

Estructura de madera de una nave, tras el fuego.

Diferente estado que muestra la madera y el metal de elementos empleados en construcción, tras el fuego.

Seguridad y protección de la madera frente al fuego y ataques bióticos

D. JOSE ANTONIO RODRIGUEZ BARREAL

*Dr. Ingeniero de Montes.
Prof. Titular de Patología Forestal
y Conservación de Maderas.
Escuela Técnica Superior de Ingenieros
de Montes de Madrid.*

A lo largo de los siglos el hombre ha empleado la madera de diversas formas, conducentes todas ellas al incremento de su desarrollo.

Como elemento indispensable en la fabricación de armas y como combustible, supuso en cierto grado la pervivencia de la especie humana en los inicios de su devenir evolutivo. Por otra parte, tuvo una gran importancia en la conquista de las masas acuáticas, el descubrimiento de nuevas tierras y pueblos, así como un gran peso en la construcción, pudiéndose formar una larga lista de usos a lo largo del tiempo que incidirían en la práctica totalidad de los sectores que conforman la vida humana, por lo que se podría considerar a la madera como un seguro de su evolución.

Aun cuando la madera sigue teniendo actualmente una gran impor-

tancia, a partir de mediados-finales del pasado siglo aparecen varios hechos tendentes a la reducción de la importancia de este material, como son:

- a) Decremento de la oferta de madera como consecuencia de incendios y guerras.
- b) El crecimiento demográfico, que supuso un incremento de las ciudades y unas mayores necesidades de producción de alimentos, todo lo cual redundó en detrimento de la superficie arbolada y, por tanto, de la producción de madera.
- c) Empleo de nuevos materiales competitivos con la madera en el importante campo de la construcción.

Por otra parte, la falta de respuesta a ciertos problemas, tales como su combustibilidad o la acción



Capa carbonosa en una puerta sometida a la acción del fuego.

La situación actual en España del mercado de la madera destinada a carpintería de construcción (segundo sector mundial de empleo de la madera en el mundo) incide en la gran importancia del tratamiento preventivo de la madera a fin de incrementar la seguridad de uso y evitar las reposiciones anticipadas, de alto coste.

de los agentes xilófagos, originó un descenso de la confianza en este material, es decir, la falta de seguridad de la madera frente al fuego y agentes bióticos deteriorantes propició una apreciable merma de su empleo en distintos sectores en los que su uso era tradicional. Todo ello originó una cierta reacción en algunas áreas de la sociedad, iniciándose investigaciones a fin de mejorar este material. Entre los estudios realizados hasta el momento presente se deben resaltar:

- 1) Comportamiento de las distintas especies de madera frente a los agentes abióticos y bióticos destructores, en función de su estructura, composición, zonas de la madera, etc.
- 2) Desarrollo de diversos procesos tendentes al incremento de la seguridad de la madera frente a los citados agentes de deterioro, principalmente mediante su impregnación con productos químicos.
- 3) Desarrollo de nuevas tecnologías tendentes a la creación de productos derivados de la madera que, paralelamente, suponen un ahorro de ésta.

De esta forma, en la actualidad la madera alcanza de nuevo gran importancia, cortándose anualmente en el mundo entre 2.700 y 2.900 millones de metros cúbicos, dando trabajo a una importante tasa de población. Los principales sectores a los que va destinada son:

- Combustión, 41 por 100.
- Construcción, (incluida la carpintería), 33 por 100.
- Celulosa y papel, 16 por 100.
- Otros usos, 10 por 100.

En España, el consumo aparente de madera (producción+importación - exportación) se aproxima a los 16 millones y medio de metros cúbicos, de los que un 34,38 por 100 se destina a carpintería y construcción (*Anuario Estadístico Agrario 1985*). Las importaciones de madera supusieron un 42,66 por 100, gravando sensiblemente nuestra balanza económico-comercial.

Dada la importancia que el sector construcción representa para la madera, tanto desde el punto de vista cuantitativo como de seguridad, se hará siempre referencia a él al tratar de este material.

AGENTES DE DETERIORO

Como consecuencia del incremento de la demanda de madera por el mercado y el mantenimiento, cuando no la retracción de la oferta, se producen dos hechos en detrimento de su seguridad:

- A) Un empleo indiscriminado de especies de madera, sin consideración alguna del lugar de emplazamiento y, consecuentemente, del grado de agresividad a soportar.
- B) Un empleo masivo de madera de albura en exposiciones donde tradicionalmente se utilizaba la de duramen, de mayor resistencia natural a los agentes de deterioro.

De forma general, los principales agentes de deterioro, así como los daños que originan, se recogen en el siguiente cuadro:

CUADRO 1: AGENTES DE DETERIORO DE LA MADERA PUESTA EN SERVICIO		
AGENTES DE DETERIORO		TIPOS DE DAÑOS QUE OCASIONAN
ABIÓTICOS	Lluvia y humedad	Decoloración; cambios dimensionales; descenso de las propiedades físico-mecánicas.
	Luz solar	Decoloraciones; fotodegradación.
	Fuego	Pérdida de resistencia por descenso de la sección; destrucción total.
BIÓTICOS	Bacterias	Incremento de la permeabilidad a los líquidos, originando posteriores cambios dimensionales.
	Xilófagos marinos	Pérdida de propiedades físico-mecánicas de la madera en contacto con el agua de mar.
	Insectos xilófagos	Pérdida de propiedades físico-mecánicas, pudiendo llegarse a la destrucción total.
	Hongos de pudrición	Daños semejantes, en cuanto a importancia, a los causados por los insectos xilófagos.
	Hongos cromógenos	Cambios de coloración y ligeras pérdidas de resistencia.

LA MADERA Y EL FUEGO

En el incremento de la seguridad de la madera frente al fuego se deben de considerar preferentemente los siguientes tres puntos:

I. Comportamiento de la madera y estructuras de este material frente al fuego

La madera, pese a la «mala prensa» que tiene en relación con el fuego, sin embargo, presenta una baja conductividad térmica, formándose al iniciarse su combustión una capa carbonosa de menor conductividad aún (0,5 por 100 de la que presenta la madera). Por estas razones, la penetración del fuego en la madera es de baja cuantía, estando en relación, sobre todo, con el espesor de la capa carbonosa formada, y realizándose la pirólisis que acompaña a su combustión inicialmente tan sólo en estrechas zonas paralelas a su superficie, limitadas por la temperatura alcanzada.

Hasta 200°C.—Tan sólo se producen reacciones ligeramente exotérmicas. A los 100°C se puede apreciar una ligera carbonización superficial en ciertos casos. Se da un desprendimiento de CO₂, vapor de agua, CH₃-COOH, etc.

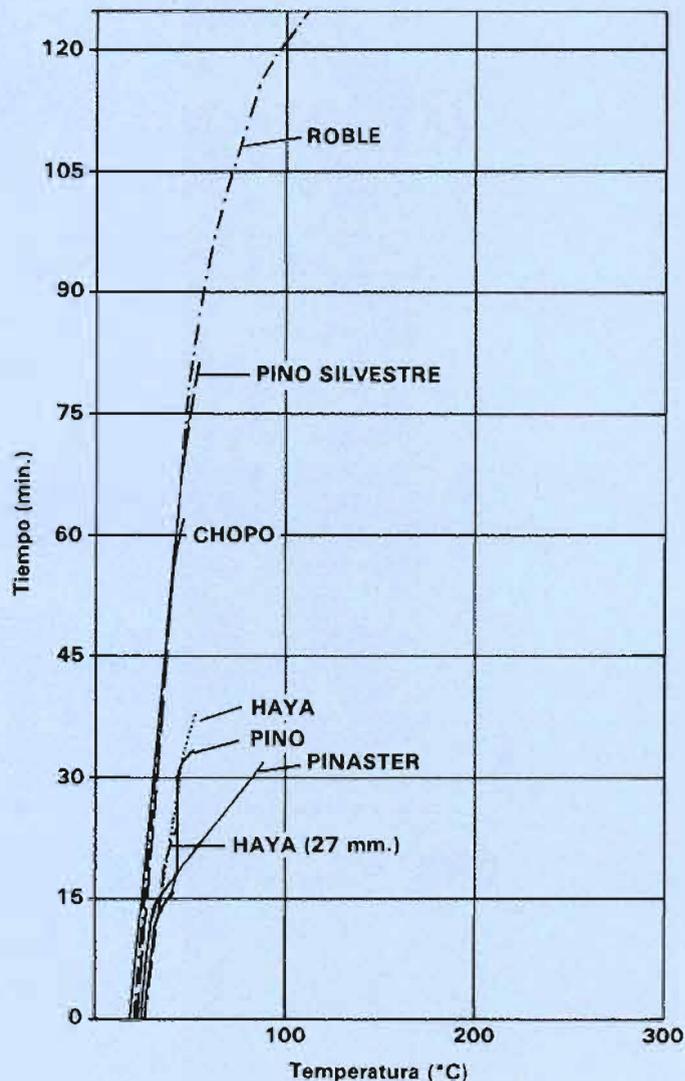
De 200 a 280°C.—Las reacciones se hacen aún más exotérmicas, apareciendo a los 280°C llamas en la madera de forma espontánea (punto de ignición).

De 280 a 500°C.—Se produce ya una pirólisis de importancia y exotérmica, desprendiéndose gases y vapores a través de la capa superficial carbonosa formada y en desarrollo. Tras aparecer la llama, ésta tiende a disminuir e incluso a desaparecer, debido a la citada capa carbonosa, hasta que la pirólisis alcanza capas más profundas. En tanto los gases expulsados de la madera (no combustibles) puedan cubrir el oxígeno de su superficie se sigue incrementando la capa carbonosa protectora, ralentizándose la penetración de la temperatura en su interior. Por otra parte, conforme la madera alcanza mayor temperatura, el oxígeno va ganando la capa carbonosa, produciéndose a los 500°C una combustión continua, con llamas de color rojo cereza.

Temperatura superior a los 500°C.—La combustión de la madera continúa, apareciendo a los 950°C llamas de color rojo cereza.

Es de gran importancia diferenciar entre lo que es reacción y resistencia al fuego, términos frecuentemente

GRAFICO 1.—Curvas temperatura-tiempo de diversas especies de maderas sometidas a la acción del fuego.



confundidos. La reacción al fuego de una madera indica su comportamiento frente a éste, mientras que la resistencia es un término indicador del tiempo que una estructura, sometida a la acción del fuego, mantiene sus características resistentes.

La reacción al fuego de una madera nos indica su grado de combustibilidad, el cual dependerá de varios factores, como son, entre otros:

- Poder calorífico. La madera, al presentar un poder calorífico práctico superior a los 600°C, se considera material combustible, aun cuando varía grandemente en función del grado de humedad, densidad, cantidad de materias extractivas (resinas, etc.).
- Inflamabilidad: Función del gra-

do de humedad de la madera, cantidad de aire en el entorno, constitución y punto de inflamación.

- Velocidad de propagación de la llama. Dependiente de la humedad, densidad y cantidad de productos extractivos presentes, aunque se toma como valor medio 0,7 mm/min.

Los distintos materiales y, por tanto, especies de madera, en cuanto a su reacción al fuego se refiere, se clasifican en los siguientes grupos:

Incombustibles	M-0
(No se da en la madera)	
No inflamables	M-1
Difícilmente inflamables	M-2
Medíamente inflamables	M-3
Fácilmente inflamables	M-4
Muy inflamables	M-5

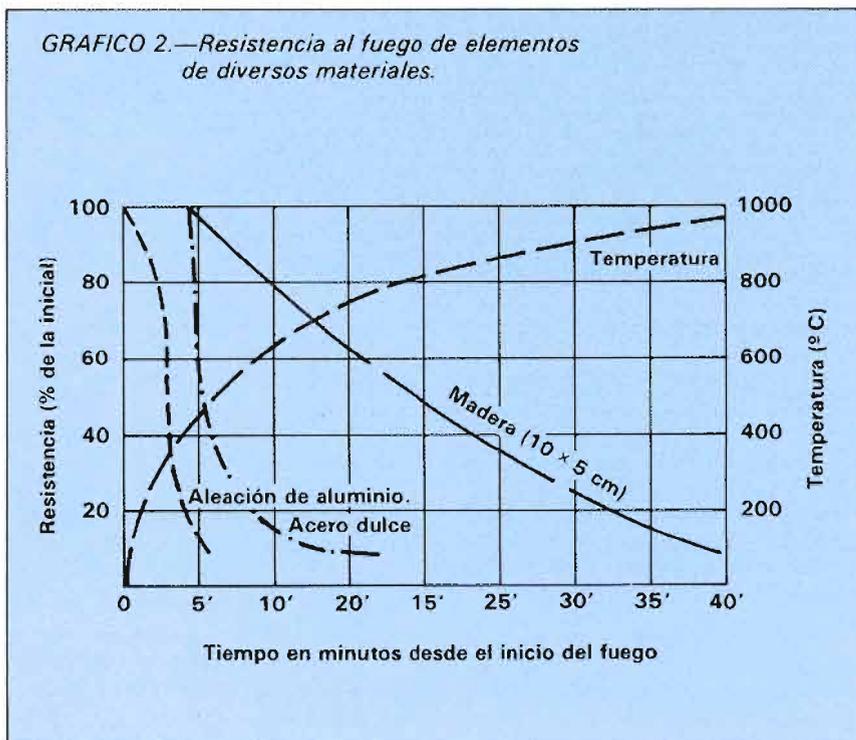
CUADRO 2: REACCION AL FUEGO DE ALGUNAS MADERAS DE ESPECIES NACIONALES				
ESPECIES	CLASIFICACION	HUMEDAD (%)	FRONDOSA O CONIFERA	ESPESOR (mm)
Pinus pinaster	M-4	11,5	Conifera	27
Pinus sylvestris	M-4	14,4	Conifera	67
Fagus sylvatica	M-4	11,2	Frondosa	27
Quercus robur	M-3	18,7	Frondosa	70
Populus sp.	M-4	12,8	Frondosa	70

Fuente: Laboratorio del Fuego del I.N.I.A.

Las maderas de frondosa con espesores inferiores a 15 mm se clasifican M-4, mientras que si superan

este grosor son M-3. Igualmente ocurre con las maderas de coníferas para el grosor de 18 mm.

CUADRO 3: RESISTENCIA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES SEGUN SU ESPECIE DE MADERA					
GRUPOS					
RESISTENCIA MUY ELEVADA	RESISTENCIA ELEVADA	RESISTENCIA MEDIANA	RESISTENCIA BAJA	RESISTENCIA MUY BAJA	RESISTENCIA EXTREMAMENTE BAJA
No existentes en España	Fresno Haya Castaño Roble P. pinaster	P. silvestre Abedul	Olmo Nogal Picea	Abeto Chopo Sauce	No existentes en España



En cuanto a la resistencia al fuego de las estructuras de madera, depende de varios factores, entre los que se pueden citar:

- Especie de madera. Se consideran seis grupos diferentes, encuadrándose las maderas nacionales, integrantes de estruc-

turas o elementos de éstas, en las cuatro centrales, tal como se indica en el Cuadro 3.

- Grosor de la capa superficial carbonosa formada.
- Intensidad y tiempo de mantenimiento de la fuente calorífica.
- Renovación del oxígeno ambiental.

Dado que la velocidad de penetración del fuego en la madera es de 0,7 mm/min y considerando que las estructuras de madera sometidas a la acción del fuego fallan por pérdida de sección, el conocimiento del espesor del elemento nos puede dar el de su resistencia al fuego.

Al estar sometidas las estructuras de madera a distintos tipos de cargas y sollicitaciones, puede ser de interés el cálculo de la carga de rotura de un elemento estructural cuando la estructura se somete a la acción del fuego. Dicha carga se puede calcular por la fórmula

$$P = 0,6 E \cdot I / (L/d)$$

donde

- P = Carga de rotura (H Kg/cm²)
- E = Módulo de elasticidad de la madera
- I = Momento de inercia
- L y d = Longitud y diámetro del elemento.

La velocidad de avance de la llama en los productos derivados de la madera es inferior o igual a la que alcanza en ella. En madera laminada encolada y tableros contrachapados es de 0,55 mm/min; en tableros aglomerados, de 0,53 mm/min, mientras que en los de fibras alcanza los 0,66 mm/min.

La comparación de la madera con otros materiales empleados en la fabricación de estructuras constructivas indica lo siguiente

Hierro y acero: Presenta un grado de reacción al fuego superior al de la madera, pero su resistencia es inferior, lo que se comprueba tras los incendios al quedar las estructuras de madera en pie, mientras que las metálicas, no.

Hormigón armado: Su resistencia al fuego es muy inferior a la presentada por la madera, pues los redondos metálicos tienden a dilatarse, rompiendo la estructura.

II. Sistemas de incremento de la seguridad de la madera frente al fuego

La mejora de la reacción y la resistencia de la madera frente al fuego se puede conseguir tanto mediante la aplicación de formas constructivas adecuadas como por su



Diferencia entre madera ignífuga (izq.) y sin ignífuga (dcha.) tras ser sometidas a un ensayo de fuego.

impregnación con productos químicos, ignífugos o retardantes del fuego. Respecto al primero de los sistemas, tan sólo citaré la importancia de la supresión de las aristas vivas, de gran inflamabilidad, al presentar una elevada relación superficie/volumen, así como el interés del empleo de especies duras y de apreciable grosor.

La impregnación de la madera con productos químicos ignífugos hace que de M-4 o M-3 pase a M-2, o incluso a M-1. Estos productos pueden actuar de tres diferentes formas:

- a) Formando una pantalla microporosa de muy baja conductividad térmica, que retrasa el proceso de la pirólisis.
- b) Formando gases incombustibles que la madera emite al ser sometida a la acción del fuego, sofocando los vapores combustibles e impidiendo el acceso del oxígeno necesario para su combustión.
- c) Originando fenómenos de catálisis que modifican las reacciones de combustión, orientándolas hacia la formación de productos menos peligrosos para la formación de llamas.

Actualmente, los protectores ignífugos de mayor empleo son:

Protectores de capa.—Basados en la primera de las tres formas de actuación citadas. Se aplican de forma superficial, de modo que se alcanzan absorciones de 280 a 350 g de producto por metro cuadrado de madera.

Protectores totales.—Basados en la segunda forma de actuación citada. Se aplican a la madera en profundidad, empleándose para ello el sistema de inmersión caliente y fría, o bien sistemas de autoclave con presión, como es el Bethell.

En el primer sistema citado se somete a la madera a la inmersión en agua a 100°C durante un período de tiempo acorde con la especie y grosor (de una a cuatro horas), con lo que se consigue que el aire salga de la madera, realizándose un vacío. Seguidamente, se sumerge en un baño de solución de protector a temperatura ambiente, el cual penetra en razón del vacío anteriormente, así como por la contracción del escaso aire que aún permanecía en su interior, debido al descenso de temperatura que sufre la madera.

En el sistema Bethell de autoclave, tras introducirse la madera en la cámara de tratamiento, se la somete a un vacío cuya intensidad y tiempo de mantenimiento dependen principalmente de la especie y el grosor. Tras esto se introduce el producto ignífugo en la cámara y se eleva la presión a varios Kg/cm², hasta alcanzar la denominada presión de trabajo, la cual se mantiene durante un cierto período de tiempo. Posteriormente se retorna a la presión atmosférica, se evacúa el exceso de protector del recinto de impregnación y se realiza un vacío final, normalmente de mayor intensidad y tiempo de mantenimiento que el inicial, a fin de conseguir que la madera tome la cantidad de ignífugo necesaria, quedando libre de posi-

Los tratamientos de la madera por impregnación química, con productos ignífugos adecuadamente aplicados, garantizan actualmente el retraso de la ignición de las estructuras constructivas de madera, lo cual propicia en muchos casos la continuidad en servicio de éstas con plena seguridad.

bles efloraciones posteriores y con una apariencia limpia y agradable.

Tanto en el caso el sistema Bethell de autoclave como en el de inmersión caliente y fría se deben alcanzar unas retenciones sólidas mínimas de ignífugo por la madera, que variarán en virtud del grosor de ésta, según se indica en el Cuadro 4.

CUADRO 4	
RETENCIONES SOLIDAS MINIMAS DE IGNIFUGO	
ESPESOR DE LA MADERA (cm)	RETENCION (Kg/m ³)
Inferior a 2	80
Entre 2 y 5	50
Entre 5 y 10	40
Entre 10 y 20	35
Superior a 20	25

Los protectores ignífugos o retardantes del fuego son soluciones acuosas de diversas materias, entre las que se pueden citar:

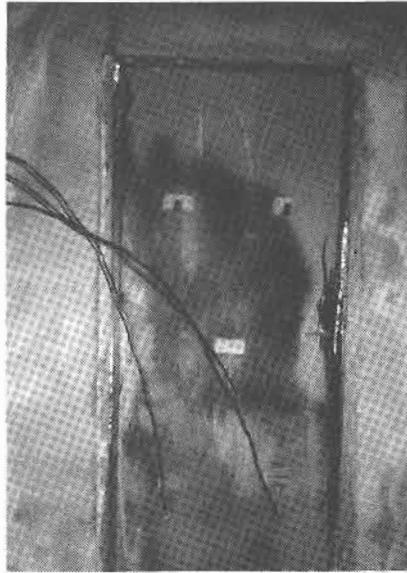
- Fosfatos amónicos: PO₄H(NH₄)₂, PO₄H₂(NH₄); sulfato amónico, SO₄(NH₄)₂, cloruro de cinc, Cl₂Zn; ácido bórico, BO₃H₃; bórax, B₂O₇Na₂.

Aun cuando todos los productos presentan una gran importancia y efectividad, se deben destacar los fosfatos amónicos, muy relacionados con la formación de la capa carbonosa superficial.

La impregnación de la madera con productos ignífugos no sólo supone la ventaja de su protección frente al



Ensayo de resistencia al fuego de una puerta.



Detalle de los daños ocasionados por termes, puestos al descubierto, en un marco de puerta interior.

fuego, sino que, al presentar dichos productos en su composición cierto porcentaje de materias insecticidas y fungicidas, se logra, en cierta medida, un incremento de su seguridad frente a los principales agentes bióticos deteriorantes. Por otra parte, se ha podido comprobar que las estructuras de madera ignifugadas presentan una mayor resistencia a las cargas en relación con las no impregnadas con ignífugos, a igualdad del resto de las condiciones. Sin embargo, la aplicación de estos protectores a la madera tan sólo se puede considerar para la situada en interiores, no expuesta a la acción directa de la lluvia, dado que la prác-

tica totalidad de dichos productos no son lavables. Ello supone una cierta restricción a su empleo, aunque por otra parte no tiene tanta importancia, dado que, al iniciarse la mayoría de los incendios en el interior de los inmuebles, la madera que más interesa ignifugar es precisamente la del interior.

La aplicación de protectores ignífugos totales a los productos derivados de la madera varía según el producto de que se trate, y así tenemos:

— **Tableros contrachapados:** Se aplican por adición directa al tablero una vez formado, o bien por impregnación de cada chapa antes de su formación.

— **Tableros de fibras y partículas:** Se añade el ignífugo a los adhesivos, antes de formar el tablero, teniéndose en cuenta siempre que no se presenten incompatibilidades entre el ignífugo y el adhesivo, en relación con el fraguado de este último.

III. Normativa existente en España en relación con la reacción y resistencia de la madera y estructuras de este material frente al fuego

El tema de la madera y su seguridad frente al fuego se inicia realmente en España al comienzo de la década de los setenta. En 1973-74 aparecen los primeros laboratorios del fuego en Madrid y en Barcelona, comenzando posteriormente los estudios tendentes a la creación de una normativa de procedimientos de ensayos.

Dentro del organismo que recogía la normativa general, el Instituto de Racionalización y Normalización (IRANOR) se asignó el prefijo 23 a las normas específicas en relación con el fuego.

En 1981 se redacta la Norma Básica de la Edificación-Protección contra incendios, que se publicó en 1982, con ciertas modificaciones.

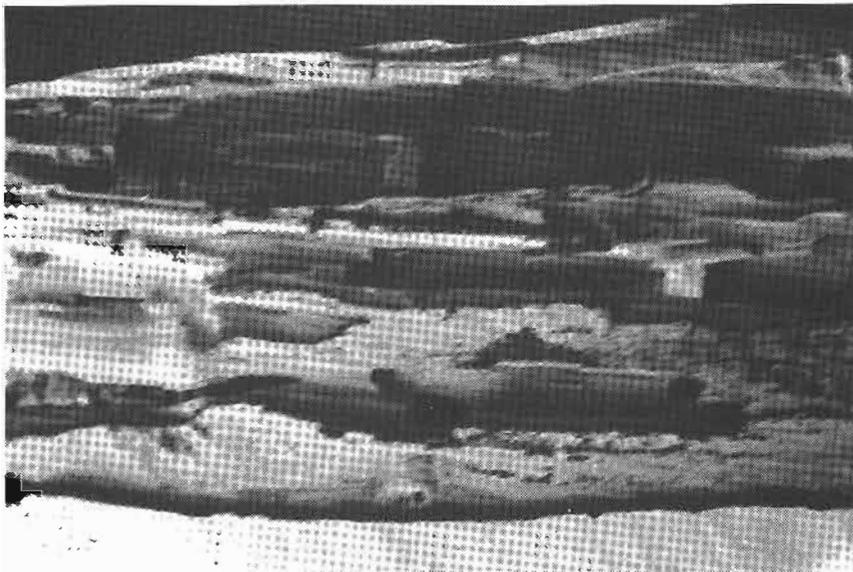
Con posterioridad aparece el Certificado de Ignifugación, afectando a diversos materiales de construcción.

Actualmente la relación de normas sobre la reacción al fuego de los materiales de construcción, entre los que se incluye la madera, son las que se relacionan con la Tabla 1, indicando su temática.

En relación con la resistencia al fuego de estructuras constructivas de madera, existen las normas relacionadas en la Tabla 1 con los procesos de ensayo.

SEGURIDAD DE LA MADERA FRENTE A LOS ATAQUES DE ORIGEN BIOTICO

La actual situación del mercado de la madera, en que la demanda supera a la oferta, hace que la incidencia negativa de los diversos agentes xilófagos bióticos cobre una enorme importancia, al ser muy elevado el número de metros cúbicos de madera que anualmente se deben sustituir como consecuencia de su acción destructora. Dicha acción hace descender la seguridad de este material conllevando su pronta reposi-



Daños de insectos ceraméricidos en una viga.

TABLA 1
NORMAS SOBRE REACCION Y RESISTENCIA AL FUEGO

NORMA	TEMATICA
REACCION AL FUEGO	
Norma UNE 23.721	Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Ensayo por radiación aplicable a los materiales rígidos o similares (materiales de revestimiento) de cualquier espesor y a los materiales flexibles de espesor superior a 5 mm.
Norma UNE 23.722	Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Ensayo a la llama de alcohol aplicable a los materiales flexibles de espesor inferior o igual a 5 mm.
23.723	Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Ensayo del quemador eléctrico aplicable a los materiales flexibles de un espesor inferior o igual a 5. (Ensayo complementario.)
23.724	Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Ensayo de velocidad de propagación de la llama aplicable a los materiales no destinados a ser colocados sobre un soporte. (Ensayo complementario.)
23.725	Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Ensayo de goteo aplicable a los materiales fusibles. (Ensayo complementario.)
23.726	Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Ensayos en el panel radiante para revestimiento de suelos. (Ensayo complementario.)
23.727	Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción.
23.731	Ensayo de reacción al fuego. Determinación de la cualidad de ignifugado frente a la acción de lavados. (Experimental.)
23.732	Ensayos de reacción al fuego. Determinación de la cualidad de ignifugado frente a la acción mecánica de barrido y aspirado. (Experimental.)
23.733	Ensayos de reacción al fuego. Determinación de la cualidad de ignifugado frente a la variación de condiciones climáticas ambientales. (Experimental.)
PNE 23.701	Ensayo de reacción al fuego. Inflamabilidad de los materiales de construcción.
PNE 23.702	Ensayo de reacción al fuego. Propagación de llama.
23.102	Ensayo de reacción al fuego. Determinación de la no combustibilidad de los materiales de construcción.
23.103	Determinación del calor de combustión de los materiales de construcción mediante la bomba calorimétrica.
RESISTENCIA AL FUEGO	
UNE 23.093-81	Ensayo de resistencia al fuego de estructuras y elementos de construcción.
UNE 23.081	Ensayo de resistencia al fuego de estructuras y elementos constructivos vidriados (puertas de madera vidriadas).
UNE 23.802	Ensayo de resistencia al fuego de puertas y otros elementos de cierre de huecos.

Los tratamientos de la madera por impregnación con productos químicos biocidas adecuadamente aplicados proporcionan actualmente la necesaria protección frente a los hongos e insectos xilófagos, causante de importantes daños, sobre todo, en maderas estructurales de construcción no impregnadas.

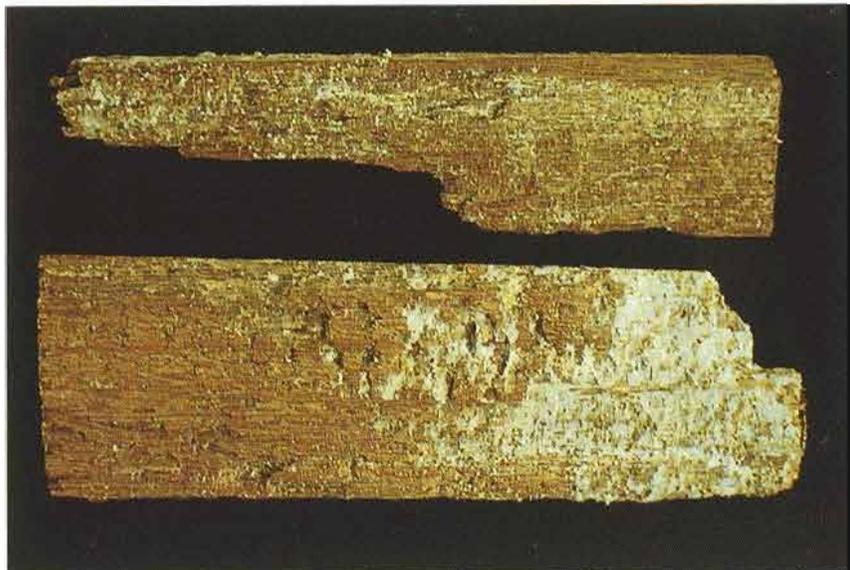
ción, lo que implica costos de elevada cuantía, agravando aún más la situación del mercado.

El logro de un adecuado grado de seguridad de la madera frente a los ataques de origen biótico pasa por los siguientes puntos:

A) **Especie de madera.** Es necesario conocer la especie de madera que se va a emplear, en relación con su lugar de emplazamiento y el grado de agresividad que pueda presentar.

De forma general, la presencia de humedad en la madera, superior al punto de saturación de las fibras es un factor favorable a la presencia en ella de organismos bióticos destructores. Por otra parte, todas las maderas que se han de colocar a la intemperie en contacto con el suelo, o bien en contacto con fuentes de humedad (ríos, lagos, mares, etc.), se encontrarán sometidas a un elevado grado de agresividad del medio y, aunque cierto número de especies tengan una mejor resistencia que otras, sin embargo, en la totalidad de los casos deberán ser protegidas convenientemente con los sistemas que posteriormente se citarán.

Como ya se pudo ver, la resistencia a los diversos organismos xilófagos que presentan las diversas especies de forma natural es variable, aunque se observa que para unas mismas condiciones presenta una mayor resistencia la madera de duramen que la de albura, la procedente de árboles viejos que la de pies jóvenes (siempre para una misma especie), la de mayor densidad que la de menor, la que posee mayor cantidad de sustancias extractivas (resinas, taninos, etc.) que la que tiene menos, etc.



Madera afectada de pudrición blanca, mostrando un micelio superficial sobre su superficie.

B) Principales agentes bióticos de deterioro. Los principales agentes bióticos de deterioro de la madera son los insectos y los hongos xilófagos, y dentro de estos últimos los hongos de pudrición.

Insectos xilófagos.—Los que mayores daños causan a la madera son los termes y los coleópteros de las familias de los líctidos, anóbidos y cerambícidos.

Los termes son unos insectos del orden isóptera, sociales, que provenientes del subsuelo causan daños interiores de gran importancia en la madera de construcción, de forma que aunque externamente pueda parecer sana su resistencia está muy disminuida. Producen galerías que se pueden asemejar a las hojas de un libro, al estar separadas por finas láminas de madera sana. Aun cuando atacan tanto a maderas de frondosa como de conífera, sin embargo, el hecho de afectar tan sólo a aquellas que presenten un elevado grado de humedad, supone un límite a sus daños.

Los coleópteros citados son insectos larvarios, cuyos daños se caracterizan por el tamaño y forma de las galerías larvarias, por la granulometría de los detritus presentes en dichas galerías, el ciclo larval en el interior de la madera y especies de ésta a las que suelen afectar.

Los líctidos, con un ciclo larval de un año, originan galerías de sección circular de 0,8 a 1,5 mm de diámetro, que presentan un serrín de finísima granulometría, principalmente en maderas de frondosa (roble sobre todo). Se alimentan de sustancias

de reserva de la madera, denominándose vulgarmente «polillas».

Los anóbidos, con un ciclo larval de uno a tres años, causan galerías larvarias de sección circular de hasta 2 mm de diámetro, que aparecen llenas de un serrín de más basta granulometría. Se alimentan de celulosa de las maderas tanto de coníferas como de frondosa, y se denomina vulgarmente «carcoma fina».

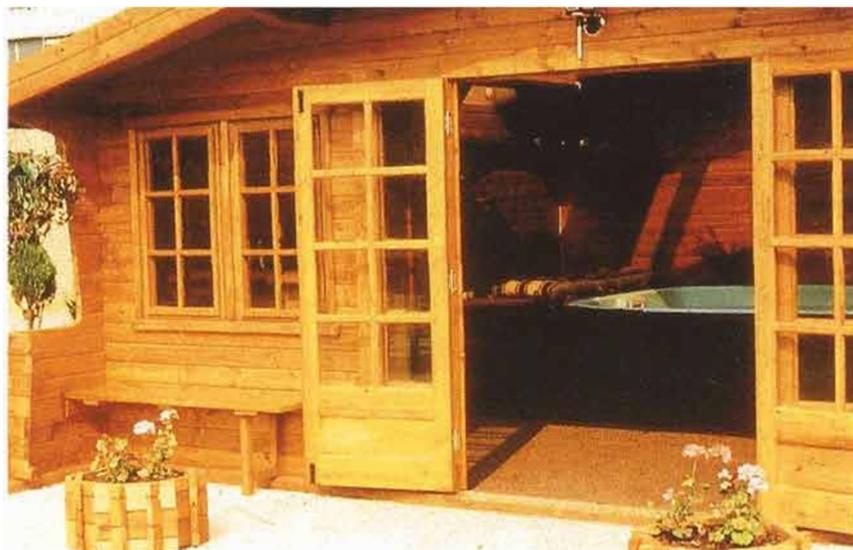
Los cerambícidos, con un ciclo larval en el interior de la madera de 12-14 años, originan galerías de sección oval, de hasta 25 mm de diámetro, las cuales aparecen llenas de una mezcla de serrín y detritus, compactados en ciertos casos. Ataca a las maderas de conífera y fron-

Los principales agentes de deterioro de la madera son tanto de origen abiótico como biótico. Entre los primeros destacan el fuego y la humedad, mientras que entre los segundos son los insectos y los hongos xilófagos los que mayores daños ocasionan.

dosa, preferentemente a su albura; son conocidos vulgarmente como «carcoma».

Hongos xilófagos.—Estos organismos bióticos causan daños a las maderas con un determinado grado de humedad. Se dividen en hongos cromógenos y de pudrición. Los primeros se alimentan de las sustancias de reserva de la madera, siendo sus hifas (componentes del aparato vegetativo) las que por reflexión de la luz en ellas producen una coloración a la madera. Al no afectar a los componentes de la pared celular, no producen pérdidas considerables de su resistencia físico-mecánica.

Los citados en segundo lugar originan la pudrición de la madera, alimentándose de los componentes de la pared celular de ésta, ocasio-



Detalle de madera tratada por impregnación química preventiva, expuesta a un alto grado de agresividad (madera constructiva de una sauna).

nando su ruina desde el punto de vista estructural. Se pueden considerar dos tipos de pudrición principales.

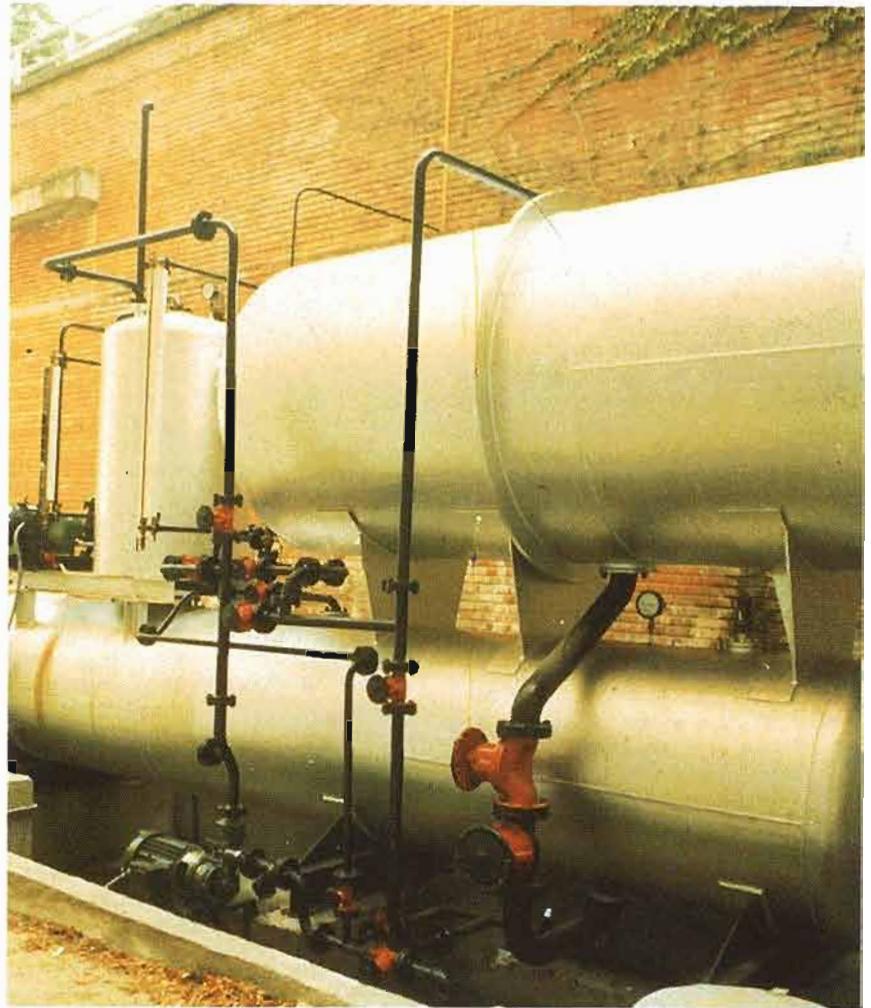
Pudrición blanca: Que afecta tanto a las holocelulosas como a la lignina, principales componentes de la pared celular, aunque afecte a esta última más rápidamente y en mayor cuantía que a las primeras.

Pudrición parda: Afecta a la celulosa y hemicelulosas de la pared celular, sin afectar prácticamente a la lignina. Dentro de éstas se diferencian las pudriciones secas y las húmedas. De éstas, las primeras se caracterizan por poder afectar los hongos que las realizan a madera seca, transportando el agua necesaria para su actividad enzimática, mediante hifas especiales, desde lugares húmedos próximos. Las segundas afectan tan sólo a maderas con un alto grado de humedad.

Los daños de pudrición se reconocen externamente, pudiéndose encontrar, en muchos casos, micelio externo (conjunto de hifas) cubriendo zonas de la madera, e incluso en algún caso cuerpos de fructificación del hongo. La madera podrida se llega a desmenuzarse entre los dedos.

C) Sistemas de protección de la madera.—La seguridad de la madera frente a los agentes bióticos citados se puede lograr de diversas formas, aunque la más económica y eficaz sea, hasta la fecha, la impregnación con productos químicos, adecuadamente aplicados.

Los productos químicos empleados, denominados protectores químicos de la madera, son normal-



Detalle de una planta Vacío-Vacío de impregnación protectora de maderas.

mente soluciones de materias activas insecticidas y fungicidas, que matan a estos organismos una vez implantados en la madera (protectores empleados en procesos curativos) o bien que previenen su implantación en ella (protectores de procesos preventivos). Atendiendo tan sólo a su naturaleza, se distingue entre:

Protectores hidrosolubles: Presentan diversas materias activas disueltas en agua, así como ciertos coadyuvantes. Según su principal componente se agrupan en cuatro tipos: los protectores de arsénico, de cobre, de cinc y de boro.

Normalmente presentan en su composición un elemento insecticida, uno fungicida y finalmente otro con características fijadoras de los anteriores a la madera. Se suele emplear como insecticida las sales de arsénico, como fungicida las de cobre y como fijador de las anteriores a la madera las de cromo.

Dentro de este grupo de protectores se incluyen los ignífugos, aun-

que, como ya se citó, con muy diverso cometido.

Protectores en disolvente orgánico: Son soluciones de materias activas en disolventes orgánicos, pudiendo presentar, asimismo, diversos coadyuvantes, como son, por ejemplo, las ceras y resinas repelentes al agua, que producen un incremento de su estabilidad dimensional frente al agua, lo que, a su vez, conlleva un incremento del campo de actuación, no considerado bajo el prisma de la mejora de la seguridad de la madera frente a los organismos bióticos deteriorantes.

Según las materias activas que presentan, se dividen en organonitrados, organoclorados, organometálicos; éstos se dividen, a su vez, en organomercuriales, naftenatos metálicos, organoestañosos y estañotributílicos.

Actualmente este tipo de protectores son los de mayor empleo en la carpintería de construcción.

Protectores orgánicos naturales: El principal es la creosota, originada en la destilación de alquitranes pro-

La principal importancia del tratamiento preventivo de la madera por impregnación química, realizada adecuadamente, es el incremento de su vida media de servicio, reduciendo la cuantía de las reposiciones.

cedentes de la carbonización de la hulla en retortas y hornos. A pesar de sus indudables cualidades, actualmente ha visto decrecer la importancia de su empleo.

La seguridad de la madera aquí considerada no se puede lograr poseyendo tan sólo un buen protector, sino que es absolutamente necesario el disponer de un adecuado sistema de aplicación. Dicha aplicación se puede realizar mediante sistemas superficiales, no adecuados para maderas expuestas a un alto grado de agresividad, a no ser que se repita con frecuente periodicidad. También se aplican en profundidad mediante sistemas de autoclave, alcanzándose altos grados de penetración y retención. Estos sistemas pueden ser de célula llena o de célula vacía, empleándose en estos últimos menor cantidad de producto que en los primeros.

Entre los de célula vacía se citan, como de mayor importancia, los sistemas Ruppig, doble Ruppig, Lowry, alternativo y oscilante, mientras que entre los de célula llena, de mayor empleo actualmente que los anteriores, se citan el Bethell y el Vac-Vac.

El sistema Bethell ya se citó anteriormente al tratar de la impregnación de la madera con protectores ignífugos, mientras que el Vac-Vac (siglas de Vacío-Vacío) es muy similar al anterior pero sin sobrepasar la presión atmosférica, tan sólo alcanzando presiones muy bajas (máximas de 2 Kg/cm²), en cuyo caso se denomina Pseudo Vac-Vac.

La aplicación de los conocimientos descritos y las tecnologías que conllevan necesitan cumplimentarse con la existencia de una adecuada normativa al respecto, que obligue, o al menos indique, la necesidad de realizar los tratamientos de protección necesarios de cara al logro del incremento de la seguridad de la madera frente a los organismos bióticos deteriorantes. A este respecto, en España, a lo largo de las últimas décadas, se viene trabajando en una normativa incidente sobre los agentes xilófagos, los protectores y los sistemas de aplicación más adecuados en cada caso, a fin de crear una conciencia sobre la necesidad de proteger la madera, de forma que sin la aplicación del tratamiento adecuado no se puede conseguir la necesaria seguridad para la madera puesta en servicio. Así, el IRANOR hasta el pasado año y el AENOR (Asociación Española de Normalización) actualmente están realizando esta labor.

TABLA 2
RELACION DE NORMAS UNE DE PROTECCION DE MADERAS CONTRA AGENTES BIOTICOS DETERIORANTES REALIZADAS DURANTE LOS ULTIMOS AÑOS Y ADAPTADAS A NORMAS EUROPEAS

NORMA	TEMATICA
UNE 56-400-85	(de junio/85). «Terminología».
UNE 56-401-80	(de julio/80), basada en norma europea EN 84. «Prueba de envejecimiento acelerado de las maderas tratadas antes de los ensayos biológicos» (<i>prueba de lavado</i>).
UNE 56-402-81	(de noviembre/81), basada en la norma europea EN 46. «Determinación de la eficacia preventiva contra larvas recién nacidas de <i>Hylotrupes bajulus</i> (Linnaeus).»
UNE 56-403-81	(de diciembre/81), basada en la norma europea EN 47. «Determinación del umbral de eficacia contra las larvas de <i>Hylotrupes bajulus</i> (Linnaeus).»
UNE 56-404-81	(de diciembre/81), basada en la norma europea EN 48. «Determinación de la eficacia curativa contra las larvas de <i>Anobium punctatum</i> (De Geer).»
UNE 56-405-81	(de noviembre/81) basada en la norma europea EN 49. «Determinación del umbral de eficacia contra <i>A. punctatum</i> (De Geer) por la observación de la puesta de huevos y de la tasa de supervivencia de las larvas.»
UNE 56-406-82	(de abril/82), basada en la norma europea EN 73. «Pruebas de envejecimiento acelerado de las maderas tratadas antes de los ensayos biológicos» (<i>prueba de evaporación</i>).
UNE 56-408-82	(de septiembre/82), basada en la norma europea EN 22. «Determinación de la eficacia curativa de un protector contra larvas de <i>H. bajulus</i> (Linnaeus).»
UNE 56-409-82	(de junio/82), basada en la norma europea EN 20. «Determinación de la eficacia preventiva contra <i>Lyctus brunneus</i> (Stephens).»
UNE 56-410-84	(de abril/84), basada en la norma europea EN 117. «Determinación del umbral de eficacia contra <i>Reticulitermes santonensis</i> de Feytaud.»
UNE 56-411-84	(de abril/84), basada en la norma europea EN 118. «Determinación de la eficacia preventiva contra <i>Reticulitermes santonensis</i> de Feytaud» (tratamiento superficial).
UNE 56-412-86	(de mayo/86), basada en la norma europea EN 113. «Determinación del umbral de eficacia contra los hongos basidiomicetos xilófagos cultivados en medio agar.»
NORMAS EN TRAMITE DE INFORMACION PUBLICA	
UNE 56.414	Protección de maderas. Clasificación de los protectores biocidas atendiendo a su naturaleza.
UNE 56.415	Protección de maderas. Clasificación de los protectores biocidas atendiendo a su utilización. Criterios de evaluación de eficacia.
UNE 56.416	Protección de maderas. Métodos de tratamiento.
UNE 56.417	Protección de maderas. Protección de la madera en la construcción. Protección contra agentes bióticos.

De gran importancia en este campo ha sido nuestra inclusión en la Comunidad Económica Europea, lo que ha obligado a la adaptación de toda nuestra normativa existente en este campo a las normas europeas, así como a la creación de nuevas normas que cubran las lagunas existentes.

En la Tabla 2 se incluye un listado de las principales normas UNE de protección de la madera frente a los agentes bióticos de deterioro realizadas en los últimos años, así como las existentes en trámites de información pública. ■

BIBLIOGRAFIA

- RODRIGUEZ BARREAL, J. A. (1979): «Insectos, moluscos y crustáceos destructores de la madera en uso». Publicaciones Serv. Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura.
- ELVIRA MARTIN, L. M. y JIMENEZ PERIS, F. J. (1982): «Comportamiento al fuego de materiales y estructuras». Monografías de INIA. Ministerio de Agricultura.
- RODRIGUEZ BARREAL, J. A. (1983): «Mycosis de la madera, cortada y puesta en servicio». Fundación Conde del Valle de Salazar. E. T. S. I. M.
- HERNANDO, A. (1987): «Resistencia al fuego de estructuras de madera». Beca Fundación MAPFRE.