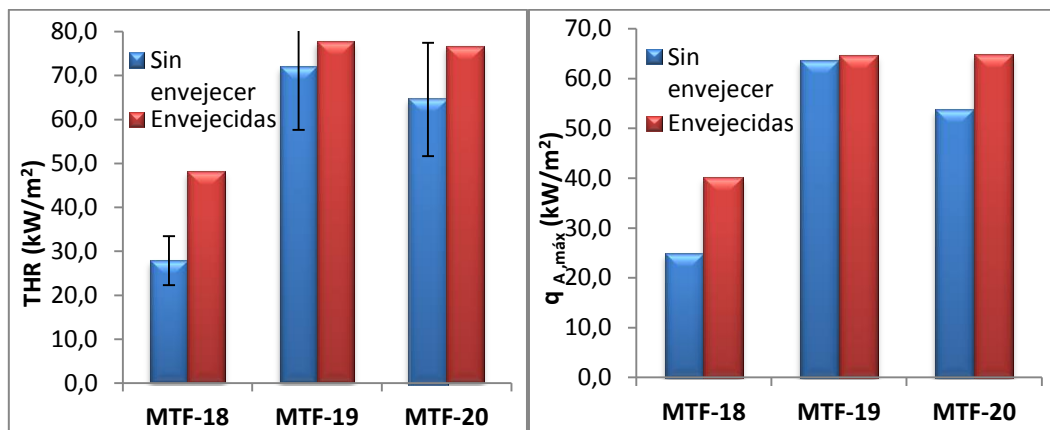


Figura 53. Comparación de parámetros de distintas muestras antes y después del envejecimiento. Nota: THR (calor emitido total por unidad de área);  $q_{A,máx}$  (valor máximo de la tasa emisión de calor por unidad de área).

Los resultados ponen de manifiesto que existe probetas que tras sufrir el envejecimiento, no conservan su comportamiento frente al fuego después de un periodo de uso determinado en exterior (marcado por su clase de uso).

Por otro lado, las investigaciones han permitido llegar a la conclusión que el **retardante de llama sí mejora la clasificación de reacción al fuego** respecto a una **madera tratada de la misma clase de uso** (según el tratamiento con preservante), dado que la muestra tarda más tiempo en ser atacada por la acción del fuego y, por lo tanto, emite menos calor que la madera sin ignifugar. **Por lo tanto es de vital importancia advertir que dentro de una misma clase de uso podemos encontrar madera tratadas con prestaciones frente al fuego muy diferentes.**

MATRAFOC

Actividades desarrolladas MATRAFOC 2018-2019

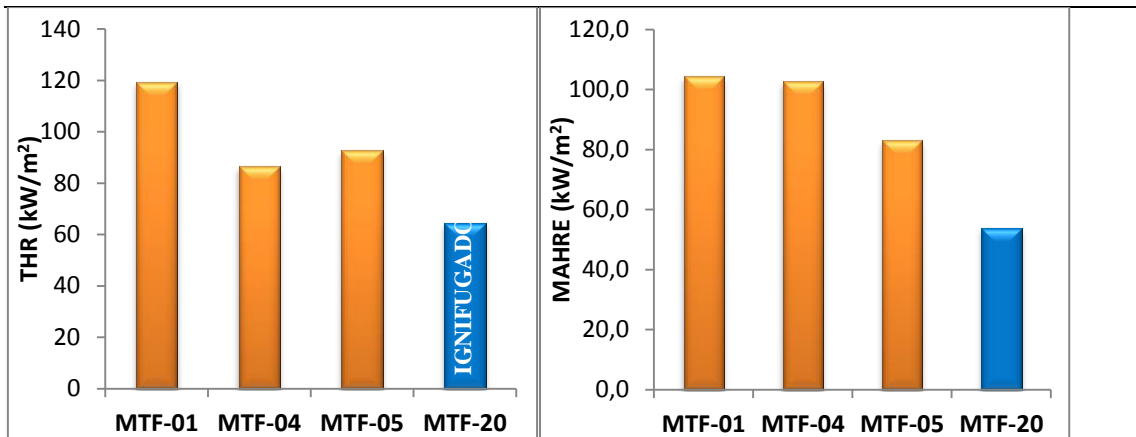


Figura 54. Comparación de parámetros de muestras no ignifugadas (naranja) e ignifugadas (azul) todas ellas pertenecientes a la misma clase de uso según UNE-EN 335:2013.

Otro importante resultado obtenido durante la realización del proyecto es el hallazgo de una **interferencia negativa** entre el **producto preservante** contra los **agentes bióticos** y el **retardante de llama** en el momento de evaluar las prestaciones frente al fuego. Se ha observado una **disminución** en las **propiedades frente al fuego** en madera tratada ignifugada de la misma clase de uso **tras incorporarle un preservante biocida**. El origen de este problema puede radicar en el hecho que los preservantes contra organismos xilófagos comúnmente son formulados a partir de disolventes orgánicos que aportan mayor carga orgánica al producto de madera que conlleva a una mayor tasa de emisión de calor y peor prestación frente al fuego.

Por último, poner de manifiesto que se observa una clara tendencia positiva de las muestras barnizadas en conservar sus propiedades ignífugas según norma EN 16755, pese a no ser pinturas ignífugas, ya que protegen a la madera de la degradación ocasionada por el envejecimiento, que ocasiona su deterioro y la consecuente disminución de las propiedades intrínsecas de la madera.

**Paquete de trabajo 2 – Difusión del proyecto**

Vinculado al trabajo desarrollado en este PT2, se ha elaborado el **entregable 1 (E1)** que tiene por título: Difusión realizada en el año 2019-20, donde se detallan todas las acciones llevadas a cabo.

La difusión realizada se estructura del siguiente modo:

- 1 DESCRIPCIÓN.....
- 2 TRABAJO REALIZADO.....
  - 2.1 **BOLETINES Y REDES SOCIALES** ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
    - 2.1.1 BOLETÍN “ACTUALIDAD AIDIMME” ..... ¡Error! Marcador no definido.
    - 2.1.2 REDES SOCIALES ..... ¡Error! Marcador no definido.
  - 2.2 **WEB DE AIDIMME**..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
  - 2.3 **VIDEO TRANSFERENCIA / CANAL YOUTUBE** ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
    - 2.3.1 FICHA DE EVALUACIÓN ..... ¡Error! Marcador no definido.
  - 2.4 **INSTALACIONES DE AIDIMME** ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
  - 2.5 **DIFUSIÓN EN FERIAS Y CONGRESOS** ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
    - 2.5.1 FERIA HÁBITAT VALENCIA 2019 ..... ¡Error! Marcador no definido.
    - 2.5.2 CONGRESO HÁBITAT 2019..... ¡Error! Marcador no definido.

### **Paquete de trabajo 3 – Transferencia y promoción de resultados**

Vinculado al trabajo desarrollado en este PT2, se ha elaborado el **entregable 2 (E2)** en el que se evalúa la mejora alcanzada con los resultados obtenidos, considerando factores técnicos, temporales y económicos con respecto a la situación inicial antes de ejecutar el proyecto. Se define una hoja de ruta donde se establece la estrategia para la transferencia y promoción de los resultados, actualizándose a lo largo de la vida del proyecto.

En este paquete de trabajo se elaborará una hoja de ruta donde se consideran aspectos tales como:

- Análisis DAFO del mercado potencial.
- Tabla de resultados y usos.
- Modelos de negocio para la futura transferencia y promoción de resultados.
- Eventos y medios de difusión más adecuados para la transferencia y promoción de resultados.
- Líneas de investigación futura propias y en colaboración con las empresas valencianas.

Las acciones de promoción y transferencia que se han realizado diferentes reuniones llevadas a cabo con las empresas interesadas en los resultados del proyecto.

El análisis de dicha evaluación servirá para refinar el plan de promoción y transferencia de resultados con objeto de ampliar el impacto al resto de potenciales usuarios identificados.