# LA MADERA EN LA CONSTRUCCION

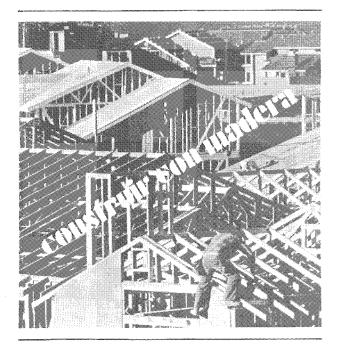
# ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LA MADERA

Antonio Gutiérrez Oliva

Dr. Ingeniero de Montes Jefe de los Laboratorios de Anatomía y Propiedades.

Departamento de Maderas I.N.I.A.

660-2



La madera es el material constituyente de troncos, ramas y raíces de los vegetales leñosos, desprovistos de corteza.

Desde un punto de vista práctico, el aprovechamiento maderable de un árbol se refiere principalmente al tronco y en menor escala a las ramas.

La madera es un conjunto de células que forman parte de un ser vivo, el árbol. Sus propiedades y posibilidades de empleo son, en definitiva, la consecuencia de caracteres, organización y composición química de las células que la constituyen.

El origen vegetal de la madera, hace de ella un material con características peculiares que la diferencia de otros de origen mineral. Tiene sobre éstos la gran ventaja de ser un material renovable y, por tanto, una materia prima prácticamente inagotable.

El tronco de un árbol tiene forma tronco-cónica y está formado por sucesivas capas superpuestas. Esto se debe a que entre la madera y la corteza existe una capa generatriz, llamada cambium, que, cuando las condiciones son favorables, produce madera hacia el interior y corteza hacia fuera. Como este fenómeno es similar en toda la superfice, en cada período vegetativo se forma una nueva capa que cubre la anterior.

Dentro de cada capa se distinguen dos zonas bien diferenciadas, la formada al principio del período vegetativo con células de paredes delgadas y grandes lúmenes que se denomina madera de primavera, y la formada durante el verano, con células de paredes gruesas y lúmenes pequeños, denominada madera de verano. Esta diferencia entre las dos zonas, apreciable a simple vista, más clara la primera que la segunda, hace fácilmente distinguible en la sección transversal, una serie de anillos concéntricos ilamados anillos de crecimiento, cada uno de los cuales corresponde a un período vegetativo de la vida del árbol y que, en nuestro clima, representa el crecimiento anual, por lo que su número indica la edad del árbol.

Dentro de la sección transversal hay que distinguir una zona exterior o albura y otra interior o duramen. La segunda, más oscura, es más duradera y resistente a los agentes biológicos.

Desde otro punto de vista, podemos considerar a la madera como un conjunto de células alargadas en forma de tubos, paralelos al eje del árbol, extraordinariamente variables, tanto en longitud y forma como en el espesor de sus paredes y dimensiones de sus lúmenes. Estas células están unidas entre sí por una sustancia llamada materia intercelular o laminilla media, y trabadas a la vez por otro tipo de células, menos abundantes, pero de naturaleza similar, colocadas perpendicularmente a las anteriores y en el sentido radial del tronco, formando los ilamados radios leñosos.

Esta, variedad de tipos de células y, sobre todo, la forma de agruparse caracterizan las miles de especies diferentes que existen y las que han existido o pudieran existir.

Las paredes de los tubos, están formadas por una serie de capas compuestas por microfibrillas de celulosa enrolladas helicoidalmente alrededor del eje, con inclinación diferente en cada capa, y todas ellas embebidas en un material amorfo, prácticamente insoluble, que es la lignina.

Por tanto, la estructura de las células de madera tiene un símil con una columna hueca de hormigón armado, en la que la lignina hace las veces de hormigón y las microfibrillas de acero. Todo ello hace de la madera un material resistente y ligero, que puede competir favoramente con otros materiales, utilizados en la construcción, en cuanto a la relación resistencia-peso específico.

De lo dicho anteriormente se desprende que la madera es un material heterogéneo y anisótropo, por tanto, sus propiedades variarán según la dirección que se considere.

Desde el punto de vista físico y mecánico se consideran tres direcciones principales:

- Dirección axial, paralela al eje del árbol. En esta dirección es donde la madera presenta mejores propiedades.
- ★ Dirección radial, en el plano transversal y normal a los anillos de crecimiento.
- ★ Dirección tangencial, localizada también en la sección transversal pero tangente a los anillos de crecimiento

# Relaciones agua-madera

El agua es el vehículo de transporte que utilizan las plantas para su alimento, esto, unido a la higroscopicidad de la madera, hace que ésta tenga normalmente en su interior cierta cantidad de agua, que es necesario conocer antes de su uso, debido a las modificaciones que produce en las características físicas y mecánicas.

El agua, en la madera, se presenta en tres formas diferentes: agua de constitución, de impregnación y libre.

Agua de constitución, o agua combinada, forma parte integrante de la materia leñosa y no se puede eliminar si no es destruyendo el propio material leñoso.

Agua de impregnación, de inhibición higroscópica o agua de saturación, es la que impregna la pared de las células rellenando los espacios submicroscópicos y microscópicos de la misma.

Água libre es la que liena el lúmen de las células o tubos a los que hemos hecho referencia, tales como vasos, traqueldas, etc.

De estas tres formas de presentarse el agua en la madera, sólo nos interesa, desde el punto de vista de sus propiedades físicas y mecánicas, el agua de impregnación.

El primer agua que elimina la madera es el agua libre; esta pérdida se hace prácticamente sin variación de las características físico-mecánicas. Desaparecida el agua libre, queda el agua de impregnación de la pared celular. La máxima humedad que puede contener una madera sin que exista agua libre se llama «punto de satura-

ción de las fibras» o más exactamente, «punto de saturación de la pared celular» (P.S.F.). Una vez pasado este punto, la madera no volverá a tomar agua libre si no es por inmersión. Este P.S.F. es de gran importancia, ya que supone una frontera a la hinchazón, reducción de resistencias, etc. Su valor, variable de unas maderas a otras, es del orden del 30 %.

Cuando el agua libre ha desaparecido y continúa la evaporación, empieza a disminuir la cantidad de agua que
impregna la pared celular con modificación de sus propiedades físico-mecánicas y el volumen de la pieza de
madera disminuye como consecuencia de la disminución del volumen de las paredes de cada una de sus
células. Su dureza y, la mayoría de las resistencias mecánicas, aumentan. La humedad de la madera depende,
ahora, de las condiciones higrotérmicas del ambiente. A
cada par de valores de temperatura y humedad relativa
del aire corresponde, en la madera, una humedad comprendida entre el 0% y el P.S.F., que recibe el nombre
de «humedad de equilibrio higroscópico» o humedad
limite

Una propiedad física de la madera, connatural con los cambios de humedad por debajo del P.S.F., es la contracción.

Se designa con este nombre, la propiedad que posee la madera de variar sus dimensiones y su volumen, cuando su estado de humedad cambia.

Esto da lugar a los fenómenos comúnmente llamados «movimientos, trabajo o juego de la madera». Si el fenómeno es de aumento de volumen, se designa con el nombre de «hinchazón», y si ocurre el fenómeno inverso, «merma».

El aumento de volumen con la humedad es, prácticamente, proporcional a la misma, hasta un punto que coincide aproximadamente con el 25% de humedad, siguiendo el aumento del volumen, pero con incrementos cada vez menores, hasta el punto de saturación de las fibras a partir del cual el volumen permanece prácticamente constante.

Las variaciones de volumen que acabamos de exponer no son suficientes, en muchos casos, para darse cuenta del complejo de fenómenos que intervienen en el movimiento de la madera y que tienen como resultado las variaciones lineales de sus tres dimensiones: longitudinal, tangencial y radial, con contracciones muy diferentes para cada una, como consecuencia de ser la madera un material anisótropo.

En el sentido longitudinal o de la fibra de la madera, el movimiento es muy pequeño, y en la práctica se considera nulo; en este fenómeno se funda la estructura de cuadro.

En el sentido tangencial, la contracción es, en general, de 1,5 a 2 veces mayor que en el sentido radial. Esta diferencia de contracciones, según los sentidos radial y tangencial de la madera, es una de las causas de las deformaciones y fendas que se producen durante el proceso de secado.

#### Peso especifico

Dada la naturaleza porosa y las variaciones de peso y volumen, con el contenido de humedad, hay que especificar las condiciones en que se verifican las medidas.

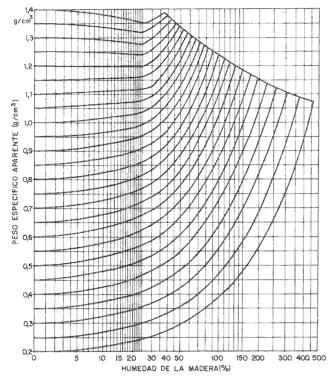


Diagrama humedad-peso específico de la madera, según F. Kollmann.

El peso específico de la pared celular es prácticamente constante para todas las especies, y es del orden de 1,53 gr/cm³. Este es el límite, máximo teórico, que podría alcanzar una madera, en la que los huecos celulares los hubiese reducido a cero. Las diferencias entre maderas se deben pues a la mayor o menor proporción de dichos huecos.

Se puede calcular el peso específico determinando el volumen y el peso a la misma humedad, siendo el 12% el considerado como humedad normal.

Las variaciones del peso específico con la humedad pueden verse en el gráfico de Kollmann, donde se aprecia, además, la humedad máxima posible que puede alcanzar la madera.

También puede calcularse determinando el peso en estado anhidro y el volumen a la humedad que se considere, siendo lo más usual el peso anhidro y el volumen en estado saturado.

El conocimiento del peso específico, en una madera, es tan importante que, con su simple conocimiento, podemos darnos una idea aproximada de su comportamiento físico-mecánico.

El peso específico puede variar desde valores del orden de 0,1 gr/cm³ de la balsa hasta el de 1,3 gr/cm del guayaco y quebracho. Es variable no sólo de unas especies a otras, sino también entre árboles de una misma especie e, incluso, según las zonas de un mismo árbol.

## Propiedades debidas a las sustancias de impregnación

El color se refiere a la madera de duramen, ya que la albura suele ser de color claro. Sus variaciones entre especies ocupa toda la gama de colores, desde el bianco de los chopos al negro intenso del ébano.

El olor es más intenso en la madera recién cortada, y va desapareciendo con el tiempo al evaporarse los compuestos volátiles que lo produce. Es, en general, agradable, como el sándalo, cedrela o sabina, aunque hay maderas con olores desagradables.

Algunas especies de maderas tienen, entre las sustancias de impregnación, alcaloides, esteres grasos, etcétera que, al trabajarlas, en los procesos en que se forma polvo de madera, pueden producir alteraciones en el organismo humano, como dermatitis o afecciones en las vías respiratorias. Entre estas especies están iroko guarea, caoba africana, mansonia, etc. Estas maderas deben trabajarse con un cuidado especial.

#### Propiedades térmicas

La madera, como cualquier otro material se dilata con el calor, pero como, al aumentar la temperatura, baja el contenido de humedad de la misma y se produce una disminución de sus dimensiones por contracción, queda prácticamente eliminado dicho fenómeno. El coeficiente de dilatación térmica en la madera es del orden del 5 x 10-6 en la dirección axial y de 5 x 10-5 en la transversal. Comparados con los coeficientes de contracción son del orden de 100 veces menor.

La madera tiene un calor específico muy alto, de 0,4 a 0,7 kcal/kg°C, con lo que a igual suministro de calor, se calienta menos que otros materiales.

Por otra parte, la conductividad térmica es muy baja, comparada con los otros materiales usados en la construcción, de ahí su ventaja como aislante térmico. El coeficiente de conductividad térmica de la madera oscila entre 0,11 y 0,15, en los tableros aglomerados es del orden de 0,08 y en los de fibras 0,06 mientras el del aluminio es 172, el del acero 39 y el del hormigón 1.

# Propiedades eléctricas

La conductibilidad eléctrica de la madera varía enormemente con la humedad, hasta tal punto que seca es un buen aislante, y muy húmeda deja pasar fácilmente la corriente. La resistividad de la madera, en megahomios, es del orden de 10<sup>6</sup> para el estado anhidro, 10<sup>4</sup> al 9% de humedad y 10<sup>-1</sup> al 30%. En esta propiedad está fundado el funcionamieto de los humidímetros de la madera o xilohigrómetros.

# Propiedades acústicas

La velocidad del sonido en las maderas es del orden de los 4.500 m/seg. en la dirección axial y de 3.000 metros por segundo en la perpendicular a la fibra, o sea, ligeramente inferior a la del acero.

La velocidad del sonido en las maderas es igual a la raíz cuadrada del cociente del módulo de elasticidad dividido por el peso específico. Esta propiedad permite conocer el módulo de elasticidad de una pieza de madera, por métodos no destructivos, midiendo las otras dos variables.

# Propiedades mecánicas

Como ya se ha visto, los dos elementos principales constitutivos de la pared celular son la celulosa y la lignina. En la primera encuentra la madera su gran resistencia a la tracción, y en la lignina la resistencia a la compresión, de ahí el símil de la madera con el hormigón armado.

Bajo ciertas condiciones, el comportamiento mecánico de la madera nos da a entender que se trata de un material visco-elástico. La explicación de tal comportamiento se encuentra en la estructura amorfo cristalina de la pared celular.

Sin embargo, bajo cargas pequeñas, la madera se deforma de acuerdo con la ley de Hooke, o sea, que la deformación es proporcional a la fuerza por unidad de área.

Cuando se pasa el límite de proporcionalidad la madera se comporta como un cuerpo plástico y toma una deformación permanente. Al seguir en aumento la carga, se produce la rotura.

La determinación de las propiedades mecánicas de la madera se efectúa de forma similar a la de otros materiales, pero existen dos condiciones, que son necesarias específicar, por hacer variar mucho sus resistencias. Se trata de la dirección del esfuerzo y del grado de humedad. Así se hablará de resistencia en la dirección axial, tangencial o radial y a un grado de humedad determinado.

Existen otros factores que hacen disminuir las resistencias de la madera, son las anomalías debidas a su carácter biológico, tales como nudos, inclinaciones de fibras, etcétera.

#### Tensiones admisibles en la madera

El desconocimiento de las propiedades de la madera, junto a la gran variabilidad de las mismas, ha hecho que se consideren como tensiones admisibles valores muy inferiores a los que se podrían haber tomado.

A diferencia del hormigón y acero, con características prácticamente fijas, según su composición, las características de la madera tienen grandes variaciones con la especie, dentro de la misma especie, e incluso dentro del mismo árbol, variando además, con la humedad, tiempo de carga, defectos, etc. Por todo ello, se hace difícil determinar las tensiones admisibles de la madera.

El procedimiento que se sigue consiste en calcular las tensiones básicas de una especie de madera, que se puede definir como aquella que puede soportar la madera, que no esté afectada de algún defecto que reduzca sus características mecánicas, con seguridad y durante un tiempo indefinido. Es decir, que puede confundirse con las tensiones admisibles en el caso que se trate de una madera sana y sin defectos. En las tensiones básicas ya incluido el coeficiente de seguridad.

Para el cálculo de las tensiones básicas se siguen los siguientes pasos:

 Se construyen probetas normalizadas, según la caracteristica a determinar, de madera limpia, sin defecto y de fibra recta, elegidas aleatoriamente entre la población de la especie a estudiar.

- Se ensaya a una humedad normalizada, que puede ser: en verde ( > 30%) si la madera va a trabajar a humedades superiores al 18%, al 18% si las condiciones de uso no pasan de dicha humedad; al 12% o humedad normal, etc.
- Se calcula su valor medio y la desviación típica.
   Como los resultados tienen una distribución normal,
   la curva de frecuencias será la campana de Gaus.

Se toma el valor que es superado, al menos, por el 99% de los valores. A este valor se le aplica un coeficiente de reducción por cargas prolongadas, forma y tamaño de la pieza, sobrecargas accidentales, etc. Este coeficiente es de 2,25 excepto para la compresión paralela a la fibra que es de 1,4 y de 1,2 en compresión perpendícular a la fibra. Los valores resultantes serían las tensiones básicas.

En el caso de la madera limpia de hilo recto y sin defecto alguno, las tensiones básicas serían las admisibles; pero, en muchos casos, habrá que reducir los valores de las tensiones básicas en un porcentaje que depende de los defectos que contenga la madera.

La reducción se hace a partir del número, estado y dimensiones de los defectos. Se hace una reducción por cada tipo de defecto y se aplica el mayor obtenido.

Para simplificar este tipo de reducción, la norma UNE 56.525 clasifica las maderas en seis categorias, según sus defectos. A cada rango acompaña un número que es el factor de reducción de las tensiones básicas para obtener las tensiones admisibles.

#### Grupos tecnológicos

Cada especie de madera tiene una estructura diferente según los tipos de células que posea, cantidad de las mismas y forma de agruparse. Además, puede contener sustancias de impregnación diferentes.

Todo ello da lugar a que las características físicas, químicas y mecánicas varien de una especie a otra.

Por otra parte, cada uso tiene unas exigencias. Enumerando éstas, y viendo las especies que las poseen, tendremos un grupo de maderas que son aptas para dicha utilización, son los grupos tecnológicos. Hay que tener en cuenta que dentro de cada grupo todas podrían utilizarse, pero lógicamente, existirá una graduación de calidad. La decisión de utilizar una u otra se hará por otros criterios, tales como el económico, existencia o no de la especie, aspecto decorativo, etc.

En general, podemos decir que las coniferas, de estructura más simple y fibra larga, constituyen un grupo uniforme para su utilización óptima en la construcción. Las frondosas, de estructura y color mucho más variable tienen su uso fundamental en construcción y decoración.

# PATOLOGIA DE LA MADERA. TECNICAS DE PROTECCION

Alejandro López de Roma

Dr. Ing. de Montes. Jefe del Dpto. de Maderas Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias

La madera, uno de los materiales de construcción más utilizado por el hombre en su largo caminar a través de la historia, presenta, como todos los demás, ciertas limitaciones, entre las que destaca la relativa facilidad con que se altera en determinados medios, lo que ha originado que con frecuencia se la considere como poco durable. Esta opinión, por otro lado muy extendida, sólo es verdad en parte, pues prácticamente insensible al oxígeno del aire que oxida los metales y al tiempo que modifica los materiales plásticos, puede considerársela, en condiciones ordinarias de empleo, como casi inalterable por los agentes climáticos y físicos del medio ambiente (no se olvide la fotodegradación, con incidencia fundamentalmente superficial y la estabilidad dimensional), siendo sólo modificada, e incluso destruida, por el ataque de algunos organismos vivos que pertenecen en su mayor parte a los grandes grupos de los hongos y de los insectos. A estos hechos, hay que añadir que la resistencia de la madera al ataque de los organismos xilófagos varía en gran medida con la especie forestal a la que pertenece, los factores de crecimiento, la edad, las condiciones de uso y fundamentalmente según proceda de la parte interna del tronco (duramen) más oscuro, impermeable y resistente, o de la zona clara que le rodea exteriormente (albura), más porosa y fácil de descomponer.

Las excelentes propiedades físico-mecánicas de la madera, junto a ser una materia prima de fácil acceso que puede elaborarse sin necesitar utiliaje complicado (en las modernas sociedades industriales y urbanas esto ha cambiado notablemente), son algunas de las razones que han originado que sea ininterrumpidamente empleada por el hombre, y que éste, desde tiempos remotos, haya aprendido no sólo a conocer las especies más resistentes al ataque de los agentes destructores, sino también a idear métodos de lucha contra los mismos en función de los conocimientos que poseía en cada momento.

Ya en el Génesis (Capítulo VI, ver. 14) se dice que Dios ordenó a Noe: «Fabricate un arca de madera de ciprés. haz en el arca diversos compartimentos y embréala por dentro y por fuera», introduciendo así dos conceptos fundamentales en la protección de la madera, el empleo de una especie de buena duración natural y el de su tratamiento con un protector, Posteriormente, en la literatura griega y romana, son múltiples las referencias a la utilización de aceites y algultranes, como las realizadas por Herodoto, Diodoro de Sicilia y Plinio el Viejo sobre el empleo por los antiguos egipcios de productos bituminosos y resina de cedro en la conservación de los sarcófagos y manuscritos valiosos. Otro procedimiento, que data de tiempos prehistóricos, es el «chamuscado», al que hace referencia Julio César en «La Guerra de las Galias».

En la Edad Media es frecuente el empleo de petróleo y brea, así como de sales de mercurio y de arsénico, siendo estas últimas utilizadas posteriormente por Leonardo de Vinci para proteger sus tallas contra el ataque de los insectos xilófagos.

No obstante, puede decirse que hasta el siglo XIX no aparece una verdadera protección científica de la madedera, entendiendo como tal, aquella que se ocupa de transformaria, mediante un tratamiento, en una materia inatacable por los agentes destructores, sin que por ello se perjudiquen sus características físico-mecánicas. Este hecho, coincide con el descubrimiento por Pasteur de la inexistencia de la generación espontánea, lo que permitió conocer las causas de los daños de forma racional y científica, y el desarrollo de la técnica en general, más concretamente con la aparición del ferrocarril y el telégrafo que trajeron consigo una amplia demanda de traviesas y postes. A partir de ese momento se suceden sin pausa nuevas patentes, tanto de protectores como de sistemas para su aplicación, en un afán de superación ininterrumpido.

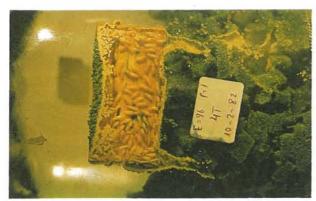
En la actualidad, el aumento constante del consumo de madera, que ha hecho de ella un material escaso, la necesidad consiguiente de introducir en el mercado especies que por su pequeña duración natural prácticamente no se utilizaban hasta fechas recientes, junto con el aumento cada vez mayor de los costes de reposición el desarrollo del control obligatorio de la calidad, la demanda de productos que respondan a específicaciones concretas y la preocupación e interés crecientes por conservar estructuras y construcciones de madera, testimonios de pasadas civilizaciones sometidas a penosa destrucción por un desarrollo industrial y urbano desordenado, ha motivado que todos los países con cierto nivel de desarrollo intenten dar una respuesta adecuada a la amplia gama de temas que presenta su correcta protección.

El problema que presenta la protección de una estructura de madera, si se quiere resolver de forma adecuada, debe plantearse en términos claros y de manera racional, lo que implica un conocimiento completo de los posibles agentes destructores, de la forma en que las diferentes especies de madera reaccionan ante ellos (duración natural), de los riesgos que entraña cada tipo de utilización, de los posibles protectores a emplear, de las técnicas de tratamiento más adecuadas, etc. Con esta base de partida se deberá seguir esquemáticamente el siguiente proceso:

- Definir la naturaleza e intensidad de los riesgos a que va a estar sometida la madera en el empleo considerado.
- Determinar si la especie a emplear tiene una duración natural suficiente para afrontar estos riesgos sin peligro, lo que permite establecer si es o no necesario aplicarle un tratamiento preventivo.
- En caso afirmativo, se procederá a elegir el protector que por su eficacia y persistencia sea más adecuado, así como el sistema de tratamiento más idóneo.

Por lo anteriormente expuesto, es necesario acabar con la práctica, en la actualidad muy generalizada, de solicitar el tratamiento de una estructura sin definir previamente el tipo de protección que es necesario darie.

Se hará una breve exposición de los diferentes factores que, como ya se ha indicado, es preciso tener siempre presentes en el planteamiento y resolución de un problema de protección de maderas.



Colonia de Reticulitermes lucifugus Rossi.

#### 1. AGENTES DESTRUCTORES

Entendiendo por agente destructor toda causa que directa o indirectamente interviene en el deterioro o alteración de la madera, se hará una primera clasificación de los mismos, en vivos (bióticos) y no vivos (abióticos).

# 1.1. Agentes destructores bióticos

Como toda materia orgánica, la madera y sus derivados pueden sufrir el ataque de organismos vivos, fundamentalmente hongos e insectos, que cuando encuentran condiciones favorables a su acción y desarrollo pueden llegar incluso a destruirla completamente. Una condición de su adaptación a la madera en cuanto a espacio vital y base de nutrición, reside en la facultad de fraccionamiento mecánico del material para transformarlo en alimento asimilable, así como en la posibilidad de utilizar los componentes químicos de la misma, de los que la mitad son hidratos de carbono, fundamentalmente celulosa químicamente muy resistente, y un tercio lignina todavía más difícil de descomponer. Se trata, en todo caso, no lo olvidemos, de fenómenos naturales e indispensables para la Vida, aunque, eso sí, perjudiciales para el hombre en el cuadro de la utilización tecnológica de la madera.

# 1.1.1. Hongos

Los hongos son vegetales inferiores, cuyo cuerpo vegetativo constituido por filamentos microscópicos Ilamados hifas no posee ni tallo, ni raiz, ni hojas. También están desprovistos de clorofila, por lo que no son capaces de elaborar sustancias orgánicas a partir del anhídrido carbónico de la atmósfera, el agua y la energía solar, teniendo que alimentarse de compuestos orgánicos ya existentes, a los que transforman en sustancias más elementales con la ayuda de enzimas producidas por ellos mismos. Los que atacan a la madera, es decir, los que fabrican enzimas capaces de degradar a todos o algunos de sus componentes, reciben el nombre de hongos xilófagos, e incluyen aquéllos cuya acción tiene por efecto modificar exclusivamente el aspecto de la madera, y sobre todo su color (hongos cromógenos), y los que modifican notablemente sus propiedades mecánicas y físicas (hongos de pudrición). Todos ellos necesitan oxígeno gaseoso y cantidades elevadas de agua, actuando, por tanto, con más intensidad cuando éstos se encuentran en la relación adecuada, siempre que la



Colonia de Reticulitermes lucifugus Rossi en un ensayo de homologación de protectores realizado en el Laboratorio de Protección de Maderas del INIA.

temperatura, cuyo óptimo suele estar comprendido entre los 20 y 25 °C, sea igualmente favorable.

Los hongos cromógenos son incapaces de degradar la pared celular, o lo hacen en muy pequeña medida, ya que se alimentan de ciertas sustancias de reserva presentes en las células de la albura, por lo que limitan su ataque a la madera no duraminizada. La coloración más frecuente que producen en las coníferas es la conocida como azulado, que si bien tiene poca importancia desde el punto de vista técnico, representa un defecto estético importante con amplias repercusiones económicas. Hay que tener en cuenta la posibilidada de este tipo de alteración en las carpinterías exteriores, en las que nos advierte que las condiciones de humedad y temperatura son favorables para el desarrollo posterior de los hongos de pudrición.

Los hongos de pudrición constituyen el grupo de los hongos xilófagos propiamente dichos, que por su dotación de enzimas son capaces de destruir los componentes elementales del esqueleto leñoso de la madera. La pudrición afecta notablemente a las propiedades mecánicas, en particular la resistencia estática y dinámica, encontrándose pérdidas importantes de las mismas incluso en ataques aparentemente ligeros. Si bien sus condiciones óptimas de desarrollo varían sensiblemente de unas especies a otras, podemos decir que en ningún caso una humedad en la madera inferior al 22-24 % permite satisfacer sus necesidades de agua. Por ello. toda madera, cualquiera que sea su duración natural, si se pone seca en obra, no será atacada por los hongos durante todo el tiempo que se mantenga en ese estado. Como consecuencia, la primera regla de oro que ha de observarse, será la de emplear madera bien seca y, la segunda, más difícil de cumplir pero no menos importante, es que la puesta en obra se haga de tal forma que no exista posibilidad de rehumidificación, lo que exige un mantenimiento eficaz. Si no se tienen garantías de evitar la rehumidificación, es aconsejable un tratamiento preventivo con un protector fungicida.

Una clasificación de las pudriciones, en función de las alteraciones que se producen en el color de la madera y en el aspecto que ésta presenta cuando la acción de los hongos xilófagos es intensa, por otra parte ampliamente utilizada en la literatura sobre protección a pesar de sus impresiones, es la siguiente:

 Pudrición blanca. Los hongos tienden a destruir más lignina que celulosa, dejando al final un complejo de celulosa más o menos blanquecino que no suele



Pilar de madera de pino atacado por Reticulitermes lucifugus Rossi.

presentarse uniforme, sino en forma de alveolos o vetas blancas. Esta pudrición deja un residuo fibroso que conserva una resistencia elástica apreciable, por lo que se la conoce también como pudrición fibrosa. Sin embargo, existen hongos que destruyen la celulosa y blanquean los compuestos residuales de lignina no atacados, por lo que la pudrición presenta aparentemente el aspecto de blanca, sin realmente serlo, como puede comprobarse observando su estructura.

- Pudriciones pardas. Los hongos concentran fundamentalmente su ataque sobre la celulosa dejando un residuo formado por lignina más o menos indemne que puede disgregarse fácilmente con los dedos. En este tipo de pudrición, la madera al principio del ataque conserva intacta su estructura celular exterior y, como consecuencia de las variaciones de volumen, aparecen fendas de contracción en la dirección radial, tangencial y transversal, que le dan un aspecto característico que ha determinado que se la conozca también como pudrición cúbica.
- Pudrición blanda. Este tipo de pudrición, originada por hongos inferiores, aparece con frecuencia en maderas puestas en contacto con el suelo. No se diferenció del resto de las pudriciones hasta 1913 (Bailey), estando en la actualidad perfectamente definida, tanto por el tipo de hongos que la producen, como por la forma en que se desarrolla su ataque. Efectivamente, los hongos causantes de la pudrición blanda atacan con preferencia la celulosa de la pared secundaria de la célula, dando a la madera, cuando el grado de humedad es elevado, una consistencia blanda parecida a la que presenta un queso fresco.

# 1.1.2. Insectos

Entre los animales terrestres destructores de la madera, los insectos son, con mucho, los más importantes, destacándose entre ellos los coleópteros, y en las regiones cálidas las termitas.

# 1.1.2.1. Insectos de ciclo larvario

Las especies de coleópteros que atacan madera seca son relativamente reducidas en número, pero tienen gran importancia como parásitos de obras de arte, muebles, carpintería y estructuras de edificios. Se caracterizan porque en las primeras fases de su vida, en las que reciben el nombre de larvas, presentan, tanto en la forma como en su comportamiento y manera de alimen-



Larva de Hylotrupes bajulus L. (Carcoma grande).

tarse, diferencias muy notables con los adultos reproductores, llamados Imagos, que viviendo solamente algunas semanas no tienen, en la mayor parte de los casos, necesidad alguna de alimentarse. Las larvas, por el contrario, se nutren de la madera en la que viven, pudiendo sucederse varias generaciones en una misma pieza hasta su destrucción completa. El ataque es independiente de las condiciones de puesta en obra, ya que, al contrario de lo que ocurre con los hongos, el factor humedad interviene muy poco en su desarrollo. Esto tiene una consecuencia de gran importancia, pues ninguna medida de tipo arquitectónico puede proteger la madera de sus ataques, ante lo cual los tratamientos preventivos deberían tener carácter obligatorio. Respecto al ataque de este tipo de insectos, es importante hacer notar que los orificios observados en una madera son una prueba inequivoca de que al menos ha vivido en ella una generación de los mismos, pues siempre son perforados por los jóvenes adultos, después de completar su ciclo larvario, con objeto de salir al exterior para aparearse y reinfectar la misma u otras maderas. Son estos orificios de salida, ante la ausencia de insectos adultos, los que permiten determinar si existe o ha existido un ataque y el tipo del mismo.

En España los insectos de ciclo larvario más importantes son los siguientes:

- Hylotrupes bajulus L. Este insecto, conocido como carcoma grande está muy extendido y ataca sólo la albura de las coníferas, por lo que las especies no duraminizadas (abeto y picea) pueden ser totalmente destruidas. Esto se debe a que la albura contiene más albúmina que el duramen y tienen por tanto mayor valor nutritivo. Con el paso del tiempo se producen modificaciones en la composición de la albúmina y disminuye el contenido de vitaminas, por lo que el riesgo de infección es menor aunque no se elimina por completo, ya que maderas antiguas de incluso 200 años pueden contener todavía larvas vivas.
  - El imago puede alcanzar una longitud de 10 a 20 mm, es de color pardo-negruzco y se caracteriza por tener dos grandes antenas. Después de fecundadas, las hembras ponen huevos en las fendas de la madera y en los intersticios de los ensamblajes que, al eclosionar, dejan en libertad larvas muy pequeñas que penetran en el tejido leñoso donde aseguran su alimento. Estas larvas, que pueden llegar a alcanzar una longitud de 20 a 22 mm y un diámetro de 6 mm, perforan galerías de sección oval orientadas generalmente en el sentido de la fibra. La duración de su



Daño producido por Hylotrupes bajulus L., en una viga de pino.

ciclo vital es muy variable, pudiendo estar comprendido entre 2 y 12 años según que las condiciones de temperatura y valor alimenticio de la madera sean más o menos favorables. La larva pasa por el estado de **pupa** antes de transformarse en insecto perfecto, saliendo éste al exterior por orificios de 5 a 7 mm de sección oval. El ataque se detecta por los orificios de salida de los adultos, por hinchamientos en la superficie de la madera que se corresponden con la presencia de galerías aisladas del exterior por una fina película de madera, y también, observando interiormente las galerías, por sus paredes finamente estriadas y el serrín muy compacto que contienen.

Daños del tipo parecido al descrito, pueden observarse en la madera de ciertas especies de frondosas, pero están producidos por otros insectos como el Stromatium fuivum Villers y Hesperophanes cinereus Villers, cuyos daños son bastante frecuentes en los países mediterráneos.

Lictidos. Estos insectos, conocidos como polilla, están representados en España fundamentalmente por dos especies: una autóctona, Lyctus linearis Goeze, y otra de origen tropical, pero perfectamente aclimatada y más activa, Lyctus brunneus Stephens. Ninguna madera de coniferas puede ser atacada por estos insectos, cuyos daños se limitan a ciertas especies de frondosas que cumplen las siguientes condiciones: poseer vasos de un diámetro igual o superior a 0,07 mm, a partir del cual las hembras pueden depositar en ellos sus huevos; presentar un contenido de almidón elevado, superior al 3% con respecto al peso anhidro y tener una humedad comprendi-

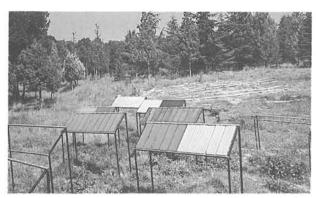


Daños producidos por Lyctus brunneus Stephens (polilla), en madera de roble.

da entre el 6 y el 32% que, por otra parte, es prácticamente la de toda madera puesta en obra cualquiera que sea su empleo. Es necesario indicar que las hembras no pueden hacer la puesta en una madera si los vasos están obstruidos por una capa sólida y espesa de barniz o pintura, pero para que esto sea realmente eficaz, la capa protectora debe ser uniforme y sin defectos, lo que raramente ocurre en la práctica. Por otra parte, el hecho constatado de que el valor nutritivo de la madera para los líctidos disminuye considerablemente con el tiempo, permite llegar a conclusiones sobre la antigüedad de una obra de arte; así, por ejemplo, una escultura procedente de un país cálido con larvas vivas no puede tener una edad superior a unos pocos años.

Los líctidos adultos tienen forma alargada, una longitud que varia entre 3 y 7 mm, en función del valor nutritivo de la madera donde las larvas se han desarrollado, y color pardo oscuro o pardo rojizo. Las hembras fecundadas ponen huevos en el interior de los vasos de la madera que, al eclosionar dos o tres semanas después de la puesta, dejan en libertad larvas de color blanquecino que pueden alcanzar hasta 4 mm de longitud. Estas larvas perforan galerías paralelas a la fibra donde van acumulando sus excreciones en forma de un fino serrín de parecida consistencia a los polvos de talco. El ciclo vital normalmente es de un año, pero puede reducirse a 3 ó 4 meses si las condiciones, particularmente la temperatura, son favorables. Después de una pupación que dura alrededor de tres semanas, los adultos salen de la madera por orificios circulares de 1 a 2 mm de diámetro, pudiendo incluso atravesar chapas de especies de madera resistentes a los ataques larvarios, así como películas de pintura o barniz. Es muy difícil de diagnosticar un ataque de líctidos antes de que aparezcan los primeros orificios de salida y la reinfestación de una madera se produce muy rápidamente.

— Anóbidos. De este grupo de insectos, cuyos daños conocemos vulgarmente como carcoma, debemos destacar, por su importancia, al Anobium punctatum De Geer que ataca la albura de coniferas y frondosas e incluso el duramen cuando presenta pudrición aunque ésta sea débil. Los adultos alcanzan una longitud de 3 a 5 mm y son de color pardo negruzco. Las hembras fecundadas ponen sus huevos en las superficies rugosas de la madera, en las fendas e incluso en antiguos orificios de salida. Después de 4 ó 5 semanas nacen de los huevos pequeñas larvas blancas y arqueadas que penetran en la madera perforan-



Ensayo de protectores decorativos. Departamento de Maderas del INIA.

do galerías con serrin más granuloso y áspero al tacto que el de los líctidos. El ciclo vital de estos insectos es de 3 ó más años. Después de la pupación, los adultos salen de la madera perforando orificios circulares de 2 a 3 mm de diámetro. La presencia de la primera generación de insectos no es fácil de detectar hasta la aparición de los primeros orificios de salida, pero el ataque de las sucesivas generaciones se revela con frecuencia por la aparición de numerosos montoncitos de serrín que las larvas evacuan al exterior por antiguos orificios. Es frecuente su presencia en museos, iglesias y locales en los que la temperatura próxima a los 20 °C les es favorable, al mismo tiempo que su poca predilección por la luz les permite la puesta de huevos en los lugares oscuros. Al no poderse desarrollar las larvas a una humedad relativa del aire inferior al 60%, la sequedad que producen las calefacciones centrales, junto con la ausencia del necesario enfriamiento invernal, constituyen un método de protección eficaz.

Otro anóbido de interés es el Xestobium rufovillosum Geer, que puede producir daños a la mayor parte de las coníferas y frondosas previamente atacadas por un hongo, incluso si el ataque es antiguo y la madera se encuentra seca. El adulto tiene un aspecto general parecido al de Anobium punctatum, pero de longitud superior (6-8 mm). Su color es pardo oscuro con zonas más claras debido a la implantación de pelos, y su cabeza se encuentra disimulada bajo el tórax. La biología es parecida también a la del Anobium punctatum, pero las hembras ponen mayor número de huevos y su ciclo vital es normalmente de 5 años, aunque puede acortarse cuando el ataque de los hongos es muy fuerte. La larva, de color blanco o crema, puede alcanzar antes de la pupación 11 mm de longitud. Los orificios de salida de los adultos alcanzan hasta 4 mm de diámetro y las galerías están llenas de un serrin áspero al tacto. Es curioso destacar la presencia de muy pocos orificios de salida en maderas muy atacadas, lo que se explica por la posibilidad que tienen estos insectos de aparearse y poner los huevos en el interior de las galerías sin necesidad de salir al exterior. El nombre de «reloj de la muerte» que se aplica a veces a las carcomas, corresponde exclusivamente al Xestoblum rufovillosum y procede del sonido del golpeo, producido por los insectos adultos durante la época de apareamiento, consistente en cuatro o cinco golpes producidos en menos de un segundo por la parte frontal inferior de la cabeza del insecto al chocar contra la superficie de la madera, que son respondidos por otro insecto golpeando con el mismo ritmo.



Ensayo para determinar la eficacia de un protector contra los hongos de pudrición.

En España es frecuente encontrar daños producidos por otros anóbidos, destacando por su importancia el Oligomerus ptilinoides Woll y el Nicobium castaneum Ol., cuyo ciclo biológico es análogo al de las especies anteriormente descritas.

#### 1.1.2.1. Insectos sociales

Las termitas son insectos que forman colonias con una organización social parecida a la de las hormigas y abejas, produciendo sus mayores daños en las zonas tropicales y subtropicales. Se han adaptado no obstante a las zonas templadas, encontrándose en España tres especies, de las que solamente dos producen daño en la madera puesta en obra: Reticulitermes lucífugus Rossi, especie subterránea que vive en la Península y Baleares produciendo daños de gran intensidad y Criptotermes brevis Walker, especie que anida en madera seca y que habita en las Islas Canarias con repercusión económica escasa.

El Reticulitermes lucifugus hace sus nidos en la tierra donde encuentra una atmósfera húmeda que le es imprescindible, así como una temperatura moderada y casi constante. A partir del centro de la colonia estas termitas construyen numerosas galerías para alcanzar la superficie del suelo y las maderas de las que se alimentan. En una colonia de termitas, las funciones de reproducción están encomendadas a la pareja real, mientas que las demás actividades son realizadas por obreros y soldados; sin embargo, si desaparece la pareja real, puede ser sustituida en su función por machos y hembras neoténicos, que adquieren naturaleza sexual pero no forma alada. Esto último tiene gran importan-



Tratamiento de estacas por inmersión caliente-fria. Departamento de Maderas del INIA.

cia, ya que un grupo de obreros, ninfas y soldados aislados accidentalmente de una colonia, pueden reconstruir perfectamente una nueva, lo que facilita la propagación de la especie. Para llegar a las maderas que le sirven de alimento, albura y duramen de la mayoría de las coníferas y frondosas, los obreros son capaces de perforar los materiales no demasiados duros como el yeso y sobrepasan los más duros, tales como el hormigón armado, mediante túneles y puentes de un material oscuro formado por saliva, excrementos y tierra. La presencia de las termitas en la madera se traduce en cavidades paralelas, que siguen la dirección de la fibra respetando su superficie y que tapizan de un material constituido de saliva, excrementos y partículas de madera. Esta forma de actuar hace que su presencia a veces no pueda percibirse hasta que los daños son de gran importancia. Los síntomas que permiten detectar un ataque de termitas son: la existencia de galerías en la superficie de los materiales duros y caminos disimulados en el yeso o recubrimientos de los muros, a veces observables por pequeños agujeros negros de unos 2 mm de diámetro, recubiertos interiormente de una sustancia terrosa.

# 1.2. Agentes destructores abióticos

Son aquellas causas de alteración de la madera de origen no vivo, y comprenden desde los agentes atmosféricos (radiación solar, humedad atmosférica, acción corrosiva de la lluvia y el viento, temperatura, etc.), mecánicos y químicos, hasta la sorción del agua y el fuego.

# 1.2.1. Agentes atmosféricos

La exposición a la intemperie de los elementos de construcción constituye un fenómeno complejo en el que intervienen numerosos factores, entre los que se encuentran no sólo los agentes atmosféricos anteriormente indicados, sino también la superposición de los mismos, su diferente intensidad, su periodicidad (diaria, estacional), etc.

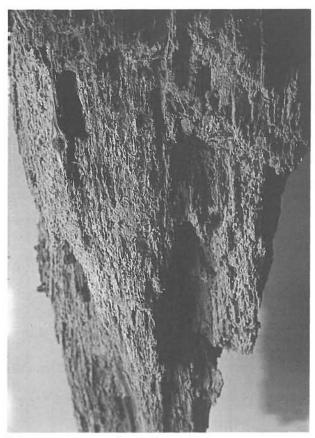
La fotodegradación de la madera por la radiación solar, de cuyo espectro total sólo una pequeña parte alcanza la Tierra, no supone en plezas gruesas una pérdida apreciable de resistencia mecánica, pero sí influye, de forma decisiva, como se verá a continuación, en la degradación superficial. Durante los primeros meses de exposición, la capa superficial de la madera está sometida al ataque de los rayos ultravioletas, aunque también ejercen una acción, nociva los infrarrojos e incluso



Túneles de envejecimiento artificial empleados para determinar la eficacia de los protectores de la madera. Departamento de Maderas del INIA.

los del espectro visible. En general, la degradación comienza por la lignina y, si la superficie no está sometida a la acción de la lluvia, el ataque se traduce en un oscurecimiento pronunciado, mientras que si está muy expuesta los productos de la degradación son eliminados por el agua, de manera que la celulosa blanquecina, menos sensible a las radiaciones, subsiste en la superficie que adquiere tonalidades claras. Pero además. las células más externas pueden recubrirse poco a poco de mohos, que necesitan para vivir de la humedad de la madera y de los productos de la fotodegración, dando a la superficie la coloración grisácea o negruzca de todos conocida. Este último fenómeno no ocurre, o se atenúa considerablemente, en climas muy secos o en regiones costeras en las que la atmósfera salina puede inhibir el crecimiento de microorganismos.

La fotodegradación y estos mohos producen un debilitamientos mecánico de la sustancia leñosa superficial que, combinados con la acción del viento y de la lluvia, la destruyen. Por otra parte, los tejidos menos densos (madera de primavera) son más atacados que los compactos (madera de verano), lo que origina los típicos «dientes de peine» en la superficie de maderas colocadas en exteriores. Como dato de referencia, puede indicarse que una madera después de 100 años de plena exposición a la intemperie pierde una capa de aproximadamente 6,25 mm de espesor. Por otra parte, esta pérdida superficial, junto a la variación de volumen (merma e hinchazón) producida por los cambios de humedad, ocasionan la aparición de fendas de mayor o menor grosor, por las que penetra la humedad facilitando la acción de los hongos de pudrición en zonas interiores.



Daños causados en un pilar de pino por Anolium punctatum De Geer (carcoma).

#### 1.2.2. Agentes mecánicos

Los daños de naturaleza mecánica están muy relacionados con la dureza de la madera y el uso que se haga de la misma; piénsese, por ejemplo, en los pavimentos y en la acción que sobre ellos ejercen los tacones de las señoras o las pequeñas chinas incrustadas por las suelas de los zapatos. En la madera tratada previamente, la penetración mínima del protector deberá ser suficiente para evitar que durante su vida de servicio queden al descubierto, por desgaste u otras razones, zonas sin impregnar.

# 1.2.3. Agentes químicos

A la madera, en general, se la puede considerar como muy resistente a los agentes químicos, si bien sufre alteraciones por la acción de los ácidos fuertes, lejías alcalinas e incluso de los detergentes, lo que tiene una notoria influencia en las denominadas maderas domésticas. En edificios, la cal apagada en estado fresco puede ejercer acciones corrosivas si está mucho tiempo en contacto directo con el tejido leñoso. También producen este tipo de daños algunos tintes, debido a la hidrólisis de los hidratos de carbono, no debiéndose emplear ningún material colorante sin conocer previamente su comportamiento. Como idea general, puede decirse que la acción de los productos químicos sobre la madera se traduce normalmente en simples alteraciones de color.

Numerosas maderas son susceptibles de presentar manchas cuando se encuentran en contacto con piezas de



Cámara de Ilujo laminar. Laboratorio de Protección de Maderas del Departamento de Maderas del INIA.

hierro o acero, si las condiciones de humedad son elevadas. Estas manchas, generalmente negras o negroazuladas, pueden ser muy intensas, afeando sensiblemente la superficie de madera. Se produce por una reacción química entre el hierro y los taninos o polifenoles presentes en el tejido leñoso, que da como resultado la formación de compuestos de hierro de color oscuro, siendo mucho más frecuentes en las frondosas (roble, castaño, etc.) que en las coníferas. Con el fin de evitar estos daños, no deberán emplearse en madera con alto contenido en taninos, sometidas periódicamente a condiciones de humedad elevadas (exteriores) clavos, tornillos, herrajes, etc. de hierro o acero, sino los fabricados con latón, bronce, aluminio u otro material no ferroso. En el caso de que las manchas se hayan ya producido, es posible eliminarlas aplicando una solución acuosa de ácido oxálico al 8 % en las zonas afectadas, previa eliminación de las posibles capas de barniz existentes. Una vez desaparecida la mancha es preciso lavar muy bien la superficie con agua, de forma que se elimine cualquier rastro de ácido, ya que éste puede producir nuèvas manchas al reaccionar con otros componentes de la madera. Además de las producidas por el hierro y la presencia de hongos cromógenos (azulado), ya mencionadas antes, existen otras muchas clases de manchas, entre las que destacan, por su importancia, las originadas por el crecimiento superficial de mohos en plezas no secas o almacenadas en atmósferas muy húmedas y las causadas por cambios químicos en el contenido celular de la albura de determinadas frondosas.

# 1.2.4. Sorción de agua.

En la madera colocada en exteriores e incluso en interiores, la higroscopicidad reviste una gran importancia. La higroscopicidad, propiedad que tienen ciertos materiales de tomar vapor de agua de la atmósfera, es muy acusada en la madera, que tiene la propiedad de acumular humedad en la estructura submicroscópica de las paredes celulares lo que origina su hinchamiento. Al ser el fenómeno reversible, las paredes se contraen cuando el agua es eliminada, lo que produce el fenómeno conocido como merma. La humedad de la madera tiende hacia un estado de equilibrio que se corresponde con la temperatura y la humedad relativa del aire, pero como éstas varían a Intervalos más o menos cortos, es difícil conseguirle de manera absoluta. Las variaciones de humedad y, por consiguiente, la estabilidad dimensional, están determinadas, como se ha indicado, por la temperatura y la humedad relativa del aire, pero también por la radiación solar que influye muy directamente sobre la

temperatura del tejido leñoso lo que origina migraciones 1.2.5. Fuego de vapor de agua en la dirección de las zonas más frias. Por esto, la madera protegida de la radiación solar El comportamiento ante el fuego de la madera y sus presenta una mejor estabilidad dimensional a corto plazo.

productos derivados será objeto de otro trabajo en este mismo número de INFORMES.

CUADRO L. Duración natural de las principales especies de madera utilizadas en la construcción

Eenania da madara				Resistencia a los agentes destructores								
Especie de madera			Carcoma*		Carcoma grande"		Polilla		Termitas		Hongos	
Nombre Clentifico	Nombre Comercial	A	O	A	D	A	D	A	D	A	D	
Co	oniferas											
Ables alba MIII.	abeto bianco	0	0	0	0	хx	xx	0	0	lo	0	
Larix decidua Mili.	alerce	l ŏ	xx	o	xx	XX	XX	ő	lő	X	ХX	
Picea excelsa Link.	abeto rojo	l ő	0	ő	0	XX	XX	0	0	lô	10	
Pinus halepensis Mill.	pino carrasco	0	xx	ő	xx	XX	XX	0	X	Ö	1	
Pinus nigra Arn.	pino carrasco pino laricio	lő	XX	0	XX	XX	XX	0		ľ	X	
Pinus pinaster Sol.	pino rancio pino negral	lő	XX	0	XX	XX	XX	0	X	ľ	X	
Pinus pinaster 501.	pino negrai pino piñonero	0	XX	0	XX	XX	XX	0	X	ľ	X	
	pino pinonero pino silvestre	0		0	1	•		0	4	1 -	X	
Pinus sylvestris L. Pinus radiata Don.	pino silvestre pino de Monterrey	ľ	XX	0	XX	XX	XX	0	X	0	l X	
		lő		0		XX	1	0	Ö	3	X	
Pseudotsuga menziesii Franco.	pino de Oregón	0	XX	0	XX	XX	XX	n		Х	XX	
Thuja gigantea Nutt.	cedro rojo del Canadá	"	ХХ	v	XX	XX	XX	U	0	XX	XX	
Frondosa	s autóctonas											
Castanea sativa Mill.	castaño	0	хx	xx	ХX	0	хx	0	x	x	xx	
Fagus svivatica L.	hava	Ŏ	0	XX	XX	XX	xx	0	l ô	ô	Ô	
Fraxinus excelsior L.	fresno	lõ	ő	XX	ХX	XX	XX	0	ŏ	ŏ	l xx	
Populus spp.	chopo	۱ŏ	ō	XX	XX	XX	XX	ő	ŏ	ŏ	lô	
Quercus petraea Matts-Liebl.	roble	Ŏ	хх	XX	XX	o	XX	Ö	ŏ	ő	xx	
Quercus pyrenalca Willd.	rebolio	Ŏ	xx	XX	XX	ő	XX	ő	ő	ő	XX	
Quercus robur L.	roble, carbalio	ľŏ	XX	XX	XX	ő	xx	ŏ	0	Õ	XX	
Ulmus minor Mill.	olmo	ő	хх	XX	XX	ŏ	хx	ő	Õ	Х	X	
Frondose	es tropicales											
	coración y tableros)											
Chlorophora excelsa												
Benth. & Hook.	Iroko, abang			XX	XX	0	XX	0	XX	0	ХX	
Entandropharragma angolense												
CDE Entandrophrragma candollei	tlama			XX	xx	0	ХX	0	0	0	0	
Harms.	kosipo											
Entandropharragma cylindricum				XX	XX	0	XX	0	Х	0	×	
Sprague.	sapelli			XX	XX	0	ХX	0	0	0	X	
Entandrophrragma utile Sprague.				XX	xx	0	ХX	0	×	×	×	
Khaya Ivorensis A. Chev.	samangulla	-		XX	XX	0	xx	0	0	0	×	
Lovoa trichilioides Harms.	envero			XX	ХX	0	xx	0	0	X	Х	
Mansonia altissima A. Chev.	bete, mansonia			XX	XX	0	XX	×	XX	Х	XX	
Pyonanthus angolensis Exeli. calabó, llomba				XX	XX	0	0	0	0	0	0	
ferminalia ivorensis A. Chev. framiré				XX	XX	0	XX	0	х	0	Х	
Terminalia superba Enoi. & Diels	. Ilmba, akom			XX	xx	0	0	0	0	0	0	
Triplochiton scleroxylon K.			and the same of th									
Schum	obeche, samba			XX	XX	0	0	0	0	0	0	

Signos utilizados: A = albura, D = duramen, 0 = no resistente, x = resistencia media, xx = resistente

<sup>\*</sup> Actualmente puede asegurarse una gran resistencia por parte de frondosas tropicales al ataque de carcoma

<sup>\*\*</sup> Nos referimos exclusivamente al Hylotrupes bajulus L.

#### 2. DURACION NATURAL

El concepto duración natural de una madera tiene una gran importancia, ya que define la calidad de su conservación para un uso definido, cuando ningún tratamiento de protección le ha sido aplicado. No obstante, es necesario aclarar algunos conceptos:

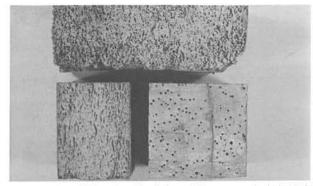
- Decir que una madera tiene una mayor o menor duración natural no significa nada, si no se refiere a un determinado agente destructor.
- El origen de una madera no influye de una forma decisiva sobre su duración, siendo errónea la idea que atribuye a las maderas tropicales una duración media mayor que a las maderas de las zonas templadas.
- No existe ninguna relación entre la dureza de una madera y la duración de la misma.
- Dentro de una misma especie hay que distinguir entre albura y duramen, ya que la primera suele tener una duración natural muy inferior al segundo.

En el Cuadro I, se recoge a título simplemente orientativo, la resistencia a los diferentes agentes destructores de las especies de madera más utilizadas en la construcción, lo que permitirá establecer, en relación con el uso a que se destinen, la necesidad de aplicarles antes de su puesta en obra un tratamiento preventivo.

# 3. PROTECTORES

Los protectores son sustancias químicas que utilizadas aisladamente o en combinación, están destinadas a asegurar a la madera, previa aplicación por procedimientos adecuados, una mayor resistencia a los agentes destructores. Las características o propiedades de un protector si bien no suelen influir de manera determinante en su modo de aplicación, sí le condicionan en gran medida por razones de tipo técnico y económico. En consecuencia, para proceder a su elección hay que tener muy presente tanto el tipo de madera que se va a impregnar (especie, dimensiones, contenido de humedad, etcétera) como las condiciones de su puesta en obra, procurando, en todo caso, que reúna el mayor número posible de características favorables, entre las que podemos destacar las siguientes:

- Ser tóxico, inhibidor o repulsivo para los agentes destructores.
- Poder ser introducido en la madera en la cantidad y profundidad necesarias.
- Mantener su acción protectora a lo largo del tiempo.
   La estabilidad química y la resistencia a la evaporación y al deslavado son las características que hay que tener más en cuenta.
- No afectar las propiedades físico-mecánicas de la madera, ni de otros materiales con los que ésta vaya a estar en contacto.
- No aumentar la inflamabilidad de la madera y a ser posible disminuirla.
- No producir da
   ño alguno en los hombres, animales y vegetales una vez fijados a la madera.



Detalle de los orificios de salida de los adultos y aspecto de las galerías perforadas por larvas de Anolium punctatum De Geer.

- Poseer absoluta compatibilidad con la aplicación posterior de barnices y pinturas, así como no afectar al encolado, si alguna de estas operaciones fuesen necesarias.
- Tener un precio aceptable.
- Dar a la madera tratada un olor y color residuales no desagradables o molestos.

Si bien, la clasificación de los protectores puede hacerse atendiendo a múltiples criterios, en la actualidad está universalmente aceptada la siguiente:

Protectores hidrosolubles. Son mezclas de sales, de las que algunas tienen propiedades biocidas y otras la misión de asegurar la buena fijación de las primeras a la madera, de forma que impidan su pérdida por deslavado. Suelen llevar incorporados componentes secundarios, tales como inhibidores de la corrosión, colorantes, solubilizadores, etc. En todos ellos se emplea como solvente el agua, pudiendo ser las reacciones de fijación e insolubilización, una vez en el interior de la madera, más o menos rápidas y complejas según las distintas formulaciones, lo que determina de forma decisiva el sistema de tratamiento a emplear. Comercialmente se presenta en polvo o en forma de pastas más o menos viscosas, con formulaciones que suelen contener tres grupos de cationes: cobre-cromo-arsénico, cobrecromo-boro, fluor-cromo-boro y fluor-cromo-arsénico, lo que permite asegurar, no sólo su buena fijación en el tejido leñoso por la constante presencia de cromo, sino también ampliar su eficacia sobre un mayor número de hongos e insectos xilófagos.

Este tipo de protectores, empleados sobre todo en el tratamiento de estructuras, postes, pilares, cercas, etc., presenta como principal ventaja su reducido precio, debido a que las sales que entran en su composición suelen ser baratas y a que se utiliza como solvente agua. Por otra parte, no suelen tener olor desagradable, ni antes ni después de su aplicación, y no aumentan la inflamabilidad de la madera, sino que, por el contrario, la disminuyen. Su mayor inconveniente, derivado en realidad de su ventaja más notable, consiste en que al utilizar como solvente agua, se producen hinchamientos en las maderas recién tratadas al aumentar la humedad del tejido leñoso, obligando a un prolongado secado posterior antes de su puesta en obra, durante el cual pueden aparecer, de no tomarse las debidas precauciones, fendas, alabeos y otros defectos no deseables.

Protectores orgánicos. Presentan formulaciones más o menos complejas, en las que existen siempre: materias

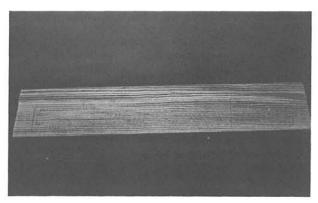


Detalle de los orificios de salida de los adultos y aspecto de las galerias perforadas por larvas de Nicobium casteneum Ol.

activas, generalmente productos de síntesis, un solvente, que constituye el vehículo de las anteriores y suele ser una fracción de la destilación del petróleo y coadyuvantes, entre los que se pueden mencionar los que tratan de asegurar la estabilidad del producto y la fijación de las materias activas en la madera tratada. Las materias activas que entran en la formulación de este tipo de protectores suelen encontrarse entre las más eficaces y estables que ofrece la química moderna, presentando algunas de ellas buenas cualidades fungicidas y otras una acción específica contra los insectos. Los solventes se seleccionan en función de su buena afinidad para la madera (deben penetrar rápida y profundamente en ella), de su capacidad de solubilizar los principios activos que tienen que introducir en el tejido leñoso y de su facultad de volatilizarse con la suficiente rapidez, para dejar lo antes posible las piezas tratadas en condiciones de empleo y, al mismo tiempo, con la suficiente lentitud, para no arrastrar hacia el exterior las materias activas que previamente han introducido en profundidad.

Los protectores orgánicos deben aplicarse siempre a madera seca, en la que penetran fácilmente sin producir hinchamientos, ni variaciones en su color natural. Son compatibles con cualquier tipo de acabado y no corroen los metales, ni alteran, una vez evaporado el disolvente, los plásticos. Por todo ello, suelen ser adecuados para tratar todo tipo de maderas que no estén en contacto directo con el suelo, siendo su mayor inconveniente su precio relativamente elevado.

Dentro de este grupo se incluye los llamados protectores decorativos que además de las materias activas y



Azulado de madera de pino. Puede observarse cómo estos hongos cromógenos limitan su ataque a la albura.

coadyuvantes antes citados contienen resinas sintéticas y pigmentos que permiten proteger la madera de la fotodegradación y darla el color deseado. Al no formar una película continua, al contrario de los barnices y pinturas, permiten el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el tejido leñoso, lo que les hace muy aconsejables en el acabado de carpinterías y estructuras colocadas en exteriores. El tratamiento con estos protectores, que se realiza a brocha, debe ir precedido de una impregnación en profundidad con un protector también orgánico pero sin pigmentar, que permitirá obtener una mayor penetración y, por consiguiente, un grado de protección mejor contra los agentes bióticos.

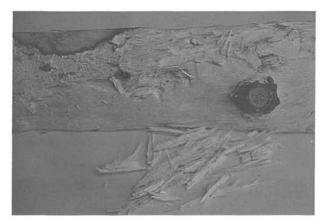
Creosotas. Obtenidas por destilación de la hulla, confieren a la madera una protección de muy buena calidad, ya que tienen una acción fungicida e insecticida importante, propiedades hidrófugas notables y no son corrosivas para los metales.

Presentan inconvenientes para muchas utilizaciones debido a su color negro, que se transforma con el tiempo en gris verdoso, su fuerte olor, su incompatibilidad para encolados y acabados posteriores, así como por su tendencia a dejar la superficie de la madera grasienta y con posibilidades de manchar. Todo ello origina que no sean apropiados para tratar maderas de interiores, ni aquéllas a utilizar en construcciones con las que el hombre o los animales deban estar directamente en contacto.

Su empleo óptimo será en maderas a instalar en exteriores en contacto directo con el suelo, tales como traviesas, postes, estacas y similares. En todo caso, las piezas a tratar deberán encontrarse secas, en caso contrario, además de alcanzarse penetraciones y absorciones inadecuadas, la creosota absorbida impedirá en gran medida su correcto secado posterior.

Los protectores de la madera para poder ser fabricados, comercializados y utilizados deben estar inscritos en el Registro Oficial Central de Productos y Material Fitosanitario del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, realizándose los estudios de eficacia en el Departamento de Maderas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias en función de las siguientes utilizaciones:

- Protección temporal de la madera recién apeada. (Explotaciones Forestales).
- II. Protección temporal de la madera recién aserrada.



Pudrición blanca o fibrosa en una estaca de madera de roble.

- III. Protección de postes y cercas.
- IV. Protección de traviesas.
- V. Protección de la madera de construcción.

El riesgo de ataque por los insectos xilófagos en la madera de construcción, depende muy poco de sus condiciones de empleo; sin embargo, éstas determinan esencialmente la posibilidad de ataque por hongos xilófagos, siendo este riesgo, por tanto, el que define dentro de la categoría V cuatro clases que se describen a continuación.

#### Clase A

Corresponde a una exposición de la madera en la que ésta mantiene permanentemente un grado de humedad favorable para el desarrollo de los hongos. A esta exposición corresponden las utilizaciones de la madera en contacto con el suelo y/o de fuentes de humedad permanente. Para la protección de la madera que se va a utilizar en este tipo de exposición sólo se admiten los métodos de tratamiento que aseguran una impregnación profunda.

# Clase B

Corresponde a una exposición de la madera en la que se puede producir una rehumidificación más o menos prolongada, permitiendo la manifestación de ciertas pudriciones. A este tipo de pudrición corresponden las utilizaciones de la madera a la intemperie, pero sin estar en contacto frecuente con una fuerte humedad, o en lugares donde existe el riesgo de una rehumidificación momentánea.

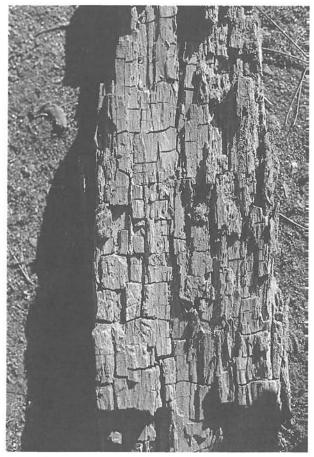
#### Clase C

Corresponde a la exposición de la madera en unas condiciones normalmente desfavorables a la aparición de las pudriciones, aunque el riesgo de ataque por hongos no se pueda excluir totalmente. A esta exposición corresponde la madera utilizada bajo cubierta, sin estar en contacto con el suelo, ni con una fuente de humedad de cualquier tipo.

#### Clase D

Corresponde a la exposición de la madera en condiciones en las que está asegurada la no aparición de pudriciones.

 Tratamiento de la madera de construcción atacada después de su puesta en obra. (Tratamientos curativos).



Pudrición parda o cúbica en madera de pino.

- Protección de las maderas en columnas de refrigeración industrial.
- VIII. Protección de la madera puesta en obra contra el azulado.
- IX. Protección hidrófuga.
- X. Protección repelente al agua.
- Protección específica de tableros (Tableros contrachapados, de fibras, de fibras de densidad media y de partículas).
- XII. Protección decorativa.

# 4. TECNICAS DE TRATAMIENTO

El grado de protección que es necesario dar a una madera para evitar los daños que le puedan producir los agentes destructores depende de la especie y de la utilización que se vaya a hacer de la misma, estando definido por dos conceptos básicos: la penetración y la retención. La primera es la profundidad alcanzada por el protector en la madera tratada y la segunda la cantidad de protector contenido por unidad de volumen realmente impregnado, si bien, en tratamientos de superficie, también se puede llamar retención a la cantidad de protector por unidad de superficie tratada.

Para comprender los mecanismos por los cuales un protector puede introducirse en la madera es necesario conocer la estructura íntima de ésta, que a nivel anatómico presenta diferencias notables según las distintas especies, pero que podemos englobar en dos grandes grupos: coníferas y frondosas. Las primeras presentan unas largas células fusiformes liamadas traqueidas que aseguran la rigidez del tronco y se comunican entre sí por numerosas perforaciones (punteaduras areoladas) que permiten el paso de los líquidos. En las frondosas nos encontramos con unas células liamadas **fibras**, que aseguran la rigidez, y otras, los vasos, que tienen por misión servir a la circulación de los líquidos, pudiendo ser éstos de mayor o menor diámetro, más o menos numerosos y de diversa repartición y agrupamiento, según las distintas especies. Tanto en las coníferas como en las frondosas, los **radios leñosos** desempeñan el papel más importante en la distribución transversal.

Durante el crecimiento del árbol los anillos más antiguos dejan de cumpilr su misión de servir de circuito a la savia y esta evolución se acompaña de modificaciones que les impermeabilizan e impregnan naturalmente de taninos, resinas, etc. Esto explica que el duramen sea frecuentemente mucho más difícil de impregnar que la albura. Por otra parte, en el curso de la desecación de una madera también pueden producirse modificaciones, como bloqueo de las punteaduras areoladas (ocurre en la picea), lo que dificulta enormemente la circulación de liquidos que, por el contrario, era fácil cuando la madera formaba parte del árbol vivo.

Muy esquemáticamente podemos decir que existen tres modos de penetración de los protectores en la madera: despiazamiento de la savia por la solución de tratamiento en la madera recién apeada, difusión a través de las paredes celulares de una solución concentrada aplicada a la superficie de la madera verde e Impregnación por capilaridad a presión de las células de la madera seca (humedad inferior al punto de saturación de la fibra) y posterior absorción del protector por la pared celular. Este tercer método es el generalmente empleado en la madera de construcción, y la noción de permeabilidad, es decir, la actitud de una madera seca a dejarse penetrar por un protector, está referida a él. La permeabilidad de una madera varía según la especie, dependiendo de su estructura anatómica, pero no está ligada ni a la densidad ni a la dureza. Este concepto de permeabilidad es de gran interés, ya que de él depende el sistema de tratamiento que es necesario elegir, así como la penetración conseguida y, por tanto, el grado de protección alcanzado.

Sistemas de tratamiento son los métodos empleados para introducir los protectores en la madera y pueden tener el carácter de preventivos o curativos. Los primeros tratan de dar a la madera un grado de protección externa que evite la acción de los agentes destructores durante el período de tiempo que esté puesta en servicio y los segundos tienen por objeto interrumpir un proceso de destrucción ya comenzado, eliminando por medios apropiados los agentes destructores o anulando sus efectos. A continuación se describirán, esquemática y brevemente, sólo los tratamientos de tipo preventivo más utilizados en maderas destinadas a construcción, ya que los curativos serán objeto de otro trabajo en este número de INFORMES.

# Tratamientos preventivos

Los tratamientos más utilizados antes de la puesta en obra de la madera son los siguientes:

 Tratamiento de superficie. Procedimiento por el que se aplica un protector sobre la superficie de la madera seca mediante brocha, pulverización o inmersión breve, entendiendo como tal, el sistema consistente en sumergir la madera en un baño, que contenga el protector, durante un tiempo comprendido entre 10 segundos y 10 minutos. Con estos métodos se emplean casi exclusivamente protectores de tipo orgánico que tienen una mayor penetrabilidad que los hidrosolubles y las creosotas.

- inmersión prolongada. Tratamiento consistente en sumergir la madera seca en la solución de tratamiento por un período de tiempo superior a 10 minutos. Generalmente suele mantenerse la madera sumergida una hora o más, dependiendo de la especie, dimensiones y humedad de la pieza a tratar y del tipo de protector utilizado, generalmente hidrosoluble o creosota.
- Inmersión caliente-fria. Tratamiento en el que la madera seca se calienta en un depósito de inmersión que contenga la solución de tratamiento (a veces sólo el disolvente o diluyente), llevándose a continuación rápidamente a otro depósito de inmersión, que contenga la solución de tratamiento fría, en la que se mantendrá hasta conseguir la absorción deseada. Existe la alternativa de sumergir la madera en la solución de tratamiento que es calentada y, pasado cierto tiempo, dejada enfriar; la madera absorbe el protector mientras se enfría. Esta última alternativa exige sólo un depósito de inmersión.

Con este sistema se aplican protectores de tipo hidrosoluble y creosotas.

- Vacio-Vacio. Tratamiento que consta de las siguientes operaciones: vacío previo para extraer parte del aire de la madera, inyección del protector volviendo a la presión atmosférica o bien en algunos casos aplicando presiones reducidas (dos atmósferas como máximo) y vacío final con objeto de regular la retención del protector, que siempre es orgánico. Este procedimiento se adapta bien a las necesidades de la madera de construcción, siendo junto a la inmersión breve los más utilizados.
- Tratamiento a presión en autociave. Consiste en hacer penetrar el protector en la madera de forma forzada, aplicando presión en un cilindro cerrado o autoclave. Estos tratamientos se aplican a maderas secas y permiten alcanzar una penetración mayor, por lo que son los más apropiados cuando existe grave riesgo de destrucción. Las diferentes modalidades o variantes de este método, adecuadas a cada caso particular, responde fundamentalmente a los tipos de célula llena y célula vacia. El primero, conocido también como tratamiento Bethell, consta de un vacío inicial que permite extraer parte del aire de la madera, de una posterior invección del protector a presión y, por último, de un vacío final que regula moderadamente la retención, siendo el más adecuado cuando se trata de conseguir retenciones máximas. El segundo, en cambio, se caracteriza porque no se realiza la operación del vacío inicial, que puede ser simplemente eliminada (tratamiento Lowry), o bien sustituida por otra consistente en someter a la madera a una presión inicial antes de ponerla en contacto con el protector (tratamiento Rüping). Los tratamientos de célula vacía permiten, consiguiendo la retención necesaria, evitar exudaciones posteriores en la madera, que no aumente excesivamente el peso de ésta y economizar protector.

# TRATAMIENTOS DE LA MADERA PUESTA EN OBRA

# Angeles Navarrete Varela

Ingeniera de Montes, Jefa del Laboratorio de Ensayos Biológicos de Maderas

Ignacio Seoane y Ortiz de Villajos Ingeniero de Montes

Los tratamientos de la madera puesta en obra pueden ser de dos tipos: preventivos o curativos.

Los tratamientos preventivos tienen como misión proteger la madera, una vez puesta en obra, contra los agentes biológicos (hongos e insectos) que pueden atacarla. Estos tratamientos son necesarios:

- en el caso de edificios antiguos en que la madera no se hubiera podido proteger de forma previa a su utilización por no estar aún desarrollada esta técnica industrial;
- en edificios modernos, en los que por falta de información u otras causas, la madera utilizada no se hubiera tratado previamente.

Los tratamientos curativos tienen por objeto parar la acción de los agentes biológicos destructores y dejar a la madera protegida contra cualquier nuevo intento de ataque.

Las técnicas a seguir, a la hora de aplicar a la madera puesta en obra un tratamiento curativo, son las mismas que para uno preventivo. Por lo tanto, aunque a partir de ahora nos refiramos normalmente a los tratamientos curativos, por ser los que con mayor frecuencia se aplican a la madera una vez puesta en obra, se sobreentiende que todos los conceptos que se expongan, pueden igualmente aplicarse a los tratamientos preventivos de la madera puesta en obra. En este último caso, se eliminarán, como es lógico, las actuaciones encaminadas a determinar los dafios que sufre la madera, las pérdidas de resistencia mecánica de las piezas atacadas y la consolidación de las mismas.

Los tratamientos curativos no pueden desgraciadamente, en ningún caso, devolver a la madera su estado primitivo ni en su aspecto externo ni, sobre todo, en cuanto a su resistencia mecánica. Por este motivo, si la pérdida de resistencia es considerable y no permite a la pleza de madera atacada cumplir la misión que le corresponde, es necesario reemplazaria por un elemento de madera previamente tratada, o consolidaria mediante un sistema que le devuelva la resistencia mecánica perdida

Por tanto, los principios básicos de todo tratamiento curativo son:

 Reconocimiento de todos los elementos de madera y diagnóstico del tipo de daños que presentan e intensidad de los mismos.

- Eliminación o modificación, en la medida de lo posible, de las condiciones que favorecen el desarrollo de los agentes destructores.
- Aplicación de un protector con propiedades curativas, a una profundidad y en cantidad suficiente para que pueda ejercer su acción sobre los agentes degradadores.
- Creación de una barrera protectora contra una nueva posible infección.

Es decir, todo tratamiento curativo, lleva consigo, previo a la aplicación del protector o tratamiento químico propiamente dicho, la adopción de una serie de medidas de saneamiento del edificio.

#### TIPOS DE TRATAMIENTOS CURATIVOS

El tipo de tratamiento a aplicar es función del agente destructor que haya actuado, de las dimensiones de las piezas de madera dafiadas, del volumen total de madera que sea necesario tratar y del tipo de construcción.

Atendiendo al tipo de agente biológico que se quiere combatir, los tratamientos curativos se pueden clasificar en tres grupos:

- Tratamientos contra hongos.
- Tratamientos contra carcomas (Cerambicidos y Anóbidos).
- Tratamientos contra insectos sociales (Termitas).

Aunque rara vez actúa un agente destructor alsiado, sino que por el contrario lo hacen de forma combinada, vamos a proceder, para mayor claridad, a describir los tratamientos de forma independiente, sin olvidar que a la hora de llevar a la práctica dicho tratamiento se deberá elegir un protector que sea a la vez fungicida e insecticida para que sirva para todos los tipos de daños que nos vamos a encontrar, sin olvidar que con este tratamiento también se proteja a la madera contra futuros ataques que pueden ser tanto de hongos como de insectos.

## 1. Tratamientos contra hongos

Dos son los factores que determinan el riesgo que corre una madera puesta en obra de sufrir un ataque por hongos xilófagos: la humedad y la temperatura.

Los hongos son muy poco exigentes en cuanto a la temperatura, ya que se desarrollan entre los 3 y los 40 °C aproximadamente. Su variación influye únicamente en la velocidad de crecimiento, por lo que la temperatura no será, en casi ningún caso, un factor limitativo para este tipo de daños. Sin embargo, los hongos son mucho más exigentes en cuanto a la humedad, ya que necesitan que la del substrato sobre el que se van a desarrollar sea superior a 16-18 %, sin cuya condición su crecimiento se paraliza. Si la falta de humedad persiste, el cuerpo vegetativo del hongo acaba por morir.

Por consiguiente, la primera medida a tomar para eliminar los hongos de una construcción es sanearia eliminando todas las fuentes de humedad anormales (fugas, filtraciones, goteras, etc.) y asegurar una alreación permanente de la madera que impida que su humedad pueda aumentar de nuevo. Hay que tener en cuenta que algunas especies de hongos xilófagos son capaces de abastecerse de la humedad necesaria en lugares relativamente alejados de la pieza en que se está produciendo el ataque. Por consiguiente, no basta eliminar las fuentes de humedad próxima a la zona afectada por la pudrición, sino que es necesario hacerlo también con las lejanas.

Una vez saneado el edificio, la segunda medida a tomar, igualmente importante, es la desinfección del local. Para ello, hay que eliminar todos los tejidos visibles de los hongos, como son los cuerpos de fructificación, las masas miceliares, etc., y los restos de madera atacada; a continuación y una vez comprobada la intensidad del ataque y sustituidas o consolidadas las piezas que lo requieran, se procederá a la elección del tratamiento químico más adecuado.

En dicha elección intervienen el tipo de protector y el sistema de aplicación más adaptado a las necesidades, que dependerá de la superficie de madera a tratar, de las escuadrias de las piezas y del grado de ataque.

Si las piezas de madera no son de gran espesor ni en número excesivo, el protector se aplicará por pincelado a todas las superficies de la madera que pueden ponerse al descubierto. Si la superficie a tratar es grande, la aplicación se realizará por pulverización. Por último, si las piezas a tratar son de gran espesor, para que el protector pueda alcanzar la profundidad deseada, éste se inyectará a presión en unos taladros practicados al efecto, al mismo tiempo que se tratarán por pincelado o pulverización todas las superficies laterales de las piezas para impedir que a través de ellas pueda iniciarse una nueva infección.

# 2. Tratamiento contra las carcomas

Las carcomas son insectos de ciclo larvario, es decir, que a lo largo de su vida pasan por los tres estados de huevo, larva y aduito, no existiendo ningún factor ambiental que condicione su desarrollo, como ocurría en el caso de los hongos. Por consiguiente no es posible tomar ninguna medida de tipo constructivo o de saneamiento que ayude a la erradicación de dichos organismos, limitándose el tratamiento a la aplicación de un protector químico con propiedades curativas que destruya las larvas que se encuentran en el interior de las galerías perforadas en la madera. El problema que se plantea en este tratamiento es obtener la penetración necesaría del protector, que dependerá de la sección de las piezas a tratar, de la permeabilidad de la madera objeto del tratamiento y de la profundidad dei ataque.

Los insectos de ciclo farvario que atacan con mayor frecuencia a la madera de las construcciones son: la carcoma grande, insectos de la familia Cerambicidae que normalmente atacan a las estructuras de madera, y la carcoma, coleópteros de la familia Anobidae, que aunque generalmente atacan a la madera de decoración (artesanados, puertas, etc.), no es raro encontrarlos produciendo graves daños en elementos estructurales unidos siempre a una pudrición más o menos desarrollada

 Tratamiento de una estructura atacada por carcoma grande (Cerambicidos).

Al aplicar un tratamiento curativo a una estructura de madera atacada por carcoma grande, lo primero que hay que determinar es la profundidad a la que se encuentran las larvas que hay que destruir.

Esta profundidad depende del espesor de la pieza de madera y de la antigüedad del ataque. Este se inicia generalmente en la periferia de la pieza, propagándose, con el tiempo, en profundidad. Puesto que es prácticamente imposible conocer, a priori, la antigüedad de un ataque, la elección del tratamiento a aplicar se plantea únicamente en función del espesor de las piezas de madera, como se ha indicado al hablar del tratamiento contra hongos. En este caso la penetración y difusión del protector se realiza además de por los circuitos naturales de distribución de la madera (vasos, traqueidas, radios leñosos), por la red de galerías en las que el serrín acumulado por las larvas hace de mecha.

En los casos en que el ataque se ha desarrolado fuertemente en la periferia de la pieza, es frecuente que, bajo una fina película externa, la madera esté prácticamente reducida al serrin que rellena una red de galerías de paredes extremadamente frágiles. La capa inerte puede retener una cantidad considerable de protector que se desperdicia totalmente y puede perjudicar seriamente la eficacia del tratamiento. Por lo tanto, es muy importante eliminarla, si es posible, antes de aplicar el tratamiento.

Esta operación de desbastado se realiza mediante un cepillo de púas, y es bastante delicada ya que sólo debe afectar a las partes que hayan perdido toda resistencia mecánica, sin afectar a la madera sana.

El desbastado tiene por misión dejar al descubierto las partes sanas de la estructura y facilitar la evaluación precisa de los daños y la importancia de las consolidaciones a efectuar. Este desbastado perjudica con frecuencia, al aspecto estético de las piezas de madera, por lo que en muchos casos no puede practicarse (vigas vistas, carpinterías de valor histórico, etc.). En otros, es necesario reconstruir la viga afectada, recubriéndola de una chapa de madera sana de la misma especie, previamente tratada, como indicamos anteriormente, o utilizando algún procedimiento a base de resinas sintéticas.

En el caso en que no pueda realizarse el desbastado y que el ataque superficial sea intenso, se debe practicar un cuidadoso sondeo que nos permita valorar y localizar los daños de forma precisa para poder tomar decisiones respecto a la solidez de la estructura. Es asimismo necesario tener en cuenta que, en este caso, el tratamiento de superficie necesita un aporte de protector notablemente superior al normal y tanto mayor cuanto más espesa sea la capa inerte de serrín apelmazado.

#### 2.2. Tratamiento contra la carcoma (Anóbidos).

En el caso de que la madera atacada por la carcoma forme parte de la estructura, se actuará de igual forma que con la carcoma grande, pero sin olvidar que estos insectos no dejan las galerías llenas de serrín y que su ataque va siempre ligado a una pudrición más o menos avanzada.

La madera de carpintería tanto interior como exterior presenta ciertas características que la diferencian de la estructural, como por ejemplo, presentar normalmente secciones menores, que una o varias caras de la pieza sean inaccesibles, que las caras accesibles están cubiertas por pinturas o barnices, etc., por consiguiente

su tratamiento también deberá tener características diferentes.

Al no tener acceso a la madera debido a las condiciones de su puesta en obra, anteriormente expuestas, para la introducción del protector en su interior es necesario recurrir a la red de galerías practicadas por las larvas. A esta red de galerías se accede a través de los orificios de salida de los adultos de las generaciones precedentes.

El tratamiento consistirá, por tanto, en la Inyección del protector, a través de un cierto número de orificios de salida de los Insectos adultos. Cuando sea posible se procederá además al decapado de las superficies accesibles para, una vez puesta la madera al desnudo, tratarla por pincelado o pulverización.

En los casos en que no pueda realizarse el decapado (carpinterías de valor artístico, artesonados, policromados, etc.), es imprescindible desmontar todas las piezas de madera para aplicar el tratamiento por las caras ocultas.

Cuando estas maderas de gran valor artístico o histórico estén muy dafiadas es necesario, después de aplicar el tratamiento curativo, proceder a su consolidación mediante la inyección en la red de galerías de resinas u otros materiales adecuados.

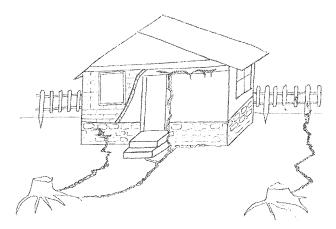
# 3. Tratamientos contra ataques de insectos sociales.

Los insectos sociales que en España dañan las estructuras de los edificios son fundamentalmente las termitas. Por ello, al hablar de estos tratamientos curativos nos centraremos en la lucha contra las termitas y, más concretamente, contra las del género Reticulitermes que son las realmente peligrosas en nuestro país.

De la biología de estos insectos se deduce que, puesto que anidan en el suelo y suben a comer a la madera de los edificios no basta, como en el caso de los insectos de ciclo larvario, aplicar un tratamiento químico a la madera afectada, sino que es necesario impedir que continúe la invasión del edificio por nuevos individuos.

Para ello hay que conocer en primer lugar cómo se produce la invasión y qué condiciones la facilitan y favorecen. (Fig. 1).

Esta invasión se realiza, generalmente, a través de galerías subterráneas, a veces de gran recorrido, que parten



de un cierto foco de infección (nido o termitero). Este puede ser un tocón o cualquier madera o resto vegetal enterrado en el suelo, o bien, otro edificio próximo ya atacado.

En muy raras ocasiones la contaminación puede producirse por el vuelo en enjambre, mediante el cual un macho y una hembra forman una nueva colonia en un lugar favorable de la edificación.

Para que esta invasión se realice y las termitas lleguen a dañar seriamente la estructura de un edificio, es necesario que en ella exista un elevado grado de humedad, condición indispensable para estos insectos, o la existencia de una fuente de agua relativamente cercana a la zona atacada.

Una vez hechas estas consideraciones, vamos a estudiar una a una todas las medidas a tomar para dejar un edificio libre de termitas y protegido contra una nueva invasión.

Estas medidas son:

- Medidas de saneamiento.
- Medidas estructurales.
- Alsiamiento del edificio mediante una barrera quimica.
- Tratamiento quimico del maderamen.

#### 3.1. Medidas de saneamiento.

Las principales medidas de saneamiento son:

- 1.º) Evitar el exceso de humedad atacando las causas que la producen, mediante drenaje del suelo, corrección de las filtraciones, reparación de goteras y mejora de las condiciones de aireación.
- 2.º) Destruir todas las galerías terrosas o chimeneas externas que se observen en los paramentos interiores o exteriores de los muros de la planta baja, o en cualquier otra parte del edificio.

#### 3.2. Medidas estructurales.

Estas medidas tienen por objeto interrumpir todo contacto del maderamen del edificio con el suelo. Las más importantes son las siguientes:

- 1.º) Seccionar por su parte inferior y apoyar en pilastras de hormigón que se eleven, por lo menos, 15 cm sobre el nivel del suelo todas las piezas de madera que estén en contacto con él y se hallen en buen estado de conservación.
- 2.º) Relienar con mortero de cemento, brea o un producto similar los intersticios, grietas y juntas de dilatación de la mampostería o de la sillería, que estén por debajo del maderamen.

Si se cumplen estas medidas, los termes del suelo no podrán alcanzar la madera, a no ser que construyan chimeneas sobre los paramentos de los muros, pilastras, etc. que se ven a simple vista y pueden eliminarse directamente.

#### 3.3. Aislamiento del edificio mediante una barrera quimica.

Las medidas estructurales y de saneamiento descritas anteriormente dificultan la invasión del edificio por las termitas, pero no son suficientes para impedirla totalmente. Deben ir acompañadas de la creación de una barrera química formada por un potente insecticida, que no sólo ponga impedimentos físicos a la entrada de los insectos, sino que mate a las termitas que intenten sobrepasarla.

Para crear esta barrera es necesario tratar con un insecticida apropiado al suelo contiguo a los muros y pilares, el que rodea las conducciones de agua y electricidad, etc., así como las bases de los muros y otras zonas de los mismos que sean sensibles al ataque de las termitas.

#### 3.4. Tratamientos químicos del maderamen

Una vez creada la barrera que impide la entrada de nuevos individuos al edificio, es necesario tratar toda la madera atacada, no sólo para impedir que prosiga el ataque, sino para evitar que los grupos de insectos que se encuentran en ella puedan constituir una nueva colonia y a partir de ella iniciar el ataque de otras partes del edificio o acudir en busca de comida a otros edificios cercanos.

El tratamiento de todo el maderamen in situ, tiene también como misión dejar a la madera protegida contra otra posible contaminación no sólo de termitas, sino de cualquier otro agente biológico que pueda atacarla.

Si se trata de piezas de gran escuadría, el tratamiento del maderamen se hace igual que en el caso de ataque por carcoma grande. Si, por el contrario, el ataque está localizado en la carpintería interior o exterior, el tratamiento se hace igual que contra la carcoma.

En el caso del tratamiento de estructuras, hay que tener un cuidado especial con las cabezas de las vigas. Al tratarse de las zonas de la pieza de madera normalmente más húmedas, el ataque es ahí más intenso, por ello, en muchos casos, aun cuando el resto de la viga esté en buen estado, es necesario sustituir los extremos por un nuevo trozo de madera, previamente impregnado o bien mediante un sistema más moderno a base de resinas y varillas de fibra de vidrio y poliéster.

# 3.5. Tratamiento de edificios adosados

La técnica de lucha contra las termitas que acabamos de exponer se refiere al caso de un edificio aislado. Si, por el contrario, nos encontramos con una construcción invadida de termitas que está adosado a uno o varios edificios más, es inútil plantear el tratamiento de dicha construcción aisladamente, puesto que las termitas pueden seguir accediendo a las partes superiores del edificio utilizando los muros de los inmuebles contiguos que no se han tratado.

En este caso, la lucha contra las termitas debe organizarse dentro de un programa conjunto que englobe todos los edificios de una misma manzana, como mínimo.

र्थ थे थे

# CONSOLIDACION DE ESTRUCTURAS DE MADERA MEDIANTE LA TECNICA BETA

Como se ha indicado anteriormente, un complemento fundamental de los tratamientos curativos es la comprobación de la resistencia mecánica de las piezas de madera atacadas por los diferentes agentes destructores y, en caso de ser necesario, su sustitución o consolidación mediante un sistema adecuado que nos permita mantener en pie la estructura del edificio.

Un sistema muy eficaz de consolidación es el conocido como «Técnica Beta», que trata en esencia de sustituir en las piezas de madera las partes degradadas por una masa de mortero epoxi, formada por una resina y una cantidad variable de arena, dejando en su lugar las partes sanas. Tras la polimerización de la resina el mortero adquiere una gran resistencia.



Degradación de una estructura de madera.

Esta técnica estudiada por el profesor holandés M. Klapwijk y desarrollada experimentalmente por el Laboratorio Central para las Artes y la Ciencia de Amsterdam y el Servicio Oficial para la Protección de los Monumentos Históricos, ha sido ampliamente empleada en Europa.

En España como obras de restauración más significativas donde se ha aplicado esta técnica, destacan: el Instituto Verdaguer de Barcelona y el Palacio de Santa Cruz de Valladolid.

# Fundamento de la Técnica Beta y materiales empleados

Básicamente esta técnica consiste en la sustitución de la madera deteriorada, que ha perdido su capacidad mecánica original, por un nuevo material capaz de restablecer en la pieza las funciones de resistencia perdidas debido a su degradación.

Los materiales utilizados en esta Técnica son la anteriormente citada Resina Epoxy y varillas de fibra de vidrio y poliéster, cuyas características mecánicas se detallan a continuación.

#### Rexina epoxi

Esta resina tiene unas características idóneas para poder obtener un comportamiento mecánico muy similar al de la madera, ya sea en estado puro o bien en forma de mortero cuando se utiliza junto con áridos de granolometría muy específica.

#### Características técnicas:

Tensión	admisible	а	compresión	 250	kg/cm	2

Otras propiedades que posee este material, y que le hace especialmente idóneo para su uso en esta Técnica, son:

- Gran adherencia a la madera.
- Coeficiente de dilatación térmica muy bajo.
- Impermeabilidad, evitando así la condensación interna de agua.
- Se le añade además un protector que evita la descomposición de la madera en la superficie de contacto.

#### Varillas de fibra de vidrio

Es el otro elemento fundamental utilizado en esta técnica; su misión es análoga a la del acero en las construcciones de hormigón armado. Estas varillas están pretensadas y reforzadas con poliéster, en una proporción de un 60% de fibra de vidrio y un 40% de poliéster y poseen una alta resistencia a la flexo-tracción. Básicamente las funciones que desempeñan son:

- Absorber los esfuerzos cortantes y las solicitaciones a tracción.
- Ser elemento de conexión entre el mortero de resina epoxí y la madera sana.

Su disposición y número variará en cada caso según el elemento estructural de que se trate.

## Características técnicas:

******	Tensión	admisible a	a compresión	1.685	kg/cm <sup>2</sup>
**********	Tensión	admisible a	a tracción		kg/cm <sup>2</sup>
*******	Tensión	admisible a	a flexión	2.375	kg/cm <sup>2</sup>
*******	Tensión	admisible a	a cortadura	136	kg/cm <sup>2</sup>
******	Módulo	de elasticid	ad	420.000	kg/cm <sup>2</sup>

A título orientativo se citan a continuación los valores de las tensiones admisibles y módulos de elasticidad de las maderas que han sido más ampliamente utilizadas en construcción como son el pino silvestre y el roble:

	Pino silvestre kg/cm²	Roble kg/cm²
- Tensión admisible a tracción	110	120
— Tensión admisible a compre- sión	110	120
— Tensión admisible a flexión	120	130
— Tensión admisible a cortadura.	10	12
— Módulo de elasticidad	100.000	100.000

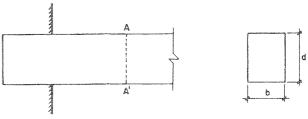
#### Bases de cálculo

La Técnica Beta está basada en el método elástico para el cálculo de las tensiones que se producen en toda estructura de madera, así como para obtener la sección necesaria de las varillas para absorber dichas tensiones.

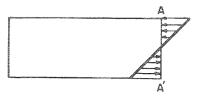
Se admiten, para ello, dos hipótesis de cálculo:

- La deformación plana de la sección.
- La distribución de las tensiones de compresión en forma triangular.

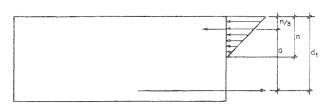
Analicemos el caso de la consolidación del cabezal de una viga en un forjado de madera.



El diagrama de tensiones para una carga de uso dada, de acuerdo con las hipótesis de cálculo aceptadas será:



Al introducir las varillas, suponemos que éstas absorben los esfuerzos de tracción.



## Sea:

 $\sigma_{\rm v}$ : = tensión de tracción admisible de las varillas

σ<sub>m</sub>: = tensión de compresión admisible de la madera

E<sub>v</sub>: = módulo de elasticidad de las varillas

E<sub>m</sub>: = módulo de elasticidad de la madera.

El momento resistente de la madera será:

$$\sigma_{m}\cdot \frac{b\cdot n}{2}\cdot a$$

Siendo n: profundidad de la fibra neutra y

$$a = d_1 - \frac{n}{3}$$

El momento resistente de las varillas será:

$$\sigma_{\mathsf{v}}$$
 · S $_{\mathsf{v}}$  · a

La condición que deben cumplir las varillas en todo momento es:

$$\sigma_{\!\scriptscriptstyle V}\cdot S_{\!\scriptscriptstyle V}\cdot a\!\geq\!\sigma_m\cdot \frac{b\cdot n}{2}\cdot a$$

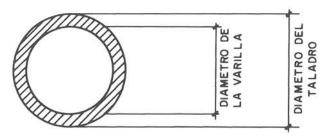
Obteniendo la superficie económica de varillas cuando se verifica

$$\sigma_{v} \cdot S_{v} \cdot a = \sigma_{m} \cdot \frac{b \cdot n}{2} \cdot a$$

Luego la superficie de varillas necesaria será:

$$S_v = \frac{\sigma_m}{\sigma_v} \cdot \frac{b \cdot n}{2}$$

La longitud de anclaje de las varillas en la madera sana se obtiene basándonos en la hipótesis de que las varillas absorben el esfuerzo cortante



Luego se verificará:

$$\frac{0}{\pi \cdot \varnothing \cdot 1} \leq \sigma_{\text{adm}}$$

La longitud de anclaje de las varillas en la madera sana será:

$$L = \frac{Q}{\pi \cdot \varnothing \cdot \sigma_{adm}}$$

siendo Q: esfuerzo absorbido por las varillas

Ø: diámetro de las varillas

 $\sigma_{\rm adm}$ : tensión admisible a la adherencia entre la madera y la resina.

Para el dimensionamiento de las varillas, así como para el cálculo de su longitud de anclaje, existen ábacos que en función de una serie de variables, nos dan estos valores.

Así en función de la tensión admisible para la madera, que depende de la especie de que se trate, y de la razón entre los módulos de elasticidad de la varilla de poliéster y la madera, según sea el valor de:

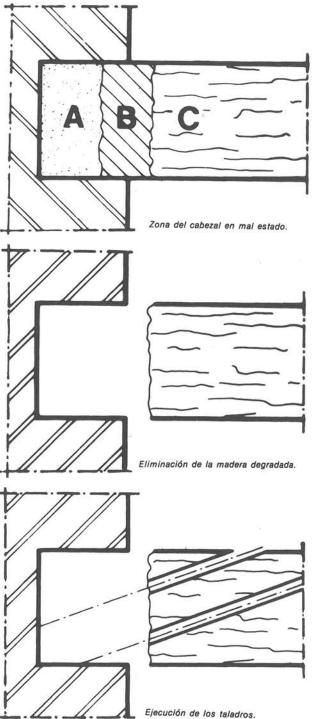
$$\sigma_{\rm m} \cdot \frac{{\rm n \cdot b}}{2}$$

obtenemos el porcentaje de superficie de varillas necesarias sobre la superficie del canto de la pieza de madera que se trata de restaurar. Con este valor obtenido fijamos el diámetro de las varillas así como su número. Un segundo grupo de gráficos nos proporciona la longitud de empotramiento de las varillas en la madera sana en función del esfuerzo cortante admisible de la madera, la carga admisible de las varillas y el diámetro de éstas.

#### Técnica de trabajo

Refiriéndonos al caso concreto de la restauración de un forjado de madera, en el que el tejido leñoso se encuentra degradado en las zonas de empotramiento, el primer paso es determinar la profundidad del ataque, operación que se puede realizar mediante la toma de muestras con una barrena de 10 mm de diámetro.

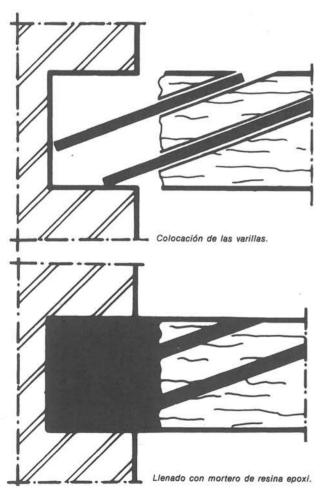
Una vez determinada la profundidad del ataque y habiendo sido la estructura convenientemente apuntalada se procederá a la eliminación completa de la parte dañada, para conseguir una buena adhesión entre la madera sana y la resina.



Una vez realizada esta operación, se efectúan los taladros. Si fuera posible éstos deben hacerse horizontales, taladrando la viga desde la pared o muro de sustentación, posibilidad que se da en muy pocos casos, por lo que éstos normalmente se realizan desde el canto superior de la viga en dirección al empotramiento, con un ángulo no superior a 20°.

Cuando tenga que efectuarse más de un taladro, éstos deben hacerse de acuerdo con las especificaciones siquientes:

- Longitud mínima de anclaje en la madera: 30 cm.
- Longitud mínima de anclaje en la resina:
   15 cm
- Distancia mínima entre varillas: 9 cm
- Distancia mínima entre la varilla y la superficie de la viga:
- Diámetro de los taladros: diámetro de la varilla + 8 mm.



Una vez realizados los taladros e introducidas las varillas de polléster, se procede al encofrado, debiéndose efectuar un cierre de juntas apropiado para evitar fugas. Todas las juntas entre el encofrado y la madera deben cerrarse con un material adecuado como la arcilla. El material de cierre así como el de encofrado debe tratarse con un repelente superficial de la resina como puede ser la cera, de elevado punto de fusión.

El paso siguiente es el vertido del mortero de resina epoxi.

Los materiales de relieno constituyen un verdadero cemento de resina y diferentes áridos, como arena, polvo de cuarzo y gravilla, todo ello mezclado en proporciones y granulometrias bien determinadas.

El espacio libre de los orificios donde están colocadas las varillas de poliéster es rellenado con la misma mezcla de resinas, pero sin áridos.

Todos los componentes del mortero deben mezclarse hasta que se produzca la homogeneidad de la mezcla. El tiempo mínimo para conseguir esta homogeneización es de 3 minutos. La mezcla obtenida de esta forma tiene una vida de trabajo de unos 30 minutos. Durante el vertido se puede batir y consolidar la mezcla, pero una vez que comienza el fraguado no debe hacerse ninguna de las dos operaciones.

Después del vertido y hasta que no termine el fraguado la mezcla debe protegerse de la lluvia, nieve, etc. Si se esperan temperaturas inferiores a 5 °C debe también proteger con materiales aislantes.

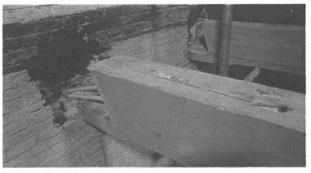
Una vez que se produce el fraguado del mortero epoxi se puede retirar el encofrado, observando las medidas siguientes:

- Después de diez días si la temperatura media es inferior a 10 °C.
- Después de cinco días si las temperaturas medias varían entre 5 °C y 10 °C.
- Después de diez días si la temperatura media es inferior a 5 °C.

Seguidamente se procede al acabado superficial final, dependiente de criterios estéticos.



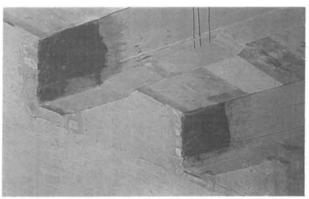
Forjado en fase de restauración



Introducción de las varillas una vez eliminada la madera atacada  $\gamma$  efectuados los taladros.



Vertido del mortero de resina epoxi



Viga consolidada con esta Técnica.

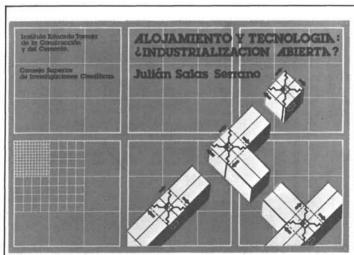
Otras importantes aplicaciones de esta Técnica, aparte de la restauración de todo tipo de piezas de madera

degradadas, las encontramos en la rigidización y disminución de la flecha, en el caso de vigas, mediante la construcción de una armadura interna a todo lo largo de éstas, con varillas de poliéster y resina epoxi, o bien en la construcción de los ensamblajes en las construcciones de madera de nueva planta, evitando así la utilización de los elementos metálicos.

#### Las principales ventajas que presenta esta Técnica son:

- Buen comportamiento mecánico de los materiales empleados con una excelente unión a la madera.
- Es impermeable, evitando la condensación del agua.
- Gran simplicidad en la ejecución.
- Permite conservar procedimientos y tipologías constructivas de épocas pasadas, conservando su valor histórico y artístico.
- Evita el desmontaje y posterior reconstrucción al ser una técnica que se aplica in situ.
- No precisa ningún tipo de mantenimiento posterior. con el consiguiente ahorro económico.
- Mejora estética respecto a otros métodos al no hacerse refuerzos.
- Permite un ahorro considerable de tiempo en la ejecución de la obra.

수 수 수



# **ALOJAMIENTO Y TECNOLOGIA:** INDUSTRIALIZACION ABIERTA?

JULIAN SALAS, ING. IND. (I.E.T.c.c.)

Un volumen de 160 páginas, 109 figuras y 16 tablas. Tamaño 240 x 168 mm. Encuadernado en rústica. Precios: España, 1.200 ptas; extranjero, 17 \$ USA.

#### SUMARIO:

Prólogo Prof. G. Ciribini.

# Introducción

Capítulo 1.-La industrialización en las proclamas y manifiestos de arquitectura.

Capítulo 2. - ¿Réquiem por la construcción industrializada?

Capítulo 3. - Algunos conceptos básicos.

Capítulo 4.-¿Proyecto tradicional, construcción industrializada?

Capítulo 5. - Componentes.

Capítulo 6. - La coordinación dimensional hoy.

Capítulo 7.-Flexibilidad, intercambiabilidad y catálogos.

Capítulo 8. - Industrialización, normativa y calidad.

Capítulo 9. - Reflexiones finales.

# publicación del

**INSTITUTO EDUARDO TORROJA**