

Manual para la protección contra el deterioro de la madera



Transferencia de tecnología es... proteger mejor

**GOBIERNO
FEDERAL**

SEMARNAT



Vivir Mejor

Manual para la protección contra el deterioro de la madera

Comisión Nacional Forestal

Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología

Periférico Pte. #5360

Colonia San Juan de Ocotán

Zapopan, Jalisco C.P. 45019

Tel: 01 800 73 70000 y (33) 37 77 70 17

www.conafor.gob.mx

tt@conafor.gob.mx

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Autor Dr. José Cruz de León

Director Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (2007-2011)

Jefe del Laboratorio de Conservación y Preservación de la Madera (LACOPREMA)

Edificio D, Planta alta, C. U.

58140 Morelia, Mich., México

www.fitecma.umich.mx

www.umich.mx

Esta obra fue financiada por Conafor.

Los contenidos de este libro son responsabilidad de los autores.

Se autoriza la reproducción del contenido de esta obra, siempre y cuando se cite la fuente.

2010

Este manual es un producto derivado de los trabajos de vinculación entre la Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología (CONAFOR) y la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.



ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| Introducción | 6 |
| CAPÍTULO I | |
| Clasificación taxonómica de insectos | 8 |
| Hongos | 13 |
| Agua subterránea | 22 |
| Condiciones climáticas | 23 |
| Rayos del sol | 23 |
| Efecto de la humedad | 24 |
| Fuego | 25 |
| Agentes de deterioro de la madera | 25 |
| Tipos de protección de la madera | 26 |
| Protección de diseño constructivo | 28 |
| Medidas de actuación complementarias de carácter estructural | 45 |
| Protección química | 48 |
| Sustancias preservantes | 48 |
| Sustancias comúnmente utilizadas en México | 54 |
| Métodos de conservación y preservación de la madera | 56 |
| Riesgos de Trabajo | 68 |
| CAPÍTULO II | |
| Determinación de la penetración, absorción, retención y permanencia de las sustancias preservantes (control de calidad) | 69 |
| Guía para la elección del tratamiento protector | 78 |
| Glosario de términos | 87 |

Introducción

La madera fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre en la fabricación de utensilios y armas para cazar. Desde el siglo XX a. C. fue uno de los materiales predilectos para la construcción de palacios, templos y casas, hasta el siglo XIV d. C., donde el descubrimiento de nuevas técnicas y materiales para la construcción, tales como el hormigón armado, el hierro, el cristal, el cartón, la fibra textil y todos los sustitutos de la madera, disminuyeron en gran medida el uso de ésta.¹

Además de fabricar hachas de mano de piedra, el *Homo erectus* también dejó los primeros restos de viviendas construidas con objetos de madera tallada, la primera lanza de madera y el recipiente más primitivo: un cuenco de madera.²

En la actualidad, el uso de la madera para hacer muebles y en la construcción de casas es muy conveniente, pues su producción requiere poca energía en comparación con la de otros materiales, lo que reduce daños al medio ambiente. Sin embargo, para mejorar la durabilidad de la madera, es necesario aplicar medidas de protección.

La madera se puede deteriorar por diferentes causas, como el exceso de humedad, la aparición de hongos, insectos, daños por raíces de plantas y por ejecutar mal la obra. Este manual ofrece información técnico-científica para usar e instalar con calidad y garantía la madera de bienes muebles y la madera estructural para la construcción, así como la destinada a la renovación, rehabilitación, restauración, protección y mantenimiento de edificaciones.

1 www.arqhys.com/contenidos/madera-historia.html. Consulta: noviembre 2011.

2 http://sepiensa.org.mx/contenidos/historia_mundo/prehist/paleolitico/arte_tecno/tecnoart_2.htm. Consulta: noviembre 2011.

Es un compendio de diversos autores sobre la protección de la madera y presenta técnicas y procedimientos para mantener su resistencia portante, impedir el daño por agentes de deterioro y para conservar y/o mejorar su estado actual.

Tiene como objetivos principales:

- Ser un documento base para el análisis, diagnóstico, evaluación, renovación, instalación y uso de la madera.
- Contribuir a la conservación y preservación de la madera en bienes muebles y en madera estructural en edificios.
- Contribuir a la conservación de los bosques en México, ya que al proteger la madera evitamos que más árboles sean derribados.

Para fines de este documento, la conservación y preservación de la madera se consideran como dos conceptos diferentes para definir y entender ciertas acciones que se llevan a cabo. Su conceptualización está basada sólo en la aplicación de sustancias químicas a la madera y en la experiencia práctica. No se pretende entrar en detalles teóricos o conceptuales sobre estos dos términos.

La conservación de la madera debe entenderse como la aplicación a bienes muebles o a la madera instalada de sustancias químicas por diversos métodos, con el fin de disminuir el efecto de los agentes de deterioro. En la conservación de la madera no se puede garantizar una penetración total de la sustancia ni el porcentaje de protección de la misma, tampoco un tiempo de duración de la sustancia en la madera. Normalmente la permanencia de la sustancia en la madera es de uno a tres años, por lo que deben repetirse las aplicaciones.

La preservación de la madera consiste en aplicar mediante ciertos métodos sustancias a la madera antes de instalarse. Si se hace correctamente, se puede alargar el tiempo de vida útil de la madera.

Una madera con protección certificada es la que ha sido sometida a un proceso de preservación en una institución reconocida para ello, lo que implica que es una madera garantizada, protegida contra agentes de deterioro y sin defectos considerables que disminuyan su resistencia mecánica.

CAPÍTULO I

Clasificación taxonómica de insectos³

De manera muy general los insectos se pueden clasificar taxonómicamente de la siguiente manera:

Reino: Animalia

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Órdenes: Collembola, Thysanura, Ephemeroptera, Odonata, Plecoptera, Orthoptera, Dermaptera, Isoptera, Psocoptera, Mallophaga, Anoplura, Thysanoptera, Hemiptera, Homoptera, Neuroptera, Coleoptera, Mecoptera, Trichoptera, Lepidoptera, Diptera, Siphonaptera, Hymenoptera.

De estos órdenes, los que más se encuentran en madera o en productos derivados de la madera son: Thysanura (pescaditos de plata), Isoptera (termitas), Coleoptera (escarabajos, carcomas), Lepidoptera (polillas), Hymenoptera (hormigas, avispas) y otras de menor importancia. Los que producen daños considerables a estructuras de madera y bienes muebles de madera son los insectos del orden Isoptera y los del orden Coleoptera.

³ R. N. Coulson; J. A. Witter, Entomología Forestal. Ecología y Control, Traducción, México, Limusa, 1990, 751 pp.

El orden Isoptera tiene siete familias⁴: Hodotermitidae, Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae, Mastotermitidae, Termitidae y Termopsidae y aproximadamente unas 2 mil distribuidas en todo el mundo⁵, de las cuales por lo menos 150 especies afectan edificios, casas y otras construcciones en madera, principalmente en las zonas tropicales, donde han limitado el uso de la madera para la construcción.⁶ En México existen solo cuatro familias con 23 especies.

Son insectos sociales, lucífugos, con polimorfismo de casta, que viven en colonias y que se dividen el trabajo de acuerdo con la casta a la que pertenecen. Las castas están compuestas generalmente de reina y rey (reproductores), obreras y los. También puede haber reproductores secundarios (termitas en estadio juvenil=neotenios) muy similares a las obreras y con capacidad de reproducirse. Pueden aparecer también los pseudoergados, que reemplazan a las obreras en las especies en las que falta esta casta.⁷

Las termitas se alimentan principalmente con materiales celulósicos extraídos de los restos vegetales, sobre todo de la madera, los cuales son procesados intestinalmente con ayuda de protozoarios flagelados simbioses (hipermastiginos) o en relación con bacterias del grupo de las espiroquetas.⁸

Según su adaptación a la humedad se pueden dividir en termitas de madera seca (>13% contenido de humedad), termitas de madera húmeda y termitas subterráneas⁹. Las que se encuentran en la madera de edificios en México son generalmente termitas de madera seca (dañando escaleras, techos o vigas) y termitas de madera húmeda (dañando cabezas de vigas y pisos).

4 CONABIO (Comp.) 2006. Catálogo de autoridades taxonómicas de las termitas (Isoptera:Insecta) de México. Base de datos SNIB-CONABIO. México.

5 Robert A. Zabel & Jeffrey J. Morrell. 1992 Wood Microbiology: Decay and Prevention. Academic Press. San Diego.

6 JUNAC (JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA). 1988. Manual del grupo andino para la preservación de maderas. Lima, Perú.

7 Giovanni Liotta. 2000. Los insectos y sus daños en la madera. Nerea, Junta de Andalucía. Sevilla, España.

8 Miguel Angel Morón, Roberto A.Terrón, Entomología práctica, México, D. F., Instituto de Ecología.

9 Robert A. Zabel & Jeffrey J. Morrell, *op cit*.

Aunque probablemente también se puedan encontrar termitas subterráneas en aquellos lugares cálidos y húmedos como el estado de Chiapas, los lugares cercanos a las costas, o cuando la madera se encuentra en situaciones de constante humedad.

El orden Coleoptera está compuesto de 173 familias¹⁰. Las especies que viven de la madera puesta en obra pertenecen a las familias de anóbidos (Anobiidae), bostríquidos (Bostrichidae), cerambícidos (Cerambycidae), curculiónidos (Curculionidae), líctidos (Lyctidae) y bupréstidos (Buprestidae).

En los escarabajos principalmente su larva es la que causa el daño a la madera. Los más dañinos en las zonas templadas de México son los anóbidos, en madera de coníferas, y los líctidos en madera de latifoliadas.

Metamorfosis de los coleópteros

El ciclo vital o metamorfosis de los coleópteros se divide en términos generales en cuatro fases: huevo, larva, pupa y adulto (Figura 1). El tiempo del ciclo de vida es diferente según la especie de coleóptero y además depende de las condiciones climáticas.¹¹

Los adultos se aparean (en un periodo de dos a tres semanas, algunas veces hasta cinco) y ponen los huevecillos en grietas o aberturas de la madera; los huevos duran de una a dos semanas, a veces hasta cuatro, el desarrollo de la larva es de uno a cinco años, posteriormente se desarrolla la pupa con una

¹⁰ Lawrence, J. F. & Newton, A. F., Jr. 1995. Families and subfamilies of Coleoptera (with selectes genera, notes, references and data on family-group names). In: Pakaluk y Slipinski (Eds.). Biology, phylogeny and classification of Coleoptera: Papers celebrating the 80th birthday of Roy A. Crowson. Muzeum i Instytut Zoologii PAN, Warszawa. Pp. 779-1006. ISBN 83-85192-34-4.

¹¹ Hans-Peter Sutter. 1997. Holzschädlinge an Kulturgütern erkennen und bekämpfen 3. Unveränderte Auflage, Bern-Stuttgart-Wien, Verlag Paul Haupt.

duración de unas seis semanas y finalmente emerge el adulto cerrándose así el ciclo biológico.^{12 13}

El tiempo requerido para el cumplimiento de todos los estados se conoce como duración de la generación, el cual es diferente para cada especie. En el caso de escarabajos que destruyen madera, la duración de una generación puede ser de unos pocos meses hasta varios años. Los estados de huevo, pupa y adulto o imago son por lo general de corta duración y van desde días hasta semanas; el tiempo más largo del ciclo de vida corresponde al estado larvario y es precisamente la etapa durante la cual lleva a cabo la destrucción para satisfacer sus necesidades alimenticias.¹⁴

Contrariamente a lo que normalmente se piensa, el insecto adulto es el menor responsable de los daños, ya que se limita a hacer el agujero de salida (que es el que observamos en la superficie de los objetos), para luego alejarse e ir a morir a otra parte después de la cópula y, si es hembra, después de poner los huevos. En realidad, el agujero es sólo la abertura de una galería que a veces tiene más de 10 cm de largo (anóbidos o líctidos), o incluso más de 50 cm (cerambícidos).¹⁵

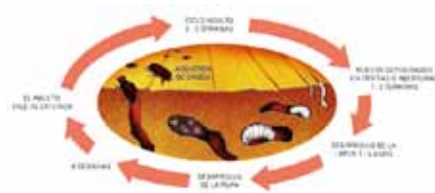


Figura 1. Ciclo vital de los coleópteros (Parramón Ediciones).

12 Idem

13 Armengol A. J., E. P. Miró, J. M. M. Farré. 2004. Restauración de Madera. Parramón Ediciones. Barcelona.

14 JUNAC, *op. cit.*

15 Giovanni Liotta, *op. cit.*

En el caso de los insectos, se hace necesario conocer la especie responsable de los daños, conocer su biología y comportamiento (etología), investigar las condiciones ambientales y microambientales en que se encuentran los elementos de madera, identificar, cuando sea posible, la especie lignaria y la época de su colocación y, finalmente, relacionar la estructura de madera con los métodos constructivos aplicados.¹⁶

De acuerdo con sus necesidades de humedad pueden dividirse en tres categorías:

- 1) Los que atacan madera con alto contenido de humedad (CH > 20%).
Cerambycidae, Scolytidae y Platypodidae.
- 2) Los que atacan madera seca (CH de 15 a 20%).
Bostrichidae y Lyctidae.
- 3) Los que atacan madera muy seca (CH < 15%).
Anobiidae.



Calymmaderus oblongus
(Anobiidae)

Lyctus planicollis (Lyctidae)

Incisitermes marginipennis
(Kalotermitidae)

Figura 2. Algunos tipos de insectos presentes en Michoacán. Fotos del autor.

¹⁶ Giovanni Liotta, op. cit.

Hongos

Los hongos constituyen un reino independiente llamado Fungi o Myceteae, anteriormente se les consideraba como un grupo integrante de las plantas, sin embargo sus características nutricionales y la ausencia de clorofila los hace diferentes al resto de los seres vivos. Los hongos se clasifican en hongos macroscópicos y hongos microscópicos.¹⁷

Después de las últimas modificaciones hechas en el Congreso Internacional de Micología de 1994, donde se han introducido muchos cambios, el reino queda¹⁸ (Figura 3): reino Fungi: Phylum Chytridiomycota, phylum Zygomycota, phylum Ascomycota, phylum Basidiomycota.

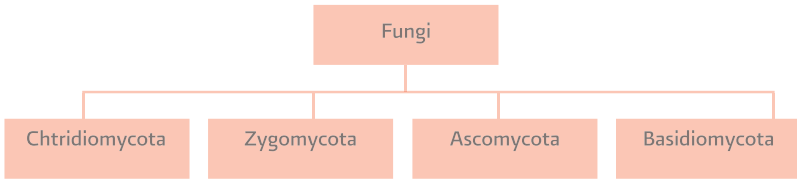


Figura 3. Clasificación general del reino Fungi o Myceteae.

Los que deterioran a la madera (hongos xilófagos) se encuentran en el phylum Ascomycota y Basidiomycota de las clases Basidiomicetes y Ascomicetes así como de sus formas imperfectas, los Deuteromicetes.

¹⁷ Hora1ia Diaz-Barriga H. 2002. Hongos macromicetos comestibles, venenosos, medicinales y destructores de la madera, de la reserva de la biosfera de la mariposa monarca, sierra Chincua, Michoacán, México. Fundación Produce - Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM). México.

¹⁸ <http://hongos3.galeon.com/>. Consulta: noviembre 2011.

Los hongos no producen clorofila por lo que son incapaces de elaborar su propio alimento a partir de la luz solar, se ven obligados a depender de otros organismos vivos o muertos; para llevar a cabo esta función actúan como saprofitos (material orgánico muerto como madera) o parásitos (organismos vivos).^{19 20}

²¹ Los que afectan a la madera en edificios, son saprófitos.

El ciclo de vida de los hongos comienza con las esporas, las cuales son dispersadas por el viento, la lluvia o por animales y germinan cuando encuentran un sustrato (madera) con condiciones de humedad y de temperatura adecuadas. De las esporas emergen las hifas (células tubulares con diámetros entre 2 y 10 μm) que son las que degradan la madera, ya que se alimentan de las sustancias de reserva del interior de las células y/o segregan enzimas que descomponen la pared celular permitiendo ser asimiladas por éstas. Posteriormente las hifas aumentan en número y tamaño formando el micelio que puede desarrollarse internamente o externamente en el sustrato. Finalmente se forma el cuerpo fructífero del hongo, el cual es característico de cada tipo y es el que observamos macroscópicamente. Este cuerpo fructífero tiene la capacidad de volver a emitir esporas al exterior, por lo que se cierra así su ciclo biológico.^{22 23}



Figura 4. Ciclo de vida de los hongos. Fotos: es.wikipedia.org/wiki/Hongo

19 Hans-Peter Sutter, *op. cit.*

20 Horalia Díaz-Barriga Vega, *op. cit.*

21 Peraza-Sanchez F. Protección preventiva de la madera. AITIM. Madrid.

22 *Ibidem.*

23 Hans-Peter Sutter, *op. cit.*

Los hongos actúan cuando la madera se encuentra expuesta a altos contenidos de humedad; por ejemplo madera en contacto con el suelo (como postes, durmientes y columnas) o cuando las condiciones permiten en el tiempo de lluvias la humidificación excesiva como en cabezas de vigas, zapatas y arrastres.

Una madera será más sensible a la acción de los hongos cuanto mayor sea su grado de humedad. Diversos estudios han demostrado que la madera con un 20% de humedad está expuesta al ataque de hongos, y con un 30% de humedad, éstos se encuentran en un ambiente óptimo donde desarrollarse. Los almidones y azúcares, así como algunos de los elementos de las paredes celulares, constituyen su principal fuente de nutrientes. Los hongos pueden desarrollarse en la superficie o en aberturas tales como grietas sobre maderas en condiciones de conservación muy desfavorables: humedad relativa muy alta, mala ventilación, contacto directo con la tierra, etc.²⁴ De acuerdo con el lugar de la célula de la madera donde se alimentan, algunos autores²⁵ los clasifican en: mohos, hongos cromógenos y hongos de pudrición. Estos últimos producen tres tipos de pudriciones: parda o cúbica, blanca y blanda. Sin embargo, otros autores^{26 276} solamente los clasifican en: cromógenos (lumen) y de pudrición (pared celular) (Figura 5).

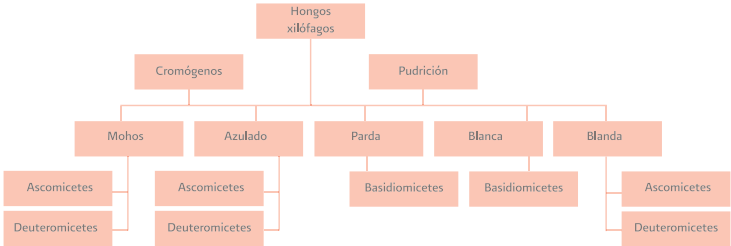


Figura 5. Clasificación de los hongos xilófagos según la parte celular donde se alimentan.

24 Parramón Ediciones, op. cit.

25 Fernando Peraza Sánchez, op. cit.

26 Hans-Peter Sutter, op. cit.

27 Rodríguez Barreal J. A. y F. Arriaga. 1989. Patología, tratamiento y consolidación de la madera puesta en obra. AITIM. Madrid.

Son incapaces de alimentarse de los principales componentes de la pared celular (celulosa y lignina), por lo que no producen pérdidas significativas en la resistencia de la madera. Debido a su crecimiento superficial son fáciles de eliminar con un trapo o mediante medios mecánicos. Aunque no resultan peligrosos por su mínima acción degradadora, crean las condiciones para el desarrollo de los hongos de pudrición.²⁸

Los mohos no afectan considerablemente las propiedades fisicomecánicas ni pudren a la madera.

La temperatura óptima de desarrollo de los mohos se encuentra entre 24 y 28° C, con posibles variaciones. El contenido de humedad oscila entre el 30 y el 150%.²⁹

Los hongos xilófagos típicos que producen los mohos son de las especies de *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium* y *Aspergillus*.³⁰

Hongos del azulado

Los hongos del azulado producen manchas de color azul verdoso en la albura de la madera en rollo o madera aserrada húmeda, color que se acentúa a mayor presencia del hongo. Es muy característica de maderas de coníferas, especialmente en pinos, pero también se puede presentar en madera de latifoliadas como en quiringuca (*Andira inermis*) o en madera de árboles frutales como el mango (*Mangifera indica*) (Figura 15).

28 Fernando Peraza Sánchez, *op. cit.*

29 Hans-Peter Sutter, *op. cit.*

30 Idem

La madera azulada pierde su valor estético, por lo que produce pérdidas económicas considerables. Una madera de pino de primera calidad puede pasar a madera de segunda o hasta tercera calidad.

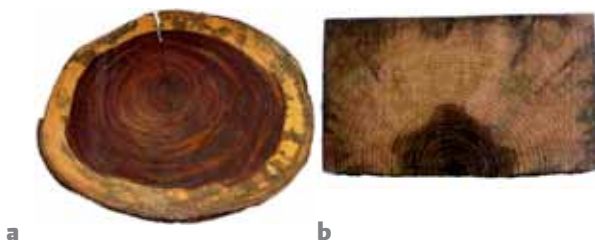


Figura 6. Azulado en maderas. a) Quirigua (*Andira inermis*), b) Pino (*Pinus sp.*). Fotos del autor.

Al igual que la madera con moho, la madera que presenta bajo grado de azulado no pierde considerablemente sus propiedades de resistencia mecánica, aunque el azulado sí afecta las propiedades físicas de la madera, incrementando la permeabilidad al paso de líquidos y aumentando su higroscopicidad ya que su daño no es sólo superficial, sino también al interior de la madera.

La madera con elevado grado de afección sí puede reducir su resistencia mecánica a tracción (tensión), compresión, cortante y flexión.³¹ El descenso de resistencia a tracción puede disminuir hasta 16%, el de compresión hasta el 25% y el de flexión hasta 17%.³²

El hongo del azulado primeramente invade el tejido parenquimatoso de la albura.³³

³¹ Rodríguez Barreal J. A. 1998. Tratado de rehabilitación, Departamento de construcción y tecnología arquitectónica. Universidad Politécnica de Madrid.

³² J. A. Rodríguez Barreal y F. Arriaga Martitegui, op. cit., p. 18.

³³ Zabel R. A. & J. Morrell. 1992. Wood Microbiology: Decay and Prevention, San Diego-New York-Boston-London-Sydney-Tokyo-Toronto Academic Press.

En términos generales se pueden distinguir dos tipos de hongos del azulado: hongos primarios del azulado y hongos secundarios del azulado. Los primarios son aquellos que se presentan en árboles debilitados en pie o en madera aserrada. Los secundarios son aquellos que después del secado de la madera se presentan cuando existe una adecuada humedad para su desarrollo,³⁴ por ejemplo en pisos, techos o paredes.

Los principales hongos del azulado pertenecen a los géneros *Cerastostomella* (Figura 7) y *Ceratocystis*.³⁵



Figura 7. Hifas de *Cerastostomella piceae* Munich., en madera de pino (tomada de Rodríguez, 1998).

³⁴ Hans-Peter Sutter, *op. cit.*

³⁵ J. A. Rodríguez Barreal., *op. cit.*

Los hongos del azulado pueden sobrevivir a humedades entre el 18% y el 140% y a temperaturas entre 5° C y 35° C.³⁶

Dado que el límite máximo de humedad, 140%, coincide prácticamente con el presentado por la madera de albura de conífera recién apeada, la acción negativa de estos hongos se puede iniciar inmediatamente tras la corta del árbol. Otro tanto pasa con el límite inferior del 18 al 20%, por lo que ya en el proceso de secado de la madera al aire, se puede iniciar este tipo de daños. Otro peligro potencial es el derivado del hecho de que estos hongos puedan vivir durante largos períodos de tiempo en estado latente, cuando las condiciones del medio no son adecuadas, volviendo a desarrollarse al retornar de nuevo aquellas.³⁷

Hongos de pudrición

Pudrición parda o cúbica

Es la más grave y peligrosa, por lo que también se le llama pudrición destructiva. Son hongos basidiomicetos que afectan a la celulosa y dejan a la lignina sin daño. Crecen principalmente en la pared celular pero también pueden estar en el lumen. La madera dañada es de color marrón oscuro y se agrieta perpendicular y transversalmente, formando estructuras paralelepípedicas, prismáticas o laminares.^{38 39 40}

Las especies que producen este daño son de la clase de los basidiomicetos y las más importantes son: *Serpula lacrimans* (syn. *Meriulus lacrymans*), *Poria spp.* y *Coniophora puteana* (syn. *Coniophora cerebella*).⁴¹

36 Ibidem.

37 Ibidem.

38 Hans-Peter Sutter, *op. cit.*

39 Fernando Peraza Sánchez, *op. cit.*

40 Robert A. Zabel & Jeffrey J. Morrell, *op. cit.*

41 Canela G. M. P. Nugari, O. Salvadori. 2000. La Biología en la restauración. Nerea, Junta de Andalucía, Sevilla.

Pudrición blanca

Afecta más a las latifoliadas que a las coníferas, debido a que presentan mayor cantidad de lignina. Se produce por hongos basidiomicetos y a veces ascomicetos, que se alimentan de los carbohidratos y preferentemente de la lignina de la pared celular, aunque también pueden dañar a la celulosa como los denominados hongos simultáneos (parientes de los hongos de pudrición blanca). La madera es de color blanquecino con un aspecto fibroso o incluso harinoso. Se le denomina también pudrición fibrosa, pudrición corrosiva o pudrición deslignificante. El daño en la madera inicia en el lumen y termina en la lámina media. La resistencia de la madera disminuye considerablemente cuando es afectada por este tipo de hongo. Las especies más importantes son: *Trametes spp.*, *Coriolus versicolor*, *Fomes sp.*, *Pholiota sp.*, *Pleurotus sp.* y *Polystictus sp.*^{42 43 44}

Pudrición blanda

Producida por hongos ascomicetes y deuteromicetes (hongos imperfectos), cuyas hifas se desarrollan no sólo en el lumen sino también en el interior de la pared celular secundaria, realizando su daño (cavidades). Se alimentan principalmente de la celulosa. Es muy parecida a la pudrición parda y se diferencia de ésta porque la madera se siente al tacto muy blanda o esponjosa, y cuando se seca se resquebraja formando cubos pequeños. Se produce cuando existe alta humedad, tanto en el ambiente como en la madera y en las zonas muy húmedas en contacto con el muro o la pared. Está causada por un amplio rango de hongos ascomicetos de los géneros *Chaetomium*, *Xylaria*, *Hypoxylon*; y de deuteromicetos como los *Alternaria*, *Coniothyrium*, *Humicola*, *Stemphylium* y *Stysanus*.^{45 46 47 48}

41 Idem / 42 Fernando Peraza Sánchez, *op. cit.* / 43 Hans-Peter Sutter, *op. cit.* /

45 Idem / 46 Canela, *et al. op. cit.* / 47 Peraza Sánchez, *op. cit.*

48 Peter Sutter, *op. cit.*

Plantas

Cuando las raíces de las enredaderas penetran en las uniones de la cantera provocan que el agua de lluvia se infiltre a la estructura de la construcción.



Figura 8. Enredadera en una viga de madera y enredadera en la cantería. Fotos del autor.

Otra planta que crece frecuentemente en las azoteas y en las paredes de cantería es una que puede lograr alturas hasta de 4 metros y tiene una conformación similar a la de un árbol. Se le conoce comúnmente como la “buena moza” y su nombre científico es *Nicotiana glauca* (Figura 9). Esta planta es común en edificios cuya azotea no haya tenido mantenimiento en por lo menos tres años. Tiene una capacidad de germinación excelente, sólo necesita encontrar una pequeña grieta y un mínimo de tierra o material poroso.



Figura 9. Plantas de “buena moza” de más de un metro de longitud en la azotea de un edificio en Morelia, Mich. Foto del autor.

Otras plantas que pueden afectar los edificios son árboles cercanos a los mismos, tales como fresnos, ceibas y ficus, cuyas raíces pueden crecer por debajo del edificio, ocasionando un levantamiento de los pisos y agrietamiento en los muros, entre otros deterioros.

Agua subterránea

En este rubro nos referiremos al agua presente en los mantos freáticos, es decir, a la humedad subterránea, que puede aparecer debajo de los edificios construidos en las cercanías de las costas. El agua puede aparecer a muy poca distancia del edificio. Un ejemplo de ello es el agua subterránea que afectó y sigue afectando la iglesia de la Santísima Trinidad (siglo XVIII) en la ciudad de Santiago de Cuba (Figura 10); esta iglesia tiene la peculiaridad, al igual que muchos otros edificios históricos de la ciudad de Santiago de Cuba, de presentar horcones (columnas de madera) embebidos en los muros y columnas de madera (pies derechos) soportando la cubierta de madera y teja. El agua subió por capilaridad a través de los muros y degradó la albura de estas piezas. La madera empleada se denomina comúnmente yaba (*Geoffroea inermis*) y es una madera dura con alta densidad básica ($> 0.7 \text{ gr/cm}^3$), con aproximadamente un 80% de contenido de duramen, razón por la cual pudo soportar el deterioro a través de los años. Esta madera se utilizaba también para fabricar carretas.

Los mambises utilizaron también en el Sitio de Holguín un cañón de madera que fabricó Marcelino Carranza de una madera llamada “yaba” que se acostumbraba usar para la fabricación de carretas, oficio al que se dedicaba Carranza.⁴⁹

49 Arsenio Renda, Efraín Clazadilla, Marta Jiménez y Joaquín Sánchez, El silvopastoreo en Cuba, Memorias de una conferencia electrónica, La Habana, Cuba, Instituto de Investigaciones Forestales, 1998. Disponible en: <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/afris/espanol/document/agrofor1/Renda18.htm> . Consulta: noviembre 2011.



Figura 10. Agua subterránea encontrada en la iglesia de la Santísima Trinidad en Santiago de Cuba. Foto del autor.

Condiciones climáticas

La madera de los portones, puertas y ventanas, está expuesta permanentemente a la acción de los agentes climáticos como los rayos del sol y la humedad de la lluvia y del medio ambiente.

Rayos del sol

Los rayos del sol causan un daño fotoquímico ocasionado por los rayos ultravioleta y los rayos infrarrojos. Los ultravioleta afectan solamente la superficie, degradando la lignina, por lo que se pierde cohesión entre las células. La lignina al ser degradada se deslava y es arrastrada por el agua. La madera adquiere un color inicial café. La fotodegradación afecta en mayor proporción a la madera de primavera (madera más blanda) que a la de invierno, por lo que se observan pequeños surcos superficiales. En las maderas protegidas superficialmente con alguna pintura o barniz, se degradan progresivamente las resinas de estos productos, especialmente aquellos que no presentan pigmentos en contra de los rayos UV.⁵⁰

⁵⁰ Fernando Peraza Sánchez, *op. cit.*

Los rayos infrarrojos causan calentamiento en la zona donde inciden y ocasionan grietas en la superficie (aun en maderas con protección superficial) originadas por la diferencia de humedad entre la superficie y el interior.⁵¹

Inicialmente se origina una decoloración superficial grisácea y con posterioridad una desfibración superficial que con la colaboración del agua de lluvia y del viento puede llegar a ocasionar desigualdades superficiales de cierta importancia, produciendo la denominada meteorización de la madera. Durante el proceso de fotodegradación se forman radicales libres en la madera, que al reaccionar con el oxígeno atmosférico, dan lugar a radicales peróxido, inestables fotoquímica y termalmente, originándose grupos cromógenos carbonil y carboxil que conducen a la citada coloración superficial.⁵²

Efecto de la humedad

Es quizá el factor más importante y en el cual se debe pensar primero al momento de iniciar un diagnóstico o evaluación de la madera. Las condiciones de humedad óptimas de una pieza de madera son aquellas en las que ésta se encuentra en equilibrio con su medio ambiente inmediato. Este medio ambiente está dado por varios factores, entre los más importantes están la humedad relativa del aire y la temperatura. Normalmente el contenido de humedad en equilibrio oscila entre el 10 y el 15% de humedad en el interior de la madera.

A mayor humedad en la madera, mayor susceptibilidad de deterioro.

El exceso de humedad lo puede ocasionar la acumulación de agua de lluvia, los defectos en los techos y cubiertas (como grietas, tuberías en mal estado o tapadas), contacto de la madera con los muros de otro material como adobe, cantera o piedra, falta de ventilación, condensación en zonas poco ventiladas y contacto con materiales metálicos.

51 Idem.

52 J. A. Rodríguez Barreal, *op. cit.*

El fenómeno de la condensación es mucho más frecuente de lo que se piensa, particularmente en las estructuras de madera que están en contacto con materiales de diferente capacidad térmica y colocada en ambientes con fuertes diferencias térmicas diurnas y estacionales .

Fuego

Es uno de los factores que más limita el uso de la madera, debido a que la madera es un material combustible. La impregnación con sustancias ignífugas provoca una combustión más lenta de la madera, por lo que también se les llama retardantes del fuego.⁵³

Agentes de deterioro de la madera

Los agentes que más afectan a la madera son de dos tipos: los bióticos y los abióticos. Entre los bióticos se encuentran principalmente los insectos, los hongos⁵⁴ , las bacterias y las plantas; entre los abióticos, el agua subterránea, la acción del sol y el efecto de la humedad (condiciones climáticas), entre otros.

Insectos

Debido a las condiciones climáticas de México, que por lo general son secas comparadas con los países del norte o del sur del planeta, los insectos xilófagos son la primera causa de deterioro de la madera. Según sus necesidades de humedad se pueden dividir en: insectos de madera húmeda e insectos de madera seca . Los primeros deterioran especialmente árboles en pie o madera recién cortada del árbol y no serán objeto de este manual; los segundos deterioran madera con un determinado contenido de humedad, desde medio húmeda (como postes o cercas), hasta muy seca (como techos y muebles).

53 Giovanni Liotta, *op. cit.*

54 R. N. Coulson; J. A. Witter, *Entomología Forestal. Ecología y Control*, Traducción, México, Limusa, 1990, 751 pp.

A su vez los insectos de madera seca pueden ser clasificados como insectos xilófagos en su fase larvaria e insectos adultos sociales. Los representantes xilófagos de los primeros son los escarabajos (coleópteros) y de los segundos, las termitas (isópteros).

Tipos de protección de la madera

La protección de la madera se puede dividir en dos tipos:

A) Protección no química, también se puede llamar protección por diseño constructivo.

B) Protección química.

Protección no química (protección por diseño constructivo).

La protección por diseño constructivo consiste en no utilizar sustancias químicas para la protección de la madera, sino en recurrir a las propiedades de la madera (en especial la durabilidad natural), para disminuir al máximo el efecto de agentes adversos a la madera (como humedad y condiciones climáticas) y en realizar una buena planeación y un adecuado diseño para la colocación arquitectónica ideal de cada elemento de madera a utilizar. Constituye un refuerzo adicional para la protección química.

Si la protección por diseño constructivo está bien diseñada y planeada, se puede reducir en gran proporción (quizás hasta en un 80%) el uso de la protección química.

Protección química

Se usa principalmente en aquellas piezas de madera utilizadas en el exterior o que van a estar expuestas a condiciones climáticas adversas.

Consiste en la aplicación de sustancias químicas para prolongar la vida útil de la madera al hacerla resistente al ataque de hongos, insectos, fuego y la intemperie, así como mejorar su estabilidad dimensional.⁵⁵

Los preservadores eliminan el factor ALIMENTO para los agentes destructivos de la madera. A medida que la técnica de preservación se ha ido perfeccionando, la madera ha adquirido mayores posibilidades de uso. Actualmente se la emplea en condiciones muy severas, como es el contacto directo con el suelo, sumergidas en el agua en los difíciles climas tropicales. En consecuencia, la madera preservada se considera hoy en día como un material de larga duración.

Incluye no sólo la aplicación de sustancias químicas para la impregnación de la madera, sino que también podrían utilizarse feromonas sintéticas o cebos para controlar y/o eliminar los agentes de deterioro, especialmente los insectos.

La protección química se utiliza para aquellas piezas que estarán sometidas a la acción de agentes deteriorantes como la humedad, el fuego y la intemperie; es decir, la madera que va a utilizarse para exteriores o la que estará expuesta a estos agentes. Como ejemplo de usos en exteriores podemos mencionar cubiertas de madera, cercas, muebles para parques y jardines y estructuras marinas.

A pesar de que los compuestos de cromo disminuyen el efecto que causa la intemperie, toda la madera tratada debe ser pintada para protegerla de los efectos del sol. El intemperismo (efecto de la lluvia y del sol) modifica la estructura molecular de la madera a través de cambios químicos, mecánicos, biológicos y lumínicos muy complejos, los que ocurren simultáneamente.

55 Coulson R. N., J. A. Witter. 1990. Entomología Forestal. Ecología y Control. Limusa, México

En general, en dos meses de exposición al sol, todas las maderas se tornan amarillentas o café y luego grisáceas. Las maderas más oscuras y con alta densidad sufren cambios más lentos que las maderas claras y de baja densidad.

La madera tratada debe impregnarse de acuerdo con normas internacionales porque en ellas se establecen las especificaciones de acuerdo con el nivel de riesgo al que va a estar expuesta la madera. En México se utilizan la norma NOM y NMX; en Estados Unidos las normas de la Asociación Americana de Preservadores de Madera (AWPA) y las normas de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM); y en Europa, las normas europeas UNE EN.

Protección de diseño constructivo

Los objetivos principales de la protección por diseño constructivo son:

- a) Impedir una alta concentración de humedad en las piezas de madera.
- b) Reducir al mínimo los cambios de contenido de humedad en la madera.

Se deben proteger las piezas de madera de:

- Acumulación de agua.
- Lluvia.
- Agua capilar.
- Aumentos de humedad.

y además:

- Se debe tener un contenido de humedad de la madera adecuado con el uso para impedir la formación de grietas.
- Debe existir la posibilidad de desvío de agua de lluvia a través de tuberías u otros elementos constructivos.

Los daños más comunes en México son causados por acumulaciones de humedad o por exposición de la madera al efecto de la lluvia y a las condiciones climáticas, junto con la falta de mantenimiento (Figura 11).



Figura 11. Ejemplos de causas de daño en vigas de madera.

Para evitar esto es necesario hacer un levantamiento de los lugares del techo donde se acumule el agua, volver a acomodar las tejas que se muevan por la acción del viento y de la lluvia para evitar la penetración de lluvia, proteger las vigas con otra pieza de madera tratada o no, pero de menor dimensión y factible de cambiar cuando se deteriore (esta pieza es denominada “madera de sacrificio”)(Figura 12).



de vigas.

Figura 12. Prevención de deterioro en vigas de madera.

Las medidas de protección por diseño constructivo se pueden dividir a su vez en dos tipos de medidas de actuación:

- a) Medidas de actuación de carácter constructivo.
- b) Medidas de actuación complementarias de carácter estructural.

En el presente capítulo las medidas de carácter constructivo se presentan de acuerdo con la procedencia de la humedad. Las medidas de carácter estructural se presentan en forma general sin seguir algún indicador, ya que son complemento de las medidas constructivas.

Medidas de actuación de carácter constructivo

Vale la pena recordar que la humedad es el factor imprescindible para el desarrollo de hongos e insectos. Entre más logremos disminuir su efecto, menor será la presencia de estos agentes de deterioro, es decir, mayor será nuestra protección de la madera.

Es la medida de actuación más importante en la conservación de la madera en cualquier edificio que contenga madera.

Establecer medidas de actuación para eliminar o disminuir el efecto de la humedad en la madera, es realizar el 90% o más de la conservación de la madera del edificio.

El efecto de la humedad en los edificios se puede clasificar de acuerdo con su procedencia en los siguientes aspectos:

a) Humedades procedentes de la azotea o de las cubiertas

Causas de acumulación de humedad

En las azoteas de los edificios generalmente se ubican canalones y tubos de desagüe que ocasionalmente se tapan con basura, hojas y tierra y se acumula el agua en la azotea. Si este encharcamiento permanece por varios días, se va filtrando a través de la azotea hasta llegar a la madera. Si la humedad es excesiva, el agua inclusive llega a gotear hasta el piso. Cuando hay un excedente de humedad, la madera la absorbe hasta llegar a saturarse, se forman los hongos (si la madera no fue tratada antes) y se inicia la pudrición, llegando con el paso del tiempo a fallar estructuralmente debido a la disminución de su resistencia mecánica y por ende de su capacidad portante. Si la humedad no es tan excesiva que logre saturar la madera, pero la mantiene húmeda, entonces aparecen insectos (termitas o carcomas).

Hay edificios con cubiertas de madera que comúnmente tienen tejas encima. Si las tejas se mueven o se rompen por la acción del viento, por animales diversos u otros factores, entonces pasará el agua a la madera de la cubierta y del interior del edificio.⁵⁶

Todas estas cubiertas presentan aleros dañados por condiciones climáticas como la lluvia y el sol, por lo que requieren protección constructiva y/o química específica. Estos aleros han protegido, en cierto modo, a la madera interior del efecto de agentes de deterioro.

El alero es capaz de proteger la fachada, pero en medida limitada que depende de la relación entre el vuelo y la altura de la edificación. Es decir, un vuelo del orden de 60 cm puede proteger una altura inferior a los 3 metros.

En muchas cubiertas existen también unas piezas de madera verticales que se insertan a las orillas de los tirantes de la cubierta. Estas piezas se denominan “pijas” y tienen como función soportar la acción tensora (tracción) de los tirantes. Como están a la intemperie, estas piezas sufren deterioro por las condiciones climáticas adversas.

Medidas de protección en las azoteas y cubiertas

- Desechar todos los materiales y utensilios inservibles para mantener limpio.
- Limpiar y/o arreglar los canalones y tubos de desagüe, por lo menos una vez al año, especialmente antes del periodo de lluvias.
- Arreglo o renovación de instalaciones defectuosas como tuberías y domos.
- Arreglar las grietas y verificar que existen pendientes adecuadas para la conducción, “bajada” y salida del agua, además de impermeabilizar. Es recomendable una pendiente mínima del 2% para la mejor conducción y salida del agua. Con esta pendiente se evitarían futuros encharcamientos.
- En los edificios con tejas, acomodar las tejas desplazadas de su lugar (trastejar) y de ser necesario colocar nuevas tejas (retejar), por lo menos una vez al año, especialmente antes del periodo de lluvias.
- Las tejas de las orillas deben sobresalir de 5 a 10 cm. Entre más sobresalgan es mejor.
- En algunas ocasiones será necesario colocar piezas de madera en las puntas de los pares, canes y otras piezas que den al exterior. Estas piezas realizan la función de goterón y de “sacrificio”, ya que si se deterioran, pueden cambiarse fácilmente. Se debe procurar colocar estas piezas de tal manera que el edificio no se vea modificado y no pierda su equilibrio arquitectónico.
- Reemplazar “pijas” dañadas por otras tratadas con sales CCA por métodos de presión y vacío.

Especialmente en sistemas de envigado (denominado franciscano) hay que poner mucha atención en los arreglos que se realicen, ya que presentan características y materiales específicos. Antes de la aparición del concreto armado, los sistemas utilizados fueron bóvedas y cúpulas sobre arcos, bóvedas de ladrillo, bóvedas planas sobre vigas o el techo franciscano que consistía en tablas sobre vigas, un terrado aislante y ladrillo de azotea arriba.

También se utilizaban y se utilizan: ladrillo (teja gruesa de 2 a 3 cm de espesor) sobre estructuras de madera, o ladrillo de tapa sobre envigado (de 1.5 a 2 cm de espesor), polietileno, terrado, entortado, enladrillado e impermeabilización.

Otros efectos de la humedad proveniente de azoteas y cubiertas.

Vigas de pasillos y/o corredores

Uno de los sitios donde más se ha observado el deterioro por la humedad proveniente de las azoteas y cubiertas es en las vigas, arrastres y zapatas de los pasillos y/o corredores de los edificios (Figura 13).



Figura 13. Efecto de la humedad en vigas de pasillos. Foto del autor.

En muchas ocasiones se ha empleado una chapa de zinc o de cobre (denominada lambrequín) para cubrir estas vigas, arrastres y zapatas. Sin embargo, las chapas metálicas pueden resultar contraproducentes si no se colocan bien, su uso requiere que se selle perfectamente la unión de la parte superior de la chapa con la madera. De lo contrario, el agua de lluvia o de la limpieza puede entrar a la madera y acumularse entre los dos materiales, ocasionando la pudrición de la misma.

Cuando se utilizan chapas de zinc o de cobre hay que tener la precaución de separar chapas y madera mediante arandelas de plástico u otro tipo de separadores para evitar reacciones entre el zinc y la resina de la madera (sobre todo en coníferas muy resinosas).^{57 58}

b) Humedades procedentes de los muros

La humedad en los muros de un edificio puede afectar a vigas, arrastres, pares, tirantes y canes, entre otros. Este manual se ocupa solamente de la solución constructiva de vigas, porque el encuentro de las vigas con los muros es quizá el punto más débil en la capacidad portante de la estructura.

La humedad en los muros causada por la lluvia penetra por capilaridad y logra tener contacto con las cabezas de las vigas, lo que ocasiona a través del tiempo su pudrición y ruptura.

Existe una típica patología de las zonas de apoyo de las vigas en el muro de fachada. El agua procedente de la lluvia es recogida en parte por la fachada, y de manera más fácil cuando existen repisones, antepechos volados, cornisas o cornisas de tapa. Las piezas de madera que apoyan en el muro de fachada pueden alcanzar contenidos de humedad peligrosos, aunque sea sólo en determinadas épocas del año, y desencadenar una pudrición.⁵⁹

57 Fernando Peraza Sánchez, *op. cit.* / 58 Francisco Arriaga et al., *op. cit.* / 59 *Ibidem.*

Otra causa de acumulación de humedad es la presencia de plantas (especialmente enredaderas), las que detienen la humedad en el muro. Ésta penetra hasta las cabezas de las vigas formando un microclima con alta humedad y baja temperatura.

También las instalaciones hidráulicas (tubos de desagüe) o eléctricas (mangueras) defectuosas pueden acumular humedad en los muros.

Encuentro de vigas con los muros

La instalación de una viga debe colocarse pensando en evitar al máximo que la humedad le afecte, ya sea por la capilaridad de los materiales circundantes o por contacto directo con la misma. La viga debe estar seca para su instalación con entre 13 y 17% de contenido de humedad.

La sección de la viga que está en contacto directo con el muro es donde la humedad produce mayores efectos. Por esa razón es conveniente disminuir lo más posible el contacto de la viga con los muros.

Protección constructiva de las vigas apoyadas en los muros

En la literatura se recomiendan diversas formas de solucionar constructivamente la parte de la viga que está deteriorada o que puede deteriorarse. Sin embargo, en la práctica no todas parecen ser fáciles de aplicar, por lo que cada quien debe elegir la que mejor le parezca, o combinar entre sí algunas soluciones constructivas.

- El método más adecuado sería colocar una nueva pieza de madera tratada con una sustancia insecticida y fungicida de alta permanencia, como las sales CCA y el proceso de presión-vacío, para asegurar la penetración completa de la pieza. Sin embargo, esto implica desmontar la estructura y colocarla nuevamente.

Cuando no se puede desmontar la estructura, entonces primero se realiza un tratamiento químico realizando varias perforaciones e inyectando, si es posible a presión, la sustancia protectora. Vale la pena recordar que estas perforaciones servirán para futuras aplicaciones. Una vez que ya se aplicó la sustancia protectora, entonces se procede a aplicar una o varias de las medidas constructivas siguientes.

La solución constructiva ideal es colocar una pieza de asiento que sea impermeable (como neopreno, capa asfáltica, cartón asfáltico, cartón embreado, chapa metálica, madera tratada a presión y vacío), y mantener una separación entre 15 y 30 mm en toda la superficie de la viga que queda empotrada en el muro.

En aquellos sitios donde la temperatura puede disminuir más de 8°C, es recomendable colocar una capa de aislante delante de la cara de la viga. Esta capa puede ser de fibra de vidrio, lana mineral o espuma de poliuretano, entre otras.⁶⁰

El apoyo más sencillo desde el punto de vista estructural se realiza sobre el eje del muro y la cabeza de la viga queda encerrada y acodalada por la fábrica del muro. Para facilitar la misión de arriostamiento entre los muros, a veces en alguna de las vigas (normalmente una de cada cuatro y en zonas que no coincidan con los huecos de fachada) se fija una grapa o gancho de hierro que se recibe en el muro, de tal forma que la viga puede llegar a trabajar como un tirante (Figura 14).⁶¹

60 Williams R. S., M. Knaebe, W. Feist. 1996. *Finishes for Exterior Wood. Selection, Application, and Maintenance*. Madison, U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Society.

61 Francisco Arriaga, et al. , *op. cit.*



Figura 14. . Izquierda: anclaje de la viga al muro⁶². Derecha: viga con asiento y separación (Liotta, 2000)

Otra opción es dejar un orificio desde el hueco donde estará la viga hasta el exterior, el cual se debe proteger con una malla o rejilla.⁶³ (Figura 15).

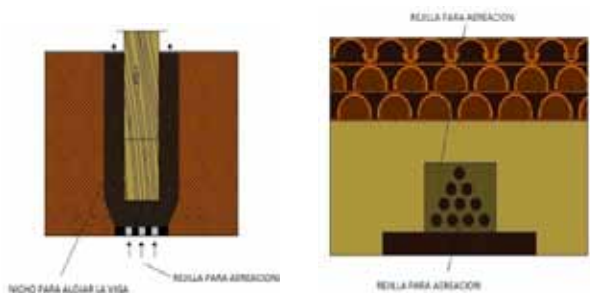


Figura 15. Ventilación hacia el exterior. (Liotta, 2000).

- También se puede dejar libre (hueca) la parte superior de la viga para que tenga ventilación interior (Figura 16).

62 Fernando Peraza Sánchez, *op. cit*

.63 Ibidem.



Figura 16. Ventilación interior.⁶⁴

Colocación de chapas acanaladas, cartón asfáltico o espuma de poliestireno, entre otros, en toda la superficie de apoyo de las vigas (Figura 17)⁶⁵. Es mejor que el material circundante de la viga tenga porosidad y capacidad de ventilación para que no existan condensaciones de humedad en la misma.

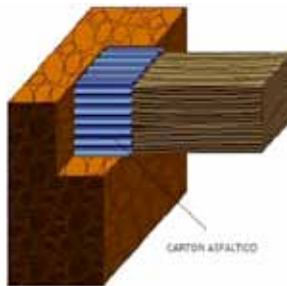


Figura 17. Cartón asfáltico alrededor de viga (Peraza, 2001).

⁶⁴ Ibidem.

⁶⁵ Idem.

- En casos extremos llega a recomendarse que el apoyo se realice fuera del muro a través de la colocación de una ménsula de piedra empotrada en el muro (Figura 18). En la capilla de San Nicolás Obispo, en Morelia, por ejemplo, se usan ménsulas de madera (canes).



Figura 18. Apoyo de vigas en ménsulas de madera.

- Una variante de la anterior es la colocación de un arrastre de madera sobre el cual se apoyan las vigas (Figura 19).

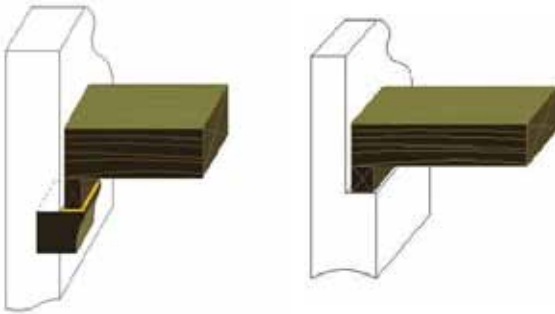


Figura 19. Apoyo de vigas sobre arrastres de madera (Peraza, 2001).

c) Humedades procedentes del suelo

Se debe al tipo de suelo, al nivel freático, la ubicación del edificio, a la lluvia y a instalaciones defectuosas. Un suelo arcilloso acumula más humedad que un suelo arenoso. Un edificio cuya base sea inferior a la de la calle o que se encuentre en la parte baja de la pendiente donde el agua se acumule, tendrá mayor humedad que otros edificios mejor ubicados; un ejemplo de este tipo de edificios es el templo de Nuestra Señora del Carmen, de Morelia, Michoacán, que se encuentra en un nivel de piso inferior al nivel de la calle. Las instalaciones defectuosas se pueden reparar para evitar mayor acumulación de humedad. Un suelo húmedo provoca que la humedad ascienda por los muros a través de un fenómeno de capilaridad.

Protección constructiva para evitar la humedad por capilaridad en los muros

Entre los métodos que existen para eliminar o disminuir la humedad por capilaridad, se encuentran el de zanja, pozos drenantes, sistema eléctrico, barreras físicas, barreras químicas, sifones atmosféricos y revestimientos difusores.

A continuación se presentan algunos mencionados por Arriaga *et al.*⁶⁶

Zanja de drenaje

Se realiza adjunta a los muros exteriores de la edificación recogiendo el agua en un tubo poroso conectado a la red de drenaje, que se dispone a unos 15 cm por debajo de la base. El material drenante se coloca el más grueso en la base y según se sube en altura el más fino. Normalmente se aprovecha para realizar una impermeabilización de la cara exterior del muro enterrado o de la cimentación. Se recomienda aprovechar esta zanja para aplicar sustancias insecticidas contra las termitas subterráneas (como óxido de tributil de estaño, hongos antitermitas y cebos).

⁶⁶ Francisco Arriaga, *et al.*, *op. cit.*

Pozos drenantes

Son pozos de cierta profundidad que recogen el agua, la que se bombea para ser conducida a la red de drenaje. Su carácter puntual permite su colocación en el interior del edificio. Su ejecución es sencilla, pero el funcionamiento en servicio se encarece. Algo similar a los tubos drenantes son los sistemas de aerodrén, que se utilizan frecuentemente en las medidas de actuación. Son perforaciones que se hacen en el muro para permitir la evaporación del agua capilar (Figura 20).



Figura 20. Sistemas de aerodren en muro.

Sistemas eléctricos

Utiliza las propiedades de la electricidad para contrarrestar las fuerzas de ascensión por capilaridad. El agua que contiene sales y que atraviesa una membrana semipermeable (muros) mantiene diferentes concentraciones de sales a ambos lados de la misma, originando una diferencia de potencial. Si se invierte la polaridad creando un diferencial de potencial se puede forzar el paso del agua desde el muro hasta el terreno. Para ello se coloca un metal conductor (preferentemente no corrosivo como el titanio) en el arranque del muro (ánodo), que se conecta mediante un cable conductor a otros metales clavados (cátodos) en el suelo.

Barreras físicas

Son barreras impermeables en el arranque del muro para interrumpir el paso de la humedad. Puede ser material plástico como PVC o polietileno, metálico no corrosivo como acero inoxidable, aluminio o plomo), bituminoso o mediante la inyección de líquidos capaces de taponar los poros.

Las barreras metálicas resultan más adecuadas cuando el muro debe transmitir cargas. El principal inconveniente de este método es la necesidad de cortar el muro para la introducción de la barrera. No es recomendable para espesores de muro superiores a 40 cm.

Barreras químicas

Denominado también método por inyección. Consiste en la introducción, a través de taladros en el muro, de productos químicos que mediante un proceso físico-químico consiguen la obstrucción de los poros utilizando productos mineralizadores (silicatos, siliconatos), o bien hidrofugación de las paredes de los capilares mediante productos repelentes al agua. Estos sistemas tienen resultados eficaces siempre que se realicen profesionalmente.

Sifones atmosféricos

Se basa en el aumento de la superficie de evaporación. Se introducen en el muro unos tubos de cerámica porosa que tienen un diámetro interior de unos 3 cm y una profundidad de 15 a 30 cm. Su longitud depende del espesor del muro, de manera que deben entrar entre un 50 y 75% del grueso del mismo. Normalmente se colocan tres sifones por metro lineal, inclinados ligeramente hacia el exterior y a una altura del nivel del suelo de 15 a 20 cm. Existe una variante que incorpora unos electrodos de cobre para añadir un efecto de electro-ósmosis pasiva.

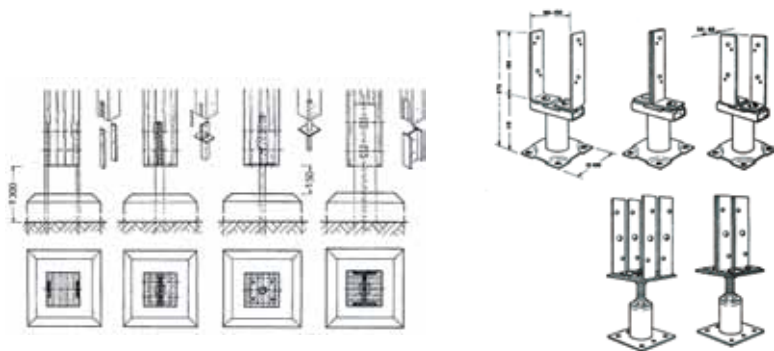
Los sifones presentan el inconveniente de su aspecto estético y la formación de puentes térmicos. En la actualidad casi no se utilizan.

Revestimientos difusores

Se trata de la colocación de un revestimiento de alta porosidad que facilita la evaporación de la humedad al ambiente. Para ello se utilizan morteros aplicados en tres capas, cuya red capilar es más fina en la capa exterior de manera que el agua se succiona y se facilita la evaporación.

Protección constructiva de columnas de madera y madera cercana al suelo

Muchos edificios presentan columnas y/o pilares de madera, cuyas bases se encuentran bastante deterioradas por la lluvia, el sol, los insectos, hongos y por daños mecánicos, entre otros. Una pieza de madera en contacto con el suelo se clasifica como perteneciente a la clase de riesgo 4, en donde la posibilidad de pudriciones y de ataques de termitas es importante y su durabilidad o vida de servicio disminuye rápidamente. Por este motivo, una de las reglas clásicas de la construcción con madera es separar la pieza de madera del suelo de 20 a 30 cm.⁶⁷ (Figura 21).



Bases metálicas (JUNAC, 1988)



Bases metálicas en postes (Eder, 1997)

Figura 21. Bases metálicas para separación del suelo.

d) Otras fuentes de humedad

Otras fuentes de acumulación de humedad son las plantas como las enredaderas y plantas de ornato en las habitaciones, así como los espacios permanentemente cerrados.

Las plantas enredaderas pueden llegar a cubrir y traspasar los muros, la madera y los techos. Las plantas de ornato que se riegan constantemente provocan una mayor humedad relativa dentro de la habitación donde se encuentren, posibilitando una humedad propicia para la aparición de insectos y a veces de hongos. Los espacios cerrados y sin ventilación, como sótanos, almacenes y bodegas provocan un ambiente muy propicio para hongos e insectos como las termitas.

Medidas de actuación complementarias de carácter estructural

a) Realización de un buen cálculo estructural

El realizar un adecuado cálculo estructural considerando la mayor cantidad posible de variables disminuiría considerablemente el deterioro de la madera.

No realizar el cálculo estructural de madera instalada o por instalarse, sería no completar la protección por diseño constructivo de un edificio. Un mal cálculo estructural afectaría la resistencia mecánica de las piezas a colocarse y traería como consecuencia su ruptura y por ende la estabilidad del edificio ocasionando grietas y desacomodo de tejas.

Es importante considerar entre otras variables las siguientes para otorgar factores de reducción: contenido de humedad, presencia y tamaño de nudos, presencia y tamaño de grietas, inclinación del hilo, torceduras y bolsas de resina. Se debe tomar en cuenta que los valores de resistencia mecánica de la literatura están especificados por normas y proporcionados para madera libre de defectos y con un contenido de humedad del 12%, por lo que al utilizar madera con defectos se deben tomar en cuenta los factores de reducción correspondientes.

A mayor contenido de humedad y mayor cantidad de defectos, menor resistencia mecánica de la madera.

b) Otras medidas de carácter estructural son la sustitución, el refuerzo y la consolidación

Sustitución

Debe suceder cuando la madera está tan deteriorada (>50%) que ya no puede recuperarse. No vale la pena ni técnica ni económicamente aplicar medidas de refuerzo o de consolidación.

Especialmente las piezas de madera con síntomas de pudrición son las que presentan baja resistencia mecánica y física, ya que sus células pierden su capacidad de adhesión.

La sustitución debe realizarse por otra pieza de madera de la misma especie y con características anatómicas similares (como el ancho de anillos de crecimiento, la dirección del hilo y los nudos). Debe estar tratada preferentemente por métodos de presión y vacío, o mínimo por inmersión prolongada.

En el caso de un elemento de otro material como madera laminada, hay que considerar que éste presente características muy similares a la madera, como densidad, contracción e hinchamiento.

Refuerzo

Lleva como finalidad aumentar la capacidad portante y la resistencia de una estructura o elemento estructural de madera. Puede ser a través de otros elementos tales como metálicos, de madera o de concreto. Los casos de las figuras son casos de refuerzo adicional para disminuir la deformación de la pieza de madera. Los refuerzos no actúan directamente en la madera, como sí lo hacen las consolidaciones.

Consolidación

Tiene como objetivo actuar en la madera con el fin de igualar o mejorar las propiedades de resistencia mecánica que tenía originalmente. Se utiliza en las zonas dañadas de la pieza de madera (Figura 22).

Según Rodríguez (1998)⁶⁸ y otros autores, existen las siguientes formas de consolidar la madera deteriorada.

- a) Con concreto
- b) Mixta concreto-madera
- c) Con elementos metálicos
- d) Con elementos de madera
- e) Con formulaciones epóxicas



Figura 22. Cabezas de vigas que deben consolidarse (Rodríguez, 1998).

Actualmente, por desconocimiento de las propiedades de la madera, en muchos lugares acostumbran colocar piezas nuevas sin tratar, cubren las cabezas con la mezcla común de cemento y arena y resanan con yeso los huecos o puntas podridas. Esto provoca que se acelere el deterioro de la cabeza de la viga, ya que se impide su ventilación y al absorber humedad se pudrirá más rápidamente.

68. Rodríguez Barreal, *op. cit.*

c) Uso de piezas metálicas

El uso de piezas metálicas es cada vez más común; normalmente se utilizan de acero inoxidable o lámina galvanizada. Se pueden usar por ejemplo como uniones metálicas o como bases.

Protección química

Vale la pena recordar que la protección química es un complemento de la protección por diseño constructivo y se debe utilizar cuando se hayan agotado todas sus posibles formas de protección, a través de la durabilidad natural de la madera o del carácter constructivo o estructural de la misma.

Sustancias preservantes

Existe una gama de productos químicos para proteger a la madera. Es tan abundante y variada que el usuario puede confundirse y aplicar la que no es adecuada. Es por esa razón que es muy importante conocerlas aunque sea de manera general.

En una sustancia para proteger a la madera, lo que se debe tomar en cuenta es su principio activo y si es insecticida, fungicida o ambos.

Debido a esta gama de variedad, existen varias formas de clasificación, según la función que vayan a desarrollar o las características del producto.

Entre estas formas de clasificación, podemos mencionar las siguientes:⁶⁹

- 1) Por su utilización
- 2) Por su naturaleza química
- 3) Por su forma de presentación y actuación
- 4) Por la categoría de riesgo

⁶⁹ Rodríguez Barreal, *op. cit.*

Por ser de importancia y de interés para este manual, se considerará y se explicará sólo la segunda clasificación: por su naturaleza química, la cual nos presenta en forma clara las diversas sustancias preservantes de la madera.

Según su naturaleza química existen varios criterios. A continuación se presentan dos de ellos.

Ávila (2004) los clasifica de la siguiente manera:⁷⁰

1) Oleosos

a) Creosota

2) Oleosolubles

a) Pentaclorofenol

b) Naftenatos

c) Pentaclorofenato de sodio

d) Óxido tributil estañoso

e) Quinolinato 8 de cobre

3) Hidrosolubles

a) Sales múltiples

a.1) Arsénico-cobre-amoniacaes (ACA)

a.2) Cobre-cromo-arsenicales (CCA)

a.3) Cobre-cromo-bóricas (CCB)

b) Compuestos de boro

c) Otras sales

c.1) Cobre-cromo-flúor

c.2) Cobre-cromo-fósforo

c.3) Cromo-zinc-cloro (CZC)

c.4) Flúor-cromo-arsénico-fenol (FCAP)

70 Avila C. L. E. A. 2008. Técnicas de determinación de retención y penetración en la Madera, notas. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morélia. 29 pp.

A su vez, Rodríguez (1998) presenta una clasificación y además una explicación de cada una de las sustancias. A continuación se presentan en forma resumida esta clasificación y la descripción de las sustancias.⁷¹

1) Orgánicos naturales: se obtienen por destilación, entre 200 y 400°C de alquitrans procedentes de la combustión de carbones grasos (hulla) y de coque metálico entre 900 y 1,200 °C. Sus propiedades dependen tanto del carbón, como del método de destilación. Presentan una composición química compleja, caracterizándose por su viscosidad, densidad y alquitrans presentes.

a) Creosotas y otros (como naftaleno, carbolineum y piridinas).

2) Hidrodispersables: mezclas de principios activos no hidrosolubles a los que se añade un emulgente, para lograr una buena dispersión en el agua. Se conocen como emulsiones.

3) Hidrosolubles:

a) Sales

Como cloruro de mercurio, sulfato de cobre, arsenito de cobre amoniacal (ACA), arseniato de cobre cromado (CCA), borato de cobre cromado (CCB), fenol arseniato de cromo y fluor (FCAP), ácido de cobre cromado (ACC), cloruro de zinc cromado (CZC), protectores de boro, protectores de cromo.

b) Retardantes del fuego

b.1) De capa: se aplican a la superficie de la madera.

b.2) Totales: se aplican en profundidad a la madera.

como bórax y ácido bórico, cloruro de zinc, sulfatos y fosfatos amónicos y productos de antimonio.

⁷¹ Rodríguez Barreal, *op. cit.*.

c) Protectores preventivos temporales: para maderas recién derribadas del árbol o bien tablas o tablones después del aserrado. Su efectividad no supera los tres meses.

Madera recién derribada: pentaclorofenato de sodio.

Madera recién aserrada: pentaclorofenato de sodio y bórax (tetraborato de sodio).

4) Protectores en disolventes orgánicos

a) Compuestos nitrados

b) Compuestos clorados

Fenoles clorados: triclorofenol, tetraclorofenol, pentaclorofenol, tetraclorofenato de zinc, pentaclorofenato de cobre y pentaclorofenato de sodio.

Naftalenos clorados: monocloronaftaleno y dicloronaftaleno.

Bencenos clorados: diclorobenceno, triclorobenceno, lindano, dieldrin, clordano, Aldrin y DDT.

c) Compuestos organometálicos

Organomercuriales: compuestos de fenil y etilmercurio.

Naftenatos metálicos: preferentemente los de cobre y zinc, naftenato de cobre, naftenato de zinc y otros.

Organoestañosos: se incluyen en este grupo aquellos que tienen estaño, silicio, germánico o plomo.

Estaño tributílicos: compuestos organometálicos del grupo IV del Sistema Periódico. Dióxido de tributilo estañado (TBTO).

Otros: quinolinato de cobre solubilizado, productos de aluminio repelentes del agua y productos de titanio o zirconio.

d) Compuestos organonitrogenados:

Superficiales, cyflutrina y azaconazole.

Totales: pentaclorofenol, propiconazole, tebuconazole, permetrina.

Protectores en forma sólida o gaseosa

5.1) Pastas: como materias activas pueden tener fluoruro de sodio, dinitrofenol y arseniato de sodio

5.2) Gases: tienen un periodo de eficacia corto, y tras la salida de los gases de la madera, ésta queda sin protección alguna. Algunos ejemplos son ácido cianhídrico, bromuro de metilo, bromuro de etileno, cloruro de metileno, óxido de estileno, sulfuro de carbono y 2,2-diclorovinil dimetil fosfato.

5.3) Aerosoles: pentaclorofenol.

En términos generales y para fines prácticos de este manual, las sustancias preservantes de la madera se pueden clasificar en dos tipos, las hidrosolubles y las oleosolubles.

En el Laboratorio de Conservación y Preservación de la Madera (LACOPREMA) de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, se utilizan diversas sustancias para la preservación de la madera antes de su uso (ex situ): las sales CCA "C" para interiores y exteriores (clases de riesgo 1 a la 5) y las sales de boro para interiores (clases de riesgo 1 y 2). Para madera ya instalada (in situ) se utilizan sales de boro, piretrinas, permetrinas, entre otros para interiores y óxido tributil de estaño para exteriores.

Sales CCA "C" (arsenato de cobre cromado)

Existe en el mercado una sustancia preservante con buena calidad y utilizada a nivel internacional por sus muchas ventajas. La sustancia se denomina sal CCA "C" (arsenato de cobre cromado). La única desventaja que presenta es que le

proporciona un color verde claro a la madera. Este color se elimina proporcionándole como acabado final cualquier otro color deseado. (Figura 23).



Madera tratada con CCA. Atrás está la madera no tratada.

Comparación de madera tratada con CCA y madera no tratada.

Figura 23. Maderas tratadas con sales CCA. Fotos del autor.

El preservador que hasta la fecha es conocido como el más efectivo y seguro para usos internos y externos, cuando es aplicado en la forma adecuada y utilizado de acuerdo con las indicaciones. La madera preservada con CCA expuesta a condiciones ambientales extremas durará por décadas. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA) ha dirigido pruebas con estacas de madera preservadas con CCA que han demostrado resistencia al ataque de termitas y hongos por más de 60 años. Esta agencia de pruebas predice una vida útil para madera preservada con CCA de cinco a diez veces mayor que la de madera sin preservar.⁷²

En Europa, actualmente ya se están utilizando otras sustancias libres de cromo y arsénico, las cuales están restringidas para usos en donde exista contacto con el ser humano: hidroxicarbonato de cobre, cloruro de benzalconio y triazol.

⁷² http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/awpa_table.htm Consulta noviembre de 2010

Sales de boro

Estas sales se utilizan porque a diferencia de las sales CCA, no manchan la madera con algún color específico. Sin embargo su uso se limita a interiores, lo que es su principal desventaja; no se pueden emplear en maderas expuestas a la lluvia o a una alta humedad relativa del aire, debido a que son fácilmente lixiviables (lavables).

Sustancias comúnmente utilizadas en México

En México se utilizan popularmente una serie de sustancias que la mayoría de las veces se usan sin ningún sustento técnico o científico. Es muy común utilizar sustancias que nos “heredaron” nuestros antepasados o sustancias que se hicieron costumbre.

También es común que cuando se tiene un problema de insectos u hongos en la madera o papel se llame a una empresa de fumigación, la cual por no ser una empresa profesional en el área de la madera, aplica cualquier producto que funciona para plagas como cucarachas, pero no para agentes xilófagos.

Aparte de las clasificaciones anteriores, en México es importante clasificarlas de acuerdo con el lugar de uso de la madera, así tenemos: a) sustancias para bienes muebles y b) sustancias para bienes inmuebles (como vigas, gualdras, zapatas, columnas y pilares) o visto de otra manera: a) sustancias para madera no estructural y b) sustancias para madera estructural.

a) Bienes muebles (no estructural): aceite de linaza, petróleo, preventol y fosforo de aluminio, entre otros. Están también el bromuro de metilo y el pentaclorofenol, pero son sustancias que no se recomiendan por su alta toxicidad al ser humano.

b) Bienes inmuebles (estructural): chapopote, petróleo, aceite requemado. La eficacia de estas sustancias no está bien estudiada, por lo que el utilizarlas

no es una garantía de que la madera quede protegida. Además, estas sustancias se utilizan por medio de métodos sin presión, lo que reduce su posible eficacia.

Sustancias consolidantes o de relleno

No se deben confundir las sustancias protectoras de la madera con aquellas que sólo realizan una función de relleno, consolidación o adhesión. Entre ellas podemos mencionar: cola animal, resinas sintéticas, éter de celulosa, polietilenglicol (PEG), resinas epóxicas y ceras.

Existen numerosos tipos de colas. La más usada en diferentes trabajos de restauración es la cola blanca de PVA (acetato de polivinilo). Se encuentra en el mercado lista para su uso. Se disuelve en agua y es de fácil aplicación. Sus inconvenientes son el tiempo de secado (24 horas) y que no es invisible. Es la indicada para el encolado de encajes. La cola de carpintero tradicional (realizada a base de restos animales) es transparente y disuelve la cola antigua (se aplica caliente), por lo que no es necesario eliminarla. Las colas a base de cianocrilatos son adecuadas para fijar pequeños detalles. Su mayor desventaja es que pega al instante. Las colas de dos componentes están indicadas para unir dos zonas con pérdidas de materia.⁷³

Otras sustancias

Pueden existir otras sustancias para proteger a la madera. Entre ellas podemos mencionar los extractos de plantas naturales, tales como extractos del duramen de maderas tropicales como la parota (*Platymiscium lasiocarpum*), el granadillo (*Dalbergia sp.*) y el tepeguaje (*Lysiloma acapulcensis*).

73 Armengol et al. 2004

De igual manera se pueden utilizar los extractos de hojas de eucalipto (*Eucalyptus sp.*), de laurel (*Nerium oleander*) y de higuera (*Ricinus communis*).

Sin embargo, todas estas sustancias apenas están en proceso de investigación, así como la utilización de fluidos geotérmicos residuales y la utilización de la cascarilla de arroz para la preservación de la madera.

Todos estos extractos naturales denominados “biocidas” se degradan rápidamente por ser orgánicos, por lo que el reto es encontrar la forma de fijarlos en la madera, de tal manera que se tenga una alta retención y una larga permanencia en la misma.

Métodos de conservación y preservación de la madera

Existen varios métodos de tratamiento, tanto para madera húmeda como para madera seca. Para fines de este manual, abordaremos sólo los tratamientos de conservación y preservación para madera seca.

Existe una gran cantidad de métodos de tratamiento de la madera seca con el fin de prolongar su vida útil. Sin embargo, algunos son más efectivos que otros. Estos métodos se pueden dividir según su grado de penetración, en tratamientos superficiales y tratamientos a profundidad (Cuadro 2). Los tratamientos superficiales son aquellos que permiten alcanzar penetraciones máximas del protector en la madera de 3 mm de profundidad⁷⁴

Los tratamientos a profundidad alcanzan penetraciones mayores a 3 mm y pueden ser totales o parciales, según el método o la especie. El tipo de sustancia y el tipo (especie) de madera juegan un papel muy importante para alcanzar una determinada profundidad de la sustancia dentro de la madera.

74. Rodríguez Barreal, *op. cit.*

Por ejemplo, Aburto (2006)⁷⁵ utilizó dos tipos de sustancias (sales CCA y sales de boro) y dos tipos de métodos (inmersión prolongada y célula llena) para impregnar madera de mango (*Mangifera indica*) obteniendo diferentes resultados de penetración (Cuadro 1). De acuerdo con su proceso (Cuadro 2), los métodos de tratamiento de la madera se dividen en métodos sin presión y métodos con presión.⁷⁶

Cuadro 1. Profundidad en mm de sales CCA y sales de boro en inmersión prolongada y célula llena (método Bethell).

| | Sales CCA | Sales de boro |
|---------------------|-----------|---------------|
| Inmersión 168 horas | 0.77 | 6.51 |
| Presión (Bethell) | 1.30 | 15.00 |

Cuadro 2. Clasificación de los métodos de tratamiento de la madera.

| Por su penetración | | | Por su proceso | |
|----------------------------|----------------------|--------------------|---|----------------------------|
| Superficiales | Profundos | | Con Presión | Sin Presión |
| Pincelado o brocha | Sin autoclave | Con autoclave | Rupping Lowry Alternativo Oscilante Bethell | Pincelado o brocha |
| Pulverizado o de aspersion | Inmersión prolongada | Con Presión | Rupping Lowry Alternativo Oscilante Bethell | Pulverizado o de aspersion |
| Sin Presión | | Sin Presión | | |
| Aspersor manual | | Aspersor eléctrico | | |
| Inmersión breve | Baño caliente y frío | | | |
| Inyección | Inyección | | | |

75 Aburto G. G. 2006. Impregnación de la madera de mango (*Mangifera indica* L.) con sales CCA y sales de boro por los métodos de inmersión y célula llena. Tesis de Licenciatura, FITECMA, UMSNH, Morelia, Michoacán. México. 72 pp.

76 FAO. 1986. Wood preservation manual. Forestry paper 76. Rome.

A continuación se describen cada uno de los métodos sin presión y al final se explica con detalle el método de presión denominado Bethell o de célula llena, ya que es uno de los métodos más utilizados y logra elevados grados de penetración y retención de la sustancia protectora de la madera.

La explicación de algunos de estos métodos se tomó de Rodríguez⁷⁷ y de Peraza⁷⁸.

Pincelado o brocha

Tratamiento en que el protector se aplica con pincel, brocha o rodillo. Se utilizan mayormente los protectores en disolvente orgánico por su mayor grado de penetración y menor deslave.

Se aplica dándose tres manos del protector y dejándose secar entre ellas. Se pueden alcanzar unos grados de absorción sólida del protector entre 150 a 250 gr/m².

Se crea una delgada capa tóxica superficial (en maderas poco permeables penetra hasta 1 mm y en maderas más permeables penetra de 2 a 3 mm), por lo que la protección de la madera es muy baja.

La madera debe estar seca (<18%), limpia y libre de recubrimientos superficiales. En una investigación realizada por Vázquez (2005),⁷⁹ se encontró que por el método con brocha y utilizando la sustancia protectora óxido tributil de estaño (OZ) en muestras de 2 x 2 x 34 cm, el porcentaje de retención apenas fue de 0.378%.

77. Rodríguez Barreal, *op. cit.*

78 Peraza Sánchez, *op. cit.*

79 Vázquez N. B. A. 2005. Posibilidades de conservación de la madera de tres edificios del centro histórico de Morelia. Tesis de Licenciatura, FITECMA, UMSNH, Morelia, Michoacán., México.

El método más simple de aplicación de un preservante es el de brocha y se usa normalmente para maderas de pequeñas dimensiones y también cuando se requiere tratar maderas ya instaladas en un edificio.⁸⁰

Pulverizado o de aspersión

Este método puede ser aplicado también con presión y sin presión. Con presión se puede utilizar un compresor eléctrico y sin presión un aspersor manual (Figura 24). El compresor eléctrico se recomienda para aquellas sustancias inodoras y no tan tóxicas como las sales de boro. Para otro tipo de sustancias más tóxicas puede ser peligroso para la persona que lo aplica ya que forma una nube con partículas muy finas que son aspiradas rápidamente por la boca y afectan garganta y ojos.

Con este método se puede dar tratamiento a mayores piezas que con el de brocha y se tiene mayor avance, además de que se pueden alcanzar aquellas áreas que no son posibles con brocha. Se recomienda aplicar de 250 a 300 gr/m².

Para sustancias más tóxicas que las sales de boro, es mejor utilizar el aspersor.



Aspersor manual

Compresor eléctrico

Figura 24. Pulverizado o aspersión. Fotos del autor.

80 FAO, *op. cit.*

Inyección sin presión

Se utiliza para impregnar vigas de madera o bienes muebles. Se hacen perforaciones a la madera con una broca fina (2 a 3 mm de diámetro). La perforación debe ser lo más inclinada posible del techo hacia abajo de la viga. Posteriormente se introduce la jeringa y se inyecta el líquido. Se recomienda utilizar jeringas con la mayor capacidad posible (Figura 25).

En bienes muebles se aprovechan las perforaciones realizadas por los insectos para introducir la jeringa e inyectar la sustancia.



Figura 25. Aplicación de OZ por inyección. Foto del autor.

Inyección con presión

Consiste en perforar la madera, insertarle y dejar dentro unas válvulas de plástico que permiten la inyección de la sustancia. Se usa una presión aproximada a los 4 Kg/cm². El problema de este método es que la sustancia penetra a profundidad pero en forma parcial, no total.

Se usa para madera escuadrada > a 50 mm y en madera en rollo con diámetros > a 100 mm. Los taladros se aplican a tresbolillo o alineados en la cara de la viga de madera, no deben ser más de tres por metro lineal y con una profundidad no mayor a del espesor de la pieza. Se recomiendan dos tipos de válvulas: de 6 mm para escuadrías < a 100 x 100 mm o con un grueso entre 50 y 200 mm y 9 mm para aquellas > a 100 x 100 mm y con un grueso > a 200 mm.⁸¹

⁸¹ Arriaga, et al., op. cit.

Inmersión breve

Es un método que se utiliza frecuentemente en aserraderos de México para proteger principalmente tablas y tablones contra el manchado (hongos) de la madera. Es una protección muy superficial y sin garantía. Para madera estructural no debería utilizarse porque no penetra ni siquiera 1 mm.

El tiempo de inmersión va de los 10 segundos a un máximo de 10 minutos, dependiendo de la especie, de las dimensiones de las piezas y del tipo de preservante. Para maderas con contenidos de humedad < a 18% se usan disolventes acuosos u orgánicos, y para contenidos de humedad > a 28% productos hidrosolubles o hidrodispersables.⁸²

Inmersión prolongada

El tiempo de inmersión de la madera en la sustancia protectora va de 10 minutos a varias semanas, según el uso al que esté destinada, su tipo, las dimensiones de la pieza, el contenido de humedad y la sustancia a usar.

Pudiera utilizarse para madera estructural (vigas, columnas, gualdras o polines) pero con un tiempo mínimo de inmersión de 48 horas. Dependiendo de la densidad, permeabilidad e impregnabilidad de la madera, la sustancia penetrará de 3 a 5 mm, máximo 10 mm, por lo que se consigue una protección media. En el cuadro 12 anterior, se puede observar la penetración en inmersión de una semana (168 horas) con dos tipos de sustancias: sales CCA y sales de boro.

Baño caliente-frío

Es prácticamente una inmersión caliente-fría. Las piezas se sumergen primero en el preservante caliente, lo que ocasiona la salida del aire del interior de la madera, además de un distanciamiento de sus moléculas, posteriormente se sumerge la pieza de madera en el preservante frío (a temperatura ambiente).

82 Peraza Sánchez, *op cit.*

Al haber menos aire y mayor espacio entre sus moléculas dentro de la madera, permite que la sustancia penetre a mayores profundidades que en los métodos de inmersión breve y prolongada (Figura 26).

El principal problema para piezas mayores a 2.5 m de longitud es que se gasta mucha energía para calentar el depósito correspondiente y el trabajo con piezas estructurales es muy tardado.



Figura 26. Tratamiento baño caliente-frío. Foto del autor.

Al utilizar retardantes de fuego, tales como la solución acuosa de óxido de silicio o la solución acuosa de fosfatos, amonio y boro se pueden obtener absorciones en ocho horas entre 85 y 95 Kg/m³.⁸³

Tratamientos en autoclave

Método de doble vacío o Vac-Vac

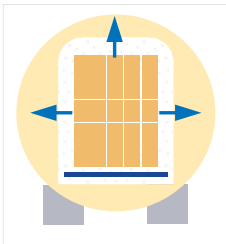
En el tratamiento en autoclave de doble vacío se pueden distinguir dos vertientes:

- Autoclave de inmersión.
- Autoclave de aspersión.

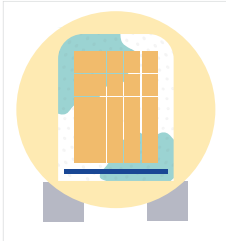
Debido a las características del proceso y a los productos tratantes, con los autoclave doble vacío sólo se puede proteger la madera hasta una clase de riesgo 3.

83 Reyes J. L. 2006. Eficacia de dos productos retardantes al fuego en madera de *Pinus pseudostrobus* Lindl. utilizando tres métodos de impregnación. Tesis de maestría, FITECMA, UMSNH, Morelia, Michoacán, México.

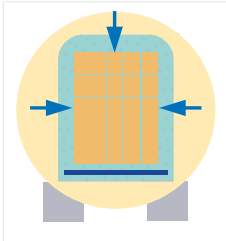
Es similar al de presión y vacío. Su diferencia es que no utiliza presión, sino sólo aspersión o inmersión por un lapso de alrededor de 30 minutos, dependiendo de la especie. El proceso para el de autoclave de aspersión es el siguiente (Figura 27).



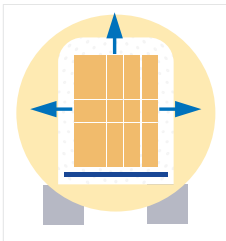
1. Vacío inicial: se produce un vaciado del aire que hay en el interior de la cámara y en las zonas más externas de la madera. El nivel de vacío a alcanzar depende de las características de la madera y del producto tratante.



2. Vacío constante: se mantiene el nivel de vacío durante unos minutos para extraer el aire de las zonas más profundas de la madera.



3. Pulverización en vacío: se realiza la pulverización del producto tratante en vacío, lo que genera una nube del producto que envuelve las piezas.



4. Pulverización y entrada de aire: se mantiene la pulverización del producto tratante mientras se abren las válvulas para la entrada de aire, lo cual genera la absorción del producto que se encuentra en la superficie de las piezas; esto debido al vacío en el interior de la madera que provoca una aspiración del producto hacia el centro de la misma, cuando entra el aire al recinto.

5. Vacío final: se vuelve a crear el vacío tras el proceso de pulverizado para regular la cantidad de producto retenido por la madera y además facilitar su secado.

Figura 27. Proceso del método de autoclave por aspersión.

Características del proceso:

El tratamiento de doble vacío con aspersión es capaz de llegar al 75% del volumen impregnable de las piezas con la adecuada relación vacío-tiempo. Este tratamiento también es válido para dar acabados y productos de fondo, pero hay que tener en cuenta que para estas aplicaciones hay que hacer limpieza de la maquinaria, lo que es costoso.

La principal ventaja de este proceso con respecto al que realiza un doble vacío con inmersión (sin presión), es que la cantidad de producto a tener almacenado es menor, por lo cual los riesgos para el medio ambiente y para los operarios disminuyen considerablemente. La fijación del producto es muy rápida y la madera no se altera dimensionalmente (al tratarse de un producto orgánico con base disolvente).



Figura 28. Autoclave para el método de doble vacío.

Método de presión y vacío (método Bethell)

Es el más adecuado para proteger la madera que se va a utilizar en clases de riesgo 4 y 5. Es un método que se utiliza antes de darle uso a la madera, es el más efectivo, práctico, económico y rápido. Es efectivo porque logra que la sustancia penetre e impregne la albura al 100%, además se pueden controlar las variables de impregnación como la absorción, la retención y la penetración.

En la mayoría de las especies de árboles, el duramen no se puede impregnar por ningún método, sólo un poco en la zona de transición con la albura. Este método resulta práctico porque permite manipular bien la madera y hacerle previamente limpieza, determinación del contenido de humedad y dimensionado. Es económico a corto plazo porque en la actualidad utiliza principalmente sales hidrosolubles en rangos de concentración del 2 al 10%, dependiendo de la clase de riesgo al que va a estar expuesta la madera. Es económico a mediano y largo plazo porque al impregnarse totalmente la madera se prolonga su vida útil de tres a cinco veces más.

Es rápido porque una carga de madera (500 a 5,000 pies tabla, dependiendo de la empresa) dura máximo 4 horas para que la madera de albura quede totalmente impregnada. Posteriormente sólo se dejaría secar para poder utilizarse.



Figura 29. Autoclave para presión y vacío.

Existen varios métodos de presión y vacío. Los más comunes son el método de célula llena (Bethell) y los métodos de célula vacía (Lowry, Rüpping).

El proceso de impregnación se realiza basándose en nueve pasos generales (Figura 30)⁸⁴: El número después del paso es el que se encuentra indicado en la gráfica de la Figura 30.

Proceso de impregnación en el método de presión y vacío por célula llena (proceso Bethell).

1. Secado (1)⁸⁵: se determina el contenido de humedad de la madera. El contenido de humedad debe ser menor a 30%. Entre más seca esté la madera, más sustancia retendrá y absorberá y mayor será su vida útil.

2. Limpieza (1): se hace con una escoba o cepillo de cerdas fuertes. En esta fase, se registran datos generales como: contenido de humedad, dimensiones y peso de cada pieza, número y tamaño de nudos, bolsas de resina y porcentaje de albura y duramen. En un extremo de cada pieza se corta una muestra pequeña para realizar el cálculo de la retención y absorción máximas.

3. Preparación de la solución (1): se prepara la solución entre 2 y 10%, dependiendo de la clase de riesgo.

4. Vacío inicial (2): una vez cargada la madera y cerrada la puerta se realiza un vacío inicial por un periodo de 15 a 30 minutos en un rango de 40 a 50 cm de Hg (53.3 – 66.64 KPa).

84 Cruz de León J., D. Sánchez. 2004. Comparación de los métodos Bethell y Lowry en la impregnación a presión de madera de pino con sales CCA. V Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales, Pachuca, Hidalgo.

85 El número entre paréntesis es el número correspondiente en la gráfica.

5. Llenado (3): el autoclave se llena con la solución a una determinada concentración por medio de una bomba.

6. Presión (4): se establece una presión máxima de trabajo de 10 Kg/cm² (983.5 KPa). Una vez lleno el autoclave, se aplica presión de 15 a 30 minutos.

8. Vacío final (6): se realiza un vacío final entre 40 y 50 cm de Hg durante 15 a 20 minutos.

9. Penetración (7): al término del proceso se toman barrenos con el taladro de Pressler de cada pieza a 20 cm de cada extremo y se determina la penetración del cobre por medio de cromo azurol según la norma (AWPA A3-83, 1983). Para ello se disuelven 0.5 g de cromo azurol 5 concentrado y 5 g de acetato de sodio en 80 ml de agua destilada y se aforan en 500 ml de agua.

Se rocía la solución sobre los barrenos de la madera tratada y una coloración azul determina la penetración del cobre en la madera impregnada.

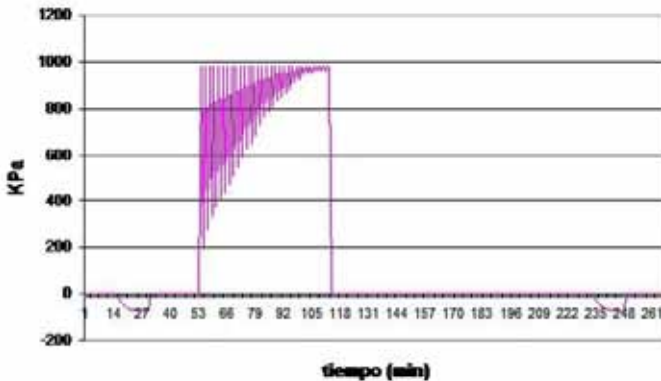


Figura 30. Gráfica del proceso de presión y vacío por el método de célula llena (Bethell).

Riesgos de Trabajo

Para aplicar cualquier sustancia química por cualquier método de tratamiento es necesario tomar medidas de seguridad, ya que se está trabajando con sustancias químicas tóxicas que pueden tener efectos nocivos para el ser humano. Es importante tener la ropa y el equipo adecuados para aplicar cualquier sustancia, como gafas, guantes de látex o de piel, bata, overol o ropa de manga larga y mascarilla con carbón activado.

Dos personas deben aplicar las sustancias y alternarse en la aplicación. Es necesario que siempre estén dos personas porque si algo le pasa a alguna, la otra puede dar aviso a las dependencias correspondientes como Cruz Roja, Secretaría de Salud o de salubridad, hospitales, etcétera. De éstas últimas debe procurarse tener siempre los números telefónicos así como los números de emergencia.

Aplicar en la medida de lo posible en lugares ventilados o abrir las ventanas y puertas en lugares cerrados. En el caso de que no haya puertas o ventanas, se puede utilizar un ventilador si se cuenta con instalación eléctrica.

Para boro: se puede aplicar de 30 a 40 minutos y alternar la otra persona. La aplicación no debe durar más de cuatro horas

Para OZ: se puede aplicar de 5 a 10 minutos y alternarse con la otra persona. La aplicación no debe durar más de dos horas.

El pentaclorofenol y el bromuro de metilo no deben utilizarse por su alta toxicidad para el ser humano.

Es un producto que se degrada con dificultad y puede acumularse en exceso sobre órganos aprovechables de las plantas cultivadas, pudiendo constituir un peligro para la salud humana. La FAO considera el nivel de tolerancia en alimentación humana en 0,3 mg de bromuro por kilogramo de peso corporal.

En el año 1992 tuvo lugar en Copenhague una reunión en la que se incluyó al bromuro de metilo como sustancia activa responsable de la destrucción de la capa de ozono. En esta reunión y en posteriores se hicieron acuerdos internacionales para disminuir progresivamente la aplicación de bromuro de metilo hasta su total prohibición.

CAPÍTULO II

Determinación de la penetración, absorción, retención y permanencia de las sustancias preservantes (control de calidad)

La determinación de estas variables permite el control de calidad de la impregnación o de la aplicación de las sustancias preservantes. Las que más se utilizan son la retención y la penetración de la sustancia en la madera.

Se determinan siguiendo los parámetros e indicaciones de las normas mexicanas NMX, NOM o de normas internacionales como las de la American Wood Preservers' Association (AWPA), las de la American Society for Testing and Materials (ASTM) o las normas europeas (EN).

Penetración

Consiste en determinar hasta dónde penetró la sustancia con la que se impregnó la madera tratada. Se puede determinar en mm de penetración de la sustancia, en el área que ocupa en la pieza (total o parcial) o en la forma en que se distribuye la sustancia utilizada (regular o irregular).

Es variable dependiendo del método a utilizar. En el método a presión y vacío se pueden lograr penetraciones de la albura hasta del 100%. En los métodos de brocha, aspersión, inmersión simple e inyección, apenas se logran penetraciones

de 1 mm. Sólo en el caso de inmersión prolongada pueden lograrse penetraciones mayores, aunque de forma irregular, en la pieza de madera.

Para determinar la penetración se utiliza un instrumento denominado taladro de Pressler, el cual es prácticamente un sacabocado con el que se obtiene una muestra cilíndrica que abarca desde la periferia hasta el centro o puede inclusive atravesar toda la pieza (Figura 31).



Figura 31. Taladro de Pressler.

El grado de protección depende, entre otras cosas, de la profundidad a la que se introduzcan los productos tratantes, para ello se definen tres tipos de profundidad de tratamiento según la norma UNE EN 56.416:88 (Figura 32):

| | |
|--|--|
| | Tratamiento superficial: es aquel en que la profundidad de impregnación es de 3 mm como media y no es inferior a 1 mm en ningún punto de la superficie tratada. Métodos de tratamiento: pincelado, pulverización e inmersión breve. |
| | Tratamiento de profundidad media: es aquel en el que la profundidad alcanzada por el protector no es inferior a 3 mm en ningún punto de la superficie tratada, sin llegar al 75% del volumen impregnable. Métodos de tratamiento: inmersión prolongada y sistemas de impregnación por autoclave (vacío-vacío o vacío-presión). |
| | Tratamiento en profundidad: es aquel en el que la penetración de los tratantes es superior al 75% del volumen tratable. Métodos de tratamiento: sistemas de impregnación mediante autoclave vacío-presión. |

Figura 32. Profundidad de los productos tratantes.

Pero el grado de protección no sólo depende de la profundidad del preservante, sino también de la distribución del preservante en la madera. JUNAC⁸⁶ establece seis formas de penetración del preservante (cuadro 3):

Cuadro 3. Formas de distribución de la penetración del preservante.

| Distribución | Descripción |
|-------------------|--|
| Total regular | Cuando toda la sección está penetrada con concentración uniforme. |
| Total irregular | Cuando existen lagunas muy pequeñas en la zona penetrada con zonas de mayor concentración. |
| Parcial regular | Cuando la zona penetrada es periférica y más o menos uniforme. |
| Parcial irregular | Cuando existen lagunas o la penetración es difusa y la zona no rige en patrón fijo. |
| Parcial vascular | Cuando la penetración se realiza siguiendo los elementos de conducción (penetración longitudinal). |
| Nula | Cuando no hay penetración significativa en la zona examinada. |

Clases de penetración

La norma mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2003, menciona dos requisitos mínimos de penetración de la sustancia preservante (cuadro 4): . Para fines de este manual podemos considerarlos como si fueran dos clases de penetración.

Cuadro 4. Requisitos mínimos de penetración según norma NMX-C-322-ONNCCE-2003

| Clase de penetración | Especificación o requisito mínimo |
|----------------------|---|
| P1 | En piezas iguales o menores de 2.5 cm de espesor, el preservador debe penetrar el 100% de la albura |
| P2 | En piezas de más de 2.5 cm de espesor, el preservador debe penetrar por lo menos el 85% de la albura o 2.5 cm de profundidad en cada cara que contenga albura |

86 JUNAC *op.cit.*

Retención

La retención es la cantidad de sustancia que permanece finalmente en la madera, una vez que ya se evaporó todo el solvente. En el caso de sales hidrosolubles, es la cantidad de sustancia que permanece después de que se evapora el agua. Se pueden determinar dos tipos de retención: retención relativa y retención máxima.

Determinación de la retención relativa y la retención máxima

La retención relativa (R_r) es aquella que se determina en la madera que contiene un determinado contenido de humedad. La retención máxima (R_m) es aquella que se determina en piezas de madera que se secan hasta el estado anhidro (0% de contenido de humedad).

La R_r se determina a través del producto de la absorción relativa (A_r) por la concentración (C) dividida entre 100.

La R_m se determina considerando el producto de la absorción máxima (A_m) por la concentración (C) dividida entre 100.

La retención en la madera es diferente de acuerdo con el tipo de sustancia preservante y con la clase de riesgo. La norma mexicana NMX-C-322-ONNC-CE-2003 nos presenta las retenciones de once sustancias de acuerdo con las diferentes clases de riesgo (cuadro 5):

Cuadro 5. Retenciones mínimas recomendadas del preservador de acuerdo con el grado de riesgo en servicio de la madera (kg/m³). (1)

| Tipo | Oleoso | Oleosolubles | | | | Hidrosolubles | | | | | |
|-------|--------------|--------------|---------|----------|----------|---------------|---------|----------|----------|-----------|-----------|
| Nivel | Creosota (2) | PCP (3) | CuN (4) | Q8Cu (5) | TBTO (6) | ACC (7) | ACA (8) | ACZA (9) | CCA (10) | BORO (11) | FCAP (12) |
| R1 | NR (13) | NR | 0.64 | 0.32 | 0.208 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2.70 | 4 |
| R2 | NR | 6.4 | 0.64 | 0.32 | 0.234 | 6.4 | 6.4 | 6.4 | 6.4 | 6.4 | 6.4 |
| R3 | 128 | 8 | 0.96 | NR | NR | 9.6 | 9.6 | 9.6 | 9.6 | NR | NR |
| R4 | 160 | 9.6 | 1.2 | NR | NR | 12.8 | 12.8 | 12.8 | 12.8 | NR | NR |
| R5 | 400 | NR | 1.2 | NR | NR | 40 | 40 | 40 | 40 | NR | NR |

(1) Estos niveles de retención son para productos de madera de pino impregnados a presión. Para maderas refractarias el proceso de impregnación puede hacerse a repulsa, pero teniendo como parámetros los niveles de esta tabla.

(2) Al 100% o en mezcla.

(3) Pentaclorofenol al 5% en masa. Retención base producto activo.*

*Se recomienda no utilizar el pentaclorofenol.

(4) Naftenato de cobre. Retención base Cu.

(5) Quinolinolato 8 de cobre. Retención base Cu.

(6) Óxido de bis (tri-n-butiltin).

(7) Cromato de cobre ácido.

(8) Arsenato de cobre amoniacal.

(9) Arsenato de zinc, cobre amoniacal.

(10) Arsenato de cobre cromado.







(11) Boro inorgánico.

(12) Fluor-cromo-arsénico-fenol.

(13) NR: no recomendable.

Para el caso de maderas importadas preservadas, los niveles de retención para cada nivel de riesgo se deben apegar a los valores establecidos en esta norma según el tipo de preservador empleado. En el caso de maderas impregnadas con preservadores hidrosolubles ACQ (cobre, DDAC, amonio) y CBA (cobre, boro, azol, no producidos actualmente en México) los niveles de retención se ajustarán a los indicados para CCA. El cuadro 6 presenta las clases de penetración y las zonas de análisis para las mediciones de retención, de acuerdo con las normas UNE EN 351-1:1995 o UNE EN 351-1:2008.

Cuadro 6. Clases de penetración con las especificaciones de penetración y las zonas de análisis correspondientes para las mediciones de retención – UNE EN 351-1:1995.

| TABLA 1 Clases de penetración y las zonas del análisis correspondientes para las mediciones de retención | | | |
|--|--|---|---|
| Clase de Penetración | Especificación de penetración | Zona de análisis | Ilustración esquemática de la especificación de penetración |
| P1 | Ninguna | 3 mm en las caras laterales |  |
| P2 | Al menos 3 mm en las caras laterales y 40 mm en sentido axial en la albura | 3 mm laterales en la albura |  Si la distancia entre la albura y el diámetro no es posible |
| P3 | Al menos 4 mm en las caras laterales en la albura | 4 mm laterales en la albura |  Si la distancia entre la albura y el diámetro no es posible |
| P4 | Al menos 6 mm en las caras laterales | 6 mm laterales en la albura | Veáse P3 |
| P5 | Al menos 6 mm en las caras laterales y 50 mm en sentido axial en la albura | 6 mm laterales en la albura | Veáse P2 |
| P6 | Al menos 12 mm en las caras laterales en la albura | 12 mm laterales en la albura | Veáse P3 |
| P7 | Solamente madera en rollo, Al menos 20 mm en la albura | 20 mm en la albura |  Grosor de albura >20 mm |
| P8 | Penetración total en la albura | Toda la albura |  Si la distancia entre la albura y el diámetro no es posible |
| P9 | Toda la albura y al menos 6 mm en la madera de duramen expuesta | Toda la albura y en 6 mm en la madera de duramen expuesta |  Si sólo hay presencia de madera de duramen |

Leyendas de los esquemas:
 — Límite de la albura cuando se distingue del duramen
 - - - - Límite de la albura cuando no se distingue el duramen

Absorción

Es la cantidad de solución (en el caso de sales hidrosolubles: agua más sustancia) que puede absorber una madera. Se pueden determinar dos tipos de absorción: absorción relativa y la absorción máxima.

Determinación de absorción relativa (A_r) y absorción máxima (A_m) Los tratamientos a vacío y presión requieren que la madera esté seca, es decir, por debajo del punto de saturación de la fibra (25-28% de contenido de humedad), para que pueda absorber el preservante.

La absorción relativa (A_r) es aquella que se mide en la madera que contiene un determinado contenido de humedad. La absorción máxima (A_m) es aquella que se determina en piezas de madera que se secan hasta el estado anhidro (0% de contenido de humedad).

Se determina por diferencias de pesos inicial (P_i) y peso final (P_f) sobre el volumen inicial (V_i) de cada pieza impregnada, expresada en Kg/m^3 y de acuerdo con la siguiente ecuación:

La A_m se determina considerando la diferencia de pesos después de la impregnación (P_{di}) y en estado anhidro (P_o), cuyo resultado se divide entre el volumen de la muestra en estado anhidro (V_o). Se expresa en Kg/m^3 mediante la ecuación:

Impregnando polines de pino (*Pinus leiophylla*) y comparando dos métodos con presión (Bethell y Lowry), se encontraron los siguientes resultados⁸⁷ (cuadro 7).

87 Cruz de León y Sánchez Ramos, *op. cit.*

Cuadro 7. Datos de absorciones y retenciones (Kg/m³) en madera de pino.

| | Absorción relativa (Kg/m ³) | |
|--------------------|---|---------|
| | Bethell | Lowry |
| Absorción relativa | 419.16 | 110.81 |
| Retención relativa | 7.54 | 1.99 |
| Absorción máxima | 569.94 | 10.26 |
| Retención máxima | 134.49 | 2.42 |
| Penetración | Total | Parcial |

Impregnando madera de mango (*Mangifera indica*), utilizando dos sustancias y comparando cuatro métodos, se obtuvieron los siguientes resultados⁸⁸ (Cuadro 8):

Cuadro 8. Datos de absorciones y retenciones relativas en madera de mango.

| | Absorción relativa (Kg/m ³) | | Retención relativa (Kg/m ³) | |
|-------------------|---|---------------|---|---------------|
| | Sales CCA | Sales de boro | Sales CCA | Sales de boro |
| Inmersión 24 hrs | 83.91 | 116.82 | 1.68 | 2.33 |
| Inmersión 72 hrs | 125.74 | 197.09 | 2.51 | 3.94 |
| Inmersión 168 hrs | 164.19 | 291.01 | 3.28 | 5.82 |
| Bethell | 375.93 | 375.25 | 7.52 | 7.51 |

88 Aburto, op. cit.

Permanencia de las sustancias conservantes, consolidantes o preservantes

La permanencia de una sustancia en la madera es la cantidad de sustancia que a través del tiempo perdura con la misma eficacia contra agentes de deterioro sobre o dentro de la madera.

Depende de muchas variables entre las cuales podemos mencionar: especie de madera, contenido de extraíbles, acabados en la madera (como pintura y barniz), método de aplicación, tiempo de aplicación y tipo de sustancia.

Es una variable a la que se le pone poca atención, pero es sin duda la más importante.

Si la permanencia de la sustancia es muy baja no sirve de nada impregnar la madera con una sustancia para conservarla, consolidarla o preservarla.

De ella depende la aplicación periódica o no de las sustancias en la madera. Se puede determinar de dos formas:

- A) Exponiendo la madera tratada a los efectos directos de las condiciones climáticas.
- B) Utilizando cámaras de envejecimiento que simulan el deterioro ambiental por efectos de luz UV y lluvia, entre otros.

Guía para la elección del tratamiento protector

Las normas UNE EN 31-1:1995 y la UNE EN 351-1:2008 recogen, a título informativo, una guía para la prescripción, de ser necesaria, del tratamiento de la madera (Figura 33).

Los fabricantes de estos productos deberían especificar que es necesario considerar las necesidades de penetración y retención, propias de cada tratamiento, para asegurar su efectividad.

Sin embargo, la elección del producto y del procedimiento para alcanzar la protección adecuada es compleja y debe realizarse por especialistas. En las normas de producto correspondientes, en los documentos nacionales de interpretación o en los organismos de normalización se encuentra normalmente información para llevar a cabo esta elección.

Normatividad

Existen a nivel nacional e internacional una serie de normas que regulan e informan qué sustancias deben utilizarse o qué método es el más adecuado. Entre ellas podemos mencionar las normas mexicanas NMX y las NOM, las normas americanas AWPA y las ASTM y las normas europeas UNE EN.

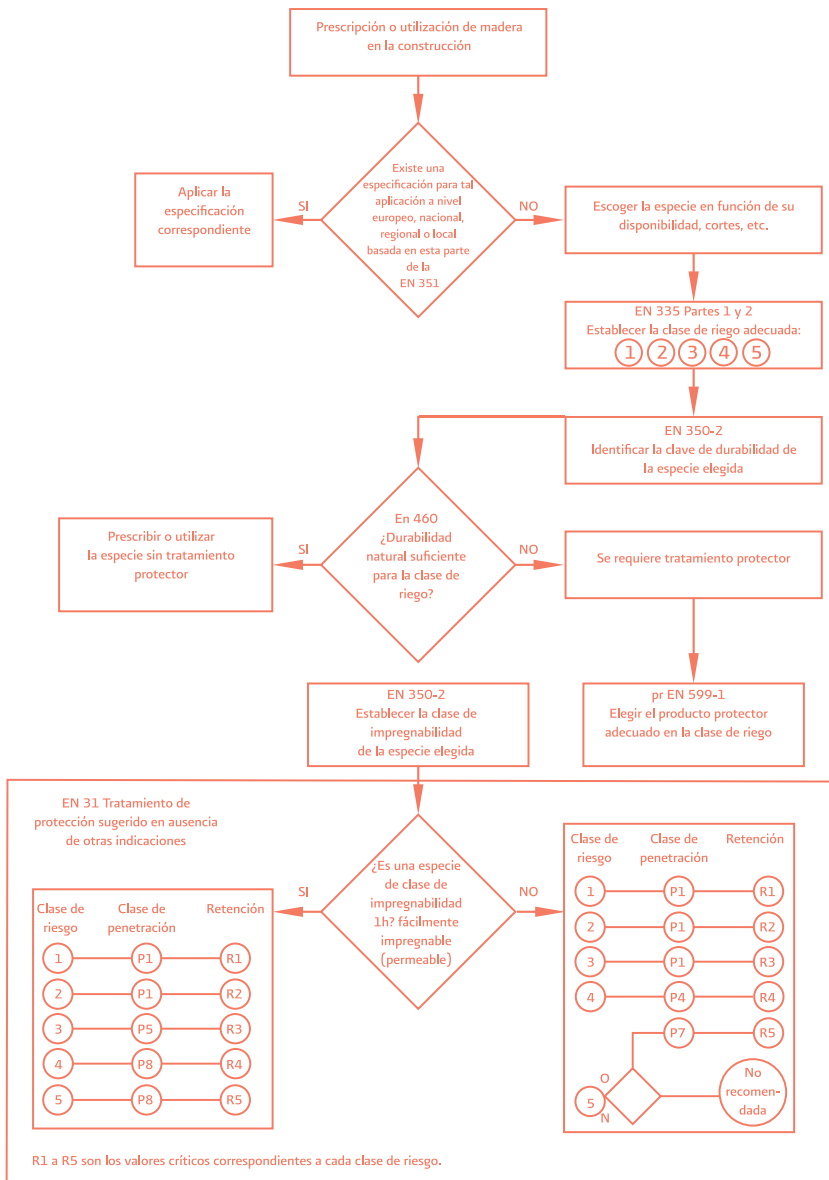


Figura 33. Árbol de decisión para la elección de un tratamiento protector. Normas mexicanas

Normas Mexicanas NMX

| Clave | Fecha | Descripción |
|------------------------------------|------------|---|
| N M X - C - 1 7 8 - ONNCCE-2001 | 29/01/2002 | Industria de la construcción-preservadores para madera-clasificación y requisitos (cancela a las NMX-C-178-1983 y NMX-R-031-1973). |
| N M X - C - 2 2 4 - ONNCCE-2001 | 29/01/2002 | Industria de la construcción-vivienda de madera y equipamiento urbano-dimensiones de la madera aserrada para su uso en la construcción (cancela a la NMX-C-224-1983). |
| N M X - C - 3 2 2 - ONNCCE-2003 | 10/10/2003 | Industria de la construcción-madera preservada a presión-clasificación y requisitos (cancela a la NMX-C-322-1981). |
| N M X - C - 4 1 0 - ONNCCE-1999 | 17/06/1999 | Industria de la construcción-vivienda de madera-retención y penetración de sustancias preservadoras en madera-métodos de prueba. |
| N M X - C - 4 1 9 - ONNCCE-2001 | 29/01/2001 | Industria de la construcción-preservación de maderas-terminología (cancela a la NMX-R-017-1981). |
| N M X - C - 4 4 3 - ONNCCE-2006 | 16/10/2006 | Industria de la construcción-madera-contenido de humedad de la madera-métodos de ensayo (cancela a la NMX-EE-103-1981). |
| N M X - C - 4 4 6 - ONNCCE-2006 | 16/10/2006 | Industria de la construcción-vivienda de madera y equipamiento urbano-métodos de ensayo para determinar las propiedades mecánicas de la madera de tamaño estructural. |

Normas Mexicanas NOM

| Clave | Fecha | Descripción |
|-------------------------------|------------|--|
| N O M - 1 4 4 - SEMARNAT-2004 | 15/12/2004 | Establece las medidas fitosanitarias reconocidas internacionalmente para el embalaje de madera que se utiliza en el comercio internacional de bienes y mercancías. |
| PROY-NOM-017-RECNAT-1997 | 11/06/1998 | Regula sanitariamente la madera aserrada, contrachapada y chapada usadas de importación en la región y franja fronterizas. |
| NOM-056-SCT2-2000 | 02/05/2001 | Durmientes de madera. |

Clases de penetración según la normas UNE EN (la versión oficial en español de las normas europeas)

UNE EN 351-1:1995 establece nueve clases de penetración y la norma UNE EN 351-1:2008 describe seis clases de penetración NP1 a NP6. Las especificaciones de ambas son las siguientes:

| UNE EN 351-1:1995 | Especificaciones | UNE EN 351-1:2008 | Especificaciones |
|-------------------|--|-------------------|---|
| P1 | Ninguno | NP1 | Ninguno |
| P2 | Al menos 3 mm en las caras laterales y 40 mm en sentido axial en la albura | NP2 | Al menos 3 mm en las caras laterales en la albura |
| P3 | Al menos 4 mm en las caras laterales en la albura | NP3 | |
| P4 | Al menos 6 mm en las caras laterales en la albura | NP4 | Al menos 6 mm en las caras laterales en la albura |

| | | | |
|----|--|-----|---|
| P5 | Al menos 6 mm en las caras laterales y 50 mm en sentido axial en la albura | | Al menos 25 mm en las caras laterales (sólo aplicable a redondos de especies no impregnables) |
| P6 | Al menos 12 mm en las caras laterales en la albura | | |
| P7 | Solamente madera en rollo. Al menos 20 mm en la albura | | |
| P8 | Penetración total en la albura | NP5 | Penetración total en la albura |
| P9 | Toda la albura y al menos 6 mm en la madera de duramen expuesta | NP6 | Penetración total en la albura y al menos 6 mm en la madera de duramen expuesta |

NORMAS EUROPEAS SOBRE PROTECCIÓN DE LA MADERA

| CLAVE | DESCRIPCIÓN |
|-----------------|---|
| EN 335-1 (1992) | Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 1: Generalidades. |
| EN 335-2 (1992) | Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Definición de las clases de riesgos de ataque biológico. Parte 2: Aplicación a la madera maciza. |
| EN 335-3 (1992) | Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 3: Aplicación a los paneles a base de madera. |
| EN 350-1 (1994) | Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: Guía de los principios de ensayo y de clasificación de la durabilidad natural de la madera. |
| EN 350-2 (1994) | Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: Guía de la durabilidad natural de la madera y de la impregnabilidad de especies de madera elegidas por su importancia en Europa. |
| EN 351-1 (1995) | Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Madera maciza tratada con producto de protección. Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos de protección. |

| | |
|--------------------|--|
| EN 351-2 (1995) | Madera maciza tratada con producto de protección. Parte 2: Guía de muestras para el análisis de la madera tratada con un producto de protección. |
| EN 460 (1994) | Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Prestaciones de los productos preventivos de protección de la madera establecidas para los ensayos biológicos. |
| EN 599-1 (1996) | Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos de protección. Parte 3: Prestaciones para la protección de las maderas adaptadas en la Francia metro- |

NORMAS DE LA ASTM (American Society for Testing and Materials)

| CLAVE | DESCRIPCIÓN |
|--------------|--|
| D1413 - 07e1 | Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures. D1758 - 06 |
| D1758 - 06 | Standard Test Method of Evaluating Wood Preservatives by Field Tests with Stakes. |
| D2017-05 | Standard Test Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods. |
| D2278-06 | Standard Test Method for Field Evaluation of Wood Preservatives in Round Post-Size Specimens.. |
| D2481-05 | Standard Test Method for Accelerated Evaluation of Wood Preservatives for Marine Services by Means of Small Size Specimens.. |
| D3345-08 | Standard Test Method for Laboratory Evaluation of Wood and Other Cellulosic Materials for Resistance to Termites. |
| D4445-10 | Standard Test Method for Fungicides for Controlling Sapstain and Mold on Unseasoned Lumber (Laboratory Method). |

Normas de la AWPA (American Wood Preservers' Association)

Las normas AWPA son quizá las normas más completas respecto a la protección de la madera.

Se dividen en seis grupos de normas:

- a) Especificaciones de uso de la madera tratada (5 especificaciones),
- b) Normas para el proceso y tratamiento (8 normas),
- c) Normas para los preservantes (43 normas),
- d) Normas para solventes de hidrocarburo (3 normas),
- e) Normas para métodos de análisis (41 normas),
- f) Normas diversas (10 normas)
- g) Normas para la evaluación (23 normas).

Presenta además diez regulaciones del comité técnico.

Certificado de Tratamiento

Un certificado de tratamiento es un documento que hace constar y que avala la calidad del tratamiento aplicado a la madera. En este documento, la empresa que aplica el tratamiento debe resumir toda la información de cada proceso de impregnación (es un certificado de tratamiento por cada proceso de impregnación) y los resultados de penetración, retención y la clase de riesgo en la que se puede utilizar.

La información mínima que debe contener el certificado es la siguiente:

- Identificación del aplicador
- Especie de madera tratada
- Protector empleado
- Método de aplicación empleado
- Categoría de riesgo que cubre
- Fecha del tratamiento
- Precauciones a tomar ante mecanizaciones posteriores al tratamiento
- Informaciones complementarias, en su caso.

Es mediante este certificado que la empresa que aplica el tratamiento se responsabiliza del mismo, por ello es importante que el responsable de una obra exija esta documentación. Cuando por alguna razón en particular o cuando se quiere tener una confirmación de los resultados del tratamiento para ajustar un programa de impregnación, por ejemplo, se pueden enviar muestras para analizar en un laboratorio acreditado para determinar tanto la retención como la penetración de la sustancia. Estos laboratorios emitirán un informe con los resultados obtenidos mediante los ensayos establecidos en las normas, que tendrá validez únicamente para la muestra enviada y será representativo de dicho tratamiento.

Esto no se denomina “sello de calidad” sino “certificado de calidad” y es distinto al sello, pues éste implica controles, seguimiento y auditorías a la empresa aplicadora.

Sello de Calidad

Un certificado de calidad sólo indica los resultados reales obtenidos en un proceso de impregnación en particular, pero nada dice respecto a si la empresa aplicadora registra, determina los resultados o mantiene un estándar de calidad.

Un sello de calidad se otorga a una empresa tratadora de madera por un tiempo determinado, normalmente un año. Este sello lo otorga un organismo independiente y externo a la empresa tratadora, por ejemplo la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Este organismo, externo e independiente, controla y certifica que los tratamientos realizados en una empresa que aplica tratamientos protectores, se realicen de acuerdo con las normas vigentes, que sus procesos sean controlados y registrados, que sus procedimientos estén definidos y preestablecidos adecuadamente, que su maquinaria esté controlada y que se mantenga una linealidad

en los trabajos realizados. Todos estos requisitos (al igual que en la norma ISO 9001:2000) están orientados al cliente y a establecer una mejora continua de los procesos. Una empresa aplicadora de tratamientos de protección tiene acceso a un sello de calidad sólo si cumple con los requisitos que establece la empresa certificadora, esta evaluación se realiza mediante una auditoría inicial o de evaluación que decide la concesión o no del sello.

Una vez obtenido el sello de calidad, la empresa certificadora audita y realiza controles en fábrica de forma periódica a la empresa que ha accedido al sello. De esta manera se establece un continuo control de la empresa aplicadora por parte de un organismo externo, brindando la confiabilidad al cliente de la calidad de los tratamientos efectuados. En España, a la fecha, el más difundido y consolidado es el sello de calidad para la madera tratada de AITIM (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho) clase de riesgo 3, 4 y 5.

Glosario de términos

Latifoliada

Se refiere a maderas que no son coníferas. Son plantas de hoja ancha que pueden ser perennes o caedizas y con presencia de vasos en su madera.

Deslignificante

Sustancia y/o proceso por el cual se disminuye o elimina el contenido de lignina de la madera.

Fotodegradación

Degradación de la madera por efecto de la luz solar.

Desfibración

Proceso por el cual la madera se desintegra para obtener sus fibras.

Intemperismo

Efecto de la humedad, lluvia, rayos del sol, el oxígeno del aire y la temperatura sobre cualquier material.

Biocida

Sustancia conservante o preservante de origen orgánico, especialmente de plantas.

Repisón

También conocido como saliente, frizo, voladizo o cornisa, es un detalle arquitectónico que se usa para ornamentar puertas, ventanas y lozas.

Arriostramiento

También llamado apuntalamiento. Es la forma de encontrar soluciones de apoyo para disminuir los esfuerzos y deformaciones en una construcción.

Aerodren

Instalación en las paredes de tubos o canales que permiten la ventilación y disminuyen el efecto de la humedad en un edificio.

Hidrofugación

Es un proceso que utiliza sustancias que permitan la impermeabilidad de las paredes o muros pero sin tapar o sellar sus poros con el fin de evitar su humectación.

Epóxica

Se refiere principalmente a la resina, que sirve como consolidante y reforzante en una pieza de madera.

Oleosolubles

Sustancias solubles en aceites.

Coque

Se refiere al combustible obtenido de la destilación de la hulla calentada a temperaturas muy altas.

Hidrodispersables

Sustancias que se dispersan a través del agua.

Organometálicos

Sustancias a base de compuestos orgánicos y metálicos.

Organonitrogenados

Son compuestos en forma de amidas, aminas, nitrocompuestos, nitrilos y heterociclos nitrogenados.

Piretrinas

Son una mezcla de compuestos orgánicos insecticidas que se encuentran de modo natural en las flores de plantas del género *Chrysanthemum*, como *Chrysanthemum cinerariaefolium* (denominado piretro o pelitre) o *Chrysanthemum coronarium*.

Permetrinas

Nombre de una sustancia química sintética que se usa mundialmente como insecticida y acaricida y, así como repelente de insectos.

Lixiviable

Sustancia que no se fija químicamente a la madera y que con exceso de agua se “lava” y ya no permanece en la madera, por lo que pierde su efectividad. Ejemplo es el Boro.

Consolidante

Sustancia que no es conservante o preservante, sino que sólo rellena y/o consolida una pieza de madera.

Hipertermia

Sucede cuando la temperatura corporal rebasa los 41 °C. Se usa para matar a los huevecillos de los insectos al aumentar la temperatura de la madera a 60 °C.



Para mayor información consulta
www.conafor.gob.mx/biblioteca-forestal
www.conafor.gob.mx/conacyt-conafor
tt@conafor.gob.mx

CONAFOR

Comisión Nacional Forestal

Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico

Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología

EJEMPLAR GRATUITO
PROHIBIDA SU VENTA



www.conafor.gob.mx



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



AÑO INTERNACIONAL
DE LOS BOSQUES - 2011