

TRATAMIENTOS CURATIVOS DE LA MADERA - INTERVENCIÓN EN EDIFICIOS CON ESTRUCTURA DE MADERA

Como se comentaba en el bloque informativo "Protección", la madera como material de origen orgánico es especialmente estable, no obstante por su propia naturaleza constituye la base de alimentación de organismos vivos del reino vegetal (hongos) y del reino animal (insectos, moluscos, crustáceos, aves).

Antiguamente los carpinteros utilizaban exclusivamente piezas de madera de duramen, que la experiencia les había demostrado que no eran atacadas por los agentes degradadores, y además las "curaban" antes de mecanizarlas e instalarlas. El curado de la madera consistía en dejarlas secar de forma natural durante uno, dos o más años en lugares secos, protegidos y bien ventilados (que se llamaban bodegas). Con el empleo de madera de duramen y el curado, y una adecuada puesta en obra (detalles constructivos), los antiguos carpinteros realizaron muchas obras que resisten perfectamente el paso de los años.

Con el paso del tiempo existe la posibilidad de que los elementos de madera y las estructuras de madera hayan sido degradados, si se dan las circunstancias para que los agentes degradadores se desarrollen, por lo que será necesario intervenir para restaurar y proteger la madera.

En relación con los trabajos de rehabilitación y de tratamientos curativos hay que recordar que España se caracteriza por disponer de un gran patrimonio artístico, en el que la madera interviene de una forma muy especial, tanto en funciones estructurales como decorativas. El nuevo enfoque o filosofía de la restauración se basa, siempre que sea posible, en conservar y reparar los materiales originales.

La información sobre este tema se ha organizado en los siguientes bloques informativos:

- Patología de origen biótico y abiótico
- Patología de origen estructural
- Inspección
- Diagnóstico
- Medidas de carácter constructivo
- Tratamientos de protección
- Medidas de carácter estructural

PATOLOGÍA DE ORIGEN ESTRUCTURAL

El deterioro que puede sufrir una estructura debido a causas relacionadas con la estabilidad y resistencia pueden resumirse en los siguientes grupos:

- Sección insuficiente para las cargas que actúan o como consecuencia de un aumento de las cargas con respecto al origen de la estructura.
- Deformaciones elevadas debidas al efecto de la fluencia en piezas colocadas en verde y roturas a largo plazo.
- Fallos en las uniones debidas a un dimensionado insuficiente o a un diseño incorrecto y posible incremento de la deformación.
- Roturas en alguna pieza con defectos locales muy superiores a los medios en la estructura.
- Arriostramiento insuficiente que conduce al desplome y pérdida de verticalidad de parte de la estructura.

En general la mayoría de estos fallos suelen manifestarse poco tiempo después de la construcción, normalmente tras las primeras cargas de importancia debidas al uso o a la nieve. Sólo en algunas ocasiones en las que la pieza está dimensionada de manera insuficiente para cargas de larga duración, la rotura se puede producir al cabo de varios años.

Sección insuficiente:

Provoca una deformación excesiva de la pieza que sirve como signo para su detección previa. Las flechas en vigas de madera suelen ser, por lo general, más apreciables a simple vista que en otros sistemas constructivos, sobre todo en estructuras ya antiguas. Como aproximación, la flecha de una viga correctamente dimensionada estará alrededor de $l/300$ para las condiciones de carga total. En una inspección de un edificio lo normal es que se encuentre con la carga permanente y una parte pequeña de la carga de uso. Sólo la peritación de la estructura puede resolver las dudas.

Es frecuente encontrar suelos con gruesos rellenos que pretenden recuperar la horizontalidad perdida que producen un efecto de agravamiento de las deformaciones. Otras veces, también con un criterio erróneo se han colocado capas de hormigón con este mismo fin, además de suponer que puede reforzar el conjunto.

Deformaciones excesivas y roturas a largo plazo:

Este apartado se encuentra relacionado con el anterior. Las deformaciones pueden ser exageradas debidas a un efecto de la fluencia cuando se han colocado las piezas en verde. En este caso la deformación de las cargas permanentes debida a la fluencia se incrementa en un orden del 100 % respecto a la deformación instantánea. Esto puede detectarse mediante el cálculo de la estructura al comprobar que es preciso incluir un efecto de la fluencia muy notable para justificar la deformación medida en la obra.

La madera tiene una resistencia que depende de la duración de las cargas. Ante cargas de breve duración presenta una capacidad mayor que ante cargas permanentes. Este es uno de los factores de más importancia en el cálculo después de la calidad de la madera. En algunos casos puede haberse dimensionado la estructura para unas cargas inferiores a las reales (sobre todo en lo que afecta a las cargas permanentes). Si las cargas variables son pequeñas, como puede ocurrir en las cubiertas, la estructura puede ser viable durante un plazo de tiempo limitado. En este caso las deformaciones irán aumentando paulatinamente hasta que se alcance la rotura de la pieza, simplemente por haber transcurrido un plazo excesivo para la carga actuante de forma permanente. En algunos casos este fallo se ha alcanzado después de 60 años de servicio.

Uniones:

Las uniones constituyen puntos críticos ya que a veces no se dedica la misma atención que al resto del dimensionado de la estructura. Es importante revisar los detalles constructivos de las uniones para detectar si existen signos de aplastamientos localizados sobre los elementos metálicos de fijación; normalmente estos fallos se despejan al comienzo de la vida útil de la estructura. También se pueden encontrar roturas en las zonas de ensambles de las piezas en la construcción de tipo tradicional con uniones carpinteras.

La estructura sufre unas deformaciones añadidas a las debidas a las deformaciones elásticas que son consecuencia de los deslizamientos que se producen en las uniones. Este incremento de la deformación puede estimarse por cálculo en muchas ocasiones. Generalmente, no tiene una gran relevancia.

Roturas locales:

En algunas ocasiones se pueden encontrar piezas aisladas partidas entre los parecillos de una cubierta o en las viguetas de un forjado, dentro de un conjunto en buen estado y sin deformaciones notables. En estos casos, es muy probable que el fallo se deba a un defecto exagerado (normalmente un nudo o grupo de nudos en el vano central de la pieza) que disminuye en alto grado la calidad de la madera puntualmente. Si no es un defecto extendido y no existen grandes deformaciones en el resto de las piezas, no resulta preocupante.

Arriostramiento insuficiente:

Los defectos de arriostramiento pueden hacerse relevantes en estructuras compuestas por pilares y formas de cubierta, sobre todo si son de más de una planta. Una estructura que no cuente con el necesario arriostramiento fallará si no encuentra elementos no estructurales que puedan servirle de apoyo. A veces puede que exista un sistema de arriostramiento de resistencia suficiente pero con rigidez escasa, lo que hace prácticamente inútil su misión.

Fendas de secado y revirado de las piezas:

Las fendas de secado en la madera de gran escuadría son inevitables. La contracción transversal de la madera de coníferas es del orden del 0,20 % por cada grado de humedad. Esto quiere decir que una madera que pase de la condición de verde (por encima del 30 % de contenido de humedad) a un 10 % en condiciones secas de interior, sufrirá una merma del orden del 4 % de sus dimensiones transversales.

En una madera enteriza (que contenga el corazón de la pieza en el centro de la sección) la diferencia de contracción en la dirección radial y tangencial provoca un inevitable fendado en las caras de la pieza que para el caso anterior se puede estimar en un 2 % en cada cara. Es decir, una sección de 200 x 200 mm tendrá fendas en cada cara de al menos unos 4 mm

de grueso.

INSPECCIÓN

Su objetivo es recoger información sobre las patologías que presenta el edificio para elaborar un informe y un plan de actuación. En general, lo más adecuado es realizar una primera fase de inspección general para conocer el edificio y efectuar un reconocimiento visual exterior, marcando los puntos donde deben realizarse catas para inspeccionar zonas ocultas de la madera. En una segunda fase se realizará la inspección de las catas abiertas anotando la patología encontrada y sus características. Antes de realizar la inspección es conveniente recoger información sobre la historia del edificio. Este punto puede resultar complicado o difícil de realizar, ya que en la mayoría de los casos se trata de edificios antiguos de los que se dispone de poca o de ninguna información escrita.

La inspección engloba los siguientes aspectos:

- Reconocimiento visual exterior

Su objetivo principal es la detección de las fuentes de humedad y la posible entrada del agua de lluvia en el edificio. Incluye, de forma orientativa:

Fachadas y patios; Cubierta, aleros y bajantes; Flechas en forjados

- Reconocimiento de la estructura

Su objetivo es valorar los daños producidos por los agentes xilófagos con el fin de evaluar su repercusión en el comportamiento estructural; el reconocimiento también puede incluir la identificación de la especie de madera, la determinación de su calidad y la geometría de la estructura con el fin de comprobar su capacidad portante. Deben tenerse en cuenta los siguientes factores: Planificación, Iluminación, Acceso a la estructura, Acceso y limpieza de la zona, y Planos o croquis.

Se prestará especial atención a los puntos críticos de las piezas de madera y a las zonas de riesgo:

- puntos críticos: zonas con madera albura, testas de las piezas, cabezas de las vigas en el apoyo dentro del muro, testas de vigas voladas expuestas a la intemperie, ensambles de piezas en una armadura, extremo inferior de soportes

- zonas de riesgo: lugares ligados con fuentes de humedad que permiten el desarrollo de los hongos y facilitan la acción de algunos insectos xilófagos: piezas cercanas al suelo, apoyos de vigas en muros de fachada con repisa de balcones, forjados de galerías, forjados en locales húmedos, aleros y encuentro de la cubierta con el muro, paso de chimeneas en cubierta, forjados con cubierta plana y carpintería exterior:

Las técnicas empleadas para la estimación de los daños producidos por los agentes xilófagos en la madera son generalmente sencillas y requieren un equipo mínimo. Los métodos tradicionales se basan principalmente en la inspección visual de la superficie complementada con el descubrimiento de zonas no visibles para determinar la gravedad del daño. Se pueden emplear punzones, destornilladores, formones, azuelas, martillo de goma, taladros, etc. También existen otros métodos no destructivos, apoyados en tecnologías más sofisticadas que emplean equipos especiales como los sistemas basados en la transmisión de ultrasonidos, ensayos mecánicos no destructivos, análisis de vibraciones y resistógrafos.

DIAGNÓSTICO

Su objetivo es evaluar los daños causados por los diferentes agentes degradadores y el estado de los elementos y de la estructura de madera para definir el plan de actuación, que puede englobar medidas constructivas, medidas estructurales y tratamientos químicos.

- Evaluación de los daños de origen abiótico
- Evaluación de los daños de origen biótico

Evaluación de los daños de origen abiótico

Las causas de origen abiótico que pueden producir daños en las piezas de madera son los agentes atmosféricos (radiación solar y la lluvia) y el fuego.

- Agentes atmosféricos:

La madera expuesta a la luz solar sufre un cambio de la coloración, que inicialmente toma un tono marrón y posteriormente color grisáceo, y la aparición de fendas superficiales, debido a la diferencia de contenidos de humedad en la zona superficial y zona interior. El agua de lluvia provoca el deslavado de los elementos degradados de la superficie y favorece el fenómeno de aparición de fendas. El deterioro de la madera expuesta a la intemperie es muy lento y la pérdida de madera es muy pequeña. Esta pérdida varía en función del clima, la especie y la orientación, diversos autores citan valores que varían desde 1 hasta 13 mm por siglo. En definitiva se produce una degradación superficial que no afecta a las propiedades mecánicas de manera significativa.

- Acción del fuego:

Una estructura que haya sufrido un incendio puede ser recuperable o reutilizable si la pérdida de sección no es muy elevada. La acción del fuego en una sección de una pieza de madera produce una lenta combustión con una velocidad de carbonización del orden de 0,6 a 0,7 mm/min, dependiendo de la especie de madera. Para la determinación de la capacidad portante de las piezas de madera después del incendio se procederá a la limpieza de la superficie carbonizada hasta dejar vista la superficie de la madera y sus defectos naturales. Conocida la especie puede clasificarse para determinar la calidad estructural y por tanto su resistencia. Hay que tener en cuenta que la pérdida de sección puede modificar la calidad estructural, ya que el tamaño relativo de los nudos en relación a las dimensiones de la sección puede aumentar y obligar a bajar un grado la calidad respecto a la original. Finalmente, con la sección residual, descontando además 7 mm de pérdida equivalente perimetral, puede comprobarse la capacidad portante.

Los puntos más críticos de una estructura de madera en caso de incendio son las uniones y principalmente aquellas que utilizan elementos metálicos, que serán objeto de una inspección detallada para conocer su estado.

- Efecto de la edad de la estructura:

Los estudios recientes que se han realizado no han detectado ninguna variación en la resistencia de la madera como material con el paso del tiempo.

La pérdida de capacidad portante que se puede encontrar en algunos casos está originada por otras razones muy distintas como es el deterioro producido por los agentes bióticos, o el aumento de las fendas si está expuesta a la intemperie.

Evaluación de los daños de origen biótico

La intensidad y el modo de ataque de cada agente xilófago es diferente y resulta de gran interés para poder estimar la gravedad del daño en las piezas de madera y evaluar la pérdida de capacidad portante producida.

- Hongos de pudrición

Sus ataques y degradación se reducen a las zonas en las que la humedad supera el 20%, de tal manera que lo habitual es encontrar daños por pudrición en las zonas de las piezas que se encuentran en contacto con la fábrica que retiene la humedad, o en zonas cercanas a las conducciones sanitarias defectuosas. No son ataques que se generalicen o se extiendan a grandes superficies del edificio sino que afectan a partes localizadas de un local o locales.

Las consecuencias de sus efectos son la destrucción de la madera en la zona afectada. En el caso de vigas o pares apoyados sobre muros de fábrica se traduce en la pérdida de superficie de apoyo y el fallo se origina por la caída de un grupo de 3 o 4 piezas que se desprende del resto del forjado. Es un problema de pérdida de estabilidad que no se detecta previamente salvo por la presencia anterior de la humedad en la zona. En la práctica no es posible estimar la pérdida de capacidad portante de la estructura, ya que simplemente se trata de una pérdida de estabilidad.

Otro lugar donde la pudrición suele presentar daños típicos es en los ensambles de las piezas, generalmente en los nudos de las armaduras de cubierta. En estos casos el nudo se debilita por la acción de la pudrición provocando la pérdida de estabilidad de la estructura. Las filtraciones de cubierta humedecen la estructura y el agua tiende a retenerse en las zonas de los ensambles de los nudos.

Es muy frecuente que junto con los hongos de pudrición parda se encuentre la actividad de insectos de ciclo larvario de la familia de los anóbidos.

- Insectos de ciclo larvario (líctidos, anóbidos, curculionidos, cerambícidos)

Los daños originados no suelen ser de mucha gravedad para la estructura debido a que las galerías que practican son de pequeño diámetro (1 a 6 mm) y se alimentan de la albura de la madera. Por tanto, la parte deteriorada de la pieza sólo puede afectar a la zona de albura perimetral. Algunos atacan sólo las frondosas o las coníferas, y otros atacan a ambas especies; así mismo algunos de ellos sólo atacan a madera seca o a madera húmeda, y otros pueden atacar independientemente del contenido de humedad de la madera.

Para la estimación de la pérdida de capacidad portante, la inspección con un punzón o herramienta similar permite conocer la profundidad afectada en la sección. Un criterio conservador para estimar su efecto consiste en descontar la profundidad afectada a las dimensiones reales de la sección de la pieza. Como el deterioro de la zona afectada no es completo, ya que los insectos realizan galerías dejando zonas de madera intacta, puede descontarse una profundidad menor, en función de la intensidad del ataque.

- Insectos sociales: termitas

La extensión de un ataque de termitas puede llegar a ser muy grande, si las condiciones de humedad lo permiten. Normalmente la forma de avance del ataque es piramidal con la base en el suelo; los daños se inician en la madera que se encuentra en la planta baja y tiende a disminuir según se asciende hacia las plantas altas. Es frecuente que la subida a las plantas superiores se realice exclusivamente afectando al entorno de una bajante que facilite humedades por fugas. En caso de que la infestación tenga su origen en edificios contiguos esta forma de avance descrita puede variar sensiblemente.

La evaluación de los daños en las zonas afectadas por las termitas debe hacerse inspeccionando cada una de las piezas de la estructura, debido a la gran variabilidad que puede darse. En estados de ataques poco avanzados pueden encontrarse daños en las cabezas de las piezas que apoyan sobre los muros, como las vigueta de forjado y los pares de cubierta, con el mayor deterioro al principio disminuyendo su efecto hacia el vano de la pieza. La estimación de la pérdida de capacidad portante puede realizarse de forma similar al caso de los insectos de ciclo larvario. En muchos casos, la profundidad e intensidad del daño en la pieza es tan elevada que no tiene capacidad residual.

Evaluación de la capacidad resistente de la estructura

En principio, la estimación de la capacidad portante no debería diferir del proceso por el que se define la resistencia de las piezas de madera nuevas. Conociendo la especie de madera y su calidad, es inmediata la asignación de una determinada clase resistente (con los valores de las propiedades mecánicas correspondientes).

Sin embargo nos encontramos con los siguientes problemas:

- la estructura ya está colocada y no siempre es fácil de inspeccionar para determinar su calidad.
- la estructura que nos llega presenta una garantía de su validez, sin entrar a considerar los posibles daños de origen biótico. Pero cuando aplicamos la normativa actual de clasificación y de acciones a la estructura se constata que no es válida, en clara contradicción con la realidad.

La determinación de la capacidad resistente ha de tener en cuenta estas particularidades. Evidentemente, este trabajo de reconocimiento se realizará únicamente en el caso de que los daños debidos a los organismos xilófagos no sean tan graves como para descartar la estructura.

Metodología basada en la clasificación visual

- Identificación de la especie de madera

En construcciones antiguas es frecuente encontrar principalmente las siguientes especies:
Coníferas: pino silvestre, pino pinaster, pino laricio, pino canario.
Fronzosas: roble, castaño, olmo, haya, chopo.

-Calidad de la madera

La calidad de la madera desde el punto de vista resistente se evalúa en función de la cantidad y tamaño de los defectos presentes en las piezas (nudos, fendas, desviación de la fibra, etc). Esta evaluación se efectúa mediante una inspección visual de acuerdo con una norma de clasificación. Las normas de clasificación resistente que se emplean en la actualidad están, generalmente, pensadas para escuadrías que pueden encontrarse en el mercado. Un ejemplo claro de la dificultad de aplicación de estas reglas de clasificación se encuentra en la limitación de las fendas en la madera estructural; generalmente la aplicación de este criterio a la madera de grandes escuadrías provoca el rechazo de las piezas, debido a la gran magnitud de las fendas.

En la publicación de AITIM “Intervención en edificios con estructura de madera” ENLACE se exponen algunas soluciones a este problemas, hasta que se aborde oficialmente a nivel normativo.

- Otros métodos de evaluación de la capacidad portante de la estructura

Para resolver los problemas de la clasificación visual de la madera antigua puesta en obra se pueden plantear otros métodos no destructivos de más fácil aplicación. Estos métodos son los siguientes: Determinación del módulo de elasticidad mecánico (ensayo no destructivo de la pieza mediante la aplicación de una carga y la determinación de la flecha en obra); Mediciones con ultrasonidos (permite conocer el módulo de elasticidad dinámico si se determina la densidad de la madera).

MEDIDAS DE CARÁCTER CONSTRUCTIVO

Se utilizan para disminuir el riesgo de deterioro de la madera y están enfocados a eliminar la aparición de humedades en la construcción que facilitan la actuación de los agentes xilófagos. La correcta solución de las distintas fuentes de humedad que se pueden presentar en un edificio es una condición necesaria, y en muchos casos suficiente, para garantizar la pervivencia de la estructura de madera.

Las posibles medidas a adoptar hacen referencia a:

- Precipitaciones atmosféricas:
 - cubiertas y aleros.
 - carpintería exterior de madera: recubrimientos, suelos, ventanas, balcones y puertas.
- Paso de humedad de los materiales colindantes:
 - a través del suelo.
 - a través del muro (apoyo de vigas).
- Formación de condensaciones.
- Aportes accidentales de humedad (fugas, filtraciones, goteras, etc.).
- Saneamiento y disposiciones constructivas en la lucha contra las termitas.

De forma general se engloban en las siguientes actuaciones:

- Evitar o disminuir las humedades procedentes del suelo (Drenaje físico, Sistemas eléctricos, Barreras impermeables físicas, Barreras impermeables químicas, etc.)
- Aislar, separar o proteger el arranque de la estructura desde el terreno
- Ventilar los apoyos de las vigas en los muros
- Diseñar correctamente los aleros y la protección de la fachada mediante vuelos
- Evitar humedades accidentales en la cubierta y las instalaciones
- Evitar la aparición de condensaciones

Las soluciones a emplear para eliminar o disminuir las diferentes fuentes de humedad son numerosas y están recogidas en la bibliografía técnica (ENLACE CON PUBLICACIONES - BOLETÍN).

TRATAMIENTOS DE PROTECCIÓN

Cuando se ha detectado el ataque de organismos xilófagos en las piezas de madera, es preciso recurrir a un tratamiento con carácter curativo que generalmente consiste en

introducir productos químicos en la madera con el objetivo de eliminar la presencia de los agentes degradadores e impedir a su vez que puedan volver a atacar las piezas de madera.

En las zonas del edificio donde no se ha detectado la presencia de organismos xilófagos generalmente se recomienda la aplicación de un tratamiento preventivo para evitar el riesgo de infestación.

A continuación se resumen los métodos de tratamiento que se pueden emplear en función del tipo de ataque.

- Metodología del tratamiento contra hongos xilófagos
- Metodología del tratamiento contra insectos xilófagos de ciclo larvario
- Metodología del tratamiento contra insectos xilófagos sociales

Metodología del tratamiento contra hongos xilófagos

La eliminación de las humedades que han permitido el desarrollo de los hongos de pudrición, es suficiente para detener el ataque y puede considerarse como un tratamiento curativo. En general, es suficiente con esta medida de tipo constructivo. Una vez eliminadas las fuentes de humedad, la obra gruesa y la madera inician un proceso de secado que en general es lento.

En la literatura técnica se suelen citar algunas actuaciones añadidas que se encaminan a la limpieza de las zonas atacadas y al tratamiento de la madera, principalmente cuando no es posible asegurar el mantenimiento del estado seco de la obra. Este tratamiento consta de las siguientes operaciones:

- Preparación de las superficies

Esta operación consiste en eliminar los materiales que puedan impedir la aplicación del producto protector (levantado de pavimentos del suelo, eliminación de yesos u otros revestimientos de las paredes).

- Tratamiento del suelo, muros y tabiques

En primer lugar se recomienda proceder a quemar con soplete los desarrollos miceliares que existan en las paredes. Posteriormente se realizará un tratamiento en profundidad mediante la inyección del producto. La aplicación se realizará siguiendo una cuadrícula de 50 cm de lado que abarcará todas las superficies en las que se hayan observado desarrollos miceliares o cuerpos de fructificación y con una profundidad mínima igual a 2/3 del espesor del muro.

Para el tratamiento de la madera se emplean productos químicos de tipo orgánico aplicados por inyección y por pulverización y para el tratamiento de los muros, productos hidrodispersables.

- Tratamiento de la madera

El tratamiento consta de las siguientes operaciones: eliminación de la zona dañada; tratamiento en profundidad (mediante la colocación de implantes o la inyección de un protector fungicida a través de taladros, en casos especiales con elevados contenidos de humedad se pueden aplicar pastas de productos fungicidas). Los tratamientos superficiales mediante la pulverización sólo se utilizarán como medidas complementarias ya que su eficacia es mínima y su objetivo es eliminar las posibles esporas de los hongos situadas en zonas próximas.

Metodología del tratamiento contra los insectos de ciclo larvario

- Tratamiento con productos líquidos

La secuencia de operaciones a realizar es la siguiente acceso y limpieza de la zona, desbastado (eliminar la zona de madera degradada), tratamiento curativo en profundidad (inyección del producto protector en el interior de la madera a través de taladros que se practican al tresbolillo en la cara de la pieza), tratamiento curativo superficial (por pincelado o pulverización a presión controlada no admitiéndose medios aerográficos), tratamiento preventivo (se realizan sobre las piezas de madera nueva que se incorporen a la obra y sobre las piezas de madera vieja que ya están instaladas y que no presentan signos de ataques).

El tratamiento de las piezas de madera policromada requiere un estudio previo de la compatibilidad del producto químico del tratamiento (principalmente del disolvente empleado) y el tipo de pintura o policromía, así como de las posibles capas de imprimación.

En el tratamiento de la madera se emplean productos químicos de tipo orgánico aplicados mediante pulverización e inyección.

- Tratamiento con productos gaseosos (fumigación)

Son eficaces contra la eliminación de insectos xilófagos de ciclo larvario y se utilizan cuando se puede aislar fácilmente la pieza de madera en la atmósfera del gas; por ejemplo en esculturas, muebles y otras obras pequeñas en madera en los que no es admisible un deterioro estético provocado por el desbastado. Se han empleado en el tratamiento de edificios completos, pero exige un nivel muy alto de seguridad en el sellado del conjunto para evitar fugas, así como una salida de los gases controlada después del tratamiento.

- Tratamiento con productos en forma de humos

Se suele utilizar en aquellas situaciones en las que es muy difícil acceder a los elementos de madera. Se utilizan botes pirotécnicos que producen nubes de partículas (micropulverización) del producto insecticida en forma de humo. El humo se va depositando y deja una fina película del producto insecticida sobre la madera que elimina a los insectos que entran en contacto con ella, pero que no elimina a las larvas que se encuentran en el interior de la madera. Por este motivo, se requiere repetir cada año el tratamiento hasta transcurrir la duración del ciclo de vida. Otro de los inconvenientes es que hay que limpiar las superficies de las zonas que el humo afecta pero no son de madera, para evitar riesgo de toxicidad.

Los tratamientos por nebulización y termonebulización son del mismo tipo que los denominados de humos y debería repetirse durante el tiempo de duración del ciclo vital del insecto.

- Tratamiento por esterilización con calor

El tratamiento consiste en calentar el aire por medio de calefactores móviles y mantener en el interior de la madera temperaturas de 80°C, que se controlan a través de sondas. En España no se emplea.

- Tratamiento por esterilización con frío

Se aplica en piezas que pueden ser trasladables con facilidad (muebles, libros, textiles y obras de arte). Las piezas se introducen en una cámara donde se hace bajar la temperatura gradualmente en un proceso que puede durar varios días. Después de alcanzar la temperatura adecuada se mantienen durante aproximadamente doce horas. Finalmente, se vuelve a la temperatura ambiente de manera gradual y se aplica un tratamiento preventivo por impregnación. El tratamiento de frío no daña la pieza, los barnices ni las pinturas.

Metodología del tratamiento contra insectos xilófagos sociales

Las termitas precisan un contenido de humedad elevado en la madera para poder desarrollarse, por esta razón debe recordarse la importancia que tienen las medidas de carácter constructivo en la erradicación de estos ataques.

En este apartado se describen los métodos de tratamiento para las termitas subterráneas. El tratamiento de la termita de madera seca (*Criptotermes brevis*) y de la *Kaloterms flavicollis* es el mismo que el utilizado para los cerambícidos

- Tratamiento químico tradicional

Se basa en la aplicación de productos tóxicos para las termitas con la estrategia de conseguir que la colonia abandone el edificio al detectar una situación adversa para su biología, actualmente se han desarrollado otras técnicas que emplean productos químicos con efectos diferentes. Se utilizan potentes insecticidas que se inyectan en las paredes (barreras en los muros), en los suelos (barreras en el suelo) o en la propia madera y suelen requerir realizar obras en el interior y el exterior de los edificios. No eliminan la colonia de termitas sólo consiguen aislar el elemento o el edificio protegido, por lo que las termitas se dirigirán a otros lugares no protegidos.

La complejidad del tratamiento revela la dificultad que presenta su erradicación.

- Sistema de cebos

Se basa en el conocimiento de la biología y en el comportamiento social de las termitas. Consiste en colocar cebos que incorporan un producto químico de efectos retardados. Las obreras se alimentan de los cebos, al cabo de unas semanas el producto empieza a funcionar impidiendo que completen su desarrollo normal. La progresiva desaparición de las obreras provoca, lógicamente, la desaparición de la colonia por falta de alimento. Hay que resaltar que al actuar con efecto retardado las obreras son incapaces de relacionar los cebos con la causa de su desaparición.

MEDIDAS DE CARÁCTER ESTRUCTURAL

En el diagnóstico de la estructura se deducen las medidas de carácter estructural que deberán adoptarse para recuperar la seguridad y estabilidad de la construcción. Los problemas que se presentan se pueden resumir en una pérdida de la sección resistente de la pieza de madera provocada por la acción de los agentes xilófagos y en el cumplimiento de las exigencias de la normativa actual de cálculo (que requiere cargas de uso elevadas, normalmente a causa de un cambio de uso, o una limitación más estricta de la deformación).

A partir de un análisis del problema se deberá elegir la solución más adecuada:

- la sustitución de las piezas cuyo estado sea irrecuperable
- la consolidación para recuperar la capacidad portante original
- y el refuerzo para aumentar la capacidad de carga o la limitación de la deformación de la estructura.

Algunas soluciones para la consolidación o el refuerzo de las piezas estructurales utilizan diferentes técnicas según los materiales que emplean. Estas actuaciones pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- utilización de apeo

Consiste en una intervención mínima que pretende mantener, a veces con carácter temporal, la estabilidad del elemento constructivo sin apenas modificar su estado. Dentro de este apartado se encuentran todas las soluciones de apeo, disposición de elementos parteluz o de recalce de los apoyos defectuosos. Son soluciones económicas cuyo resultado queda visto por lo que el aspecto estético o funcional no es bueno.

- utilización de perfiles metálicos

Utiliza perfiles metálicos de refuerzo que en algunos casos dan lugar a soluciones pobres desde el punto de vista estructural y estético. Sin embargo permite la fabricación de piezas especiales para solucionar problemas estáticos complejos, como pueden ser los encuentros con la fábrica o el añadido de atirantados para mejorar el diseño de armaduras de cubierta.

- soluciones con hormigón

Hace referencia a la utilización del hormigón en soluciones de sustitución de las piezas de madera, a veces dejando la estructura como un simple encofrado sin función estructural. Recientemente su aplicación más prometedora es el empleo como parte de una estructura mixta de madera y hormigón.

- soluciones con madera

Se centra en la utilización de la madera para la consolidación o el refuerzo de la estructura. En muchos casos el refuerzo puede consistir simplemente en el adosado de nuevas piezas de madera a las existentes. También puede recurrirse a la sustitución de las piezas inservibles por otras nuevas, con la simplificación de las operaciones constructivas. En la sustitución se puede utilizar la madera laminada encolada o productos derivados de la madera de alta resistencia como la madera microlaminada (LVL) o la madera laminada en tiras (PSL), sobre todo cuando no sea posible encontrar escuadrías grandes o piezas con largos suficientes en madera maciza. El empleo de tableros derivados de la madera (tableros contrachapados, tableros de partículas y tableros de virutas de virutas) puede servir para plantear soluciones mixtas muy ligeras. Tienen como resultado soluciones de menor eficacia estructural comparadas con las de madera hormigón.

- soluciones con formulaciones epoxi

Incluye una amplia gama de soluciones de alta eficacia, que combinan elementos de refuerzo (generalmente de materiales compuestos) encolados a la madera. Son soluciones limpias en el resultado, eficaces desde el punto de vista estructural, pero de costo elevado en algunas situaciones.