

Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera



Transferencia de tecnología es... *una alternativa para aprovechar mejor*

**GOBIERNO
FEDERAL**

SEMARNAT



Vivir Mejor

PAQUETE TECNOLÓGICO

**Consideraciones tecnológicas en la
protección 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.

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

Capítulo I	
Estructura y tipos de madera	6
Tipos de células	10
Capítulo II	
Anatomía de la madera	13
Química de la madera	15
Propiedades físicas de la madera	19
Propiedades mecánicas de la madera	28
Clasificación de daños por insectos	40
Clasificación de daños por hongos	43
Literatura citada	46

Introducción

El uso de la madera se remonta a la aparición del hombre, siendo uno de los primeros materiales utilizados para construcción de viviendas, herramientas para cazar, utensilios, entre otros. Después fue uno de los materiales predilectos para la construcción de palacios, templos y casas desde el siglo XX a. C. y hasta el siglo XIV d. C.; donde al descubrirse 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 ésta¹.

Además de fabricar hachas de mano de piedra, el hombre también dejó los primeros restos de viviendas construidas, de objetos tallados, la primera lanza y el recipiente más primitivo: un cuenco de madera².

Actualmente el uso de la madera puede ser de vital importancia debido a que se utiliza relativamente poca energía para producirla, lo que coadyuva a la conservación del medio ambiente. Sin embargo, para poder proporcionarle un buen y correcto uso es necesario conocer sus características y propiedades.

1. (www.arqhys.com/contenidos/madera-historia.html). Consulta: marzo 15, 2010.

2. http://sepiensa.org.mx/contenidos/historia_mundo/prehist/paleolitico/arte_tecno/tecnoart_2.htm. Consulta: marzo 15, 2010.

Capítulo I

Estructura y tipos de madera

Después del carbón y el petróleo, la madera representa la materia prima natural más importante. Conocer sus propiedades nos permite su aprovechamiento y entender su comportamiento y durabilidad.

La madera es un material natural, biológico, renovable, orgánico, poroso, higroscópico, anisotrópico y heterogéneo¹ (Figura 1). Estas características deben ser advertidas ya que le confieren determinadas propiedades de uso, resistencia y susceptibilidad a ser dañada por agentes bióticos y abióticos.



Figura 1. Muestra en tercera dimensión de un cubo de madera de pino (≈ 500 aumentos) (foto: autor).

1. La heterogeneidad de la madera repercute en sus propiedades físicas y mecánicas. Está dada, entre otras variables, por las siguientes: especie, densidad, número de anillos, porcentaje de madera tardía y temprana, presencia y tamaño de nudos, presencia y tamaño de grietas, dirección del hilo, porcentaje de contenido de humedad, extractivos químicos, inclusiones externas (p. ej. preservantes).

Tipos de madera

Sin entrar en detalles taxonómicos, se explicarán brevemente algunos conceptos de importancia para entender los tipos de madera. Un tipo de madera proviene también de un determinado tipo de árbol, el cual tiene un nombre científico y un nombre común. Muchas veces el nombre de la madera corresponde al nombre común del árbol, pero éste puede cambiar de un lugar a otro ocasionando confusión.

El nombre más importante, es el nombre científico porque define exactamente un determinado tipo de madera. Para un biólogo, un taxónomo, un forestal o un ingeniero en tecnología de la madera hablar de nombre científico para diferenciar ciertos tipos de madera, quizás sea obvio y de mucha importancia, sin embargo, para arquitectos, ingenieros civiles, restauradores de edificios y la sociedad en general, quizás sea un término desconocido y sin mucha importancia.

El sistema de nomenclatura binaria o binominal de los nombres científicos de las plantas lo estableció el naturalista sueco Carlos Linneo a mediados del siglo XVIII y está compuesto por dos vocablos: el primero es el género y el segundo es la especie.

*Cada especie es designada por dos vocablos: el primero de ellos indica el nombre del género a que la especie pertenece, y el segundo, la designación propia de la especie. Ambos nombres son derivados del latín, o si provienen de otro idioma deben estar latinizados. Así, por ejemplo, el bacilo de Koch se llama científicamente *Mycobacterium tuberculosis*: *Mycobacterium* es el nombre del género y *tuberculosis* el de la especie. De la misma manera al maíz se le denomina *Zea mays*².*

2. Manuel Ruiz Oronoz, Daniel Nieto Roaro, Ignacio Larios Rodríguez, Tratado elemental de botánica, México, D. F., Editorial ECLALSA, décima edición, 1967, p. 392.

Normalmente, el nombre científico se escribe con letra cursiva y con mayúscula la primera letra del género. El nombre común puede designar a varias especies de maderas. Por ejemplo al hablar de pinos o encinos, no nos referimos a un sólo tipo de maderas, sino a varias especies. Para pinos: *Pinus michoacana*, *P. montezumae* y *P. leiophylla*, entre otras y para encinos: *Quercus magnoliifolia*, *Q. crassipes* y *Q. laurina*, entre otras. En términos generales y para fines de conservación y preservación de la madera, se puede integrar a la madera de las especies vegetales en dos tipos principales de acuerdo con sus características morfológicas, anatómicas y tecnológicas.

El primer grupo lo constituyen las coníferas (orden *Coniferales*), las cuales se caracterizan por sus hojas en forma de aguja y por la falta de vasos en la madera. El orden *Coniferales* comprende a varias familias, entre las más importantes en México tenemos a *Pinaceae*, *Taxodiaceae*, *Cupressaceae*, *Podocarpaceae*, *Cephalotaxaceae* y *Araucariaceae*. Es un grupo que presenta características macroscópicas sencillas que facilitan su identificación y descripción.

Ejemplos comunes en México de coníferas son los pinos (*Pinus spp.*, *Pinaceae*), el oyamel (*Abies spp.*, *Pinaceae*), el cedro (*Cupressus spp.*, *Cupressaceae*), el ciprés (*Cupressus spp.* o *Juniperus spp.*, *Cupressaceae*), el sabino o ahuehuate (*Taxodium mucronatum*, *Taxodiaceae*), la picea (*Picea spp.*, *Pinaceae*) y la pseudotsuga (*Pseudotsuga spp.*, *Pinaceae*).

5. Se escribe spp. cuando se refiere a que existen varias especies del mismo género y sp. cuando se refiere a una sola especie de la cual se desconoce su nombre científico específico.

Las coníferas son plantas leñosas que se reproducen por medio de semillas que contienen tejidos nutritivos y un embrión que crece hasta convertirse en una planta adulta. Las semillas no están rodeadas por el tejido del carpelo, sino que se forman en las escamas de las piñas femeninas; y el polen no se forma en las anteras, sino en piñas masculinas, distintas de las femeninas. En las coníferas, la polinización se produce por la acción del viento, que transporta el abundante polen amarillo desde los conos masculinos hasta los femeninos. Las hojas suelen ser aciculares o escuamiformes, casi siempre perennes. El tronco es típicamente vertical, con ramas horizontales cuya longitud varía más o menos de forma regular desde la base del tronco hasta el ápice, de modo que el árbol tiene una silueta cónica. En cuanto al tamaño, oscila entre el de un arbusto y el de las gigantesecas secuoyas.⁴

El segundo tipo lo forman las latifoliadas que son plantas de hoja ancha que pueden ser perennes o caedizas y con presencia de vasos en su madera.

Ejemplos comunes en México de latifoliadas comerciales son los eucaliptos (*Eucalyptus spp.*), la caoba (*Swietenia macrophylla*), el cedro rojo (*Cedrela odorata*) y muchas más.

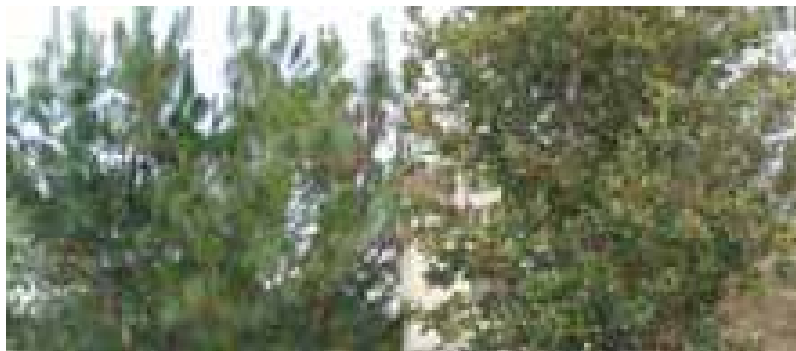


Figura 2. Izquierda: árbol de una conífera (Pino). Derecha: árbol de una latifoliada (encino). Fotos: autor.

2. Tipos de células

2.1 DE CONÍFERAS

Las coníferas aparecieron primero que las latifoliadas, razón por lo cual presentan una construcción celular más simple, así como una especialización celular menos marcada. Las coníferas están compuestas de dos tipos de células: traqueidas y células parenquimáticas.

Las traqueidas tienen la función de conducción de agua y de sostén. Son células alargadas orientadas longitudinalmente que presentan puntas ahusadas y formas rectangulares, cuadradas y pentagonales. Se pueden presentar como traqueidas de madera temprana con lúmenes amplios y paredes delgadas y traqueidas de madera tardía con lúmenes estrechos y paredes gruesas. Solamente en algunas coníferas se presentan traqueidas orientadas horizontalmente y son células aplastadas de forma irregular que acompañan a los rayos.

Cuando una traqueida ya está formada completamente no presenta un contenido celular vivo. Las traqueidas se conectan entre sí por perforaciones en la pared celular denominadas puntuaciones areoladas, las cuales sirven para el flujo de líquidos. La transición entre las traqueidas de la madera temprana y las traqueidas de la madera tardía puede ser abrupta o gradual.

Las células parenquimáticas se caracterizan porque presentan un contenido celular vivo, tienen forma prismática y están orientadas horizontal y verticalmente. Sus funciones son almacenar, transformar y conducir sustancias en la madera. Las células parenquimáticas también están interconectadas con las células vecinas por medio de puntuaciones simples. En especies con canales resiníferos las células epiteliales también son células parenquimáticas y sirven para la excreción de resina. De acuerdo con su orientación en el árbol, las células parenquimáticas se clasifican como parénquima longitudinal (vertical o axial) y parénquima radial o parénquima de los radios. El parénquima axial no está presente

en todas las especies, puede estar totalmente ausente (*Pinus sp.*, *Picea sp.*, *Taxus sp.*), esparcido o ausente (*Pseudotsuga sp.*, *Abies sp.*, *Tsuga sp.*) o presente en diversas proporciones (*Sequoia sempervirens*, *Taxodium distichum*, *Thuja sp.*).

2.2 DE LATIFOLIADAS

Las latifoliadas aparecieron en la tierra después que las coníferas, por lo que desarrollaron células más especializadas. Están compuestas de vasos, fibras libriformes y traqueidas así como de células parenquimáticas (Figura 3).

Los vasos son característicos de las latifoliadas y se observan en un corte transversal como perforaciones denominadas comúnmente “poros”. Se pueden observar como poros solitarios o en grupos. Los vasos pueden estar unidos longitudinalmente y formar conductos de algunos centímetros y hasta metros de largo. Su tamaño, tanto en longitud como en diámetro varía ampliamente. En estos conductos se transporta rápidamente una gran cantidad de agua y de diversas sustancias. Cuando los vasos ya están formados completamente, ya no presentan un contenido celular vivo y tienen una gran cantidad de puntuaciones.

Las fibras libriformes son largas, con paredes gruesas, lúmenes estrechos, pocas puntuaciones y sirven exclusivamente al sostén del árbol. Sólo en algunos casos especiales éste tipo de células presentan un contenido celular vivo después de estar completamente formadas y participan en el almacén de sustancias.

Las traqueidas en latifoliadas son escasas y tienen una posición intermedia entre los vasos y las fibras libriformes, sus funciones son la conducción de agua y el sostén.

Las células parenquimáticas caracterizadas por poseer un contenido celular vivo se presentan en las latifoliadas en mayor cantidad que en las coníferas. Se pueden presentar como células prismáticas y forman los rayos de la madera (parénquima horizontal) y como células alargadas con paredes celulares delgadas a lo largo del árbol (parénquima longitudinal). Las funciones de las células parenquimáticas son de almacén, transformación y conducción de sustancias.

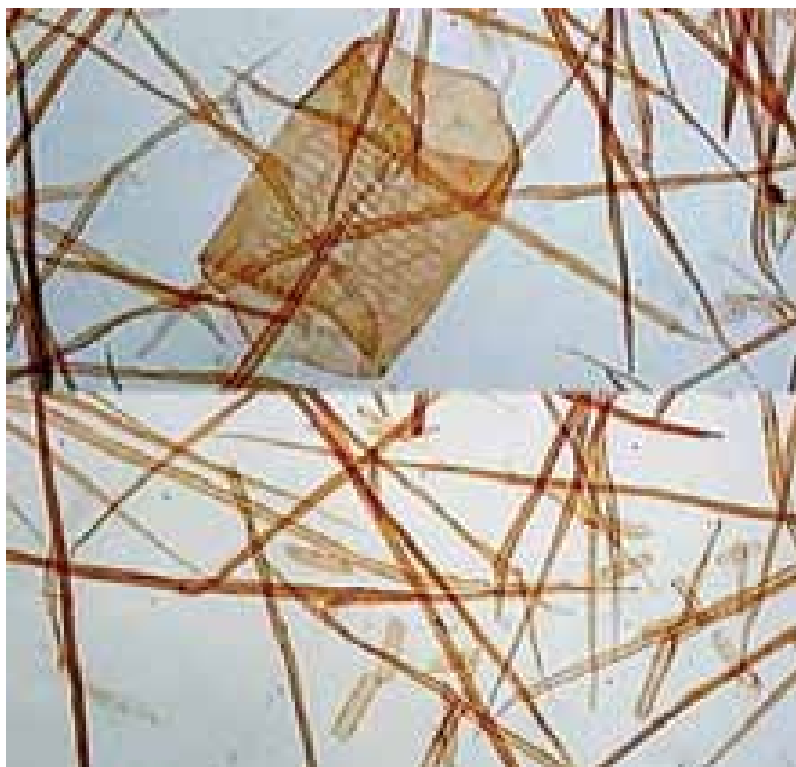


Figura 3. Tipos de células de la madera. Elemento de vaso (foto superior): célula ancha. Fibras (foto superior e inferior): células alargadas. Fotos: autor.

Capítulo II Características tecnológicas

Anatomía de la madera

Estructura porosa

Debido a su estructura porosa (Figura 4), las células de la madera son tubulares y están compuestas de dos partes esenciales: el lumen y la pared celular. El lumen es la parte hueca de la célula. Estos huecos, cuando el árbol se encuentra vivo, están llenos de agua y nutrientes para la vida del mismo; cuando se corta un árbol para obtener madera, el agua sale de esos huecos y de las paredes celulares y se evapora quedando sólo parte de ella en la madera. De hecho, ninguna madera se queda completamente sin agua. En el apartado de contenido de humedad, en el capítulo de propiedades físicas, se profundizará al respecto.

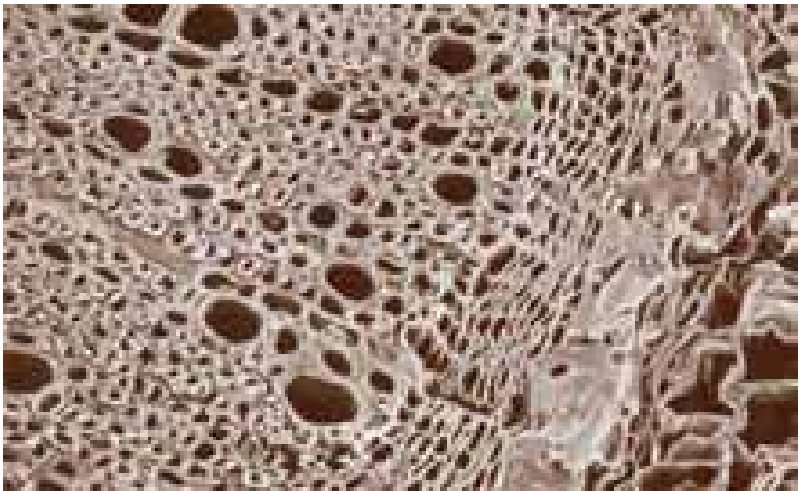


Figura 4. Estructura porosa de la madera. (Foto del autor).

La protección de la madera implica que podamos volver a impregnar a la pared celular con alguna sustancia que impida que se degrade por agentes bióticos y abióticos.

Albura y duramen

Si observamos el corte transversal de un tronco de árbol (Figura 5), de la orilla hacia el centro podemos distinguir la corteza (floema), después una parte clara (denominada albura), al centro una parte más oscura (denominada duramen) y finalmente la médula en la parte central⁶.

La albura, duramen y médula constituyen en sí a la madera, la cual en términos técnicos se denomina xilema.

La albura de casi todas las maderas es susceptible en mayor o menor grado a los agentes de deterioro, mientras que el duramen varía desde muy susceptible hasta inmune.

Una recomendación general es utilizar madera que contenga la mayor cantidad posible de duramen, ya que es más resistente al deterioro.



Figura 5. Corteza, albura y duramen (Pinus sp.). Foto del autor.

6. La mayoría de los árboles presentan una distinción de color entre albura y duramen. Sin embargo, hay árboles que no presentan distinción de color.

Química de la madera

Químicamente la madera tiene dos formas de composición: a) composición elemental y b) composición química.

Composición elemental. La madera está compuesta en valores aproximados de 50% de carbono (C), 43% de oxígeno (O), 6% de hidrógeno (H), 0.8% de nitrógeno y 0.2% de sustancias minerales (cenizas).

Composición química: los compuestos principales son holocelulosa (65 a 75%), lignina (20 a 30%) y los compuestos extraíbles (3 al 7%). La holocelulosa a su vez se divide en celulosa y hemicelulosa, la cual a su vez se divide en hexosanos y pentosanos (figura 6).

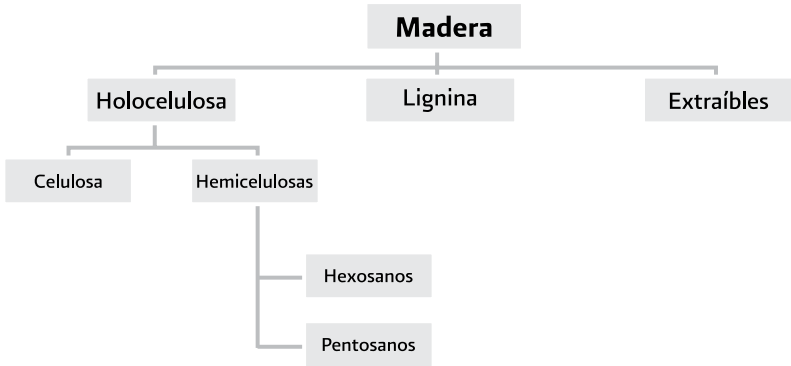
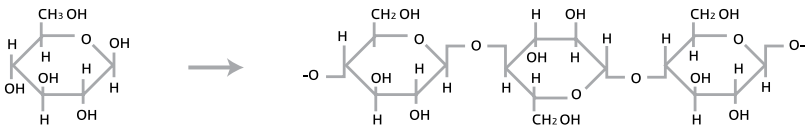


Figura 6. Composición química general de la madera.

Celulosa

Denominada también sustancia estructural, es un polisacárido compuesto exclusivamente por moléculas de glucosa; es pues, un homopolisacárido (compuesto por un solo tipo de monosacárido); es rígido, insoluble en agua y contiene desde varios cientos, hasta varios miles de unidades de β -glucosa. La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre. La celulosa se forma por la unión de moléculas de β -glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídico. Por hidrólisis de glucosa. La celulosa es una larga cadena polimérica de peso molecular variable, con fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$, con un valor mínimo de $n = 200$.



Estructura de la celulosa; a la izquierda, β -glucosa; a la derecha, varias β -glucosas unidas.

La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciendo que sea insoluble en agua y originando fibras compactas que constituyen la pared de las células vegetales.

Hemicelulosas

Son heteropolisacáridos (polisacárido compuesto por más de un tipo de monómero), formado, en este caso un tanto especial, por un conjunto heterogéneo de polisacáridos, a su vez formados por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces $\beta(1-4)$ (fundamentalmente xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa y ácido glucurónico, patosa, orozcayosa), que forman una cadena lineal ramificada. Entre estos monosacáridos destacan más la glucosa, la galactosa o la fructosa. Forma

parte de las paredes de las diferentes células de los tejidos del vegetal, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina. También es importante considerar que este compuesto varía dependiendo de la edad y variabilidad de las especies cultivadas y mejoradas. La hemicelulosa se caracteriza por ser una molécula con ramificaciones, como lo es el ácido urónico, capaz de unirse a las otras moléculas mediante enlaces que constituyen la pared rígida que protege a la célula de la presión ejercida sobre ésta por el resto de las células que la rodean.

Lignina

Esta palabra proviene del latín *lignum*, que significa madera; así, a las plantas que contienen gran cantidad de lignina se las denomina leñosas. Está formada por la extracción irreversible del agua de los azúcares, creando compuestos aromáticos. Los polímeros de lignina son estructuras transconectadas con un peso molecular de 10 mil unidades de masa atómica (uma).

Se caracteriza por ser un complejo aromático (no carbohidrato) del que existen muchos polímeros estructurales (ligninas). Resulta conveniente utilizar el término lignina en un sentido colectivo para señalar la fracción lignina de la fibra. Después de los polisacáridos, la lignina es el polímero orgánico más abundante en el mundo vegetal. Es importante destacar que es la única fibra no polisacárida que se conoce. Este componente de la madera realiza múltiples funciones esenciales para la vida de las plantas. Por ejemplo, proporciona rigidez a la pared celular. Realmente, los tejidos lignificados resisten el ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular.

La molécula de lignina presenta un elevado peso molecular que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos (cumarílico, coniferílico y sinapílico). El acoplamiento aleatorio de estos radicales da origen a una estructura tridimensional, polímero amorfo, característica de la lignina.

La lignina es el polímero natural más complejo en relación a su estructura y heterogeneidad. Por esta razón no es posible describir una estructura definida de la lignina; sin embargo, se han propuesto numerosos modelos que la representan.

Con relación a la protección de la madera, podemos mencionar que los elementos químicos de las sustancias preservantes pueden tener una interacción química o una interacción física. En la interacción química, algún elemento se enlaza químicamente formando parte de la estructura de la madera. Las sustancias que tienen este tipo de elementos pueden permanecer mucho tiempo en la madera, tal es el caso del arseniato cromatado de cobre (sales CCA). En la interacción física, los elementos sólo se almacenan en los microespacios de las microfibrillas, sin formar parte de la composición química de la madera, tal es el caso de las sales que contienen boro.

En la actualidad se está investigando la eficacia de las sustancias tóxicas extraíbles de algunas maderas (biocidas) para impregnar otras que no presentan alta durabilidad natural.

Extraíbles de la madera

Existen numerosos compuestos que pueden tener gran influencia en las propiedades y calidad de la madera, aunque ellos contribuyan sólo en algún porcentaje en la masa total de la misma. A este grupo de compuestos se le denomina sustancias extraíbles de la madera. Los componentes químicos aquí presentes son de diferentes clases y pueden ser divididos a su vez, y de forma más simple, en componentes orgánicos y componentes inorgánicos, siendo estos últimos en los que se pueden encontrar ciertos iones metálicos que son esenciales para el desarrollo normal del árbol. Entre los compuestos orgánicos se pueden encontrar hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, ácidos alifáticos, ceras, glicéridos y compuestos nitrogenados (Fengel, D. y Wegener, 1984).

A mayor contenido de sustancias extraíbles, mayor durabilidad natural de una madera. Por ejemplo una madera de pino que contenga mayor cantidad de resina que otro, durará más. Otros ejemplos conocidos son la madera de teca (*Tectona grandis*) y de cedro rojo (*Cedrela odorata*), las cuales por su gran contenido de sustancias aromáticas tienen una alta durabilidad natural.

Propiedades físicas de la madera

Color

El color de la madera lo proporcionan sustancias químicas, especialmente las denominados extraíbles.

No hay que olvidar que la albura presenta por lo general un color más claro que el del duramen.

Existe una gama amplia de colores en la madera, desde el amarillo claro (albura de pino), hasta el negro (ébano, palo fierro), pasando por el verde (olivo), café (nogal) y violeta (granadillo).

Como regla general para la protección de la madera, podemos decir que una madera es más resistente al deterioro cuanto más oscura sea.

Olor

El olor también es una propiedad que puede ser muy útil en el uso de la madera. Hay maderas que no presentan un olor determinado y hay otras que presentan olores específicos.

Son conocidos por ejemplo el olor del cedro rojo (*Cedrela odorata*) y el del junípero o tásate (*Juniperus sp.*) que es el olor característico de los lápices de madera.

Como regla general, podemos decir que entre más olor tenga una madera menor será el deterioro, especialmente a causa de los insectos.

La madera de cedro rojo se usa mucho en muebles de alto valor. Para ello ya existen plantaciones certificadas de esta especie en las zonas tropicales de México.

La madera de *Juniperus* se utiliza poco porque no se le ha dado importancia a su olor. Sin embargo, también podrían realizarse plantaciones en zonas templadas que es donde crece y podría ser utilizada para fabricar muebles finos, ganchos para ropa y cocinas integrales.

Estas dos maderas no requieren ningún proceso de tratamiento para su protección.

Peso

El peso es una característica que se utiliza para definir otra propiedad física de la madera, su densidad. Generalmente se dice que una madera está muy liviana o muy pesada, definición que realmente es subjetiva.

La densidad está muy relacionada con el color de la madera. En términos generales, una madera clara es liviana y una madera oscura es pesada.

Densidad

La densidad de la madera es la relación entre el peso y su respectivo volumen. Sus unidades son en gr/cm^3 o kg/m^3 .

Para fines de protección, las maderas más densas son más difíciles (lentas) de impregnar; las maderas menos densas son más fáciles (rápidas) de impregnar. Ejemplo, de estas últimas son las maderas de especies de

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \quad \text{gr/cm}^3, \text{Kg/m}^3$$

plantaciones comerciales de rápido crecimiento como el *Pinus radiata*, en Chile.

El siguiente cuadro presenta la densidad de diez especies comerciales de coníferas y diez de latifoliadas en México (Sotomayor, 2008). La relación de densidad utilizada fue: peso seco/volumen verde en kg/m³.

Coníferas		Latifoliadas	
Especie	Densidad kg/m ³	Especie	Densidad kg/m ³
<i>Abies religiosa</i>	380	<i>Ochroma pyramidale</i>	160
<i>Cupressus lusitanica</i>	390	<i>Ulmus mexicana</i>	220
<i>Pinus ayacahuite</i>	400	<i>Ceiba pentandra</i>	250
<i>Pinus michoacana</i>	455	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	350
<i>Pinus douglasiana</i>	425	<i>Cedrela odorata</i>	400
<i>Pinus arizonica</i>	430	<i>Swietenia macrophylla</i>	420
<i>Pinus leiophylla</i>	435	<i>Fraxinus uhdei</i>	460
<i>Pinus chihuahuana</i>	440	<i>Lysiloma acapulcensis</i>	520
<i>Pinus pseudostrobus</i>	550	<i>Quercus obtusata</i>	760
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	450	<i>Guaiacum officinale</i>	1230

Cuadro 2. Densidad de diez maderas de coníferas y diez de latifoliadas.

Contenido de humedad en la madera

En su estado vivo, un árbol contiene la mayor cantidad de agua posible en los microespacios (huecos) de sus células. El xilema o madera, a su vez, están compuestos de numerosas células huecas, las cuales presentan pared celular, agua fija, agua libre, diversas sustancias químicas (denominados extractivos) y numerosos espacios internos.

El agua fija (AF) se encuentra en los microespacios de la pared celular, el agua libre (AL) se encuentra en los lúmenes de la célula (huecos), y las sustancias extractivas se encuentran en la pared celular y en un tipo de células denominadas de parénquima (P) (Figura 7).

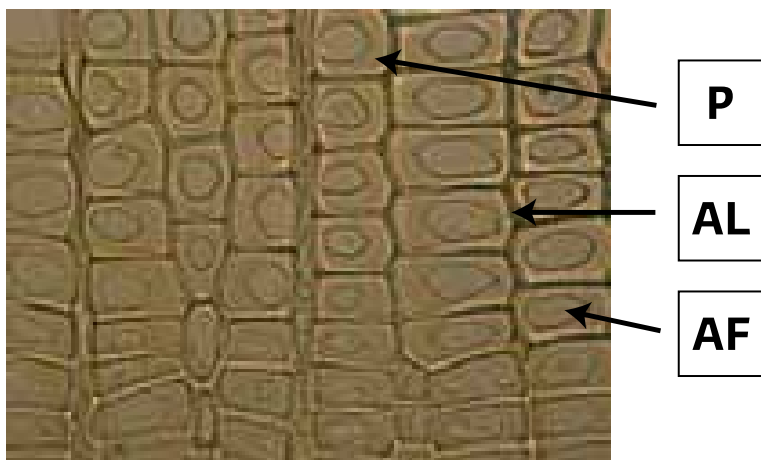


Figura 7. Pared celular (agua fija, AF), lumen (agua libre, AL) y parénquima (P) en una madera de pino.

Foto: autor.

Debido a que las células de la madera son huecas, es erróneo considerar y emplear a la madera como un material sólido y compacto, ya que es más bien poroso.

Una vez que el árbol es cortado para obtener la madera como producto satisfactor de las necesidades del hombre, esta madera sufre ciertas reacciones permanentes directamente relacionadas con la temperatura y la humedad relativa del aire. Inmediatamente después de que el árbol es cortado, se origina un proceso de secado de la madera y, dependiendo de la temperatura del medio ambiente, el agua sufre un proceso de evaporación, iniciando con la evaporación primero del agua libre de los lúmenes y posteriormente con el agua fija de las paredes celulares. Además, en una pieza de madera, el proceso de secado se lleva a cabo desde el exterior hacia el interior.

Dependiendo de la cantidad y porcentaje de espacios y del espesor de la pared celular, será la cantidad de agua presente en la madera. A mayor cantidad de espacios y mayor porcentaje de los mismos, mayor cantidad de agua podrá contener una madera. Por ejemplo la madera balsa (*Ochroma pyramidale*) puede contener más de 600% de humedad referido a su peso seco; y la madera de pino (*Pinus spp.*) puede contener alrededor de 150%.

El contenido de humedad de la madera en uso debe estar entre 10 y 15%, así no sufrirá deterioro, especialmente a causa de agentes bióticos.

Sin embargo, hay que considerar que un mueble, una artesanía o una madera estructural son higroscópicos, es decir, que varía su contenido de humedad dependiendo del aumento o disminución de temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento. La cantidad relativa y absoluta de pared celular, el agua fija, agua libre y los extraíbles tienen una relación directa con las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

Para el caso de protección de la madera, las propiedades físicas que más influyen son el color, el olor, la densidad, la contracción, el contenido de humedad en equilibrio y el hinchamiento. En lo que respecta a las propiedades mecánicas, las de mayor influencia son la resistencia a la

flexión estática, a compresión perpendicular a la fibra (aplastamiento), compresión paralela a la fibra, cizallamiento y a dureza.

Determinación del contenido de humedad (CH)

Conocer el contenido de humedad de la madera (CH), es muy importante en la evaluación y diagnóstico de los agentes xilófagos de deterioro de bienes muebles o de madera estructural. Para poder recomendar una cierta rehabilitación o restauración o utilizar la madera, es indispensable conocer el contenido de humedad de la pieza o piezas de madera a tratar. El CH se puede determinar por medio de dos formas: a) con higrómetro y b) por el método de deshidratación.

Higrómetro

Aparato que mide la conductividad eléctrica del agua contenida en la madera a través de dos electrodos (Figura 8). Es un método no exacto pero indicativo del CH de la madera. Su desventaja es que la determinación del CH se restringe hasta la longitud que penetren los electrodos (agujas). Su ventaja es que son manuales y muy prácticos. Se recomiendan para obtener un CH indicativo de las piezas de madera.



Figura 8. Higrómetro (medidor de humedad). Foto del autor.

Método de deshidratación

Es uno de los más exactos que existen. Con este método la madera se seca totalmente. Consiste en tomar una muestra de madera del tamaño de un dado o de una astilla del grueso de un lápiz y aplicar tres sencillos pasos:

1. Pesar la muestra de madera (Peso húmedo = Ph)
2. Secar la muestra de madera en una estufa de deshidratación. En casa se puede realizar con un microondas, calentando la muestra de madera en la menor potencia (por ejemplo 10%) por lapsos de 1 minuto y del minuto 5 en adelante volver a pesarla. Cuando el peso de la muestra varía muy poco con respecto del peso inmediato anterior, entonces se toma éste como el peso totalmente seco o peso anhidro (Pa).
3. Se aplica finalmente la siguiente fórmula:

$$CH \% = \frac{Ph - Pa}{Pa} (100)$$

De esta manera se obtiene con facilidad, en forma más exacta y rápida el contenido de humedad de cualquier especie, tipo o pieza de madera. Al determinar el contenido de humedad de una astilla o fragmento de madera, ésta aplica para toda la pieza.

Estos tres conceptos engloban el “trabajo de la madera”, fenómeno constante y permanente en cualquier madera y en cualquier lugar.

Cuando se ha evaporado toda el agua libre de los lúmenes de la madera, inicia la evaporación del agua fija de los mismos; a ese momento se le denomina punto de saturación de la fibra (PSF), que como su nombre indica, es cuando la pared celular de la fibra (célula) aún se encuentra

saturada de agua. Este PSF es diferente para cada especie de madera, pero normalmente se encuentra alrededor del 30% de contenido de humedad. Es en este punto en el que la madera (pared celular) inicia su proceso de secado y se reducen sus dimensiones, es decir, se empieza a contraer.

La pérdida de humedad y la contracción continúan hasta un momento en que la humedad de la pared celular ya no puede ser evaporada por la temperatura ambiental existente. Este momento se denomina contenido de humedad en equilibrio (CHE) y fluctúa de acuerdo con la temperatura y la humedad relativa del aire del lugar. Sin embargo, su variación no es muy amplia y oscila entre el 12 y el 15%.

Aunque una madera haya sido sometida a un proceso de secado artificial en estufas de secado, posteriormente logra el CHE del lugar donde se encuentra. Por esa razón las estufas de secado normalmente secan a la madera unos tres puntos menos del CHE de donde se vaya a colocar.

Por ejemplo, si una madera alcanza su CHE en Hermosillo, Sonora será diferente al CHE en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en cualquier mes del año.

Desafortunadamente y debido a que la madera presenta innumerables espacios intra e intercelulares que la hacen ser higroscópica, el CHE es variable durante todo el año. Esto ocasiona que la madera trabaje, es decir, que la madera en los días de sequía se contraiga reduciendo todas sus dimensiones y en los meses de alta humedad relativa adsorba y absorba humedad, lo que ocasiona que aumenten sus dimensiones o se hinche.

De hecho la madera siempre está trabajando, es decir, siempre está tratando de equilibrarse a las condiciones de temperatura y de humedad relativa del ambiente que la rodea.

Si por ejemplo se desea impregnar vigas, tablas o tablones de una madera que tuviera más del 30% de contenido de humedad, sus paredes celulares estarían saturadas de agua y eso impediría la absorción de la sustancia. Es por esa razón que se recomienda impregnar a la madera cuando presente un contenido de humedad por debajo del 30%. Entre más bajo el valor, mejor, porque entonces la pared celular absorbería mayor cantidad de sustancia.

De hecho las normas internacionales recomiendan alrededor del 20% para impregnar a la madera con sustancias preservantes. Pero si la madera presenta menor CH, la pared absorberá más preservante y se garantizará por más tiempo su vida útil.

La contracción es mínima en la dirección axial o de las fibras, ésta no pasa del 0.8%, de 1 a 7.8%, en dirección radial, y de 5 a 11.5% en la tangencial. La contracción es mayor en la albura que en el duramen. El hinchamiento es también mínimo en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 a 6% en sentido perpendicular; sin embargo, en cuanto a peso el aumento oscila del 50 al 150%. La madera aumenta de volumen hasta el punto de saturación (20 a 25% de agua), y a partir de él no aumenta más de volumen, aunque siga absorbiendo agua. Hay que tener muy presentes estas variaciones de volumen en las piezas que habrán de ser sometidas a oscilaciones de sequedad y humedad, dejando espacios necesarios para que los empujes que se produzcan no comprometan la estabilidad de la obra⁷.

7. <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Propiedades%20f%EDsicas3.htm>, Marzo 15, 2010.

Propiedades mecánicas de la madera

Dureza

Se refiere a la resistencia de la madera a ser penetrada por un objeto. Es una característica que determina el uso de la madera especialmente para pisos. Está muy relacionada con la densidad de la madera. Si una madera que se usa para pisos no está protegida contra los agentes de deterioro, irá perdiendo poco a poco su dureza, especialmente será dañada por hongos.

La dureza se puede clasificar en cinco clases: muy alta, alta, media, baja y muy baja⁸. Coincidiendo con este autor, las maderas se podrían clasificar en cinco tipos: extremadamente duras, muy duras, duras, blandas y muy blandas. Entre las maderas mexicanas extremadamente duras tenemos al guayacán, palo fierro y ébano; entre las muy duras al mezquite y encinos; entre las duras tenemos al tzalam; entre las blandas, la mayoría de los pinos, el oyamel y los cedros; y entre las muy blandas, la parota y la madera balsa.

Flexión estática

Es una propiedad presente en las piezas de los techos y entrepisos de casas y edificios así como en los travesaños de puertas y ventanas. Si estas piezas de madera no están protegidas con sustancias preservantes, absorberán mayor cantidad de humedad y disminuirán su resistencia a la flexión.

El método de protección de la madera más adecuado para elementos a flexión debe ser por presión y vacío, seguido de inmersión prolongada por 72 horas.

Compresión paralela

Los elementos que están sujetos a esta propiedad son, por ejemplo, las columnas de puertas, balcones y terrazas. Por el efecto de las lluvias se

8. Sotomayor, 2008. Clases de dureza: muy alta > 800 Kg, alta 601 a 800 Kg, media 401 a 600 Kg, baja 201 a 400 Kg y muy baja < 200 Kg.

deterioran las partes inferiores, especialmente por hongos que producen manchas grises, así como por la acción de insectos. Al presentar daño severo, las columnas van cediendo y aplastándose, por lo que las cubiertas y techos también ceden. El método más adecuado de preservación para columnas debe ser por presión y vacío, seguido de inmersión prolongada por 72 horas.

Compresión perpendicular

Los elementos que están sujetos a esta propiedad son entre otros, travesaños de puertas y las partes de vigas de madera que están en contacto con el muro. La compresión perpendicular aumenta debido al efecto de la degradación de la madera por el ataque de hongos.

Cizallamiento o cortante

Los elementos que están sujetos a esta propiedad son las vigas de madera en contacto con el muro. Cuando hay daño por hongos, la parte de madera que está al nivel del muro en forma perpendicular puede ceder y el techo puede desplomarse.

Durabilidad natural o duración natural de la madera

Por durabilidad natural de una madera se entiende la capacidad de ésta (debido a su composición química natural), para durar en uso por varios años sin que pierda sus propiedades físicas y mecánicas, ni que se deteriore por agentes bióticos y abióticos. Se determina por la cantidad de años que una madera permanece en servicio sin perder considerablemente sus propiedades físico-mecánicas.

La parte del xilema (madera) que mayor durabilidad natural tiene es el duramen (corazón), debido a la mayor presencia de sustancias químicas en la albura, las cuales son producidas por un proceso de duraminización. El porcentaje de la madera de duramen aumenta a mayor edad de un árbol; así como también aumenta el diámetro del mismo. Por esta razón, las construcciones antiguas mexicanas, como las trojes y ciertas vigas

de edificios antiguos, han perdurado a través de los años porque fueron construidas con madera de duramen. En la actualidad son muy escasos los árboles de coníferas comerciales (pino, oyamel y cedro) con diámetros grandes, por lo que el porcentaje de duramen es muy reducido o no existe. En términos generales los árboles de coníferas que se derriban actualmente no alcanzan ni siquiera un diámetro a la altura del pecho de 50 cm, por lo que su área y volumen de duramen es muy escasa.

Es importante conocer lo que puede significar para nosotros el que una madera tenga un cierto grado de durabilidad natural. Rodríguez (1998)⁹ menciona lo siguiente al respecto:

La durabilidad natural de la madera se define como la resistencia inherente que presenta frente al ataque de organismos destructores. Sin embargo, esta definición no es del todo completa, pues para una misma especie de madera se pueden presentar grandes variaciones en función de ciertos factores incidentes, entre los que se pueden citar: parte del árbol de procedencia de la madera, zona de albura o de duramen, y cantidad de productos extractivos naturales (resinas, fenoles, taninos, etc.) que presente la madera.

Al utilizar madera para la construcción de muebles se puede decir que:

Madera oscura: alta durabilidad natural.

Madera clara: baja durabilidad natural.

Clases de durabilidad natural

La norma UNE EN 350-2:1995 facilita información sobre la durabilidad de la albura y del duramen frente a algunos agentes degradantes para una serie de especies de madera (Cuadro 3).

En el caso de los hongos xilófagos, termitas y xilófagos marinos esta durabilidad natural se refiere a la durabilidad del duramen. La albura

9. J. A. Rodríguez Barreal, op. cit., p. 40.

debe considerarse como correspondiente a la clase de durabilidad 5 (no durable) frente a estos organismos, mientras no se disponga de datos que señalen lo contrario. Por otra parte, la durabilidad natural frente a insectos xilófagos se refiere en el contexto de esta norma a la madera de albura, ya que se considera el duramen en clase de durabilidad D (durable) frente a este tipo de organismos. De no ser así, se especifica como duramen sensible (SH).

Agente		Clasificación
Hongos xilófagos	1	Muy durable
	2	Durable
	3	Medianamente durable
	4	Poco durable
	5	No durable
Insectos de ciclo larvario	D	Durable
	S	Sensible
	SH	Duramen sensible
Termitas	D	Durable
	M	Medianamente sensible
	S	Sensible
Xilófagos marinos	D	Durable
	M	Medianamente sensible
	S	Sensible

Cuadro 3. Clasificación de durabilidad frente a distintos agentes

Respecto al deterioro por hongos, la clasificación en cinco clases coincide con las clases mencionadas por Chudnof (1984), citado en COFAN 1999, y por JUNAC (1988), no así en la duración en años

Clase de durabilidad	Clasificación	Duración (años)	Clasificación	Duración (años)
	Chudnof		JUNAC	
1	Muy durable	> 25	Muy durable	> 20
2	Durable	15-25	Durable	15-20
3	Moderadamente durable	10-15	Moderadamente durable	10-15
4	No durable	5-10	Poco durable	5-10
5	Muy susceptible	< 5	No durable	< 5

Cuadro 4. Clases y clasificación de la durabilidad natural de la madera

Hay dos métodos para evaluar la durabilidad natural de una madera: a) método de laboratorio y b) método de campo.

Método de laboratorio

Se determina de acuerdo con la norma ASTM D-2017-81 (Standard Test Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods), también denominado método bloque-suelo. Se basa en la exposición de un cubo de madera a hongos xilófagos. La norma recomienda para pudrición blanca a *Trametes versicolor* y para pudrición parda a *Gloeophyllum trabeum*. La clasificación que se establece en esta norma es la siguiente:

Promedio de pérdida de peso (%)	Resistencia
0 a 10	Alta
11 a 24	Resistente
25 a 44	Moderada
45 o más	Ligera o nula

Cuadro 5. Clasificación de la madera por su resistencia a hongos

Método de campo

Las muestras en forma de estacas se colocan en el suelo durante varios años y se evalúa periódicamente su resistencia a quebrarse. Se determina de acuerdo con la Norma ASTM D1758-06 (Standard Test Method of Evaluating Wood Preservatives by Field Tests with Stakes).

Impregnabilidad de la madera

La norma UNE EN 350-2:1995 (Unidad Normativa Española) también establece una clasificación para la impregnabilidad de la madera, definida como la capacidad que presenta una especie de madera a la penetración de un líquido. Establece cuatro clases de impregnabilidad: impregnable, medianamente impregnable, poco impregnable y no impregnable.

Clase	Definición	Descripción
1	Impregnable	Muy fácil de impregnar, la madera aserrada puede ser impregnada totalmente con tratamiento a presión sin dificultad.
2	Medianamente impregnable	Fácil de impregnar. Normalmente no es posible una impregnación completa, pero después de 2 o 3 horas de tratamiento a presión se puede alcanzar una penetración de más de 6 mm en las coníferas. En las frondosas se puede conseguir impregnación en una proporción grande de los vasos.
3	Poco impregnable	Difícil de impregnar. Después de 3 o 4 horas de tratamiento bajo presión se alcanzan sólo penetraciones de 3 a 6 mm.
4	No impregnable	Prácticamente imposible de impregnar. Después de 3 o 4 horas de tratamiento bajo presión sólo absorben pequeñas cantidades de producto. Penetraciones longitudinales y laterales mínimas.

Cuadro 6. Clases de impregnabilidad de la madera

El cuadro 7 presenta la impregnabilidad y durabilidad natural de varias especies, según la norma UNE EN-350-2:1995.

Especie	Impregnabilidad de		Durabilidad frente a			
	Albura	Duramen	Hongos	Anóbidos	Termitas	Hylotrupes
<i>Castanea sativa</i>	2	4	2	S	M	-
<i>Cedrela odorata</i>	1-2	3-4	2	n/d	M	-
<i>Eucalyptus globulus</i>	1	3	5	n/d	S	-
<i>Fagus sylvatica</i>	1	1-(4)	5	S	S	-
<i>Fraxinus excelsior</i>	2	2	5	S	S	-
<i>Milicia excelsa</i>	1	4	1-2	n/d	D	-
<i>Millettia laurentii</i>	n/d	4	2	n/d	D	-
<i>Pinus pinaster</i>	1	4	3-4	S	S	S
<i>Pinus radiata</i>	1	2-3	4-5	S	SH	S
<i>Pinus sylvestris</i>	1	3-4	3-4	S	S	S
<i>Pinus taeda</i>	1	3-4	3	S	M-S	S
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	3	4	3	S	S	S
<i>Quercus robur</i>	1	4	2	S	M	-

Cuadro 7. Impregnabilidad de albura y duramen y durabilidad de varias especies

Clases de riesgo (CR)

Conocer el grado de riesgo en que la madera está o estará en uso, es determinante para el tratamiento de conservación y/o preservación de la misma. Para ello, en el tratamiento, son muy importantes las variables de absorción, retención, penetración y permanencia de las sustancias preservantes. De acuerdo con estas variables podemos entonces establecer también la siguiente regla:

A mayor clase de riesgo, mayor debe ser la absorción, retención, penetración y permanencia de la sustancia preservante.

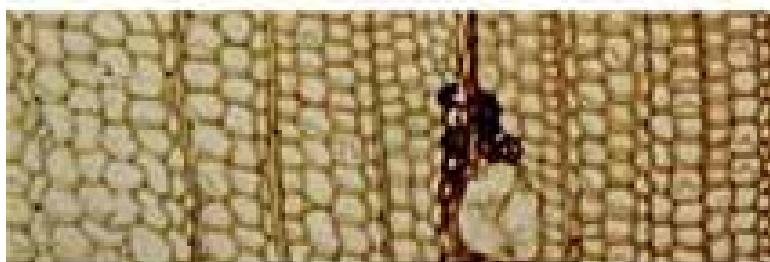
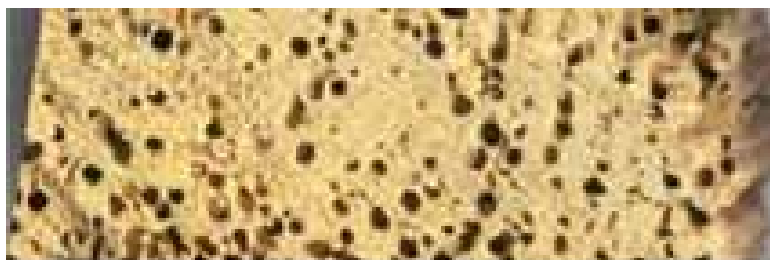
De hecho, las normas mexicanas e internacionales especifican una determinada retención de acuerdo con el grado de riesgo en que estará en uso la madera. La norma mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2003 y la norma europea UNE-EN 335-1993, establecen cinco categorías, siendo la número 1 la clase de menor riesgo y la número 5 la de mayor riesgo. En el cuadro 8 se presenta la tabla de clasificación de niveles de riesgo y las condiciones de servicio y ejemplos de usos que presenta la norma mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2003.

Para una mejor interpretación y entendimiento de las “clases de riesgo”, el cuadro 9 que fue realizado combinando diversas normas y autores proporciona un resumen de las mismas.

CR	Características	Condición de uso	Ejemplos
R1	Madera en interiores, ambiente seco y ventilado.	Continuamente protegida del intemperismo o de cualquier fuente de humedad.	Muebles de interiores, puertas interiores, escaleras, pasamanos.
R2	Madera en interiores, mal ventilada, sujeta a posibles fuentes de humedad, o en exteriores pero bajo cubierta.	Expuesta a variaciones de humedad, pero no expuesta a la lluvia. De uso no estructural.	Pisos, pies derechos, muebles de cocina, sótanos, marcos de puertas y ventanas y lambrín.

CR	Características	Condición de uso	Ejemplos
R3	Madera en exteriores, de uso estructural, expuesta a la humedad.	Expuesta a variaciones climáticas y a la lluvia de manera cíclica.	Postes, postes de transmisión, crucetas, pisos de terrazas, madera estructural, vigas, armaduras, columnas de portales, tarimas, plataformas de vehículos y techos.
R4	Madera en exteriores, en contacto con la tierra o con agua dulce.	Madera expuesta a variaciones climáticas y al agua continuamente.	Cimientos, pilotes para minas, torres de enfriamiento y techos.
R5	Madera en contacto con el agua salada o salobre.	Madera expuesta al agua salada.	Muelles marítimos, pilotes marinos, represas, embarcaciones y plataformas marinas.

Cuadro 8. Clasificación de maderas según su uso y riesgo en servicio NMX-C-322-ONNCE-2003



CR	Situación a la intemperie	Exposición de la madera	C.H. %
R1	Sin contacto con el suelo, cubierto	Siempre seco	18 - 20
R2	Sin contacto con el suelo, cubierto, riesgo de humedades	Humedad ocasional	Ocasional > 20
R3	Sin contacto con el suelo, no cubierto, al exterior	Humedad frecuente	Frecuente > 20
R4	Contacto con el suelo o agua dulce, exterior	Humedad permanente	Permanente > 20
R5	Contacto con agua salada	Humedad permanente	Permanente > 20

Cuadro 9. Clases de riesgo de la madera. — no se presenta, * pudiera presentarse, ** se presenta.

Presencia de agentes biológicos				Retención CCA
Hongos	Coleópteros	Termitas	Xilófagos marinos	Kg/m ³
—	—	—	—	4.00
—	*	*	—	6.40
*	**	*	—	9.60
**	**	**	—	12.80
**	**	*	**	40.00

Observación: vale la pena considerar que todas las normas mencionan aspectos de retención y penetración de las sustancias, pero en ninguna se menciona la permanencia de las mismas en la madera. No es lo mismo una sustancia que no permanezca por muchos años en la madera, que una que permanezca por decenas de años en la misma, tal como las sales CCA que permanecen por muchos años en ella.

Clasificación de daños por insectos

El daño ocasionado por los insectos se puede identificar de tres formas: visual (V), por resonancia (R) y por inserción (I).

En forma visual se observan las perforaciones y las galerías provocadas por los adultos y las larvas respectivamente.

La forma de resonancia consiste en golpear la madera con un martillo de punta fina.

La forma por inserción es insertando un instrumento punzante (como punzón, picahielo, o desarmador fino).

Con la aplicación de estos dos últimos, se confirma la identificación visual del daño.

De acuerdo con la experiencia personal adquirida, el daño se puede clasificar del 0 al 4 y se utilizará el código "IN" como abreviatura de insectos. El 0 corresponde a madera sana y el 4 a madera muy deteriorada (Cuadro 10).

			Medidas de actuación	
Clase	Descripción	Forma	Sustancias	Método
IN-0	Sana. Sonido metálico. Resistencia al punzón.	V. R	Aplicación de sustancias insecticidas, fungicidas o repelentes a la humedad (como OZ*).	Brocha, aspersion o inyección.
IN-1	Hasta diez perforaciones por cm ² , en cualquier lugar de la pieza. Sonido metálico. Resistencia al punzón.	V. R	Aplicación de sustancias insecticidas, fungicidas, o repelentes a la humedad (P. ej. OZ).	Brocha, aspersion o inyección.
IN-2	Cualquier número de perforaciones e inicio de galerías. Sonido no metálico. Resistencia al punzón.	R. V	Aplicación de sustancias insecticidas, fungicidas, o repelentes a la humedad (P. ej. OZ).	Brocha, aspersion o inyección.
IN-3	Galerías internas y algunas externas visibles. Madera con resistencia mecánica mediana (entre 50 y 75% de la original). Sonido no metálico. Resistencia mediana al punzón.	R. V	Aplicación de sustancias insecticidas, fungicidas, o repelentes a la humedad (P. ej. OZ). Restauración de resistencia mecánica de la pieza a través de sustancia adecuada; como resina epóxica y aserrín (REA).	Brocha, aspersion, inyección. Para el compuesto REA, usar espátula, sierras y madera tratada.

Clase	Descripción	Forma	Medidas de actuación	
			Sustancias	Método
IN-4	Galerías descubiertas en más de un 60% de la sección de la viga. Madera con baja resistencia mecánica (< del 50% de la original). Sonido no metálico. Baja resistencia al punzón. Madera quebradiza.	R. V	Preferentemente sustituir madera por madera tratada con CCA** u otras por presión y vacío. De lo contrario, aplicación de sustancias insecticidas, fungicidas, o repelentes a la humedad (como OZ). Restauración, resistencia mecánica con REA.	Brocha, aspersión, inyección. Para el compuesto REA, usar espátula, sierras y madera tratada.

Cuadro 10. Clasificación in situ visual, por resonancia y por inserción, de daños por insectos en la madera (IN). * OZ = Óxido de tributil estaño. ** CCA= Arsenato de cobre cromado

Notas: en la tabla, en la columna referente al método se escribió primero el método de decisión. Por ejemplo para la clase IN-O la decisión se concluye por la observación de la madera y ya no es necesario usar la resonancia.

La indicación de la resistencia mecánica es apreciativa y se basa en la experiencia personal, ya que todavía no se cuenta con datos de la resistencia mecánica.

Clasificación de daños por hongos

Cuando una madera presenta daño por hongos, es posible también establecer una clasificación “HO” por la abreviación de la palabra hongo. Ésta se basa también en el uso de la forma visual (V) y la de resonancia (R).

La clasificación se puede establecer de 0 a 3, siendo la primera la menor afectada y la última la mayor afectada (Cuadro 11).

			Medidas de la actuación	
Clase	Descripción	Forma	Sustancias	Método
HO-0	Sana. Sonido metálico. Resistencia al punzón.	V. R	Aplicación de sustancias insecticidas, fungicidas, o repelentes a la humedad (como OZ).	Brocha, aspersion o inyección.
HO-1	Manchas grisáceas, cafés o blancuzcas en la madera causadas por presencia de humedad periódica o no. La madera se observa en buen estado físico. Sonido metálico. Resistencia al punzón.	V. R	Techo: cemento normal o plástico, polvo de cantera cuando se requiera, Pegazulejo o Pegapiso, impermeabilizante, malla poliéster. Madera: sustancias insecticidas, fungicidas, o repelentes a la humedad (P. ej. OZ).	Techo: búsqueda de grietas, taparlas con cemento normal o plástico, impermeabilizar usando malla poliéster. En lugares con cantería, usar mezcla de polvo de piedra de cantera con Pegazulejo o Pegapiso. Madera: brocha, aspersion o inyección

			Medidas de la actuación	
Clase	Descripción	Forma	Sustancias	Método
HO-2	Manchas oscuras en la madera. Madera deteriorada con humedad constante (especialmente en tiempo de lluvias). Resistencia mecánica mediana (entre 50 y 75%). Sonido no metálico. Resistencia al punzón.	R. V	Techo: cemento normal o plástico, polvo de piedra de cantera cuando se requiera, Pegazulejo o Pegapiso, impermeabilizante, malla poliéster. Madera: sustancias insecticidas, fungicidas, o repelentes a la humedad (como OZ).	Techo: búsqueda de grietas, taparlas con cemento normal o plástico, impermeabilizar usando malla poliéster. En lugares con cantería, usar mezcla de polvo de piedra de cantera con pegazulejo o pegapiso. Madera: brocha, aspersión o inyección.

Clase	Descripción	Forma	Medidas de la actuación	
			Sustancias	Método
HO-3	Galerías internas y algunas externas visibles. Madera con resistencia mecánica mediana (entre 50 y 75% de la original). Sonido no metálico. Resistencia mediana al punzón.	R. V	Preferentemente sustituir madera por madera tratada con sales CCA u otras por presión y vacío. Techo: cemento normal o plástico, polvo de piedra de cantera cuando se requiera, Pegazulejo o Pegapiso, impermeabilizante, malla poliéster. Madera: sustancias insecticidas, fungicidas, o repelentes a la humedad (como OZ). Restauración de resistencia mecánica de viga a través del compuesto REA.	Techo: búsqueda de grietas, taparlas con cemento normal o plástico, impermeabilizar usando malla poliéster. En lugares con cantería, usar mezcla de polvo de piedra de cantera con Pegazulejo o Pegapiso. Madera: brocha, aspersion o inyección. Para el compuesto REA, usar espátula, sierras y madera tratada.

Cuadro 11. Clasificación in situ visual y de resonancia de daños por hongos en la madera (HO).

Literatura citada

CTBA (Centre technique du bois et de l'ameublement). 2004. Le traitement des bois. Paris, Francia.

COFAN (COMISIÓN FORESTAL DE AMÉRICA DEL NORTE). 1999. Manual de construcción de estructuras ligeras de madera, 2ª. Edición, México, COMACO-UACH-NRC-USDA, 464 pp.

FENGEL, D., G, WEGENER. 1984. Wood chemistry, ultraestructure reaction, Walter de Gruyter, Berlín. p.2-220.

JUNAC (JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA). 1988. Manual del grupo andino para la preservación de maderas, Lima, Perú, 340 pp.

Lanchas-Herbalejo A. Las clases de riesgo de ataque biológico en la madera (UNE EN 335) Protecma 1. Esinal ediciones. Zarauts, España.

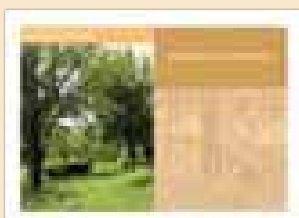
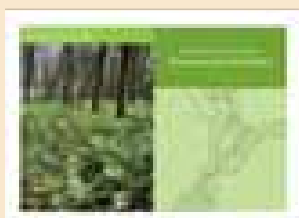
ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación S.C.). 2003. Norma Mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2003, México, p. 3.

Peraza-Sanchez F. 2001. Protección preventiva de la madera. Madrid, AITIM, p. 17.

RODRÍGUEZ BARREAL, José Antonio. 1998. Tratado de rehabilitación, Departamento de construcción y tecnología arquitectónicas, Universidad Politécnica de Madrid, p. 292.

SOTOMAYOR CASTELLANOS, J. R. 2008. Tabla FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas, Morelia, México, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.

Catálogo de postales (vol. 2)



Estos paquetes de tecnología los puedes adoptar a través de lineamientos para otorgar apoyos de adopción y transferencia de tecnología.

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

