

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/281321494>

Guía de la Madera. Capítulo 2: Durabilidad. Documento de Aplicación del CTE.

Book · January 2013

CITATIONS
0

READS
7,057

1 author:



Manuel Touza
CIS Madera

34 PUBLICATIONS 343 CITATIONS

SEE PROFILE



CAPÍTULO 2

Durabilidad

Documento de aplicación del CTE



GUÍA DE LA MADERA





Edición:

CONFEMADERA HÁBITAT

C/ Recoletos 13, 1º dcha

28001 Madrid

Tfno: 91 5944404

www.confemadera.es

Construir con Madera es una iniciativa de la Confederación Española de Empresas de la Madera (CONFEMADERA HÁBITAT) en el marco del Consejo Español de Promoción de la Madera, que cuenta con la financiación y apoyo de promotores públicos y privados.

Autor:

MANUEL C. TOUZA VÁZQUEZ

Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos
de la Madera de Galicia (CIS-MADERA)

Créditos fotográficos:

Fotografía de la portada: Ad Kil

Accoya (p. 27 sup), ESET-Universidad CEU Cardenal Herrera (pp. 75, 76), J. G. Gamo (p. 72 dcha, p. 73), Holtzek (p. 74), Ted Hopkins (p. 53), Impregna (p. 47), Kebony (p. 28), Ad Kil (p. 27 inf), David Mora (p. 77), Mani Moretón (p. 49 izda, p. 50), David Rifá (p. 70 izda), David Tagliapietra (p. 12),

Resto de las fotografías: Manuel Touza.

ISBN: 978-84-695-7044-9

Depósito Legal: M-22818-2013

Derechos de la edición: CONFEMADERA HÁBITAT

Copyright de los textos y figuras: ©Manuel C. Touza Vázquez

Con la financiación:

Gobierno de España. Ministerio de Ciencia e Innovación.



Impresión de esta edición: Confemadera Hábitat, Fimma-Maderalia y Feria Valencia.

Papel de Stora Enso procedente de la gestión sostenible de los bosques escandinavos.

Índice

| Página | Capítulo |
|--------|---|
| 5 | 1. INTRODUCCIÓN |
| 6 | 2. ORGANISMOS XILÓFAGOS |
| 14 | 3. CLASES DE USO |
| 19 | 4. DURABILIDAD NATURAL E IMPREGNABILIDAD DE LA MADERA |
| 23 | 5. MADERA MODIFICADA |
| 28 | 6. ESPECIFICACIONES DE DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA PARA SU UTILIZACIÓN SEGÚN LAS CLASES DE USO |
| 31 | 7. PROTECCIÓN FRENTE A AGENTES BIÓTICOS |
| 37 | 8. PROTECCIÓN FRENTE A AGENTES METEOROLÓGICOS |
| 44 | 9. PRODUCTOS PROTECTORES Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN |
| 51 | 10. DISEÑO CONSTRUCTIVO |
| 59 | 11. TOMA DE DECISIONES |
| 77 | 12. PLIEGO DE CONDICIONES, SUMINISTRO Y CONTROL DE CALIDAD |
| 80 | 13. EL CÁLCULO DE LA DURABILIDAD DEL PROYECTO |

Anejos

| | |
|----|---|
| 87 | Anejo A. Insectos de ciclo larvario más habituales en España |
| 89 | Anejo B. Valores de las precipitaciones y de la humedad de equilibrio higroscópico de la madera en las capitales de provincia españolas |
| 90 | Anejo C. Durabilidad natural e impregnabilidad de especies comerciales |
| 92 | Anejo D. Relación de especies comerciales con una durabilidad natural adecuada para su empleo en las clases de uso 4 y 5 |
| 94 | Anejo E. Plan de muestreo |

Agradecimientos

Durante la preparación de esta publicación se consideró oportuna la consulta a personas que desarrollan su actividad en centros de investigación y empresas vinculadas a la construcción en madera.

En unos casos se solicitó la lectura de un capítulo concreto a especialistas en el tema tratado. Otras personas aportaron imágenes o documentación sobre obras reales en nuestro país, que han servido para exponer ejemplos concretos. Asimismo, investigadores de otros países me han facilitado información o resultados de proyectos de I+D+i de gran interés y posibilidades de aplicación en España.

Es por ello obligado reconocer mi sincero agradecimiento a las siguientes personas:

Julia Ahvenainen (Stora Enso), Juan Albiñana (Grupo Garnica Plywood), Per Brynildsen (Kebony), Loreto Bures (Grupo Gamiz), Ángel Cid (2C Arquitectos), Pablo Ferreiro (CIS-Madera), Manuel García (proHolz), Eric Heisel (FCBA), Juanjo Hoyos (Sikkens), Benoit Jobbé-Duval (IMPREGNA), Ad Kil (Ro&Ad Architecten), Magdalena Kutnik (FCBA), Christel van Leersum (Accoya), Mercedes Martín (Cedria), David Mora (ISS Facility Services), Oriol Munné (CIDEMCO-Tecnalia), Sabrina Palanti (CNR-IVALSA), Fernando Peraza (AITIM), René Petit (Xylazel), Raquel Presa (Grupo Garnica Plywood), David Rifá (Finforest / Tall-Fusta), Emilio Riveiro (Maderintergal), José Luis Rivero (Sikkens), Emma Romero (FINSÁ), Pilar Saiz (Estudio.k / Holtzek), Fernando Sánchez (ESET-Universidad CEU Cardenal Herrera), Fernando Sanz (CIS-Madera), Bartolomé Serra (ESET-Universidad CEU Cardenal Herrera), David Tagliapietra (CNR-ISMAR), Sven Thelandersson (Lund University), Andreas Treu (Norwegian Forest and Landscape Institute), Mayte de Troya (CIFOR-INIA), Pedro Verdejo (ESET-Universidad CEU Cardenal Herrera).

1. Introducción

**We may use wood with intelligence
only if we understand wood**

Frank Lloyd Wright, 1928

La finalidad de esta publicación es presentar información sobre los factores clave de los que depende la durabilidad de un proyecto de construcción en madera.

Para ello, se ha reunido información normativa y documental que, a menudo, se encuentra dispersa o es de difícil acceso. También se incluyen numerosas fuentes bibliográficas, accesibles a través de internet, que permiten profundizar en los temas tratados.

A través de los distintos capítulos, se analizan los conceptos que es necesario considerar para estimar la durabilidad de un proyecto en madera. Estos conceptos incluyen desde la elección de la clase de uso o el tipo de protección química a aplicar, cuando sea necesaria, hasta aspectos relativos a la importancia de un diseño constructivo adecuado. Asimismo, se presentan los nuevos desarrollos tecnológicos en el ámbito de la protección, a través de la madera modificada, y los resultados de proyectos de investigación que evalúan la durabilidad, con una metodología similar a la empleada en el cálculo estructural.

En España, el Documento Básico de Seguridad Estructural - Madera del Código Técnico de la Edificación (CTE), contempla las necesidades de tratamiento de los elementos estructurales de madera aserrada o de elementos encolados (madera laminada encolada, dúos, tríos, etc.) en una exposición concreta. En el caso de otros productos no contemplados en el CTE, se incluye información adicional que será de ayuda para su correcta utilización.

Varias normas citadas en esta publicación se encuentran en fase de proyecto o en revisión, por lo que es importante comprobar su vigencia consultando la página web de la Asociación Española de Normalización (www.aenor.es).

En todo caso, con independencia de los cambios normativos y tecnológicos, la base de los conocimientos sobre durabilidad de la madera y diseño constructivo no ha variado de forma notable a lo largo de los años. Comprender estos principios sigue siendo la mejor garantía de éxito a la hora de prescribir un uso inteligente y duradero de la madera.

2. Organismos Xilófagos

2.1 INTRODUCCIÓN

Los árboles son el resultado de un complejo proceso evolutivo que se inicia, hace más de 300 millones de años, con la aparición de las primeras coníferas. En esencia, se denomina madera al conjunto de células que forman parte de un árbol y que están especializadas en satisfacer sus necesidades vitales.

La madera está diseñada para sobrevivir en un ambiente húmedo (el propio árbol en pie) y, tras cumplir su ciclo vital, reciclar al medio natural sus componentes esenciales. Su estructura está constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina que son los principales componentes de la pared celular.



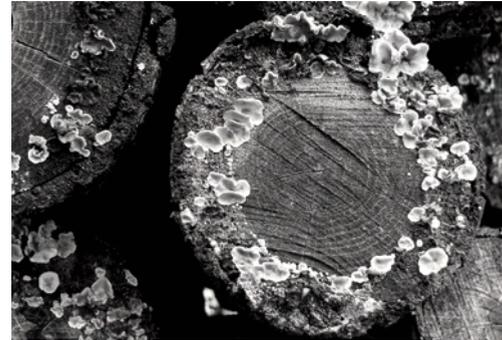
Para obtener su energía vital, el árbol circula una mezcla de agua y sales minerales, desde las raíces hasta las hojas donde es transformada en un carbohidrato (glucosa) a través de la fotosíntesis. Estas funciones se realizan en la albura, la porción situada en la parte más externa del tronco, formada por células vivas con una misión básicamente conductora y donde el árbol almacena las sustancias de reserva.

Cada año, el árbol genera una nueva capa de células que forman parte de la albura, mientras las células originadas en años anteriores sufren diversas transformaciones y pasan a tener una misión predominantemente estructural al formar parte del duramen. Durante el proceso de duraminización se forman sustancias como los extractos que, a menudo, incorporan elementos fungicidas e insecticidas. Asimismo, las sustancias de reserva desaparecen y el contenido de humedad se reduce al disminuir la capacidad conductora de las células, tanto en su sentido transversal como longitudinal.

Mientras la madera forma parte de un árbol vivo su durabilidad puede ser asombrosa, existiendo coníferas que superan los 5.000 años de edad. Cuando se produce la muerte del árbol, los organismos xilófa-

gos que viven en su entorno (insectos de ciclo larvario, termitas, hongos de pudrición) contribuyen a la degradación de la madera, siendo los hongos de pudrición quienes cumplen el papel esencial para poder llevarla a cabo.

En la madera apeada, las sustancias almacenadas en la albura constituyen el principal alimento de los insectos xilófagos de ciclo larvario que, a menudo, limitan sus ataques a esta zona. Otros factores como el mayor contenido de humedad y la ausencia o un menor contenido en extractos, resinas, etc., también favorecen el ataque de otros xilófagos como los hongos de pudrición.



Los hongos de pudrición son vegetales primitivos que, al carecer de clorofila, no pueden realizar la fotosíntesis. Tras la muerte del árbol, encuentran unas condiciones favorables para su desarrollo y son capaces de degradar las moléculas que constituyen la pared celular logrando, con el paso del tiempo, la desaparición del material.

En ocasiones, la madera queda inmersa en unas condiciones que la convierten en un material prácticamente imperecedero. Un ejemplo son los elementos de madera que permanecen sumergidos en agua dulce, donde pueden alcanzar una durabilidad extraordinaria ya que el ambiente saturado de agua y desprovisto de oxígeno impide el desarrollo de los principales organismos xilófagos.

La menor durabilidad de la albura respecto del duramen ya era conocida por los romanos que, a menudo, purgaban la albura existente en los elementos estructurales de pino, ciprés o roble empleados en edificación (Hosli, 1982). De hecho, hasta bien entrado el siglo XIX, numerosos tratados de construcción sólo consideraban aprovechable el duramen.

Las referencias a los hongos de pudrición son también muy antiguas. Ya en el Levítico, que data del siglo XV a.C., se cita la "lepra de las casas" junto con instrucciones para que los sacerdotes inspeccionen las viviendas y, en caso de comprobar la existencia de ataques de "lepra", procedan a la demolición de la vivienda afectada retirando los restos de madera y piedra a un lugar fuera de la ciudad.

Con el paso del tiempo, las sucesivas generaciones de carpinteros y constructores seleccionan especies con una elevada durabilidad natural y, sobre todo, desarrollan medidas de diseño constructivo que permiten limitar o impedir el ataque de los hongos de pudrición en situaciones como los apoyos de las vigas y pies derechos.

La importancia de estas medidas puede comprobarse en edificios como las iglesias medievales de Noruega. Inicialmente, las iglesias se erigían sobre pies derechos de duramen de pino silvestre en contacto con el suelo y su durabilidad se estimaba en unos 100-150 años. A partir del siglo XII se comienzan a construir evitando el contacto de los pilares con el terreno, lo que logra prolongar su durabilidad de forma considerable, existiendo iglesias en buen estado, 700 y 800 años después de haber sido erigidas (Larsen y Marstein, 2000).

A pesar de estos antecedentes, sólo a finales del siglo XIX se descubre que el agente causante de la pudrición de la madera es un organismo vegetal. Este descubrimiento también permitió establecer el umbral mínimo del 20% de humedad requerido por los hongos de pudrición para poder degradar la madera y, en consecuencia, desarrollar medidas de diseño constructivo más eficaces.

Hoy en día, un volumen creciente de madera estructural es suministrado por plantaciones comerciales y la utilización de la albura es esencial para conseguir un aprovechamiento racional de estos recursos. Por otro lado, los tratamientos protectores permiten conferir a la madera de albura (en función de su impregnabilidad) una elevada durabilidad que, en determinadas especies, supera la del propio duramen.

El conocimiento de la biología de los xilófagos que pueden afectar a la madera estructural permite valorar los riesgos de su ataque en cada situación y existe normativa que define la durabilidad natural de las maderas comerciales frente a los distintos xilófagos. El protocolo de toma de decisiones sobre la necesidad, o no, de tratar una especie de madera en una situación concreta también está normalizado.

En este apartado se describen los principales organismos xilófagos que pueden producir daños en elementos estructurales de madera. Conocer, al menos someramente, sus ciclos de vida es importante para comprender la incidencia de otros aspectos que se desarrollarán más adelante como la durabilidad natural, el diseño constructivo, la protección química o la modificación de la madera.

2.2 HONGOS CROMÓGENOS Y MOHOS

Son los hongos causantes del azulado y del enmohecimiento de la madera puesta en servicio.

Este tipo de hongos sólo afectan a aspectos de tipo estético, pudiendo degradar también los acabados decorativos. Su incidencia sobre los elementos estructurales es muy limitada al no tener un efecto significativo sobre las propiedades mecánicas de la madera, ya que no se alimentan de los componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina) sino de las sustancias de reserva disponibles en la albura.

Los hongos cromógenos causan una alteración permanente del color de la madera, a menudo entre azulada y negruzca, siendo habituales en España los hongos causantes del azulado de diversas especies de pinos. Normalmente su acción se limita a la albura y su intensidad y profundidad es variable. Como se comentó, no producen una alteración significativa de las propiedades mecánicas de la madera aunque suelen incrementar su permeabilidad.

La alteración del color de la madera se debe, principalmente, a un fenómeno óptico originado por la refracción de la luz sobre las hifas pigmentadas de los hongos cromógenos que se encuentran en el lumen de las células de la madera de albura.

Los hongos que producen el enmohecimiento de la madera se manifiestan en forma de manchas sobre su superficie, que son debidas a la presencia de cuerpos de fructificación. La humedad relativa requerida para su desarrollo, sobre una superficie de madera, oscila entre un 80% y un 100%, dependiendo del tipo de material, de la temperatura y del tiempo que permanezca expuesto a dichas condiciones.

El género *Aureobasidium* es uno de los más comunes, siendo frecuente sobre soportes como las lamas de una fachada de madera en un ambiente húmedo y con una ventilación inadecuada.



2.3 HONGOS DE PUDRICIÓN

Los hongos de pudrición son vegetales primitivos que, al carecer de clorofila, son incapaces de realizar la función fotosintética a partir de la cual obtienen su energía los vegetales superiores. Ello les obliga a vivir de forma parásita sobre otros organismos vivos o bien saprofita sobre organismos muertos, cumpliendo un papel esencial en la naturaleza al biodegradar los árboles muertos y permitir el reciclado de sus componentes esenciales.

Estos hongos pueden producir daños graves en la madera estructural ya que, mediante la secreción de enzimas, son capaces de alimentarse de la celulosa, hemicelulosa y lignina, principales componentes de la pared celular llegando a provocar la destrucción completa de ésta. Su efecto es la pérdida de densidad y resistencia de la madera, acompañados de un cambio en su coloración y de un aumento del contenido de humedad.

Su ciclo de vida (figura 1) se inicia cuando las esporas emitidas por los cuerpos de fructificación entran en contacto con un medio favorable para su desarrollo como puede ser un elemento de madera con un contenido de humedad superior al 20%. Si las condiciones favorables se mantienen (básicamente presencia de humedad, oxígeno y una temperatura variable en función de cada especie), las esporas producen unos cuerpos filamentosos denominados hifas y visibles solamente al microscopio. Las hifas inician la degradación de la madera y, con el tiempo, incrementan su tamaño y número hasta formar un conjunto visible a simple vista, denominado micelio. El desarrollo del hongo continúa con la formación de un cuerpo de fructificación que se reproduce emitiendo esporas que reinician el ciclo.

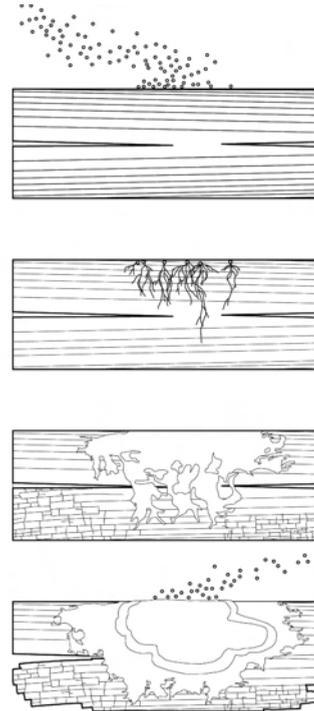


Figura 1. Ciclo biológico de un hongo de pudrición

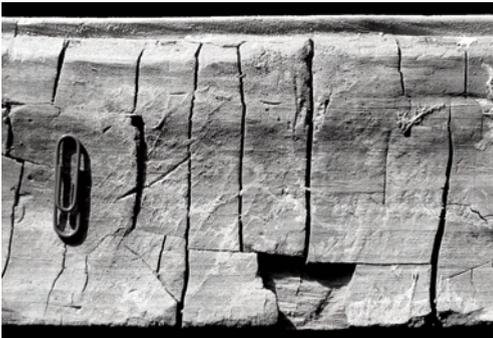
En madera bajo cubierta, y en numerosas situaciones de exterior, el contenido de humedad requerido por los hongos de pudrición para iniciar la degradación de la madera puede evitarse fácilmente con un diseño constructivo adecuado, existiendo numerosos ejemplos de elementos estructurales de madera en perfecto estado centenas de años después de haber sido instalados.

Existen tres grandes tipos de hongos de pudrición denominados pudrición parda o cúbica, pudrición blanca o fibrosa y pudrición blanda.

2.3.1 Pudrición parda o cúbica

Los hongos de pudrición parda o cúbica afectan preferentemente a la celulosa, dejando un residuo rico en lignina que es de color más oscuro. La madera atacada adquiere un color pardo y tiende a agrietarse en forma de cubos, características a las que debe su nombre.

El aspecto de la madera atacada por este tipo de hongos, que recuerda al de la madera carbonizada, debió originar la creencia de que la pudrición era el resultado de una combustión interna de la madera y en los tratados de construcción antiguos se hacía referencia a prácticas constructivas para evitar el "recalentamiento" de la madera.



Así, prácticas como "ventilar" el apoyo de una viga, fueron transmitidas a través de generaciones de carpinteros y continúan vigentes hoy en día. Como se ha comprendido posteriormente, su efecto es impedir que el contenido de humedad de la madera pueda superar el umbral del 20% que se considera crítico para el desarrollo de los hongos de pudrición.

Los hongos de pudrición parda o cúbica son los más habituales en madera bajo cubierta. Algunos autores (Rodríguez, 1998) consideran que dos especies, *Serpula lacrymans* y *Coniophora puteana* ocasionan el 90% de los ataques a la madera de construcción.

Serpula lacrymans está considerada la especie más destructiva de todos los hongos de pudrición. Sus condiciones óptimas de desarrollo requieren escasa ventilación, temperaturas próximas a los 20°C y contenidos de humedad de la madera entre el 30 y el 50%.

Es capaz de desarrollarse sobre los muros de carga, albañilería, etc., y de producir humedad durante su respiración (*lacrymans*) que transporta a través de unos cordones micelares denominados rizomorfos. Esta característica le ha valido la denominación de "pudrición parda seca" ya que puede atacar madera con contenidos de humedad reducidos aprovechando fuentes de humedad próximas.

Los ataques suelen encontrarse en edificios (a menudo abandonados) poco ventilados y donde se producen infiltraciones de agua. Su incidencia en España parece mucho menor que la señalada en otros países europeos de climas templados. Una explicación es que se trata de un hongo muy sensible a las altas temperaturas, inhibiendo su crecimiento a partir de los 30°, que son habituales en muchas localidades españolas durante los veranos.

En cuanto a *Coniophora puteana*, sus condiciones óptimas de desarrollo se producen con temperaturas entre 22 y 26°C y humedades comprendidas entre el 50 y el 60%.

Al igual que en el caso de *Serpula lacrymans*, su ataque se reconoce por el color oscuro de la madera y la presencia de roturas en forma de cubos, en este caso más pequeños. Su micelio tiene una forma muy característica que recuerda a un helecho o a las venas del cerebro de un conejo (*coniophora*).

En España, es habitual observar su ataque en cabezas de vigas empotradas en muros con elevados contenidos de humedad, entarimados próximos a huecos de carpinterías a través de los cuales se producen infiltraciones de agua, etc.

2.3.2 Pudrición blanca o fibrosa

Este tipo de hongos afecta preferentemente a la lignina, aunque también pueden dañar en menor grado, a la celulosa. Su nombre genérico se debe a que la madera adquiere un color blancuzco, debido al complejo celulósico resultante. Asimismo la madera atacada tiene un aspecto fibroso, por lo que también se conoce por el nombre de pudrición fibrosa.

Las especies de hongos que producen este tipo de pudrición suelen requerir contenidos de humedad más elevados que las que producen la pudrición parda. Son los hongos más comunes en el medio natural, siendo frecuente encontrarlos en los árboles muertos, tocones y pequeños trozos de madera o ramas que hayan caído al suelo.



En estructuras bajo cubierta su ataque aparece vinculado a infiltraciones de agua líquida. En elementos de madera al exterior son frecuentes en diseños constructivos, elaborados con especies no durables, donde se produzcan acumulaciones de agua como carpinterías, entarimados o pasarelas descubiertas.



2.3.3 Pudrición blanda

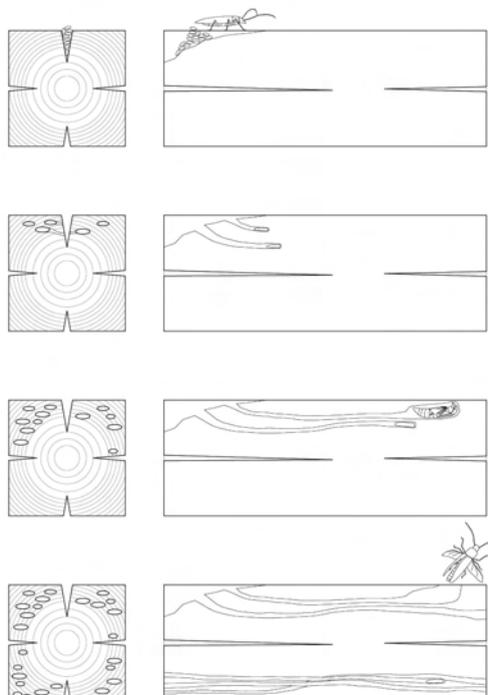
Este tipo de pudrición necesita, para su desarrollo, un contenido de humedad más elevado que la pudrición parda o blanca, por lo que afecta especialmente a la madera en contacto con el agua o con el suelo.

El nombre de pudrición blanda se debe a que los ataques producen un reblandecimiento de la superficie de la madera. Posteriormente, si la madera atacada se seca superficialmente, suele presentar numerosos cubos de pequeño tamaño.

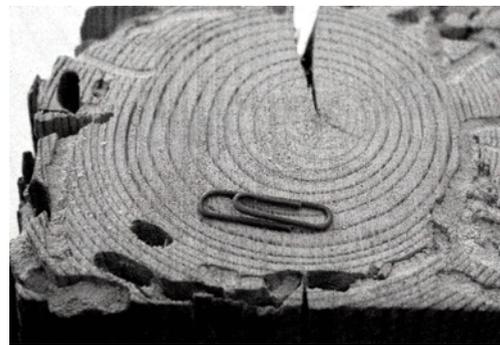
En la bibliografía se citan diversas referencias que permiten profundizar en el reconocimiento y las medidas de control frente a los hongos de pudrición (BRE, 1989,1985).

2.4 INSECTOS DE CICLO LARVARIO

Son insectos voladores cuyo ciclo biológico (figura 2) se inicia cuando una hembra deposita sus huevos sobre la superficie de la madera, aprovechando la existencia de una fenda o, en algunos casos, de un vaso. Los huevos originan las larvas que son las que se alimentan de la madera excavando galerías por el interior de ésta. Cuando la larva se aproxima al final de su ciclo vital, se acerca a la superficie donde se empupa para completar su ciclo de metamorfosis. Una vez completado éste, surge el insecto adulto que, tras reproducirse, inicia nuevamente el ciclo.



Normalmente su ataque se limita a la albura de la madera donde las larvas se alimentan de las sustancias de reserva existentes. Algunas especies también pueden atacar la madera de duramen, sobre todo, en condiciones de humedad elevada o si se han producido previamente ataques por hongos de pudrición. A diferencia de los insectos sociales, los ataques de los insectos de ciclo larvario se producen de forma individual, si bien puede haber numerosos individuos alimentándose al mismo tiempo.



La norma UNE-EN 335-1 considera que las especies más importantes en Europa son *Hylotrupes bajulus*, *Anobium punctatum* y *Lyctus brunneus*, existiendo muchas otras especies de menor importancia como *Hesperophanes spp.* y *Xestobium rufivillosum*. Todas las especies citadas están presentes en España y se describen brevemente en el anejo A.

Pueden encontrarse fichas de identificación de los principales insectos xilófagos en diversas fuentes bibliográficas (Peraza, 2002; Serment y Pruvost, 1991).

2.5 INSECTOS SOCIALES

En España existen diversas especies de insectos sociales (termitas) que pueden producir daños estructurales en elementos de madera, siendo las más importantes las termitas subterráneas pertenecientes al género *Reticulitermes*.

La denominación de insectos sociales se debe a su organización en colonias compuestas por individuos pertenecientes a distintas castas (obreras, soldados, ninfas, pareja real, etc.). Las especies de termitas subterráneas presentes en España son *Reticulitermes grassei* y *Reticulitermes banyolensis* y el nido principal de sus colonias está siempre en el suelo.

Figura 2. Ciclo biológico de los insectos de ciclo larvario

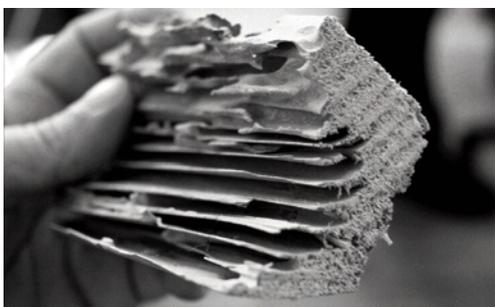


En la mayor parte de los casos, sus ataques a elementos de madera aparecen vinculados a contenidos de humedad elevados producidos por infiltraciones de agua a través de la cubierta, apoyos de las cabezas de las vigas en los muros, extremo inferior de los cercos de puertas, ventanas, etc. Es frecuente que el ataque se detenga al disminuir el aporte de humedad, como puede ser el caso de la cabeza de una viga que presente un ataque intenso en la zona próxima a su empotramiento en el muro (a través del que recibe la humedad) y que puede encontrarse en perfecto estado a una corta distancia de la zona del apoyo.

En un ataque activo de termitas subterráneas a un elemento de madera, la principal casta que suele encontrarse son las termitas obreras, encargadas de la alimentación de la colonia y, en menor medida, las termitas soldado, encargadas de la defensa y distinguibles de las anteriores por presentar unas mandíbulas mucho más desarrolladas. Ambas miden entre 3 y 5 mm y su aspecto es blanquecino.

Sus condiciones óptimas de desarrollo requieren temperaturas de unos 25°C y, sobre todo, humedades relativas próximas al 90%.

Sus ataques no son fácilmente reconocibles al producirse en el interior de la madera donde abren galerías en la dirección de la fibra pero dejando siempre una lámina intacta de madera en el exterior de la pieza que las protege de la desecación. En las piezas atacadas forman unas galerías con un aspecto de "hojas de libro", que las diferencia de cualquier otro xilófago y que se originan por su tendencia a alimentarse de la parte de madera de primavera de cada anillo de crecimiento. En ocasiones, sobre la superficie de madera barnizada o pintada, pueden apreciarse ondulaciones y/o decoloraciones sintomáticas de un ataque interno de termitas.



Para desplazarse emplean canales de progresión o termiticos, dentro de los cuales pueden mantener las condiciones de humedad y oscuridad que precisan. Estos canales son fácilmente reconocibles como pequeños tubos de barro que suelen aparecer

sobre las paredes o colgando de las vigas de madera, en ocasiones formando pequeñas estalactitas.

Otro síntoma característico de la presencia de termitas es el fenómeno conocido como enjambrazón, una salida masiva de termitas aladas que suele producirse durante la primavera, con el objetivo de formar una nueva colonia. La forma alada de las termitas (único momento del ciclo de la colonia en la que adoptan una forma que les permita soportar la insolación directa) es fácilmente diferenciable de las hormigas aladas, ya que las cuatro alas de las termitas son iguales en forma y tamaño, lo que no ocurre en el caso de las hormigas.

En la bibliografía se incluyen varias referencias que permiten profundizar en los aspectos anteriores (Mora, 2008; Moreno *et al.*, 2007; Bordereau *et al.*, 2002).

En las Islas Canarias existe otra especie de termita denominada *Cryptotermes brevis*, citada también ocasionalmente en la Península Ibérica (Alonso, 2012). A diferencia de las termitas subterráneas, esta especie ataca preferentemente la madera seca y forma colonias reducidas, compuestas normalmente por unos pocos centenares de individuos.

Viven en el interior de la madera atacada, donde forman grandes cámaras o cavidades unidas entre sí por pequeños túneles de sección circular y, al igual que las termitas subterráneas, sus ataques no son visibles directamente al mantener una fina película de madera que las protege. El principal síntoma de su presencia es la aparición de sus excrementos al pie de la madera atacada debido a su costumbre de limpiar periódicamente las galerías donde viven en el interior de la madera; para ello abren un orificio de salida que, tras la expulsión de sus residuos fecales, es taponado con una mezcla de madera molida y saliva. Si bien los ataques de esta especie de termita parecen concentrarse en elementos de carpintería y mobiliario, también puede provocar graves daños en elementos estructurales como vigas (Canessa y Berrocal, 2006; Scheffrahn y Su, 2005; Martínez, 1956).

2.6 XILÓFAGOS MARINOS

Esta denominación incluye, fundamentalmente, invertebrados marinos, entre los que destacan los moluscos y crustáceos. En ambos casos, existen especies que se desarrollan en la madera empleada en aplicaciones marinas, originando galerías y cavidades que pueden provocar graves daños estructurales.



En España están presentes dos familias de moluscos xilófagos, *Teredinidae* y *Pholadidae*, representados por distintos géneros.

Dentro de la familia *Teredinidae*, el principal género existente en aguas españolas es *Teredo* con especies como *Teredo navalis*, *Teredo norvegica* y *Teredo pedicellata* (Rodríguez, 1998). Los teredos o broma son moluscos bivalvos que viven en el interior de la madera sumergida en agua salada, que les sirve tanto de refugio como de alimento. Su aspecto recuerda al de un gusano y su cabeza presenta dos conchas calizas que les permiten perforar la madera. Sus ataques se producen en el interior de la madera, donde excavan unas galerías cuyas paredes están recubiertas por una fina secreción caliza característica de su ataque.

Los daños provocados por los crustáceos xilófagos (*Limnoria*) son muy diferentes, ya que los ataques se producen desde el exterior de la madera y por un elevado número de individuos al mismo tiempo. Estos ataques se concentran en las zonas de las maderas que quedan al descubierto entre la bajamar y el nivel medio de las mareas, produciendo en los postes atacados un aspecto característico de "reloj de arena". La superficie de la madera atacada tiene una apariencia cribosa, debido a la presencia de numerosas galerías con reducidos diámetros de unos 2 mm. En España están presentes las especies *Limnoria lignorum* y *Limnoria tripunctata*, considerándose la primera de mayor importancia (Rodríguez, 1998).



Tanto los teredos como las especies del género *Limnoria* pueden producir daños de consideración en estructuras marinas, fijas o flotantes (muelles, embarcaciones, puertos deportivos, pilotes, etc.), instaladas en España. El riesgo de ataque depende de factores, como la salinidad del agua, su temperatura, la intensidad de las corrientes y el oleaje o los niveles de contaminación existentes, habiéndose percibido un incremento de su actividad en diversas

áreas donde se ha logrado disminuir la polución debida a los vertidos de ríos, industrias contaminantes, zonas portuarias, etc. (Van de Kuilen, 2008).

Los métodos tradicionales para proteger la madera frente al ataque de los xilófagos marinos empleaban tratamientos con creosotas o sales hidrosolubles del tipo CCA (cobre-cromo-arsénico). Hoy en día, las consideraciones medioambientales no permiten el empleo de las formulaciones tradicionales y se intentan desarrollar nuevos productos menos agresivos desde el punto de vista ambiental, si bien en el momento de redactar esta publicación no se dispone en España de ningún nuevo biocida de eficacia probada frente a estos agentes.

Otras opciones incluyen el empleo de maderas con una adecuada durabilidad de las que se ofrece una relación en el anejo D), y/o el empleo de materiales de recubrimiento que limitan el acceso de los xilófagos marinos a la madera (Kohlhase y Dede, 2006; Brown, 2007).

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, M^a J. (2012). Origen, evolución y distribución geográfica de las termitas de la madera seca. *Revista Infoplagas*, 47, pp 8-15.
- Bordereau, C., Clement, J.L., Jequel, M., Vieau, F. (2002). *Termites. Biologie, lutte, réglementation. Europe, départements et territoires d'outre-mer français* CTBA, Paris, 208 pp.
- Brown, B. (2007). The Effectiveness of Plastic Encasement as a Timber Preservative. CMI Technical White Paper, Atlanta, 4 pp.
- Building Research Establishment. (1985). *Dry Rot: Its Recognition and Control*. BRE Digest 299, Garston.
- Building Research Establishment. (1989). *Wet Rot: Recognition and Control*. BRE Digest 345, Garston.
- Canessa, E., Berrocal, A. (2006). Las termitas: un enemigo silencioso. *Kurú: Revista Forestal* 3(8), 5 pp.
- Hosli, J. P. (1982). Wood preservation in the pre-industrial period. *International Journal of Wood Preservation* 2(1), pp 29-36.
- Kohlhase, S., Dede, C. (2006). Engineering approach to protect wooden constructions against attack of *Teredo navalis* Considerations and results of a field experiment in the Baltic Sea. *Proceedings of third Chinese-German joint symposium on coastal and ocean engineering, Tainan, Taiwan*.
- Larsen, K .E., Marstein, N. (2000). Conservation of historic timber structures. An ecological approach. *Butterworth-Heinemann Series in Conservation and Museology*, London. 160 pp.



Martínez, J.B. (1957). Termites de madera seca (*Cryptotermes brevis*) en las islas Canarias. *Revista Montes*, 75, pp 147-161.

Mora, D. (2008). Las Termitas subterráneas. *Biología y control*. Aplytec Medio Ambiente, S.L, Córdoba, 150 pp.

Moreno, T., Gaju, M., Mora, D. (2007). 50 preguntas sobre las termitas subterráneas y su control. Aplytec Medio Ambiente, S.L, Córdoba, 44 pp.

Peraza, F. (2002). *Protección preventiva de la madera*. AITIM, Madrid, 430 pp.

Rodríguez, J. A. (1998). *Patología de la madera*. Mundiprensa, Madrid, 349 pp.

Serment, M.M, Pruvost, A. M. (1991). *Fiches signalétiques de 25 insectes xylophages*. CTBA. Paris, 28 pp.

Scheffrahn, RH; Su, NY. (2005). West Indian drywood termite: *Cryptotermes brevis* (Walker). *Featured Creatures*. University of Florida. Publication EENY-79.

Van de Kuilen, J.W.G. (2008). The use of timber in hydraulic structures. Conference COST E53. Proceedings book, págs 303-312. Delft University of Technology, The Netherlands.

NORMATIVA

prEN 335:2012. Durability of wood and wood based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood based panels.

3. Clases de uso

3.1 DEFINICIÓN DE LAS CLASES DE USO

Las clases de uso valoran el riesgo de ataque de un elemento de madera y de los productos derivados de ésta, por los distintos organismos xilófagos, una vez puesto en servicio. Este riesgo es función, principalmente, del grado de humedad que pueda alcanzar el elemento, durante su vida de servicio.

Una vez identificada la clase de uso y, en consecuencia, los riesgos de ataque de los agentes biológicos, debe asegurarse que la madera o el producto derivado de la madera prescrito posean un nivel apropiado de durabilidad para resistir a dichos agentes, bien por sus propias cualidades naturales (norma UNE-EN 350-2) o bien mediante la durabilidad conferida mediante un tratamiento de protección adecuado (norma UNE-EN 351-1).

Las cinco clases de uso existentes en Europa se definen en la norma prEN 335 "Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Clases de uso: definiciones y aplicación a la madera maciza y a los tableros derivados de la madera".

Clase de uso 1

En la clase de uso 1, la madera o el producto derivado de la madera están bajo cubierta, no expuestos a la intemperie ni a la humectación.

En estas condiciones el riesgo de ataque por mohos, hongos de azulado u hongos xilófagos es insignificante.

No obstante, es posible el ataque por insectos xilófagos incluyendo las termitas, aunque la frecuencia y la importancia del riesgo dependen de la ubicación geográfica. La experiencia demuestra que este riesgo es muy limitado, siempre que no se aporte madera infestada previamente o que los insectos ya estén presentes como puede ocurrir en edificios, en desuso o abandonados, objeto de rehabilitación.

Dentro de una clase 1 se emplazarían los elementos situados bajo cubierta y sin riesgo de humectación, como pueden ser las vigas, viguetas de un forjado, pies derechos, tableros empleados en falsos techos, tableros contralaminados que formen forjados o muros, etc.

Lógicamente, el apoyo de las vigas sobre los muros, de los pilares o tableros sobre el forjado, etc., debe realizarse de una forma adecuada para mantener las condiciones correspondientes a la clase de uso 1.

Clase de uso 2

En la clase de uso 2, la madera o el producto derivado de la madera está bajo cubierta y no expuesto a la intemperie (en particular a la incidencia de la lluvia), pero puede producirse una humedad ambiental elevada que origine una humectación ocasional pero no persistente. En esta clase de uso también puede tener lugar la condensación de agua sobre la superficie de los elementos de madera.

En estas condiciones es posible el ataque por mohos, hongos de azulado u hongos xilófagos. También 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 elementos de madera en una clase de uso 2 pueden encontrarse en la estructura de cubierta de piscinas, instalaciones agropecuarias, bodegas, forjados de sótanos, elementos instalados en las proximidades de cocinas y baños, etc.

Clase de uso 3

En la clase de uso 3 la madera o el producto derivado de la madera no se encuentran en contacto con el suelo aunque están expuestos a la intemperie, particularmente a la incidencia de la lluvia y a la radiación solar.

En estas condiciones es posible el ataque por mohos de superficie, hongos de azulado u hongos xilófagos. El ataque por insectos xilófagos incluyendo las termitas, también es posible aunque la frecuencia y la importancia del riesgo dependen de la ubicación geográfica.

La clase de uso 3 engloba una gran diversidad de aplicaciones (carpinterías de exterior, pérgolas, pasarelas peatonales, fachadas, elementos de mobiliario urbano, entarimados de exterior separados del suelo, etc.), donde el diseño constructivo y las condiciones climáticas ejercerán una gran influencia en una mayor o menor exposición del elemento de madera a la intemperie y, en consecuencia, a su riesgo de humectación y de ataque por hongos de pudrición.

Por este motivo, esta clase se divide en dos subclases denominadas 3.1 y 3.2.



En la subclase 3.1, el riesgo de que los elementos puedan mojarse y permanecer húmedos es limitado. Esto puede conseguirse, por ejemplo, mediante medidas de diseño constructivo destinadas a impedir acumulaciones de agua y facilitar un secado rápido de los elementos expuestos. También es posible aplicar un acabado adecuado de la madera y proceder a su mantenimiento regular, etc.

En la subclase 3.2, los elementos de madera pueden permanecer húmedos durante un tiempo prolongado pero no continuo. Normalmente, esto ocurre cuando están muy expuestos a los efectos de la intemperie, su diseño constructivo permite la acumulación del agua de lluvia, etc.

La definición normativa de las subclases 3.1 y 3.2 hace referencia a consideraciones climáticas o de diseño constructivo que deben tenerse en cuenta en cada situación particular. En el apartado 3.3 se profundiza en estos aspectos.

Clase de uso 4

En la clase de uso 4, la madera o el producto derivado de la madera está en contacto directo con el suelo o con agua dulce.

En estas condiciones es habitual el ataque por mohos, hongos de azulado u hongos xilófagos.

El ataque por insectos xilófagos también es posible. En España, las termitas subterráneas están presentes en la mayor parte del territorio, por lo que debe considerarse el riesgo de su ataque en el caso de prescribir un elemento de madera en contacto con el suelo.

Los elementos que se encuentran constantemente sumergidos por debajo del nivel freático del agua, o bien enterrados en el suelo y completamente saturados de agua, no son susceptibles de ataques por hongos aunque pueden ser atacados por bacterias.

Dentro de esta clase de uso se incluyen elementos de madera como los postes telegráficos, pilares y pies derechos en contacto con el suelo, entarimados de exterior, traviesas de ferrocarril, pilotes de cimentación, embarcaderos en agua dulce, etc.

Clase de uso 5

En la clase de uso 5 el elemento de madera se encuentra en contacto con agua salada (aguas marinas o salobres).

En estas condiciones, el principal problema es el riesgo de ataque por invertebrados marinos, especialmente en aguas templadas donde organismos como *Limnoria* spp., *Teredo* spp. y *Pholades* spp. pueden ocasionar daños importantes. Asimismo, la parte aérea de ciertos elementos situados en el agua marina, puede estar expuesta al ataque de insectos y hongos xilófagos.

En esta clase de uso se incluirían elementos constructivos en medio marino como pueden ser los pilotes de muelle, embarcaderos, infraestructuras portuarias, etc.

La tabla 1 resume el riesgo de aparición de los distintos agentes biológicos en las distintas clases de uso.

La norma prEN 335 evita citar valores del contenido de humedad asociados a las distintas clases de uso. A modo orientativo, pueden considerarse los siguientes:

En una clase de uso 1, la humedad de equilibrio higroscópico media de la madera suele encontrarse entre un 6 y un 12%, mientras que en una clase de uso 2 los valores más habituales oscilan entre un 12 y un 20%.

En una clase de uso 3.1, la humedad puede superar el 20% durante periodos cortos (algunos días), alcanzando en la clase de uso 3.2 periodos más significativos (algunas semanas).

Otros autores consideran que, en una clase de uso 3.1 la madera suele alcanzar un contenido de humedad comprendido entre el 20 y el 25%, mientras que en una clase de uso 3.2 supera el 25%.

En la clase de uso 4, el contenido de humedad de la madera en contacto con el suelo se sitúa normalmente por encima del 30% que se corresponde con el valor del punto de saturación de la fibra. En terrenos muy secos el contenido de humedad puede ser inferior.

El contenido de humedad de un elemento de madera sumergido en agua dulce (clase de uso 4) o salada (clase de uso 5), supera permanentemente el 30%.



Tabla 1. Aparición de agentes biológicos según clases de uso

| Clase de uso | Situación general en servicio | Descripción de la exposición a la humectación en servicio | Agentes biológicos |
|--------------|---|---|--|
| 1 | Interior, bajo cubierta | Seco | Insectos xilófagos de ciclo larvario y termitas |
| 2 | Interior o bajo cubierta | Ocasionalmente húmedo (no expuesto al exterior) | Como la anterior, más hongos cromógenos y hongos de pudrición |
| 3 | 3.1 Al exterior, por encima del suelo, protegido 3.2 Al exterior, por encima del suelo, no protegido | Ocasionalmente húmedo (expuesto al exterior) Frecuentemente húmedo | |
| 4 | Al exterior, en contacto con el suelo o con agua dulce | Predominante o permanentemente húmedo | Como la anterior, más hongos de pudrición blanda |
| | Permanentemente sumergido en agua dulce | Permanentemente húmedo | En estas condiciones especiales, las bacterias pueden ser el principal organismo degradador |
| 5 | En agua salada | Permanentemente o regularmente húmedo | El mayor riesgo se deriva de la posibilidad de ataque de xilófagos marinos (Teredinidos <i>Limnoria</i> y <i>Pholades</i>)* |

* La parte aérea de ciertos elementos situados en el agua marina, puede estar expuesta al ataque de insectos y hongos xilófagos.

3.2 CONSIDERACIONES SOBRE LA ELECCIÓN DE LA CLASE DE USO

La correcta asignación de la clase de uso es esencial para conocer los requisitos en cuanto a durabilidad (natural o conferida) que deberá cumplir el elemento de madera o el tablero seleccionado.

En el caso de que no sea posible determinar con suficiente precisión la clase de uso de un elemento, o cuando distintas partes de un mismo elemento queden clasificadas en diferentes clases de uso, las decisiones deberán tomarse basándose en la clase de uso más severa.

Asimismo, debe equipararse la situación de los elementos que, sin estar en contacto directo con la tierra o con agua dulce, acumulan agua de forma continuada por razones de diseño o por depósitos superficiales (elementos en una clase de uso 3.2) a los que están en una clase de uso 4. Lo anterior también es aplicable cuando puedan producirse depósitos superficiales (de suciedad, tierra, hojas, etc.), durante un tiempo prolongado.

También es recomendable asignar una clase de uso superior cuando los elementos sean de difícil acceso, o cuando las consecuencias de su rotura fueran especialmente graves. En estos casos puede resultar más adecuado utilizar una madera más durable o aplicar un tratamiento protector más riguroso del que normalmente se emplearía para la clase de uso en cuestión. Así, por ejemplo, podría considerarse que los rastreles que forman la subestructura de una fachada de madera, de difícil acceso y sin mantenimiento posterior, se sitúan en una clase de uso 4, mientras que las lamas de madera que forman la fachada están en una clase de uso 3.

Asimismo, debe preverse si durante el transporte y manipulación de los elementos de madera pueden producirse unas condiciones diferentes a las de su exposición definitiva. Puede ser el caso, por ejemplo, de las vigas principales de una estructura de madera, que se almacenan a la intemperie y sin protección antes de proceder a su montaje.

No siempre es necesario tratar a un elemento de madera contra todos los agentes biológicos existentes en la clase de uso en que se vaya a instalar. En algunos casos, los agentes biológicos pueden no estar presentes en el área geográfica del proyecto y, en otros, la composición de algunos tableros derivados de la madera los hacen inmunes contra el ataque de determinados agentes.

Así, por ejemplo, no existen termitas subterráneas en los países nórdicos o la estructura específica de los tableros de fibras, de partículas y de virutas orientadas (OSB), hace que no sean atacables por insectos xilófagos, con la excepción de las termitas.

3.3 LA ELECCIÓN DE LA CLASE DE USO EN MADERA AL EXTERIOR SIN CONTACTO CON EL SUELO.

La mayor parte de los problemas de durabilidad, al emplear elementos estructurales de madera, se concentran en la clase de uso 3. Esto se debe a la dificultad de valorar adecuadamente el riesgo de humectación y, en consecuencia, de asignar una clase de uso 3.1, 3.2 o bien hacerla equiparable a una clase de uso 4.

En Francia, se ha desarrollado un documento (FD P20-651) que permite mejorar la toma de decisiones al asignar la clase de uso dentro de las situaciones anteriores. Para ello se valoran tanto las condiciones climáticas, como la masividad y el diseño constructivo del elemento (Le Neve, 2011).

Las condiciones climáticas ejercen un efecto directo en el riesgo de humectación y, en consecuencia, en la elección de la clase de uso.

Desde el punto de vista de la humectación de la madera, la intensidad de la precipitación no es tan relevante como su periodicidad ya que, en un intervalo de 24 horas, una precipitación total de 8 o de 100 mm producirá un efecto similar.

Por este motivo, las condiciones climáticas se clasifican en secas, moderadas o húmedas, en función del número de días al año en los que se produce una precipitación igual o superior a 1mm (equivalente a la caída de un litro de agua en una superficie de un metro cuadrado), conforme a la tabla 2.

| Criterio | Condiciones climáticas | | |
|-----------------------------------|------------------------|---------------|---------|
| | Secas | Moderadas | Húmedas |
| Días/años con precipitación > 1mm | N < 100 | 100 ≤ N < 150 | N ≥ 150 |

Tabla 2. Clasificación de las condiciones climáticas

En España, 5 provincias presentan áreas geográficas con condiciones climáticas húmedas. Estas provincias son A Coruña, Navarra y, en menor medida, Asturias, Cantabria y Guipúzcoa.

Las condiciones climáticas moderadas se producen en la mayor parte del territorio de las comunidades de Galicia, Principado de Asturias, Cantabria y País Vasco, así como en el norte de Navarra, Cataluña, La Rioja, diversas áreas de Castilla y León, etc.

La mayor parte del territorio español se sitúa en condiciones climáticas secas.

El Atlas Climático Ibérico (Chazarra, 2011) incluye un mapa del territorio clasificado en función de la serie histórica de precipitaciones superiores o iguales a 1 mm. El Atlas, en formato electrónico, puede consultarse en la página web de la Agencia Estatal de Meteorología (www.aemet.es).

El anejo B incluye las condiciones climáticas de las capitales de provincias españolas.

Es importante señalar que las condiciones locales pueden influir en la clasificación anterior. Sería el caso, por ejemplo, de un proyecto de madera situado en una zona costera, en el fondo de un valle poco soleado, o en las proximidades de lagos o cursos de agua que generen nieblas o brumas locales. Por el contrario, las altitudes elevadas (por encima de los 800-1000 m) pueden ejercer un efecto positivo.

El riesgo de humectación también está influenciado por la masividad del elemento ya que, en unas mismas condiciones climáticas, un elemento de espesor reducido tardará menos tiempo en secarse después de la lluvia.

La masividad se clasifica en reducida, media o elevada en función del espesor de los elementos de madera y conforme a la tabla 3. La tabla diferencia por un lado, los elementos de madera aserrada o unidos de testa (sería el caso de la madera aserrada empalmada de uso estructural, conocida comercialmente por sus siglas en alemán KVH) y, por otro, los elementos encolados (madera laminada, vigas Dúo, Trío, etc.). En estos últimos, se establece una subdivisión en función de que el espesor de las láminas sea igual o superior a 35 mm.

| Masividad | Madera sólida o con empalmes de testa | Madera encolada con láminas de un espesor > 35 mm | Madera encolada con láminas de un espesor < 35 mm |
|-----------|---------------------------------------|---|---|
| Reducida | $e \leq 28$ mm | - | $e \leq 28$ mm |
| Media | $28 < e \leq 75$ mm | $e \leq 150$ mm | $28 < e \leq 210$ mm |
| Elevada | 75 mm < e | 150 mm < e | 210 mm < e |

Tabla 3. Clasificación de la masividad en función del espesor (e)

Por último, el diseño constructivo del elemento de madera se clasifica en tres categorías; drenante, intermedio o diseños que retienen el agua.

Normalmente los diseños drenantes se corresponden con elementos verticales donde no existen puntos de acumulación de agua debidos, por ejemplo, a la existencia de uniones.

Un diseño intermedio, se corresponde con la mayor parte de los elementos horizontales de madera donde no existen puntos de acumulación de agua debidos a mecanizados o uniones.

Los diseños que retienen el agua presentan un gran riesgo potencial de humectación, tanto en puntos singulares (testas expuestas, uniones) como en su conjunto (elementos anchos totalmente expuestos, etc.).

La figura 3 representa una unión con las tres categorías de diseño constructivo.

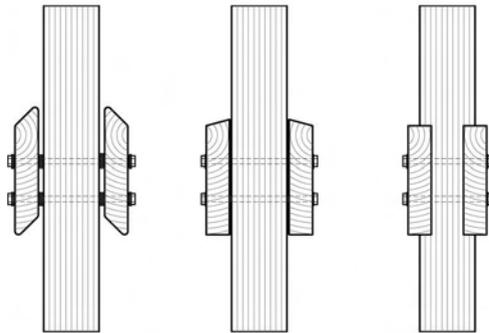


Figura 3. Diseño constructivo de una unión drenante (izquierda), intermedia (centro) o que retiene el agua (derecha)

Dada la diversidad de situaciones y de factores que intervienen en el diseño constructivo, no es posible disponer de una relación exhaustiva de todos los casos existentes. Cada proyectista, sobre la base de su experiencia y con el apoyo de documentos comerciales y técnicos, podrá profundizar en las definiciones anteriores para asignar la categoría más adecuada al diseño de su proyecto.

En Francia se está desarrollando un proyecto de investigación sobre durabilidad de componentes de madera, cuyo objetivo es incrementar la vida de servicio de distintos productos expuestos al aire libre en distintas condiciones climáticas. Dentro del proyecto se incluyen ensayos sobre la influencia de distintos detalles constructivos en la durabilidad (Kutnik, 2010).

En función de los tres criterios anteriores (condiciones climáticas, masividad y diseño constructivo), las tablas 4 y 5 permiten asignar la clase de uso más adecuada para cada situación particular.

La tabla 4 debe emplearse cuando los elementos de madera se encuentren al exterior, por encima del suelo y muy expuestos a la intemperie (pasarelas descubiertas, entarimados, pérgolas, etc.).

La tabla 5 debe emplearse cuando los elementos de madera se encuentren al exterior, por encima del suelo y poco expuestos a la intemperie (normalmente es el caso de las carpinterías de exterior, fachadas, etc.),

En el capítulo de toma de decisiones, se detallan varios ejemplos de aplicación.

| Masividad | Diseño constructivo | Condiciones climáticas | | |
|-----------|---------------------|------------------------|-----------|---------|
| | | Secas | Moderadas | Húmedas |
| | | Clase de uso | | |
| Reducida | Drenante | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| | Intermedio | 3.1 | 3.2 | 3.2 |
| | Retiene el agua | 3.2 | 4 | 4 |
| Media | Drenante | 3.1 | 3.1 | 3.2 |
| | Intermedio | 3.1 | 3.2 | 3.2 |
| | Retiene el agua | 3.2 | 4 | 4 |
| Elevada | Drenante | 3.1 | 3.2 | 3.2 |
| | Intermedio | 3.2 | 3.2 | 4 |
| | Retiene el agua | 4 | 4 | 4 |

Tabla 4. Elección de la clase de uso. Elementos de madera al exterior, por encima del suelo, muy expuestos al clima

| Masividad | Diseño constructivo | Condiciones climáticas | | |
|-----------|---------------------|------------------------|-----------|---------|
| | | Secas | Moderadas | Húmedas |
| | | Clase de uso | | |
| Reducida | Drenante | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| | Intermedio | 3.1 | 3.1 | 3.2 |
| | Retiene el agua | 3.1 | 3.2 | 3.2 |
| Media | Drenante | 3.1 | 3.1 | 3.2 |
| | Intermedio | 3.1 | 3.1 | 3.2 |
| | Retiene el agua | 3.1 | 3.2 | 4 |
| Elevada | Drenante | 3.1 | 3.1 | 3.2 |
| | Intermedio | 3.1 | 3.2 | 3.2 |
| | Retiene el agua | 3.2 | 3.2 | 4 |

Tabla 5. Elección de la clase de uso. Elementos de madera al exterior, por encima del suelo, poco expuestos al clima

BIBLIOGRAFÍA

Chazarra A. (2011). Atlas climático ibérico. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. 79 pp.

Kutnik, M. (2010). Project "Durabilité": vers une amélioration de la durée de vie des ouvrages extérieurs en bois. FCBA Info, Mai 2010.

Le Neve, S. (2011). Durabilité des ouvrages en bois: un nouvel outil applicatif. Brèves FCBA, 10.

NORMATIVA

FD P 20-651: 2011. Durabilité des éléments et ouvrages en bois.

prEN 335:2012. Durability of wood and wood based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood based panels.

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.

UNE-EN 351-1:2008. 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.



4. Durabilidad natural e impregnabilidad de la madera

4.1 INTRODUCCIÓN

La durabilidad natural y la impregnabilidad son las principales propiedades de la madera que afectan a su durabilidad en un uso concreto. La primera indica la resistencia intrínseca de la madera frente a los distintos agentes xilófagos y la segunda la mayor o menor aptitud para la penetración de los productos de protección de la madera.

Conocer ambas propiedades es esencial para analizar las opciones de empleo de una especie de madera en una clase de uso, bien a través de la propia durabilidad natural de la especie o mediante la durabilidad conferida mediante un tratamiento protector.

La norma UNE-EN 350-2 recoge la información disponible sobre la durabilidad frente a los distintos agentes xilófagos y la impregnabilidad de unas 130 especies habituales en el comercio en Europa. Por su parte, la norma UNE-EN 350-1 indica los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera para cada agente degradador.

Dicha norma se encuentra en revisión debido, entre otros motivos, a la necesidad de incluir nuevas especies comerciales y de considerar el incremento en el suministro de maderas de plantación.

Desde la publicación de la norma en el año 1995, existe información adicional sobre muchas otras especies ensayadas conforme a los mismos criterios. Entre las bases de datos existentes, destacan las fichas tecnológicas editadas por el CIRAD Forêt (Gerard *et al.*, 2008) con información sobre más de 250 especies tropicales y templadas. Las fichas pueden consultarse en formato electrónico en la dirección: <http://tropix.cirad.fr/>

El anejo C incluye la durabilidad natural y la impregnabilidad de diversas especies comerciales. En el anejo D aparece una relación de maderas con una durabilidad natural suficiente para su empleo en una clase de uso 4 y 5.

4.2 DURABILIDAD NATURAL

La durabilidad natural de una madera se define como su resistencia intrínseca, es decir sin haber recibido ningún tratamiento, para resistir el ataque de un agente xilófago. Esta propiedad varía de una especie a otra, en una misma especie (como es el caso de la diferente durabilidad que puede presentar la madera procedente de plantaciones de crecimiento rápido y la procedente de bosques naturales) y, también, de una parte a otra de la misma madera (duramen y albura).

La albura de la madera se considera, en general, no durable frente a los ataques de hongos de pudrición, termitas y xilófagos marinos. El duramen, también de modo general, se considera durable frente a los ataques de insectos de ciclo larvario.

La norma UNE-EN 350-2 establece un sistema de categorías para definir la durabilidad natural de cada especie de madera frente a los diversos agentes xilófagos.

La durabilidad frente a los hongos xilófagos es la del duramen, ya que la albura de cualquier especie de madera se considera no durable, mientras no se disponga de datos concretos.

La clasificación se establece, fundamentalmente, a partir de ensayos de campo de estaquillas de madera de pequeña sección, elaboradas con madera de duramen, y situadas a la intemperie, clavadas en el suelo (clase de uso 4). La norma define cinco categorías que se corresponden con la vida útil de las estacas, conforme a la clasificación de la tabla 6.

| Clase | Descripción | Duración |
|-------|--------------------------|------------------|
| 1 | Muy durable (MD) | 10 a 15 años |
| 2 | Durable (D) | 7 a 12 años |
| 3 | Medianamente durable (M) | 5 a 7 años |
| 4 | Poco durable (p) | 3 a 5 años |
| 5 | No durable (S) | Menos de 3 meses |

Tabla 6. Clases de durabilidad natural frente a los hongos xilófagos

La durabilidad frente a los insectos de ciclo larvario (cerambícidos, anóbidos y líctidos) es la de la albura, que se clasifica como durable (D) o sensible (S). El duramen de todas las especies se clasifica como durable excepto para algunos insectos a los que se asocia una categoría denominada duramen también sensible (SH).



La durabilidad frente a las termitas y los xilófagos marinos es la del duramen que se clasifica en tres niveles; durable (D), medianamente durable (M) y sensible (S). La albura de cualquier especie se considera atacable.

La propia norma advierte de que el sistema de durabilidad propuesto no debe ser interpretado en términos absolutos. Así, el término durable no implica que una madera tenga una resistencia total frente a las termitas o los xilófagos marinos. De manera análoga, no todos los productos elaborados con una especie clasificada como sensible frente a los insectos xilófagos de ciclo larvario tienen que estar expuestos a riesgo.

Por ejemplo, el riesgo de ataque del cerambícido *Hylotrupes bajulus* a las coníferas sensibles, disminuye con la edad de la madera, ya que tienden a atacar a las maderas durante sus primeros 80 años de edad (Esinal, 2008). Asimismo, la sensibilidad de un mismo elemento puede estar influenciada por factores como su contenido de humedad en servicio, el estado de su superficie, la aplicación de un revestimiento superficial que impida que las hembras puedan depositar huevos en las fisuras superficiales, etc.

4.3 IMPREGNABILIDAD

La impregnabilidad se define como la capacidad que presenta una especie de madera a la penetración de un líquido (por ejemplo de un protector).

La eficacia de un tratamiento de protección depende, principalmente, de la cantidad de producto que es retenido por la madera y de la profundidad a la que éste penetra.

A menudo, las especies de madera que tienen una reducida durabilidad natural son fácilmente impregnables, lo que permite dotarlas de una durabilidad conferida suficiente para su empleo en numerosas aplicaciones en el campo de la construcción.

En general, la impregnabilidad de la madera de albura es siempre superior a la del duramen debido a que, en el árbol en pie, la albura está formada por células vivas que conducen la savia. Durante el proceso de duraminización, la capacidad conductora de las células se reduce considerablemente tanto en sentido transversal como longitudinal.

Por este motivo, la norma UNE 350-2 establece una clasificación del tamaño de la albura de las distintas especies de madera en cuatro categorías; muy delgada (< 2 cm), delgada (entre 2 y 5 cm), mediana (entre 5 y 10 cm) y grande (>10 cm). Asimismo, indica aquellas especies en las que no hay una distinción clara entre la albura y el duramen, o aquellas en las que no se distingue en absoluto.

La norma incluye una clasificación de la impregnabilidad de la albura y del duramen en cuatro categorías: Impregnable, medianamente impregnable, poco impregnable y no impregnable. La clasificación se recoge en la tabla 3 y está basada en la experiencia desarrollada en la aplicación de procedimientos de impregnación de vacío y presión.

La norma UNE-EN 14734 describe un método de laboratorio para determinar la impregnabilidad de la madera con productos protectores, pudiendo emplearse también para evaluar las diferencias entre muestras de la misma especie y diferente procedencia.

Dichas clases no son netamente diferenciadas unas de otras, especialmente las clases 2 y 3. Por este motivo las especies de madera pertenecientes a dichas clases presentan a menudo penetraciones irregulares.

| Clase | Descripción | Explicación |
|-------|--------------------------|--|
| 1 | Impregnable | Muy fácil de impregnar, la madera aserrada puede ser impregnada totalmente con tratamiento a presión sin dificultad |
| 2 | Medianamente impregnable | Fácil de impregnar. Normalmente no es posible una impregnación completa, pero después de 2-3 horas de tratamiento bajo presión es posible alcanzar una penetración de más de 6 mm en las coníferas. En las frondosas se puede conseguir impregnación en una proporción grande de los vasos |
| 3 | Poco impregnable | Difícil de impregnar. Después de 3-4 horas de tratamiento bajo presión se alcanzan sólo penetraciones de 3 a 6 mm |
| 4 | No impregnable | Prácticamente imposible de impregnar. Después de 3-4 horas de tratamiento bajo presión sólo se absorben pequeñas cantidades de producto. Penetraciones longitudinales y laterales mínimas |

Tabla 7. Clases de impregnancia de la madera



4.4 CONSIDERACIONES SOBRE LA DURABILIDAD NATURAL Y LA IMPREGNABILIDAD

No debe confundirse la durabilidad natural de una especie de madera, con la vida de servicio de un elemento de madera elaborado con dicha especie, ya que, esta última depende de muchos factores.

En el caso de los hongos xilófagos, por ejemplo, el objetivo de los ensayos de campo es proporcionar, en un plazo de tiempo razonable, unos valores de referencia que permitan comparar la durabilidad natural de diversas especies de madera entre sí.



Así, en condiciones normales, una traviesa de duramen de roble en una clase de uso 4, tendrá una vida de servicio muy superior a los 7-12 años que tardaría en romperse una estaquilla de ensayo con una sección de 2,5 x 5 cm.

Sin embargo, en regiones en las que los periodos secos duran mucho tiempo, se ha comprobado que elementos de madera de secciones relativamente pequeñas, en contacto con el suelo, pueden tener una vida de servicio superior a la de elementos similares de secciones mayores.

En una clase de uso 3.1 un factor de gran incidencia en la durabilidad de una especie de madera, es su capacidad de absorber humedad. Así, una madera con una clase de durabilidad determinada y con una absorción de humedad baja (clase de impregnabilidad 4) durará, en general, bastante más tiempo sometida a humidificación intermitente, que una madera de la misma clase de durabilidad pero más permeable (clase de impregnabilidad 1).

Una forma adecuada de estimar la vida de servicio de un elemento de madera consiste en comparar la durabilidad de la madera que se propone emplear con la de otras especies conocidas y puestas en obra en condiciones lo más similares posibles (emplazamiento, diseño constructivo, mantenimiento, etc.) y de las que se conozca su vida de servicio.

La tabla 8 (basada en el documento FD P20-651) presenta la durabilidad natural (madera de duramen) teórica, en las distintas clases de uso, de elementos de madera elaborados con diversas especies comerciales.

La tabla ofrece unos valores medios de durabilidad en las distintas clases de uso y debe emplearse, sobre todo, para comparar especies entre sí y para valorar el efecto de las distintas clases de uso en la durabilidad del proyecto. Diversas obras en Europa, demuestran que la durabilidad asignada por la tabla puede superarse ampliamente como sería el caso, por ejemplo, de las iglesias medievales noruegas donde elementos estructurales de pino silvestre, en condiciones que podrían asimilarse a una clase de uso 3.1, llevan en pie unos 800 años.

El duramen de diversas especies tropicales habituales en España como el ipé (*Tabebuia* spp), el elondo (*Erythrophleum ivorense*), el azobe (*Lophira alata*), etc, tiene una elevada durabilidad natural frente a los hongos de pudrición y las termitas. Además, la proporción de albura que presentan es reducida y suele eliminarse durante el proceso de aserrado y, por otro lado, su duramen no es impregnable. Por tanto, en las condiciones anteriores, no tendría sentido su tratamiento en profundidad.

Asimismo, el duramen de especies europeas como el roble (*Quercus robur* o *Quercus petraea*), el castaño (*Castanea sativa*), el pino gallego (*Pinus pinaster*) o el alerce (*Larix decidua*), no es impregnable. Por tanto, en las piezas de duramen de estas especies tampoco procede su tratamiento protector.



Tabla 8. Durabilidad teórica del duramen de diversas especies comerciales en distintas clases de uso

| Especie de madera | Durabilidad estimada frente a los hongos de pudrición en las distintas clases de uso | | | | | Resistencia insectos de ciclo larvario | Resistencia termitas |
|---|--|-------------|-------------|-------------|-------------|--|----------------------|
| | 1 | 2 | 3a | 3b | 4 | | |
| Abeto rojo (<i>Picea abies</i>) | >100 años | 50-100 años | 10-50 años | <10 años | <10 años | No | No |
| Abeto blanco (<i>Abies alba</i>) | >100 años | 50-100 años | 10-50 años | <10 años | <10 años | No | No |
| Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>) | >100 años | >100 años | 10-50 años | 10-50 años | <10 años | Si | No |
| Alerce (<i>Larix decidua</i>) | >100 años | >100 años | 50-100 años | 10-50 años | <10 años | Si | No |
| Cedro rojo (<i>Thuja plicata</i>) | >100 años | >100 años | 50-100 años | 10-50 años | <10 años | Si | No |
| Pino gallego (<i>Pinus pinaster</i>) | >100 años | >100 años | 50-100 años | 10-50 años | <10 años | Si | No |
| Castaño (<i>Castanea sativa</i>) | >100 años | >100 años | >100 años | 50-100 años | 10-50 años* | Si | No |
| Roble europeo (<i>Quercus spp.</i>) | >100 años | >100 años | >100 años | 50-100 años | 10-50 años* | Si | No |
| Robinia (<i>Robinia pseudoacacia</i>) | >100 años | >100 años | >100 años | 50-100 años | 10-50 años | Si | Si |
| Elondo (<i>Erythrophleum spp.</i>) | >100 años | >100 años | >100 años | 50-100 años | 10-50 años | Si | Si |
| Ipe (<i>Tabebuia spp.</i>) | >100 años | >100 años | >100 años | 50-100 años | 10-50 años | Si | Si |

* Sólo podría alcanzarse esta durabilidad, si las especies se encuentran expuestas a una clase de uso equivalente a 4, pero no en contacto directo con el suelo.
** Especies del género *Tabebuia*, densas ($\rho > 850 \text{ kg/m}^3$) y oscuras.

BIBLIOGRAFÍA

Esinal Ediciones. (2008). Factores que facilitan la instalación de los insectos en las estructuras lignarias. Revista Protecma, 39, pp 4-8.

Gérard, J., Guibal, D., Beauchêne, J., Fouquet, D., Langbour, P., Thevenon, M.F., Thibaut, A., Vernay, M. (2008). Tropix 6.0: Caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales et tempérées. Cirad-Forêt, Montpellier. Tropix CD Rom.

Le Neve, S. (2011). Durabilité des ouvrages en bois: un nouvel outil applicatif. Brèves FCBA,

NORMATIVA

FD P 20-651: 2011. Durabilité des éléments et ouvrages en bois.

UNE-EN 350-1:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera.

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.

UNE-EN 14734: 2008. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Determinación de la impregnabilidad de las especies de madera por productos protectores. Método de laboratorio.



5. Madera modificada

5.1 INTRODUCCIÓN

La madera modificada es el resultado de una interacción entre la madera y un agente químico, biológico o físico, que permite, sin adicionar un biocida, mejorar alguna de sus propiedades durante la vida de servicio del material (Hill, 2006). Así, mientras el principal resultado de un protector tradicional es la mejora de la durabilidad de la madera, en el caso de la madera modificada se obtiene un nuevo material con propiedades diferentes.

Uno de los objetivos de la madera modificada es alterar la estructura molecular de los componentes de la pared celular de la madera y, en concreto, transformar los grupos hidroxilos (-OH) que desempeñan un papel esencial en los fenómenos de hinchazón y merma, en nuevos radicales de mayor tamaño y menor higroscopicidad. De esta forma, es posible mejorar considerablemente la estabilidad dimensional y, en muchos casos, incrementar su durabilidad frente a determinados xilófagos, como los hongos de pudrición, cuyos sistemas enzimáticos no son capaces de degradar el nuevo material (Homan y Jorissen, 2000).

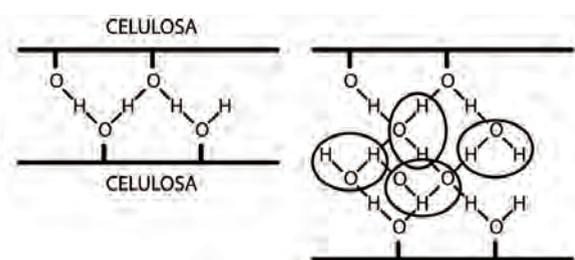


Figura 4. Los fenómenos de hinchazón y merma de la madera se producen porque los componentes de la pared celular contienen, entre otros, grupos hidroxilo (-OH) capaces de fijar las moléculas de agua (H_2O) existentes en el ambiente a través de enlaces de puente de hidrógeno. En la figura se representa una secuencia idealizada de hinchazón.

Las investigaciones sobre algunas técnicas de modificación de la madera se inician durante las primeras décadas del siglo XX, si bien los productos obtenidos sólo han comenzado a comercializarse recientemente. Este hecho es debido, entre otros factores, a la creciente importancia de las consideraciones medioambientales; tanto en lo que se refiere al empleo de biocidas como, a las restricciones a la importación de maderas tropicales de elevada durabilidad (Militz y Lande, 2009).

Respecto a su normalización, posiblemente sean considerados nuevos materiales con una durabilidad propia en función de las características de cada proceso (por ejemplo: pino silvestre, pino silvestre modificado térmicamente, acetilado, furfuralado, etc.). De esta forma le serían de aplicación el conjunto de normativa ya existente para la madera y sus derivados.

Como se comentó anteriormente, el acceso al mercado de los productos de madera modificada es reciente, si bien muestra una clara tendencia ascendente. Como referencia, en el año 2010 una publicación británica (TRADA, 2010) recogía 14 productos de madera modificada que estaban siendo comercializados en el Reino Unido desde hacía unos 8 años.

Entre los productos disponibles, en el mercado español se citan tres a modo de ejemplo; la madera termotratada, obtenida mediante una modificación térmica, y la madera acetilada y furfuralada, obtenidas mediante una modificación química.

5.2 MADERA MODIFICADA TÉRMICAMENTE

Históricamente se ha carbonizado la madera para incrementar su durabilidad. Por citar un ejemplo, en Japón pervive el shou-sugi-ban, una técnica tradicional consistente en quemar superficialmente madera de sugi (*Cryptomeria japonica*) para realizar envolventes de madera con una elevada durabilidad.

En el ámbito científico, los efectos del tratamiento térmico de la madera comienzan a estudiarse en los años 20 del siglo pasado y ya en la década de los años 30 se comprueban importantes reducciones de la higroscopicidad de la madera tras su calentamiento en atmósferas de diferentes gases. A finales del siglo XX, diversas tecnologías comerciales están disponibles en países como Finlandia, Alemania, Holanda o Francia.

La madera modificada térmicamente o madera termotratada, consiste en someter a la madera a un tratamiento térmico, con temperaturas a menudo comprendidas entre los 180 y 260°C, en una atmósfera inerte o con un bajo contenido en oxígeno. La forma en la que se consigue esta atmósfera distingue las principales tecnologías disponibles que, básicamente, emplean nitrógeno, aceites vegetales, vapor de agua o una atmósfera de vacío.



El termotratamiento modifica de forma permanente la composición química de la madera (en particular de la hemicelulosa) y, en consecuencia, la estructura de la pared celular. Estos cambios producen alteraciones significativas de las propiedades del material.

Entre los principales cambios experimentados por la madera destaca la disminución de su humedad de equilibrio higroscópico y, en consecuencia, la mejora de su comportamiento frente a las variaciones de humedad. Asimismo, la durabilidad natural frente a los hongos e insectos xilófagos mejora considerablemente, lo que no ocurre en el caso de las termitas. La conductividad térmica disminuye mejorando el aislamiento del material. El color de la madera se oscurece y sustancias como las resinas son eliminadas.

La densidad disminuye, así como varias propiedades mecánicas como la resistencia a la flexión, el módulo de elasticidad o la resistencia al impacto. Asimismo, el mecanizado posterior de la madera requiere precauciones especiales y se recomienda emplear sistemas de fijación de acero inoxidable. En el caso de emplear adhesivos o acabados, se deberá tener en cuenta las nuevas características del material en cuanto a su higroscopicidad.

La mejora en la estabilidad dimensional contribuye a prolongar el mantenimiento de los acabados decorativos cuando se emplea en aplicaciones al exterior. No obstante, en caso de instalarse desnuda, el aspecto de la madera se verá afectado con rapidez por la radiación ultravioleta.

El grado de variación de las propiedades depende de la tecnología empleada, de la especie de madera, de la temperatura alcanzada durante el proceso, etc., por lo que cada fabricante debe suministrar las especificaciones técnicas de su producto concreto.

El método de tratamiento más habitual se desarrolló en los años 90 en el centro tecnológico finlandés VTT y consiste en someter a la madera a una temperatura mínima de 180°C en una atmósfera de vapor. El proceso, comercializado bajo la marca ThermoWood®, es propiedad de la International Thermowood Association (ITA) y tiene lugar en tres etapas principales con una duración total próxima a los dos días (Finnish Thermowood Association, 2003).

Inicialmente, empleando calor y vapor de agua, la temperatura se incrementa rápidamente hasta unos 100°C y, posteriormente, hasta los 130°C. Al final de esta fase el contenido de humedad de la madera es casi 0.

En una segunda fase, la temperatura alcanza el objetivo de tratamiento deseado (185-215°C) y se mantiene durante 2 o 3 horas dependiendo de la aplicación final.

Finalmente, la temperatura se reduce mediante pulverizadores de agua y, al alcanzar los 80-90°C, tiene lugar un reacondicionamiento para dejar la madera con un contenido de humedad final del 4-7%.

Existen dos tratamientos estándar denominados Thermo-S y Thermo-D.

En el tratamiento Thermo-S se alcanza una temperatura de 190°C en el caso de las coníferas. La letra "S", que define el tratamiento, hace referencia a la estabilidad (stability) del producto que, junto con el aspecto de la madera, son dos de las principales propiedades conferidas por el proceso. La durabilidad natural de la madera frente a los hongos xilófagos alcanza una categoría 3 (medianamente durable) y la mayor parte de las aplicaciones se encuentran en interiores.

En el tratamiento Thermo-D se alcanza una temperatura de 212°C en el caso de las coníferas. La letra "D" hace referencia a la durabilidad (durability) del producto que alcanza una categoría 2 (durable) frente a los hongos de pudrición. La estabilidad también mejora con el incremento de la temperatura por lo que la madera tratada mediante este proceso suele destinarse a aplicaciones de exterior. El color es más oscuro y la densidad y algunas propiedades mecánicas disminuyen en relación al tratamiento "S".

La especificación técnica CEN/TS 15679 "Madera modificada térmicamente. Definiciones y características" incorpora un anejo con las características de la madera modificada térmicamente elaborada mediante un procedimiento estándar comercial.

| Especie | Humedad de equilibrio higroscópico a 20°C | | | Disminución de la densidad durante el tratamiento | Durabilidad natural frente a los hongos de pudrición (EN 350-2) |
|------------------------------------|---|--------|--------|---|---|
| | HR 30% | HR 65% | HR 95% | | |
| <i>Pinus sylvestris</i> sin tratar | 7-9% | 12-14% | 22-24% | | 3-4 |
| Pino MMT utilización interior | 5-6% | 7-8% | 14-16% | 5-7% | 3 |
| Pino MMT utilización exterior | 4-5% | 6-7% | 12-13% | 8-10% | 2 |
| <i>Picea abies</i> sin tratar | 7-9% | 12-14% | 22-24% | | 4 |
| Picea MMT utilización interior | 5-6% | 7-8% | 13-14% | 5-7% | 3 |
| Picea MMT utilización exterior | 4-5% | 6-7% | 11-12% | 8-10% | 2 |

Tabla 9. Propiedades de referencia de la madera modificada térmicamente (MMT) elaborada mediante un procedimiento de fabricación estándar comercial.

En el año 2010, existían 30 plantas de modificación térmica en Europa con una capacidad conjunta de unos 300.000 m³ (EUWID, 2010). Como referencia, los 11 fabricantes agrupados en la ITA produjeron 122.000 m³ en el año 2012, siendo el pino silvestre (47%) y el abeto rojo (47%) las principales especies modificadas térmicamente. El tratamiento Thermo-D constituyó el 86% del producto comercializado (International Thermowood Association, 2012).

En España, se ha iniciado recientemente la producción de madera modificada térmicamente de pino radiata y, en menor medida, de eucalipto, roble, fresno, etc.

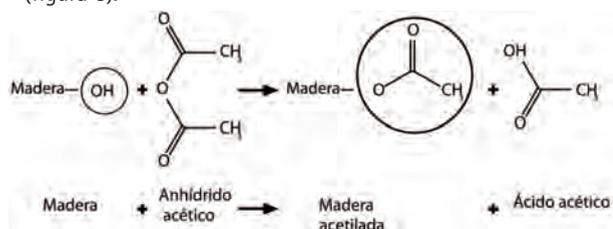
El rango de aplicaciones de la madera termotratada debe tener en cuenta la influencia del tratamiento en la reducción de las propiedades mecánicas del material (normalmente, más acusado en las coníferas que en las frondosas). Entre otras opciones, destaca su empleo en revestimientos de interior y, sobre todo, de exterior, entarimados de interior, pavimentos de exterior de uso doméstico, mobiliario de sauna, elementos de mobiliario urbano, etc.



5.3 MADERA ACETILADA

En esencia, la modificación química de la madera consiste en producir una reacción química que permita formar enlaces estables (covalentes) entre componentes de la pared celular y un reactivo químico (Rowell y Konkol, 1987).

En el caso de la acetilación, la reacción química transforma grupos hidroxilo en grupos acetilo mediante un tratamiento que impregna la madera con anhídrido acético, generando ácido acético durante la reacción, que puede ser transformado en anhídrido acético y reciclado en el propio proceso (figura 5).



En el año 1928 se logra acetilar madera en Alemania y en 1945 ya se conoce su efecto sobre la mejora de la durabilidad y estabilidad de la madera. A pesar de que la primera patente data del año 1930, sólo a finales de los 80 se inicia la producción a pequeña escala en Japón para producir pavimentos de madera (Rowell et al, 2008).

Posteriormente, en el año 2007 se inicia la producción industrial en Holanda con una planta que dispone de una capacidad de 40.000 m³ y emplea como materia prima madera de pino radiata (*Pinus radiata*).

La acetilación no suele suponer un cambio significativo de la mayor parte de las propiedades mecánicas, por lo que el material mantiene sus posibilidades de empleo estructurales. La madera acetilada de pino radiata de uso estructural está clasificada como C-24 (Accoya, 2012).

La acetilación no suele suponer un cambio significativo de la mayor parte de las propiedades mecánicas, por lo que el material mantiene sus posibilidades de empleo estructurales. La madera acetilada de pino radiata está clasificada estructuralmente como C-24 (Accoya, 2012).

La tabla 10 presenta las propiedades de la madera acetilada de pino radiata.

| Especie | Durabilidad frente a los hongos de pudrición (EN 350-2) | HEH 20°C / 65%HR | Máximo mov (%)* | Densidad kg/m ³ |
|------------------------|---|------------------|-----------------|----------------------------|
| Pino radiata acetilado | 1 | 3-5% | 1,5 | 510 |

* Los valores del máximo movimiento se calculan midiendo la hinchazón tangencial de la madera desde el estado seco hasta el estado saturado en agua. Fuente: Accoya (2011)

Tabla 10. Propiedades de la madera acetilada

Las principales aplicaciones comerciales se encuentran en las clases de uso 3 y 4, con elementos como ventanas, mobiliario urbano, fachadas, entarimados de exterior, mobiliario de jardín, aplicaciones en contacto con agua dulce, puentes y pasarelas, mobiliario infantil, esculturas al exterior, etc.

Figura 5. Esquema del proceso de acetilación de la madera. La reacción química transforma grupos hidroxilo en grupos acetilo mediante un tratamiento realizado en autoclave que impregna la madera con anhídrido acético, generando ácido acético.

De entre las aplicaciones estructurales sobresalen los dos puentes de tráfico pesado elaborados con madera acetilada y laminada de pino radiata y construidos en los años 2008 y 2010 en la ciudad de Sneek (Holanda). Los puentes, con una longitud de 32 m y una anchura de 12 m, han sido diseñados para soportar cargas de hasta 60 toneladas. Su vida de servicio superará los 80 años.



Otro proyecto destacable, tanto por su estética como por las exigencias en cuanto a durabilidad, es el puente de Moisés (Moses bridge) que sirve de acceso a los visitantes de una fortaleza holandesa del siglo XVII. El puente se integra perfectamente en el entorno, al atravesar un foso de agua del que apenas sobresale y continuar su camino ascendente a través de un talud de tierra en el que se encajona.



Durante los próximos años, está previsto incrementar considerablemente la capacidad de producción de madera acetilada. Asimismo, la gama de productos y aplicaciones continúa expandiéndose con el inicio de la fabricación, en el año 2011, de tableros a partir de fibras acetiladas y, en el año 2012, de madera acetilada de aliso.

5.4 MADERA FURFURILADA

Los primeros intentos de furfurilar la madera se producen durante los años 50 del siglo XX. Tras las investigaciones desarrolladas durante los años 80 y 90 en la Universidad de New Brunswick (Canadá), la primera planta industrial inicia su producción en el año 2009, en Noruega, con una capacidad de 25.000 m³.

La furfurilación de la madera es un proceso basado en su tratamiento con alcohol furfúrico. Este alcohol se produce a partir del furfural, un aldehído industrial derivado de subproductos de la agricultura como la caña de azúcar, el maíz, los girasoles o el trigo (Malmanger, 2003).

El tratamiento se realiza en autoclaves de vacío presión, al que siguen varias etapas durante las que se produce un secado intermedio y la polimerización de los productos químicos en las células de la madera, finalizando con un secado final y el tratamiento de las emisiones producidas.

Al igual que en el caso de la acetilación, el efecto del tratamiento puede expresarse en función del incremento de la densidad, que es un indicador de la retención conseguida y, en consecuencia, del número de polímeros de furano existentes.

La furfurilación mejora considerablemente la higroscopicidad de la madera y, al mismo tiempo, incrementa su densidad y su dureza. Las propiedades mecánicas tienden a incrementarse excepto la resistencia al impacto y el color de la madera se oscurece.

Con una retención adecuada, la madera furfurilada puede alcanzar la máxima categoría existente de durabilidad natural (clase 1, muy durable) frente a los hongos de pudrición, según la norma UNE-EN 350-2. Análogamente, la durabilidad frente a las termitas se incrementa considerablemente.

Las principales especies comercializadas son el pino silvestre, los pinos amarillos del sur de Estados Unidos (southern yellow pine), el pino radiata y la madera de arce. Esta última especie se destina a la elaboración de cubiertas de embarcaciones, como alternativa a la madera de teca.



La tabla 11 presenta algunas propiedades de referencia de la madera furfurilada de pino silvestre y pinos amarillos del sur de EE.UU.

| Especie | Durabilidad frente a los hongos de pudrición (EN 350-2) | Dureza Monin | Máximo mov (%)** | Densidad kg/m ³ |
|-----------------------------|---|--------------|------------------|----------------------------|
| Pino silvestre | 3-4 | 2 | 8 | 530 |
| Pino silvestre Furfurilado | 1-2 | 2,5-4,5 | 4-6 | 600-680 |
| Pino amarillo del Sur (SYP) | 3 | 3 | 8-10 | 510 |
| SYP Furfurilado | 1-2 | 4,5 | 4-5 | 700 |

*Los valores de durabilidad de las especies sin tratar se refieren a la madera de duramen, mientras que los valores de las especies furfuriladas se refieren a la madera de albura.
 ** Los valores del máximo movimiento se calculan midiendo la hinchazón tangencial de la madera desde el estado seco hasta el estado saturado en agua.
 Fuente: Kebony ASA. Product Datasheet . Item 1030. 2011

Tabla 11. Propiedades de la madera furfurilada

Las aplicaciones comerciales se encuentran en carpintería de exterior, mobiliario urbano y de jardín, fachadas, entarimados de exterior, cubiertas de embarcaciones marinas, elementos estructurales, etc.



BIBLIOGRAFÍA

- Accoya (2011). La madera Accoya. Guía de información. 23 pp.
- Accoya (2012). Structural Design Guide to Eurocode 5. 24 pp.
- EUWID. (2010). European thermally modified timber suppliers are still enlarging capacity. Vol. 84, No. 43, pp. 1-12.
- Finnish Thermo Wood Association. (2003). Thermo Wood Handbook. Helsinki, 66 pp.
- Hill, C.A.S. (2006). Wood Modification Chemical Thermal and Other Processes. Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons, Ltd., USA. 260 pp.
- Homan W, Tjeerdsma B, Beckers E., Jorissen A. (2000). Structural and other properties of modified wood. Proceedings World Conference on Timber Engineering, Whistler, Canada, paper 3-5-1
- International ThermoWood Association. (2013). ThermoWood production statistics 2012, 8 pp.

Kebony ASA. (2011). Product Datasheet. Item 1030, 22 pp.

Malmanger, N. (2003) Modificación de la madera con alcohol de furfuryl. Boletín de Información Técnica AITIM, 225.

Militz, H., Lande, S. (2009). Challenges in wood modification technology on the way to practical applications. Proceedings of the Fourth European Conference on Wood Modification. SP Technical Research Institute of Sweden, Wood Technology, Stockholm, Sweden. pp. 3-12.

Rowell, R.M., Konkol, P. (1987). Treatments that enhance physical properties of wood. USDA Forest Service general technical report FPL-GTR-55, Madison, Wisconsin, 12 pp.

Rowell, R.M., Kattenbroek, B., Ratering, P., Bongers, F., Leicheer, F., Stebbins, H. (2008). Production of dimensionally stable and decay resistant wood composites based on acetylation. Proceedings:11th International Conference on Durability of Building Materials and Components. Istanbul, Turkey, pp 693-701.

Timber Research and Development Association. (2010). Modified Wood Products. Trada Technology Ltd, 8 pp.

NORMATIVA

UNE-CEN/TS 15679:2009 Madera modificada térmicamente. Definiciones y características.

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.



6. Especificaciones de durabilidad natural de la madera para su utilización según las clases de uso

6.1 INTRODUCCIÓN

La norma UNE-EN 460 establece procedimientos para seleccionar los requisitos de durabilidad natural exigibles a una especie de madera para permitir su empleo en una clase de uso determinada. Estos requisitos deben comprobarse, de manera independiente, para cada uno de los agentes xilófagos.

Posteriormente, en el apartado de toma de decisiones, se incluyen varios ejemplos donde se analiza si la durabilidad natural de diversas especies de madera es suficiente frente a los agentes xilófagos presentes en distintas clases de uso.

6.2 DURABILIDAD NATURAL ANTE LOS DISTINTOS ORGANISMOS XILÓFAGOS

6.2.1 Hongos xilófagos

En la tabla 12 se incluye una orientación sobre las posibilidades de empleo de una especie de madera en una clase de uso, considerando su durabilidad natural frente a los hongos xilófagos.

| Clase de uso | Clase de durabilidad natural (madera de duramen) frente a hongos xilófagos | | | | |
|--------------|--|-----|-----|---------|---------|
| | 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 |

Tabla 12. Hongos xilófagos. Clases de durabilidad de las especies de madera adecuadas según su empleo en las clases de uso.

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

En una clase de uso 1, el contenido de humedad de la madera maciza es tal que el riesgo de ataque por hongos xilófagos es insignificante. Por ese motivo, no se exige ningún requisito especial en cuanto a la durabilidad natural de la madera empleada.

Las recomendaciones de tratamiento protector se inician a partir de una clase de uso 2, en el caso de emplear especies de madera que contengan albura o cuya durabilidad natural sea de las categorías 4 (poco durable) o 5 (no durable). En estos casos, el Docu-

mento Básico de Seguridad Estructural – Madera del Código Técnico de la Edificación (CTE) señala que los elementos estructurales de madera instalados en una clase de uso 2 deberán recibir un tratamiento superficial con un producto insecticida y fungicida.

La versión en vigor de la norma UNE-EN 460, no distingue entre las clases de uso 3.1 y 3.2, por lo que las recomendaciones sobre las necesidades de realizar un tratamiento, o no, en una clase de uso 3 son particularmente ambiguas.

La mayor parte de las coníferas empleadas en madera estructural, se comercializan con albura, por lo que su durabilidad natural no sería suficiente para permitir su empleo en una clase de uso 2. En este caso se encuentran los pinos de uso más habituales en España (silvestre, laricio, pinaster, radiata), el abeto (*Abies alba*), el abeto rojo o picea (*Picea abies*), etc.

Algunas empresas suministran madera de coníferas (pino silvestre, pino oregón, alerce, cedro rojo del Pacífico, etc) formada exclusivamente por duramen. Normalmente, estas especies tienen una durabilidad natural frente a los hongos xilófagos que permitiría su empleo en una clase de uso 3.1. En determinados casos, puede ser necesario añadir un tratamiento protector en función de la durabilidad natural de la especie (clase 3 o 4) y su permeabilidad.

Lógicamente, la decisión de emplear, o no, una especie en una determinada clase de uso está vinculada a la vida de servicio esperada. En la tabla 8 puede consultarse la durabilidad teórica media que puede alcanzar el duramen de dichas especies en una clase de uso 3.1. De la tabla se deduce que una fachada, por ejemplo, con un diseño constructivo adecuado (clase de uso 3.1) y elaborada con madera de duramen de alerce (*Larix decidua*) o de cedro rojo del Pacífico (*Thuja plicata*) alcanzará una vida útil de entre 50 y 100 años.

El duramen de diversas especies de madera tropical presenta una durabilidad natural frente a los hongos xilófagos que permitiría su empleo sin ningún tipo de protección en una clase de uso 4. Entre las especies más habituales en el comercio figuran, el elondo (*Erythrophleum* spp.), el ipé (*Tabebuia* spp), la maçaranduba (*Manilkara* spp), el angelim vermelho (*Dinizia excelsa*), la tatajuba (*Bagassa* spp), el cumaru (*Dypterix* spp.), el wenge (*Millettia laurentii*), etc.

Comentar por último que en las obras de rehabilitación estructural en las que se hubieran detectado ataques previos por agentes xilófagos, el CTE señala que se deberán incrementar los niveles de protección correspondientes a las clases de uso normales en una categoría.

6.2.2 Insectos de ciclo larvario

Diversas especies de insectos de ciclo larvario (anópidos, líctidos, cerambícidos) son habituales en España, si bien el riesgo de ataque varía fuertemente, desde insignificante a muy importante. La norma UNE-EN 460 recomienda, siempre que sea posible, consultar a expertos locales o regionales para informarse sobre el riesgo de ataque por estos coleópteros xilófagos.

En España, el CTE no considera obligatorio la protección de un elemento estructural de madera situado en una clase de uso 1, si bien recomienda aplicar un tratamiento superficial con un producto insecticida. En condiciones normales de obra nueva, el CTE considera que la probabilidad de un ataque de insectos de ciclo larvario es muy reducida, si no se producen circunstancias especiales como la existencia de ataques previos (caso que se contempla de forma separada) o el aporte de madera infestada.

Las exigencias de tratamiento protector se inician a partir de una clase de uso 2, en el caso de emplear especies de madera que contengan albura clasificada como sensible (S) por la norma UNE-EN 350-2. Lo mismo es aplicable a aquellas especies que contengan duramen clasificado como SH (duramen también sensible) frente a algunos insectos como es el caso de la picea (*Picea abies*), el abeto blanco (*Abies alba*) o el pino radiata (*Pinus radiata*).

En condiciones de servicio en las que exista un riesgo de ataque significativo, que conlleve una pérdida de resistencia inaceptable o una degradación visual, las especies de madera clasificadas como "sensibles" por la norma UNE-EN 350-2 deberán tratarse con un producto protector. Un ejemplo de dichas situaciones, en la que se incidirá más adelante, lo constituyen aquellas obras de rehabilitación donde se hayan detectado ataques previos.

6.2.3 Termitas

Al igual que en el caso anterior, el CTE no estima necesario ningún tipo de protección para un elemento estructural de madera situado en una clase de uso 1, si bien recomienda aplicar un tratamiento superficial con un producto insecticida.

En situaciones de servicio en las que exista un riesgo significativo de ataque por termitas (como las obras de rehabilitación estructural en las que se hubieran detectado ataques previos), la norma UNE-EN 460 señala que sólo debería utilizarse sin tratamiento la madera de duramen de las especies de madera clasificadas como durables (D) o medianamente durables (M) según la norma UNE-EN 350-2. La elección entre ambas opciones depende de requisitos como la toma de medidas de protección adicionales, el diseño constructivo, la vida de servicio esperada o las posibles consecuencias en caso de rotura.

La única especie de madera cultivada en Europa (se introdujo desde EE.UU en el siglo XVII) y clasificada como durable frente a la acción de las termitas es la robinia (*Robinia pseudoacacia*). Entre las frondosas europeas consideradas medianamente durables se encuentran el roble (*Quercus robur*) y el castaño (*Castanea sativa*). Por su parte, diversas especies de madera tropical son durables frente a las termitas como el azobe (*Lophira alata*), afzelia (*Afzelia* spp.), moabi (*Baillonella toxisperma*), walaba (*Eperua falcata*), lou-ro vermelho (*Ocotea rubra*), etc.

En realidad, dadas las particularidades de las termitas subterráneas, la elección de una madera con mayor o menor durabilidad debe complementarse con otras medidas que permitan poder proteger adecuadamente un edificio.

En Francia, el parlamento aprobó en el año 1999 una ley anti-termitas (Ley 99-471) que sufrió posteriores modificaciones en los años 2000 (Decreto 2000-613), 2006 y 2010.

Actualmente, para proteger una nueva edificación en una zona termitica en Francia, es obligatorio establecer una barrera, entre el suelo y los cimientos del edificio, que impida el acceso de las termitas subterráneas. Esta barrera puede ser física (mallas de acero inoxidable o lechos de arena con una variedad de granito que impide el acceso de las termitas) o físico química (láminas plásticas o textiles impregnadas en un biocida).



Con respecto a los elementos estructurales de madera que se instalen en la nueva edificación, se contemplan tres posibilidades diferentes. Es posible emplear una especie clasificada como durable frente a la acción de las termitas, utilizar una especie de madera tratada químicamente para otorgarle la durabilidad necesaria y, finalmente, puede emplearse una especie sin durabilidad ni tratamiento, siempre que sus cuatro caras sean visibles para detectar un posible ataque y, en caso de ser necesario, pueda ser reemplazada con facilidad (Jermannaud, 2011).

En cuanto a la termita de madera seca (*Cryptotermis brevis*) presente en las Islas Canarias, Martínez (1956) cita diversas especies consideradas durables como la caoba (*Swietenia mahogani*), roble (*Quercus robur*), robinia (*Robinia pseudoacacia*), azobe (*Lophira alata*), iroko (*Millicia spp*), padouk (*Pterocarpus soyauxii*), elondo (*Erythrophleum ivorense*), nvero (*Lovoa klaineana*), etc.

En España, si no se dispone de información adicional, es conveniente considerar la existencia de termitas subterráneas del género *Reticulitermes*, siempre que se prescriba madera en contacto con el suelo (clase de uso 4). El anejo D, presenta una relación de especies con una durabilidad natural adecuada para su empleo en una clase de uso 4.

6.2.4 Xilófagos marinos

En situaciones de servicio en las que exista un riesgo significativo de ataque por xilófagos marinos sólo podría utilizarse sin tratamiento la madera de duramen de las especies de madera clasificadas como durables (D) o medianamente durables (M) según la norma UNE-EN 350-2. La elección entre ambas opciones depende de requisitos como la función final, vida de servicio esperada y posibles consecuencias en caso de rotura.

La norma incluye una relación de especies de madera con una buena durabilidad frente al ataque por xilófagos marinos. Entre las especies consideradas durables se incluyen el angélique (*Dycorinia guianensis*, *Dycorinia paraensis*) y el greenheart (*Ocotea rodiaei*) y, entre las medianamente durables, la afromorsia (*Pericopsis elata*), el azobe (*Lophira alata*), la bilinga (*Nauclea diderrichii*, *Nauclea gillettii*), el sapelli (*Entandophragma cylindricum*) y la teca (*Tectona grandis*).

Desde la edición de la norma en el año 1995, otros autores (Vernay y Fouquet, 2000) han elaborado una relación de especies con una buena durabilidad natural frente a los xilófagos marinos que pueden consultarse en el anejo D.

BIBLIOGRAFÍA

Jermannaud, A. (2011). Termitas en Francia: nuevas regulaciones para la protección de las construcciones nuevas y el control de las infestaciones existentes. VI Congreso Nacional de Protección de la Madera. CIDEMCO-Tecnalia, San Sebastian, 7 pp.

Martínez, J.B. (1957). Termes de madera seca (*Cryptotermes brevis*) en las islas Canarias. Revista Montes, 75, pp 147-161.

Vernay, M., Fouquet D. (2000). Essences tropicales à forte durabilité naturelle. Bois et forêts des tropiques, 264, pp 73-76.

NORMATIVA

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Seguridad Estructural. Estructuras de Madera (2009). Ministerio de Vivienda, Madrid, 126 pp.

Décret n° 2000-613 du 3 juillet 2000 relatif à la protection des acquéreurs et propriétaires d'immeubles contre les termites.

LOI n° 99-471 du 8 juin 1999 tendant à protéger les acquéreurs et propriétaires d'immeubles contre les termites et autres insectes xylophages.

prEN 335:2012. Durability of wood and wood based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood based panels.

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.

UNE-EN 460:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Guía de especificaciones de durabilidad natural de la madera para su utilización según las clases de riesgo.



7. Tipos de protección frente a agentes bióticos

7.1 INTRODUCCIÓN

Cuando se requiera realizar un tratamiento protector de la madera, su eficacia se establece en función de los requisitos de penetración y retención del producto protector.

La penetración se define como la profundidad mínima que deben alcanzar en la madera las sustancias activas del producto protector. La norma UNE-EN 351-1 define seis clases de penetración recogidas en la siguiente tabla.

| Clase | Requisitos | Observaciones |
|-------|--|--|
| NP1 | Ninguno | |
| NP2 | Al menos 3 mm en las caras laterales en la albura | |
| NP3 | Al menos 6 mm en las caras laterales en la albura | |
| NP4 | Al menos 25 mm en las caras laterales | Se aplicaría sólo a la madera en rollo de especies no impregnables |
| NP5 | Penetración total en la albura | |
| NP6 | Penetración total en la albura y, al menos, 6 mm en la madera de duramen expuesta. | |

Tabla 13. Clases de penetración

La retención es la cantidad de producto protector que debe retener la madera. Se expresa en gramos de producto por metro cuadrado, para los tratamientos superficiales y, en kilogramos de producto por metro cúbico, para los procedimientos de inmersión o autoclave. Esta cantidad se corresponde con el valor crítico obtenido mediante ensayos biológicos, frente a los distintos xilófagos, realizados según la norma UNE-EN 599-1 para una clase de uso determinada.

En el caso de los elementos estructurales de madera aserrada o de elementos encolados de madera (madera laminada encolada, dúos, tríos, etc.), el Documento Básico de Seguridad Estructural - Madera del Código Técnico de la Edificación (CTE) establece un sistema simplificado que define la penetración requerida para su empleo en cada clase de uso.

La penetración puede relacionarse con el método de tratamiento (pínelado, autoclave, etc.) y el tipo de producto a aplicar (protector decorativo, sal hidrosoluble, etc.), aspectos en los que se profundiza en otro apartado. De esta forma, una vez definida la especie de madera, la clase de uso y la penetración requerida, la empresa que realice el tratamiento especificará la retención necesaria en función de los ensayos de eficacia del producto concreto empleado.

El CTE no incluye valores sobre la retención requerida para proteger la madera en las distintas clases de uso. Dada la variedad de productos existentes y su rápida evolución, se ha propuesto desarrollar normas UNE que incluyan estos valores tanto para productos estructurales de madera, como para otras aplicaciones como elementos de carpintería o usos agrícolas. Previsiblemente, en el futuro, el CTE hará referencia a estas normas, que pueden modificarse con agilidad cuando sea necesario.

Dentro de una misma clase de uso, los valores de retención pueden variar según los riesgos particulares existentes en cada localización geográfica. Así, la retención requerida por un poste de madera que esté en contacto con el suelo puede ser diferente en España y en los países nórdicos donde no existen termitas subterráneas.

En España, el registro de plaguicidas de uso ambiental y en la industria alimentaria de la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad presenta, para cada protector, información sobre su composición, los ensayos de eficacia realizados por el fabricante y las clases de uso en que puede ser usado. El registro, sin embargo, no incluye los valores de retención, por lo que será necesario acudir a los informes de eficacia aportados por cada fabricante, que el registro español considera válidos para su empleo en nuestro país.

Adicionalmente, puede consultarse el registro de la marca de calidad que concede en Francia, el Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-Construction Ameublement (FCBA). En Francia están presentes los mismos organismos xilófagos que en España, por lo que los valores de retención para los distintos productos protectores pueden asimilarse a los necesarios en nuestro país. Estos valores son públicos y pueden consultarse en www.ctbplus.fr

Dentro de la clase de uso 4, el FCBA distingue una clase de retención denominada 4SP asociada a aquellos tratamientos que garanticen una durabilidad igual o superior a 25 años.

7.2 ELECCIÓN DEL TIPO DE PROTECCIÓN FRENTE A AGENTES BIÓTICOS

Los elementos estructurales de madera deben estar protegidos de acuerdo con la clase de uso en la que se instalen, bien mediante la propia durabilidad natural de la especie de madera seleccionada (UNE-EN 350-2) o bien a través de la durabilidad conferida mediante un tratamiento protector.

Cuando sea necesario realizar un tratamiento protector, la tabla 14 indica el tipo de protección exigido por el CTE para los elementos estructurales de madera, en función de la clase de uso.

| Clase de uso | | Nivel de penetración | Observaciones | |
|--------------|-----|-------------------------|--|---|
| INTERIOR | 1 | NP1 ⁽¹⁾ | Sin exigencias específicas | Todas las caras deben haber sido tratadas |
| | 2 | NP1 ^{(2), (3)} | Sin exigencias específicas | Todas las caras deben haber sido tratadas |
| EXTERIOR | 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 | |
| | 4 | NP4 | Al menos 25 mm en las caras laterales | Sólo se aplica a la madera en rollo de especies no impregnables |
| | | NP5 | 100% albura | |
| MARINO | 5 | NP6 ⁽⁴⁾ | 100% albura y, al menos, 6 mm en la zona 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 de uso 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 de uso 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 350-2).

Tabla 14. Elección del tipo de protección

Se realizan algunos comentarios sobre el contenido de la tabla 14.

El CTE no considera obligatorio la protección de un elemento estructural en una clase de uso 1, si bien recomienda la aplicación de un tratamiento superficial con un producto insecticida. Esta recomendación conlleva que, en condiciones normales de obra nueva, la probabilidad de ataques es muy reducida si no se producen circunstancias especiales como la existencia de ataques previos (caso que se contempla de forma separada) o el aporte de madera infestada.

Otros países realizan propuestas similares. Por ejemplo, en Alemania, la norma DIN 68800-3 define diversas situaciones en las que la madera estructural empleada en una clase de uso 1, no requiere ningún tratamiento protector.

Una de ellas se aplica a aquellos elementos en los que la albura no suponga un 10% del volumen de la pieza, por lo que su degradación no conllevaría un problema estructural. En otro caso, la madera se instala de forma que su superficie queda visible y accesible por tres de sus caras, de forma que, en caso de producirse algún ataque, sea posible detectarlo e intervenir en su etapa inicial.

En la clase de uso 2, es conveniente distinguir si el elemento estructural está formado por madera maciza o por elementos encolados como la madera laminada, con un comportamiento más estable. En el caso de emplear madera maciza, se recomienda elevar el nivel de penetración hasta una clase NP2, debido al mayor riesgo de aparición de fendas de secado, casi inevitable si elaboramos, por ejemplo, una estructura de cubierta empleando vigas enterizas o madera aserrada de gran escuadría.

Con los climas continentales habituales en España, es inevitable la aparición de fendas sobre las superficies horizontales de madera, situadas en una clase de uso 3.2, que retengan el agua de lluvia. Estas fendas pueden profundizar en el interior del elemento de madera más allá de los 6 mm de protección especificados por el CTE (NP3), alcanzando zonas sin producto protector donde se acumulará el agua de las futuras precipitaciones, propiciando así un ambiente favorable para el desarrollo de los hongos de pudrición.

Por ello, en estas situaciones, la norma prEN 335 recomienda considerar en una clase de uso 4 la situación de los elementos que, sin estar en contacto directo con la tierra o con agua dulce, acumulan agua de forma continuada.

También es recomendable asignar una clase de uso superior cuando los elementos de madera sean de difícil acceso, o cuando las consecuencias de su rotura fueran especialmente graves. En estos casos, es más adecuado utilizar una madera más durable o aplicar un tratamiento protector más riguroso del que normalmente se emplearía para la clase de uso en cuestión.



Dentro de la clase de uso 4, el CTE contempla la posibilidad de tratar rollizos de madera de especies no impregnables, siempre que se alcance una penetración de, al menos, 25 mm en las caras laterales (NP4). En la práctica, debe evitarse esta situación empleando rollizos elaborados con especies impregnables tratados en profundidad (NP5).

Asimismo, en el caso de elementos estructurales de madera en contacto con el suelo, es posible matizar las recomendaciones del CTE en función de la durabilidad natural de la madera seleccionada.

Como referencia, la normativa australiana (AS 1604.1) distingue dos situaciones:

Si se emplea una especie de madera con una durabilidad natural de la clase 1 (muy durable) o 2 (durable), se considera suficiente alcanzar un nivel de penetración NP5 (100% de la albura tratada).

Cuando se emplea una especie de madera con una durabilidad natural de la clase 3 (medianamente durable) o 4 (poco durable), el producto protector deberá alcanzar una penetración mínima de 20 mm en todas las caras de la pieza de madera aserrada o del rollizo.

Adicionalmente, en el caso de la madera aserrada elaborada con especies cuya durabilidad natural sea de la clase 3 o 4, se permite la presencia de duramen no tratado siempre que no suponga un 20% de la sección transversal de la pieza, no ocupe más del 50% de las superficies sobre las que se manifiesta y no profundice en más de un 50% desde una de las caras a la contraria.

A su vez, el CTE establece varias consideraciones a esta propuesta general que se comentan a continuación:

7.2.1 Precauciones durante el transporte, manipulación y montaje

Durante el transporte, manipulación y montaje de los elementos estructurales de madera, éstos no deberán quedar expuestos a una clase de uso superior a la prevista en sus condiciones de servicio finales. Si esto no fuese posible deberá proporcionarse una protección adicional que cubra el riesgo existente.



7.2.2 Empleo de especies difícilmente impregnables

Algunas especies de coníferas frecuentemente utilizadas en construcción como la píceo o abeto rojo (*Picea abies*), el cedro rojo (*Thuja plicata*) y, en menor medida, el abeto blanco (*Abies alba*), son difícilmente impregnables (salvo con procedimientos especiales). En estos casos, el fabricante garantizará que la especie a tratar es compatible con el tratamiento en profundidad.

De las tres especies citadas por el CTE, la píceo o abeto rojo (*Picea abies*) es la que presenta un comportamiento más crítico. Su albura no se distingue claramente del duramen y está clasificada como poco impregnable. Por su parte, el duramen no es impregnable y está clasificado como no durable frente a los hongos xilófagos, las termitas, y también frente a los anóbidos y cerambícidos.

En otros países europeos, es habitual emplear madera de píceo en aplicaciones situadas en una clase de uso 3.1, como una fachada de madera bien ventilada y en disposición vertical. Estos casos demuestran que, con un diseño constructivo adecuado, la reducida impregnabilidad de la madera de píceo permite su uso en situaciones de humidificaciones intermitentes que debe considerarse su límite razonable de empleo.

En España, por el contrario, existen numerosos ejemplos de degradación prematura de elementos estructurales elaborados con madera de abeto rojo y situados en una clase de uso 3.2 (al exterior, por encima del suelo, no protegido). Si bien es cierto que muchos de estos elementos fueron instalados con un tratamiento superficial, sin recibir nunca un mantenimiento posterior del acabado aplicado, el comportamiento observado constituye una clara advertencia sobre las limitaciones de empleo del abeto rojo en nuestras condiciones climáticas.





En la práctica, dichas especies no deben emplearse en clases de uso que requieran un nivel de penetración elevado (NP3 y superiores) y para los que el CTE señala que deben usarse especies impregnables.

Si se desea alcanzar un tipo de penetración NP5, deben emplearse coníferas, cuya albura sea impregnable, como los pinos marítimo (*Pinus pinaster*), silvestre (*Pinus sylvestris*), radiata (*Pinus radiata*), etc. En el anejo C puede consultarse una selección de coníferas incluyendo su durabilidad natural, su impregnabilidad y el tamaño de su albura, según la norma UNE-EN 350-2.

7.2.3 Protección de piezas de madera laminada encolada

En el caso de proteger un elemento de madera laminada encolada para su empleo en una clase de uso 2, el tratamiento se realizará sobre la pieza terminada, después de las operaciones de mecanizado, para evitar que puedan quedar expuestas partes de la madera que no hayan recibido producto protector.

En el caso de protección para una clase de uso 3.1, el tratamiento protector podrá realizarse sobre la pieza terminada o sobre las láminas, previamente a su encolado.

En el caso de protección para una clase de uso 3.2 o 4, el tratamiento protector se realizará sobre las láminas previamente a su encolado. El fabricante deberá comprobar que el producto protector es compatible con el encolado, especialmente cuando se trate de protectores orgánicos. Una forma de comprobar la compatibilidad entre el producto protector y la línea de adhesivo es someter a la pieza de madera laminada, una vez tratada con el producto protector, a un ensayo de integridad de las líneas de adhesivo conforme a la norma UNE-EN 391.

En los últimos años, se importa desde España un volumen creciente de elementos de madera encolada de coníferas para uso estructural (madera laminada encolada, dúos, tríos, etc.). A menudo, estos elementos son exportados sin recibir ningún tratamiento al desconocerse su destino final. Con las especificaciones del CTE, una vez en España, podrían recibir un tratamiento adicional que permitiría su empleo hasta en una clase de uso 3.1.

7.2.4 Rehabilitación estructural

En las obras de rehabilitación estructural en las que se hubieran detectado ataques previos por agentes xilófagos, se deberán incrementar los niveles de protección correspondientes a las clases de uso normales en una categoría. En estos casos se aplicará como mínimo:

A los nuevos elementos que se integren en la obra y que no posean una durabilidad natural suficiente para resistir los ataques detectados: al menos tratamiento superficial (NP2) de carácter insecticida y fungicida en función de las patologías observadas. En los casos en que se haya detectado ataques previos por termitas, el tratamiento deberá ser en profundidad (NP5), garantizándose que las cabezas de las vigas queden totalmente tratadas en una longitud de 50 cm. Además, si durante el proceso de colocación de la madera se realizase un retestado de la madera ya tratada, deberá aplicarse *in situ* un tratamiento superficial en las testas (NP2), con un producto protector al menos con carácter insecticida.

Dado que el nido principal de las termitas subterráneas se localiza en el suelo, los tratamientos de determinados elementos estructurales no garantizan nunca la eliminación de la colonia, que puede proseguir su actividad en las proximidades de los elementos tratados. Por ello, en el caso de un ataque por termitas, debe valorarse la conveniencia del empleo adicional de tratamientos de barrera, destinados a proteger el conjunto del edificio, o de tratamientos mediante sistemas de cebos destinados a erradicar la colonia.

En el caso de los elementos estructurales existentes, los tratamientos curativos de ataques activos de hongos de pudrición y termitas se realizarán mediante la inyección en profundidad (al menos NP5) de producto protector, para poder impregnar adecuadamente la zona de duramen.

Con independencia de las especificaciones del CTE, dada la diversidad de situaciones posibles, es importante disponer de un diagnóstico profesional que identifique los agentes causantes del daño, la integridad estructural de los elementos afectados y el tratamiento requerido.



En ocasiones, la presencia de ataques puede pasar desapercibida para el personal no especializado, lo que sucede a menudo con las termitas subterráneas. En otros casos, como puede ocurrir con los hongos de pudrición, los ataques pueden ser muy localizados y encontrarse ya inactivos, al haber sido originados por infiltraciones puntuales de humedad producidas en el pasado.

En un capítulo posterior, se describen los tratamientos curativos más habituales en España.

7.3 TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA MADERA

A diferencia de los productos de madera sólida, en el caso de los tableros derivados de la madera no existe normativa europea que especifique sus necesidades de tratamiento.

El CTE se limita a señalar que, en el caso de emplear tableros estructurales, se tendrán en cuenta las especificaciones recogidas en las respectivas normas de producto, para su empleo en las distintas clases de servicio. Estas especificaciones establecen las exigencias que debe cumplir el encolado para emplear un tablero estructural en una clase de servicio 1,2 y 3.

Por ello, los tableros estructurales deben asignarse a una de las tres clases de servicio definidas a continuación, en función de las condiciones ambientales previstas.

En la clase de servicio 1, el contenido de humedad de los tableros no supera el que resultaría de su exposición a una temperatura del aire de 20°C y una humedad relativa que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año. En esta clase se encuentran, en general, los tableros estructurales de madera expuestos a un ambiente interior.

La clase de servicio 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 solo exceda el 85% unas pocas semanas al año. Estas condiciones son muy similares a las de la clase de uso 2 y comprenden, en general, los tableros instalados cerca de cocinas, baños, falsos techos, armaduras, base de cubiertas de piscinas, etc.

La clase de servicio 3 se caracteriza por unas condiciones climáticas que conducen a unos contenidos de humedad, superiores a los de la clase de servicio 2. En esta clase se encuentran, en general, los tableros de madera expuestos a un ambiente exterior sin cubrir.

En la tabla 15 se indican los tipos de tableros estructurales con una calidad de encolado apta para su empleo en las distintas clases de servicio. El detalle de las propiedades y especificaciones de cada tipo de tablero puede consultarse en otras publicaciones (Arriaga *et al.*, 2009).

| Tablero | Norma | Tipo | Clase de servicio |
|-----------------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| Madera maciza | 1UNE-EN-12775 | SWP1 | 1 |
| | | SWP2 | 2 |
| | | SWP3 | 3 |
| Tablero Contrachapado | UNE-EN-636 | Clase 1 (seco) | 1 |
| | | Clase 2 (húmedo) | 2 |
| | | Clase 3 (exterior) | 3 |
| Virutas orientadas (OSB) | UNE-EN-300 | OSB/2 | 1 |
| | | OSB/3 | 2 |
| | | OSB/4 | 3 |
| Partículas | UNE-EN 312 | P4 | 1 |
| | | P5 | 2 |
| | | P6 (alta prestación) | 1 |
| | | P7 (alta prestación) | 2 |
| Madera cemento | UNE-EN 634-2 | 1 | 1,2,3 |
| | | 2 | 1,2,3 |
| Fibras media densidad (MDF) | UNE-EN 622-5 | MDF.LA | 1 |
| | | MDF.HLS | 2 |
| Fibras semiduros | UNE-EN 622-3 | MBH.LA1 y 2 | 1 |
| | | MBH.HLS1 y 2 | 2 |
| Fibras duros | UNE-EN 622-2 | HB.LA | 1 |
| | | HB.HLA1 y 2 | 2 |

Tabla 15. Tipos de tableros estructurales aptos para su empleo en las distintas clases de servicios

En cuanto a su durabilidad, la norma UNE-EN 335-3 profundiza en las particularidades de los distintos tableros.

En el caso de los tableros madera-cemento, debido a su composición, el riesgo de ataque por organismos xilófagos es insignificante en todas las clases de uso.

Asimismo, como consecuencia de la estructura específica de los tableros de fibras, de partículas y de virutas orientadas (OSB), no hay riesgo de ataque por insectos xilófagos, con excepción de las termitas.

Los tableros contrachapados pueden ser atacados por insectos xilófagos aunque la probabilidad de ataque está relacionada con el espesor y la durabilidad de la especie de madera empleada para elaborar las chapas. La norma experimental ENV 1099 incluye un anexo informativo sobre los factores específicos relacionados con la durabilidad biológica del

tablero contrachapado y algunos países disponen de normativa para usos concretos como es el caso de la norma BS 1088-1 y las aplicaciones en ambiente marino.

La norma UNE-EN 335-3 indica que actualmente no se fabrican tableros de partículas, de fibras o de virutas orientadas (OSB), adecuados para su utilización en una clase de uso 4 y 5. El empleo de otros tableros en estas condiciones queda supeditado a que sus propiedades intrínsecas o adquiridas sean las adecuadas.

Cuando sea necesario, es posible añadir aditivos de carácter insecticida y/o fungicida. En los tableros de partículas, de fibras de densidad media y OSB, normalmente se añade el producto protector al adhesivo antes de proceder al encolado de sus componentes. En los tableros contrachapados se pueden tratar previamente las chapas de madera (normalmente por inmersión), incorporar el protector al adhesivo o tratar el conjunto del tablero una vez montado (Peraza *et al.*, 2004).

Con independencia de lo anterior, los tableros estructurales de madera son productos con un elevado desarrollo tecnológico y suelen suministrarse con instrucciones detalladas de montaje, durabilidad y mantenimiento.

Actualmente, se están produciendo desarrollos tecnológicos que la normativa tardará años en poder recoger. Es el caso, por ejemplo, del tablero de fibras de densidad media modificado mediante la acetilación de las fibras que lo componen y que puede emplearse en una clase de servicio 3.

En el capítulo 11 se exponen diversos ejemplos de usos de tableros en distintas situaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Arriaga, F., Esteban, M., Íñiguez, G. (2009). Guía de la madera. Productos de madera para la construcción. Documento de aplicación del CTE. Confemadera, Madrid, 84 pp.

Peraza, F., Arriaga, F., Peraza, J.E. (2004). Tableros de madera de uso estructural. AITIM, Madrid. 276 pp.

NORMATIVA

AS 1604.1-2005. Specification for preservative treatment. Part 1: Sawn and round timber.

BS 1088-1: 2003. Marine plywood. Requirements.

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Seguridad Estructural. Estructuras de Madera (2009). Ministerio de Vivienda, Madrid, 126 pp.

DD ENV 1099:1998: Plywood - Biological durability. Guidance for the assessment of plywood for use in different hazard classes.

DIN 68800-3: 1990. Protection of timber; preventive chemical protection.

prEN 335:2012. Durability of wood and wood based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood based panels.

UNE-EN 335-3:1996. Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 3: Aplicación a los tableros derivados de la madera.

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.

UNE-EN 351-1:2008. 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.

UNE-EN 391:2002. Madera laminada encolada. Ensayo de delaminación de líneas de adhesivo.

UNE-EN 599-1:2010 Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Eficacia de los protectores de la madera determinada mediante ensayos biológicos. Parte 1: Especificaciones para las distintas clases de uso.



8. Protección frente a los agentes meteorológicos

8.1 INTRODUCCIÓN

Los agentes meteorológicos con una mayor incidencia sobre la madera son la radiación solar y el agua de lluvia, cuya acción combinada también produce un fenómeno de erosión superficial de la madera denominado meteorización.

Otros efectos de la exposición de la madera a la intemperie pueden ser la aparición de mohos, de manchas en maderas que contengan extractos y posibles corrosiones si la madera está en contacto con elementos metálicos.

En este apartado se resumen los principales efectos de los agentes meteorológicos sobre la madera, así como las opciones de protección existentes.

8.2 PRINCIPALES AGENTES METEOROLÓGICOS

8.2.1 Los efectos de la radiación solar

La radiación solar afecta a la madera, fundamentalmente, a través de los rayos ultravioleta e infrarrojos.

La radiación ultravioleta actúa sobre la superficie de la madera expuesta al exterior sin protección. Su efecto provoca una degradación de las moléculas de lignina originando el agrisamiento característico de la madera. El compuesto resultante de la degradación es soluble en agua, por lo que la lluvia puede arrastrarlo y alterar progresivamente el color de la madera.

La radiación ultravioleta también produce una degradación progresiva de las resinas de los productos de acabado, especialmente de los que no incorporan pigmentos.

En España, la incidencia de la radiación solar es elevada por lo que un elemento de madera expuesto a la intemperie sin protección presentará un rápido agrisamiento superficial, siendo más intenso en las orientaciones sur, suroeste y oeste.

Las medidas de diseño constructivo que permitan disminuir la exposición al sol de la madera, contribuirán a mantener durante más tiempo su aspecto original e incrementarán la durabilidad de un acabado decorativo.

El agrisamiento no supone un problema estructural o de durabilidad de la madera sino, sobre todo, de índole estética. En países del centro de Europa es frecuente propiciar un agrisado homogéneo en obras de madera al exterior como las fachadas.

Si se desea producir un envejecimiento homogéneo, deberá procurarse que los distintos tramos que forman la superficie de la fachada estén expuestos a volúmenes de agua similares, introduciendo por ejemplo líneas de vierteaguas que limiten el aporte de agua que escurre desde los paños superiores de la fachada. Asimismo, el diseño constructivo de la fachada debe facilitar la ventilación y el secado de las superficies expuestas. Este último aspecto es importante para limitar el posible desarrollo de mohos.

Por su parte, el principal efecto de la radiación infrarroja es calentar la superficie de la madera. Este hecho, en combinación con la exposición al agua de lluvia, genera fenómenos de hinchazón y merma que pueden ocasionar deformaciones y fendas en la madera, y tensiones en los recubrimientos decorativos que formen una película.

Otra consecuencia de la radiación infrarroja es la posibilidad de producir exudaciones de resina en la superficie de algunas especies de madera.

Este efecto se acentúa al utilizar acabados oscuros sobre la madera, que incrementan la absorción infrarroja. Como referencia, la norma UNE EN-927-1 señala que la temperatura superficial de un sistema de recubrimiento negro u oscuro, de exposición directa al sol, puede alcanzar 80°C frente a los 40°C que alcanzaría un recubrimiento blanco equivalente (a partir de los 65° se inicia la exudación de las resinas contenidas en las coníferas).

8.2.2 La meteorización de la madera

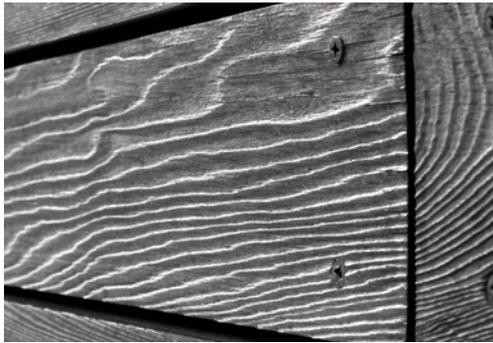
La acción combinada del sol y del agua, junto con otros factores como la presencia de nieve, hielo y viento, producen una erosión de la superficie de la madera que resalta su vetado al degradar de forma más acusada a la madera de primavera de cada anillo de crecimiento.





La meteorización es un proceso natural que se produce muy lentamente habiéndose estimado un valor medio de pérdida de madera próximo a los 6 mm por siglo (Williams, 1999). Se trata, por lo tanto, de un fenómeno superficial, sin incidencia estructural.

Este valor medio, suele ser más reducido en las frondosas que en las coníferas, observándose especialmente sobre los despieces tangenciales de la madera de coníferas de reducida densidad y anillos de crecimiento muy marcados, como el cedro rojo del Pacífico (*Thuya plicata*).



8.2.3 Manchas debidas a la presencia de extractos

La madera contiene diversas sustancias químicas que debido a su movilidad en solventes son conocidas como extractos. Normalmente, estas sustancias se concentran en el duramen contribuyendo a que su coloración sea más oscura que la de la albura.

Algunos extractos, como los taninos, poseen sustancias colorantes solubles en agua. Por este motivo, si se emplean maderas ricas en taninos, en presencia de humedad y por fenómenos de oxidación en contacto con el aire, pueden originar manchas oscuras sobre la superficie de la madera.

Las maderas ricas en taninos poseen porcentajes de estos extractos que, a menudo, varían entre el 6% y el 10%, pudiendo llegar a superar el 15%. Entre las maderas con un elevado contenido de taninos habituales en España se encuentran el roble (*Quercus* spp.), el castaño (*Castanea sativa*), el cedro rojo del Pacífico (*Thuya plicata*), el pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) y especies tropicales como el iroko (*Milicia* spp.), la teca (*Tectona grandis*), el doussie (*Azelia* spp.), el merbau (*Intsia bijuga*), etc (Martín-Diéguéz, 1997).

En ocasiones, la aparición de manchas debidas a los taninos se produce de forma irregular originando un problema de índole estética. Así, si en una fachada existen zonas protegidas frente a la acción del agua de lluvia (debido al vuelo de una cubierta, etc.), las manchas permanecerán más tiempo en dichas zonas, contrastando con las áreas más expuestas, donde el agua de lluvia las habrá lavado con rapidez.



También es posible que el lixiviado de los taninos produzca la aparición de manchas en otros materiales de albañilería, mampostería, enlucidos, etc.

La aparición de estas manchas puede evitarse por medio de un diseño constructivo adecuado y/o empleando sustancias bloqueadoras que reaccionan con las soluciones tánicas, formando nuevos compuestos incoloros, que no alteran la tonalidad de la madera ni la de su acabado (Martín-Diéguéz, 1997).

Generalmente, las manchas debidas a extractos pueden limpiarse empleando lejía diluida o productos detergentes. La limpieza será tanto más difícil cuanto más tiempo hayan permanecido las manchas sobre la superficie de la madera. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que este tipo de limpieza constituye una solución temporal, ya que mientras continúen existiendo extractos en el interior de la madera, y se mantengan las condiciones de exposición, volverán a manifestarse las manchas (TRADA, 2008).

Otra forma de limpieza, probada con éxito en especies como el cedro rojo del Pacífico, consiste en emplear una lanza de agua a presión cuya distancia deberá regularse en función de la dureza de la especie de madera. Este método logrará limpiar las manchas debidas a extractos existentes sobre la superficie de madera, si bien, al igual que en el caso anterior, no será una solución definitiva mientras continúen existiendo extractos en el interior de la madera.





8.2.4 Interacción con elementos metálicos

Uno de los principales compuestos químicos de la madera con capacidad para producir fenómenos de corrosión con los metales es el ácido acético, y el pH de cada especie de madera puede considerarse un indicador indirecto de su potencial corrosivo.

Como regla general, las maderas con un pH inferior a 4, como el roble (*Quercus* spp.), el castaño (*Castanea sativa*), el cedro rojo del Pacífico (*Thuja plicata*) o el pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*), pueden generar fenómenos de corrosión en contacto con algunos metales. Esta posibilidad disminuye considerablemente en las especies de madera cuyo pH es superior a 5 (NPL, 2005).

La corrosión es, en esencia, un proceso de oxidación que requiere la presencia de oxígeno y, sobre todo, de humedad sobre la superficie del metal por lo que el riesgo de corrosión de un elemento estructural de madera aumentará considerablemente cuando su contenido de humedad supere el 20%.

Particularmente conocidas son las reacciones entre algunas especies como los robles o el cedro rojo del Pacífico y los compuestos férricos, cuando se emplean al exterior en contacto con el agua, pudiendo producir alteraciones en el color de la madera y fenómenos de corrosión en el metal. Estas reacciones pueden prevenirse fácilmente empleando elementos de acero inoxidable y evitando el contacto entre la madera y el metal, incluyendo las fases previas a la puesta en obra (TRADA, 2008).



Si se desea emplear maderas corrosivas al exterior, también se recomienda evitar el contacto con determinados metales como, por ejemplo, el zinc o el plomo (Vernay, 2006).

En caso de aparición de manchas, pueden limpiarse empleando productos como el ácido oxálico, que reacciona con el complejo existente haciendo que

adquiera un aspecto incoloro. Posteriormente debe lavarse la superficie de la madera para retirar el exceso de ácido (Williams y Knaebe, 2002; Williams, 1999). La aplicación de estos productos debe realizarse con prudencia y siguiendo las instrucciones del fabricante. Si tras realizar el tratamiento continúa existiendo hierro en contacto con la madera, las manchas volverán a producirse.

Las principales especies de madera estructural empleadas en España son coníferas como el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) o la picea (*Picea abies*) que no suelen presentar problemas de corrosión con los herrajes habitualmente empleados.

Si se emplea madera tratada con un producto protector como las sales hidrosolubles, deberá comprobarse la compatibilidad entre el producto y los elementos metálicos para evitar la posible aparición de fenómenos de corrosión (Zelinka y Rammer, 2007; Baker, 1980,1992; Borrallo, 2007). Normalmente, las empresas que realizan este tipo de tratamientos proporcionan información sobre estos aspectos en sus fichas de producto.

8.3 PRODUCTOS PROTECTORES FRENTE A LOS AGENTES METEOROLÓGICOS

8.3.1 Principales productos de acabado

Un protector decorativo de la madera al exterior debe permitir la regulación de la humedad del soporte, adaptarse a sus cambios dimensionales y proteger la superficie de la madera frente a la fotodegradación.

Para que el soporte (madera) pueda regular su contenido de humedad, el protector puede impregnarlo o formar una película permeable al vapor de agua. De manera análoga, para adaptarse a los cambios dimensionales que tendrán lugar en el soporte como consecuencia de la variación de su contenido de humedad, es posible impregnar la superficie de la madera o bien recubrirla con una película de elevada elasticidad.

Por último, si se desea proteger a la madera frente a la fotodegradación, el acabado debe incorporar pigmentos resistentes a la radiación ultravioleta.

Los acabados de exterior pueden incorporar otros agentes que mejoren la repelencia al agua líquida, biocidas específicos para mohos, filtros de ultravioleta,



etc. Asimismo, la incorporación de nuevos productos basados en la nanotecnología permite mejorar su penetración en la madera y disponer de superficies de acabado con características especiales (hidrófobas, autolimpiantes, etc.).

La variedad y la rápida evolución que experimentan los productos comerciales dificultan englobar algunos acabados dentro de una categoría estricta. Las definiciones normalizadas se encuentran en la norma UNE EN-927-1 que también propone un sistema de clasificación en función del empleo, aspecto (descrito en función del espesor de la película, poder cubriente y del grado de brillo) y condiciones de exposición requeridas.

Las distintas partes de la norma UNE EN 927 establecen las condiciones de ensayo que permiten evaluar y comparar las propiedades de las distintas opciones de recubrimiento para madera al exterior, desde el envejecimiento natural (UNE EN-927-3), hasta la permeabilidad al agua líquida (UNE EN-927-5).

A continuación se describen, de forma general, las principales opciones de acabados de exterior. Para facilitar una secuencia lógica se ha decidido clasificarlos en función del espesor de película seca.

8.3.1.1 Aceites y saturadores de madera

Ambos productos impregnan la capa superficial de la madera mejorando, sobre todo, su estabilidad dimensional y su aspecto estético.

La mayor parte de los aceites tienen un origen vegetal extrayéndose fundamentalmente del prensado de semillas (aceite de linaza, aceite de tung) o de una amplia gama de resinas naturales. Hoy en día se comercializan tanto aceites naturales como aceites sintéticos, a los que es posible añadir una ligera pigmentación para mejorar su resistencia a la fotodegradación. Su principal efecto es mejorar la estabilidad dimensional de la madera y resaltar su estética.

Los saturadores son similares a los aceites, aunque incorporan resinas y pigmentos que permiten mejorar la protección frente a la radiación ultravioleta y prolongar el mantenimiento. Los saturadores forman una película delgada que no suele superar un espesor seco de 15 micras.

Tanto los aceites como los saturadores se emplean en aplicaciones como mobiliario de jardín o entarimados de exterior, sometidos a un desgaste elevado y donde no pueden evitarse las acumulaciones de agua. En estas condiciones, la película de un acabado filmógeno se rompería con facilidad al no poder soportar tales exigencias.

La renovación de ambos productos es sencilla y se limita a aplicar una nueva mano de acabado, pero su mantenimiento es elevado. En un entarimado de exterior, por ejemplo, los aceites suelen renovarse cada seis meses y, a lo sumo, cada año. En el caso de los saturadores los periodos de mantenimiento oscilan entre 1 y, a lo sumo, dos años en función de las condiciones de exposición.

Pueden emplearse en otras aplicaciones como fachadas de exterior pero sus necesidades de mantenimiento hacen que, a menudo, se sustituyan por otros productos.

8.3.1.2 Lasures

Estos productos, conocidos comercialmente como protectores decorativos de la madera, se caracterizan por no formar una película (o una película de espesor reducido) sobre la superficie de la madera. Son acabados a poro abierto que permiten el intercambio de vapor de agua entre la madera y el medioambiente.

Su degradación se produce por erosión por lo que su mantenimiento posterior es sencillo y no requiere proceder al lijado de antiguas capas degradadas, como ocurre en el caso de los barnices y pinturas tradicionales.

Los lasures incluyen pigmentos que proporcionan protección frente a la incidencia de la radiación ultravioleta. En su composición también pueden incluir principios activos fungicidas e insecticidas, y sustancias hidrofugantes que permiten dotar a la madera de un cierto carácter hidrófugo frente al agua líquida.

Muchos fabricantes producen lasures que no contienen biocidas (insecticidas y/o fungicidas). En estos casos, si se requiere dotar a la madera de protección, se emplea como primera mano un fondo que incorpora los biocidas y, posteriormente, se aplican las manos de lasur decorativo.



8.3.1.3 Acabados filmógenos translucidos

Los acabados filmógenos forman una película sobre la superficie de la madera que suele alcanzar un espesor mínimo de 30 micras. La película de los acabados filmógenos aptos para exterior se caracteriza por su elevada elasticidad y permeabilidad al vapor de agua.

Los acabados filmógenos translucidos permiten apreciar la veta de la madera, si bien incorporan pigmentos resistentes a la radiación ultravioleta. Dependiendo de factores como el tipo de soporte, el clima o el diseño constructivo, la película de acabado suele alcanzar espesores secos de entre 40 y 80 micras.

La eficacia de estos productos se basa en lograr una película de espesor homogéneo, que proteja la superficie de madera de la incidencia de la radiación solar y el agua líquida. Para ello, es esencial incorporar medidas de diseño constructivo que eviten, por ejemplo, la presencia de aristas rectas donde el espesor de la película de acabado disminuiría considerablemente.

Un diseño constructivo adecuado ejercerá una gran influencia en el periodo de mantenimiento ya que la durabilidad de la película de acabado será mucho mayor sobre una exposición vertical que sobre una horizontal donde se produzcan retenciones de agua de lluvia.

La denominación comercial de los acabados filmógenos es confusa y varía según cada fabricante. En ocasiones se comercializan como barnices de intemperie aunque, a diferencia de los barnices tradicionales que pueden formar una película transparente, los acabados filmógenos incorporan pigmentos. También reciben la denominación de acabados de alto contenido en sólidos o lasures de capa gruesa.

8.3.1.4 Acabados filmógenos opacos

Los acabados filmógenos opacos ocultan la veta de la madera. Dependiendo de factores como el tipo de soporte, el clima o el diseño constructivo, la película de acabado puede llegar a alcanzar espesores secos de hasta 120 micras en elementos de carpintería con diseños estables como las ventanas.

La principal ventaja de los acabados opacos es su riqueza en pigmentos y cargas minerales que protegen la madera frente a la fotodegradación y, en consecuencia, proporcionan una mayor durabilidad de la película que forma el revestimiento. Son los pro-

ductos que permiten alcanzar periodos de mantenimiento más prolongados.

Al igual que en el caso de los acabados filmógenos translúcidos, su correcta aplicación requiere medidas de diseño constructivo (redondeo de cantos, pendientes adecuadas, etc) que permita disponer de una película de espesor homogéneo que se degrade por erosión, de forma uniforme en las distintas partes expuestas.

La renovación de los acabados filmógenos, requiere realizar una limpieza y un lijado somero de la superficie de la película (para mejorar su adherencia), antes de aplicar las nuevas manos de acabado.

En todo caso, es importante seguir las recomendaciones del fabricante para evitar la degradación prematura de la película de acabado. Básicamente, estas recomendaciones consisten en realizar limpiezas periódicas de la suciedad que se pueda haber acumulado en la superficie de la película (contaminantes industriales, excrementos de aves, depósitos de salitre, etc.) y que, podría degradarla químicamente.

8.3.2 Estimación del periodo de mantenimiento

La norma UNE EN-927-1 señala que los periodos de mantenimiento para los recubrimientos opacos son más largos que para sistemas transparentes (translúcidos en aplicaciones de exterior), y este hecho debe ser asumido, a no ser que ensayos de comportamiento demuestren lo contrario.

También hace referencia a la gran influencia ejercida por el diseño constructivo en la duración del acabado. En este sentido, el incremento del ángulo de exposición del elemento de madera, desde la horizontal hasta la vertical, reduce fuertemente la intensidad del deterioro.

Como rangos generales de renovación pueden establecerse intervalos de entre 2 a 4 años para los lasures y de entre 4 a 10 años para los acabados filmógenos.

En la práctica, estimar el periodo exacto de mantenimiento requerido por un protector es complejo ya que éste depende de factores tan dispares como el clima, la calidad del soporte, la orientación y, sobre todo, el diseño constructivo del proyectista.



La norma UNE EN-927-1 propone un sistema simplificado de clasificación por condiciones de exposición basado en el clima y en el grado de protección ofrecido por la construcción. El sistema establece tres clases de condiciones de exposición denominadas suave, media y severa. En una situación suave, los sistemas de recubrimiento tendrán una mayor duración y requerirán menor mantenimiento. En exposiciones más rigurosas, deben asumirse periodos más cortos entre mantenimientos o recurrir a sistemas de acabados de mayor durabilidad.

| Construcción | Clima | | |
|------------------------|----------|--------|---------|
| | Moderado | Duro | Extremo |
| Protegida | Suave | Suave | Media |
| Parcialmente protegida | Suave | Media | Severa |
| No protegida | Media | Severa | Severa |

Tabla 16. Clasificación por condiciones de exposición

Asimismo, es esencial cuidar el detalle constructivo impidiendo, por ejemplo, la existencia de superficies horizontales que acumulen agua, sellando adecuadamente las testas o evitando la presencia de aristas rectas. El cuidado del detalle constructivo se hace crítico en el caso de emplear acabados filmógenos, ya que incide directamente sobre su espesor y, en consecuencia, sobre la durabilidad de la película de acabado.

La presencia de aristas rectas en un elemento de madera al exterior produce un doble efecto. Por un lado, al romper la tensión superficial del agua favorece su acumulación sobre las superficies de madera con una pendiente reducida. Además, las aristas rectas reducen considerablemente el espesor de la película de un acabado filmógeno constituyendo, a menudo, el punto crítico que inicia su deterioro.

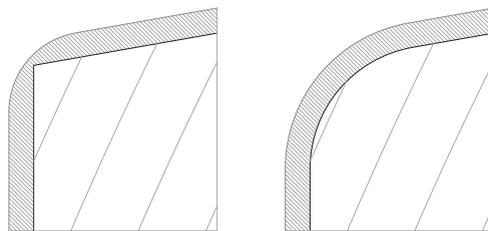


Figura 6. Efecto de una arista recta en la disminución del espesor de la película de un acabado filmógeno.

El conjunto de los factores anteriores hace posible disponer de fabricantes que ofrecen garantías de más de 10 años en carpinterías acabadas en taller con sistemas filmógenos opacos y, en el otro extremo, diseños y aplicaciones inadecuados en los que el acabado no logra soportar el primer ciclo verano invierno.

8.4 EL PLANTEAMIENTO DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

El Documento Básico de Seguridad Estructural - Madera del Código Técnico de la Edificación (CTE) considera que la mejor protección frente a los agentes meteorológicos es el diseño constructivo y especialmente las medidas que evitan o minimizan la retención de agua.

Además, señala que si la clase de uso es igual o superior a 3, los elementos estructurales deben estar protegidos frente a los agentes meteorológicos.

En elementos estructurales situados al exterior, el CTE recomienda emplear protectores superficiales que no formen una capa rígida, permitiendo el intercambio de vapor de agua entre la madera y el ambiente. En el caso de emplear productos que formen una película rígida, como las pinturas y los barnices tradicionales, deberá establecerse y seguirse un programa de mantenimiento posterior.

Lógicamente, la recomendación de establecer un plan de mantenimiento debe extenderse a cualquier proyecto en que se aplique un protector frente a los agentes meteorológicos, con independencia de que su composición y/o condiciones de aplicación permitan prolongar su periodo de renovación.

En determinadas situaciones, también podría emplearse una madera con una adecuada durabilidad natural y permitir su envejecimiento sin la adición de ningún producto protector. En estos casos, debería justificarse la decisión en el proyecto y, sobre todo, emplear un diseño constructivo que permita que el envejecimiento se produzca de manera uniforme en toda la superficie del elemento.



Normalmente el proyectista buscará conseguir un agrisado con una estética similar al de otras obras de referencia que haya visto anteriormente. Para ello, una vez seleccionada la especie de madera a emplear y el diseño constructivo, es importante revisar el proyecto desde el punto de vista de la posible aparición de mohos, manchas debidas a extractos, posibles reacciones con elementos metálicos, etc.

Asimismo, al emplear elementos estructurales de madera en determinadas situaciones dentro de las clases de uso 4 y 5, es habitual no aplicar ningún protector superficial frente a los agentes meteorológicos, dada la dificultad o imposibilidad de proceder a su mantenimiento posterior.

BIBLIOGRAFÍA

Baker, A. J. (1980). Corrosion of metal in wood products. Durability of Building Materials and Components. ASTM STP 691. P. J. Sereda and G. G. Litvan, Eds., American Society for Testing and Materials, pp 981-993.

Baker, A. J. (1992). Corrosion of nails in CCA and AAC-treated wood in two environments. Forest Products Journal, Vol 42, nº 9, pp 39-41.

Borrallo, M. (2007). Construcción en madera: influencia de los protectores de madera basados en sales hidrosolubles en la corrosión de herrajes metálicos. Informes de la Construcción, Vol 59, pp 43-49.

Martín-Diéguez, J. (1997). Los taninos y su tratamiento. Boletín de Información Técnica AITIM, 188, pp 19-22.

Martín-Diéguez, J. (1998). Extractos y exudados en el acabado de la madera. Boletín de Información Técnica AITIM, 195, pp 53-56.

National Physical Laboratory. (2005). Guides to practice in corrosion control. Corrosion of metals by wood. United Kingdom National Measurement Laboratory, London. 16 pp.

Timber Research and Development Association. (2008). Specifying timber exposed to weathering. Trada Technology Ltd, 5 pp.

Vernay, M. (2006). Durabilité des ouvrages bois. Classes d'emplois associées. Fédération de l'Industrie Bois Construction, Paris. 32 pp.

Williams, R. S. (1999). Finishing of wood. Wood handbook: wood as an engineering material. Forest Products Laboratory, USDA Forest Service, pp 15.1-15.37.

Williams, R.S., Knaebe, M. (2002). Iron stain on wood. Forest Product Laboratory, USDA Forest Service, 1 p.

Zelinka, S.L., Rammer, D.R. (2007). Corrosion Avoidance with New Wood Preservatives. Structure Magazine, March 2007.

NORMATIVA

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Seguridad Estructural. Estructuras de Madera (2009). Ministerio de Vivienda, Madrid, 126 pp.

UNE-EN 927-1:1997. Pinturas y barnices. Materiales de recubrimiento y sistemas de recubrimiento para madera exterior. Parte 1: Clasificación y selección.

UNE-EN 927-2:2007. Pinturas y barnices. Materiales y sistemas de recubrimiento para madera exterior. Parte 2: Especificación de comportamiento.

UNE-EN 927-3:2007. Pinturas y barnices. Materiales de recubrimiento y sistemas de recubrimiento para madera exterior. Parte 3: Ensayo de envejecimiento natural.

UNE-EN 927-5:2007. Pinturas y barnices. Materiales y sistemas de recubrimiento para madera exterior. Parte 5: Evaluación de la permeabilidad al agua líquida.

UNE-EN 927-6:2007. Pinturas y barnices. Materiales y sistemas de recubrimiento para madera exterior. Parte 6: Envejecimiento artificial de los recubrimientos para madera mediante la exposición a lámparas UV fluorescentes y al agua.

9. Productos protectores y sistemas de protección

9.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se exponen las principales opciones de productos protectores y sistemas de protección para elementos estructurales, tanto en obra nueva como en rehabilitación.

9.2 TRATAMIENTOS PREVENTIVOS EN OBRA NUEVA

La norma UNE 56514 establece una clasificación de los protectores biocidas de madera atendiendo a su naturaleza y la norma UNE 56416 enumera los distintos tipos de tratamientos. Esta última norma, distingue 3 tipos de protección (superficial, media y profunda) en función de la penetración alcanzada por el protector en la madera. Esta clasificación fue empleada en la redacción inicial del Documento Básico de Seguridad Estructural - Madera del Código Técnico de la Edificación (CTE) y, por su sencillez, se mantiene en este apartado aunque relacionándola con los niveles de penetración que aparecen en la última versión del CTE.

Para poder realizar un tratamiento protector de la madera en España, los productos deben figurar inscritos en el registro oficial de plaguicidas de uso ambiental y en la industria alimentaria de la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad que puede consultarse online (www.msssi.gob.es).

9.2.1 Protección superficial

La protección superficial se define como aquella en la que la penetración media alcanzada por el protector es de 3 mm, siendo como mínimo de 1 mm en cualquier parte de la superficie tratada. Se podría equiparar con las clases de penetración NP1 y NP2 de la norma UNE-EN 351-1, aunque en este último caso la exigencia es conseguir, al menos, 3 mm de penetración en las caras que contengan albura.

El nivel de penetración NP1 no conlleva ninguna exigencia particular, si bien todas las caras del elemento estructural de madera deben haber recibido producto.

En una clase de uso 1, el CTE recomienda realizar un tratamiento superficial (NP1) con un producto insecticida, mientras que en una clase de uso 2

prescribe un tratamiento superficial (NP1) con un producto fungicida e insecticida. En una clase de uso 3.1 deberá alcanzarse un nivel de penetración NP2 con un producto fungicida e insecticida.

Los productos normalmente empleados son los fondos insecticidas y/o fungicidas que pueden aplicarse mediante pincelado, pulverización, inmersión, etc.

En cuanto a la protección de los elementos estructurales de madera frente a los agentes meteorológicos, el CTE señala que deben usarse productos que permitan el intercambio de humedad entre el ambiente y la madera, siendo las lasures y los acabados filmógenos aptos para exterior las principales opciones disponibles.

Normalmente ambos productos constan de un fondo y un acabado que deben aplicarse en varias manos hasta conseguir la dosis o el espesor de película seca indicada por el fabricante. Como norma general, deben aplicarse siempre antes de la instalación de la madera y ésta debe presentar un contenido de humedad inferior al 18% en el momento de su aplicación.

Según el tipo de vehículo empleado para introducir los biocidas en la madera, los protectores pueden dividirse en productos al disolvente y al agua. Los productos al disolvente fueron los primeros en aparecer en el mercado y la única alternativa durante años. La entrada en vigor de la Directiva 1999/13/CE, vinculada a la reducción de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, debida al uso de disolventes orgánicos, propicia, desde entonces, el empleo creciente de productos al agua.

Diversas maderas contienen sustancias extractivas (aceites, grasas, resinas, taninos, etc.) que requieren una preparación de su superficie previa a la aplicación del acabado superficial. Los aceites y las grasas son frecuentes en especies tropicales como la teca (*Tectona grandis*), la afzelia (*Afzelia* spp.), el iroko (*Milicia* spp), etc. Elevados contenidos de resinas pueden producirse en coníferas como el pino marítimo (*Pinus pinaster*), los pinos amarillos del sur de Estados Unidos (*Pinus palustris*, *taeda*, *elliotti*, etc.), pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*), etc.

El principal sistema preventivo para evitar los daños de extractos y exudados consiste en preparar la superficie de la madera con un disolvente antes de aplicar el acabado (Martín-Diéguez, 1998).

Los fondos protectores, los lasures y los acabados filmógenos pueden aplicarse mediante pincelado, pulverización manual o mecánica, pulverización en autoclave, inmersión, etc.



El tratamiento de pulverización en autoclave se realiza mediante sistemas de doble vacío. En una primera fase se realiza un vacío inicial que permite extraer parte del aire que se encuentra en la madera, para facilitar la entrada del producto protector. A continuación, se pulveriza el producto protector, mediante una serie de boquillas dispuestas en el autoclave, a presión atmosférica o ligeramente superior. Finalmente, se realiza una nueva secuencia de vacío que permite regular la cantidad de producto que queda introducida en la madera.

Si la madera a tratar se introduce en el autoclave totalmente mecanizada, la realización del vacío inicial permite que el producto protector pueda acceder a cualquier parte de su superficie, recubriendo los distintos ensambles, cantos, juntas, testas, etc.

9.2.2 Protección media

En la protección media, la penetración alcanzada por el protector es superior a 3 mm en cualquier zona tratada, sin llegar al 75% del volumen impregnable. Se podría equiparar con las clases de penetración NP2 y NP3 de la norma UNE-EN 351-1 que se corresponden con una penetración de, al menos, 3 y 6 mm, respectivamente, en las caras que contengan albura.

Los tratamientos más habituales para conseguir una protección media de la madera se realizan en autoclaves de inmersión o de pulverización mediante sistemas de doble vacío. En este caso, tras realizar el vacío inicial, se introduce en el autoclave el producto protector a presión atmosférica o ligeramente superior que sumerge o pulveriza la madera a tratar. Finalmente, se realiza una nueva secuencia de vacío para regular la cantidad de producto que queda introducido en la madera.

Tradicionalmente, los productos más empleados han sido los protectores en disolvente orgánico, compuestos por una combinación de principios activos con diversas propiedades (fungicidas, insecticidas, etc.) y resinas que utilizan un derivado del petróleo como vehículo de entrada de la formulación en la madera. Algunos productos incluyen también elementos que mejoran la estabilidad dimensional de la madera.

La madera a tratar debe estar con un contenido de humedad próximo al de su futuro lugar de exposición y, en todo caso, inferior al 18%. Durante el proceso de tratamiento, dado que el disolvente es orgánico, la madera apenas ve alterado su contenido de humedad y, una vez que se produce la evaporación del disolvente, queda lista para su empleo. El tratamiento no produce alteraciones en el color de la madera que, posteriormente, puede recibir un acabado decorativo.

El tratamiento de doble vacío con protectores orgánicos suele emplearse para tratar madera de carpintería y construcción ya elaborada y es frecuente en elementos que vayan a situarse en una clase de uso 3.1 y requieran una protección de tipo medio como puede ser el caso de carpinterías (ventanas, balcones, pérgolas), entablados de fachadas, elementos de construcción (pilares, vigas), mobiliario urbano, etc.

Las consideraciones medioambientales vinculadas a la reducción de compuestos orgánicos volátiles, están impulsando el empleo de productos alternativos a los orgánicos tradicionales, como son las emulsiones.

Las emulsiones o microemulsiones son mezclas de principios activos no solubles en agua a los que se añade un emulgente para producir una buena dispersión en agua. Se les podría considerar como productos intermedios entre las sales hidrosolubles, con las que comparten el agua como vehículo de entrada en la madera, y los protectores en disolvente orgánicos, con los que suelen compartir los principios activos empleados.

Al igual que los protectores en disolvente orgánico, las emulsiones suelen aplicarse en autoclaves de doble vacío y están especialmente indicadas para el tratamiento de elementos de madera en una clase de uso 3.1.

El tratamiento, por regla general, no produce alteraciones en el color o aspecto de la madera que, posteriormente, puede recibir un acabado decorativo.

Tampoco aumenta su inflamabilidad, ni mancha los materiales con los que está en contacto. El empleo del agua como vehículo de entrada del producto en la madera, hace que ésta incremente su contenido de humedad a la salida del tratamiento.

La inmersión prolongada, es otra opción de tratamiento que consiste en sumergir la madera en un protector durante un periodo de tiempo superior a 10 minutos y que puede llegar a prolongarse considerablemente en función del tipo de protector empleado, el nivel de penetración que se quiera alcanzar, el contenido de humedad de la madera a tratar, la especie de madera, sus dimensiones, etc.

9.2.3 Protección profunda

La protección profunda es aquella en la que la penetración media alcanzada por el protector es igual o superior al 75% del volumen impregnable y puede asimilarse con los niveles de penetración NP5 y NP6 de la norma UNE-EN 351-1. Dichos niveles están indicados por el CTE para el tratamiento de la madera en clases de uso 4 (NP5) y 5 (NP6). La norma prEN 335 recomienda incluir también en una clase de uso 4 aquellos elementos en una clase de uso 3.2 que, sin estar en contacto directo con la tierra o con agua dulce, acumulan agua de forma continuada por razones de diseño o por depósitos superficiales.

Los tratamientos más habituales para conseguir una protección profunda de la madera se realizan en autoclave de inmersión mediante sistemas de vacío y presión que constan de tres fases. En una primera fase se realiza un vacío inicial que permite extraer parte del aire que se encuentra en la madera para facilitar la entrada del producto protector. A continuación se introduce el producto y se emplea presión para facilitar su difusión entre las células de la madera. Finalmente, se realiza un vacío final que regula la cantidad de producto que queda introducida en la madera.



Los productos más habituales para tratar madera destinada a la construcción son los protectores hidrosolubles, formados por una mezcla de sales minerales disueltas en una solución acuosa a una concentración determinada. Dentro de la composición de las sales minerales se encuentran principios activos fungicidas, insecticidas y productos fijadores de éstos a la madera.

Dado que las sales hidrosolubles utilizan el agua como vehículo de entrada en la madera, en los tratamientos en autoclave, es necesario que la madera a tratar presente un contenido de humedad inferior al de su punto de saturación de la fibra. Normalmente, la madera se trata con un contenido de humedad de entre un 20 y un 25%.

Durante el tratamiento en autoclave la madera aumenta considerablemente su contenido de humedad y sale empapada. Por este motivo, una vez tratada, la madera debe mantenerse durante un tiempo a resguardo de la acción del agua de lluvia para permitir la correcta fijación de los principios activos. Además, antes de su instalación en obra debe comprobarse que su contenido de humedad es similar al especificado en el pliego de condiciones.

Por este motivo los tratamientos en profundidad con sales hidrosolubles son adecuados para elementos de madera poco elaboradas, como pueden ser postes, tablones, piquetes, etc.

El característico tono verdoso que adquiere la madera tratada con estas sales se debe fundamentalmente a la oxidación del cobre empleado como fungicida. Si se desea, pueden añadirse pastas colorantes durante el tratamiento que evitan que la madera adquiera esta tonalidad. También es posible aplicar, posteriormente, un lasur pigmentado.

La entrada en vigor de la Directiva 1998/8/CE relativa a la comercialización de biocidas, ha propiciado una rápida evolución de las formulaciones tradicionales de sales hidrosolubles.

En el caso concreto de las sales de tipo CCA (cobrecromo-arsénico), la Directiva 2003/2/CE sólo permite su comercialización y uso en determinados casos (estructuras de retención de tierras, barreras y vallas de protección de carreteras, construcción de puentes, madera de construcción en aguas dulces y aguas salobres, muros de protección de aludes y madera para estructuras en edificios públicos, construcciones agrícolas, edificios de oficinas e instala-

ciones industriales). Todo ello, siempre que se trate de soluciones de compuestos inorgánicos de CCA del tipo C y tratadas en instalaciones industriales de vacío-presión.

Asimismo, dicha madera no podrá utilizarse en construcciones residenciales o domésticas, con independencia de su finalidad, en ninguna aplicación en la cual exista un riesgo de que la piel entre en contacto repetidas veces con la madera, en aguas marinas, en usos agrícolas (con la excepción de su utilización como postes en las cercas para el ganado) y en ninguna aplicación en la cual la madera tratada pueda entrar en contacto con productos intermedios o productos terminados destinados al consumo humano o animal.

Recientemente, la Directiva 2012/2/UE modifica la Directiva 98/8/CE al incluir el óxido de cobre, el hidróxido de cobre y el carbonato básico de cobre como sustancias activas en su anexo I.

Desde el punto de vista del proyectista, la mejor opción para comprobar la aptitud de un producto para tratar la madera en un uso determinado, es consultar el registro oficial de plaguicidas de uso ambiental y en la industria alimentaria del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.

En el momento de redactar este documento, ninguna de las sales hidrosolubles que figuran inscritas en el registro, está indicada para su empleo en una clase de uso 5 (en contacto con agua marina).

Otra familia de productos empleados históricamente en la protección profunda de la madera son los protectores orgánicos naturales, siendo los más conocidos las creosotas que se obtienen de la destilación del alquitrán de hulla o de la pirólisis del petróleo.

La madera creosotada adquiere un color oscuro y un olor característico. Ha sido empleada en aplicaciones como las traviesas de ferrocarril, postes de luz y telefónicos, vallas, puentes, etc. Asimismo, frecuentemente se ha reutilizado madera creosotada en aplicaciones de parques y jardines, o como elemento de construcción.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos, principales componentes de la creosota, son derivados del benceno, que tienen como principal compuesto el benceno(a)pireno, producto catalogado como peligroso y con potencial cancerígeno. Esta es la razón

por la cual la creosota queda sujeta a la normativa que limita la comercialización y uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.

Así, la Directiva Comunitaria 2001/90/CE, limita tanto las nuevas formulaciones de las creosotas como sus aplicaciones industriales.

En cuanto a las formulaciones, sólo se permite el empleo de creosota que contenga benzo(a)pireno en concentraciones inferiores a 0,005% en masa y fenoles extraíbles con agua en concentraciones inferiores a 3% en masa. Sus aplicaciones se limitan a usos profesionales e industriales en ferrocarriles, en el transporte de energía eléctrica y telecomunicaciones, para los cercados, para fines agrícolas (como tutores de árboles) y en puertos y vías navegables.

Por lo que respecta a la madera creosotada anteriormente a la entrada en vigor de la Directiva (con una relación de sustancias que debe consultarse en dicho documento) se permite su comercialización en el mercado de segunda mano si bien no podrá emplearse en juguetes, en terrenos de juego, en el interior de edificios, en parques y jardines e instalaciones recreativas y de ocio al aire libre en los que exista riesgo de contacto frecuente con la piel.

9.3 TRATAMIENTOS CURATIVOS Y PREVENTIVOS EN REHABILITACIÓN

En el caso de los elementos estructurales existentes, el CTE señala que los tratamientos curativos de ataques activos de hongos de pudrición y termitas se realizarán mediante la inyección en profundidad de producto protector para poder impregnar adecuadamente la zona de duramen.

Dada la diversidad de situaciones posibles, es importante disponer de un diagnóstico profesional que identifique tanto los agentes causantes del daño, como su grado de actividad y el tratamiento requerido.

A continuación se exponen las técnicas de intervención más habituales en elementos estructurales. Existen otras técnicas como los tratamientos por calor, por fumigación, mediante gases inertes, etc., que suelen aplicarse sobre elementos de elevado valor artístico como tallas, retablos, etc.

9.3.1 Tratamientos mediante inyección en profundidad

La inyección en profundidad de producto protector es el tratamiento curativo más habitual en elementos estructurales que hayan sufrido ataques por organismos xilófagos.

El tratamiento consiste en realizar unos taladros en el elemento de madera (vigas, pies derechos, etc.), sobre los que se disponen unas válvulas antirretorno para introducir el protector a presión con la ayuda de una bomba a pie de obra.



Antes de aplicar el producto debe procederse al saneado de los elementos, limpiando su superficie hasta acceder a la madera sana e incorporando, si fuese preciso, aquellas medidas de diseño constructivo que eviten los posibles aportes de humedad que hayan podido originar los ataques.

Durante el tratamiento posterior, la distribución de los taladros se decide en función de factores como la escuadría de la pieza, la impregnabilidad y el estado de la madera (presencia de fendas, etc.) o su accesibilidad. Normalmente se realizan unos 3 taladros por metro lineal con una profundidad que alcanza los 2/3 del espesor de la pieza. Los taladros suelen practicarse al tresbolillo sobre una de las caras de la pieza o bien alineados sobre su canto. En elementos de gran escuadría, cuando el grosor de la pieza supera los 200 mm o su perímetro los 800 mm, las inyecciones suelen realizarse al tresbolillo y sobre las dos caras de la pieza.

Si bien la aplicación del tratamiento es muy similar en todos los casos, los biocidas empleados y la extensión de su aplicación dependerá del tipo de patología existente.

En el caso de ataques de hongos de pudrición vinculados a aportes de humedad puntuales como pueden ser el apoyo de la cabeza de una viga sobre un muro o el de un pilar sobre el suelo, se recomienda tratar la zona afectada y prolongar el tratamiento en una longitud aproximada de un metro en la madera sana.

Si se trata, por ejemplo, de un ataque activo de insectos xilófagos de ciclo larvario sobre una viga que contiene albura, deberá tratarse la pieza a lo largo de toda su extensión para asegurar la eliminación de las larvas. En estos casos, el tratamiento en profundidad suele complementarse con un tratamiento superficial para evitar el riesgo de posibles reinfestaciones por los insectos presentes en el edificio, que podrían realizar nuevas puestas de huevos sobre la superficie de la viga.

Si el elemento de madera a tratar debe seguir cumpliendo una función estructural, deberá comprobarse si su sección resistente eficaz (libre de ataques) es suficiente, o no, para soportar las cargas previstas. Esta comprobación puede realizarse mediante técnicas no destructivas.

El equipo más habitual es un taladro mecánico portátil que introduce en el elemento de madera una pequeña aguja de acero de 3 mm de diámetro en su extremo. El equipo evalúa la resistencia de la madera al avance de la broca midiendo el consumo de potencia del equipo que es necesario para mantener la aguja girando a velocidad constante. Las salidas gráficas del equipo permiten visualizar el perfil del elemento de madera y evaluar las patologías existentes, que aparecen vinculadas a una pérdida de resistencia (Rinn, 2004; 2012).





9.3.2 Tratamientos mediante pulverización y geles

Ambos tratamientos permiten aplicar un producto protector sobre la superficie del elemento a proteger.

Su uso como tratamiento curativo se limita a piezas de pequeña sección como entarimados, frisos, tabiques divisorios de madera, etc. Lógicamente, las piezas a tratar deberán estar libres de cualquier resto de acabados que impedirían el acceso del producto protector al interior de la madera.

También se emplean como complemento de un tratamiento curativo por inyección. Sería el caso, por ejemplo, de vigas con un ataque activo de insectos xilófagos de ciclo larvario, donde el tratamiento por inyección en profundidad elimina las larvas existentes en el interior de la madera, mientras el tratamiento de pulverización evita el riesgo de posibles reinfestaciones debidas a nuevas puestas en la superficie de la madera.

Pueden utilizarse como sistemas preventivos para proteger superficialmente elementos del edificio sin ataques activos o bien sobre nuevos elementos (entarimados, vigas) que se aporten a un edificio previamente infestado.

En los sistemas de pulverización, los productos suelen aplicarse con pistola a presión. Normalmente se consiguen penetraciones del producto en la madera de unos 2-3 mm.

Los geles de alta penetración mejoran la penetración alcanzada por los sistemas de pulverización convencionales y suelen aplicarse por proyección.

9.3.3 Tratamientos mediante sistemas de cebos antitermitas

En un ataque activo por termitas subterráneas, la inyección en profundidad de producto protector garantiza la protección del elemento tratado. No obstante, dado que el nido principal de la colonia se encuentra en el suelo, este tratamiento no logrará eliminar la colonia que puede proseguir su actividad en las inmediaciones del elemento tratado.

El tratamiento mediante barreras complementa al anterior con la creación de barreras químicas en diversos elementos del inmueble, como los suelos y muros, con el objetivo de aislar el edificio de la actividad termitica. La realización de las barreras químicas

suele ser un proceso complejo y no siempre factible. Si se realiza de forma adecuada, permitirá proteger el inmueble tratado aunque, al no lograr eliminar a la colonia, la actividad termitica podrá proseguir en los inmuebles vecinos.

El tratamiento mediante cebos se basa en el conocimiento de la biología de las termitas y su objetivo es la eliminación de la colonia.

Las termitas, al igual que otros insectos, disponen de un esqueleto externo que necesitan renovar de forma periódica a través de la muda. Uno de los componentes de dicho esqueleto se denomina cutícula, y la quitina es un constituyente esencial de la misma.

El sistema de cebos se basa en el empleo de un biocida que inhibe la formación de la quitina para impedir la renovación de la cutícula y provocar la muerte de las termitas. Estos biocidas poseen un efecto retardado y son ingeridos por las obreras que, a través del intercambio de alimentos con otras castas, producirán de forma progresiva y exponencial en el tiempo la desaparición de la colonia.

Normalmente estos sistemas constan de tres etapas denominadas inspección e instalación, control y monitorización o mantenimiento.

El objetivo de la primera etapa es detectar la actividad termitica existente para planificar la instalación de las estaciones de cebos, tanto interiores como exteriores. A menudo, los cebos empleados en esta primera etapa sólo contienen alimento, sin biocidas, para buscar el contacto con la colonia.



Durante la segunda fase se incorpora el biocida en las estaciones de control, iniciándose la eliminación de la colonia. Las estaciones suelen revisarse cada 1 o 2 meses para renovar el cebo consumido manteniendo el contacto con la colonia y, si fuese preciso, modificar el esquema de estaciones implantados inicialmente. Normalmente, esta fase tiene una duración de entre



12 y 18 meses hasta constatar el cese de la actividad termitica asociada a la erradicación de la colonia.

La última fase tiene por objetivo realizar un seguimiento de la zona tratada para detectar una posible reinfestación. Normalmente, los cebos con biocida vuelven a sustituirse por cebos detectores que sólo contienen alimento, realizándose una o dos visitas anuales para comprobar si existe actividad. El ciclo completo suele durar 5 años por lo que si se ha logrado erradicar la colonia en 2 años, esta última fase tendría una duración de tres años adicionales.

En el capítulo 11 se incluye un ejemplo de tratamiento mediante sistema de cebos.

9.3.4 Tratamientos mediante barreras físicas o físico químicas

Actualmente, para proteger una nueva edificación en una zona termitica en Francia, es obligatorio establecer una barrera preventiva entre el suelo y los cimientos del edificio que impida el acceso de las termitas subterráneas. Esta barrera puede ser física (mallas de acero inoxidable o lechos de arena) o físico química (láminas plásticas o textiles impregnadas en un biocida).

Al formar una barrera horizontal continua se impide el paso de las termitas subterráneas desde el suelo por lo que éstas sólo podrían acceder formando canales de progresión por el exterior de los muros del edificio que serían fácilmente detectables.

En las barreras físicas de acero inoxidable, la abertura de los huecos de la malla es inferior al tamaño de la cabeza de las termitas subterráneas, impidiendo su acceso físico.

Las mallas también pueden emplearse como tratamiento preventivo para envolver las cabezas de las vigas en el interior del edificio. Si bien las termitas podrían rodear la malla para acceder a las vigas, necesitarían elaborar canales de progresión que serían visibles sobre la superficie de la viga.

También pueden realizarse barreras físicas, formando un lecho con partículas de granito, cuya forma y tamaño, presentando aristas muy vivas, elimina las termitas que intenten atravesarlo.

Por último, las barreras de tipo físico químico están formadas por láminas plásticas de alta resistencia

impregnadas con insecticidas. Las láminas, a menudo con un espesor de entre 150 y 200 micras, suelen elaborarse con polietileno e impiden también el acceso de humedad por capilaridad. El insecticida queda fijado a las moléculas plásticas impidiendo su deslavado y la posible contaminación de aguas subterráneas.

En todos los casos, la correcta aplicación de los sistemas descritos requiere seguir cuidadosamente las recomendaciones del fabricante que incluyen precauciones especiales en las zonas de cruce con las conducciones, etc.

BIBLIOGRAFÍA

Martín-Diéguez, J. (1998). Extractos y exudados en el acabado de la madera. Boletín de Información Técnica AITIM, 195, pp 53-56.

Rinn, F. (2012) Basics of micro-resistance drilling for timber inspection. Holztechnologie 53-3, pp 24-29.

Rinn, F. (2004). Metodología de inspección en construcciones de madera. Revista CIS Madera, 12, pp 19-32.

NORMATIVA

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Seguridad Estructural. Estructuras de Madera (2009). Ministerio de Vivienda, Madrid, 126 pp.

Directiva 1998/8/CE relativa a la comercialización de biocidas.

Directiva 1999/13/CE relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debida al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones.

Directiva 2001/90/CE que limita la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (creosota).

Directiva 2003/2/CE que limita la comercialización y el uso del arsénico.

Directiva 2012/2/UE por la que se modifica la Directiva 98/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de forma que incluya el óxido de cobre (II), el hidróxido de cobre (II) y el carbonato básico de cobre como sustancias activas en su anexo I.

prEN 335:2012. Durability of wood and wood based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood based panels.

UNE-EN 351-1:2008. 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.

UNE 56414:1988. Protección de maderas. Clasificación de protectores biocidas, atendiendo a su naturaleza.

UNE 56416:1998. Protección de maderas. Métodos de tratamiento.



10. Diseño constructivo

10.1 INTRODUCCION

El Documento Básico de Seguridad Estructural - Madera del Código Técnico de la Edificación (CTE) considera que la durabilidad de una estructura de madera depende, en gran medida, del diseño constructivo y de la durabilidad natural de la especie empleada, aunque en algunos casos sea necesario añadir un tratamiento.

La importancia del diseño constructivo se comprende con facilidad al examinar los detalles existentes en los numerosos ejemplos de arquitectura en madera, que continúan cumpliendo su función centenares de años después de haber sido erigidos y, compararlos con las decenas de años en cuanto a durabilidad conferida que permitiría garantizar la mera aplicación de un producto protector.



Los principios básicos del diseño constructivo en madera apenas han cambiado a lo largo de los años. Sin embargo, su correcta aplicación requiere comprender el efecto deseado y no siempre es posible reproducir literalmente las soluciones desarrolladas en otros países debido a que en España existen particularidades que requieren una atención especial.

Una diferencia importante es la existencia de climas donde, a menudo, se alternan periodos secos y con temperaturas elevadas con la posibilidad de lluvias, que producirán fendas sobre aquellas superficies de madera expuestas a la intemperie y que acumulen el agua de lluvia.

Asimismo, España presenta una gran variabilidad climática que debe considerarse a la hora de proyectar madera al exterior. Así, junto a ciudades costeras donde la humedad de equilibrio higroscópico de la madera apenas oscila a lo largo del año, existen otras ciudades (ver anejo B) donde el contenido de humedad de la madera expuesta al exterior presenta importantes variaciones. Esto explica, por ejemplo, que el mismo entarimado de exterior pueda funcionar adecuadamente en A Coruña y presentar deformaciones en Lleida.

Por otro lado, la mayor incidencia de la luz solar afectará a la rapidez e intensidad con la que se producirá el agrisamiento de los elementos expuestos a la intemperie y la degradación de los acabados decorativos. Asimismo, las temperaturas elevadas pueden producir exudaciones de resina en determinadas especies.

El clima también propicia la existencia de xilófagos como las termitas subterráneas que no están presentes en el centro y norte de Europa y las temperaturas elevadas incrementan la actividad de diversas especies de insectos de ciclo larvario.

Varias especies de hongos de pudrición que atacan la madera expuesta al exterior, encuentran en determinadas regiones de España unas condiciones de temperatura y pluviosidad que permiten su desarrollo durante casi todo el año, en contraste con otros países donde las temperaturas invernales inhiben su crecimiento. Por el contrario, en las mismas regiones, las temperaturas elevadas, pueden reducir estacionalmente la actividad de los hongos más frecuentes en situaciones bajo cubierta.

Con independencia de las particularidades citadas, el diseño constructivo debe incorporarse al proyecto durante su fase inicial. Para ello, es necesario identificar los riesgos que aparecerán durante la vida de los elementos estructurales y comprender su incidencia sobre los distintos materiales. Posteriormente, una vez definida la vida de servicio y la estrategia para conseguirla, deberán especificarse los materiales empleados, el detalle constructivo y, en su caso, las necesidades de tratamiento y el mantenimiento requerido.

10.2 DETALLES CONSTRUCTIVOS

En el capítulo 11, ejecución, del CTE, se enumeran siete prácticas constructivas que pueden mejorar notablemente la durabilidad de una estructura o elemento de madera.

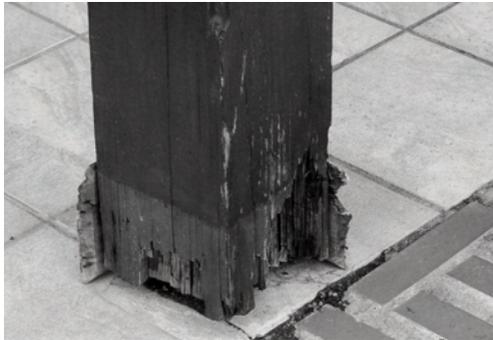
Todas están orientadas a disminuir los riesgos de que la madera pueda sufrir aportes de humedad que originen ataques por organismos xilófagos y, en particular, por hongos de pudrición. Estas prácticas se comentan a continuación.





10.2.1 Evitar el contacto de la madera con el terreno

La primera práctica consiste en evitar el contacto directo de la madera con el terreno, manteniendo una distancia mínima de 20 cm y disponiendo un material hidrófugo (barrera antihumedad). El objetivo es evitar que la madera se sitúe en una clase de uso 4, siendo por lo tanto altamente susceptible del ataque de hongos de pudrición.



Si los elementos tienen sus testas expuestas como podría ser el caso de un pilar o el remate del entablado vertical de una fachada, se recomienda elevar la distancia desde el suelo hasta unos 30 cm, particularmente en zonas lluviosas. De esta forma también se limitará la salpicadura del agua de lluvia y la posible aparición de mohos.

El ejemplo más clarificador lo constituye el apoyo de un pilar. Si el pilar está elaborado con una conífera como el pino silvestre y estuviese en contacto directo con el terreno (clase de uso 4), su protección requeriría un tratamiento en profundidad y su durabilidad natural (sin tratamiento) sería inferior a diez años (en función de factores como el porcentaje de albura, el tamaño de su sección, la climatología de la zona, etc). Si el mismo pilar estuviese en una clase de uso 3.1, el tratamiento recomendado sería superficial y/o medio y su vida de servicio podría llegar a multiplicarse por un factor de 10.

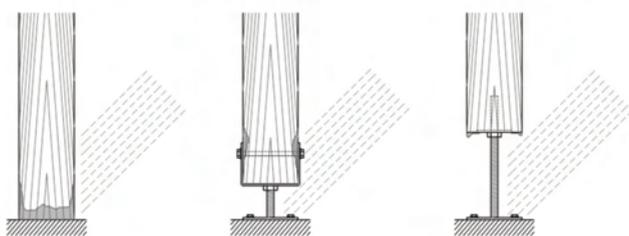


Figura 7. Apoyo de un pilar de madera en una clase de uso 4 (izquierda) y medidas de diseño constructivo que podrían situarlo en una clase de uso 3.2 (centro) y 3.1 (derecha).

Esta medida puede complementarse con otras como proteger el pilar de la intemperie mediante un vuelo de la cubierta o disponer de una franja de grava o gravilla que rodee el edificio, actuando de superficie drenante y, al mismo tiempo, limitando el efecto de las salpicaduras del agua de lluvia.

10.2.2 Evitar que los arranques de soportes y arcos queden embebidos en el material de fábrica

Otra práctica con los mismos objetivos que la anterior es evitar que los arranques de soportes y arcos queden embebidos en el hormigón u otro material de fábrica. Para ello se protegerán de la humedad colocándolos a una distancia suficiente del suelo o sobre capas impermeables.



Obviar este detalle ha provocado una rápida degradación en el apoyo de numerosos elementos elaborados con madera de coníferas conteniendo albura y tratadas superficialmente. En ocasiones, la solución del apoyo es adecuada en el momento de finalizar la obra, pero la falta de mantenimiento posterior y la consecuente acumulación de tierra y materia vegetal, puede transformar la situación original.



10.2.3 Ventilar los encuentros de vigas y muros

El encuentro entre las vigas y los muros exteriores siempre ha constituido un punto crítico en la estructura de un edificio, ante los posibles aportes extraordinarios de humedad (capilaridad, filtraciones, etc.) que puede recibir la madera y el consi-



guiente riesgo de aparición de ataques de organismos xilófagos como los hongos de pudrición o termitas subterráneas.

Por estos motivos, los encuentros de vigas en muros deben ventilarse manteniendo una separación mínima de 15 mm entre la superficie de la madera y el material del muro. El apoyo en su base debe realizarse a través de un material intermedio, separador, que no transmita la posible humedad del muro.

En los edificios antiguos es habitual encontrar diversos materiales empleados para resolver el apoyo de las vigas sobre el muro, desde durmientes elaborados con maderas de mayor durabilidad a chapas de plomo, bloques de corcho, etc. Entre los materiales más empleados hoy en día está el neopreno.

De nuevo, se trata de una práctica constructiva de gran influencia en la durabilidad de los elementos estructurales de madera. Por citar un ejemplo, en Florencia (Italia), la armadura de cubierta de una iglesia elaborada con vigas de picea (*Picea abies*) se encuentra en buen estado tras más de quinientos años de servicio, a pesar de la limitada durabilidad natural de la madera empleada. En este caso, en el encuentro de los tirantes sobre el muro de piedra se excavaron unos canales inclinados que comunicaban con el exterior del edificio, logrando mantener los apoyos secos y ventilados y, en consecuencia, sin riesgo de ataque por hongos de pudrición.

10.2.4 Evitar uniones en las que se pueda acumular agua

Las uniones de elementos de madera al exterior constituyen otro punto crítico por la posibilidad de que originen retenciones de agua que, puedan propiciar ataques de hongos de pudrición.

Si se realizan uniones carpinteras en madera, debe preverse siempre la salida natural del agua que pueda ser retenida, evitando emplear al exterior aquellas soluciones que permitan la acumulación del agua, como puede ser las uniones de tipo machihembrado en un entarimado. Normalmente, debe mantenerse una separación mínima de unos 5-8 mm entre los elementos para evitar que el agua quede retenida por capilaridad.

Un defecto de diseño habitual en algunas pasarelas descubiertas de madera laminada consiste en aprovechar las vigas principales para fijar, directamente

adosadas a éstas, uno de los largueros que sostienen el entablado, creando así una línea de unión que acumula el agua de lluvia y, a menudo, termina produciendo una pudrición de ambos elementos. Lo mismo es aplicable, en el caso de un puente triarticulado, al sistema de unión entre los arcos y la pasarela del puente, que debe separarse para facilitar la salida del agua de lluvia.



Lógicamente, en grandes elementos estructurales, la separación entre los componentes de madera debe ser amplia y tener en cuenta los fenómenos de hinchazón y merma de la madera, permitiendo, en todo momento, la ventilación y el drenaje de las uniones.



Los casos anteriores son extrapolables a muchas otras situaciones donde siempre conviene evitar el contacto directo entre los elementos de madera al exterior. Así, por ejemplo, puede mejorarse el apoyo de una tabla de tarima sobre el rastrel, incorporando entre los dos elementos una lámina separadora que permita su aireación e impida que la humedad del rastrel acceda a la tabla. Lógicamente, esta medida resultará más eficaz en San Sebastián, donde la precipitación anual supera los 1700 mm, que en Almería donde es inferior a los 200 mm.



En las uniones metálicas deberá prestarse una atención adicional para evitar cualquier superficie plana que pueda retener agua de lluvia en contacto con la madera. Este es el motivo por el que se recomienda retranquear ligeramente las bandejas de apoyo de las uniones, con respecto a la sección de la pieza de madera (como es el caso del apoyo de un pilar).

En el caso de emplear elementos de unión metálicos, el CTE incluye los valores mínimos del espesor del revestimiento de protección frente a la corrosión o el tipo de acero recomendados, según las diferentes clases de servicio. Si la madera ha recibido algún tratamiento químico, será también necesario verificar su compatibilidad con la composición de las uniones metálicas.

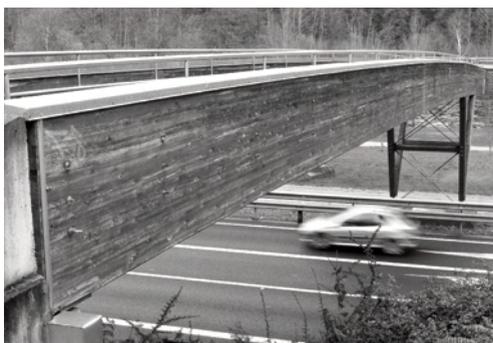
En todos los casos, los posibles cambios de dimensiones, producidos por la hinchazón o merma de la madera, no deben quedar restringidos por los elementos de unión.

Asimismo, con independencia de la durabilidad biológica, es importante considerar otros factores como evitar la aparición de tensiones de tracción perpendicular a la fibra en la madera que pudiesen limitar la eficacia de la unión.

En la bibliografía se incluyen varias referencias que incluyen numerosos detalles vinculados al diseño de uniones (Arriaga et al, 2012; APA, 2007).

10.2.5 Proteger la cara superior de los elementos de madera expuestos a la intemperie

La quinta práctica consiste en proteger la cara superior de los elementos de madera que estén expuestos a la intemperie y en los que puedan producirse acumulaciones de agua. En el caso de utilizar una albardilla (normalmente de chapa metálica), se debe permitir la aireación de la madera que cubre.



Un ejemplo lo constituyen las vigas principales de una pasarela de madera laminada descubierta, a menudo elaboradas con madera de coníferas que contienen albura. Si la cara superior de estas vigas está expuesta a la intemperie y se producen acumulaciones de agua, es inevitable que los fenómenos de hinchazón y merma generen fendas superficiales. Con el tiempo, las fendas irán profundizando en el interior de la viga, propiciando el acceso del agua de lluvia a zonas de la madera que no hayan recibido tratamiento protector.



Una forma de reducir las acumulaciones de agua es dotar a las superficies expuestas de una pendiente superior a 20-30°. Sin embargo, en piezas anchas, los fenómenos de hinchazón y merma, propiciarán la aparición de fendas (que retendrán el agua de lluvia), aún en una superficie inclinada.

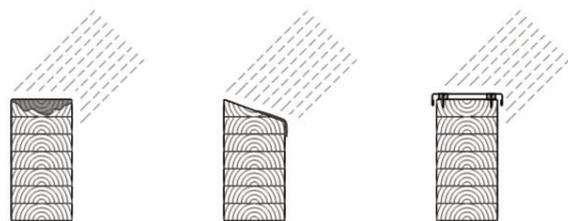


Figura 8. Protección de la cara superior de un elemento estructural mediante una pendiente y una albardilla metálica.

Debido a lo anterior, en dichas situaciones, la opción más acertada sería adoptar medidas constructivas que permitan proteger adecuadamente la cara superior de los elementos mediante albardillas o piezas de sacrificio. Estas soluciones son comunes en países del centro y norte de Europa donde es habitual, además, encontrar pasarelas o puentes de madera cubiertos, que reducen la clase de uso a la que quedan expuestos los principales elementos estructurales de la pasarela.





Si esto no fuese posible, pueden emplearse maderas de elevada durabilidad natural o bien coníferas con albura fácilmente tratable y considerar en una clase de uso 4, tal y como recomienda la norma prEN 335, la situación de los elementos que, sin estar en contacto directo con la tierra, acumulan agua de forma continuada (por razones de diseño o por depósitos superficiales). Siguiendo esta recomendación, los elementos estructurales que requieran un tratamiento en dichas situaciones, deberían recibir una protección profunda del nivel NP5.

10.2.6 Proteger las testas

La sexta práctica consiste en evitar que las testas de los elementos estructurales de madera queden expuestas al agua de lluvia, protegiéndolas con un sellador específico y/o ocultándolas, cuando sea necesario, con una pieza de sacrificio. La protección adicional que requieren las testas se debe a su capacidad de absorber y ceder humedad a una velocidad muy superior a la que tiene lugar por las caras laterales de la madera (en la mayor parte de las especies suelen considerarse valores entre 10 y 30 veces superiores).

En España, es común encontrar ejemplos de esta práctica en edificios antiguos donde los extremos de los elementos estructurales de forjados o cubiertas sobresalían del muro de fábrica. Entre las soluciones empleadas, se incrementaba el vuelo de los aleros y las testas se mecanizaban para facilitar el escurrido del agua de lluvia, se embreaba su extremo o se cubrían con otras piezas de madera, tejas, pequeñas lajas de piedra, pizarra, etc.

En obra nueva, el diseño de algunos edificios contempla que los extremos de las vigas de cubierta (a menudo de madera laminada encolada) vuelen desde sus apoyos dejando vistas sus testas desde el exterior. En estas condiciones, las testas pueden quedar muy expuestas a la acción de los agentes

atmosféricos (agua y radiación solar) y desarrollar fendas como consecuencia de los fenómenos de hinchazón y merma de la madera. A su vez, la aparición de las fendas favorece la retención del agua de lluvia, acelerando la degradación del elemento y la posibilidad de ataques por hongos de pudrición.



La solución más habitual es recubrir la testa con una pieza de protección que puede ser metálica o elaborada con una pieza de sacrificio (madera tropical de elevada durabilidad, etc.) que pueda ser renovada posteriormente con facilidad.

En el caso de los postes u otros elementos verticales expuestos a la intemperie y cuyo extremo remate en una superficie horizontal, este efecto se acentúa por la mayor facilidad de retener el agua de lluvia, la nieve, etc. Un simple corte oblicuo, o mejor dos, en el extremo del elemento puede contribuir notablemente a prolongar su vida de servicio. Otras opciones más eficaces pueden ser colocar una caperuza metálica, etc.

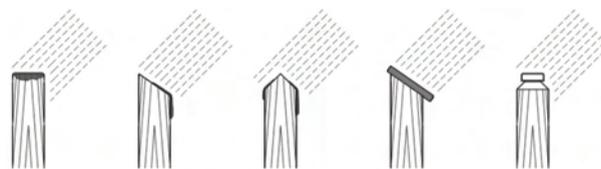


Figura 9. Medidas de diseño constructivo para proteger la testa de un elemento vertical.

Estas medidas son adecuadas incluso en elementos que hayan recibido un tratamiento en profundidad. Así, por ejemplo, los postes telegráficos que han sido tratados con creosota siguen mostrando sus extremos apuntados. Igualmente, en un poste de madera tratado en profundidad con sales hidrosolubles, la acumulación de agua sobre su testa plana pueda producir una degradación prematura del duramen respecto a la corona de albura impregnada de producto.



Muchas otras situaciones habituales requieren proteger las testas como puede ser el caso de las tablas que forman un entarimado de exterior, las uniones entre lamas de una fachada, su encuentro en esquina, etc. A menudo, la protección de las testas con un sellador específico, debe combinarse con otras medidas como dotar a los elementos de una ventilación adecuada.

En ocasiones, una medida inadecuada de diseño constructivo puede acelerar la degradación del elemento. Sería el caso de una viga inclinada, cuya cara superior se desea proteger con un revestimiento metálico que deja la testa expuesta. En este ejemplo, el agua de lluvia discurriría por la superficie metálica rebotando por la testa que, al ser más higroscópica y recibir un mayor volumen de agua, se degradará prematuramente.



Figura 10. Protección de la cara superior y testa de una viga. En el ejemplo de la izquierda, el diseño puede provocar que la testa reciba un mayor volumen de agua pudiendo acelerar su degradación.

10.2.7 Facilitar la evacuación del agua de lluvia

La última recomendación del Código Técnico es facilitar, en general, al conjunto de la cubierta la rápida evacuación de las aguas de lluvia y disponer sistemas de desagüe de las condensaciones en los lugares pertinentes.

10.2.8 Otras consideraciones

En ocasiones, particularmente al proyectar elementos de madera al exterior, el diseño constructivo puede descuidarse cuando se emplean especies de elevada durabilidad. Sin embargo, aún empleando las maderas más durables, deben tenerse en cuenta otros factores como las variaciones dimensionales en la madera, producidas por los fenómenos de hinchazón y merma, que no deben quedar restringidas.

El contenido de humedad de la madera deberá ser lo más próximo posible al de las condiciones de su lugar de instalación. Por ejemplo, si se emplea madera tratada en autoclave con sales hidrosolubles y la madera está empapada por no haberla secado tras su tratamiento, una vez puesta en servicio se producirá una importante merma que podrá originar deformaciones y afectar a los medios de unión.



Para evitar las posibles deformaciones de la madera también será necesario respetar unas reglas respecto a la geometría (relación ancho-espesor, longitudes máximas recomendables, etc.) y sujeción de las piezas. En la bibliografía pueden encontrarse varias publicaciones que detallan estas recomendaciones en las distintas tipologías de fachadas o de pavimentos de exterior.

Asimismo, determinadas aplicaciones requieren prestaciones específicas. Por ejemplo, en un entarimado de exterior sometido a un tráfico peatonal intenso en una zona lluviosa tan importante como garantizar la durabilidad de la madera empleada puede ser adoptar medidas para reducir la resbaladilidad.

En España, el mantenimiento en obras estructurales de madera continúa siendo muy reducido y, a menudo, inexistente. Esta situación, que tiende a cambiar progresivamente, no se puede considerar una responsabilidad del proyectista, si bien se trata de una realidad que no debe ignorarse en la toma de decisiones del proyecto.

Los tratamientos protectores en autoclave destinados a clases de uso elevadas, no se renuevan y permite garantizar una vida útil del elemento tratado. Por ello, es recomendable asignar una clase de uso superior si se prevé que en las condiciones de servicio se pueda provocar una humectación imprevista de la madera derivada de la posterior falta de mantenimiento, cuando los elementos de madera sean de difícil acceso (rastreles de una fachada, por ejemplo) o cuando las consecuencias de su rotura sean particularmente graves (entablado de una pasarela peatonal elevada, por ejemplo).

Lo mismo es aplicable a los acabados decorativos, donde un diseño constructivo adecuado (proteger las testas de las piezas, evitar las superficies horizontales al exterior, redondear los cantos de las piezas, etc.) permitirá prolongar considerablemente su periodo de renovación.

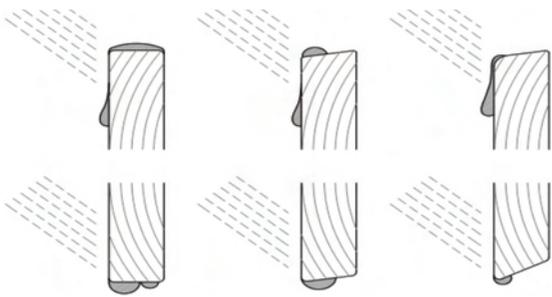


Figura 11. Medidas de diseño constructivo para evitar la acumulación de agua en un elemento de madera al exterior y prolongar la durabilidad de un acabado decorativo. El redondeo del canto (derecha) es esencial para garantizar un espesor homogéneo si se aplica un acabado filmógeno.

Por ejemplo, en una pasarela de madera con una pieza de sacrificio que recubre la cara superior de las vigas, no sólo se mejorará su durabilidad sino que, al lograr que las superficies expuestas a la intemperie sean verticales, también se prolongará considerablemente el periodo de renovación del acabado decorativo.

Asimismo, el mantenimiento y la limpieza de otros materiales puede ser necesario para garantizar la permanencia de las condiciones correspondientes a la clase de uso en las que fue instalado el elemento estructural de madera. Un ejemplo puede ser la revisión periódica de las bajantes y canalizaciones, o la limpieza del apoyo de una viga de madera sobre una zapata de hormigón al exterior donde pueda acumularse tierra, materia vegetal o humedad.

10.3 TABLEROS DERIVADOS DE LA MADERA

Con las variaciones inherentes a cada tipo de producto, los principios de diseño constructivo recogidos por el CTE pueden ser aplicados a los distintos tableros derivados de la madera.

Así, al igual que en el caso de la madera, es siempre recomendable evitar el contacto directo de los tableros con el terreno, manteniendo una distancia que evite exponerlos a una clase de uso 4, donde serían altamente susceptibles del ataque de hongos de pudrición y, en algunos casos, de termitas subterráneas. Ejemplos de estas situaciones pueden producirse en el remate inferior de un tablero empleado como revestimiento de fachada o en el apoyo de un tablero contralaminado sobre un muro de hormigón, que siempre deberá realizarse sobre un material impermeable.

Otra de las principales normas de diseño para emplear tableros, tanto en el interior como en el exterior, es instalarlos con un contenido de humedad similar al de sus condiciones de uso y mantenerlos ventilados. Así, los tableros empleados como revestimiento deben instalarse separados del muro mediante rastreles que permitan mantener una cámara ventilada y sin interrupciones del flujo de aire entre la parte inferior y superior del revestimiento.

Como ocurre con las testas de los elementos de madera, los cantos de los tableros sin protección no deben quedar expuestos al agua de lluvia o a otras fuentes de humedad.

Otra recomendación es considerar un diseño constructivo que evite las acumulaciones de agua. Por ejemplo, los tableros empleados como revestimiento exterior suelen suministrarlos con sus cantos biselados, o en orientaciones verticales y en el sentido de la veta de la madera para disminuir los riesgos de que se produzcan acumulaciones de agua.



En función de cada tipo de tablero estructural, los fabricantes suministran detalles constructivos sobre cómo resolver los tipos de juntas requeridas en los tableros situados al exterior. Estos detalles deben permitir los movimientos dimensionales de los tableros como consecuencia de las variaciones de las condiciones ambientales y, al mismo tiempo, evitar las infiltraciones o la retención de agua. Lo mismo es aplicable a los elementos de fijación empleados que deben ser resistentes a la corrosión. En estos casos, para garantizar los mejores resultados es importante seguir estrictamente las recomendaciones del fabricante en cuanto a diseño constructivo, tipos de juntas, protección de cantos, sistemas de fijación, etc.

10.4 DETALLES CONSTRUCTIVOS ESPECÍFICOS

Existen muchas otras recomendaciones constructivas que pueden consultarse en la bibliografía. En España, autores como Arriaga y Esteban (2001) y Peraza (2001) ofrecen una revisión general de detalles constructivos vinculados a la durabilidad.

Otras publicaciones profundizan en los detalles constructivos de elementos de madera según las distintas tipologías de las obras. En Gran Bretaña, la Timber Research and Development Association (TRADA) dispone, entre otros, de manuales sobre fachadas de madera (Hislop, 2007) o pavimentos de exterior (Hislop, 2006), así como de una serie de hojas informativas (wood information sheets) sobre todo tipo de temas vinculados a la construcción en madera, incluyendo el diseño constructivo (TRADA, 2004). En Francia, el Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) ha editado manuales sobre durabilidad de puentes de madera (Brabier et al, 2007) y el Institut Technologique Forêt Cellulose Bois construction Ameublement (FCBA) sobre pavimentos de exterior (Daleau y Le Nevé, 2006). En España, la Asociación Técnica de las Industrias de la Madera (AITIM) ha editado publicaciones sobre puentes de madera (Schwaner et al., 2004), tableros estructurales de madera (Peraza et al., 2004), etc.

También existen diversas páginas web con información útil sobre diseño constructivo en madera y tableros, de las que se citan algunas referencias:

En España, AITIM dispone de una página web (www.infomadera.net) con un servicio de búsqueda que permite acceder a numerosos artículos publicados en su revista.

En Francia, el Comité National pour le Développement du Bois (CNBD) ha editado manuales sobre diversas tipologías de obras en madera (rurales, educativas, deportivas, viviendas, etc.), muchas de las cuales pueden consultarse a través de internet (www.cndb.org).

En Austria, la organización proHolz dispone de una completa página web (www.dataholz.com) con información sobre productos de madera, detalles constructivos y sus diferentes aplicaciones con su versión en español (www.proholz.es).

En Estados Unidos, la APA-The Engineered Wood Association (www.apawood.org) dispone de centenares de artículos sobre todo tipo de productos estructurales de madera y, en particular, sobre tableros contrachapados, tableros de virutas orientadas y madera laminada encolada.

En Canadá, la página web del Canadian Wood Council (www.cwc.ca) permite acceder a numerosas publicaciones sobre sistemas constructivos en madera.

En Australia, la Forest & Wood Products Australia (FWPA) dispone de una completa página web con la posibilidad de descargar decenas de manuales técnicos y de instalación de distintos productos de madera (www.woodsolutions.com.au).

BIBLIOGRAFÍA

APA-The Engineered Wood Association. (2007). Glulam Connection Details. APA, Form EWS T300H, 21 pp.

Arriaga, F., Íñiguez, G., Esteban, M., Arguelles, R., Fernández, J.L. (2011). Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera. Documento de aplicación del CTE. Madera, 150 pp.

Arriaga, F., Esteban, M. (2001). Protección de la madera mediante el diseño constructivo. Boletín de Información Técnica AITIM, 195.

Barbier, V., Berthelley, J., Calvi, D., Jelden, S., Chazelas, J.L., Corfdir, P., Laplane, J., Leroy, R. (2006). Timber Bridges. How to ensure their durability. Sétra Technical Guide, 173 pp.

Daleau, D., Le Nevé, S. (2006). Guide de conception et de réalisation des terrasses en bois. CTBA, 54 pp.

Hislop, P. (2007). External timber cladding. TRADA Technology, 80 pp.

Hislop, P. (2006). Timber decking - the professionals' manual. TRADA Technology, 80 pp.

Peraza, F., Arriaga, F., Peraza, J.E. (2004). Tableros de madera de uso estructural. AITIM, 276 pp.

Peraza, F. (2002). Protección preventiva de la madera. AITIM, 430 pp.

Schwaner, K., Bancalari, A., Arriaga, F., Marcus, J., Briceño, G.A. (2004). Puentes de madera. AITIM, 288 pp.

Timber Research and Development Association. (2008). Specifying timber exposed to weathering. Trada Technology Ltd, 5 pp. págs.

NORMATIVA

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Seguridad Estructural. Estructuras de Madera (2009). Ministerio de Vivienda, Madrid, 126 pp.

prEN 335:2012. Durability of wood and wood based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood based panels.





11. Toma de decisiones

11.1 METODOLOGÍA GENERAL DE LA TOMA DE DECISIONES

En cada situación, definida por el empleo de una especie de madera en una clase de uso, utilizando la secuencia de toma de decisiones representada en la figura 12 (basada en la norma UNE-EN 351-1), el usuario puede analizar la necesidad, o no, de realizar un tratamiento protector de la madera. Los pasos se resumen a continuación:

- a) Se parte de una prescripción o empleo de la madera en la construcción.
- b) Se determina la clase de uso y los agentes biológicos a los que va a estar expuesto el elemento de madera. Si el proyecto incorpora elementos de madera al exterior, por encima del suelo, se recomienda seguir las indicaciones del documento FD P20-651 detalladas en el capítulo 3.
- c) Se selecciona una especie de madera.
- d) Se evalúa si la durabilidad natural de la madera es suficiente o si requiere algún tratamiento protector. Debe considerarse si la especie seleccionada contiene madera de albura.
- e) Si la durabilidad natural de la madera no fuese suficiente pueden tomarse varias decisiones. Puede seleccionarse otra especie cuya durabilidad natural permita su empleo en la clase de uso del proyecto. También es posible revisar la solución prescrita, mediante el diseño constructivo, para intentar disminuir la clase de uso; o prescribir un tratamiento que confiera la durabilidad necesaria a la especie de madera seleccionada originalmente.
- f) Cuando sea preciso aplicar un tratamiento protector a un elemento estructural de madera en España, su elección debe basarse en las indicaciones establecidas en el Documento Básico de Seguridad Estructural - Madera del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- g) Se comprueba si la impregnabilidad de la madera permite alcanzar, o no, los requisitos de penetración exigidos por el CTE para cada clase de uso.

h) Si la impregnabilidad de la madera no permite alcanzar los requisitos de penetración exigidos por el CTE, deberá seleccionarse otra especie de madera cuya durabilidad natural o impregnabilidad permita su empleo en la clase de uso considerada. Otra opción es revisar la solución inicial para intentar disminuir la clase de uso, mediante el diseño constructivo.

i) Si la impregnabilidad de la madera fuese adecuada, se define el producto protector y el método de tratamiento.

En las páginas siguientes se exponen varios ejemplos de toma de decisiones sobre la necesidad, o no, de realizar un tratamiento protector a distintas especies de madera en diversas situaciones.

11.2 EJEMPLOS DE TOMA DE DECISIONES

El objetivo de los ejemplos expuestos es comprender el proceso de toma de decisiones y no deben considerarse soluciones únicas para las situaciones descritas. A las propuestas de tratamiento protector, se añaden, en algunos casos, recomendaciones sobre los tratamientos decorativos a aplicar para conseguir una protección frente a los agentes meteorológicos.

Al prescribir un tratamiento protector, en el caso de madera maciza y elementos encolados de madera, se han tomado como referencia las recomendaciones del CTE, aún en el caso de aplicaciones que no pertenecen al ámbito de la edificación como pasarelas descubiertas, etc.

Cuando el proyecto incorpora elementos de madera al exterior, por encima del suelo, se han seguido las indicaciones del documento FD P20-651, detalladas en el capítulo 3, para matizar la clase de uso en función de las condiciones climáticas, la masividad y el diseño constructivo.

Los casos anteriores se complementan con ejemplos de tableros estructurales de madera, cuyas necesidades de tratamiento no están contempladas en el CTE.



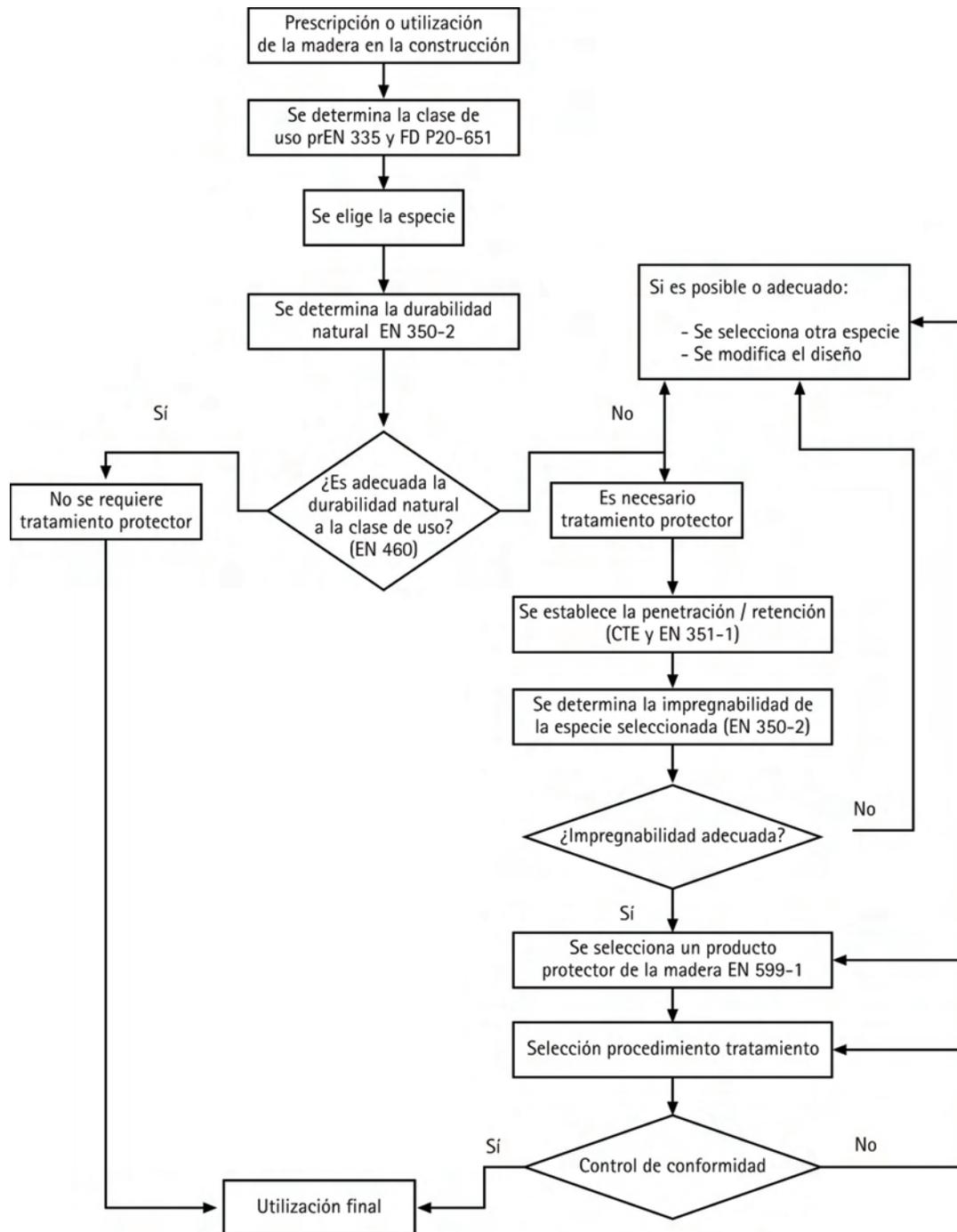


Figura 12. Diagrama de flujo para la toma de decisiones sobre la necesidad de realizar un tratamiento protector



11.2.1 Estructura de cubierta de madera laminada de una piscina

Las vigas de madera laminada encolada que forman la cubierta de una piscina se sitúan en una clase de uso 2.

La madera empleada es abeto rojo (*Picea abies*), la especie más frecuente en la elaboración de elementos de madera laminada encolada.

La madera contiene albura, por lo que su durabilidad frente a los hongos xilófagos sería del tipo 5 (no durable). La norma EN 460 señala que la durabilidad frente a los hongos de pudrición de la madera de albura es normalmente suficiente para su empleo en una clase de uso 2, pero recomienda un tratamiento protector para determinados usos. En este caso, durante la fase de montaje y hasta el cierre de la cubierta, las vigas de madera laminada están expuestas a la intemperie, por lo que se debe proceder a su tratamiento.

Asimismo, la albura (y el duramen) de la madera de picea es sensible frente al ataque de insectos de ciclo larvario que pueden estar presentes en una clase de uso 2. El duramen también es sensible frente al ataque de termitas, pero el riesgo de ataque a las vigas de cubierta es muy reducido al tratarse de una obra nueva, transitada y con un diseño que dificultaría considerablemente su acceso.

El CTE establece un nivel de penetración NP1 para el empleo de madera tratada en una clase de uso 2. También señala que todas las caras de las vigas deberán recibir un tratamiento frente a los insectos de ciclo larvario y hongos de pudrición.

El nivel de penetración NP1 no conlleva ninguna exigencia específica, por lo que el tratamiento puede ser de carácter superficial. La aplicación puede realizarse, mediante pincelado, el propio fabricante de las vigas de madera laminada, antes de proceder a su transporte y montaje.

Como producto se selecciona un fondo protector frente a los agentes citados en la dosis recomendada por el fabricante en función de los ensayos de eficacia que haya realizado. Lo habitual es incluir también una protección frente a la radiación solar, complementando el tratamiento anterior con la aplicación de un producto pigmentado como puede ser un lasur.

Con independencia del tratamiento, el diseño constructivo debe asegurar que se mantienen las condiciones correspondientes a una clase de uso 2, a lo largo de la vida de servicio de los elementos estructurales de madera. Para ello deben evitarse las posibles condensaciones sobre la madera; solucionar los apoyos de las vigas de forma que permanezcan ventilados y se realicen sobre un material impermeable; y prever las posibles necesidades de mantenimiento derivadas de la limpieza periódica de bajantes.

11.2.2 Pilares de una cubierta que protege de la intemperie el acceso a un edificio

Los pilares sostienen una cubierta ligera que protege de la intemperie el acceso a un edificio.

El diseño de los herrajes evita el contacto de los pilares con el suelo y, al mismo tiempo, impide las posibles retenciones del agua de lluvia. Los pilares también están parcialmente protegidos por el vuelo de la cubierta que sostienen.



Los pilares están formados por dos piezas de madera encolada (dúos) con una sección total de 140x140 mm y se han elaborado con madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) que contiene albura.

Para comprobar la clase de uso en la que se encuentra la obra, se revisan las condiciones climáticas del emplazamiento, la masividad y el diseño constructivo de los pilares.

Las condiciones climáticas se clasifican como moderadas ya que el número medio de días al año en los que se produce una precipitación igual o superior a 1 mm está comprendido entre 100 y 150 (tabla 2).

Los pilares tienen un espesor de 140 mm y están formados por dos láminas por lo que su masividad se clasifica como media (tabla 3).





El diseño constructivo es vertical. La testa superior y la base del pilar están adecuadamente protegidas por lo que se considera drenante.

Con los datos anteriores se consulta la tabla 5 que se corresponde con los elementos de madera al exterior, por encima del suelo, poco expuestos al clima. En dicha tabla, un elemento de masividad media, con un diseño constructivo drenante y expuesto a unas condiciones climáticas moderadas se sitúa en una clase de uso 3.1.

La norma EN 460 señala que la durabilidad natural de la albura frente a los hongos xilófagos puede ser suficiente para su empleo en una clase de uso 3, pero puede ser necesario un tratamiento protector según la especie de madera, su permeabilidad y su uso. Además, la albura sería atacable por insectos de ciclo larvario y termitas.

El riesgo de ataque por termitas subterráneas es muy reducido dado que el pilar está expuesto al aire y aislado del suelo. En todo caso, la única vía de acceso de las termitas requeriría elaborar un canal termítico, fácilmente detectable.

El CTE establece una penetración de tipo NP2 (al menos 3 mm en las caras laterales de la albura) para un elemento estructural de madera situada en una clase de uso 3.1.

La albura de pino silvestre está clasificada como muy fácil de impregnar y la madera aserrada puede ser impregnada totalmente con un tratamiento a presión sin dificultad.

En el caso de elementos encolados de madera que requieran protección para una clase de uso 3.1, el CTE señala que el tratamiento podrá realizarse sobre la pieza terminada o bien sobre las láminas previamente a su encolado.

En este caso el tratamiento se realiza sobre las piezas terminadas. Dada la facilidad de impregnación de la albura de pino silvestre y el nivel de penetración requerido, podrá emplearse desde un pincelado, hasta un tratamiento de pulverización en autoclave de doble vacío.

Como producto protector se aplica un fondo que contenga principios activos fungicidas e insecticidas en las dosis señaladas por el fabricante. Como acabado decorativo puede emplearse un lasur o un acabado filmógeno que incorporen pigmentos protectores frente a la radiación ultravioleta.

11.2.3 Envejecimiento natural de una fachada de madera

Se desea prescribir una fachada de madera y permitir su envejecimiento natural sin emplear ningún acabado decorativo.

Como especies para realizar las lamas se proponen madera de cedro rojo del Pacífico (*Thuja plicata*) o madera modificada térmicamente.

La fachada está elaborada con lamas machihembradas en disposición vertical. El diseño constructivo (doble rastrel) permite una ventilación adecuada y la evacuación del agua a lo largo de toda su superficie. El extremo inferior de la fachada está separado del suelo y el extremo superior está coronado por un remate metálico que permite la circulación del aire y no interrumpe la ventilación.

Las condiciones climáticas del lugar de instalación se clasifican como secas (tabla 2) y las lamas tienen un espesor inferior a 28 mm por lo que su masividad es reducida (tabla 3).

La disposición de las lamas es vertical y no existen puntos de acumulación de agua debidos a mecanizados, uniones, herrajes, etc., por lo que el diseño constructivo se considera drenante.

Un elemento de masividad reducida, con un diseño constructivo drenante y expuesto a unas condiciones climáticas secas se sitúa en una clase de uso 3.1 (tabla 5).

La norma EN 350-2 distingue entre la durabilidad natural de la madera de cedro rojo de procedencia Norteamericana y la originaria de plantaciones europeas. En este caso, la partida está formada por madera de duramen y procede de los Estados Unidos.

La durabilidad natural de la madera frente a los hongos xilófagos es de la clase 2 (durable), suficiente para su empleo en una clase de uso 3.1. El duramen también es resistente frente a los insectos de ciclo larvario y, aunque aparece como sensible frente a las termitas, sus posibilidades de atacar una fachada a la intemperie son muy reducidas.

Por lo tanto, la durabilidad natural de la madera de cedro rojo hace innecesario aplicar un tratamiento protector. Como referencia, en la tabla 8, se estima que la madera alcanzará una vida útil, en una clase de uso 3.1, comprendida entre 50 y 100 años.





Una vez definido el diseño y la especie de madera, se revisa el proyecto considerando la posibilidad de aparición de mohos, manchas debidas a extractos y reacciones con metales.

La fachada se encuentra en unas condiciones climáticas secas. Las lamas son verticales y están bien ventiladas, por lo que el riesgo de aparición de mohos es reducido.

La madera de cedro rojo, posee un elevado contenido de extractos solubles en agua y, además, es susceptible de provocar reacciones en presencia de elementos férricos cuando se emplea al exterior.

La fachada se atornilla desde el exterior. Para prevenir la corrosión y la aparición de manchas debidas al contacto entre el metal y la madera, se emplean tornillos de acero inoxidable.

Los extractos que contiene la madera son solubles en agua, por lo que el diseño constructivo constituye la mejor medida para promover que sean lavados por la lluvia evitando la aparición de manchas sobre la superficie de la madera. En este sentido, la fachada debe diseñarse de forma que el conjunto de su superficie esté expuesta a volúmenes similares de agua de lluvia, para promover un envejecimiento homogéneo de su superficie.

Especialmente importante es evitar que existan porciones de la fachada protegidas de la incidencia de la lluvia, ya que las manchas producidas por las exudaciones de taninos permanecerán visibles en estas zonas, contrastando con las zonas expuestas donde ya han sido lavados.

En función del diseño de la fachada, dado que la madera de cedro rojo tiene un elevado contenido de extractos, puede emplearse un producto bloqueador de taninos.

El producto puede aplicarse mediante pincelado, inmersión, pulverización, etc. Para mejorar la estabilidad del conjunto y evitar el posible lixiviado de taninos, el producto también debe aplicarse en la contracara de las lamas. Adicionalmente, las testas de las lamas se protegen con un sellador, por encima del fondo bloqueador de taninos.

Como se desea producir un envejecimiento natural de la fachada, no sería necesario emplear ninguna protección frente a la radiación ultravioleta.

En el caso de emplear madera modificada térmicamente, existen varias tecnologías disponibles.

A modo de ejemplo, si se opta por una conífera termotratada en una atmósfera de vapor se escogería el tratamiento Thermo-D que permite alcanzar una categoría 2 (durable) frente a los hongos de pudrición y, al mismo tiempo, proporciona resistencia frente a los insectos xilófagos de ciclo larvario.

La durabilidad sería similar a la de la madera de cedro rojo y no requeriría ningún tratamiento protector para su empleo como fachada. Al igual que en el caso del cedro rojo, se emplearían tornillos de acero inoxidable siguiendo las instrucciones del fabricante,

La madera modificada térmicamente es más oscura y también posee extractos por lo que, si existen zonas resguardadas de la acción directa del agua de lluvia, sería conveniente aplicar un bloqueador de taninos en los términos descritos anteriormente.

Con ninguna de las dos especies es de esperar exudaciones de resinas como consecuencia de su exposición a temperaturas elevadas. La madera de cedro rojo carece de canales resiníferos fisiológicos y en la madera modificada térmicamente (tratamiento Thermo-D), la resina ha sido eliminada durante el tratamiento.

11.2.4 Acabado decorativo de una envolvente de madera acetilada

Dentro de una intervención en una zona portuaria está previsto construir una estación marítima. Como envolvente de la estación se prescribe madera acetilada con un acabado decorativo.

La envolvente está formada por unos listones verticales de madera con una sección de 5x3 cm, espaciados 8 cm entre sí. Los listones se apoyan sobre unas tablas de 1,5 x 7 cm, también verticales. Ambos elementos se fijan a unos rastreles de madera tratada, atornillados a una chapa grecada de acero.

La fachada tiene una cámara de ventilación (> 2 cm) y el extremo inferior está separado del suelo. Las testas de los listones tienen una pendiente de 45° y su extremo superior está protegido por un vierteaguas metálico.





La madera acetilada de pino radiata (*Pinus radiata*) está clasificada como muy durable frente a los hongos xilófagos y como durable frente a los insectos de ciclo larvario por lo que no sería necesario realizar ningún tratamiento protector.

Como producto decorativo se selecciona un acabado filmógeno translúcido en base agua que permite apreciar la veta de la madera.

En una fachada vertical con un diseño constructivo adecuado y un acabado translúcido, un espesor razonable de película seca de acabado se sitúa en torno a las 60-80 micras. Para conseguir un espesor homogéneo sobre la superficie de las lamas es preciso incorporar diversas medidas adicionales de diseño constructivo, como redondear las aristas de los listones con un radio de curvatura mínimo de unos 3 mm.



Se describe la secuencia de aplicación del acabado:

Aplicación mediante inmersión de una mano de imprimación en la cara, contracara y testa de los elementos. El objetivo de la imprimación es facilitar el anclaje de las manos de acabado posteriores.

Aplicación de la primera mano de acabado. En función del contenido en sólidos del acabado seleccionado, debe calcularse el espesor de la película húmeda que es necesario aplicar para conseguir, una vez evaporada el agua, un espesor de 30-40 micras de película seca.

Una vez seco el soporte, se realiza un lijado suave de su superficie y se aplica la segunda mano de acabado a las caras y cantos vistos de los listones y tablas.

Por último, se aplica un sellador a las testas para proporcionarles una protección adicional.

La envolvente se sitúa en un ambiente marino bajo condiciones climáticas húmedas. En estas circunstancias, además de la imprimación, se aplica una mano de acabado en la contracara de las tablas y listones para mejorar su estabilidad en caso de que se produzcan condensaciones.



El periodo de renovación del acabado se estima en 5 años.

Anualmente, deberá procederse a una limpieza que elimine los restos que hayan podido depositarse en la superficie de la película de acabado (salitre, excrementos de aves, etc.) y que podrían degradarla químicamente. El producto de limpieza es un detergente neutro diluido en agua que no contiene biocidas. La operación puede realizarse manualmente en unas dos horas.

Transcurrido el periodo de mantenimiento, deberá procederse a un lijado superficial que facilite la adherencia, y a la posterior renovación del producto de acabado.

11.2.5 Vigas principales de una pasarela de madera laminada descubierta

El proyecto consiste en una pasarela peatonal de madera laminada sobre un río. La pasarela se encuentra en unas condiciones climáticas moderadas y las vigas principales están separadas del suelo, pero expuestas a la intemperie.





Las vigas tienen un canto de 22 cm y están formadas por láminas con un espesor inferior a 35 mm por lo que su masividad se clasifica como elevada (tabla 3). Las vigas están expuestas a la intemperie y su superficie apenas tiene pendiente, por lo que el diseño constructivo retiene el agua.

Consultando la tabla 4 se comprueba que las vigas de la pasarela se encuentran en unas condiciones equivalentes a una clase de uso 4 (aunque no esté en contacto directo con el suelo).

La madera seleccionada para realizar las vigas es abeto rojo (*Picea abies*) y contiene albura por lo que su durabilidad frente a los hongos xilófagos sería del tipo 5 (no durable). Igualmente las vigas serían sensibles frente al ataque de termitas e insectos xilófagos de ciclo larvario.

La norma EN 460 señala que la durabilidad natural, frente a los hongos de pudrición, de una madera del tipo 5 no es suficiente para su empleo en una clase de uso 4, siendo imprescindible un tratamiento protector.

El CTE especifica un nivel de penetración NP5 (penetración total en la albura) para una madera que precise tratamiento en una clase de uso 4.

La albura de la madera de píce es difícil de impregnar lo que quiere decir que, después de 3-4 horas de tratamiento bajo presión se alcanzan penetraciones de 3 a 6 mm. Además, la albura no se distingue claramente del duramen y éste no es impregnable. El duramen está clasificado como no durable frente a los hongos xilófagos, las termitas y también frente a los anóbidos y cerambícidos.

En estas condiciones, debe seleccionarse otra especie para elaborar las vigas de la pasarela.

Aún en el caso de que la pasarela se encontrase en una clase de uso 3.2, la madera de píce no podría alcanzar el nivel de penetración exigido de, al menos, 6 mm en la albura (NP3). El CTE advierte que las maderas no durables naturalmente empleadas en estas clases de uso deberán ser maderas impregnables (clase 1 de la norma UNE-EN 350-2).

La durabilidad natural (duramen) de la madera de píce en una clase de uso 3.2 o 4 sería inferior a 10 años (tabla 8). Esta estimación se corresponde con la realidad observada en España donde numerosas pasarelas elaboradas con madera laminada de píce han tenido que ser sustituidas prematuramente.



Retomando el ejemplo, se decide cambiar la especie para elaborar las vigas de la pasarela por pino silvestre (*Pinus sylvestris*) que también contiene albura.

La albura de pino silvestre está clasificada como muy fácil de impregnar y la madera aserrada puede ser impregnada totalmente con un tratamiento a presión sin dificultad.

En el caso de protección de madera laminada encolada destinada a una clase de uso 4, el CTE señala que el tratamiento se realizará sobre las láminas previamente a su encolado y que el fabricante deberá comprobar que el producto es compatible con el encolado.

Como producto protector se emplea una sal hidrosoluble y un tratamiento en autoclave mediante vacío-presión para alcanzar un nivel de penetración NP5. El mismo tratamiento debe aplicarse al resto de los elementos de la pasarela, elaborados con madera de pino silvestre y, que se encuentren en una clase de uso 4, como podría ser el caso del entablado.

Durante el tratamiento en autoclave, se añade una pasta de color que evita el tono verdoso característico de la madera tratada con sales hidrosolubles.

Como acabado frente a la radiación ultravioleta se emplea un lasur en las condiciones indicadas por el fabricante. Normalmente deberán aplicarse varias manos hasta conseguir una dosis de referencia próxima a los 250 ml/m².

Para mantener el acabado decorativo se limpiará la superficie de la madera de restos de suciedad y se aplicarán las manos correspondientes. Debe comprobarse el contenido de humedad de la madera en el momento de proceder a la renovación del acabado, para verificar que es compatible con la aplicación del producto.





Con independencia del tratamiento prescrito, que otorga durabilidad a la madera, es importante incorporar medidas de diseño constructivo que mejoren el comportamiento general de la pasarela.

En una pasarela descubierta es frecuente empezar a observar síntomas de erosión en los lasures a partir de los dos años de exposición, siendo las zonas más críticas las superficies horizontales donde puedan producirse acumulaciones de agua y una mayor incidencia de la luz solar (orientaciones sur y oeste).

Para prolongar el periodo de mantenimiento del acabado decorativo, se emplea una pieza de sacrificio que recubre la cara superior de las vigas. De esta forma, las superficies directamente expuestas a la intemperie serán verticales y el acabado decorativo durará más sobre ellas.



Si las testas de las vigas de la pasarela estuviesen expuestas, es importante tratarlas con un sellador que ayude a disminuir la aparición de fendas o, mejor aún, incorporar una pieza de sacrificio que las recubra.

Otro ejemplo de buena práctica constructiva consiste en ventilar adecuadamente los encuentros entre los distintos elementos de madera, evitando fijar a las vigas principales los largueros que sostienen el entablado. Asimismo, debe aplicarse un producto sellador a las testas del entablado, dejando un espacio adecuado entre éstas y las vigas principales.



11.2.6 Pasarela peatonal en un bosque húmedo

Se trata de una pasarela peatonal integrada en un espacio natural formado por eucaliptos de grandes dimensiones. La pasarela, expuesta a unas condiciones climáticas húmedas, está formada por unos postes en contacto con el suelo que sostienen unas vigas sobre las que se dispone un entablado.



En todos los casos (postes, vigas y entablado) se considera que los elementos estructurales se sitúan en una clase de uso 4.

Como especie para elaborar todos los elementos de la pasarela se selecciona pino radiata (*Pinus radiata*) que contiene albura.

La norma EN 460 señala que si empleamos madera de albura en una clase de uso 4, es necesario realizar un tratamiento protector contra los hongos xilófagos. La durabilidad natural tampoco sería suficiente para resistir los ataques de los insectos sociales y las termitas.

El CTE indica un nivel de penetración NP5 (penetración total en la albura) para las maderas que requieren tratamiento en una clase de uso 4. Además, el CTE señala que las maderas no durables naturalmente, empleadas en estas clases de uso deberán ser maderas impregnables (clase 1 de la norma UNE-EN 350-2).

En la norma EN 350-2 se comprueba que la albura de pino radiata es fácilmente impregnable (clase 1), por lo que puede impregnarse totalmente con un tratamiento a presión sin dificultad.

Como medio de tratamiento se selecciona un autoclave de vacío y presión. Como producto protector, una sal hidrosoluble.





Dado que la pasarela peatonal se instalará en España, donde existe riesgo de ataques por termitas subterráneas, la sal hidrosoluble deberá incluir un biocida eficaz frente a los insectos de ciclos larvario, los hongos de pudrición y las termitas subterráneas.

La retención del producto será la indicada por la empresa que realice el tratamiento para garantizar una protección frente a los agentes citados, en una clase de uso 4, sobre la base de los ensayos de eficacia realizados por la empresa fabricante del producto.

El tratamiento con sales hidrosolubles produce un incremento del contenido de humedad de la madera por lo que se comprobará que los elementos se entregan en obra conforme a los requisitos del proyecto.

En este caso, cabe desestimar la aplicación de un acabado decorativo, dadas las dificultades que conllevaría su renovación.

Con independencia de haber realizado un tratamiento en profundidad, se incorporan diversas medidas de diseño constructivo.

Las testas de los postes quedan protegidas por las vigas de la pasarela evitando así la exposición de superficies planas que puedan retener el agua de lluvia. Adicionalmente, todas las testas del entablado se protegen con una pieza de sacrificio elaborada con madera tratada.

La pasarela está inmersa en un bosque húmedo, por lo que su superficie será muy resbaladiza. Para reducir la resbaladividad del entablado, las tablas se disponen en el sentido transversal al de la marcha y con una amplia separación entre ellas (2 cm) que facilita el escurrido del agua. Adicionalmente, las tablas se recubren con una malla metálica que permitirá proteger del desgaste la superficie de la madera (cuya dureza es reducida), y, al mismo tiempo, mejorar el deslizamiento en caso de caída de hojas y materia orgánica.

11.2.7 Pilotes en contacto con el suelo que sostienen una vivienda

Se trata de una vivienda unifamiliar cimentada sobre pilotes de madera. La vivienda se localiza en unas condiciones climáticas húmedas.

En el caso de los pilotes hincados en el terreno estaríamos ante un elemento estructural en una clase de uso 4.

Como especie para elaborar los pilotes se selecciona una conífera como el pino gallego (*Pinus pinaster*) o el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) que contenga albura.

La albura de ambas especies es fácilmente impregnable. Al igual que en el ejemplo anterior, se prescribe un tratamiento protector con una sal hidrosoluble en autoclave de inmersión por vacío y presión.

Para garantizar la máxima durabilidad posible se matizan los requisitos exigidos por el CTE en cuanto a la penetración de la partida de madera, siguiendo las indicaciones de la normativa australiana (AS 1604.1) detalladas en el capítulo 7.

Al emplear una especie de madera con una durabilidad natural frente a los hongos de pudrición de la clase 3 (medianamente durable) o 4 (poco durable) como es el caso del pino silvestre o gallego, el producto protector deberá alcanzar una penetración mínima de 20 mm en todas las caras de los rollizos.

En cuanto a la retención, se pueden emplear como referencia los valores exigidos en Francia (por el FCBA) para la clase 4SP, asociada a aquellos tratamientos que garanticen, dentro de una clase de uso 4, una durabilidad igual o superior a 25 años.

Dado que la vivienda se encuentra en España, el valor de retención prescrito para una clase de uso 4, deberá incluir la posibilidad de ataque por termitas subterráneas.

11.2.8 Estructura de la cubierta de madera microlaminada de una piscina

La estructura de la cubierta de una piscina está elaborada con vigas y tableros de madera microlaminada.

La madera microlaminada o LVL (Laminated Veneer Lumber) está formada por láminas de 3 mm de espesor obtenidas mediante desenrollo. Durante el proceso de fabricación, las láminas se encolan en sentido longitudinal con juntas biseladas. Posteriormente, se encolan entre ellas hasta formar las vigas o tableros con el espesor requerido.

La madera microlaminada se comercializa con dos tipos de composición:





En la primera, todas las láminas están orientadas en el mismo sentido. De esta forma se alcanzan propiedades mecánicas muy elevadas que permiten resolver estructuras con vigas particularmente esbeltas.

En la segunda composición, un 20% aproximadamente de las láminas están orientadas perpendicularmente. Esta composición presenta una mayor estabilidad dimensional ante las variaciones de humedad y se emplea, principalmente, como tablero estructural.

Para el proyecto se seleccionan vigas de madera microlaminada de composición paralela a las que se fijan tableros de composición cruzada que permiten arriostrar el conjunto.



El adhesivo empleado para fabricar las láminas es fenólico y apto para su empleo en una clase de servicio 2.

La madera empleada es abeto rojo (*Picea abies*). Las vigas y tableros están formados mayoritariamente por madera de duramen con una durabilidad frente a los hongos xilófagos del tipo 4 (poco durable). Asimismo, el duramen es sensible frente al ataque de insectos de ciclo larvario que pueden estar presentes en una clase de uso 2.

La norma EN 460 señala que la durabilidad frente a los hongos de pudrición, de una madera del tipo 4, es normalmente suficiente para su empleo en una clase de uso 2, pero recomienda un tratamiento protector para determinados usos.

El CTE prescribe un nivel de penetración NP1 para el empleo de la madera en una clase de uso 2. También señala que todas las caras de las vigas y tableros deberán recibir un tratamiento frente a los insectos de ciclo larvario y hongos de pudrición.

El nivel de penetración NP1 no conlleva ninguna exigencia específica por lo que el tratamiento se aplica, mediante pincelado, antes de proceder al transporte y montaje de los elementos.

Como producto se selecciona un fondo insecticida y fungicida que se complementa con la aplicación de dos manos de un lasur decorativo. El producto se aplica tanto en las caras como en las testas de los tableros y vigas.

11.2.9 Proyecto Metrosol Parasol

El proyecto Metrosol Parasol está ubicado en la Plaza de la Encarnación de Sevilla. La estructura está formada por seis grandes parasoles que se extienden sobre una superficie de 150 x 70 m, y a una altura aproximada de 26 m.



El proyecto busca integrar un nuevo espacio urbano en el casco histórico medieval, mediante una estructura de formas sinuosas en cuyo diseño se ha priorizado la generación de sombras en la plaza. La estructura alberga varias instalaciones en distintos niveles y, en su parte superior, incluye una pasarela peatonal que permite disfrutar de unas vistas privilegiadas.

La estructura se elabora a partir de 3400 tableros microlaminados que forman una retícula ortogonal de 1,5 x 1,5 m. El canto de los tableros varía entre 30 cm y 3,5 m, dependiendo de las solicitaciones estructurales. El espesor de las piezas varía entre 7 y 22 cm. Los mayores tableros tienen una longitud de 16,5 m.

El proyecto se diseña a partir de tableros de 27 mm de espesor y composición cruzada, con un 20% aproximadamente de las láminas orientadas perpendicularmente al resto. Esta composición mejora la estabilidad dimensional de los paneles de grandes dimensiones ubicados al exterior.





La madera empleada es abeto rojo (*Picea abies*), y los tableros contienen albura, por lo que su durabilidad frente a los hongos xilófagos sería del tipo 5 (no durable). El adhesivo empleado para fabricar las láminas es fenólico y apto para su empleo en una clase de servicio 3.

Desde el punto de vista de la durabilidad, el proyecto supone un desafío ya que los tableros de picea se encuentran expuestos a la intemperie.



Con estos antecedentes se describe el tratamiento protector de los tableros microlaminados:

Cada tablero, de 27 mm de espesor, se trató con una sal hidrosoluble en autoclave mediante vacío-presión. Tras el tratamiento, los tableros se secaron y se encolaron por sus caras hasta alcanzar el espesor requerido por el cálculo estructural. El objetivo del tratamiento es lograr una protección perimetral en las caras y, sobre todo, en los cantos de cada tablero.

La madera con la que se elaboraron los tableros incluía albura para facilitar la entrada del protector. Además, la composición cruzada también contribuye a la eficacia del tratamiento ya que en cada canto existen láminas con fibras en sentido longitudinal que facilitan la entrada del producto.

Posteriormente se aplicó a los tableros una membrana híbrida bicomponente, para impermeabilización de cubiertas. El impermeabilizante empleado es permeable al vapor de agua, posee una elevada elasticidad y no reblandece a altas temperaturas. La membrana alcanza una película de unos 2 mm de espesor. Posteriormente, los tableros recibieron una capa de acabado elástica de poliuretano monocomponente de color claro, para limitar la influencia de la radiación infrarroja.

Las uniones son de acero inoxidable y se fijan a los tableros mediante una resina epoxídica, formulada para resistir las elevadas temperaturas que pueden alcanzarse en Sevilla. Los acabados fueron aplicados in situ sobre las propias uniones.

Con independencia del tratamiento protector, el diseño de la estructura se ha concebido de forma que los tableros y las uniones eviten las acumulaciones de agua sobre su superficie.

Por su carácter innovador, el proyecto constituye un verdadero laboratorio sobre la durabilidad de los tableros microlaminados en condiciones de exterior. Lo mismo es aplicable al acabado aplicado superficialmente, donde se espera alcanzar periodos de renovación próximos a los 8 años.



11.2.10 Mobiliario urbano elaborado con tablero alistonado

Se diseñan unos bancos formados por unos tableros horizontales de madera con una anchura de 30 cm y un espesor de 2 cm. Los bancos, expuestos a la intemperie, se fijan a un muro de hormigón mediante unos angulares metálicos.

Para mejorar la estabilidad, se emplean tableros de madera maciza monocapa (tablero alistonado). Los tableros se elaboran con madera de duramen de pino gallego (*Pinus pinaster*) y están encolados con un adhesivo SWP3, apto para su empleo en ambiente exterior (clase de servicio 3).

A los pocos años de su instalación, se observan ataques por hongos de pudrición que obligan a retirar todos los bancos.

Para analizar lo ocurrido, se revisa el diseño constructivo desde el punto de vista de la durabilidad del material empleado.





Los bancos se emplazan en una ciudad de clima moderado y están muy expuestos. Su masividad es reducida (espesor inferior a 28 mm) y su diseño constructivo retiene el agua (están formados por un tablero horizontal de 30 cm de anchura).

Consultando la tabla 4 se comprueba que un elemento de masividad reducida, con un diseño que retiene el agua y expuesto a unas condiciones climáticas moderadas se sitúa en una clase de uso 4.

En la tabla 8, la durabilidad estimada frente a los hongos de pudrición para la madera de duramen de pino gallego en una clase de uso 4 es inferior a 10 años. Esta estimación se corresponde con la realidad observada, iniciándose la degradación por las testas de los listones que es el punto por donde se produce una mayor absorción de humedad.

El duramen de pino gallego está clasificado como no impregnable por lo que no sería posible su tratamiento con métodos tradicionales.

Por lo tanto, si se desea incrementar la durabilidad del diseño propuesto habría que seleccionar otra especie con una mayor durabilidad natural o bien emplear listones de una especie fácilmente impregnable que se tratarían para su empleo en una clase de uso 4 antes de encolar el tablero.

En todo caso, el acabado decorativo aplicado sobre una superficie horizontal totalmente expuesta se degradará de forma prematura por lo que, una opción más conveniente podría ser mejorar el diseño constructivo de la propuesta inicial.

11.2.11 Vivienda modular con paneles sándwich de tablero contrachapado (Proyecto 6x6≈27*)

El proyecto consiste en una vivienda modular de fin de semana con unas dimensiones de 6x6 m, equipada con aseo, cocina y un espacio habitacional con un dormitorio y una sala de estar. La vivienda se completa con un porche de 9 m² en su acceso.

Un prototipo de la vivienda se expuso en Madrid, durante Solar Decathlon Europe 2012 y el proyecto responde a la filosofía del concurso. Se trata, por tanto, de una construcción industrializada, sostenible y energéticamente eficiente.

El 80% de la vivienda está elaborada con madera obtenida de forma sostenible (en su mayor parte chopo procedente de plantaciones españolas) por lo que la huella de carbono es muy reducida. El comportamiento térmico es también muy favorable con valores de transmitancia térmica del cerramiento de fachada, cubierta y forjado de suelo de 0,33 W/m²K. La vivienda es ligera (su peso total es de 9 toneladas) y puede montarse en una semana mediante un proceso seco.

El proyecto es un ejemplo de las posibilidades de empleo de los tableros contrachapados. El sistema constructivo se organiza a partir de módulos de 3 x 1,5 m, que permiten multitud de combinaciones en función de cada necesidad.

La envolvente y el forjado del suelo se resuelven con paneles sándwich elaborados con tableros contrachapados en ambas caras y un alma de poliestireno extruido de 10 cm de espesor. Los tabiques del interior de la vivienda son de tablero contrachapado, con un alma de poliestireno extruido de 5 cm de espesor y distintos acabados según las necesidades de cada uso.

Las puertas de la vivienda y las vigas que sostienen la cubierta también se han elaborado con tablero contrachapado. La puerta del aseo, por ejemplo, es un tablero contrachapado de chopo de 40 mm de espesor, acabado con un laminado decorativo de alta presión (HPL).

En los paneles sándwich que forman la envolvente de la vivienda, los tableros de la cara interior tienen un espesor de 18 mm y están acabados con chapas de okoumé (*Aucoumea klaineana*) cuya superficie ha sido barnizada.





El forjado del suelo se resuelve con un panel sándwich formado por dos tableros contrachapados de chopo de 12 y 18 mm de espesor y un alma de poliestireno extruido de 100 mm. Las chapas de los tableros están tratadas contra ataques biológicos. Ambos tableros están acabados con un laminado de alta presión (HPL) de 1 mm de espesor.

La protección de los tableros contra los hongos e insectos se realiza mediante un tratamiento por inmersión, sumergiendo cada una de las chapas en una sal hidrosoluble.

Adicionalmente, todos los tableros han sido encolados con resinas fenólicas y son de la Clase 3 (aptos para su empleo en una clase de servicio 3).

La cara exterior de los paneles sándwich de la envolvente, está formada por tableros de chopo tratado de 12 mm de espesor.

En la vivienda se han empleado dos soluciones de fachada, con un entablado y una celosía formada por listones. En ambos casos, sobre el tablero base, se coloca una lámina permeable al vapor de agua, sobre la que se fija un doble sistema de rastreles para sostener las piezas de remate verticales y permitir la ventilación del conjunto.

El entablado se elabora con tablero contrachapado de chopo de 18 mm de espesor, tratado y con sus caras externas recubiertas de un papel MDO (Medium Density Overlay) que incrementa su dureza y durabilidad. Sobre el papel se aplicó una pintura de exterior como acabado decorativo.

La celosía se elabora con listones de tablero contrachapado de chopo, tratado y acabado con un lasur decorativo. El mismo material se emplea para elaborar los elementos del porche a excepción del suelo, en el que se empleó una tarima de madera termo-tratada de eucalipto.



Los cantos de los tableros situados en una clase de servicio 3 han recibido una protección adicional, con una resina epoxídica que previene las posibles entradas de humedad.

Los mismos principios de la solución modular descrita son aplicables a otras tipologías de uso como vivienda unifamiliar de primera residencia, vivienda social, etc.

11.2.12 Viviendas adosadas con estructura de paneles contralaminados

El proyecto consiste en 3 viviendas pareadas junto a la costa vizcaína. Cada vivienda está formada por una planta sótano, planta baja y planta primera. La estructura del sótano y el forjado de la planta baja se han ejecutado con hormigón y forman la base sobre la que se erige el resto de la vivienda. La estructura sobre rasante está resuelta enteramente con paneles contralaminados que forman la cubierta, forjados y muros de las viviendas.

Los paneles contralaminados, más conocidos por sus siglas en inglés CLT (Cross Laminated Timber), están formados por capas de madera aserrada encoladas entre sí, de forma que la orientación de las fibras de dos capas adyacentes es perpendicular entre sí. Los paneles suelen suministrarse en formatos comerciales de hasta 2,95 metros de ancho, 16 metros de longitud y 40 centímetros de espesor. Estas dimensiones pueden superarse en formatos especiales, siendo las posibilidades de transporte su principal limitación.

Para el proyecto se selecciona un panel estándar de calidad industrial, de 97 mm de espesor, elaborado con 3 capas de abeto rojo (*Picea abies*) y clasificado estructuralmente como C-24. Adicionalmente, también se emplean paneles de calidad decorativa (aplicaciones vistas con ambas caras lijadas), elaborados con abeto rojo y alerce.

Los paneles contralaminados son aptos para su empleo en una clase de servicio 1 y 2, si bien la durabilidad de cada panel depende de la especie con la que se haya elaborado y de que la madera quede vista u oculta por aislantes y otros materiales de acabado.

Normalmente, los paneles salen de fábrica sin haber recibido ningún tratamiento protector. Una vez en obra, pueden permanecer expuestos a la intemperie aunque, dado que el montaje de este tipo de paneles es muy rápido, esta breve exposición no suele suponer ningún riesgo adicional.





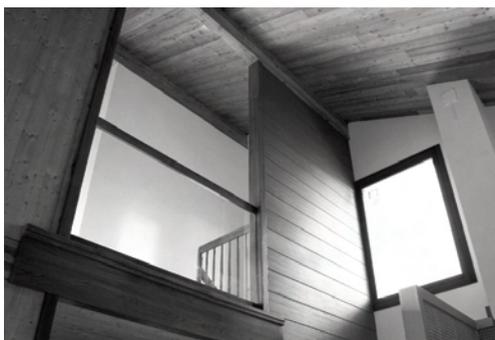
Posteriormente, si bien todo el montaje se basa en un proceso seco, es necesario tomar algunas precauciones relacionadas con la durabilidad de los paneles. Así, en la planta baja, el encuentro entre el zuncho perimetral de hormigón de la solera y los paneles CLT se resuelve aislando ambos materiales, tanto acústicamente como con una barrera impermeabilizante que evita el acceso de humedad.

Junto con sus prestaciones estructurales, el proyecto aprovecha las posibilidades decorativas de los paneles CLT, que se expresan en diversas zonas del interior de la vivienda.

La cubierta se resuelve con paneles acabados con madera de alerce, visibles desde el interior de la vivienda. Los paneles se apoyan en vigas de madera laminada, también de alerce, formando una cubierta a dos aguas. Sobre los paneles, se completa el cierre de la cubierta con los elementos habituales de aislamiento térmico e impermeabilidad.

Entre las viviendas se sitúan los muros medianeros, formados por un panel CLT doble, con una cámara intermedia de lana mineral, y revestidos en su cara interior con una doble placa de cartón-yeso.

Los paneles del forjado de la planta primera, así como alguno de los paneles verticales, se han dejado vistos por una de sus caras, en calidad decorativa (lijada) de madera de abeto rojo.



Todas las superficies vistas de los paneles contralaminados han sido tratadas con un lasur transparente. Al añadir un fondo insecticida y fungicida, se consigue una protección adicional en aquellos casos donde podría existir un riesgo adicional, como los paneles vistos de cubierta, zonas próximas a baños, cocinas, etc.

La cubierta forma un alero en todo el perímetro de la vivienda que deja vista desde el exterior la cara del panel elaborada con alerce. El tramo del panel que forma el vuelo de la cubierta está protegido de la incidencia de la lluvia y de la radiación solar, por lo que puede considerarse en una clase de servicio 2.

La madera de alerce posee una durabilidad natural superior a la del abeto y ha sido protegida con un fondo insecticida y fungicida y dos manos de lasur decorativo. Adicionalmente, los cantos están revestidos con una pieza metálica ventilada que los protege de la posible incidencia del agua de lluvia.

Uno de los retos del proyecto es combinar diferentes soluciones de envolventes en un conjunto equilibrado. De este modo, tres de las cuatro orientaciones se resuelven con fachadas ventiladas rematadas con distintos materiales (sistemas cerámicos, madera y aplacado de piedra natural caliza). En la orientación este, sobre la cara exterior de los paneles CLT, se ha empleado corcho natural como aislamiento térmico acabado en raseo.

Se describe el detalle constructivo de la orientación norte, acabada con una fachada de madera. Sobre el panel contralaminado, formado por tres capas de madera de abeto de 97 mm de espesor, se incorpora una barrera de vapor, un aislamiento térmico de 60 mm de espesor y una membrana transpirable resistente a la radiación ultravioleta. Sobre el conjunto anterior se fijan unos rastreles de madera tratada de 30x60 mm, que reciben un entablado horizontal de madera de alerce acabada con un lasur pigmentado.



Si en cualquiera de las soluciones de envolvente descritas, los paneles de abeto rojo quedasen directamente expuestos a la intemperie se situarían en una clase de servicio 3 y, con el tiempo, tendrían problemas de durabilidad.

Con independencia de sus prestaciones estructurales, el comportamiento térmico de los paneles CLT mejora considerablemente la eficiencia energética de la vivienda respecto a otros sistemas de construcción tradicional. Los valores de la transmitancia térmica de la envolvente varían entre 0,23 y 0,35(W/m²K).

Al mismo tiempo el empleo de madera tiene un gran impacto sobre la reducción de emisiones de CO₂ de las viviendas, permitiendo obtener una calificación B=9,4 (kg CO₂/m²) según el indicador para la certificación energética de ecodiseño.

11.2.13 Vivienda modular con envolvente de tablero derivado de la madera (Proyecto SMLsystem)

SMLsystem es un sistema de vivienda modular que se caracteriza por su eficiencia energética e industrialización abierta. El proyecto, desarrollado por alumnos de la Universidad CEU Cardenal Herrera de Valencia, participó en la competición Solar Decathlon Europe, celebrada en Madrid en el año 2012.

La vivienda se organiza a partir de un módulo básico formado por un módulo estructural, un núcleo húmedo (baño y cocina) y una celosía. El conjunto del módulo básico está construido con materiales prefabricados y montaje en seco, siendo la madera el material predominante.

En cada módulo básico existe un patio que actúa como elemento de composición, dividiendo estancias, generando el acceso, aportando la iluminación y ventilación y, dotando a la vivienda de valor espacial. A partir del módulo, la vivienda puede crecer por adición de nuevos elementos, a modo de costillas, que también tienen una unión en seco. Cada elemento alberga un programa concreto que puede funcionar de forma autónoma y permite el crecimiento de la vivienda según la necesidad del usuario.

El diseño del sistema constructivo permite tanto el crecimiento horizontal, para viviendas unifamiliares, como el crecimiento vertical, para viviendas colectivas. Al mismo tiempo, cada usuario puede configurar el espacio según sus necesidades, mediante un catálogo de elementos prefabricados.

El módulo estructural tiene unas dimensiones de 7,2 x 3,6 m y una altura de 3,4 m. La envolvente del sistema está formada por una estructura mixta, con cuatro pilares en "L" y forjados de suelo y techo resueltos con paneles contralaminados de madera. Este tipo estructural permite que el sistema pueda crecer en todas las direcciones, incluyendo el giro de los módulos.



La envolvente, además de alojar las instalaciones y sistemas de captación de energía, es el "contenedor" de la vivienda. Para rigidizar su estructura y formalizar los muros de la vivienda se utilizó un tablero de partículas.

La norma UNE EN 12871 detalla las especificaciones y requisitos que deben cumplir los tableros derivados de la madera para su utilización en forjados, muros y cubiertas. En el caso de los tableros de partículas existen 7 tipos, definidos por la norma UNE-EN 312, de los que 4 (P4, P5, P6 y P7) tienen uso estructural.

Se prescribe un tablero P5 (tablero estructural para utilización en ambiente húmedo) que está indicado para una clase de servicio 2. Estos tableros, de prestaciones mejoradas frente a la hinchazón y resistencia a la humedad, son de uso habitual en aplicaciones como las cubiertas de tejados, revestimientos interiores de bajo-cubiertas, suelos de estructuras sobre elevadas, paneles sándwich de envolventes, etc.

Para el proyecto se seleccionan unos tableros especiales, formados por un alma de tablero de partículas revestido, en ambas caras, por tableros de fibras de densidad media. Los tableros son de la categoría P5 y aptos, por lo tanto, para su uso en una clase de servicio 2 sin necesidad de recibir ningún tratamiento protector.

La composición del tablero mejora considerablemente la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad, permitiendo reducir el espesor requerido por un tablero de partículas estándar. Los tableros instalados tienen un espesor de 16 mm y unas dimensiones de 2440 x 1220 mm.



Durante el montaje se siguen las recomendaciones de la norma UNE ENV 12872 que, para instalación de tableros en cerramientos de muros, recomienda proteger su cara externa con una membrana transpirable y disponer de un espacio ventilado entre el revestimiento y la cara de los tableros.

En general, para paredes de interior o exterior de muro estructural sobre montantes se utilizan tableros de cantos rectos. La norma recomienda que los tableros apoyen en todos sus lados sobre los montantes y los travesaños del muro. En el caso de los montantes, los cantos de los tableros deben apoyarse sobre una longitud de, al menos, 18 mm.

En el revestimiento interior de la vivienda, sobre los tableros se emplea lana mineral como aislamiento térmico y acústico. A continuación, se dispone una lámina permeable al vapor de agua que se fija a unos perfiles de acero galvanizado. Sobre los perfiles se instala una doble capa de placas de yeso laminado, con propiedades acústicas, acabada con una pintura.

Los interiores de la vivienda se diseñan como espacios contemporáneos, formando ambientes continuos, acabados con colores claros, que rompen la percepción de una vivienda tradicional de madera.



El revestimiento exterior de la vivienda se resuelve con una combinación de placas solares y, en algunos tramos, una fachada ventilada formada por un entablado de madera, en disposición vertical. En el caso del entablado, las tablas se fijan a una subestructura doble de rastreles de madera tratada en autoclave. A continuación y protegidos por una lámina transpirable e impermeable están los tableros de partículas unidos a la subestructura de madera, arriestrándola y dotándola de cerramiento.

Los tableros también contribuyen a las prestaciones energéticas y medioambientales de la vivienda. Su conductividad térmica es $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ y el material

empleado en su elaboración, procedente de bosques españoles y reciclable, disminuye la huella de carbono del conjunto de la vivienda.



11.2.14 Tratamiento de un ataque de termitas mediante un sistema de cebos

En una iglesia de un pueblo de Granada, se detecta un ataque de termitas que está provocando daños en elementos estructurales y decorativos de madera.

Una empresa especializada realiza una inspección, examinando la carpintería accesible, abriendo catas puntuales en zonas de riesgo y empleando un detector acústico. También se inspeccionan las viviendas situadas en las proximidades de la iglesia, no detectándose termitas en el interior de las mismas, por lo que la actividad parece localizada en el interior de la iglesia.

El interior de la iglesia permite una rápida conexión con el (o los) termitero(s) presente(s), al existir canales de progresión activos por los que se observa el paso de termitas. Al mismo tiempo, es posible realizar una instalación perimetral de cebos que permita detectar la actividad de las termitas en el subsuelo.

En estas circunstancias, se propone emplear un sistema de cebos para eliminar la colonia de termitas, evitando emplear otros productos químicos que puedan interferir en el tratamiento o favorecer la formación de colonias independientes. Por los mismos motivos, tras comprobar que no existe riesgo para la seguridad de las personas, se propone esperar a que el tratamiento haya hecho efecto antes de continuar con la sustitución o reparación de los elementos de madera afectados.

Las termitas tienen un esqueleto externo que renuevan de forma periódica a través de la muda. La cutícula es uno de los componentes de dicho esqueleto, siendo la quitina su constituyente esencial.





El sistema de cebos se basa en el empleo de un biocida que inhibe la formación de la quitina, para impedir la renovación de la cutícula y provocar la muerte de las termitas durante la muda. El biocida posee un efecto retardado y es ingerido por las obreras que, a través del intercambio de alimentos con otras castas, producirán la desaparición de la colonia.

Se instalan 32 estaciones de control o cebos; 13 estaciones subterráneas grandes (SL), 3 estaciones de pared (SB) y 16 estaciones subterráneas pequeñas (SS).

La instalación perimetral se realiza instalando una estación subterránea (SS) cada 3-4 m de distancia, en todo el perímetro de la iglesia. Estas estaciones se instalan, inicialmente, con testigos de madera de chopo humedecidos que permitirán detectar la posible actividad de las termitas fuera del recinto cubierto de la iglesia.

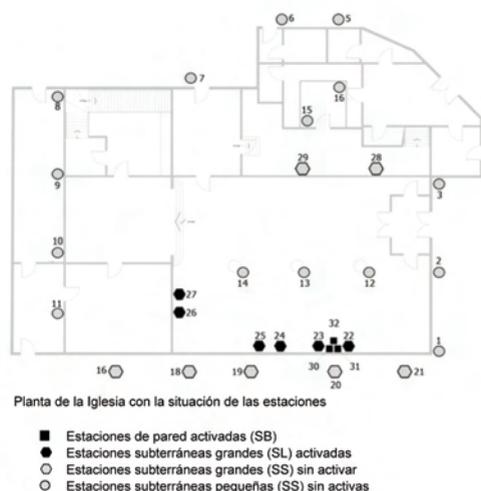
En el interior se instalan estaciones grandes de suelo (SL) aprovechando la existencia de espacios con tierra. El tratamiento se inicia en octubre y, durante el invierno, es de esperar un descenso de la actividad termitica debido a la bajada de las temperaturas en la zona de la Alpujarra donde se encuentra la iglesia. Por este motivo, en una de las estaciones se introdujo un cable calefactor que permitirá disponer de unas condiciones de temperatura y humedad óptimas para mantener y aumentar los consumos de cebo durante el invierno.

Los elementos de madera afectados habían sido retirados y en el momento de implantar el sistema de cebos, no se detectó actividad acústica en el interior de la iglesia por lo que las estaciones de pared se limitaron a la zona en la que existían canales de progresión activos sobre uno de muros interiores de la iglesia.

La frecuencia de las visitas para revisar los cebos la determina la actividad termitica observada. En el caso de la iglesia, las visitas durante el invierno se realizaron cada 2-3 meses y en primavera/verano cada 1-2 meses.

Se contactó con la colonia en 9 estaciones. Durante el proceso pudo comprobarse la efectividad del tratamiento, al constatar la disminución de la actividad en los canales de progresión, la presencia de ácaros sobre las temitas o, el incremento de la proporción de termitas soldado una vez que la colonia estaba siendo afectada por el inhibidor de quitina.

El tratamiento confirmó que la actividad estaba delimitada a una zona del interior de la iglesia, donde las termitas habían encontrado un alimento propicio en contacto con una elevada humedad. Asimismo, el mayor consumo de cebo se produjo en la estación calefactada.



A los 9 meses la ausencia de actividad es total en todas las estaciones de control por lo que se considera que la colonia ha sido eliminada.

Posteriormente, se inicia una fase de vigilancia/mantenimiento destinada a comprobar que no existen rebrotes y/o la posible actividad de otra colonia que pudiera hacer acto de presencia.

Durante esta etapa es importante comprobar que los testigos de madera de las estaciones subterráneas que se han dejado instaladas para servir de monitoreo se encuentran sin actividad y en buenas condiciones. La revisión de las estaciones se complementa con una inspección acústica que permitiría detectar cualquier repunte de la actividad termitica.

A los cinco años se comprueba que no existen rebrotes por lo que el tratamiento se considera finalizado con éxito.

En cualquier caso, la iglesia se considera una zona de riesgo por lo que se transmiten a la propiedad diversas recomendaciones como evitar cualquier actuación que favorezca la presencia de humedad, no acumular materiales que puedan servir de focos de alimentación y proceder al tratamiento preventivo de los nuevos elementos de madera que se integren en la iglesia.

NORMATIVA

AS 1604.1-2005. Specification for preservative treatment. Part 1: Sawn and round timber.

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Seguridad Estructural. Estructuras de Madera (2009). Ministerio de Vivienda, Madrid, 126 pp.

FD P 20-651: 2011. Durabilité des éléments et ouvrages en bois.

UNE-EN 312:2010. Tableros de partículas. Especificaciones.

prEN 335:2012. Durability of wood and wood based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood based panels.

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.

UNE-EN 351-1:2008. 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.

UNE-EN 460:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Guía de especificaciones de durabilidad natural de la madera para su utilización según las clases de riesgo.

UNE-EN 599-1:2010. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Eficacia de los protectores de la madera determinada mediante ensayos biológicos. Parte 1: Especificaciones para las distintas clases de uso.

UNE-EN 12871:2010. Tableros derivados de la madera. Especificaciones y requisitos de los tableros estructurales para utilización en forjados, muros y cubiertas.

UNE-ENV 12872:2001. Tableros derivados de la madera. Guía para la utilización de los tableros estructurales en forjados, muros y cubiertas.



12. Pliego de condiciones, suministro y control de calidad de una partida de madera tratada

12.1 PLIEGO DE CONDICIONES

Si fuese necesario realizar un tratamiento protector o decorativo, el pliego de condiciones deberá definirlo de forma inequívoca, recomendándose incluir, al menos, la siguiente información.

- La especie de madera, identificada mediante su nombre botánico.
- La clase de uso en la que estará expuesta.
- El tipo de producto protector y los niveles de penetración y retención requeridos.
- El contenido de humedad de instalación.
- El acabado decorativo.

Para realizar un tratamiento protector de la madera en España, los productos deben figurar inscritos en el registro oficial de plaguicidas de uso ambiental y en la industria alimentaria de la Subdirección General de Sanidad Ambiental y Salud Laboral del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad que puede consultarse online (www.msssi.gob.es).

Cualquier otro aspecto que pueda incidir sobre la durabilidad de la estructura, deberá señalarse expresamente (por ejemplo, si se prescribe que la madera no contenga albura).

Las posibles operaciones de mantenimiento que puedan influir en la durabilidad del elemento estructural, también deben quedar definidas. Estas operaciones pueden incluir la renovación periódica de los acabados superficiales, la sustitución de piezas de sacrificio o la limpieza de canalizaciones y bajantes, y deberán integrarse en el plan de mantenimiento que forma parte del Libro del Edificio.

En la página web (www.infomadera.net) de la Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera (AITIM) están disponibles modelos de pliegos de condiciones para distintos productos de madera.

12.2 SUMINISTRO Y RECEPCIÓN DE UNA PARTIDA DE MADERA TRATADA.

En el caso de los elementos estructurales de madera tratados con productos protectores, el Documento Básico de Seguridad Estructural - Madera del Código Técnico de la Edificación (CTE) indica que debe disponerse de un certificado del tratamiento realizado, en el que figure la siguiente información:

a) La identificación del aplicador.

b) La especie de madera tratada. Debe incluirse siempre el nombre botánico de la especie de madera para evitar confusiones derivadas del empleo de nombres comerciales. La norma UNE-EN 13556 incluye la nomenclatura de las maderas más empleadas en Europa.

c) El protector empleado y su número en el Registro Oficial del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad.

d) El método de aplicación empleado.

e) La clase de uso que cubre. Es recomendable incluir también el nivel de penetración correspondiente, para comprobar que coincide con lo especificado en el CTE.

f) La retención del producto protector. Dentro de una misma clase de uso, la retención puede variar en función de los organismos xilófagos existentes. Un ejemplo sería un tratamiento con una sal hidrosoluble, en una clase de uso 4, donde se considere, o no, el riesgo de ataque por termitas subterráneas.

g) La fecha del tratamiento.

h) Precauciones a tomar ante mecanizaciones posteriores al tratamiento. Un ejemplo sería la madera tratada superficialmente, donde un mecanizado pueda dejar al descubierto partes de la madera que no hayan recibido producto protector, y que sería necesario proteger antes de su puesta en servicio definitiva.

i) Informaciones complementarias, en su caso. Por ejemplo, incompatibilidades del producto protector con determinados elementos metálicos.

12.3 CONTROL DE CALIDAD DE UNA PARTIDA DE MADERA TRATADA

El CTE señala que el incumplimiento de alguna de las especificaciones de un producto, salvo demostración de que no suponga riesgo apreciable, tanto de las resistencias mecánicas como de la durabilidad, será condición suficiente para la no aceptación del producto y, en su caso, de la partida.





En el caso de la madera tratada, el control de calidad puede contemplar aspectos como la identificación de la especie de madera, el contenido de humedad, la penetración y la retención alcanzada por el producto protector, etc.

12.3.1 Contenido de humedad

Debe comprobarse que los elementos de madera tratada se instalan con el contenido de humedad requerido por el pliego de condiciones, de manera especial en aquellos casos en los que el tratamiento altere significativamente su contenido de humedad, como sería el caso de un tratamiento en autoclave con sales hidrosolubles.

El contenido de humedad de una muestra de madera aserrada puede determinarse mediante el método de secado en estufa, definido en la norma UNE-EN 13183-1. Este método es el más exacto pero requiere disponer de una estufa y una balanza de precisión, por lo que suele formar parte de un control externo realizado en laboratorio.

En obra o almacén, el contenido de humedad se determina con xilohigrómetro de resistencia. La norma UNE-EN 13183-2 señala que las mediciones de humedad mediante este método son fiables en el intervalo comprendido entre valores del 7-30% de contenido de humedad. Fuera de estos valores, la fiabilidad de los resultados disminuye y deben ser considerados como meramente indicativos, aunque los valores elevados son un indicador de la existencia de agua líquida en la madera.

La presencia de productos protectores en la madera puede alterar significativamente las lecturas realizadas con un xilohigrómetro. Las sales hidrosolubles disminuyen la resistencia eléctrica de la madera, incrementando las lecturas del contenido de humedad de una muestra de madera tratada respecto a las de la misma madera sin tratar. En protectores orgánicos, como las creosotas, el efecto es el inverso (James, 1980).

El porcentaje de variación de las lecturas oscila en función del tipo de producto, de la retención alcanzada, de la humedad de la muestra, etc. Algunos fabricantes proporcionan tablas correctoras calibradas para sus productos pero, en general, se recomienda comprobar la validez de las medidas realizadas con un xilohigrómetro, en madera tratada.

12.3.2. Especie botánica

Puede confirmarse que la especie suministrada se corresponde con la especificada en el pliego de condiciones, solicitando una identificación microscópica.

La identificación microscópica requiere preparar un pequeño bloque de madera orientado que se somete a un proceso de reblandecimiento y, posteriormente, se corta en secciones finas mediante un microtomo. La identificación se realiza analizando el tamaño y la disposición de los principales elementos anatómicos presentes en la muestra (vasos, parénquima, radios leñosos, etc.) y comparando los resultados con claves analíticas de referencia.

En ocasiones, sobre todo en el caso de frondosas, una identificación macroscópica (a ojo desnudo o con ayuda de una lupa) puede ser suficiente para confirmar que la especie suministrada no se corresponde con la solicitada, al no presentar alguno de sus caracteres identificativos (tipo de parénquima, distribución de los vasos, etc.).

12.3.3 Penetración y retención

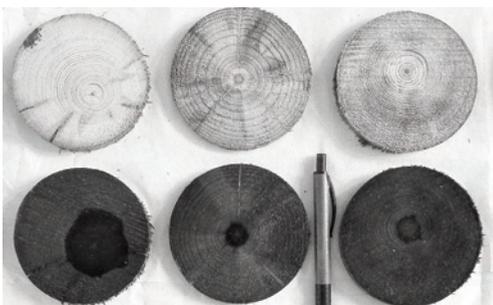
La norma UNE-EN 351-2 aporta recomendaciones sobre los procedimientos de obtención de muestras de elementos de madera maciza y madera laminada tratada para determinar la penetración y retención del producto protector en la madera.

La penetración se determina visualmente mediante reactivos químicos que permitan teñir la madera tratada al reaccionar con alguno de los componentes de la formulación protectora. Asimismo, pueden emplearse reactivos para distinguir la albura del duramen en aquellas especies donde su diferenciación no esté clara.

En el caso de los postes de madera de pino impregnados en autoclave con sales hidrosolubles, la norma UNE 21152, describe los reactivos necesarios para distinguir la albura del duramen así como para teñir la madera tratada con distintos tipos de sales hidrosolubles.

El grado de retención de un producto protector debe determinarse en un laboratorio aplicando procedimientos específicos en función de los principios activos de cada producto.





El anejo A de la norma UNE-EN 351-2 detalla cómo establecer un plan de muestreo en función del tamaño de la muestra y del nivel de calidad aceptable. El procedimiento se detalla en el anejo E de esta publicación.

12.3.4 Otras consideraciones

En función de cada proyecto concreto, pueden existir otras consideraciones con influencia en la durabilidad de la madera y que pueden ser objeto de un control de calidad específico. Se citan algunas a modo de ejemplo:

Si se prescribe que los elementos de madera estén formados exclusivamente por duramen, es importante comprobarlo realizando una inspección, por muestreo, de las partidas en el momento de su recepción.

En el caso de madera laminada tratada, el CTE señala que el fabricante deberá comprobar que el producto protector es compatible con el encolado, especialmente cuando se trate de protectores orgánicos. Una forma de comprobarlo es, someter a la pieza de madera laminada, una vez tratada con el producto protector, a un ensayo de integridad de las líneas de adhesivo conforme a la norma prEN 14080.

Es posible realizar un control de calidad del acabado decorativo que, básicamente, consiste en comprobar el cumplimiento de las condiciones de aplicación que se hayan definido, desde el contenido de humedad del soporte, hasta el rendimiento del producto aplicado. En acabados no filmógenos, el rendimiento se estima mediante el gramaje, y en acabados filmógenos, puede medirse el espesor de la película.

BIBLIOGRAFÍA

James, W.L. (1980). Effects of wood preservatives on electric moisture-meter readings. Forest Products Laboratory, USDA Forest Service, 120, 20 pp.

NORMATIVA

Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Seguridad Estructural. Estructuras de Madera (2009). Ministerio de Vivienda, Madrid, 126 pp.

UNE-EN 351-2:2008. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 2: Guía de muestreo de la madera tratada para su análisis.

UNE-EN 13183-1:2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: determinación por el método de secado en estufa.

UNE-EN 13183-2:2002. Contenido de humedad en una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de resistencia eléctrica.

UNE-EN 13556:2004. Madera aserrada y madera en rollo. Nomenclatura de las maderas utilizadas en Europa.

prEN 14080:2011. Timber structures. Glued laminated timber and glued solid timber.

UNE 21152: 1986. Impregnación con sales a presión de los postes de madera de pino. Sistema por vacío y presión.

13. El cálculo de la durabilidad del proyecto

13.1 INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la estimación de la durabilidad de una estructura o de un elemento de madera al exterior, se ha basado en la experiencia del proyectista o del carpintero.

Esta realidad hace que sea difícil valorar adecuadamente la vida de servicio de un proyecto de madera al exterior, mediante criterios objetivos que permitan analizar la influencia de un cambio en el diseño constructivo o en la especie de madera empleada. Por otro lado, no es posible extrapolar la experiencia acumulada en una determinada región, a otra zona con condiciones climáticas diferentes, que influyen en el riesgo de degradación de los elementos.

El cálculo de variables como la durabilidad natural de la especie de madera, ha sido objeto de un complejo desarrollo normativo, si bien la falta de interacción con los otros aspectos de los que depende la vida de servicio del proyecto sigue dificultando su valoración en cada situación concreta. Por ejemplo, con independencia de la clase de durabilidad natural de la madera de pino silvestre, la vida útil de una estaca puede ser muy diferente en Sevilla o en Pontevedra. Adicionalmente, la durabilidad de la madera de pino silvestre varía en función de factores como las condiciones de crecimiento, la edad, etc.

Debido a lo anterior, en la mayor parte de los casos, la durabilidad de un proyecto de madera al exterior sigue recayendo en la experiencia de un especialista que haya trabajado previamente con la misma especie y en condiciones similares.

Hoy en día, las nuevas herramientas disponibles están cambiando esta situación. Los ensayos de campo de durabilidad permiten comparar los resultados obtenidos con la misma especie de madera en distintas zonas climáticas. A su vez, existen registros informatizados de las variables climáticas en distintas zonas de Europa, que se emplean para analizar su influencia en la degradación de la madera. Por último, se están diseñando ensayos para valorar el efecto de los detalles constructivos sobre la durabilidad y se han creado metodologías para revisar el comportamiento de obras reales.

Sobre la base de esta experiencia, varios proyectos de investigación se han propuesto calcular la durabilidad de un proyecto de madera, valorando la interacción de los principales factores que influyen en ella.

El primer proyecto destacable se desarrolló en Australia con el objetivo de estimar la vida de servicio de diversos elementos de madera, tanto en contacto con el suelo, como en medio marino o expuestos al exterior, evitando el contacto con el suelo (Wang *et al*, 2007). El proyecto, adaptado a la climatología, especies de madera y xilófagos existentes en Australia, está disponible en <http://www.woodsolutions.com.au>.

En Europa, entre los años 2007 y 2011, se realizó el proyecto WoodExter dentro de un consorcio formado por universidades, centros tecnológicos de la madera y diversos socios industriales. Las conclusiones de este proyecto se resumen a continuación.

13.2 EL PROYECTO WOODEXTER

El objetivo del proyecto WoodExter es desarrollar una metodología que permita calcular la vida de servicio de un elemento de madera al exterior. En una primera etapa, el proyecto se centró en fachadas y entarimados, dos usos habituales de la madera que servirán de ejemplo para evaluar la metodología propuesta.

El proyecto describe y valora los principales factores de los que depende la durabilidad biológica de una fachada o un entarimado de exterior, por encima del suelo, para poder garantizar una vida de servicio de 30 años.

La verificación del comportamiento sigue un proceso similar al del cálculo estructural con el que están familiarizados los ingenieros y arquitectos.

A partir de un índice característico y un coeficiente de seguridad, se obtiene un índice de cálculo de la durabilidad que no debe superar la resistencia del material empleado. Si se cumplen estas condiciones se podrá garantizar la durabilidad del proyecto durante un periodo mínimo de 30 años.

$$I_{sd} = (I_{sk} \cdot Y_d) < I_{rd}$$

Donde:

I_{sd} : Índice cálculo de la resistencia

I_{sk} : Índice característico de exposición

Y_d : Factor de seguridad

I_{rd} : Índice de resistencia del material

El índice característico de exposición I_{sk} depende de los siguientes factores:

$$I_{sk} = (K_{s1} \cdot K_{s2} \cdot K_{s3} \cdot K_{s4} \cdot I_{s0} \cdot C_a)$$

Donde:

K_{s1} = Factor función de las condiciones climáticas locales (mesoclima).

K_{s2} = Factor función de las condiciones de abrigo.

K_{s3} = Factor función de la distancia al suelo.

K_{s4} = Factor función del diseño constructivo de los elementos.

I_{s0} = Índice exposición básico dependiente de la localización geográfica (clima global).

C_a = Factor de calibración.

A continuación, se describen los distintos coeficientes. Puede encontrarse información más detallada en la bibliografía (Thelandersson et al, 2011; 2011a).

13.2.1 Índice básico de exposición climática

El índice básico de exposición climática (I_{s0}) depende de la localización geográfica del proyecto y describe el efecto del clima en el riesgo de pudrición de un elemento de madera expuesto al exterior, no en contacto con el suelo.

El índice se elabora a partir de un modelo que considera la influencia del contenido de humedad y la temperatura, a lo largo del tiempo. El modelo se basa en las condiciones requeridas por un hongo de pudrición para poder iniciar el ataque sobre el elemento de madera.

El inicio del ataque equivale a la clasificación de grado 1 "ataque ligero" definida por la norma EN 252 para evaluar el ataque por hongos de pudrición en ensayos de campo de estacas de madera en contacto con el suelo. En esta categoría, los ataques de hongos de pudrición provocan una degradación superficial de la madera que no supera una profundidad de 1 mm.

Como especie de referencia se emplea una tabla de madera de albura de abeto rojo (*Picea abies*) que se expone al clima en una exposición horizontal, separada del suelo.

El modelo, una versión modificada y simplificada del desarrollado por Brischke y Rapp (2008), sólo debe emplearse en un sentido relativo, para comparar grandes zonas climáticas entre sí.

Como referencia se considera el índice de exposición en Helsinki al que se asigna un valor unidad. Valores superiores del índice indican un mayor riesgo de degradación biológica por hongos de pudrición.

La tabla 17 incluye el valor medio del índice en las principales regiones europeas.

| Índice de exposición básica para diferentes zonas climáticas y altitudes de hasta 500 m (Para altitudes superiores a 500 m, el factor se reduce en 0.3) | | |
|---|----------------|--|
| Zona climática | I_{s0} | Descripción |
| Zona nórdica | 1,0 | Europa del Norte |
| Europa continental | 1,4 | Toda Europa excepto Norte, atlántico y zonas mediterráneas |
| Climas mediterráneos | 1,5 | Regiones mediterráneas al sur de los Alpes |
| Climas atlánticos | Latitud > 55° | Regiones costeras de clima atlántico. Los valores del índice se incrementan al disminuir la latitud (hacia el Sur) |
| | Latitud 50-55° | |
| | Latitud < 50° | |

Tabla 17. Clasificación por condiciones de exposición

Empleando la misma metodología, es posible elaborar mapas más detallados que muestran la variabilidad existente en una misma región. Por ejemplo, en 34 localidades distribuidas a lo largo de Suecia los valores del índice oscilan entre 0,45 y 1,6 (Thelandersson et al., 2011).

En la bibliografía puede consultarse información adicional sobre el modelo presentado, así como su comparación con otros modelos previos (Brischke et al., 2010), y nuevas propuestas de modelización del riesgo de pudrición (Frühwald et al., 2012, Viitanen et al., 2010).

Al examinar los mapas elaborados a escala europea, puede constatarse que España presenta una gran variabilidad en cuanto al riesgo de pudrición de un elemento de madera al exterior, no en contacto con el suelo. El riesgo suele multiplicarse por un factor de 3, siendo máximo en el NO (donde el riesgo de pudrición es de los mayores de Europa) y disminuyendo progresivamente hacia el SE (donde el riesgo es de los menores de Europa).

13.2.2 Condiciones climáticas locales

El efecto de las condiciones climáticas locales (mesoclima) se valora mediante un factor K_{s1} , que es función de la topografía del terreno, del abrigo proporcionado por edificios adyacentes y de la distancia al mar.

Las condiciones se clasifican en cuatro clases descritas en la tabla 18.

| Valoración | Descripción | K_{s1} |
|------------|--|----------|
| Ligera | Las condiciones locales tienen poco impacto ya que las tres características ofrecen abrigo; topografía del terreno, edificaciones adyacentes y distancia > 5 km al mar (sin influencia marítima) | 0,8 |
| Intermedia | Las condiciones locales tienen algún impacto ya que dos de las tres características ofrecen abrigo | 1,0 |
| Dura | Las condiciones locales tienen impacto ya que sólo una de las tres características ofrece abrigo | 1,2 |
| Severa | Las condiciones locales tienen un impacto significativo ya que ninguna de las tres características ofrece abrigo | 1,4 |

Tabla 18. Valores del factor K_{s1} en función de las condiciones climáticas locales

13.2.3 Condiciones de abrigo y distancia al suelo

Las condiciones de abrigo proporcionadas por los aleros se valoran mediante un factor K_{s2} , que es función del vuelo del alero (e) respecto a la posición ocupada por el detalle (d).

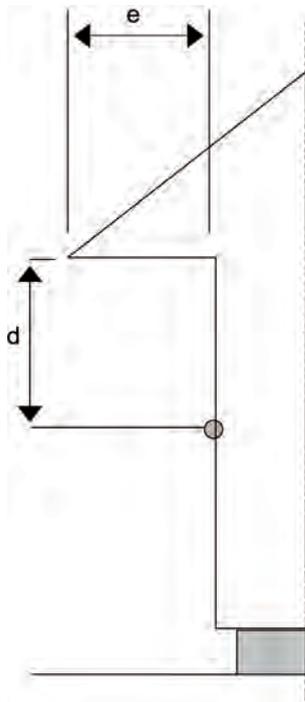


Figura 13. Condiciones de abrigo proporcionadas por los aleros.

El efecto de abrigo es aplicable tanto a fachadas como a entarimados de exterior y su valoración se describe en la tabla 19.

| (radio e/d) | K_{s2} |
|--|----------|
| $e > 0,5 d$ | 0,7 |
| $0,15 d < e < 0,5 d$ | 0,85 |
| $e < 0,15 d$ (expuesto directamente a la lluvia) | 1,0 |

Tabla 19. Condiciones de abrigo del elemento constructivo

La distancia al suelo del elemento se valora mediante un coeficiente K_{s3} conforme a la siguiente tabla.

| Distancia al suelo | K_{s3} |
|--------------------|----------|
| > 300 mm | 1,0 |
| 100 – 300 mm | 1,5 |
| < 100 mm | 2,0 |

Tabla 20. Condiciones de abrigo del elemento constructivo

13.2.4 Diseño constructivo

Los detalles constructivos se valoran con un coeficiente K_{s4} que se corresponde con 5 categorías conforme a la tabla 21. Los detalles se evalúan considerando el riesgo de que se produzca una retención de humedad durante un periodo de tiempo prolongado sobre la madera.

| Detalle | Descripción | K_{s4} |
|---------------|--|----------|
| 1 / Excelente | Diseño excelente que permite evitar las acumulaciones de agua y facilita el secado del elemento | 0,9 |
| 2 / Bueno | Diseño bueno que permite evitar las acumulaciones de agua y facilita el secado una vez mojado (la referencia sería un elemento horizontal sin trampas de agua) | 1,0 |
| 3 / Medio | Diseño con una probabilidad limitada de retener el agua y con cierta capacidad de facilitar el secado una vez mojado | 1,2 |
| 4 / Débil | Diseño con una probabilidad intermedia de retener el agua y con una limitada capacidad de facilitar el secado una vez mojado | 1,4 |
| 5 / Pobre | Diseño con una elevada probabilidad de retener el agua y una capacidad muy limitada de facilitar el secado una vez mojado | 1,6 |

Tabla 21. Valoración del diseño constructivo

Las categorías generales reflejadas en la tabla 21 se han obtenido ensayando distintos detalles constructivos a los que se les midió su contenido de humedad durante un periodo de 5 meses.

Los detalles ensayados se compararon con una referencia constituida por una tabla de madera de abeto rojo, con una sección de 22x95 mm, expuesta al exterior en posición horizontal.

En el proyecto WoodExter se profundiza en los detalles constructivos de un entarimado y de una fachada. En la tabla 22, se valoran los principales detalles constructivos de un entarimado.

| Detalle | Descripción | K_{s4} |
|---------------|--|----------|
| 1 / Excelente | Elementos verticales que pueden secarse en todos sus lados (caras y cantos) | 0,9 |
| 2 / Bueno | Elementos horizontales que pueden secarse en todos sus lados (caras y cantos)* | 1,0 |
| 3 / Medio | Áreas de contacto entre lados (caras y/o cantos) con espacio entre ellas* | 1,2 |
| 4 / Débil | Áreas de contacto horizontales y verticales, entre lados (caras y/o cantos), sin espacio entre ellas*. Tablas horizontales en las proximidades de la testa | 1,4 |
| 5 / Pobre | Áreas de contacto horizontales y verticales entre testas y caras o testas-testas | 1,6 |

*El objetivo del espacio es facilitar el secado y permitir los movimientos de hinchazón y merma de la madera. Si bien no existe un acuerdo sobre el tamaño del espacio, normalmente se recomienda un valor mínimo de 5-8 mm.

Tabla 22. Valoración del diseño constructivo de un entarimado

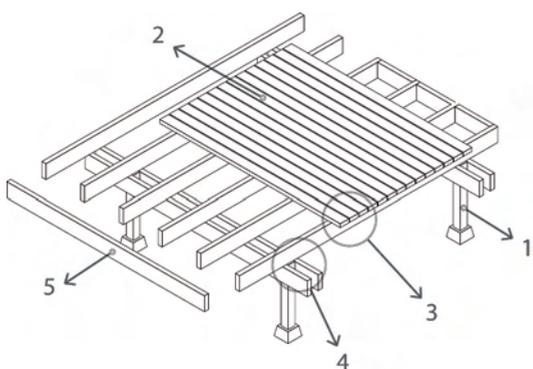


Figura 14. Valoración de detalles constructivos en un entarimado de exterior. El número 1 es un elemento vertical con una valoración excelente. El número 2 representa una tabla del entarimado que puede secarse en todos sus lados, por lo que su diseño sería bueno. Los números 3 y 4, con un diseño constructivo débil, representan áreas de contacto entre elementos, y el extremo de la testa del entablado. Por último, el contacto entre la testa y la tabla representado con el número 5 estaría clasificado como pobre.

13.2.5 Clase de consecuencia y factor de seguridad

La clase de consecuencia depende de la gravedad de los efectos derivados de un fallo y se valora mediante un factor de seguridad (γ_d) conforme a la tabla 23. En cada situación, el proyectista deberá considerar las consecuencias derivadas de un posible fallo para poder valorarlas.

En una clase de consecuencia pequeña, un ataque por hongos de pudrición sólo produciría fallos reducidos que pueden repararse con esfuerzos y costes moderados.

Una clase de consecuencia elevada se corresponde con aquellos casos donde un ataque por hongos de pudrición puede provocar el fallo de elementos estructurales, o su desprendimiento, con riesgo potencial para las personas.

| Categoría en función de la clase de consecuencia | γ_d |
|---|------------|
| 1 Pequeña: Puede ser admisible sustituir un número limitado de elementos en una estructura (si tiene lugar una pudrición) | 0,8 |
| 2 Media: La sustitución conlleva importancia económica y/o dificultades prácticas | 0,9 |
| 3 Elevada: Elementos en estructuras portantes donde el fallo puede conllevar riesgo para los humanos | 1 |

Tabla 23. Factor de seguridad γ_d en función de la clase de consecuencia

13.2.6 Índice de resistencia del material

El índice de resistencia (I_{rd}) de las distintas especies de madera se determina en función de la clase de resistencia de cada material. A su vez, la clase de resistencia se establece sobre la base de la durabilidad natural asignada por la norma EN 350-2, así como por otros ensayos, pruebas sobre la permeabilidad y facilidad de tratamiento y la experiencia del comportamiento de obras reales.

Como referencia se ha escogido la madera de abeto rojo (*Picea abies*) a la que se asigna un índice de resistencia unidad. Este valor, ligeramente superior al de la albura del resto de las especies se justifica porque la madera de picea tiene una reducida impregnabilidad, lo que explica su uso tradicional para elaborar fachadas en los países nórdicos.

Las cinco clases de resistencia y los valores asociados del índice de resistencia se presentan en la tabla 24.

| Clase de resistencia del material | Ejemplos de materiales | I_{rd} |
|-----------------------------------|--|----------|
| A | Duramen de especies muy durables (clase 1) Madera tratada para una clase de uso 3 | 10,0 |
| B | Duramen de especies durables (clase 2) | 5,0 |
| C | Duramen de especies med. durables y/o poco durables (clase 3-4) | 2,0 |
| D | Especies poco durables con baja permeabilidad al agua (<i>Picea abies</i>) | 1,0 |
| E | Madera de albura (clase 5) | 0,7 |

Nota: En la mayor parte de las especies de madera existe una variabilidad en su durabilidad biológica. La clasificación oficial podría diferir con la experiencia local basada en el comportamiento real de obras.

Tabla 24. Índice de resistencia del material (I_{rd})



La madera tratada suele estar formada por una mezcla de albura, donde ha penetrado el producto protector, y de duramen, más difícil de tratar, por lo que es conveniente asignarle un valor intermedio de índice de resistencia. Por ejemplo, en un entarimado de pino silvestre tratado se consideraría una clase de durabilidad B, intermedia entre la albura tratada (clase A) y la del duramen (clase C).

13.2.7 Factor de calibración

Los distintos factores descritos anteriormente se expresan en términos relativos y el objetivo del factor de calibración (C_a) es disponer de un margen de seguridad razonable en caso de que no se cumplan las condiciones del modelo.

La forma de comprobar el funcionamiento del modelo es revisar un conjunto de casos reales de entarimados de exterior y fachadas de madera a lo largo de Europa, de los que se conozca su vida de servicio y las distintas variables de la obra.

En una primera revisión de 17 obras, el modelo se incumple en 4 casos donde se ha producido una degradación prematura de la madera. En tres de los casos se había empleado madera de duramen de elevada durabilidad y, en el caso restante, madera tratada de pino. Una posible explicación es la dificultad de detectar, en algunas especies, madera de albura, mezclada con una partida de madera de duramen, o de valorar la influencia del duramen no impregnado, si se emplea madera tratada (Thelandersson *et al*, 2011).

Lógicamente, puede incrementarse el factor de calibración mejorando así la fiabilidad del modelo pero el objetivo es encontrar un factor equilibrado desde el punto de vista de la durabilidad de obras reales. Para ello, debe ampliarse el número de obras visitadas realizando una adecuada selección de aquellos ejemplos donde sea posible disponer de toda la información requerida.

13.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN

Se trata de un paseo marítimo peatonal, elaborado con un entablado de madera de duramen de iroko. Se desea aplicar el modelo descrito para comprobar la durabilidad de las testas que están resueltas con dos detalles constructivos diferentes.



El entarimado se sitúa al nivel del mar, en una región costera de clima atlántico cuya latitud es $42^{\circ} 7' N$. Consultando la tabla 17, el índice de exposición básica del proyecto (I_{s0}) tiene un valor de 2.

El efecto de las condiciones climáticas locales (tabla 18) se clasifica como severo ($K_{s1} = 1,4$) ya que el paseo se encuentra en un terreno despejado, separado de edificaciones y frente al mar.

El entarimado está expuesto a la incidencia de la lluvia por lo que el factor K_{s2} tiene un valor unidad (tabla 19).

Como factor de calibración (C_a) se considera un valor unidad.

La clase de consecuencia se clasifica como pequeña ya que es posible sustituir con facilidad un número limitado de tablas si tuviese lugar una pudrición. El factor de seguridad (γ_d) es 0,8.

El entablado está elaborado con duramen de iroko (*Milicia spp*), cuya durabilidad natural frente a los hongos de pudrición está clasificada como muy durable - durable (anejo C). Al no disponer de información adicional sobre la partida de la madera se considera, a favor de la seguridad, una categoría durable.

El índice de resistencia del material (I_{rd}) del duramen de una especie durable tiene un valor de 5 (tabla 24)

Con los valores anteriores, se revisan los detalles constructivos.

13.3.1 Detalle constructivo 1

En el primer detalle, la testa del entarimado está en contacto con el bordillo del pavimento, por lo que el detalle constructivo se clasifica como pobre ($K_{s4} = 1,6$).

La distancia del entarimado al suelo está comprendida entre 100 y 300 mm ($K_{s3} = 1,5$).



Para obtener el valor de cálculo de la durabilidad, se multiplica el valor característico por el factor de seguridad.

$$I_{sd} = (I_{sk} \cdot Y_d) = (K_{s1} \cdot K_{s2} \cdot K_{s3} \cdot K_{s4} \cdot I_{s0} \cdot C_a \cdot Y_d)$$

$$I_{sd} = (1,4 \times 1 \times 1,5 \times 1,6 \times 2 \times 1 \times 0,8) = 5,38 > I_{rd} \text{ (5)}$$

Como el valor de cálculo supera el índice de resistencia del material, la durabilidad natural de la madera de iroko no sería suficiente para alcanzar una vida de servicio de 30 años.



La realidad confirma la previsión del modelo ya que, transcurridos unos 5 años desde el momento de la instalación, varias tablas tuvieron que sustituirse por presentar pudriciones en sus testas.

13.3.2 Detalle constructivo 2

En el segundo detalle, la testa del entarimado vuela sobre la viga por lo que el detalle constructivo se clasificaría como débil ($K_{s4} = 1,4$).

La distancia del entarimado al suelo es mayor de 300 mm ($K_{s3} = 1,0$).

Para obtener el valor de cálculo de la durabilidad, se multiplica el valor característico por el factor de seguridad.

$$I_{sd} = (I_{sk} \cdot Y_d) = (K_{s1} \cdot K_{s2} \cdot K_{s3} \cdot K_{s4} \cdot I_{s0} \cdot C_a \cdot Y_d)$$

$$I_{sd} = (1,4 \times 1 \times 1 \times 1,4 \times 2 \times 1 \times 0,8) = 3,14 < I_{rd} \text{ (5)}$$

Como el valor de cálculo es inferior al índice de resistencia del material, la durabilidad natural de la especie seleccionada sería suficiente para alcanzar una vida de servicio de 30 años.

En una visita realizada 8 años después de la instalación, las testas se encontraban en buen estado.



El ejemplo muestra las posibilidades disponibles para estimar la durabilidad de un proyecto de madera así como la opción de poder valorar distintas situaciones (cambio de clima, de especie, variaciones en el diseño constructivo, etc.).

Dentro de los resultados del proyecto WoodExter se incluye una herramienta informática que permite y realizar los cálculos. Tanto la guía del proyecto como la aplicación informática pueden descargarse en <http://www.kstr.lth.se/guideline/>

Lógicamente, se trata de una primera versión que será necesario mejorar, contrastando la respuesta del modelo con numerosos ejemplos reales. En el caso de España, si se desea aportar ejemplos de durabilidad de obras reales (entarimados de exterior y fachadas de madera) puede contactarse con el autor de esta publicación.

BIBLIOGRAFÍA

Brischke, C., Rapp A.O. (2008). Dose-response relationship between wood moisture content, wood temperature and fungal decay determined for 23 European field test sites. *Wood Sci. Technol.*, 42:507-518.

Brischke, C., Frühwald, E., Kavurmaci, D., Thelandersson, S. (2011). Decay hazard mapping for Europe. IRG/WP 11-20463. Proceedings IRG Annual Meeting 2011, Queenstown, New Zealand. International Research Group on Wood Protection, Stockholm.

Frühwald, E., Brischke, C., Meyer, L., Isaksson, T., Thelandersson, S., Kavurmaci, D. (2012). Durability of timber outdoor structures – Modelling performance and climate impacts. World Conference on Timber Engineering. Auckland, New Zealand,

Thelandersson, S., Suttie, E., Toratti, T., Viitanen, H., Isaksson, T., Frühwald, E., Grüll, G., Jermer, J. (2011). Service life of wood in outdoor above ground applications - Engineering design guideline Background document. Division of Structural Engineering. Lund Institute of Technology, Lund University. Report TVBK-3061. 48 pp.

Thelandersson, S., Isaksson, T., Suttie, E., Frühwald, E., Toratti, T., Grüll, G., Viitanen, H., Jermer, J. (2011a). Service life of wood in outdoor above ground applications - Engineering design guideline. Report TVBK-3060, Div. of Structural Engineering, Lund University, Sweden. 34 pp.

Viitanen, H., Toratti, T., Makkonen, L., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Ruokolainen, L., Räisänen, J. (2010). Towards modelling of decay risk of wooden materials. *Eur. J. Wood Prod.* 68: 303-313.

Wang, C.H., Leicester, R.H., Foliente, G.C., Nguyen, M.N. (2007). Timber service life design guide. Forest and Wood Products Australia Limited. 115 pp.

NORMATIVA

EN 252:1989. Wood preservatives. Field test methods for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact.

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.



Anejo A: Insectos de ciclo larvario más habituales en España

Los coleópteros xilófagos son insectos voladores cuyo ciclo biológico se inicia cuando una hembra deposita sus huevos sobre la superficie de la madera, aprovechando la existencia de una fenda o, en algunos casos, de un vaso. Los huevos originan las larvas, que se alimentan de la madera excavando galerías por el interior de ésta. Cuando la larva se aproxima al final de su ciclo vital, se acerca a la superficie donde completa su ciclo de metamorfosis. Una vez completado éste, surge el insecto adulto que, tras reproducirse, inicia nuevamente el ciclo.

La norma pr EN 335-1 considera que las especies de coleópteros xilófagos más importantes en Europa son *Hylotrupes bajulus*, *Anobium punctatum* y *Lyctus brunneus*, existiendo muchas otras especies de menor importancia como *Hesperophanes* spp. y *Xestobium rufivillosum*. Todas las especies citadas están presentes en España y se describen a continuación.

La norma UNE-EN 350-2 incluye información sobre la durabilidad frente a los insectos de ciclo larvario de unas 130 especies de madera habituales en Europa.

Hylotrupes bajulus (Carcoma grande).

Los ataques de este cerambícido se concentran en la madera de algunas coníferas (pino, píceas, abeto, etc.) y suelen limitarse a la madera de albura. Los orificios de salida son muy característicos al presentar una forma ovalada con diámetros comprendidos entre 8 y 10 mm.



El ciclo evolutivo comprende, normalmente, entre 3 y 6 años, en función de factores como la temperatura ambiente y el contenido de humedad de la madera.

En edificios antiguos es habitual encontrar ataques (casi siempre inactivos si la madera lleva más de 80 años puesta en obra) en elementos estructurales como las cubiertas, pies derechos, etc., elaboradas con madera de conífera que contengan albura.

Anobium punctatum (Carcoma, carcoma fina, escarabajo de los muebles).

Se trata de un anóbido cuyos ataques se concentran en la madera de albura de coníferas y, en menor medida, de frondosas boreales, siendo frecuente en climas costeros y donde predomina un ambiente húmedo. Cuando se agota la albura, o en combinación con hongos de pudrición puede atacar el duramen.

Su ciclo de vida se sitúa en torno a los 2-4 años y los orificios de salida son circulares y de entre 1 y 3 mm de diámetro.

Es habitual encontrar sus ataques en madera existente en edificios abandonados o en desuso, en sótanos o lugares habitados sin calefacción ya que les cuesta sobrevivir en madera con un contenido de humedad inferior al 14%. No suelen atacar la madera al exterior, expuesta al aire libre y/o al agua de lluvia.

Su principal impacto económico tiene lugar cuando sus ataques afectan a elementos de mobiliario, artísticos (esculturas, tallas), libros viejos, carpintería (pavimentos), etc.

El debilitamiento estructural a consecuencia de sus ataques es relativamente raro ya que, normalmente, se limita a la zona de albura de piezas de madera de gran sección. Sin embargo, en edificios abandonados y con un ambiente húmedo, pueden ocasionar daños importantes en piezas estructurales secundarias, a menudo de pequeña sección y con una elevada proporción de albura, pudiendo provocar en poco tiempo la rotura de viguetas, el derrumbe de falsos techos, etc.

Lyctus brunneus (Polilla, polilla del parquet).

Los líctidos atacan la madera seca de albura de frondosas boreales y tropicales que contengan grandes vasos (donde la hembra realiza la puesta de los huevos) y sean ricas en almidón. Entre las frondosas boreales que cumplen estas condiciones se encuentran especies como el roble, el olmo, el fresno, etc.

En España, sus ataques más habituales tienen lugar sobre pavimentos de roble que contengan albura y suelen originarse por haber empleado madera para los rastreles infestada previamente.



Una generación necesita, en condiciones óptimas, entre 8 y 12 meses para completar su ciclo evolutivo. Es un insecto que realiza su puesta en la misma madera de la que ha salido, lo que unido a la rapidez de su ciclo evolutivo, hace que sus ataques sean muy rápidos e intensos.

Los orificios de salida son circulares y con un diámetro comprendido entre 1 y 2 mm. Las galerías aparecen obstruidas con serrín de consistencia muy suave, recordando la de los polvos de talco.

Lyctus brunneus es una especie de origen tropical perfectamente aclimatada a las condiciones europeas. Sus ataques son más intensos que los de la especie nativa (*Lyctus linearis*).

En ambos casos, las posibilidades de ataque disminuyen considerablemente con el paso del tiempo, siendo muy difícil que se produzcan transcurridos unos 15 años desde la elaboración de la madera.

Xestobium rufovillosum (Relej de la muerte).

Es el anóbido de mayor tamaño y sus ataques se concentran en madera de frondosas, previamente atacadas por hongos de pudrición. Puede provocar daños de importancia en elementos estructurales como vigas o pies derechos de roble, castaño, etc.

Su ciclo de vida dentro de la madera varía considerablemente desde 1 hasta 12 años y los orificios de salida son circulares y de entre 3 y 4 mm de diámetro.

Este insecto presenta dos características singulares que aconsejan evaluar el estado de los elementos estructurales si se detecta su presencia.

Por un lado, su ataque está vinculado a la presencia de hongos de pudrición. Además, los insectos pueden aparearse en el interior de la madera y acceder a ella a través de antiguos orificios de salida. Por este motivo, elementos estructurales que presenten pocos orificios de salida pueden sufrir un ataque importante en su interior.

El nombre de "relej de la muerte" se debe a que, durante la época de apareamiento, los insectos producen una serie de golpes rítmicos con la cabeza sobre la superficie de la madera que ayudan a la localización de las parejas. Se cree que estos sonidos, claramente audibles durante el silencio de la noche, inquietaban a las personas que los escuchaban y que

desconocían su origen. Cuando había enfermos en la vivienda o se velaba a un fallecido, solían interpretarse como un aviso premonitorio originando el nombre de "relej de la muerte".

Otra explicación señala que al escuchar el característico martilleo de los insectos, la estructura de madera podía encontrarse muy dañada y con riesgo de colapso estructural, amenazando la integridad de los moradores de la vivienda.

En caso de detectarse la presencia de este insecto, el diagnóstico de la capacidad resistente de los elementos estructurales puede realizarse con fiabilidad y rapidez empleando métodos no destructivos.

Hesperophanes cinereus

Los ataques de este cerambícido se concentran sobre la madera de albura de algunas frondosas como el roble y el castaño y, suelen limitarse a la madera de albura.

El ciclo evolutivo suele ser igual o superior a 2 años y los orificios de salida tienen la forma oval característica de los cerambícidos y un diámetro de unos 12 mm.

BIBLIOGRAFÍA

Serment, M.M, Pruvost, A. M. (1991). Fiches signalétiques de 25 insectes xylophages. CTBA. Paris, 28 pp.

NORMATIVA

prEN 335:2011. Durability of wood and wood based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood based panels.

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.

Anejo B: Valores de las precipitaciones y de la humedad de equilibrio higroscópico de la madera en las capitales de provincia españolas

Este anejo incluye los valores orientativos de las precipitaciones y de la humedad de equilibrio higroscópico de la madera, en las capitales de provincia españolas.

Los datos de la tabla están basados en las series normales de precipitaciones y temperaturas, obtenidas, entre los años 1971 y 2000, por la Agencia Estatal de Meteorología.

También se presentan los valores mínimos, medios y máximos de la humedad de equilibrio higroscópico de la madera. Los equipos que obtienen los datos se alojan en casetas, ventiladas pero protegidas de la acción directa de la lluvia y del sol, en condiciones que pueden asimilarse a las de una clase de uso 2.

Tabla B. Valores de las precipitaciones y de la humedad de equilibrio higroscópico de la madera

| Capital de provincia | Precipitaciones | | Humedad de equilibrio | | |
|----------------------|------------------------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------|
| | Días/año precipitación ≥ 1 mm | Total anual (mm) | Máxima anual (%) | Mínima anual (%) | Media anual (%) |
| A Coruña | 131 | 1008 | 16,7 | 15,0 | 16,0 |
| Albacete | 53 | 367 | 17,2 | 8,5 | 12,4 |
| Alicante | 37 | 336 | 12,7 | 10,8 | 11,8 |
| Almería | 26 | 196 | 15,0 | 13,4 | 13,9 |
| Ávila | 66 | 400 | 17,2 | 8,0 | 11,9 |
| Badajoz | 61 | 463 | 16,2 | 7,5 | 11,0 |
| Barcelona | 55 | 640 | 14,1 | 12,1 | 13,2 |
| Bilbao | 128 | 1195 | 17,7 | 13,3 | 13,8 |
| Burgos | 85 | 555 | 20,7 | 10,6 | 13,8 |
| Cáceres | 64 | 523 | 15,3 | 6,5 | 10,5 |
| Cádiz | 54 | 598 | 17,2 | 11,9 | 13,9 |
| Castellón | 45 | 442 | 11,6 | 10,9 | 11,6 |
| Ciudad Real | 62 | 396 | 14,1 | 9,9 | 12,0 |
| Córdoba | 56 | 536 | 15,6 | 7,7 | 11,0 |
| Cuenca | 73 | 507 | 16,2 | 8,9 | 12,1 |
| Gerona | 67 | 724 | 14,7 | 11,0 | 12,7 |
| Granada | 52 | 357 | 15,0 | 7,4 | 11,0 |
| Guadalajara | 78 | 500 | 17,7 | 8,1 | 11,8 |
| Huelva | 50 | 490 | 15,0 | 9,5 | 11,9 |
| Huesca | 62 | 535 | 17,2 | 9,4 | 12,3 |
| Las Palmas | 21 | 134 | 16,0 | 14,2 | 15,1 |
| León | 78 | 556 | 18,7 | 9,5 | 12,8 |
| Lleida | 46 | 369 | 18,7 | 8,8 | 12,5 |
| Logroño | 67 | 399 | 16,2 | 10,8 | 13,2 |
| Lugo | 131 | 1084 | 19,7 | 13,6 | 15,9 |
| Madrid | 63 | 436 | 15,9 | 7,8 | 11,4 |
| Málaga | 43 | 524 | 13,8 | 11,2 | 12,3 |
| Mallorca | 52 | 427 | 17,7 | 12,8 | 14,7 |
| Murcia | 35 | 301 | 12,8 | 9,3 | 10,3 |
| Ourense | 97 | 817 | 18,2 | 11,5 | 14,4 |
| Oviedo | 122 | 973 | 15,6 | 14,1 | 15,3 |
| Pamplona | 95 | 721 | 15,9 | 10,6 | 12,4 |
| Pontevedra | 133 | 1691 | 17,7 | 12,8 | 15,0 |
| Salamanca | 66 | 382 | 17,7 | 8,9 | 12,1 |
| San Sebastián | 140 | 1738 | 16,9 | 13,3 | 15,6 |
| Santander | 128 | 1246 | 16,7 | 14,4 | 15,6 |
| Segovia | 76 | 464 | 16,7 | 8,4 | 11,9 |
| Sevilla | 52 | 534 | 16,2 | 8,9 | 12,8 |
| Soria | 80 | 502 | 18,2 | 9,7 | 12,6 |
| Tarragona | 51 | 504 | 13,8 | 12,4 | 13,5 |
| Tenerife | 66 | 557 | 11,9 | 9,8 | 11,0 |
| Teruel | 59 | 373 | 16,2 | 12,8 | 14,7 |
| Toledo | 56 | 357 | 15,6 | 7,1 | 10,9 |
| Valencia | 44 | 454 | 14,2 | 12,3 | 13,2 |
| Valladolid | 71 | 435 | 18,2 | 7,7 | 11,5 |
| Vitoria | 103 | 779 | 19,7 | 13,3 | 15,3 |
| Zamora | 64 | 363 | 19,7 | 10,6 | 13,8 |
| Zaragoza | 50 | 318 | 14,7 | 9,0 | 11,2 |

Anejo C: Durabilidad natural e impregnabilidad de especies comerciales

Este anejo recoge información sobre la durabilidad natural y la impregnabilidad de especies comerciales habituales en España.

Los datos de las tablas están basados en la norma UNE-EN 350-2, que incluye información sobre la durabilidad y la impregnabilidad de unas 130 especies habituales en el comercio en Europa.

La última versión de la norma data del año 1995 y se encuentra en revisión, por lo que es importante confirmar si existe una versión posterior que haya podido modificar los datos que se presentan. Esta comprobación puede realizarse en la página web de la Asociación Española de Normalización y Certificación (www.aenor.es).

Desde la publicación de la norma, existe información adicional sobre muchas otras especies ensayadas conforme a los mismos criterios. Entre las bases de datos existentes, destacan las fichas tecnológicas editadas por el CIRAD Forêt (Gerard *et al.*, 2008) con información actualizada sobre unas 250 especies tropicales y templadas que puede consultarse en internet (<http://tropix.cirad.fr>).

La norma UNE-EN 350-2 establece un sistema de categorías para definir la impregnabilidad y la durabilidad natural de cada especie de madera frente a los diversos agentes xilófagos.

La durabilidad frente a los hongos xilófagos es la del duramen ya que la albura de cualquier especie de madera se considera no durable mientras no se disponga de datos concretos. La norma define cinco categorías: 1 (muy durable), 2 (durable), 3 (medianamente durable), 4 (poco durable) y 5 (no durable) que se corresponden con la vida útil de unas estacas de madera de duramen de pequeña sección que se clavan en el suelo.

La durabilidad frente a los insectos de ciclo larvario (cerambícidos, anóbidos y líctidos) es la de la albura que se clasifica como durable (D) o sensible (S). El duramen se clasifica como durable excepto para algunas especies a las que se asocia una categoría denominada duramen también sensible (SH).

La durabilidad frente a las termitas y xilófagos marinos es la del duramen que se clasifica en tres niveles; durable (D), medianamente durable (M) y sensible (S). La albura de cualquier especie se considera atacable.

La norma incluye una clasificación de la impregnabilidad de la albura y del duramen en cuatro categorías: impregnable (1), medianamente impregnable (2), poco impregnable (3) y no impregnable (4). La letra v indica que la especie presenta una gran variabilidad en su comportamiento.

Debido a que la impregnabilidad de la madera de albura siempre suele ser superior a la del duramen, la norma UNE 350-2 establece una clasificación del tamaño de la albura de las distintas especies de madera en cuatro categorías; muy delgada (tf), delgada (f), mediana (m) y grande (l). Asimismo, indica las especies en las que no hay una distinción clara entre la albura y el duramen (x) o aquellas en las que no se distingue en absoluto ((x)).

Una forma adecuada de emplear los valores recogidos por la norma UNE-EN 350-2 para estimar la vida de servicio de un elemento de madera, consiste en comparar la durabilidad de la madera que se propone emplear con la de otras especies puestas en obra en condiciones similares, y de las que se conozca su vida de servicio.

BIBLIOGRAFÍA

Gérard, J., Guibal, D., Beauchêne, J., Fouquet, D., Langbour, P., Thevenon, M.F., Thibaut, A., Vernay, M. (2008). Tropix 6.0: Caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales et tempérées. Cirad-Forêt, Montpellier. Tropix CD Rom.

NORMATIVA

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.

Tabla C.1. Durabilidad natural e impregnabilidad de coníferas comerciales (UNE-EN 350-2:1995)

| Especie | Densidad media (kg/m ³) | Durabilidad natural | | | | Impregnabilidad | | Tamaño de la albura |
|--|-------------------------------------|---------------------|------------|----------|----------|-----------------|--------|---------------------|
| | | Hongos | Hylotrupes | Anóbidos | Termitas | Duramen | Albura | |
| Pino marítimo, pino gallego (<i>Pinus pinaster</i>) | 540 | 3-4 | S | S | S | 4 | 1 | I |
| Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>) | 520 | 3-4 | S | S | S | 3-4 | 1 | f-m |
| Pino radiata (<i>Pinus radiata</i>) | 470 | 4-5 | S | SH | S | 2-3 | 1 | I |
| Pino laricio (<i>Pinus nigra</i>) | 580 | 4v | S | S | S | 4v | 1v | m-l |
| Abeto blanco, abeto (<i>Abies alba</i>) | 460 | 4 | SH | SH | S | 2-3 | 2v | x |
| Abeto rojo, picea (<i>Picea abies</i>) | 460 | 4 | SH | SH | S | 3-4 | 3v | x |
| Alerce (<i>Larix decidua</i>) | 600 | 3-4 | S | S | S | 4 | 2v | f |
| Pinos amarillos del sur (origen EE.UU) (<i>Pinus ellioti, P. palustris, P. taeda, P. echinata</i>) | 660 | 3 | S | S | M-S | 3-4 | 1 | m |
| Pino Oregón (<i>Pseudotsuga menziesii</i>) | América del Norte | 530 | 3 | S | S | 4 | 3 | f |
| | Cultivado en Europa | 510 | 3-4 | S | S | | 2-3 | |
| Cedro canadiense (<i>Thuja plicata</i>) | EE.UU | 370 | 2 | S | S | 3-4 | 3 | f |
| | Cultivado en Europa | | 3 | S | S | | | |

Tabla C.2. Durabilidad natural e impregnabilidad de frondosas comerciales (UNE-EN 350-2:1994)

| Especie | Densidad media (kg/m ³) | Durabilidad natural | | | Impregnabilidad | | Tamaño de la albura | Observaciones |
|---|-------------------------------------|---------------------|----------|----------|-----------------|--------|---------------------|---|
| | | Hongos | Anóbidos | Termitas | Duramen | Albura | | |
| Castaño (<i>Castanea sativa</i>) | 590 | 2 | S | M | 4 | 2 | f | Albura sensible a los ataques de <i>Hesperophanes</i> |
| Roble europeo (<i>Quercus robur, Q. petraea</i>) | 710 | 2 | S | M | 4 | 1 | f | Albura sensible a los ataques de <i>Lyctus</i> y <i>Hesperophanes</i> |
| Fresno (<i>Fraxinus excelsior</i>) | 700 | 5 | S | S | 2 | 2 | (x) | |
| Eucalipto Blanco (<i>Eucalyptus globulus</i>) | 800* | 2* | S | S | 3 | 1 | f | Datos propuestos para la próxima revisión de la norma |
| Iroko (<i>Milicia excelsa, M. regia</i>) | 650 | 1-2 | - | D | 4 | 1 | m | Albura sensible a los ataques de <i>Lyctus</i> |
| Teca de Birmania (<i>Tectona grandis</i>) | 680 | 1 | - | M | 4 | 3 | f | Datos referidos a la madera procedente de bosques naturales |
| Ipe (<i>Tabebuia spp.</i>) | 1040 | 1 | - | D | 4 | - | f-m | Estas especies no aparecen recogidas por la norma UNE-EN 350-2. La información de la tabla procede de las fichas tecnológicas editadas por el CIRAD-Forêt |
| Cumarú (<i>Dypterix spp.</i>) | 1070 | 1 | - | D | 4 | - | f | |
| Angelim vermelho (<i>Dinizia excelsa</i>) | 1070 | 1 | - | D | 4 | - | m | |
| Elondo, Tali (<i>Erythrophleum suaveolens, E. ivorense</i>) | 910 | 1 | - | D | 4 | - | f | |

* La durabilidad natural del eucalipto frente a los hongos xilófagos que aparece en la norma es S (no durable). El valor de 2 (durable) se corresponde con la propuesta española para la próxima revisión de dicha norma y ha sido obtenido tras realizar ensayos de campo y laboratorio a madera de árboles con una edad superior a los 30-35 años.

Anejo D: Especies comerciales con durabilidad natural para su empleo en las clases de uso 4 y 5

Se incluye una relación de especies comerciales con una durabilidad natural suficiente para su empleo en una clase de uso 4 y 5.

Clase de uso 4

El duramen de diversas especies de madera, mayoritariamente tropicales, puede emplearse sin ningún tratamiento protector en una clase de uso 4 (madera en contacto con el suelo o con agua dulce). En general, el duramen de estas especies está clasificado como muy durable (clase 1) frente al ataque de hongos xilófagos y como durable (D) frente a las termitas, según la norma UNE EN 350-2. En países del centro y norte de Europa donde no existen termitas subterráneas, podrán emplearse otras especies a las que no se les exija la durabilidad frente a estos xilófagos.

La tabla D.1, basada en ensayos realizados por el CIRAD-Forêt (Vernay y Fouquet, 2000), presenta una relación de especies comerciales, incluyendo algunas habituales en España como el ipé o el elondo que no aparecen recogidas por la norma UNE EN 350-2. Según los autores citados, dichas especies permiten alcanzar una vida de servicio mínima de 10 años en una clase de uso 4, pudiendo superar los 40 años en función del emplazamiento concreto (mayor o menor humedad), de la masividad de las piezas y del diseño constructivo.

En otros casos como el iroko (*Milicia excelsa* y *Milicia regia*), los autores desaconsejan su empleo en una clase de uso 4, debido a la variabilidad de la durabilidad natural en función de su procedencia (bosques primarios o secundarios) o rapidez de crecimiento.

Dentro de la clase de uso 4, los elementos de madera que permanecen completamente sumergidos en agua dulce, pueden alcanzar una durabilidad extraordinaria ya que el ambiente saturado de agua y anaeróbico impide el desarrollo de los principales organismos xilófagos.

Uno de los símbolos de Venecia, la torre del Campanile, se reconstruyó en el año 1902 sobre los mismos pilotes de madera que, con una antigüedad de 1000 años, se encontraban en perfecto estado (Halde-man, 1982). En la bibliografía puede consultarse referencias históricas sobre las especies más empleadas en Europa (Peraza, 2004).

En España, tradicionalmente, se han empleado especies como el roble (*Quercus* spp.) o el aliso (*Alnus glutinosa*) para obras hidráulicas. El único yacimiento arqueológico de ambiente lacustre existente en España, (descubierto en el año 1990 en la Draga, lago de Banyoles, Girona) es un poblado neolítico emplazado al aire libre, y donde están recuperándose numerosas piezas de madera, desde elementos constructivos como postes, hasta arcos, aperos agrícolas, etc. La mayor parte de los postes son de roble y han permanecido por debajo del nivel freático del agua del lago desde su instalación, encontrándose en buen estado tras unos 7000 años de exposición (Chinchilla, 2003).

Asimismo, diversas técnicas de modificación de la madera, como la acetilación, permiten alcanzar una durabilidad suficiente para su empleo en una clase de uso 4 sin necesidad de adicionar biocidas.

Tabla D.1. Especies con durabilidad natural para su empleo en una clase de uso 4

| Nombre comercial | Nombre botánico | Origen |
|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Afromorsia, Assamela | <i>Pericopsis elata</i> | África |
| Azobé, Akoga, Ekki* | <i>Lophira alata</i> | África |
| Bilinga, Opepe | <i>Nauclea diderechii</i> | África |
| Bubinga, Oveng | <i>Guibourtia</i> spp. | África |
| Doussié, Afzelia | <i>Afzelia</i> spp. | África |
| Elondo, Tali | <i>Erythrophleum</i> spp. | África |
| Makore, Douka | <i>Thiegemella africana</i> | África |
| Moabi, Ayap | <i>Baillonella toixosperma</i> | África |
| Niové, Bokapi | <i>Staudtia kamerunensis</i> | África |
| Padouk, Palo Rojo | <i>Pterocarpus soyauxii</i> | África |
| Wenge | <i>Milletita laurentii</i> | África |
| Angelim vermelho | <i>Dinizia excelsa</i> | América del Sur |
| Cumarú | <i>Dipteryx</i> spp. | América del Sur |
| Greenheart | <i>Ocotea rubrai</i> | América del Sur |
| Iapé | <i>Tabebuia</i> spp. | América del Sur |
| Ironwood, Wamara | <i>Bocoa prouacensis</i> | América del Sur |
| Itauba | <i>Mezilaurus</i> spp. | América del Sur |
| Maçaranduba, Balata | <i>Manilkara</i> spp. | América del Sur |
| Muiracatiara, Gonçalves Alves | <i>Astronium</i> spp. | América del Sur |
| Quebracho colorado | <i>Schinopsis</i> spp. | América del Sur |
| Tatajuba, Bagasse | <i>Bagassa</i> spp. | América del Sur |
| Wacapou | <i>Vouacapoua americana</i> | América del Sur |
| Balau yellow, Bangkirai | <i>Shorea laevis</i> | Asia |
| Kapur | <i>Dryobalanops</i> spp. | Asia |
| Merbau | <i>Intsia bijuga</i> | Asia |
| Padouk | <i>Pterocarpus</i> spp. | Asia |
| Jarrah | <i>Eucalyptus marginata</i> | Australia |

*El azobé presenta una zona de transición entre la albura y el duramen con una menor durabilidad frente a los hongos de pudrición.

Clase de uso 5

La tabla D.2, basada en ensayos realizados por el CIRAD-Forêt (Vernay y Fouquet, 2000), presenta una relación de especies cuyo duramen puede emplearse, sin necesidad de tratamiento protector, en una clase de uso 5 (madera en contacto con agua marina).

Las especies recogidas en la tabla no constituyen un listado exhaustivo, ya que uno de los principales criterios para incluirlas es que posean unas elevadas propiedades mecánicas.

Dichas especies, por lo tanto, están orientadas a aplicaciones estructurales en obras portuarias o hidráulicas. Otras especies como la grapia (*Apuleia leiocarpa*) tienen una buena durabilidad natural frente a los xilófagos marinos, si bien sus propiedades mecánicas no son tan elevadas por lo que suele emplearse en aplicaciones que no requieran unas exigencias estructurales elevadas.

En otros casos se utilizan especies con una durabilidad inferior a las de la tabla pero suficiente para los usos requeridos. Un ejemplo sería la madera de eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*) empleada para elaborar la estructura flotante de las mejilloneras (bateas) en las rías gallegas, donde árboles de 35-40 años de edad proporcionan vigas con una vida útil que, a menudo, supera los 20 años.

Existen tres criterios fundamentales para explicar la elevada durabilidad natural de una especie de madera frente a los xilófagos marinos y, en particular, frente a los teredos.

Por un lado, las maderas muy densas, duras y con un grano fino que constituyen una barrera mecánica frente a los ataques. Por otro lado, un elevado contenido de sílice (del 0,5% o superior) que se relaciona con un desgaste o desafilado de los sistemas taladradores de los xilófagos marinos y, principalmente, del de los teredos. Por último, la presencia de aceites esenciales o contenidos repulsivos.

La actividad de los xilófagos marinos varía en función de factores como la salinidad, temperatura, intensidad del oleaje, turbidez del agua, contaminación, etc. Por ello, si se proyecta una obra estructural de madera en el litoral español es conveniente recopilar información sobre el estado de elementos similares para conocer los organismos existente y la intensidad de sus ataques.

El diseño constructivo también puede ejercer una gran influencia en la durabilidad de una estructura en una clase de uso 5, mediante el recubrimiento del elemento a instalar (Kohlhase y Dede, 2006; Brown, 2007).

Tabla D.2. Especies con durabilidad natural para su empleo en una clase de uso 5

| Nombre comercial | Nombre botánico | Origen | Observaciones |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|
| Afromorsia, Assamela | <i>Pericopsis elata</i> | África | |
| Alep | <i>Desbordesia glaucescens</i> | África | 1 |
| Azobé, Akoga, Ekki | <i>Lophira alata</i> | África | 1 |
| Biliंगा, Opepe | <i>Nauclea diderchii</i> | África | 1 |
| Cogotali | <i>Letestua durissima</i> | África | 1-2 |
| Elang, Mukulungo | <i>Autranella congolensis</i> | África | 1-2 |
| Makore, Douka | <i>Thiagemella africana</i> | África | 1-2 |
| Moabi, Ayap | <i>Baillonella toixosperma</i> | África | 1-2 |
| Monyhinza | <i>Manilkara obovata</i> | África | 1-2 |
| Okan, Edoum | <i>Cylicodiscus gabunensis</i> | África | 1 |
| Padouk, Palo Rojo | <i>Pterocarpus soyauxii</i> | África | 1-3 |
| Basralocus, Angeliq | <i>Dicorynia guianensis</i> | América del Sur | 1-2 |
| Gaulette | <i>Licania spp.</i> | América del Sur | 2 |
| Greenheart | <i>Ocotea rodiaei</i> | América del Sur | 1-3 |
| Ipé | <i>Tabebuia spp.</i> | América del Sur | 1 |
| Ironwood, Wamara | <i>Bocoa prouacensis</i> | América del Sur | 1 |
| Itauba | <i>Mezilaurus itauba</i> | América del Sur | 1-3 |
| Maçaranduba, Balata | <i>Manilkara spp.</i> | América del Sur | 1-2 |
| Wacapou | <i>Vouacapoua americana</i> | América del Sur | 1-3 |
| Wallaba | <i>Eperua spp.</i> | América del Sur | 1 |
| Balau yellow, Bangkirai | <i>Shorea laevis</i> | Asia | 1-2 |
| Billian, Borneo Ironwood | <i>Eusideroxylon zwageri</i> | Asia | 1-3 |
| Eyoun, keranji | <i>Dialium spp.</i> | África-Asia | 2 |
| Teca, Teca de Birmania | <i>Tectona grandis</i> | Asia | 2 |
| Turpentine | <i>Syncarpia glomulifera</i> | Australia | |

Criterios de durabilidad: (1): Madera muy densa con un grano fino o muy fino.
 (2): Contenido de sílice elevado.
 (3): Aceites esenciales o contenidos repulsivos.

BIBLIOGRAFÍA

Brown, B. (2007). The Effectiveness of Plastic Encasement as a Timber Preservative. CMI Technical White Paper, Atlanta, 4 pp.

Chinchilla, J. (2003). El poblado neolítico de La Draga. Experiencias de recuperación y primeras medidas de conservación de materiales arqueológicos en un medio lacustre. Monte Buceiro, 9, 2003, pp 419-429.

Handelman, B. (1982). The history of timber piles. American Wood Preserves Institute. Annual meeting.

Kohlhase, S., Dede, C. (2006). Engineering approach to protect wooden constructions against attack of *Teredo navalis* Considerations and results of a field experiment in the Baltic Sea. Proceedings of third Chinese-German joint symposium on coastal and ocean engineering, Tainan, Taiwan.

Peraza, J.E. (2004). Pilotes de madera sobre cimentaciones. Boletín de Información Técnica AITIM, 227, pp 22-26.

Vernay, M., Fouquet D. (2000). Essences tropicales à forte durabilité naturelle. Bois et forêts des tropiques, 264, pp 73-76.

NORMATIVA

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.

Anejo E: Plan de muestreo para determinar la penetración y la retención de un producto protector en elementos de madera maciza y madera laminada encolada

Al elaborar un plan de muestreo debe considerarse el nivel de inspección y el nivel de calidad aceptable (NCA). El nivel de inspección determina la relación entre el tamaño del lote y el de la muestra y el NCA es el porcentaje máximo de muestras que pueden ser defectuosas en una producción media, sin que el lote sea rechazado.

La norma UNE 66020-1 establece siete niveles de inspección, siendo los niveles I, II y III los indicados para usos generales (el nivel I es el menos riguroso y el nivel III el más riguroso). En ausencia de especificación, la norma recomienda emplear el nivel II.

El nivel de calidad aceptable se establece en función de factores como la gravedad de las consecuencias de un posible fallo del tratamiento, la accesibilidad de los elementos, etc.

La norma UNE-EN 351-2 detalla cómo establecer un plan de muestreo en función del tamaño de la muestra y del NCA considerado.

Considerando un nivel de inspección II, la tabla E.1 indica el número de muestras que hay que tomar en los lotes según su tamaño, así como el número máximo de elementos defectuosos admisibles antes de rechazar un lote, en función del nivel de calidad aceptable.

Tabla E. Número de muestras a tomar y número máximo de elementos defectuosos para diversos niveles de calidad aceptables (NCA) y nivel de inspección II

| Tamaño del lote | NCA (%) | | | | |
|-----------------|---------|----------|----------|---------|---------|
| | 1 | 4 | 10 | 15 | 25 |
| 16 a 25 | 13 a 0 | 3 a 0 | 5 a 1 | 5 a 2 | 5 a 3 |
| 26 a 50 | 13 a 0 | 13 a 1 | 8 a 2 | 8 a 3 | 8 a 5 |
| 51 a 90 | 13 a 0 | 13 a 1 | 13 a 3 | 13 a 5 | 13 a 7 |
| 91 a 150 | 13 a 0 | 20 a 2 | 20 a 5 | 20 a 7 | 20 a 10 |
| 151 a 280 | 50 a 1 | 32 a 3 | 32 a 7 | 32 a 10 | 32 a 14 |
| 281 a 500 | 50 a 1 | 50 a 5 | 50 a 10 | 50 a 14 | 50 a 21 |
| 501 a 1200 | 80 a 2 | 80 a 7 | 80 a 14 | 80 a 21 | 50 a 21 |
| 1201 a 3200 | 125 a 3 | 125 a 10 | 125 a 21 | 80 a 21 | 50 a 21 |
| 3201 a 10000 | 200 a 5 | 200 a 14 | 125 a 21 | 80 a 21 | 50 a 21 |

Como ejemplo, en un lote formado por 150 postes de madera tratada, si se considera un nivel de calidad aceptable del 10% en cuanto a porcentajes de elementos no conformes (sin un tratamiento adecuado), la norma UNE EN 351-2, recomendaría inspeccionar 20 elementos y considerar como criterio de rechazo, un tratamiento inadecuado de 5 o más postes.

Si el NCA fuese del 4%, se recomendaría inspeccionar 20 elementos y considerar como criterio de rechazo, un tratamiento inadecuado de 2 o más postes.

Determinar la retención tiene un coste mucho más elevado que determinar la penetración. Para hacer económicamente viable la inspección, suele evaluarse la penetración en todas las muestras y, en función de los resultados obtenidos, se determina la retención en un número más reducido.

NORMATIVA

UNE-EN 351-2:2008. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 2: Guía de muestreo de la madera tratada para su análisis.

UNE 66020-1:2001. Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos. Parte 1: Planes de muestreo para las inspecciones lote por lote, tabulados según el nivel de calidad aceptable (NCA).

Construir con Madera

Patrocinadores

- **Feria Valencia – Maderalia**
- **Junta de Castilla y León**
Mesa intersectorial de la madera
- **Generalitat Valenciana– FEVAMA**
Federación Empresarial de la Madera y el Mueble de la Comunidad Valenciana
- **ANFTA**
Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros
- **CONFEMADERA HÁBITAT**
Confederación Española de Empresas de la Madera

Vivir con Madera

- **Feria Valencia. Maderalia**
- **Generalitat Valenciana – FEVAMA**
Federación Empresarial de la Madera y el Mueble de la Comunidad Valenciana
- **FEDERMUEBLE**
Federación Española de Empresarios e Industriales del Mueble
- **CONFEMADERA HÁBITAT**
Confederación Española de Empresas de la Madera

Colaboradores

- **BIOHAUS GOIERRI S.L.**
Hacia una construcción sostenible
- **CEMER**
Consortio Escuela de la Madera de la Junta de Andalucía
- **CETEBAL**
Centre Tecnològic Balear de la Fusta
- **IPEMA**
Innovaciones, Proyectos y Estructuras de Madera
- **ELABORADOS Y FABRICADOS GÁMIZ**
- **FINNFOREST IBÉRICA S.L**
- **GARCÍA VARONA**
Fabricación de tarimas y madera estructural
- **HUNDEGGER Ibérica S.L.**
Maquinaria C.N.C para estructuras y construcción en madera
- **INCAFUST**
Institut Català de la Fusta.
- **MADERAS MENUR S.L.**
Proyectos en madera
- **PROHOLZ**
- **PROTEVI S.L.**
Construcciones en madera
- **ROTHOBLAAS**
Sistemas de fijación para estructuras y construcción en madera
- **THERMOCHIP**
División Prefabricados Cupa Group
- **ZURTEK**
Ingeniería, fabricación y construcción en madera

- **ANFTA**
Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros
- **ASMADERA**
Asociación Empresarial de Aprovechamientos Forestales, Aserraderos y Almacenistas de Maderas de Asturias
- **CEMER**
Consortio Escuela de la Madera de la Junta de Andalucía
- **GRUPO GARNICA PLYWOOD, S.L.**
- **ILVA**
- **MADERAS DEL NOROESTE, S.A.**
- **INDUSTRIAS CANDIDO HERMIDA S.L.**



www.construirconmadera.org

