

Profesor: Félix Ruiz Gorrindo
Arquitecto Técnico
Ingeniero de Obras Públicas
Master Ingeniero Civil

ESTRUCTURAS DE MADERA. DIAGNOSIS Y TERAPÉUTICA

1.- INTRODUCCIÓN

La diagnosis de patología en estructuras de madera ocupa un lugar importante dentro de la patología de la edificación, pues en edificios antiguos es habitual encontrar techos formados por estructura de vigas de madera. Así, en España como en el resto de Europa y otros lugares son muy frecuentes los edificios antiguos (por ejemplo de más de 80 años) en núcleos urbanos. Además, edificios no tan antiguos también tienen vigas de madera en sus techos.

Sobre madera, a diferencia de lo que se ha visto en el anterior anexo sobre paredes de carga de tapia, hay abundante bibliografía y es una materia sobre la que se ha realizado intensa investigación científica.

No obstante, a pesar de esto todavía son muy frecuentes los dictámenes en que el técnico autor, si bien suele reconocer el estado de degradación de la estructura de madera, no sabe discernir la verdadera causa de la degradación, usando el término genérico que las vigas están degradadas porque “están podridas” o por envejecimiento, cuando tal vez la causa principal sea un ataque de termita.

En el trabajo del autor se ha detectado un número muy elevado de informes técnicos, donde se daba el error antes referido en materia de diagnosis de estructuras de madera, pudiéndose estimar que de los numerosos informes técnicos revisados por el autor sobre diagnosis de estructuras de madera, aproximadamente un 80% contenían errores de este tipo.

Y diagnosticar correctamente la causa que ha producido la degradación de la estructura de madera es muy importante para proponer acertada terapéutica. El tratamiento puede ser diferente si la causa de la degradación es un ataque de termita, que si es un ataque de pudrición parda, que si es un ataque de *Hylotrupes bajulus*, etc.

Como se verá en este capítulo, estudiando con detalle los síntomas en la estructura de madera y entorno se puede diagnosticar con gran fiabilidad la causa de la degradación. Análogamente se sintetizan los aspectos más importantes relacionados con la diagnosis y terapéutica de estructuras de madera, en especial en aquellos conceptos donde se ha detectado que más frecuentes son los errores cometidos por los técnicos.

A modo introductorio cabe decir que los agentes que producen degradación en la madera se pueden clasificar en dos grandes tipos genéricos, **agentes de origen abiótico** y **agentes de origen biótico**.

Como su nombre indica, **las degradaciones producidas por agentes de origen abiótico son en las que no intervienen seres vivos**. Por tanto las causas habituales de estas degradaciones son el fuego, explosión, impacto, etc. Sobre este tipo de agentes no se va a incidir en el presente capítulo ya que en estos casos no se suelen producir errores de diagnóstico por parte de los técnicos, al ser en general muy evidente el verificar si una viga ha sido afectada por el fuego u otro agente abiótico.

Otro aspecto es el verificar la pérdida de sección resistente que ha producido la acción del fuego, para proponer y dimensionar el tipo de refuerzo que se debe aplicar, si es que hace falta, la cual cosa en general también es sencillo de determinar a través de la prueba del punzón u otras pruebas análogas.



Figura 1.- Imágenes de estructura de madera afectada por el fuego

También cabe decir que las degradaciones en estructuras de madera producidas por agentes de origen abiótico son mucho menos frecuentes que las producidas por agentes de origen biótico.

Las degradaciones producidas por agentes de origen biótico son en las que intervienen seres vivos, como insectos xilófagos, hongos cromógenos y de pudrición, bacterias, algas y xilófagos marinos (Rodríguez, J.A., 1998).

Cabe decir que las estructuras de madera tienen en general un buen comportamiento mecánico, siendo muy habituales los techos con vigas de madera con más de un siglo de antigüedad que están en óptimas condiciones de servicio. No obstante tienen un gran

enemigo, frente al cual son altamente sensibles, **las humedades**. Efectivamente, como se verá más adelante, la mayor parte de los ataques bióticos graves que puede padecer la madera necesitan de la presencia de humedad.

2.- AGENTES DE ORIGEN BIÓTICO

De forma esquemática, los más habituales ataques bióticos que pueden padecer las estructuras de madera en España son los siguientes:

- Insectos xilófagos:
Termita, Hylotrupes Bajulus (carcoma grande), Anobium Punctatum (carcoma), Lícidos.
- Hongos:
Pudrición parda, pudrición blanca, pudrición azul.

De esta manera, si el técnico es capaz de saber diferenciar entre estos agentes, a partir de la observación detallada de los diversos indicios y síntomas de la estructura de madera afectada, será capaz de diagnosticar la inmensa mayor parte de estructuras de madera que se encuentre a lo largo de su carrera profesional¹.

Cabe decir que para poder diagnosticar y entender convenientemente los ataques de origen biótico, y por tanto proponer acertada terapéutica, es esencial tener un apreciable nivel de conocimientos de la ecología y biología de estos seres vivos.

Por ello, en los siguientes apartados se van a explicar los aspectos principales de la ecología y biología de estos seres vivos enumerados anteriormente, relacionándolos con aspectos de diagnóstico y terapéutica.

2.1.- La termita

De inicio conviene resaltar que a escala mundial, la termita es con diferencia el agente biótico más destructivo en las estructuras de madera. En España se estima que el 50% de daños producidos en estructuras de madera es a consecuencia de ataque de termita.

¹ De los centenares de estructuras de madera degradadas por agentes de origen biótico diagnosticadas por el autor, el 98% de los ataques eran causados por algunos de los agentes que se han enumerado.

Cabe decir que aparte de los severos daños ocasionados en muchos edificios privados, la termita también ha realizado muy graves ataques a estructuras de madera de edificios de gran valor histórico-arquitectónico, como el Real Monasterio de El Escorial, el Palacio Real de Aranjuez, la Alambra de Granada, la Seo Nova de Lleida, la Catedral de Barcelona, la Catedral de Granada, el Palau de la Generalitat Valenciana, entre otros muchos.

De los centenares de estructuras de madera degradadas por agentes de origen biótico diagnosticadas por el autor, también se ha verificado que aproximadamente el 50% de los daños han sido producidos por este insecto, siendo frecuentes intensos ataques de termita que han producido masivas pérdidas de sección resistente en estructuras de madera.

Existen unas 2.000 especies diferentes de termitas, con importantes diferencias entre ellas. Algunas especies, como las del tipo *Bellitermes* construyen los grandes termiteros que hay en África, verdaderas obras de arte de la ingeniería, con complejas y eficaces construcciones subterráneas que suministran aire de adecuadas condiciones higrotérmicas al resto del enorme nido. Estos insectos son esenciales para el adecuado funcionamiento ecológico de aquellos biotopos.

En general las termitas precisan una humedad alta y calor, por lo que la mayor parte de las especies se desarrollan en zonas tropicales y subtropicales. No obstante, debido a diversas razones como la importación de maderas, la termita se ha extendido notablemente, siendo frecuente su presencia en EEUU, España, Portugal, Francia, Alemania, Reino Unido (hasta aproximadamente la frontera con Escocia), etc.

Las termitas son unos insectos extremadamente organizados, que viven en colonias y están diferenciados en castas, como por ejemplo la reina, el rey, las obreras, las soldado, etc.

En España son tres las especies de termita más habituales: el *Reticulitermes luccifugus* Rossi² (termita subterránea), el *Kalotermes flavicollis* y el *Criptotermes brevis* Walter (termita aérea), siendo la primera de ellas, con diferencia, la más frecuente.

2.1.1.- *Reticulitermes luccifugus* Rossi (termita subterránea)

² Recientemente, los científicos han considerado oportuno modificar su nombre, por el de *Reticulitermes bañolensis*.

En esta especie de termita, la colonia tiene el nido principal bajo tierra, donde está la termita **reina**, cuya única misión es la de poner huevos (puede poner unos 4.000 al día). Junto con termita la reina está la termita **rey**, cuya única misión es fecundarla.

La pareja real puede vivir hasta ocho años, habiendo algún caso documentado en que han llegado a vivir hasta cuarenta años.

De estos aspectos iniciales de su biología y ecología, ya se deducen dos aspectos técnicos importantes. Uno de ellos es que el peligro de este insecto reside en lo masivo de sus poblaciones, de manera que todo y que estos insectos son de pequeño tamaño e individualmente no son especialmente voraces, en haber un muy elevado número de individuos, el volumen de madera que consumen es grande, de forma que producen graves pérdidas de sección resistente a las estructuras de madera.

Para tener una idea, realícese el sencillo cálculo de 4.000 huevos al día durante ocho años, y sale una población de casi doce millones de individuos, nacidos a partir de una sola termita reina.

El otro aspecto importante es el hecho que el nido está bajo tierra, de manera que un edificio que padece un ataque termítico, el nido principal no está en el edificio, sino en algún lugar bajo tierra, tal vez bastante alejado del edificio afectado³.

Otra casta es la de las termitas **obreras**, que constituyen el 80% de los individuos de la colonia, y pueden ser consideradas la casta principal y más importante, ya que sus tareas son numerosas y fundamentales para la supervivencia de la colonia.

Cuidan y atienden las necesidades de la pareja real, cuidan los huevos, realizan los trabajos de mantenimiento y ampliación en el nido y construcciones adicionales, exploran y buscan fuentes de alimentación y alimentan al resto de la colonia, pues es la única casta que puede comer y digerir la madera.

En efecto, la termita obrera es la única casta que posee en su tubo digestivo un conjunto de bacterias y protozoos que le permiten asimilar la madera, la cual es muy pobre en proteína. Así, una vez que las termitas obreras han digerido la madera, regurgitan el alimento asimilado pasándolo desde su boca a la boca de las otras castas de termita, las cuales no pueden digerir directamente la madera.

Este procedimiento mediante el cual unos individuos alimentan a otros de esta forma es lo que se conoce en biología como trofalaxia oral.

³ Se han documentado casos donde el nido principal está a unos 300m del edificio afectado.

Otra casta es la de las termitas **soldado**, que constituyen aproximadamente un 10% de la colonia. Su misión principal es la de defender a la colonia, y morfológicamente se distinguen claramente de las obreras al tener una cabeza de gran tamaño, y tener grandes y fuertes mandíbulas útiles para el combate.

Otras castas son las ninfas, los reproductores primarios, los reproductores secundarios, etc. A diferencia del resto de castas, que son de color blanquecino, los reproductores primarios son de color negro y con alas.

En general los vuelos de las aladas se producen entre marzo y abril, dependiendo entre otras cosas de la climatología de ese año, y su misión es fundar nuevas colonias. La inmensa mayoría mueren en el intento.

Se considera que una colonia puede estar formada por unos ocho millones de individuos, y que las colonias más pequeñas plenamente establecidas tienen sobre 800.000 individuos.



Figura 2.- Imágenes de termitas subterráneas. En la segunda imagen, el individuo del centro es de la casta soldado. El resto son de la casta obreras

Características de interés para su diagnóstico y tratamiento

Una vez que se han explicado algunos aspectos básicos de la ecología y biología de este tipo de termita, se van a exponer diversas características de interés para su diagnóstico y tratamiento, las cuales se deducen precisamente de la ecología y biología de estos insectos.

Las termitas subterráneas precisan vivir en la oscuridad, de ahí su nombre científico *lucifugus*. Únicamente la casta de las reproductoras primarias aladas tolera y son atraídas por la luz.

Así, las termitas suben a las vigas a través del interior de las paredes (por ejemplo en paredes de tapia). Si no pueden subir por el interior de la pared, construyen unas galerías con un mortero formado por tierra, saliva y excrementos. Estas características construcciones reciben el nombre de carriles termíticos, y su presencia en una pared o viga es síntoma inequívoco de ataque de termita subterránea.



Figura 3.- Imágenes de carriles termíticos

Por lo aquí expuesto, **las zonas habitualmente más afectadas por ataque termítico son los apoyos de las vigas. Igualmente, las termitas exploradoras suelen seleccionar como fuente de alimentación vigas afectadas por humedades y por cierta pudrición. Así, es frecuente que en un edificio con presencia de termita, sólo estén afectadas unas pocas vigas, donde hay humedades, mientras que la mayor parte de las vigas están intactas.**

Este hecho se ha comprobado en el trabajo del autor que es fuente de numerosos errores de diagnóstico entre los técnicos, ya que el técnico al ver una viga de madera fuertemente degradada en una zona donde hay humedades, suele concluir que la viga “está podrida”, cuando en realidad la causa principal de la devastación es un ataque termítico.

Los ataques de termita pueden llegar a ser devastadores, pudiendo producir el colapso de la viga o de todo un techo. También se producen colapsos de falsos techos antiguos de yeso y cañizo, debido a ataque de termita al cañizo.



Figura 4.- Imágenes de muy graves ataques de termita subterránea

Igualmente, por lo que se ha visto de la ecología de estos insectos, en general hay más posibilidades de ataque termítico donde las vigas están ocultas por falsos techos, la cual cosa las favorece por los siguientes motivos:

- Por estar el entorno de las vigas en oscuridad.
- Debido a que el falso techo produce un efecto cámara, que colabora a que en su interior haya unas condiciones higrotérmicas más favorables para el modus vivendi de la termita.
- Debido a que hace efecto de aislamiento acústico, y es que en general, la termita subterránea prefiere estar en un entorno de silencio, y el que haya ruidos como por ejemplo cuando se hacen obras, puede provocar traslados de las termitas a zonas más silenciosas.

Cuando hay falsos techos, la cual cosa es frecuente en edificios antiguos con vigas de madera, de la observación detenida de los falsos techos se pueden obtener diversas pistas. Así, donde hay humedades o importantes fracturaciones en los falsos techos, es más posible que haya vigas de madera afectadas.

Pero es importante tener en cuenta que un falso techo aparentemente impecable, no implica necesariamente que las vigas de madera que están ocultas estén en buen estado, ni mucho menos. En el trabajo del autor se han detectado diversos casos en que, tras hacer catas en falsos techos que estaban en buen estado, se han descubierto vigas de madera devastadas por ataque termítico, que requerían tratamiento terapéutico inmediato.

Aspectos a tener en cuenta para diagnosticar un ataque de termita subterránea

Por lo que se ha explicado hasta ahora, se deduce que en un forjado de estructura de madera afectado por termita del tipo *Reticulitermes luccifugus* Rossi, difícilmente se podrá diagnosticar su presencia a través de la observación de los insectos, pues los mismos, como se ha visto, están ocultos por tener que estar en la oscuridad.

Como se ha referido, uno de los síntomas inequívocos que indican que hay o ha habido presencia de este tipo de termita, es la existencia de carriles termíticos en paredes o techos, u otras construcciones termíticas como las que realizan a modo de conos huecos que cuelgan de las vigas a modo de estalactitas, con objeto principal de mejorar las condiciones higrotérmicas en la “zona de trabajo” en la viga, es decir donde se están alimentando.



Figura5.- Imágenes de conos termíticos

En la última imagen de la *Figura 5*, el cono termítico ha sido extraído de la viga por el autor, pudiéndose apreciar que está hueco por dentro.

Pero no siempre, ni mucho menos, se aprecian este tipo de construcciones cuando hay ataque de termita subterránea, por lo que es necesario disponer de otras referencias para poder diagnosticar con fiabilidad.

El síntoma más claro e inequívoco para diagnosticar ataque de termita subterránea es a través del análisis organoléptico de los restos que quedan en los elementos de madera afectados por este tipo de insecto. Así, la forma de proceder es coger un trozo de la viga con los dedos, y si al deshacerla en la mano lo que queda es una sustancia terrosa, es síntoma inequívoco de que la viga ha sido afectada por termita subterránea.

Esto es debido a que las termitas obreras depositan tierra con otros materiales en el interior de la viga, que colabora a crear unas condiciones óptimas de humedad y temperatura en la zona y fomenta la pudrición de la viga. Estas construcciones de tierra y otros materiales en el interior de las vigas se denominan “nidos de resistencia”.



Figura 6.- Imágenes de construcciones termíticas del tipo “nido de resistencia”

Como ya se he referido en otros capítulos, en especial en el capítulo x, el patólogo debe ser muy observador. Esta premisa que es bien cierta en general, en el caso de la termita adquiere especial relevancia.

Y es que a diferencia de lo que pasa en otro tipo de insectos xilófagos, como la carcoma o los líctidos, los cuales producen los característicos agujeros circulares de pequeño diámetro en la viga, la sintomatología de los ataques termíticos con frecuencia no es evidente.

En efecto, en el trabajo del autor se ha detectado que en el caso de la termita subterránea es frecuente que devasten el interior de la viga, dejando una fina capa superficial intacta.

Así, son numerosos los casos de vigas inspeccionadas por el autor que estaban aparentemente intactas superficialmente, incluso acabadas de pintar. Y sin tan sólo usar el útil punzón, sólo presionando con el dedo, se podía penetrar en el interior de la viga con total facilidad, descubriendo que la mayor parte de la sección resistente de la viga estaba deshecha, convertida en este característico material terroso que se ha descrito anteriormente, y sin ninguna resistencia.

Por eso el patólogo debe ser muy observador y dedicar cierta cantidad de tiempo a la inspección, y no tener prisa, tal y como se ha explicado en el capítulo 5, de forma que con frecuencia de una inspección organoléptica, es decir donde sólo se utilizan los sentidos sensoriales (mirar, tocar, etc.), sin necesidad de hacer pruebas, ni ensayos ni catas, si el patólogo es observador puede realizar en bastantes un diagnóstico de apreciable fiabilidad. En ocasiones, sólo a través de analizar organolépticamente algunos restos de material que se encuentran en el suelo, es suficiente para saber que en ese edificio ha habido ataque de termita subterránea.



Figura 7.- Imágenes de restos de material en el suelo, que indican que se ha producido ataque de termita subterránea en la estructura de madera

Pero si se realiza una inspección rápida observando poco, puede pasar totalmente inadvertido un devastador ataque termítico con grave riesgo de colapso de vigas, tal como ha quedado de manifiesto en el trabajo, donde el autor ha detectado graves ataques de termita subterránea en estructuras de madera que habían pasado totalmente desapercibidas a técnicos que habían realizado inspecciones anteriores.

Conviene resaltar la peligrosidad de los ataques de termita en estructuras de madera, siendo el agente biótico más peligroso. De los 400 casos de edificios donde el autor ha diagnosticado ataque de termita subterránea en la estructura de madera, en un 70% las pérdidas de sección resistente ocasionadas eran graves o muy graves. Un 20% de los ataques eran de entidad moderada, y un 10% eran de entidad leve. En 12 casos se había producido el colapso de la estructura de madera afectada.

2.1.2. Otros tipos de termita

Aparte de la termita del tipo *Reticulitermes luccifugus* Rossi, en España hay otras especies de termita, menos frecuentes, que son las siguientes:

- ***Kaloterme flavicolis***

Denominada también termita de la madera seca, está presente en la península ibérica, todo y que en general es mucho menos abundante que el *Reticulitermes*. De los aproximadamente 400 casos en el que el autor ha diagnosticado ataque de termita, tan sólo en tres casos el ataque era de termita del tipo *Kaloterme flavicolis*, siendo el resto siempre del tipo *Reticulitermes luccifugus* Rossi.

- ***Criptoteme brevis* Walter**

Denominada también termita aérea, abunda en las islas Canarias, donde ha ocasionado graves daños. Se ha descrito su presencia también en las cercanías de la Alhambra, en Girona y en Zaragoza.

2.2.- Los coleópteros

Al menos se conocen 290.000 especies diferentes de escarabajos (coleópteros), de los cuales hay 90 familias que en su fase larvaria se alimentan de madera (xilofagia). El ciclo vital del coleóptero es huevo-larva-pupa-imago, siendo en la fase larvaria, donde tienen apariencia morfológica tipo gusano, cuando se alimentan, y en la fase de imago (adulto), donde tienen apariencia morfológica característica de escarabajo, cuando se reproducen. En España hay principalmente tres grupos de coleópteros xilófagos:

- Cerambícidos-cerambycidae: *Hylotrupes bajulus*, *Hesperophones cinereus*, *Stromatium unicolor*, etc.
- Carcomas-anobiidae: *Anobium punctatum*, *Hadrobregmus garpetanus*, *Xestobium rufovillosum*, etc.
- Líctidos-lyctidae: *Lyctidae linearis*, *Lyctidae brunneus*, etc

A continuación se van a explicar aspectos de interés del *Hylotrupes bajulus*, el *Anobium punctatum* y los líctidos, por ser los más frecuentes.

2.2.1- *Hylotrupes bajulus* (carcoma grande)

La peligrosidad de este insecto reside en su gran tamaño, unos 20mm de longitud, por lo que unos pocos individuos pueden consumir gran cantidad de madera. La duración de su vida larvaria es de unos 10-12 años, y al convertirse las larvas en imagos o adultos salen de la viga, realizando unos orificios característicos en la viga, de forma elíptica y unos 7-8mm de diámetro mayor y 4-5mm de diámetro menor.

Por tanto, uno de los síntomas característicos de este tipo de ataque es la presencia de estos agujeros elípticos de importante tamaño en las vigas de madera.

Otro síntoma característico de este tipo de ataque se puede obtener a partir del tipo de residuo que queda en la viga, de forma que al coger un trozo de viga, si al deshacerlo en la mano queda un residuo constituido por un fino polvo amarillento indica que ha sufrido ataque de este insecto. El fino polvo amarillento proviene de los restos que deja el insecto (excrementos, etc.).

La presencia del *Hylotrupes bajulus* en la península ibérica es muy habitual. Este insecto ataca preferentemente madera de albura de conífera (Rodríguez, J.A., 1998).

En el trabajo del autor se ha detectado que **sus ataques suelen ser de intensidad moderada, aunque no es raro encontrar estructuras de madera con graves pérdidas de sección resistente debido a ataque de *Hylotrupes bajulus*, que necesitan urgente reparación.**

Así, de los 200 casos de de edificios donde el autor ha diagnosticado ataque de *Hylotrupes bajulus*, en un 75% de los casos los ataques eran de entidad leve o moderada, y en un 25% de los casos eran de entidad grave o muy grave. En 2 casos se había producido el colapso de la estructura de madera afectada.



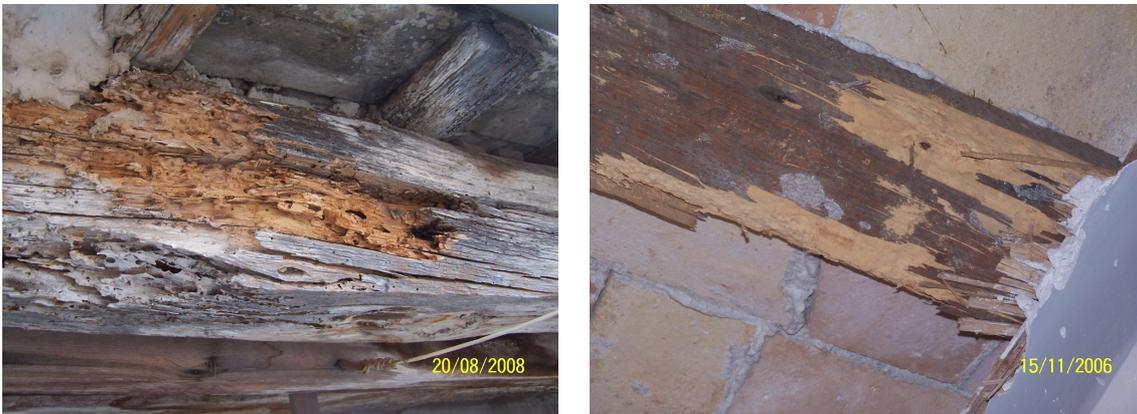


Figura 8.- Imágenes de ataque de *Hylotrupes bajulus*



Figura 9.- Imágenes de *Hylotrupes bajulus*. La primera imagen en fase larvaria, y la segunda imagen en fase de imago o adulto

2.2.2.- *Anobium punctatum* (carcoma)

Este insecto, en general muy abundante y conocido por la ciudadanía, tiene una longitud de entre 2 y 4mm. Su fase larvaria dura de 3 a 5 años, que es cuando se alimentan, y en la fase de imago es cuando se reproducen, fase en la que duran unas tres semanas en que casi no se alimenta.

En su comportamiento poseen la característica que en biología se denomina tanatosis, mediante la cual se hacen el muerto cuando la ocasión así lo aconseja, por ejemplo en situación de peligro.

Aunque este tipo de insecto es muy abundante, cabe decir que debido en parte a su pequeño tamaño y a que las densidades de sus poblaciones no acostumbran a ser masivas, es muy raro que produzcan daños estructurales significativos a la madera. **Normalmente sus ataques producen pequeñas pérdidas de sección resistente, por lo que, en general, se puede considerar poco peligroso para la madera estructural.**

El síntoma característico del ataque de carcoma es la existencia de pequeños agujeros circulares, de 1-1,5mm de diámetro, así como residuo constituido por un polvo fino de color marronoso.

En el trabajo del autor se ha verificado que los ataques de carcoma en estructuras de madera son muy abundantes, pero que en casi la totalidad de los casos la pérdida de sección resistente que ocasionan es irrelevante. De los 800 casos de edificios en los que el autor ha detectado ataque de carcoma en la estructura de madera, en tan sólo un caso el ataque había producido severas pérdidas de sección resistente (0,12% del total).

Un aspecto que conviene señalar, es que numerosas personas creen que la carcoma puede producir picaduras al ser humano. Esto es así porque si una persona está en contacto directo o indirecto con madera que tenga presencia activa de carcoma, es posible que acabe afectado de unos muy molestos picotazos.

No obstante, la carcoma no es la causante de estas picaduras, aunque sí es imprescindible su presencia. La carcoma es estrictamente xilófaga, y en ningún momento es hematófaga, por tanto no consume sangre.

Existe en cambio un insecto que pertenece al orden de los Hymenópteros, denominado Scleroderma doméstica, que se pueden definir como una avispa de color negro, muy pequeña, de unos 2mm de longitud, y sin alas.

Esta especie es parásita de los coleópteros, y en concreto de la carcoma y de los líctidos, de manera que la hembra adulta, a través del obiscapta, inyecta uno o varios huevos en el interior de la carcoma. Así las larvas del Scleroderma se alimentan de la carcoma en el interior de la cual están alojadas.

Las hembras adultas tampoco son hematófagas, no obstante si entran en contacto con una persona, le pueden producir unas muy molestas picaduras con su obiscapta o aguijón, a través del cual inyectan diferentes sustancias, en especial ácido fórmico. Una sola puede producir más de 10 picaduras en una persona en poco rato.

Para eliminar estos insectos, se realizan tratamientos químicos que también eliminan la carcoma.

Se ha considerado de interés explicar estos breves aspectos sobre el Scleroderma doméstica, ya que si bien la carcoma, como se ha visto, en general no es preocupante a

efectos de la degradación que puede producir en la estructura de madera, su presencia sí puede presentar algunos inconvenientes que hagan necesario realizar el tratamiento para eliminar el insecto.

El autor ha dirigido algunos tratamientos de tipo químico para erradicar la carcoma en estructuras de madera, que no había producido ninguna afectación estructural relevante, pero debido a la existencia de *Scleroderma domestica*, se hacía prácticamente imposible que pudieran trabajar las personas que estaban en aquellas dependencias, debido a las numerosas y muy molestas picaduras que recibían.

Otro tipo de coleópteros son los **lícidos**, los cuales tienen importantes similitudes morfológicas y en cuanto a biología y ecología con el *Anobium punctatum*. Igualmente sus ataques suelen ser poco relevantes a efectos de pérdidas de sección resistente de la madera estructural.



Figura 10.- Imágenes de ataques de carcoma y de lícidos



Figura 11.- La primera imagen corresponde a *Anobium punctatum*, y la segunda a Lictido

2.3.- Hongos xilófagos

Los hongos son vegetales primitivos pertenecientes al grupo de las talofitas y carentes de clorofila, lo que les obliga a vivir en simbiosis con otros organismos, de forma saprófita o bien parasitando en otros seres vivos (Rodríguez, J.A., 1998).

La parte destructiva del hongo es su sistema vegetativo, denominado micelio, el cual está formado por conductos filamentosos extraordinariamente finos, llamados hifas. Se propagan vegetativamente o por medio de esporas, que son células o grupos de estas que al germinar producen un micelio semejante al que las originó.

Las hifas proceden de la germinación de las esporas, las cuales a su vez al ser arrastradas por el viento, el agua y distintos animales (aves, insectos, roedores, etc.) propagan las micosis.

Al presentarse ciertas condiciones del medio, el micelio de los hongos sufre variaciones originándose los cuerpos de fructificación, en los que se forman las esporas, cerrándose el ciclo biológico que queda reflejado en la siguiente *Figura*:

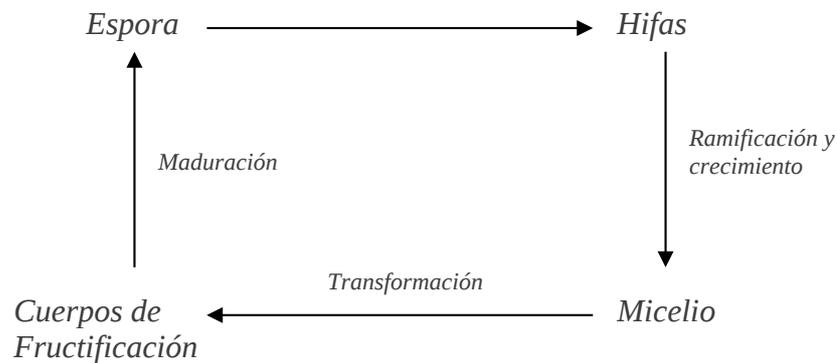


Figura 12.- Ciclo biológico de los hongos xilófagos

Al atacar la madera, los hongos xilófagos introducen sus hifas en las cavidades celulares y se alimentan bien de sustancias de reserva (presentes principalmente en los radios leñosos), bien de los componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina), operación que realizan mediante acciones enzimáticas (emisión de enzimas).

Los hongos que se alimentan de la primera de las formas citadas se denominan cromógenos, y tan sólo modifican el color de la madera sin afectar apenas a su resistencia físico-mecánica.

Los que se alimentan de la otra forma citada, son los denominados de pudrición, que al afectar negativamente a los componentes de la pared celular de la madera reducen su resistencia físicomecánica.

La importancia de los daños que los hongos xilófagos pueden suponer para la madera, depende de ciertos factores. Algunos de los principales son los siguientes:

- Especie de madera: Las de mayor densidad presentan más resistencia al ataque de los hongos, mientras que las de mayor permeabilidad a los líquidos suelen ser más susceptibles al ataque de los hongos.
- Humedad de la madera: Es la humedad condición indispensable para la eficaz realización de los procesos enzimáticos de ataque del hongo a la madera, así como de la subsiguiente asimilación de los productos parcialmente degradados por esta.

Las exigencias mínimas de humedad en la madera para los hongos xilófagos es del 18-20%, con un intervalo óptimo comprendido entre el 25 y 55%. Por otra parte, al ser los hongos xilófagos organismos aeróbicos, un muy elevado grado de humedad en la madera podrá afectar negativamente su acción. Por este motivo, madera que está permanentemente sumergida no sufrirá ataques de hongos xilófagos.

- Temperatura ambiente: Los hongos xilófagos necesitan para su desarrollo una cierta temperatura, dándose desarrollos mínimos con 3-5°C y pudiéndose considerar como óptimo el intervalo comprendido entre 18 y 28°C, mientras que con temperaturas superiores a los 35-40°C suelen morir los micelios, aún cuando las esporas pueden aguantar hasta 100°C generalmente.

A continuación, se describen algunas de las principales pudriciones que se dan en madera estructural en España.

2.3.1.- Pudrición parda

Este tipo de pudrición es muy abundante en la península ibérica y está muy extendida en general por todo el mundo, produciendo con frecuencia graves daños a estructuras de madera. Se puede considerar como el segundo agente biótico más destructivo, después de la termita.

Los ataques de pudrición parda a madera en servicio, como por ejemplo madera estructural, es debida al hongo del tipo **Merulius lacrymans**. Este hongo se alimenta de la celulosa de la madera, dejando un residuo parduzco de lignina sin resistencia, de ahí su nombre de parda.

Igualmente, la madera atacada queda en forma de pequeños prismas y cubos, de ahí que también se denomine pudrición cúbica o prismática.

Uno de los síntomas característicos para reconocer con fiabilidad su ataque, es a través del análisis organoléptico de los restos de madera afectada por este tipo de pudrición. Así, la forma de proceder es sacar con los dedos un trozo de madera de la viga, y si al deshacerla queda reducida a un polvo extraordinariamente fino de color pardo, tan fino que queda adherido a los dedos, indica la presencia de este tipo de pudrición.

La madera afectada por pudrición parda puede perder toda resistencia y experimentar muy grandes pérdidas de peso. Por este motivo, **este tipo de agente biótico es altamente peligroso, siendo frecuentes las estructuras de madera destrozadas por ataque de pudrición parda.**

De los 130 casos de edificios donde el autor ha diagnosticado ataque de pudrición parda en la estructura de madera, en un 50% las pérdidas de sección resistente ocasionadas eran graves o muy graves. Un 40% de los ataques eran de entidad moderada, y un 10% eran de entidad leve.

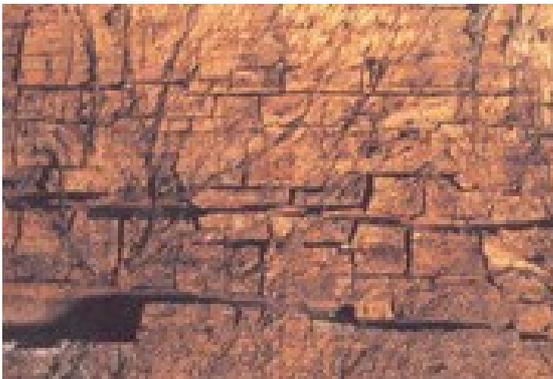


Figura 13.- Imágenes de madera afectada por pudrición parda

Otro tipo de hongo que produce pudrición parda prismática es el *Polyporus sulphureus*, si bien sus ataques se producen en árboles en pie.

La pudrición producida por el hongo del tipo *Coniphora cerebella* es también parda, pero no prismática. Afecta también a la madera en servicio, igual que el *Merulius lacrymans*.

2.3.2.-Pudrición blanca

Se conoce también con los nombres de pudrición corrosiva, deslignificante, cavernosa o alveolar.

La pudrición blanca es producida por hongos del tipo **Polyporus borealis**, que al contrario que en la parda, se alimenta con preferencia de la lignina, dejando unas masas de celulosa más o menos blancuzcas y provocando la destrucción de la madera.

En realidad este tipo de hongo se alimenta también de la celulosa y de la hemicelulosa, si bien los ataques a la lignina son superiores tanto en intensidad como en rapidez. Produce lo que se denomina una “combustión” lignolítica.

Como consecuencia de la acción micótica, quedan en la madera restos de celulosa, más o menos afectados, de color blanquecino que rellenan o cubren huecos y alveolos, formados como consecuencia de la desaparición de la lignina. También se pueden apreciar vetas blancas separadas por zonas de madera sana no decoloradas.

El complejo final, aún cuando no presenta actividad resistente alguna, conserva en cierto grado su forma y estructura.



Figura 14.- Imagen de madera afectada por pudrición blanca

2.3.3.-Pudrición azul

Es producida por hongos del tipo **Ceratostomella**, que forma parte de los hongos denominados cromógenos, que producen cambio de color en la madera pero no pérdidas significativas de resistencia.

Este hongo produce una coloración azul-gris en la albura de las coníferas, y se alimenta casi exclusivamente de las materias de reserva, por lo que su ataque no afecta a los tejidos leñosos y, por tanto, no llega a destruir la madera y ni siquiera disminuye, en forma notable, su resistencia mecánica.

3.- TRATAMIENTO TERAPÉUTICO

3.1.- Introducción

En el tratamiento de estructuras de madera afectadas por agentes bióticos, se pueden distinguir, de forma genérica, dos clases o fases:

- Tratamiento para la eliminación de los agentes bióticos. Dentro de este tipo están, entre otros, los tratamientos químicos para eliminar los insectos xilófagos de un edificio.
- Tratamiento de refuerzo estructural, en caso que la estructura haya sufrido significativas pérdidas de resistencia.

3.2.- Tratamiento para la eliminación de los insectos xilófagos

3.2.1.- Tratamiento químico

Tradicionalmente se han venido realizando tratamientos eficaces para la erradicación de los insectos xilófagos en un edificio, mediante la aplicación de sustancias químicas. Usualmente estas sustancias son de tipo neurotóxico, es decir, que actúan sobre el sistema neuronal central del ser vivo, produciendo su muerte.

Se suelen aplicar en las vigas mediante imprimación superficial e inyección, con el objetivo que la totalidad de la sección de la madera quede impregnada de esta sustancia de acción neurotóxica. Estos tratamientos deben ser aplicados por empresas especializadas convenientemente habilitadas con el certificado de tratamiento de plagas, de manera que se garantice la eficacia del tratamiento y la seguridad de las personas, pues las sustancias con las que se trabaja son tóxicas.

Este tipo de tratamientos si se aplican correctamente son eficaces, teniendo unos periodos de garantía que oscilan sobre los ocho años, es decir que una vez aplicado el tratamiento se garantiza que durante un periodo de por lo menos ocho años no volverá a haber ataques de agentes bióticos en los elementos de madera tratados.

Como inconvenientes presentan que no son considerados especialmente ecológicos, ya que las sustancias empleadas son tóxicas para cualquier ser vivo, no sólo para los insectos xilófagos. Igualmente, debido a la toxicidad del producto, el edificio o la parte del mismo donde se realiza el tratamiento debe ser desalojado durante cierto periodo de tiempo, que aproximadamente es alrededor de una semana. De la misma manera, en caso de existir falsos techos, estos deben ser extraídos para poder aplicar el tratamiento en las vigas.

3.2.2.- Tratamiento con C.S.I. (inhibidor de la síntesis de la quitina)

Como se ha visto anteriormente en las explicaciones sobre la biología y ecología de los insectos xilófagos, la termita subterránea tiene una serie de particularidades que las diferencian claramente de los otros insectos xilófagos.

Uno de ellos es que la colonia de la termita tiene el nido bajo tierra, donde la termita reina pone alrededor de 4.000 huevos diarios. Esta característica de la colonia provoca que al aplicar el tratamiento químico en la estructura de madera de un edificio afectado por termita subterránea, ciertamente se garantiza que en ese edificio durante un periodo de al menos 8 años no volverá a sufrir un ataque de insectos xilófagos. Pero la colonia permanece inalterada, lo que produce que las termitas exploradoras deban buscar nuevas fuentes de alimentación.

Así, al tratar un edificio afectado por termita subterránea, sucede que edificios cercanos que no tenían ningún ataque termítico se ven afectados por la termita. Por todo lo referido se han buscado soluciones para tratar de eliminar la colonia, de manera que desde hace unos años se aplica un sistema que parece que da buenos resultados.

Este sistema se basa en colocar en lugares adecuados unos cebos de celulosa impregnados de una sustancia especial, la cual no es un veneno. Esta sustancia se denomina C.S.I. (inhibidor de la síntesis de la quitina).

La quitina es un polisacárido de estructura similar a la celulosa, que forma parte del exoesqueleto de los insectos, y les confiere una gran protección, ya que los insectos carecen de esqueleto interior.

Durante la fase de crecimiento los insectos van realizando sucesivas mudas, que consisten en desprenderse del exoesqueleto que se les queda pequeño de tamaño, y sustituirlo por uno nuevo de tamaño adecuado. Para realizar mudas los insectos necesitan sintetizar apreciables cantidades de quitina. Pero si en los insectos jóvenes, en edad de crecimiento, les queda inhibida la síntesis de la quitina, no pueden realizar mudas, lo que ocasiona la muerte de los individuos en edad de crecimiento, al quedar aprisionados dentro de su exoesqueleto.

Así pues, con este sistema las termitas obreras consumen los cebos, alimentando al resto de la colonia y extendiendo el C.S.I. entre los individuos. Esta sustancia no produce ningún efecto sobre los individuos adultos plenamente desarrollados, que por tanto no la identifican como una amenaza, pero resulta letal a medio plazo para los individuos jóvenes en fase de crecimiento.

Con este tratamiento se prevé que en un periodo aproximado de tres años se puede eliminar totalmente la colonia, o por lo menos reducirla a niveles que no son dañinos. Posteriormente es preceptivo un seguimiento de las estaciones de estudio durante varios años.

Las sustancias químicas que se utilizan como C.S.I son el Hexaflumuron, de la familia de la Benzoilurea, y el Diflubenzuron, siendo la primera de ellas la de uso más frecuente y la que resulta más eficaz.

La molécula del Hexaflumuron es $C_{16}H_8Cl_2F_6N_2O_3$, 1-(3,5-Dichloro-4-(1,1,2,2-tetrafluoroetoxi)fenil)-3-(2,6-difluorobenzoil)urea, que queda representada en la siguiente *Figura*:

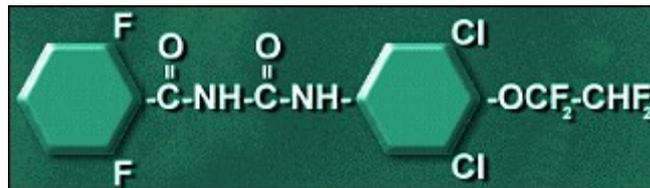


Figura 15.- Molécula del Hexaflumuron

3.3.- Tratamiento de refuerzo estructural

En estructuras de madera que hayan sufrido pérdidas de resistencia significativas, aparte de la eliminación de los agentes bióticos y la prevención de nuevos ataques se deben realizar los refuerzos estructurales que sean adecuados. Para ello conviene averiguar cuál es la pérdida de sección resistente de la estructura, para poder afinar al máximo los cálculos.

El objetivo, tal y como se explicaba en el capítulo x para el caso general, es proponer la terapéutica óptima y proporcionada en cada caso.

Así por ejemplo, en casos no muy severos puede ser suficiente colocar perfiles metálicos o similar en la mitad de la luz, la cual cosa reduce el momento flector máximo a una cuarta parte. En ocasiones, si lo que está degradado son los apoyos, puede ser recomendable colocar refuerzos puntuales debajo de cada apoyo degradado, por ejemplo con perfiles UPN o similar.

En casos más severos, puede ser recomendable colocar perfiles metálicos o similar debajo de cada viga, calculando la nueva estructura como si la existente tuviera resistencia nula, que es lo que se denomina sustitución funcional. Y los casos más severos, en que la estructura esté completamente devastada, la intervención más idónea puede ser proceder a la sustitución de la viga o incluso del forjado.

Cabe señalar por tanto, que el criterio general de refuerzo de vigas de madera degradadas, es análogo al criterio general de refuerzo de vigas degradadas de hormigón armado (ya sean de cemento Pórtland o cemento aluminoso), perfiles metálicos, etc.

Hay gran cantidad de sistemas constructivos adecuados, y se debe analizar cada caso en cuestión para proponer la terapéutica más óptima y proporcionada.

Existe un eficaz sistema de refuerzo que apenas modifica el aspecto originario de la estructura, denominado sistema Beta, que brevemente explicado consiste en la eliminación de aquella parte de la estructura fuertemente degradada, y su sustitución por una prótesis de aspecto similar a lo que había originalmente.

Esta prótesis contiene en su interior varillas de fibra de vidrio que unen la madera sana con la prótesis. El material de la prótesis se compone de un mortero a base de resina epoxi. El doctorando ha dirigido 3 intervenciones en estructuras de madera de edificios utilizando el sistema Beta, dando buenos resultados.



Figura 16.- Imágenes de refuerzo de vigas de madera con el sistema Beta

