

AGENTES DE DEGRADACIÓN DE LA MADERA

Identificación

Tratamiento

Técnicas de refuerzo

ÍNDICE

LA MADERA	pág. 2
CAUSAS DE LA ALTERACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA MADERA	pág. 3
Factores Abióticos	pág. 3
- Agua	pág. 3
- Radiación Solar	pág. 4
- Fuego	pág. 4
- Esfuerzos Mecánicos	pág. 5
Factores Bióticos	pág. 5
- Hongos Xilófagos	pág. 5
- Insectos de Ciclo Larvario	pág. 6
- Insectos Sociales	pág. 10
- Otros Insectos	pág. 12
PROTECCIÓN PREVENTIVA DE LA MADERA	pág. 14
Protectores Químicos	pág. 14
Tratamientos con Madera Húmeda	pág. 15
Tratamientos con Madera Seca	pág. 15
- Procesos sin autoclave	pág. 16
- Procesos con autoclave	pág. 17
- Fuego	pág. 19
DIAGNOSIS DE LA MADERA	pág. 21
Equipo de Anotación	pág. 21
Equipo de Inspección	pág. 21
TRATAMIENTOS CURATIVOS	pág. 22
Fases de los tratamientos curativos de la madera	pág. 23
Algunos Tratamientos	pág. 26

LA MADERA

La **madera** está constituida por el conjunto de tejido que forman la masa de los troncos de los árboles, desprovistos de su corteza. Es el material de construcción más ligero, resistente y fácil de trabajar, utilizado por el hombre desde los primeros tiempos.

La constitución de la madera gira entorno a tres elementos principales, la mayor parte de ella está constituida por **celulosa**, entre el 40 y el 50 % de su totalidad; le sigue la **lignina**, que conforma el 25 – 30 % de la masa de la madera; la **hemicelulosa** es el tercer elemento predominante con un 20 – 25 %; el tanto por ciento restante lo componen la resina, el tanino y la grasa de la misma.

Si analizamos la madera podemos distinguir varias partes:

- **Médula:** es la parte central de la madera, su tejido es flojo y poroso, es la parte más vieja y suele estar agrietada, por estos motivos se suele desechar.

- **Duramen:** parte interior del tronco, en esta zona la madera ha alcanzado ya su máximo desarrollo y resistencia, es una madera compacta. Las características del duramen son debidas a que éste ha sufrido el proceso de lignificación, este proceso se da en la parte final del crecimiento celular de la madera, en él, la lignina sustituye la mayor parte del



Tronco seccionado

agua dándole una mayor resistencia y volumen.

- **Albura:** es la parte más externa del tronco, la zona viva del árbol, es una madera con una tonalidad más clara y una composición más porosa y ligera que el duramen.

- **Cámbium:** situado entre la albura y la corteza, es la base de crecimiento de la madera. Es el responsable de crear anualmente un nuevo anillo de crecimiento.

- **Líber:** es la parte interna de la corteza. Es de carácter filamentososo y su resistencia es relativamente baja.

- **Corteza:** tejido más externo de la madera, es impermeable, es un tejido muerto que protege al árbol de todo tipo de agentes externos.

- **Rádios leñosos:** tienen la función de trabazón, proporciona a la madera una menor deformación radial. Es por donde romperá la madera en caso de una compresión excesiva.

- **Anillos anuales:** son los anillos de crecimiento que forman bajo la corteza, en zonas donde el clima es variable, podemos distinguir entre la zona de primavera y la de verano, así como las condiciones climáticas a las que ha estado expuesto el árbol.

CAUSAS DE LA ALTERACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA MADERA

Los agentes de degradación de la madera son muy variados pero podemos diferenciar dos grandes grupos, los **Factores abióticos** y los **Factores bióticos**.

FACTORES ABIÓTICOS

AGUA

Una de las principales causas del deterioro superficial de la madera se debe a los cambios rápidos del contenido de humedad en la capa externa. El agua de lluvia que moja la superficie de la madera sin protección es absorbida rápidamente por capilaridad por la capa superficial de la madera seguida por la adsorción en las paredes de las células. El vapor de agua es recogido directamente por adsorción por las paredes de las células.

La diferencia de humedad entre el interior y la capa superficial que tenderá a hinchar, provoca un estado de tensiones en la pieza, que si no está equilibrado origina la arqueadura o combadura.

“La madera sufre variaciones dimensionales con facilidad a causa de los cambios de humedad”

La humedad es uno de los factores de agresividad del medio y es, de hecho, la base a partir de la cual las normas europeas EN 335.1 y EN 335.2 / 95 determinan categorías de riesgo de la madera en función de su ubicación, a saber:

RIESGO 1: corresponde a maderas situadas en lugares protegidos de la intemperie, con grados de humedad siempre menores al 20 %. Ej.: en interiores de edificios.

RIESGO 2: para aquellas maderas colocadas en lugares protegidos de la intemperie en los que sólo de forma ocasional puede aparecer un grado alto de humedad sin que se produzcan condensaciones constantemente. Ej.: maderas exteriores sin contacto con la lluvia.

RIESGO 3: corresponde a las maderas que no están en contacto con el suelo y que, ya sea a la intemperie o no, se hallan en lugares donde pueden producirse condensaciones continuamente. Ej.: vigas de sótano.

RIESGO 4: categoría de las maderas situadas a la intemperie, en contacto con el suelo o agua dulce y sometidas todo el tiempo a un grado de humedad elevado. Ej.: fundaciones o encadenados.

RIESGO 5: para maderas sumergidas esporádica o permanentemente en agua marina y sujetas a un grado de humedad alto. Ej.: pilotes de muelle.

RADIACIÓN SOLAR

La madera expuesta a la luz solar sufre un cambio de la coloración que inicialmente tienda al oscurecimiento en tono marrón. Posteriormente, toma un color grisáceo.

La radiación ultravioleta del espectro de la luz solar, degrada los componentes de la madera comenzando por la lignina. Esto se traduce en un oscurecimiento superficial. Si incide el agua de lluvia, los productos resultado de la degradación son eliminado por el agua y queda la celulosa, meno sensible a las radiaciones, adquiriendo la superficie un color blanquecino.

Las células externas pueden recubrirse lentamente de mohos, que viven de la humedad de la madera y de los productos de la fotodegradación, dando a la superficie una coloración grisácea o negruzca.

En la práctica, el agua y el sol, actúan de forma combinada y se potencian entre si multiplicando los efectos.

El deterioro de la madera expuesta a la intemperie es muy lento. Generalmente se estima que la profundidad destruida en un siglo de exposición es de 6 mm. Este valor varía en función del clima, la especie de madera y la orientación. Algunos autores citan valores desde 1 a 13 mm.

FUEGO

Para hablar del comportamiento de la madera frente al fuego primero tenemos que diferenciar las dos fases que se pueden distinguir cuando se da un incendio. La primera fase es la de desarrollo inicial y la segunda la de continuidad (en pleno desarrollo). En la fase inicial influyen en alto grado factores como la combustibilidad del material, la facilidad de ignición y el avance de la llama en la superficie de los materiales. En esta fase es deseable que los materiales no favorezcan estos factores.

En la fase de pleno desarrollo es preferible que los materiales que delimitan la zona del incendio impidan el paso de las llamas y el calor durante el mayor tiempo posible para evitar la propagación.

Realmente el comportamiento de la madera frente al fuego es bastante bueno. Pocas veces un incendio será iniciado por la combustión de madera, son necesarias altas temperaturas (400°C) para que inicie su combustión.

Cuando la madera se ve expuesta a un incendio en fase de pleno desarrollo también tiene una respuesta buena. La capa más superficial se carboniza rápidamente creando una capa de madera carbonizada que aumenta en 6 veces su capacidad aislante; éste hecho provoca que las zonas interiores se mantengan muy protegidas. Cuando sucede esto la madera interna mantiene constantes sus características mecánicas, lo que perjudica su capacidad portante es la pérdida de sección de la zona carbonizada.



Troncos en llamas

ESFUERZOS MECÁNICOS

Los esfuerzos mecánicos también pueden ser motivo de la degradación de la madera, pueden provocar fatiga y pérdida de resistencia en la madera. El continuo uso y rozamiento pueden provocar deformaciones y desgaste en las estructuras.

FACTORES BIÓTICOS

HONGOS XILÓFAGOS

El requisito que tiene más relevancia en relación a su comportamiento es su dependencia de la humedad. El contenido mínimo de humedad en la madera, que permite su desarrollo, es del 18 al 20 %. Toda madera con contenidos superiores a este valor está expuesta al ataque de los hongos y al contrario, si el contenido de humedad es inferior a dicho umbral el ataque no puede desarrollarse. El contenido de humedad óptimo está entre el 35 i el 50 %.

Dentro de los hongos xilófagos pueden diferenciarse dos grandes grupos : en el primero encontramos los **mohos** y los **hongos cromógenos** y en el segundo los **hongos de pudrición**.

Los **mohos** y los **hongos cromógenos** se alimentan de las sustancias de reserva de la madera y no producen degradaciones en la pared celular, por lo que no afectan a las propiedades mecánicas. Su efecto es el cambio de coloración de la madera. Su crecimiento se detecta cuando la superficie se oscurece o cuando el cuerpo de fructificación forma sobre la superficie una especie de pelusilla (proliferaciones algodonosas) transparente o con tonalidades que van desde el color blanco al negro. Los más característicos son los hongos del azulado de la madera y el pasmo del haya.



Fachada afectada por hongos cromógenos

Aunque no resultan nada peligrosos por su mínima acción degradadora, indican un mayor riesgo porque crean las condiciones necesarias para el desarrollo de los hongos de pudrición.

Los **hongos de pudrición** son los que producen daños graves en la madera. Se alimentan de los componentes de la pared celular llegando a provocar la destrucción completa de esta. Las hifas producen productos químicos (encimas) que disuelven los nutrientes de la madera con los que se alimentan. Su efecto es la pérdida de densidad y resistencia acompañados de un cambio de coloración. En las etapas iniciales no es fácil reconocerlo ya que las hifas permanecen ocultas en su interior. Según van desarrollándose la pudrición se va acentuando el cambio de color y la madera comienza a perder peso.

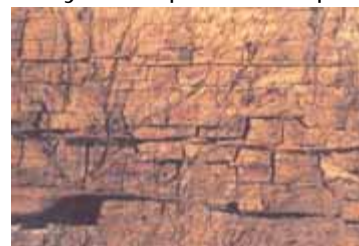
“Los hongos de pudrición son los únicos que afectan estructuralmente a la madera”

En la fase final del proceso se llega a la destrucción total de la estructura de la madera con una pérdida completa de sus propiedades mecánicas.

Hay varios tipos de pudrición:

- **Pudriciones pardas o cúbicas**
- **Pudriciones blancas o fibrosas**
- **Pudriciones blandas**

La **pudrición parda o cúbica** es la más grave y peligrosa y está producida por hongos que se alimentan preferentemente de la celulosa y la hemicelulosa dejando, como consecuencia, un residuo de color marrón oscuro formado principalmente por lignina. Al secarse la pieza el material residual tiende a agrietarse formando una estructura de pequeños cubos o prismas que se disgrega con facilidad entre los dedos como si fuera polvo. El ataque inicial de estos hongos favorece el ataque posterior de los insectos de ciclo larvario (generalmente anóbidos).



Pudrición parda

La **pudrición blanca o fibrosa** está producida por hongos que se alimentan preferentemente de la lignina, aunque también en menor grado de la celulosa. La madera atacada toma un color blanco debido al complejo celulósico resultante (complejo de celulosa más o menos blanco que rara vez es de tono uniforme, sobre el que aparecen vetas blancas separadas por zonas de madera normal). La madera atacada presenta un aspecto fibroso, por lo que a veces se la llama pudrición fibrosa. Generalmente afectan más a las maderas de frondosas que a las de coníferas, debido a que estas tienen un mayor contenido en lignina. A menudo se denomina pudrición corrosiva o deslignificante.



Pudrición blanca

La **pudrición blanda** está originada por hongos inferiores, cuyas hifas se desarrollan en el interior de la pared celular de las células de la madera y atacan principalmente la celulosa de la pared secundaria. La madera atacada tiene un aspecto final blando o esponjoso, parecido al de queso fresco. Esta pudrición se produce cuando existen altas condiciones de humedad, tanto en el ambiente como en la madera.



Pudrición blanda

INSECTOS DE CICLO LARVARIO (Coleópteros)

Los insectos de ciclo larvario pertenecen a la familia de los coleópteros. Su característica común es que se alimentan de la madera durante su etapa de larva. El ciclo biológico comienza cuando las hembras ponen huevos en la madera dentro de las fendas, ranuras u orificios de la superficie. De estos nuevos huevos nacen pequeñas larvas que comienzan a alimentarse de la madera realizando galerías que disminuyen la capacidad resistente de la pieza. Las larvas permanecen en el interior de la madera un periodo muy variable en función de la especie que puede ir desde unos meses hasta más de diez años y es durante esta fase cuando producen daños en las piezas de la madera. Al acercarse el final de su ciclo de vida, la larva se aproxima a la superficie de la pieza, crea una cámara aislada donde se transforma en pupa y sigue su proceso de metamorfosis hasta convertirse

“Todos estos insectos tiene en común que se alimentan de la madera en su fase de larva”

en un insecto adulto con alas. Éste rompe la cámara de pupación y la fina capa de madera que queda superficialmente y sale al exterior para aparearse, la hembra volverá a colocar huevos en las piezas de madera. Los orificios de salida en la superficie de la madera indican, por tanto, que al menos ha vivido dentro una generación.

Existen géneros que se alimentan de frondosas, otros de maderas de coníferas y otros que pueden atacar indistintamente a ambas.

Los principales coleópteros xilófagos que actúan en España y que atacan la madera puesta en obra suelen estar en los siguientes grupos, siendo los tres primeros los más comunes y habituales :

- **Anóbidos** (vulgarmente carcoma)
- **Cerambícidos** (carcoma grande)
- **Líctidos** (polilla)
- **Curculiónidos** (gorgojo de la madera)
- **Bostríchidos**

ANÓBIDOS (CARCOMA)

Pequeños coleópteros de 3 a 11 mm. de longitud, en estado adulto, conocidos vulgarmente como carcomas. Son ataques característicos de los muebles antiguos, aunque también pueden atacar piezas estructurales. Hay especies que se alimentan de la madera de conifera y otras de madera de frondosa. Por lo general, afectan a la albura y preferentemente con cierto contenido de humedad. Es frecuente que su ataque venga acompañado del ataque de los hongos de pudrición.

La larva puede alcanzar una longitud de 3 a 5 mm. Los orificios de salida son de forma circular de 1,5 a 4 mm. de diámetro, según la especie. La duración de su ciclo biológico es muy variable, desde un mínimo de 8 meses hasta varios años. De forma general suele ser de 2 a 3 años.



Larva anóbido

Las especies más frecuentes en la construcción en España son las siguientes:

- *Anobium punctatum* De Geer
- *Xestovium rufovillosum* De Geer

CERAMBÍCIDOS (CARCOMA GRANDE)

Estos insectos son los xilófagos (de la madera puesta en obra) de mayor tamaño que existen en nuestro país. Se conocen vulgarmente como carcoma grande y en su campo de actuación se encuentran las estructuras de madera, frecuentemente en cubiertas, pueden provocar daños estructurales muy graves. En piezas antiguas es fácil observar algún orificio de salida de este insecto, aunque el ataque se encuentre

inactivo. Por lo general sólo se alimentan de la albura de la madera por lo que en piezas de gran contenido de duramen el daño es limitado. Hay especies que se alimentan de coníferas y otras de frondosas.

Las más habituales en España son:

- *Hylotrupes bajulus* L.
- *Hesperophanes cinereus* Vill
- *Ergates faber* L

Por lo general el ataque del *Hylotrupes bajulus* (especie más frecuente en coníferas) se da en maderas secas (entre el 10 y el 14 %), en particular en las estructuras de cubiertas. La larva puede alcanzar una longitud de 30 mm, tiene un diámetro de entre 3 y 8 mm y es de color blanco plateado.

Las galerías son de forma ovalada, siguen la dirección de la fibra, están taponadas por serrín y presentan marcas o estrías en las paredes de las mismas. El serrín es basto, tiene una forma cilíndrica y no es expulsado al exterior, ya que las galerías están cerradas por una fina película de madera que las larvas dejan intacta.



El insecto adulto de los cerambícidos tiene una longitud de 10 a 20 mm (en algunos casos puede alcanzar los 50 mm). Los orificios de salida tienen una forma elíptica con un diámetro de 6 a 12 mm. La duración del ciclo de la vida varía mucho, de 2 a 10 años.

LÍCTIDOS (POLILLA)

Son insectos de pequeño tamaño (6 a 8 mm de longitud) que se conocen vulgarmente como polillas. Se alimentan de madera de albura de algunas especies de frondosas como el roble, el fresno y el olmo. Las condiciones óptimas para su ataque corresponden a un contenido de humedad de alrededor del 16% y una temperatura de 25°C. El daño más frecuente producido por estos insectos se da en los pavimentos de parquet de madera de roble, afectando solo a las piezas que contienen albura. En España únicamente se han detectado dos especies (*Lyctus brunneus* y *Lyctus linearis*).

El serrín que producen es muy fino, de color blanco cremoso, su tacto se asemeja a la harina o al polvo de talco y suele estar apretado por la larva en las galerías. Los orificios de salida tienen forma circular con un diámetro aproximado de a 1 a 2 mm. El insecto adulto tiene un tamaño cuya longitud varía entre 2 a 7 mm.



Larva líctido

Normalmente la duración del ciclo biológico es de un año, pudiéndose acortar si existen altas temperaturas. La brevedad de su ciclo biológico permite sucesivas infestaciones que pueden originar una rápida destrucción de la madera.

CURCULIÓNIDOS (GORGOJO DE LA MADERA)

Hasta hace unos veinte años este insecto no comenzó a identificarse en la madera de la construcción en nuestro país, los signos de su ataque pueden confundirse fácilmente con el de los anóbidos.

En España se han identificado tres especies en madera de edificios antiguos (*Pselactus spadix* H, *Hexathrum exiguum* B y *Amaurorrhinus bewickianus* (W)).

Sus daños son muy parecidos a los de los anóbidos. Atacan a la madera de albura de las frondosas y las coníferas. Cuando existen ataques previos de hongos pueden afectar a la madera del duramen. Requieren una humedad en la madera mayor o igual al 20 %. Las galerías que realizan las larvas (y también los insectos adultos) en la madera de albura son de sección circular y son similares a las de los anóbidos. El serrín que producen es parecido al de los anóbidos pero algo más fino y de forma heterogénea.



Larva curculiónido

Los orificios de salida son de forma circular con un diámetro de 1 a 2 mm. La duración del ciclo biológico en algunas especies es de 1 año, y en otras puede llegar a 2 años. Los insectos adultos tienen una longitud de 3 a 5 mm.

BOSTRICHIDOS

Estos insectos se alimentan principalmente de la madera de la albura de las frondosas (tropicales principalmente) con alto contenido en almidón y con cierto grado de humedad. En España la especie que produce más daño es el *Apate capucina* L, que ataca a las frondosas boreales (castaño, chopo y roble).

Realizan galerías circulares con diámetros de 3 a 6 mm. El serrín es muy fino también, parecido a la harina, de color crema y se encuentra aprisionado en el interior de las galerías. El insecto adulto tiene una longitud de 4 a 6 mm. Los orificios de salida son circulares con diámetros de 3 a 6 mm. Por las características del ataque pueden confundirse con los líctidos, pero éstos realizan orificios de menor diámetro (1 a 2mm). La duración del ciclo biológico es aproximadamente de un año.



Larva bostrichido

INSECTOS SOCIALES (Isópteros) – TERMITAS

Las termitas son insectos del orden Isoptera que viven bajo una organización social avanzada. Constituyen una agrupación de individuos en la que los distintos tipos o castas, incapaces de vivir solitariamente, desempeñan diferentes cargos o funciones en el desarrollo de la colonia. El ciclo de vida de una colonia empieza con el vuelo, en forma de enjambre, de los individuos sexuados, que en ciertos días del año (durante la primavera) salen en gran cantidad del antiguo nido. Los individuos que constituyen una pareja buscan un lugar apropiado para el futuro nido, abriendo una cavidad (cámara nupcial) en la que realizan la copulación. Los huevos que pone la hembra, futura reina, se convierten en ninfas que según las necesidades de cada momento pueden dar lugar a castas o individuos morfológicamente distintos :

“Las termitas siguen una jerarquía: individuos sexados, soldados v obreros”

- Individuos sexuados: entre los que se distinguen las parejas reproductoras, tanto la pareja real fundadora como las secundarias (individuos neoténicos), que aparecen posteriormente y que tienen la misión de aumentar la población de la colonia, y los individuos alados reproductores, que pueden abandonar el nido y crear otros nuevos.
- Soldados: individuos con mandíbulas grandes, también hay formas especiales que están armadas con una glándula que produce una secreción pegajosa. Su misión es la defensa de la colonia.
- Obreros: generalmente de forma poco especializada. Su misión es realizar todos los trabajos de la comunidad: buscar alimento, alimentar a los demás individuos de la colonia, cuidar a la pareja real y construir, reparar y limpiar el nido.



Termitas obreras

Estos insectos pueden ser los más dañinos de todos los que atacan la madera, son ciegos, por lo que rehuyen la luz. Por este motivo se desplazan siempre por oquedades y túneles, dejando un rastro hormonal por el que se guían; esta forma de actuar hace que sean muy difíciles de detectar, o cuando finalmente se detectan, el daño ya está hecho.

Las termitas que se encuentran **en España** se pueden clasificar en **dos grupos**:

- **Subterráneas**: caracterizadas porque tienen sus nidos en el subsuelo. La especie que se encuentra en la Península y Baleares es la *Reticulitermes lucifugus* Rossi.
- **De madera seca**: hacen sus nidos en la madera. La especie que se encuentra sólo en Canarias es la *Criptotermes brevis* Walker. Además existe otra especie, la *Kaloterms flavicollis* que presenta daños de escasa importancia para la madera de construcción, ya que sólo viven en árboles de frondosas enfermos y sus colonias son poco numerosas.

Reticulitermes lucífugus Rossi

Su nido principal está en el suelo y casi siempre fuera de los edificios atacados. A través de él entran subterráneamente en los edificios en donde pueden formar nidos secundarios. La tierra les aporta los tres elementos indispensables para su supervivencia: oscuridad, una temperatura moderada relativamente constante y una humedad permanente. Aprovechan pequeños rincones húmedos de muros y paredes o las cavernas ya producidas en la madera atacada (especialmente en las cabezas de vigas o detrás de zócalos) y una vez en la casa pueden interrumpir su comunicación con el nido principal, sin perjuicio para el desarrollo de la colonia en su nido principal.

Para su desarrollo necesitan un cierto grado de humedad en el suelo y un elevado porcentaje de humedad relativa del aire (para su plena actividad necesitan una humedad relativa del aire del 95% al 100% es decir el aire está prácticamente saturado). Durante su actividad recogen constantemente tierra húmeda con la que recubren los canales que construyen o en las galerías que practican en la madera para garantizar la conservación de la humedad.



En la madera abren galerías paralelas a la dirección de las fibras, dejando una capa exterior intacta que les oculta del exterior, de espesor muy reducido (1 a 2 mm). Los daños son muy característicos dejando entre las galerías verdaderas tiras de madera sin atacar, con lo que adquiere un aspecto de "hojas de libro". La posible explicación de esta forma de ataque radica en que es más fácil alimentarse de la madera blanda de primavera, y por lo tanto dejan intacta la madera más dura formada en verano. La madera del interior queda cómo podrida, la exterior puede verse reblandecida y debilitada, facilitando así la entrada de otros insectos.

Tubo construido con secreciones y tierra

En ciertos casos construyen tubos o canales de pequeño diámetro (1-2 mm) y de pared gruesa, constituidos por deyecciones aglomeradas por una sustancia de secreción y tierra, que se endurece rápidamente al contacto con el aire. Estos tubos o canales sirven como vías de paso de una pieza de madera a otra y en ellos se mantiene un alto grado de humedad necesario para su supervivencia.

Normalmente necesitan varios años para provocar daños peligrosos para un edificio. Sin embargo, existen casos con los que dos o tres años han sido capaces de producir daños estructurales graves.

Criptotermes brevis Walker

El *Criptotermes* suele formar sus nidos en la madera seca de las edificaciones. Se han encontrado ataques en muebles, armarios, marcos de cuadros, vigas de cubierta... no se han encontrado ataques en árboles muertos ni en tocones. El desarrollo es muy lento, la reina sólo pone de 1 a 2 huevos por día y la colonia no suele ser muy numerosa, rara vez llegan a unos miles de individuos, el número habitual de individuos es de 100 a 250.

Sus necesidades de humedad corresponden a un contenido de humedad de la madera del 15% que es el límite máximo para su ataque. La señal típica de su ataque es la falta de aglomerados en las galerías que practican. Las perforaciones de entrada están siempre tapadas por una secreción que forma una película fina., quedando así el orificio casi invisible.

El aspecto del ataque en la madera degradada es similar al del *Reticulitermes*, pero en este caso se realiza por las ninfas procedentes de las larvas, que no se convierten en obreras sino que se mantienen en ese estado de ninfas. Posteriormente algunas ninfas se convierten en soldados, pero la gran mayoría se transforman en individuos sexuados alados.

Su capacidad de destrucción es muy elevada, es posible que destruya mobiliario fijo en meses y estructuras de cubierta, muy atacado, en uno o dos años.

Kaloterms flavicollis Fabre

A esta especie no le daremos mucha importancia ya que no ataca a maderas estructurales, vive en los árboles principalmente en los paseos con ramas cortadas lo que facilita la formación de nidos. Sus daños son reducidos y sólo alcanza cierta importancia en cultivos de árboles frutales, alcornoque o vid. Forman los nidos en la madera y realiza galerías que tapa con un aglomerado de un material menos resistente que el de las termitas subterráneas. Las colonias constan de pocos individuos y rara vez pasan del millar, por lo que los daños suelen ser localizados.

OTROS INSECTOS

Aquí explicamos otro tipo de insectos cuya importancia es menor a la de los anteriores en cuanto a destrucción o degradación de madera utilizada para la construcción.

Los **sirícidos (avispa de la madera)** son parecidos a las avispas que atacan a los árboles de coníferas enfermos o recién cortados. La madera procedente de estos árboles puede incorporarse posteriormente a los edificios y las larvas que han introducido pueden emerger posteriormente como adultos. Sin embargo, no pueden volver a infestar la madera seca. Las larvas realizan galerías de sección circular con diámetros de 4 a 7 mm de grandes longitudes (20 a 45 cm). La duración del ciclo biológico es de 2 a 3 años. El insecto adulto es parecido a una avispa de color negro y con una longitud de 18 a 35 mm. Los orificios de salida son de forma circular de 4 a 7 mm de diámetro.



Avispa de la madera

Los **xilocópidos (abeja carpintera)** no son propiamente xilófagos, ya que la madera no constituye su principal fuente de alimento. Afectan a la madera sana o ligeramente degradada de coníferas y frondosas de troncos de árboles, madera estructural y postes de transmisión. El insecto adulto hembra perfora galerías de 10 a 15 mm de diámetro en la pieza de madera siguiendo la dirección de las fibras. La longitud de las galerías puede llegar hasta 45 cm. El insecto adulto normalmente se identifica como una abeja de color negro, con un tamaño de 20 a 25 mm. Los orificios de salida son de forma circular con diámetros de 10 a 15 mm.



Abeja carpintera

Xilófagos marinos

Los daños más importantes para la madera en contacto con el agua marina son los producidos por los moluscos y los crustáceos. Se diferencian entre sí, además de sus diferencias anatómicas, por la forma del ataque y el aspecto que presenta la madera degradada. Los moluscos realizan una degradación en el interior de la madera que no puede ser visible, mientras que los crustáceos realizan una degradación superficial con lo que lo podemos ver desde el exterior.

Afectan a la madera de albura y duramen de las especies coníferas y frondosas de las embarcaciones, puertos y muelles.

El género más importante de los moluscos es el Teredo que utiliza la madera como cobijo y como alimento junto con sustancias orgánicas disueltas en agua. Hace galerías de 10 a 12 mm de diámetro recubiertas de una capa caliza. La especie más importante es el Teredo navalis, conocido antiguamente como "broma" o "calamitas navium". Vive en el interior de la madera toda su vida. Las paredes de la galería aparecen recubiertas de una capa caliza. La degradación como hemos dicho no es visible desde el exterior.



Molusco especie Teredo

Los crustáceos xilófagos se diferencian de los moluscos en que no se encuentran aprisionados dentro de la madera. Pueden moverse libremente por su interior. La degradación que producen se ve desde fuera y es muy diferente a la de los moluscos. Actúan en masa y su fuerza destructora puede ser extraordinaria. Abren galerías con longitudes inferiores a 1 cm y con diámetros de 2 mm y dejan la madera prácticamente cribada (tienen el aspecto de un panal). Los finos tabiques de separación de las galerías se rompen con el impacto del agua quedando al cabo de un cierto tiempo formada una nueva superficie de ataque a la vez que se da una disminución de la resistencia del elemento de madera por pérdida de sección. El desgaste anual en profundidad varía de 3 a 6 cm.

“Los xilófagos marinos pueden llegar a ser muy destructivos estructuralmente”

Las principales especies presentes en España son la Limnoria lignorum White, Limnoria tripunctata men y Chelura terebrans ph.

PROTECCIÓN PREVENTIVA DE LA MADERA

Hablaremos de protección preventiva de la madera en aquellos casos que el tratamiento sea aplicado sobre madera sana, en buen estado, antes de que esta sea puesta en servicio.

Es de gran importancia ya que pueden cuadruplicar o quintuplicar la vida media de la madera, los tratamientos preventivos se pueden clasificar en función del grado de penetración de la solución protectora, o según el nivel de humedad presente en el momento de su impregnación. En el primer caso los tratamientos se dividen en:

- **Tratamientos superficiales**, con penetración entre 1 y 3 mm.
- **Tratamientos medios**, con penetración de 3 milímetros e inferior al 75 % del área impregnable de la pieza.
- **Tratamientos profundos**, con una penetración superior al 75 % del área potencialmente impregnable de la pieza.

En todo caso, la protección guarda relación con las condiciones en las que serán puestas en servicio las piezas. Las maderas de uso exterior en contacto con el suelo, con agua dulce o con agua de mar o situadas en ambientes saturados de humedad, deben estar muy bien protegidas

PROTECTORES QUÍMICOS

El término absorción hace referencia a la cantidad de protector líquido o sólido absorbido por la madera, que depende de la humedad y características de la madera a tratar, del sistema de impregnación y de la naturaleza del producto químico utilizados. A menos que se trate de impregnación por difusión, es absolutamente necesario que el elemento leñoso se haya secado antes del tratamiento, no sólo para evitar que el agua contenida en su interior dificulte o imposibilite la absorción de producto, sino también porque es durante el secado cuando se pueden producir las fendas que expondrían su parte interior no impregnada al ataque de los organismos xilófagos.

Con respecto a los productos químicos utilizados en la conservación de la madera, se considera que de los tres grandes grupos en que suelen estar divididos, los hidrosolubles, seguidos de las creosotas y los orgánicos, son los que presentan mayores absorciones cuando se impregnan en similares condiciones.

La penetración es la profundidad de la capa tóxica con que se protege la madera. Ésta también depende, como en el caso anterior, del sistema de impregnación utilizado, de la humedad y características de la madera que requiere impregnación y de la naturaleza del producto químico que vaya a ser empleado.

Para que la impregnación pueda ser profunda la madera debe estar seca y desprovista de su corteza exterior e interior, cuya impermeabilidad impide la entrada de los líquidos. Los orgánicos y las creosotas son los que tienen mayor poder de penetración y las segundas, al ser más viscosas, lo hacen con menos profundidad aunque las condiciones sean las mismas.

Por ejemplo, se considera que la madera de haya, por carecer de duramen, se impregna fácilmente con creosota a baja presión en autoclave.

Y, con presiones normales y creosota, se obtienen penetraciones profundas de albura, o limitadas de duramen, en maderas de uso más frecuente tales como el abeto, castaño, chopo, eucalipto, nogal, olmo, pino y roble.

Como la albura ofrece poca resistencia a la penetración, es más fácil tratar los rollizos antes de su aserrado ya que, al presentar capas externas y uniformes de madera permeable, permiten impregnaciones más completas y profundas.

Si la clase de madera dificulta la impregnación, ésta se puede aumentar haciendo incisiones superficiales con maquinaria apropiada que favorezcan la penetración lateral de los protectores, sin perjudicar la resistencia mecánica de las piezas.

Por otro lado, por retención se entiende la cantidad de protector líquido o producto sólido en la zona periférica impregnada que da, con la penetración, el verdadero grado de protección de la madera. Cuando se emplean los hidrosolubles u orgánicos, con duraciones de impregnación constantes, las retenciones sólidas medias se elevan con la solubilidad de cada solución.

No debe confundirse retenciones con absorciones; mientras las primeras definen el grado de protección, las segundas expresan el gasto de producto a realizar para impregnar el metro cúbico de la pieza de madera.

TRATAMIENTOS CON MADERA HÚMEDA

Se considera húmeda a la madera que presenta una humedad superior al punto de saturación de las fibras. En estos casos, los tratamientos posibles son los siguientes:

PULVERIZACIÓN SUPERFICIAL: tratamiento preventivo temporal, aplicable a maderas recién apeadas y a tablas y tablonés húmedos en la serrería.

SUSTITUCIÓN DE SAVIA: sistema protector de los rollizos recién cortados, que se logra al inyectar una solución por la parte más gruesa del rollizo que, avanzando por la albura con el movimiento de la savia, la sustituye.

DIFUSIÓN: tratamiento que se vale del agua libre de los lúmenes celulares para introducir las materias activas del protector en el interior de la madera con alto grado de humedad. El proceso consta de varias fases:

“La madera puede ser tratada en su fase húmeda o en su fase seca”

- 1) desecación parcial de la madera (superior al 30 %);
- 2) inmersión de la madera en la solución protectora, preferiblemente más concentrada que en otros sistemas;
- 3) periodo de difusión en atmósfera saturada de humedad;
- 4) secado final de la madera tomando recaudos para evitar que se formen fendas.

TRATAMIENTOS CON MADERA SECA

Los tratamientos preventivos con madera seca son los más empleados en todos los sectores y suponen unas tareas de pre-acondicionamiento de la misma a fin de optimizar los resultados. Estas labores previas pueden ser, entre otras, de secado e incisionado (para maderas poco permeables).

A continuación distinguiremos entre procesos sin autoclave y con autoclave y, en este último grupo, entre los que utilizan presión y los que no.

PROCESOS SIN AUTOCLAVE

Incluye los sistemas de **Pincelado y Pulverizado** (superficial), **Inmersión Breve** (superficial), **Inmersión Prolongada** (más que superficial), **Inmersión Caliente y Fría** (protección total) y de *Difusión*.

PINCELADO: el protector se aplica superficialmente mediante una brocha, por lo general en tres manos. Las penetraciones alcanzadas no suelen superar los 2 o 3 cm en el mejor de los casos (maderas de alta permeabilidad) y el resultado es una delgada capa tóxica superficial. Por sus características, este tratamiento ha de ser empleado en situaciones de baja agresividad del medio. Si el entorno es más desfavorable, se recomienda la reiteración anual del



proceso. Suelen ser de este tipo los tratamientos anti-fotodegradación que se aplican a las maderas situadas al exterior. La conservación de la madera por pincelado no consiste en pintarla con un protector determinado, se trata más bien de procurar empaparla a fin de que el líquido utilizado entre lo mejor posible en todas las juntas, grietas y fisuras de la madera. Para facilitar su absorción se dan varias manos cuando las primeras penetran totalmente.

Proceso de pincelado

PULVERIZADO: es similar al anterior en cuanto a su efectividad. Se emplean protectores semejantes y se considera que tres manos de pincelado equiparan a una pulverización adecuada.

INMERSIÓN BREVE: ésta consiste en sumergir la madera en la solución protectora a temperatura ambiente, por lo general durante un lapso no mayor a los 10 minutos. Luego se procede al secado de la madera y se emplean protectores en disolvente orgánico, únicamente para impregnar piezas acabadas de poco grueso que vayan a ser colocadas en ambiente seco y no puedan ser sometidas a tratamientos más completos.

INMERSIÓN PROLONGADA: es poco empleada porque, pese a conseguir altos grados de penetración y retención del protector en la madera, requiere mucho tiempo. La inmersión prolongada en hidrosolubles proporciona buenas retenciones y penetraciones muy poco profundas. Las maderas no muy gruesas que se sumergen en creosotas quedan bien protegidas para su uso exterior si el nivel de protección no tiene que ser muy elevado. En cambio, si se quieren emplear los orgánicos, hay que considerar su utilización sólo en inmersiones con impregnación completa de piezas delgadas dada sus bajas solubilidades utilizadas y las bajas retenciones alcanzadas.

INMERSIÓN CALIENTE Y FRÍA: consiste, en primer lugar, en someter la madera a un baño a altas temperaturas en la solución del protector o en agua (si se emplean protectores hidrosolubles) y, a continuación, a un baño a temperatura ambiente. Los procesos suelen ser de 24 horas de duración, con 1 a 4 horas de baño en caliente y el resto en frío.

La **efectividad** del sistema se basa en dos factores: la **diferencia de temperaturas** de los baños (más efectivo a mayor diferencia) y el **tiempo de mantenimiento** de la madera en el baño frío (más efectivo cuanto más tiempo se sumerja). Las creosotas y los orgánicos son los que mejor se adaptan a este sistema de impregnación ya que pueden alcanzar temperaturas máximas de 100 °C.

Esta práctica se hace de tres formas distintas: calentando y enfriando al mismo tiempo la madera y el protector, trasladando la madera caliente a otro recipiente que contenga producto frío, o bien evacuando el protector caliente para sustituirlo por el

frío. De cualquier manera, aunque se usen la misma clase de madera y similares productos y tiempos de inmersión, la disminución de la viscosidad de los protectores con el aumento de la temperatura y el vacío que se forma al enfriarse la madera dan mejores resultados que el sistema de inmersión prolongada.

DIFUSIÓN: proceso por el cual una mezcla de dos soluciones de distinta concentración se transforma en otra de concentración homogénea. Esta práctica de conservación de maderas tiene dos fases. En la primera fase, la madera verde recién aserrada es sumergida en el protector para que absorba de manera superficial y lo antes posible la cantidad de materia activa que, difundida luego en la madera, equivalga a la retención sólida deseada. Y, en la segunda fase, se almacena la madera en cobertizos con atmósfera saturada de humedad, o bajo lonas o telas plásticas que impidan su desecación, con el fin de completar el proceso de la difusión del producto absorbido. Una vez finalizada la segunda parte se deja secar la madera normalmente.

El proceso de difusión también puede conseguirse recubriendo las superficies externas descortezadas con pastas protectoras que sustituyan a las soluciones de tratamientos y, embadurnadas así, se las mantiene en atmósfera húmeda el tiempo necesario para completar el proceso.

Un ejemplo es el sistema denominado Cobra, en el cual la pasta protectora es inyectada directamente en la madera a través de una aguja hueca accionada por un brazo palanca. Se utiliza sobre todo en la reimpregnación de las zonas de empotramiento de postes de conducción eléctrica o telefónica puestos ya en servicio, donde la humedad del terreno proporciona el agua necesaria para completar la difusión de la pasta. Pero esto también se logra con el sistema de vendajes protectores, para lo cual se descalza el poste y se embadurnan las zonas de empotramiento con la cantidad

de pasta deseada y se las venda enseguida para conservar su humedad y evitar el contacto de la pasta con el suelo.

PROCESOS CON AUTOCLAVE

En la actualidad son las plantas industriales tipo **AUTOCLAVE** las que se utilizan para el tratamiento protector preventivo de la madera a gran escala, dada la operatividad y eficacia que han alcanzado, ya que permiten tratar hasta 6 m³ de madera en 1 hora. Las penetraciones y retenciones necesarias no pueden ser obtenidas cuando la humedad de la madera es superior al 30 %. Si no se había secado, antes del tratamiento hay que desecarla en el cilindro de impregnación, calentándola con vapor de agua o con el protector y someténdola a un vacío que favorezca la rápida evaporación del agua hasta llegar al porcentaje de humedad deseado.

PROCESO DE AUTOCLAVE CON EMPLEO DE PRESIÓN: comprende las siguientes fases:

- **COLOCACIÓN** de la madera en la cámara de impregnación y aplicación de aire a presión hasta alcanzar 3-5 kg/cm².
- **INTRODUCCIÓN** de la solución del protector en contacto con la madera elevando la presión hasta alcanzar la denominada presión de trabajo.
- **ESTABLECIMIENTO** de la presión atmosférica y evacuación de la cámara de impregnación del exceso de protector que no haya penetrado en la madera.
- **APLICACIÓN** de un vacío final en la cámara, con el objeto de dejar la madera limpia y sin exceso de protector.

- **EVACUACIÓN** del protector sacado de la madera tras volver a la presión atmosférica y, por último, extracción de la madera ya impregnada. Por medio de este sistema se logra una buena penetración del protector en la madera y una baja retención. En consecuencia, se considera un proceso de protección más económico.

PROCESO DE AUTOCLAVE SIN EMPLEO DE PRESIÓN

Es, de los utilizados en la actualidad, el más importante. Se ha extendido y cuenta con un elevado número de plantas industriales en diversos países. Llamado también vacío-vacío, se lo conoce vulgarmente como Vac-Vac. En general se emplea con protectores en disolvente orgánico para maderas de media y baja resistencia a la impregnación. No obstante, se puede utilizar también para aquellas de alta densidad y difícil impregnación mediante la aplicación de una variable al sistema, por lo que se denomina, en este caso específico, sistema de pseudo vacío-vacío. La aireación requiere una presión intermedia de hasta 2 kg/cm² como máximo durante el periodo de inmersión central, para lo que se emplea una bomba hidráulica de impulsión.

LOS PROTECTORES QUÍMICOS DE LA MADERA

En el año 1829 Boulton patentó un sistema de tratamiento protector de la madera basado en las prácticas de momificación de los antiguos egipcios. Sin embargo, en lugar del producto empleado por aquellos –el Natron–, utilizó SO₄Cu.

En 1836 utilizó por primera vez el creosotado de la madera en recipientes cerrados de hierro, lo que posiblemente fue el inicio del tratamiento de la madera en autoclave.

En las décadas de 1850 a 1870, con motivo del desarrollo del ferrocarril, la electricidad y el telégrafo, se realizaron grandes investigaciones en el campo de la conservación de la madera.

En 1883, y en virtud de los estudios sobre la creosota de Coisne, Boulton y Tidy, se sentaron las bases de las normas británicas de protección de maderas desarrolladas por la British Wood Preserver Association (BWPA), hoy conocidas como normas BSI. De esta manera se comenzó a proteger la madera de los organismos mediante su impregnación total o parcial con los protectores químicos adecuados, que la transforma en una materia tóxica que impide que hongos, insectos, moluscos o crustáceos xilófagos penetren en su interior y la destruyan.

“Los protectores químicos precisan de una serie de características básicas”

Los protectores químicos de la madera deben cumplir con ciertas condiciones que es importante exigir a los proveedores de los distintos productos para así constatar el nivel de desempeño de cada uno. Dichas exigencias comprenden que:

- **SEAN BIOCIDAS**, es decir, tóxicos para los organismos bióticos de deterioro.
- **NO SEAN EVAPORABLES** y puedan permanecer en la madera durante el tiempo esperado.
- **PUEдан SER INTRODUCIDOS EN LA MADERA** para alcanzar buenos grados de penetración y retención.
- **NO PRODUZCAN DETERIOROS** a las propiedades de la madera exigidas para el uso a que fue destinada.
- **NO SEAN DISUELTOS** por agua dulce o de mar y que no puedan ser arrastrados por la lluvia, el agua o la humedad.
- **NO SEAN CORROSIVOS** para los metales.

- **NO AUMENTEN** la inflamabilidad de la madera colocada en lugar de riesgo.
- **NO DESPRENDAN VAPORES TÓXICOS** para las personas ni olores persistentes y desagradables al utilizarlos en maderas colocadas en minas, sótanos o locales subterráneos o en las que sirven para almacenar alimentos o agua potable.
- **NO SEAN FITOTÓXICOS** si se emplean en maderas destinadas a ciertas aplicaciones agrícolas de jardinería y horticultura.
- **SEAN INCOLOROS** y/o que permitan una capa de pintura, cera o barniz cuando la madera lo requiera.
- **NO MANCHEN**, sobre todo en los casos en que deba trabajarse la madera después de su impregnación.

Los productos químicos protectores de la madera suelen ser soluciones líquidas con propiedades biocidas de los organismos deteriorantes de la madera.

Esta definición, por lo tanto, excluye a las pinturas y barnices que lo único que logran es una cubrición de la madera de resistencia temporal variable. Todo producto químico protector de la madera se compone de:

- **DISOLVENTE**: vehículo de entrada en la madera de las materias activas.
- **MATERIAS ACTIVAS Y BIOCIDAS**: en ocasiones son incluso efectivas frente a agentes de origen abiótico.
- **COADYUVANTES**: refuerzan la acción de las materias primas e incrementan la efectividad del protector.

FUEGO

IGNIFUGACIÓN DE LA MADERA

Los tratamientos de ignifugación de la madera tienen como finalidad corregir en cierto grado su reacción al fuego. La ignifugación en masa de la madera maciza y de los tableros permite alcanzar reacciones al fuego de M3, M2 y M1, dependiendo de la especie y tipo de tratamiento. La resistencia al fuego de la madera no se modifica significativamente por el tratamiento; únicamente se consigue un cierto retraso de la combustión lo cual supone un incremento del tiempo de resistencia, que solo podría valorarse mediante ensayo.

La **ignifugación** puede realizarse en **profundidad** (también denominada en masa) o **superficialmente**. Generalmente se utilizan productos a base de fosfato y sulfato de amonio, borato de sodio, ácido bórico, silicato de sodio y de potasio y compuestos clorados.

- **Ignifugación en profundidad:**

La madera maciza puede realizarse mediante un proceso de vacío y presión en autoclave o a través de una inmersión caliente en la que se alcanzan menores

profundidades de penetración (10 – 20 mm). En España no hay plantas industriales que realicen tratamientos ignífugantes en autoclave.

En el caso de los tableros contrachapados la ignifugación se realiza mediante la impregnación de las chapas antes del encolado. En los tableros de partículas se añaden los productos ignífugos a las partículas de madera o al adhesivo, y en los de fibras de densidad media se añaden al adhesivo.

- Ignifugación superficial:

El tratamiento superficial puede consistir en la aplicación de barnices y pinturas ignífugos. Ante la acción del fuego se hinchan formando una capa aislante que retrasa la combustión de la madera.

El inconveniente principal de estos sistemas es que su durabilidad sólo suele garantizarse por un plazo de 5 a 10 años y es precisa su renovación. Por otro lado los barnices ignífugos aunque dejan vista la superficie de la madera, tienen tendencia a volverse

blanquecinos.



Madera barnizada contra el fuego

Otra posibilidad de tratamiento superficial es la aplicación de sales ignífugas disueltas en agua mediante pulverizado o inmersión. La cantidad de sales depositadas es reducida y su eficacia no es muy elevada. No deben utilizarse en piezas expuestas al exterior ya que las sales son deslavables.

DIAGNOSIS DE LA MADERA

Para realizar una inspección, antes de la visita se aconseja obtener la mayor información posible de los propietarios, especialmente en cuanto a la extensión, importancia y momento de aparición del ataque, de la historia del edificio y tipo de construcción y de la accesibilidad a sótanos y cubiertas.

Se llevará un equipo que permita tomar muestras y observaciones de la forma más completa y minuciosa posible, sobre todo si se quiere identificar con precisión la especie biológica atacante.

EQUIPO DE ANOTACIÓN

- **Cuaderno de notas, lápices, tizas y rotuladores.**
- **Cámara fotográfica con flash:** conviene disponer de anillos de extensión y trípode; un flash anular es ideal para fotos de detalle y las cámaras digitales facilitan la versatilidad de enfoques y luminosidad.

EQUIPO DE INSPECCIÓN

- **Lupa naturalista (10x) o microscopio de bolsillo (25x)** para observación de muestras y especies.
- **Espejo de mano** para reflejar partes ocultas.
- **Linternas**, una potente y otra de bolsillo.
- **Fonendoscopio** o vaso de plástico para auscultar la madera en busca de larvas o insectos vivos.
- **Mazo o martillo pequeño** para golpear y escuchar el sonido de la madera.
- **Brújula** para establecer la orientación de las partes del edificio.
- **Cepillo de raíces y un par de brochas** para limpiar serrín y polvo.
- **Punzón** para hacer calas y conocer la profundidad del daño.
- **Prismáticos** para la observación externa de lugares poco accesibles.
- **Escalera de mano** si ciertos lugares son de difícil acceso.
- **Humidímetro portátil y termómetro**, mejor de bulbo (giratorio).

“Un buen equipo de inspección es básico para una buena diagnosis”

- **Cintas métricas y metro de varas** para reflejar en croquis y cuantificar los daños observados.

TRATAMIENTOS CURATIVOS

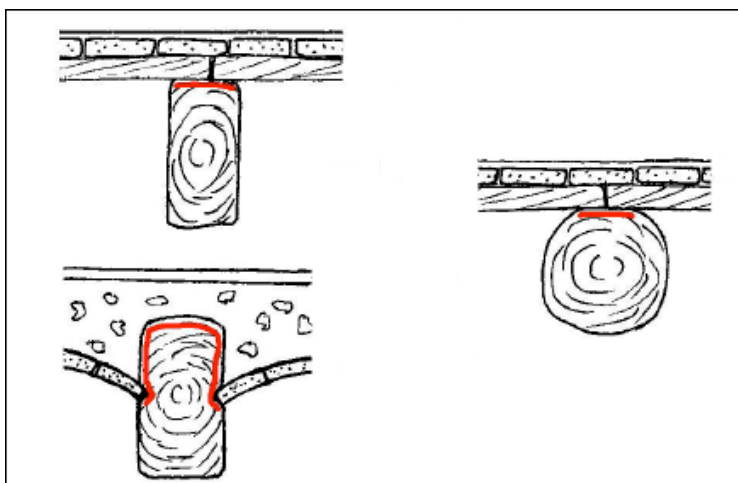
La madera, en su condición de material perecedero, al ser colocada en servicio puede sufrir los daños de diversos agentes de deterioro. Los tratamientos curativos están pensados para mejorar su estado y tienen como objetivo prioritario el detener la acción de los mismos y dejar la madera protegida ante potenciales ataques posteriores.

A continuación detallamos los **principales factores** que caracterizan a este tipo de tratamiento:

- **Se realizan sobre madera en servicio**, afectada por causantes de deterioro de origen biótico o abiótico.

- **Implican dos tipos de acciones**, una sobre la madera afectada específicamente curativa y otra, de tipo preventivo, en su entorno más próximo.

- **Suelen ser más difíciles de ejecutar y más costosos** que los tratamientos preventivos.



En relación con lo seña
“Cuando queramos aplicar tratamientos superficiales en elementos ya construidos nos encontraremos con zonas de éstos que serán inaccesibles”

Las marcas en rojo representan las zonas inaccesibles

lado en este último punto, la ejecución de los **tratamientos curativos implica** la necesidad de llevar a cabo las siguientes acciones:

- **Descubrir la madera**, en ocasiones oculta, y limpiarla hasta dejarla con el poro abierto, para lo que se requieren importantes medios mecánicos y/o químicos.

- **Aplicar elementos de cubrición** a fin de mantener su apariencia original, una vez impregnada la madera con protectores.

- **Emplear soluciones químicas protectoras** con una concentración más alta que las utilizadas en los tratamientos preventivos.

- **Realizar el tratamiento in situ**, en la mayoría de los casos, con el consiguiente desplazamiento de los recursos humanos y materiales.

Con este tipo de tratamientos se intenta, en lo posible, devolver la apariencia externa y las propiedades resistentes a la madera. Se integran en los procesos de restauración y no presentan tanta importancia en los de rehabilitación, ya que en los primeros se debe conservar tanto la forma como el material mientras que en los segundos lo importante, en mayor o menor grado, es conservar la forma pudiendo variarse el material.

FASES DE LOS TRATAMIENTOS CURATIVOS DE LA MADERA

Se consideran las siguientes fases:

- **Reconocimiento del maderamen.**
- **Reconocimiento del entorno próximo de la madera.**
- **Determinación de las medidas a aplicar en la madera y su entorno.**

RECONOCIMIENTO DEL MADERAMEN

Se realiza la detección de daños en la madera y en su entorno próximo. Estos se pueden deber a la acción de agentes de origen biótico y abiótico, que pueden actuar secuenciados en el tiempo.

En primer lugar se aconseja analizar la madera con cuidado a fin de comprobar si los daños existentes se deben a acciones antiguas –ataques muertos– o a acciones actuales –ataques vivos–.

Ante todo se investigarán aquellas áreas en las que las características del medio sean favorables a la presencia de agentes de deterioro, como por ejemplo su ubicación al exterior, el contacto con el suelo, la proximidad de fuentes de humedad reales o potenciales (cubiertas, patios interiores), zonas de ensamble o el apoyo de maderas estructurales.

La detección de los daños se puede hacer por medios tradicionales o sofisticados. Entre los primeros podemos señalar a los sistemas de percusión con martillos o similares, los de punción con taladros manuales o eléctricos o barrenas de Pressler y el reconocimiento posterior del serrín producido. Entre los segundos, en cambio, se citan:

- **Aparatos de medición de la velocidad de propagación de ondas a través de la madera.** Las oquedades o pudriciones internas producen una variación de la velocidad de las ondas que difiere de la de una madera sana.

- **Aparatos detectores de los sonidos emitidos por los insectos xilófagos presentes en el interior de la madera.** Amplifican y filtran las vibraciones emitidas por las larvas de los insectos y las transforma en una secuencia digital que puede ser leída en una pantalla de ordenador.

“Los aparatos nos indican el grado de daño del elemento y su entorno”

- **Aparatos de termografía axial computarizada (T.A.C.),** basados en la reconstrucción por ordenador de los planos tomográficos de la madera que ponen de manifiesto las zonas de detección.

RECONOCIMIENTO DEL ENTORNO PRÓXIMO A LA MADERA

El entorno de la madera debe ser estudiado en profundidad para eliminar aquellas condiciones del medio que pueden favorecer a los agentes de deterioro, como por ejemplo las canalizaciones, atajeas y los elementos de fábrica.

Por regla general, la presencia de humedades siempre es negativa, por lo que se debe anular en todos los casos que sea posible.

DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS A APLICAR EN LA MADERA Y EN SU ENTORNO

Las medidas que se consideran para la madera de construcción son las siguientes:

- **MEDIDAS CONSTRUCTIVAS:** su objetivo es mejorar las condiciones de la madera, mediante la variación de aquellas que favorecen la presencia y/o desarrollo de los agentes de deterioro. En muchos casos estas medidas implican la eliminación de la humedad a través del arreglo de conducciones defectuosas de agua o de cubiertas, drenajes del terreno o el incremento de voladizos protectores de la parte superior de las fachadas. Asimismo, pueden nombrarse las tareas de mejora de las maderas estructurales como la ventilación y la impermeabilización.

“Hay que decidir que medidas tomar una vez determinado el problema”

- **MEDIDAS ESTRUCTURALES:** el deterioro de la madera que forma parte de una estructura incide directamente en su seguridad, estabilidad y vida media. Entre las más importantes se encuentran la sustitución, el refuerzo, la consolidación y la protección química.

- **MEDIDAS DE SUSTITUCIÓN:** para maderas muy dañadas a las que no conviene ni consolidar ni reforzar. Se elimina la madera afectada y se coloca ya sea otra de igual especie e impregnada con protectores (restauración) o bien un elemento de otro material (rehabilitación).

- **MEDIDAS DE REFUERZO:** consisten en el aumento de la capacidad resistente de un elemento estructural, sin actuar directamente sobre la madera, a fin de limitar su deformación. Suelen confundirse con las medidas de consolidación.

- **MEDIDAS DE CONSOLIDACIÓN:** para aquellas maderas que presentan zonas deterioradas muy delimitadas y cuya magnitud no implica la sustitución total del elemento. Su principal objetivo es la recuperación de la capacidad resistente inicial, para lo cual se emplean diversas técnicas de consolidación, a saber:

- **Con hormigón.**

- **Hormigón-madera.**

- **Con elementos metálicos.**

- **Con elementos de madera:** se sanear las partes dañadas y se utilizan prótesis de madera en íntima unión.

- **Con productos epoxi:** emplea formulaciones como resina epoxi (termoestable) más endurecedor, diluyentes (bajan la viscosidad y el módulo de elasticidad), flexibilizantes (permiten la deformación bajo cargas) y cargas inertes, que producen un incremento de la conductividad térmica dependiendo de su composición, forma y granulometría y que pueden ser de silicio, amianto o caliza.

- **Elementos tixotrópicos:** incrementan la viscosidad y pueden ser a base de caolín y silicatos, entre otros. En muchos casos no se emplean resinas epoxi sino mortero epoxi, compuesto a partes iguales por resina epoxi, endurecedor, arena y gravilla de distinta granulometría. Las propiedades de las formulaciones epoxi dependen del tipo de resina y de los agentes de modificación y de curado utilizados.

- **MEDIDAS DE PROTECCIÓN QUÍMICA:** se emplean para todos los casos de tratamientos curativos de la madera y conllevan las siguientes fases de actuación general:

- **Estudio del grado de afección del maderamen.**

- **Diagnóstico de los agentes de deterioro** de la madera y de las condiciones favorecedoras del entorno.

- **Aplicación de los protectores químicos** adecuados mediante sistemas idóneos que permitan controlar la propagación de los agentes dañinos.

- **Medidas químicas complementarias** que erradiquen los agentes deteriorantes del entorno de la madera, en ciertos casos.

Las principales acciones que se contemplan en estas medidas son:

- **La pulverización superficial** con protectores en disolvente orgánico, de mayor penetración en la madera.

- **Inyección de protectores** en la madera e incluso en los muros próximos.

Para la ejecución de estas medidas de protección química se emplean instrumentos específicos, entre los que destacan los siguientes:

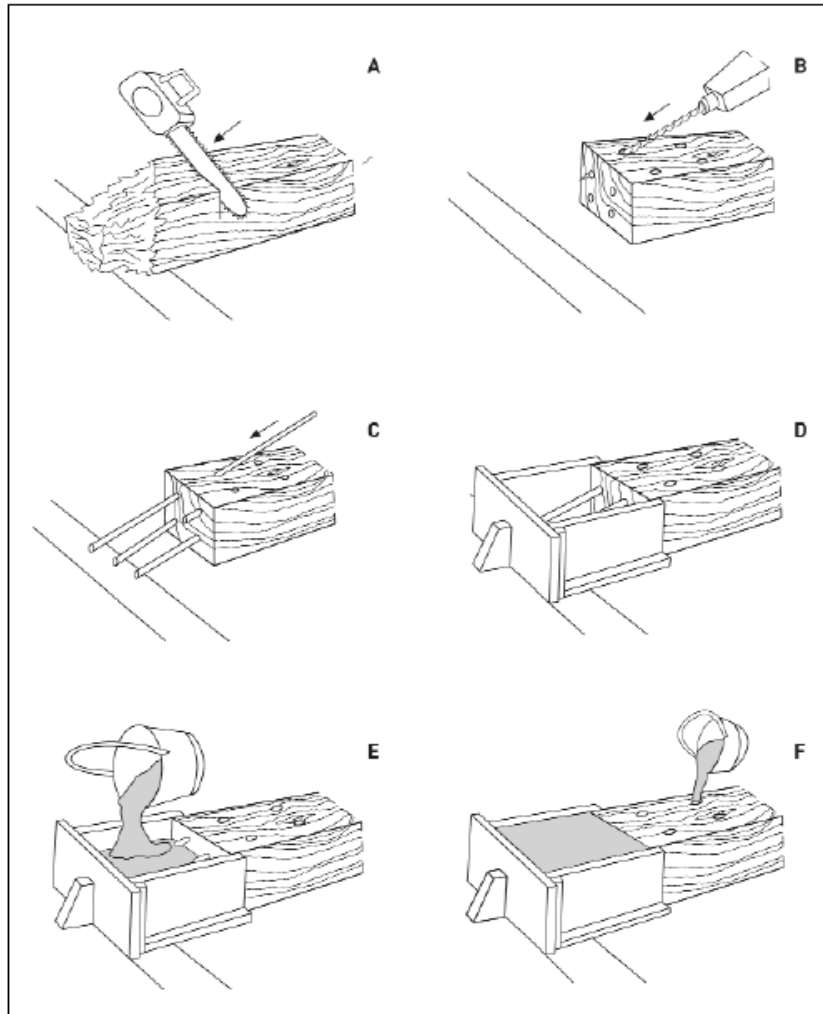
- **Pistolas de inyección.**

- **Decapadores neumáticos.**

- **Bombas y válvulas de inyección unidireccionales** para ser colocadas en la madera.

- **Pulverizadores** con boquillas de distinta sección y con alargadores.

Técnica de reconstrucción de cabeza de viga



- A) Eliminación del trozo dañado. Saneamiento
- B) Realización de orificios para la colocación de rigidizadores
- C) Colocación de barillas rigidizadoras de fibra de vidrio
- D) Encofrado de la zona para el vertido de la resina epoxi
- E) Vertido de la resina epoxi
- F) Rellenado final de orificios

ELIMINACIÓN DE INSECTOS

Inyección con válvulas

Es una de las técnicas más antiguas y efectivas para el tratamiento de maderas instaladas. Se trata de practicar una serie de orificios a lo largo de las vigas para proceder posteriormente a insertar estas válvulas a través de las cuales procederemos, con la ayuda de una bomba, a realizar inyecciones a presión.



Inyección en viga atacada

Impregnación

Esta técnica de trabajo se basa en rociar toda la superficie a tratar, normalmente se realiza con equipos de pulverización específicos, pudiendo realizarse con líquidos o geles.

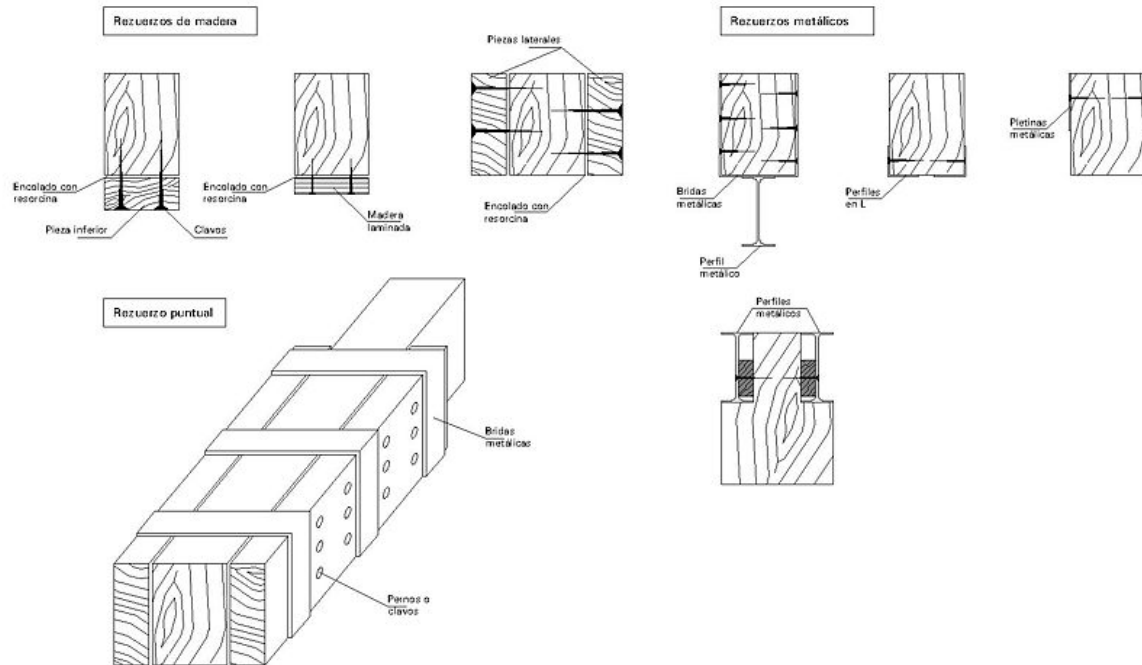
Tratamiento perimetral (termitas)

Bajo este nombre se conocen los trabajos encaminados a la realización de barreras químicas alrededor de la vivienda, inyectando productos específicos que impidan la entrada de las termitas.

Con estos trabajos no se persigue en ningún momento la eliminación de la colonia, si no que lo que se busca es la protección de la zona tratada, permitiendo que las termitas sigan operando en otros puntos no tratados. Se pueden utilizar para este trabajo distintos tipos de productos consiguiendo efectos variados, según las circunstancias del trabajo.

“Para evitar que las termitas vuelvan a atacar el edificio, lo aislaremos de su entrada con un Tratamiento Perimetral”

REFUERZOS DE VIGAS



Podemos reforzar las vigas de madera e varias formas:

- Podemos aumentar la inercia de nuestro elemento añadiendo refuerzos de madera laminada en su parte inferior; los fijaremos encolando los dos elementos y uniendolos con clavos.
- Podemos aumentar la inercia también utilizando perfiles metálicos, la unión esta vez será solo mecánica. Colocaremos el perfil en la parte inferior y lo uniremos con resinas epoxis y tacos químicos.
- Utilizaremos bridas metálicas y platinas a ambos lados unidas entre si para reforzar una viga seccionada.
- Para solucionar problemas de cortantes, colocaremos un perfil metálico debajo de dicha viga y lo uniremos al elemento vertical con un perfil angular metálico unido con taco químico.

BIBLIOGRAFIA

- Protección preventiva de la madera - Fernando Peraza
- Intervención en Estructuras de Madera – Francisco Arriaga
- Estructuras de Madera (Diseño y Cálculo) – Francisco Arriaga
- Recursos de Internet

