



MADERA



1.- INTRODUCCIÓN

La madera es un material cuya apariencia es agradable, aún cuando no esté perfectamente cortada o terminada, pero ciertos tipos son todavía más bonitos si están bien cortadas y terminadas.

Muchas tienen un olor agradable, aunque haya pasado un largo tiempo desde que fueron retiradas del bosque. Debido a su propiedad de tener baja conductividad térmica, la madera no quita el calor de la mano y por eso es cálida al tacto. Los metales, algunos plásticos, rocas, incluso el hormigón, conducen rápidamente el calor, siempre que tengan una temperatura menor que la del cuerpo humano y como la temperatura ambiente generalmente es menor, estos materiales no son tan agradables al tacto como la madera.

La madera es un material de construcción ampliamente utilizado en todo el mundo y además de su uso en la construcción de casas y en carpintería, se utiliza para formar materiales compuestos tales como enchapado, tableros de aglomerados y papel.

Es un material compuesto natural que está formado principalmente por una compleja disposición de células de celulosa (carbohidrato) unidas con una sustancia polimérica denominada lignina y otros compuestos orgánicos. Es altamente anisotrópico debido principalmente a la forma elongada de sus células y a la estructura orientada de su pared celular, que se verá en detalle más adelante.

A continuación se detallan conceptos de la madera como material compuesto celular anisotrópico y principalmente se destacan las propiedades y el comportamiento mecánico de la misma. Se presentan las características de la macroestructura y se discute como la microestructura afecta el comportamiento en las propiedades mecánicas.

2.- CONSTITUCIÓN DE LA MADERA

Estructura de la madera

La madera es un compuesto natural con una estructura compleja y por lo tanto no debe esperarse que se comporte como un producto homogéneo en los diseños de ingeniería, como pueden ser una barra de acero o una pieza de termoplástico moldeada por inyección.

Capas en la sección transversal de un árbol.

Examinemos primero la sección transversal de un árbol típico, como se muestra en la Figura 1. Las regiones correspondientes a las capas importantes están indicadas por las letras mayúsculas y el nombre y función se indican a continuación:

- A. Casca exterior: capa constituida por tejido muerto y seco, da protección al árbol.
- B. Casca interior: capa húmeda y blanda, transporta alimento a todas las partes en crecimiento del árbol.
- C. Cambium: capa de tejido entre la corteza y el tronco formado por las células de ambos.
- D. Albura: parte ligeramente coloreada que forma la parte exterior del tronco del árbol. Contiene algunas células vivas que conducen la savia desde las raíces hasta las hojas.
- E. Duramen: región interna más antigua del árbol, no está viva. Es más oscura que la albura y proporciona resistencia al árbol.
- F. Médula: tejido blando situado en el centro del árbol alrededor del cual se produce el primer crecimiento del árbol.

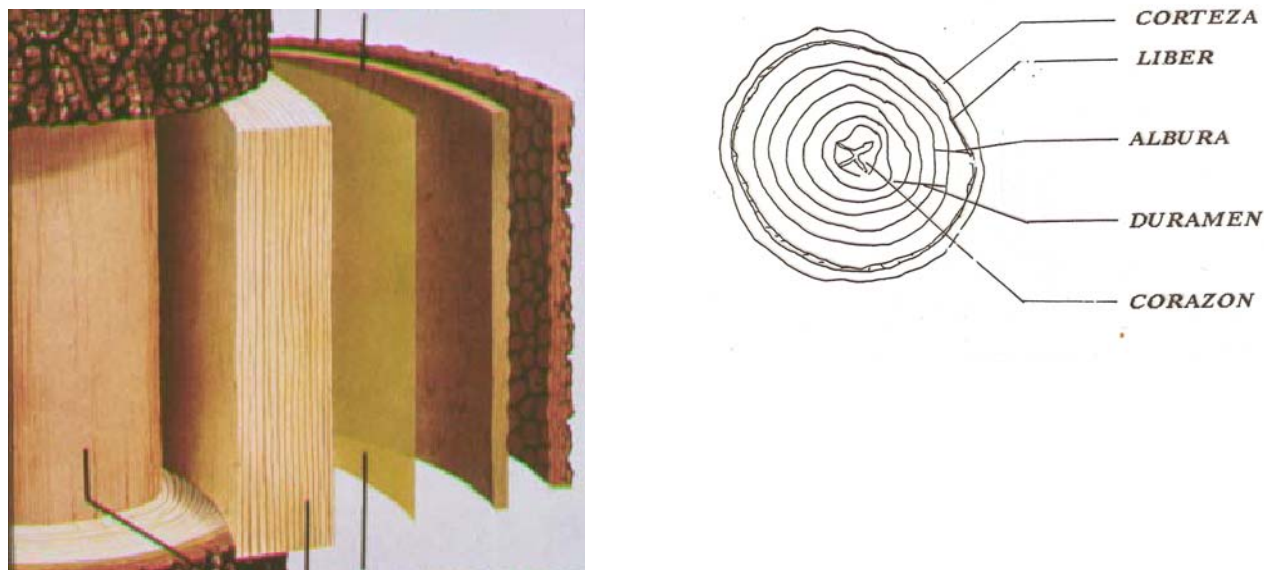


Figura 1. Sección transversal de un árbol típico

Anillos anuales de crecimiento

Durante cada estación de crecimiento en climas templados se forma anualmente una nueva capa de madera alrededor del tronco del árbol. Estas capas se presentan en la Fig. 2; se denominan anillos de crecimiento anual y son más evidentes en los árboles de madera blanda. Cada año tiene dos subanillos: de madera temprana (primavera) y de madera tardía (verano). En maderas blandas la madera temprana tiene un color más claro y el tamaño de las células es mayor.



Figura 2. Anillos de crecimiento anual



3.- PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades de la madera dependen del crecimiento, edad, contenido de humedad, clases de terreno y distintas partes del tronco.

Humedad

La madera contiene agua de constitución, inerte a su naturaleza orgánica, agua de saturación, que impregna las paredes de los elementos leñosos, y agua libre, absorbida por capilaridad por los vasos.

Como la madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente. El agua libre desaparece totalmente al cabo de un cierto tiempo, quedando, además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la atmósfera que rodee a la madera, hasta conseguir un equilibrio, diciéndose que la madera esta secada al aire.

La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada oscila entre el 50 y 60 por ciento, y por imbibición puede llegar hasta el 250 y 300 por ciento. La madera secada al aire contiene del 10 al 15 por ciento de su peso de agua, y como las distintas mediciones físicas están afectadas por el tanto por ciento de humedad, se ha convenido en referir los diversos ensayos a una humedad media internacional de 15 por ciento.

La humedad de las maderas se aprecia, además del procedimiento de pesadas, de probetas, húmedas y desecadas, y el colorimétrico, por la conductividad eléctrica, empleando higrómetros eléctricos. Estas variaciones de humedad hacen que la madera se hinche o contraiga, variando su volumen y, por consiguiente, su densidad.

Densidad

La densidad real de las maderas es sensiblemente igual para todas las especies, aproximadamente 1,56. La densidad aparente varía no sólo de unas especies a otras, sino aún en la misma con el grado de humedad y sitio del árbol, y para hallar la densidad media de un árbol hay que sacar probetas de varios sitios.

Como la densidad aparente comprende el volumen de los huecos y los macizos, cuanto mayor sea la densidad aparente de una madera, mayor será la superficie de sus elementos resistentes y menor el de sus poros.

Las maderas se clasifican por su densidad aparente en:

- Pesadas, si es mayor de 0.8.
- Ligeras, si esta comprendida entre 0.5 y 0.7.
- Muy ligeras, las menores de 0.5.

La densidad aparente de las maderas más corrientes, secadas al aire, se presenta en la Tabla 1.



Tabla 1: Densidades de algunas maderas

Pino Común.....	0.32 – 0.76	Kg/dm ³
Pino Negro.....	0.38 – 0.74	Kg/dm ³
Pino- tea.....	0.83 – 0.85	Kg/dm ³
Albeto.....	0.32 – 0.62	Kg/dm ³
Pinabette.....	0.37 – 0.75	Kg/dm ³
Alerce.....	0.44 – 0.80	Kg/dm ³
Roble.....	0.71 – 1.07	Kg/dm ³
Encina.....	0.95 – 1.20	Kg/dm ³
Haya.....	0.60 – 0.90	Kg/dm ³
Alamo.....	0.45 – 0.70	Kg/dm ³
Olmo.....	0.56 – 0.82	Kg/dm ³
Nogal.....	0.60 – 0.81	Kg/dm ³

Contracción e Hinchamiento

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae o merma, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, no pasa del 0.8 por ciento; de 1 a 7.8 por ciento, en dirección radial, y de 5 a 11.5 por ciento, en la tangencial.

La contracción es mayor en la albura que en el corazón, originando tensiones por desecación que agrietan y alabea la madera.

El hinchamiento se produce cuando absorbe humedad. La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 al 6 por ciento en sentido perpendicular; pero en peso, el aumento oscila del 50 al 150 por ciento. La madera aumenta de volumen hasta el punto de saturación (20 a 25 por ciento de agua), y a partir de él no aumenta más de volumen, aunque siga absorbiendo agua. Hay que tener muy presente estas variaciones de volumen en las piezas que hayan de estar sometidas a oscilaciones de sequedad y humedad, dejando espacios necesarios para que los empujes que se produzcan no comprometan la estabilidad de la obra.

Dureza

La dureza de la madera es la resistencia que opone al desgaste, rayado, clavar, etc. Depende de su densidad, edad, estructura y si se trabaja en sentido de sus fibras o en el perpendicular.

Cuanto más vieja y dura es, mayor la resistencia que opone. La madera de corazón tiene mayor resistencia que la de albura: la crecida lentamente obtiene una mayor resistencia que la madera que crece de prisa.

Por su dureza se clasifican en:

- Muy duras; ébano, serbal, encina y tejo.
- Bastante duras; roble, arce, fresno, álamo, acacia, cerezo, almendro.
- Algo duras; castaño, haya, nogal, peral.
- Blanda; Abeto, alerce, pino, sauce.
- Muy blandas; tilo, chopo.



Hendibilidad

Se llama también facilidad a la raja y es la aptitud de las maderas a dividirse en el sentido longitudinal bajo la acción de una cuña. El rajado es más fácil, en sentido de los radios.

Como madera muy hendible se acostumbra citar el castaño, como madera hendible, el roble, y como madera poco hendible, el carpe.

Conductividad

La madera seca es mala conductora del calor y electricidad, no así cuando esta húmeda. La conductividad es mayor en el sentido longitudinal que en radial o transversal, y más en las maderas pesadas que en las ligeras o porosas, por lo cual se emplean como aisladores térmicos en los pavimentos y paredes.

Dilatación térmica

El coeficiente de dilatación lineal de la madera es muy pequeño, pudiendo ser despreciado.

Duración

La duración de la madera varía mucho con la clase y medio. A la intemperie, y sin impregnar depende de las alternativas de sequedad y humedad: el roble dura 100 años; álamo, sesenta a noventa años; pino, alerce, cuarenta a ochenta años; el sauce dura treinta años. Se admite como duración media de la madera enterrada la de diez años.

4.- NATURALEZA ORTOTRÓPICA Y EJES DE SIMETRÍA DA MADERA

La madera puede ser descripta como un material ortotrópico; esto es que tiene propiedades mecánicas únicas e independientes en las direcciones de tres ejes mutuamente perpendiculares.

Es conveniente, por lo tanto, relacionar las direcciones en un árbol con su microestructura. Para ello se adoptan ejes como los que se indican en la Figura 3.

- eje longitudinal (L) : paralelo al tronco del árbol
- eje radial (R) : perpendicular al anillo de crecimiento del árbol
- eje tangencial (T): paralelo al anillo anual y perpendicular a los otros dos ejes.

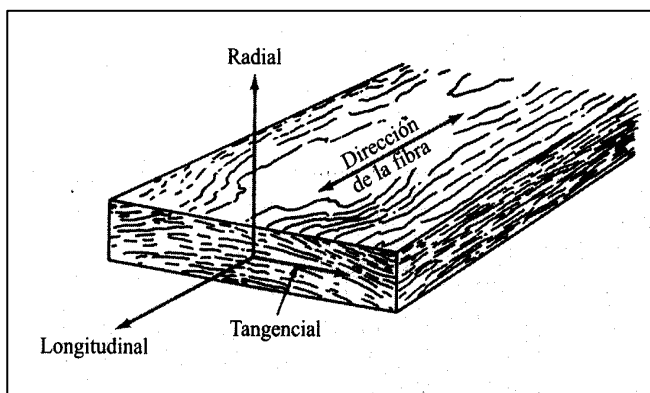


Figura 3. Ejes de la madera

Más adelante veremos que esto es muy importante cuando se determinan las propiedades mecánicas.



5.- DEFECTOS DE LA MADERA

Los defectos son anomalías que modifican la estructura de la madera, y las alteraciones son enfermedades que afectan a la composición química y disminuyen su resistencia. A continuación se mencionan los defectos más comunes.

a. Nudos

Son tejidos que forman las ramas, las cuales sufren desviaciones, provocando condensaciones de tejido lignificado, comunicando diferente textura y heterogeneidad a las resistencias de la madera, depreciándola y siendo desechable para sierra, cuando son muy gruesos, por ser saltadizos, y al desecarse se desprenden, dejando huecos en las tablas.

Por sus dimensiones se clasifican los nudos en las categorías siguientes:

- Nudos muy pequeños, cuando su diámetro es inferior a 5 mm. Se les denomina de ojo de perdiz cuando tienen un punto negro en el centro, rodeado de madera descompuesta, depreciando la madera.
- Nudos pequeños, los de 5 a 15 mm de diámetro.
- Nudos medianos, los de 15 a 40 mm de diámetro.
- Nudos gruesos, los mayores de 40 mm de diámetro.

Los nudos siempre reducen la resistencia de la madera al interrumpir la continuidad de sus fibras, volviéndola menos elástica, y quebradiza.

b. Fibra torcida

Al crecer el árbol sus fibras no lo hacen paralelamente al eje, sino en forma de hélice, debido al excesivo crecimiento de las fibras periféricas, con relación a las interiores, a causa de pasar las raíces de un terreno impermeable a otro profundo y fértil, y se aprecia ya en el árbol en pie, pues la corteza se rasga y sigue la línea espiral de las fibras.

Esta madera solo sirve para pilotes, postes, pie derechos, etc., pues al escuadrarla se cortan los haces fibrosos en varios sitios, perdiendo mucha resistencia. Tampoco sirven para hienda.

c. Madera curvada

Cuando el fuste del árbol no es recto y presenta trozos curvados en el mismo o en distinto plano. En el primer caso, si la flecha medida perpendicularmente al eje del fuste en el punto mas curvo no es muy grande, puede servir como madera de rollo para ciertas aplicaciones, pero en el segundo caso solo sirve para leña.

6.- PROTECCIÓN DE LA MADERA

La madera como material de origen orgánico (compuesta fundamentalmente por celulosa y lignina) es especialmente estable, no obstante por su propia naturaleza constituye la base de alimentación de organismos vivos del reino vegetal (hongos) y del reino animal (insectos, moluscos, crustáceos, aves); así mismo puede ser atacada por algunos compuestos químicos; y la existencia de carbono en la celulosa hace que sea un material combustible.

La protección de la madera se debe considerar como algo natural, sin olvidar que casi todos los materiales necesitan una protección.



Su principal objetivo es ampliar las aplicaciones de los productos de madera. Lo más importante es tratar que permanezca seca y después el empleo de productos protectores que permiten utilizarla en una gran variedad de condiciones de servicio.

Así, analizaremos: agentes degradadores, durabilidad natural e impregnabilidad, protección contra organismos xilófagos, protección contra el fuego y protección superficial

Agentes degradadores

Un agente degradador es toda causa que directa o indirectamente interviene en el deterioro o alteración de la madera. Los agentes se han agrupado de la siguiente forma:

- a. Atmosféricos o meteorológicos
- b. Agentes bióticos
- c. Fuego
- d. Compuestos químicos
- a. Agentes atmosféricos o meteorológicos

Los principales agentes atmosféricos son el sol y la lluvia, que actúan sobre la superficie de la madera al exterior y/o sobre la protección superficial de ésta. Hay que destacar que el sol y la lluvia actúan en tiempos diferentes.

La radiación solar actúa principalmente a través de los rayos ultravioleta y de los rayos infrarrojos. Los ultravioleta no penetran profundamente en la madera, su acción se centra en la superficie de la madera provocando que se degrade la lignina, que se pierda cohesión entre las fibras, y que tome un color grisáceo. Cuando la madera incorpora una protección superficial degradan progresivamente las resinas de los productos de acabado, sobre todo aquellos que no están protegidos por pigmentos.

Los rayos infrarrojos provocan un calentamiento de la zona donde inciden provocando la aparición de grietas en la superficie y la subida de resinas, debido al recalentamiento que producen. Cuando la madera incorpora una protección superficial, la acción del calor, originada por los rayos infrarrojos, acelera el envejecimiento de la resina del producto. Su acción es muy perjudicial porque tarde o temprano provocan la aparición de grietas en la superficie de la madera y a pesar de la flexibilidad que tenga el revestimiento, éste no puede resistir su aparición y se acaba rompiendo.

La acción de la lluvia sobre la madera desnuda produce un efecto parecido pero inverso al de los rayos infrarrojos. Cuando la madera incorpora una protección superficial, esta resistirá durante bastante tiempo a la acción exterior de la lluvia mientras que el agua no alcance la madera, que se producirá cuando se rompa o desaparezca la protección superficial.

b. Agentes bióticos

Los principales agentes bióticos destructores de la madera pertenecen tanto al reino vegetal (hongos xilófagos) como al reino animal (insectos xilófagos y xilófagos marinos). La acción de los hongos se origina principalmente en la madera en contacto con el suelo, como postes, traviesas de ferrocarril, etc., o cuando se humedece debido a errores constructivos como por ejemplo las cabezas de vigas empotradas en muros. La acción de los insectos xilófagos se puede producir en una gran variedad de situaciones y de contenidos de humedad de la madera.



Según su ciclo de vida y la forma de su ataque distinguiremos a los insectos de ciclo larvario, a los insectos sociales y a los xilófagos marinos. Los xilófagos marinos actúan sobre la madera que se utiliza en agua de mar.

c. Fuego

La madera, al estar formada por carbono, es un material combustible y susceptible de ser degradada por el fuego. La degradación se produce mediante reacciones químicas (combustión) que disminuyen paulatinamente su sección resistente y pueden provocar su total destrucción, en función de la duración de su exposición al fuego. La combustión de la madera se produce al combinarse, mediante la acción del calor, sus principales componentes, el carbono y el hidrógeno, con el oxígeno para producir, respectivamente, anhídrido carbónico y agua.

Muchos de los materiales que se emplean normalmente en la construcción no son combustibles (no aportan alimento al desarrollo del incendio), sin embargo, ninguno es a prueba de fuego. Las estructuras metálicas se dilatan y retuercen rápidamente en un incendio, produciendo el colapso del edificio al perder su resistencia. El hormigón armado se resquebraja con el calor y más aún cuando se enfría rápidamente al ser mojado por el agua de las mangueras de los extintores. A pesar de que la madera sea un material inflamable a temperaturas relativamente bajas, en relación con las que se producen en un incendio, es más seguro de lo que la gente cree; su baja conductividad térmica hace que la temperatura disminuya hacia el interior. La carbonización superficial que se produce impide por una parte la salida de gases y por otra la penetración del calor y al ser despreciable su dilatación térmica no actúa sobre las estructuras y no las deforma.

La acción del fuego sobre la madera se evalúa con dos conceptos básicos que hacen referencia a los materiales individuales (reacción al fuego) y a los elementos estructurales (resistencia al fuego).

La reacción al fuego es el alimento que un material puede aportar al fuego y al desarrollo del incendio. Es un índice de la capacidad del material para favorecer el desarrollo del incendio. En definitiva evalúa como se comporta un material frente al fuego para determinar si el material es combustible o incombustible.

La resistencia al fuego de un elemento constructivo es el tiempo durante el cuál es capaz de cumplir la función para la cual ha sido colocado en el edificio. En función de las propiedades que satisfaga el elemento se clasificara como estable al fuego (EF), parallamas (PF) o resistente al fuego (RF).

Todo ello indica, que no debe rechazarse a priori la madera como material constructivo, por razones de su comportamiento al fuego al compararla con otros materiales, ya que correctamente utilizada puede ofrecer condiciones adecuadas de seguridad, dentro de las consideraciones de tipo económico que rigen en una construcción.

d. Degradación producida por compuestos químicos

La madera es un material muy resistente a un gran número de compuestos químicos. En la industria de fabricación de elementos químicos es uno de los materiales preferido para numerosas aplicaciones que van desde depósitos o contenedores de productos hasta edificios



de madera en donde se guardan los productos químicos. Un ejemplo clásico son los depósitos de sal que se utilizan para eliminar la nieve y el hielo de las carreteras. La madera de duramen es, en general, más resistente que la de albura, debido a que es más difícil que penetren en ella.

Los compuestos químicos pueden modificar la resistencia de la madera de dos formas diferentes:

Aumentando sus dimensiones o hinchazón (el aumento de su contenido de humedad origina la disminución de sus propiedades resistentes), cuya acción es reversible. En este grupo incluiríamos el agua, los alcoholes y otros líquidos orgánicos (por ejemplo las acetonas) que no reaccionan químicamente con la madera.

Produciendo cambios permanentes e irreversibles en la estructura de la madera debido a la modificación de alguno de sus componentes. Los álcalis disminuyen las propiedades de la madera al provocar la disolución de la lignina y de la hemicelulosa. Las soluciones alcalinas son más destructivas que las ácidas, y las frondosas son, generalmente, más susceptibles de ser atacadas. Las coníferas son más resistentes que las frondosas y son casi tan resistentes a la corrosión como los aceros especiales. La resistencia a la corrosión se puede medir calculando la pérdida de peso por unidad de volumen o utilizando el valor del pH como un índice de la corrosión.

Los ácidos producen la hidrólisis de la celulosa de la madera, causando una pérdida permanente de su resistencia mecánica. El valor del pH, al igual que en los álcalis, también se puede utilizar para evaluar la acción corrosiva de los ácidos. Las sales de hierro, que se producen puntualmente en las piezas unidas con placas metálicas, con pernos y otros elementos, son muy ácidas y originan una hidrólisis de la madera en presencia de agua libre.

Esta acción se acelera con la humedad, y la presencia de oxígeno puede jugar un importante papel. Este defecto no se produce en maderas correctamente secadas.

La acción de las sales alcalinas o ácidas se puede predecir en función del pH. En la inmensa mayoría de los casos las sales neutras no producen ninguna degradación sobre la madera. Las sales ácidas se pueden considerar como ácidos débiles y no tendrán una acción importante sobre la resistencia de la madera. Las sales alcalinas se pueden considerar perjudiciales para la madera, y su acción se puede considerar similar a la de los álcalis débiles.

Las condiciones más adecuadas para el uso de la madera en contacto con compuestos químicos son las siguientes:

- el pH de las soluciones se encuentra entre 2 y 11.
- la temperatura es inferior a 50 °C
- no existe contacto con agentes químicos oxidantes.

SECADO DE LA MADERA

Uno de los atributos más importantes solicitados al comprar madera es que sea seca, sin embargo, no siempre está claro qué significa, las reales ventajas del producto y los problemas



que se resuelven en la mayoría de las aplicaciones y usos en la construcción. En muchos casos este atributo no es valorado, dado que se desconocen las ventajas asociadas a la madera seca.

La madera recién cortada contiene el agua que el árbol necesita para vivir. La cantidad de agua es apreciable, siendo normalmente mayor el peso del agua que el de la madera que la contiene. A modo de ejemplo, una pieza de 2" x 2" x 3,2 m verde puede contener más de 3 litros de agua.

Técnicamente se habla de «Contenido de Humedad» o «Humedad», que se expresa en porcentaje (%). Este se calcula como sigue:

La humedad se mide con instrumentos electrónicos, conocidos como xilohigrómetros, que están disponibles en el mercado.

En madera verde, el contenido de humedad varía entre 120% y 150%. En madera seca, un 12% es habitual, no obstante, puede variar entre 8% y 18% dependiendo del uso o del producto.

Desde el momento que la madera se produce en el aserradero, comienza naturalmente a perder humedad, es decir, a secarse. La madera se secará hasta alcanzar un estado de equilibrio con las condiciones del ambiente a que está expuesta, que varía según la temperatura y humedad atmosférica. Este se conoce como «Contenido de Humedad de Equilibrio» o «Humedad de Equilibrio». Depende de la zona geográfica y además cambia a lo largo del año.

En ambiente calefaccionado, como al interior de edificios y casas, la humedad de equilibrio es más estable, oscilando entre 8 y 12%.

La madera cuando se seca se contrae. Dada la particular estructura anatómica de la madera, la contracción no es igual en todas las direcciones. Además, estas contracciones variables, según los planos de corte, originan deformaciones o alabeos. En aplicaciones donde se usa madera verde, ésta se contraerá y deformará durante el período de almacenamiento y una vez instalada, causa pérdidas y problemas de variada índole y magnitud en las obras.

Una vez que la humedad de la madera se equilibró con el ambiente, no seguirá deformándose y las variaciones estacionales causan cambios dimensionales despreciables. En consecuencia, la madera seca es estable y no cambiarán sus dimensiones ni se deformará.

Proceso de Secado

Para evitar los daños o pérdidas que puedan producirse por deformaciones o contracciones, la madera debe secarse antes de ser utilizada, idealmente a un contenido de humedad similar al de equilibrio de la zona o condición donde se usará.

La madera puede secarse en forma natural. Aprovechando las condiciones atmosféricas favorables del verano, es posible bajar la humedad de la madera, sin embargo, el resultado no es parejo y no es posible conseguir en un tiempo razonable una humedad baja durante todo el año.



La alternativa es secar artificialmente la madera, empleando tecnologías que permiten un resultado uniforme. Bajo este concepto se reconoce el producto “madera seca tecnológicamente”, que asegura estabilidad dimensional.

El secado artificial o tecnológico consiste en someter a la madera a un ambiente donde se controlan las tres variables que permiten acortar dicho proceso: temperatura, humedad y velocidad del aire.

El proceso se hace en cámaras o secadores, que son estructuras que tienen secadores normalmente alimentados por vapor, en los cuales se puede subir la temperatura hasta 50° C o sobre 100° C, según la tecnología del equipo. Además, tienen ventiladores con los que se regula la velocidad del aire y deflectores para que se distribuya de manera uniforme en todos los puntos, logrando un secado parejo.

La madera se coloca en la cámara de pilas formadas por capas de madera separadas entre sí por separadores, que permiten el secado del aire. Asimismo, en la parte superior se colocan, por lo general, bloques de hormigón como contrapeso a fin de reducir las deformaciones. Una cámara, usualmente, contiene cinco mil pulgadas de madera.

El tiempo de secado varía, según el espesor y la tecnología del equipo, desde cuatro horas a no más de tres días. El proceso es controlado por computadores que se alimentan con sensores dispuestos en el interior del equipo y que, automáticamente, van variando la combinación de temperatura y humedad hasta alcanzar el resultado esperado.

DURABILIDAD NATURAL E IMPREGNABILIDAD

La durabilidad natural se define como la resistencia intrínseca de la madera frente a degradaciones que pueden producir los agentes destructores de la madera. Dentro del tejido leñoso pueden diferenciarse dos zonas: el duramen, en el interior del tronco, y la albura, en el exterior. La formación del duramen se caracteriza por modificaciones anatómicas y químicas.

Las modificaciones anatómicas, tanto en las frondosas como en las coníferas, se traducen en una obturación total o parcial de los tejidos encargados de transportar la savia. Las modificaciones químicas tienen lugar al impregnarse las células con otros productos naturales producidos por el árbol (resinas, aceites, taninos, gomas, sustancias solubles, hidratos de carbono polisacáridos, alcaloides, etc.) que al oxidarse le suelen dar un característico color oscuro, que se suele apreciar con más claridad en algunas coníferas.

La duraminización protege a la madera contra los ataques de los hongos e insectos xilófagos, por el taponamiento e impregnación de los tejidos de la madera con sustancias que tienen un cierto valor antiséptico. La madera de duramen no sólo es más oscura (en la mayoría de las especies), sino que también es más densa y resistente a los ataques de origen biológico; mientras que la madera de albura suele ser más clara, generalmente blanco amarillenta, más porosa y blanda, y menos valiosa para algunas aplicaciones. Sin embargo, desde el punto de vista de los tratamientos, la albura suele ser más fácil de tratar y de trabajar en la mayor parte de los procesos de elaboración y desintegración mecánica.

La impregnabilidad de una especie evalúa la capacidad que presenta para que un líquido (por ejemplo un protector) pueda entrar en su interior. En todos los sistemas de tratamiento, con la



excepción del de difusión que utiliza como vehículo el agua que contiene la madera, la cantidad de producto que entra en la pieza está muy relacionada con su estructura anatómica (la dimensión, la forma y el número de células por unidad de volumen; y la habilidad de las mismas para transportar líquidos). En general la madera de albura se impregna con más facilidad independientemente del comportamiento que tenga su madera de duramen; aunque existen casos puntuales en los que es muy difícil impregnar la madera de albura.

PROTECCIÓN DE LA MADERA CONTRA EL FUEGO

Es posible reducir y en algunas casos impedir la acción del fuego mediante la ignifugación de la madera, que tiene el objetivo de disminuir el nivel de su combustibilidad e inflamabilidad.

Esta se puede realizar mediante su tratamiento con diversos productos químicos o protegiéndola con otros materiales incombustibles que actúen de pantalla y que impidan que llegue el calor hasta ella, es lo que en la protección de la madera frente a los agentes xilófagos o atmosféricos se denomina “detalles constructivos”. Sin embargo, lo que se conoce normalmente como ignifugación es el tratamiento de la madera con productos químicos que provocan modificaciones en el proceso de su combustión tales como fósforo, nitrógeno, boro, silíceo

PROTECCIÓN SUPERFICIAL DE LA MADERA AL EXTERIOR

La protección superficial de la madera es muy antigua, en un principio sólo se destinaban para embellecer la madera situada en el interior de las viviendas, pero con el paso del tiempo han ido ampliando su uso a la madera situada al exterior. Su objetivo principal sigue siendo decorar la madera y protegerla frente a la acción del sol y de la lluvia. El paso de su utilización en el exterior ha ido en paralelo con el descubrimiento de nuevas resinas sintéticas, la mejora de los pigmentos y la incorporación de otros productos como los captadores de radios ultravioletas o de filtros solares, estabilizadores de la luz, etc. que van mejorando sus prestaciones.

REVISIÓN DE LAS MEDIDAS CONSTRUCTIVAS

Estas medidas de tipo constructivo están enfocadas a evitar un aumento perjudicial del contenido de humedad de la madera y a evitar la acción directa del sol y de la lluvia. La primera consideración que se debe tener en cuenta cuando se utilice madera en la construcción es que su contenido de humedad sea el correspondiente al de su lugar de aplicación. Como regla general la madera debe permanecer con el contenido de humedad adecuado y estar ventilada. Además hay que tener siempre presente que si su contenido de humedad es superior al 20-22%, existe la posibilidad de un ataque por hongos de pudrición y/o de termitas.

Estas medidas hacen referencia a las eliminaciones de humedades procedentes de precipitaciones atmosféricas (cubiertas - aleros - carpintería exterior), de los materiales colindantes (piezas de madera próximas o en contacto con el suelo o muros), y de la formación de condensaciones y aportes accidentales de humedad (fugas, filtraciones, goteras, etc.). El objetivo general es la eliminación de todas las fuentes de humedad no controladas, incluso aquellas que se encuentran alejadas de la madera afectada, ya que algunos agentes xilófagos pueden transportarla.

PRODUCTOS PROTECTORES

Los protectores de la madera están compuestos por materias activas, productos fijadores y solventes. Las materias o los principios activos tienen propiedades insecticidas o fungidas y se



fijan en la madera por medio de los productos fijadores, ambos productos se introducen en el interior de la madera a través del solvente que actúa como vehículo.

Sus principales características son las siguientes:

Registro del producto en el Ministerio de Sanidad que especifica sus aplicaciones y los posibles riesgos derivados de una incorrecta manipulación o la forma de manipularlos para evitar esos riesgos.

Efectividad frente al agente degradador, que queda definida en las correspondientes normas de ensayo y de especificaciones, y ha de estar refrendada por el correspondiente informe de ensayo emitido por laboratorios de reconocido prestigio. Normalmente se especifica la cantidad de producto necesaria y el método de tratamiento.

Permanencia del producto: Los productos deben proteger la madera durante un cierto tiempo. Sobre este punto hay que tener en cuenta que existen productos que comunican una protección temporal de la madera, como por ejemplo los que se utilizan para evitar que la madera aserrada se azule; y otros que comunican una protección de mayor duración como es el caso de los sales hidrosolubles aplicadas con tratamientos de vacío - presión. Debido a la gran cantidad de variables que intervienen o definen un producto protector como pueden ser su composición, forma de presentación (líquida, polvo, pasta, cartuchos, gas, etc.), campo de aplicación, efectividad, métodos de tratamientos, manipulación, compatibilidades con otros productos, etc.; el fabricante debe aportar la máxima información sobre dicho producto avalada con los correspondientes informes.

Los productos protectores se pueden clasificar en función de su composición química (principios activos, solventes y productos fijadores) en los siguientes:

- Protectores hidrosolubles (sus principios activos son sales minerales, que se disuelven en una solución acuosa a una concentración determinada).
- Protectores en disolvente orgánico (sus principios activos son compuestos orgánicos de síntesis, a los que se añaden resinas, que van disueltos en disolventes orgánicos).
- Protectores hidrodispersables (sus principios activos son compuestos orgánicos de síntesis no solubles en agua a los que se añade un emulgente para producir una buena dispersión en agua).
- Protectores mixtos (sus principios activos son mezclas sales minerales con productos de síntesis que se disuelven en agua).
- Protectores orgánicos naturales (normalmente hacen referencia a las creosotas).

7.- MÉTODOS DE TRATAMIENTO

El método de tratamiento es el procedimiento por el que se aplica un protector a la madera. Su objetivo es conseguir introducir la cantidad definida de producto en un volumen de madera determinado y que este alcance la penetración especificada.

Se pueden distinguir dos formas o procedimientos para tratar la madera. La primera se podría denominar pasiva, ya que se basa en la capacidad natural de la madera para recibir o absorber el protector, la cantidad de producto absorbida es irregular y no controlable; incluiría al pincelado, la pulverización y la inmersión breve. La segunda se podría denominar activa, ya que se basa en métodos artificiales (técnicas de vacío-presión), la cantidad de producto absorbida por la madera se puede controlar con mayor precisión e incluiría a todos los métodos que utilizan el autoclave.



Relación de métodos de tratamiento - penetración

- Pincelado: se consigue una protección superficial contra la acción de agentes bióticos y contra la fotodegradación.
- Pulverización: se consigue una protección superficial contra la acción de agentes bióticos y contra la fotodegradación. La pulverización es más eficaz que el pincelado.
- Inmersión breve (período de tiempo entre algunos 10 segundos y 10 minutos). Se consigue una protección superficial contra la acción de agentes bióticos y contra la fotodegradación.
- Inmersión prolongada (período de tiempo superior a 10 minutos). Se consigue una protección media contra la acción de agentes bióticos
- Tratamientos con vacío - presión (realizados con autoclave: un cilindro metálico cerrado en el que se introduce la madera y el protector de la madera. Mediante la aplicación de vacío, extraemos el aire de la madera, y mediante la aplicación de presión, conseguimos forzar la entrada del producto en el interior de la madera). Se consigue una protección profunda contra la acción de agentes bióticos.

En función de los vacíos y presiones que se realicen y de sus tiempos de aplicación se clasifican en:

- Sistema de célula llena: su objetivo es conseguir la máxima retención del protector en la madera tratada.
- Sistema de célula vacía: su objetivo es conseguir que el producto protector penetre profundamente en la madera
- Doble vacío: su objetivo es proteger perimetralmente la pared celular
- Madera termo tratada: la madera se somete a unas determinadas temperaturas (alrededor de los 200° C) durante un cierto periodo de tiempo.

DURACIÓN DEL TRATAMIENTO - VIDA ÚTIL DE LA MADERA TRATADA

La “vida útil o la durabilidad” de la madera tratada es una información útil que no es fácil de obtener. A continuación se exponen algunos datos orientativos procedentes de experiencias reales y basadas en que el tratamiento se ha realizado correctamente.

En principio para todas las aplicaciones de interior, la madera tratada permanecerá protegida para siempre.

En el caso de la madera exterior que se ha protegido mediante técnicas de vacío presión con productos hidrosolubles, siguiendo las indicaciones del fabricante, se puede alcanzar una vida útil, dependiendo de la especie de madera, de 50 años (otros fabricantes y técnicos la rebajan a 20 años). Esta estimación también se puede ampliar a la madera utilizada al exterior en contacto con el suelo.

En el caso de la madera utilizada en carpintería exterior sin contacto con el suelo que se haya protegido mediante técnicas de vacío - vacío, tanto con productos orgánicos como hidrosolubles (especiales para este tipo de tratamientos), siguiendo las indicaciones del fabricante, se puede alcanzar una vida útil, dependiendo de la especie de madera, de 60 años (otros fabricantes y técnicos la rebajan a 25 años).



8.- MADERAS INDUSTRIALIZADAS - LAMINADOS PARA ESTRUCTURAS

La elevada calidad de este material, lo convierte en uno de los pocos elementos de origen orgánico que permiten estructuras de gran resistencia, alta economía y prácticamente sin limitaciones en cuanto a dimensiones longitudinales.

La madera es un material único por su nobleza, calidad, durabilidad, resistencia y trabajabilidad, cualidades que sumadas a su resistencia a los esfuerzos mecánicos, la hacen apta para diversos usos. La utilización del mismo en la construcción, ha sido explotada desde la antigüedad por el hombre, el cual ha debido apelar al ingenio para superar los condicionamientos que le impone la naturaleza.

La creciente escasez y simultáneo encarecimiento de las maderas aserradas, ante el retroceso de las reservas forestales por aumento del consumo e irracional explotación, han obligado a procurar el máximo aprovechamiento de este recurso natural. A esto se suma, en nuestro país, el escaso conocimiento que se tiene del material.

MADERA LAMINADA

En 1907, en Bruselas, se presentó la madera laminada, y desde entonces "se han construido diversos elementos estructurales -vigas, arcos, columnas- empleando esta técnica, basada en la superposición de tablillas adheridas con cola. Con el surgimiento de las resinas sintéticas se afianzó esta industria que hoy ha logrado un gran desarrollo.

Con el advenimiento de los estructuras de madera en forma laminada, que hoy pueden producirse en el país en inmejorables condiciones tecnológicas y que permite el empleo óptimo de maderas de menor costo, se pueden paliar las necesidades antes mencionada, ya que son aptas para usarse en todo tipo de construcciones, aún las de mayor envergadura.

Con este material se pueden conseguir dimensiones imposibles de obtener con maderas macizas, con el mismo se pueden cubrir grandes luces y lograr importantes escuadrías. El hecho de que se fabrique a medida posibilita un óptimo aprovechamiento, lo cual es muy importante para el proyectista, que de este modo ve resuelta la incógnita de diseñar sin saber si conseguirá o no la escuadría y longitudes requeridas por el proyecto.

Mediante el procedimiento de madera laminada se logra un aprovechamiento más racional del material, ya que se pueden salvar grandes luces con vigas o arcos de gran longitud y gran altura a partir de tablas pequeñas. Del mismo modo, se pueden disponer de piezas de diversas especies según convenga, de acuerdo al esfuerzo a que será sometida la estructura, con el empleo de las características resistentes de cada madera.

VENTAJAS

Entre sus múltiples ventajas podemos enumerar:

- 1.- Eliminación de nudos y de cualquier defecto de la madera original.
- 2.- Uniones más resistentes que la madera misma, proporcionadas por el tipo de cola empleada; tal es así que las roturas en los ensayos se producen en la madera y no en las uniones.



- 3.- Las piezas estructurales pueden conformarse en cualquier espesor, forma y dimensión. La longitud de las piezas queda restringida por las posibilidades que ofrecen los medios de transporte.
- 4.- Inmejorable comportamiento como material ignífugo, ya que los componentes se queman más lentamente y resisten la penetración del calor, a diferencia de las construcciones, realizadas en hierro, que colapsan.
- 5.- Su agradable aspecto visual hace posible su utilización a la vista, sin necesidad de aplicar revestimiento alguno para ocultar el material.
- 6.- Corto tiempo de montaje y rapidez de ejecución.
- 7.- Costo relativamente menor que el de otros sistemas similares.

EMPLEO EN GRANDES ESTRUCTURAS

La optimización de las estructuras de madera laminada solo puede lograrse si en el proyecto de las mismas se toman en cuenta las particularidades que ofrece el material. En nuestro país no existen normas propias para el proyecto y ejecución de este tipo de estructuras, por tal motivo y para su correcta concreción se ha adoptado la norma alemana DIM 1052, cuyo estricto cumplimiento garantiza el adecuado comportamiento de las construcciones.

Dentro de estas disposiciones no se establecen límites en cuanto a dimensiones y/o destinos de las construcciones que emplean este tipo de estructuras. Gracias a las nuevas técnicas se han ampliado aún más el campo de aplicación debido al satisfactorio comportamiento observado en estructuras de grandes luces, puentes, entrepisos, cubiertas, etc.

Es importante señalar que el cálculo de las estructuras de madera laminada admite, para vigas rectas, las mismas fórmulas que habitualmente se emplean para el cálculo de estructuras de madera aserrada.

Naturalmente, estas ventajas y conveniencias se logran sólo si en su fabricación se emplean procedimientos adecuados y se realiza un estricto control de calidad, convirtiendo a la madera en un auténtico producto industrial.

9.- COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MADERA

Comportamiento bajo tensiones

La estructura interna de la madera desde el punto de vista microscópico, está formada por un reticulado de celulosa, geométricamente orientado según las tres direcciones principales del tronco. Por lo tanto y de acuerdo con la dirección y el tipo de carga se tendrá un comportamiento mecánico diferente.

A continuación veremos el comportamiento según el tipo de carga que se produzca.

Compresión

Así la resistencia a la compresión será analizada paralela a las fibras y perpendicular a las fibras, ambas correlacionadas tanto para maderas en su estado natural y para maderas estructurales utilizadas en la construcción civil (ya industrializadas).

En la Fig. 4 se muestra la curva tensión deformación para maderas macizas cargadas paralelamente a las fibras (línea continua) y perpendicularmente a las fibras (línea discontinua), con una deformación constante.

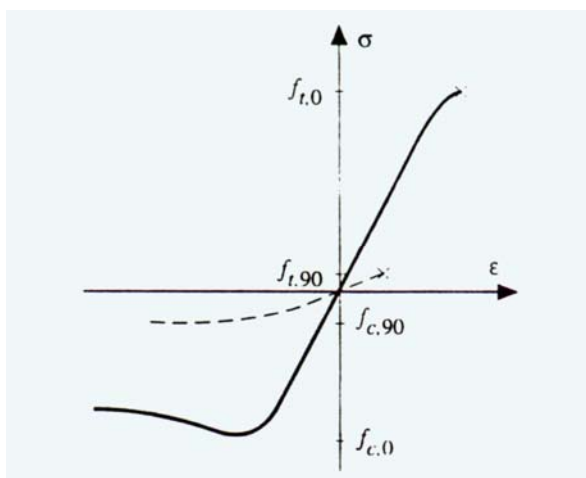


Figura 4. Curva tensión deformación para maderas macizas

Compresión paralela a las fibras

La forma de rotura de las probetas de madera sometidas a este tipo de carga se muestra en la Figura. 5.

En las maderas de uso estructural se debe considerar los defectos que pudiera tener la madera tales como desvío de las fibras o nudos. Estos reducen la sección transversal efectiva.

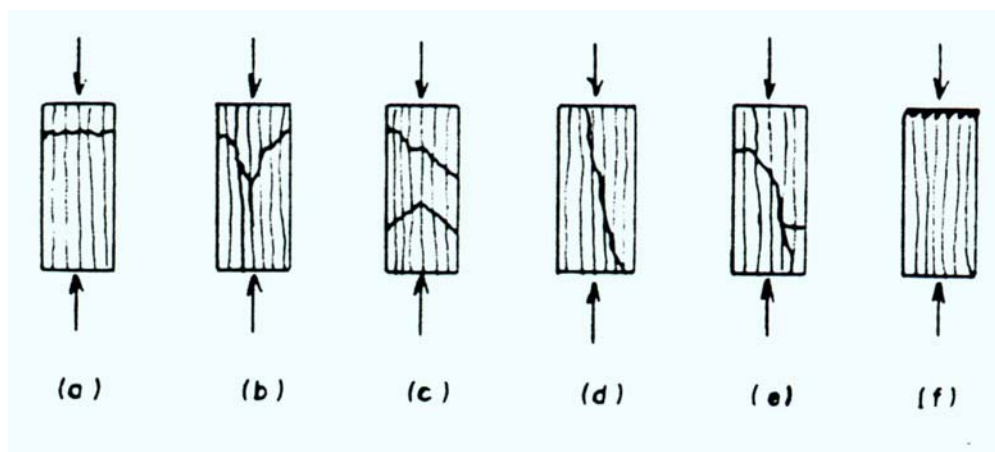


Figura 5. Forma de rotura de las probetas de madera

Compresión perpendicular a las fibras

Con este tipo de carga, las fibras de la muestra son comprimidas unas con otras, dando esto una carga máxima y una deformación muy grande

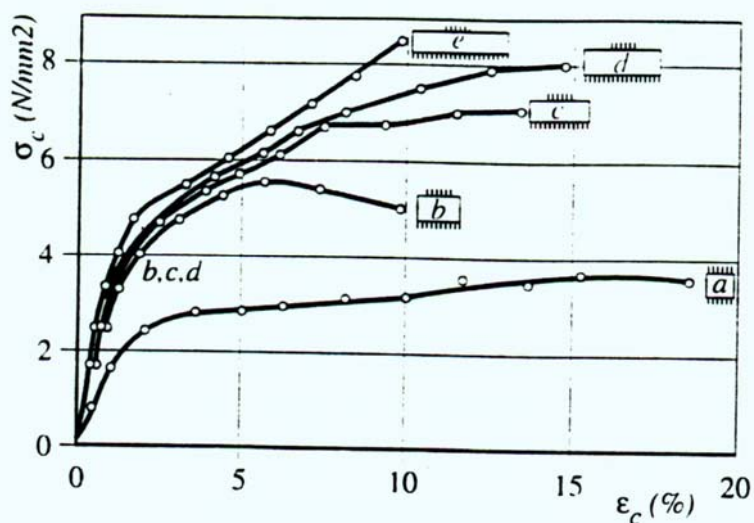


Fig. 6. Compresión perpendicular a las fibras aplicada en probetas de madera estructural de 15 x 15 cm².

Tracción

Tracción paralela a las fibras

El diagrama de tensión deformación característico es el mostrado en la figura 4.

Como fue dicho anteriormente, la tensión a tracción para maderas macizas es mayor que la tensión a compresión; en el gráfico de la Fig. 4 se observa que la tracción es lineal casi hasta la rotura que es de tipo repentino y frágil a diferencia de la compresión que la mayoría de las veces tiene un comportamiento dúctil.

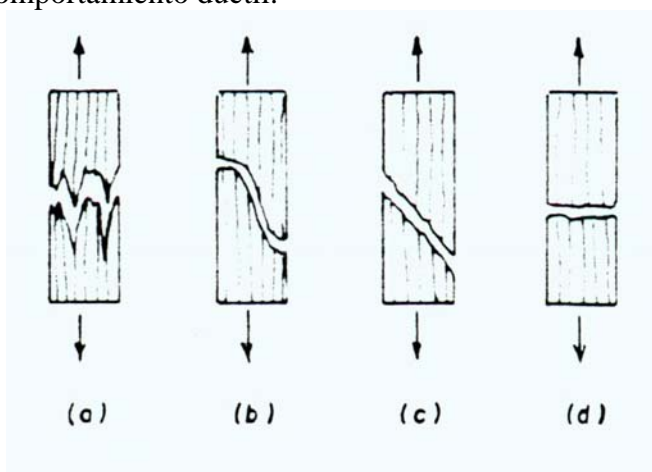


Figura 7. Rotura de piezas sometidas a tracción paralela a las fibras

La Fig. 7 muestra las formas de rotura en piezas sometidas a tracción paralela a las fibras.



En la Fig. 8 se presenta la forma como puede ser afectada la rotura por la presencia de nudos.

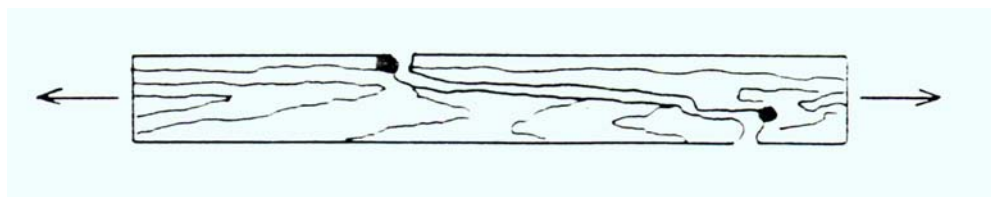


Fig. 8. Modo de rotura de piezas con defectos sometidas a tracción paralela a las fibras

Tracción perpendicular a las fibras

La resistencia a tracción perpendicular a las fibras es de difícil determinación debido a la baja resistencia que se observa. A pesar de esto se puede decir que un valor aproximado es veinte veces menor que la tracción paralela a las fibras, dependiendo esto de algunas variables como por ejemplo las distintas especies. En la Fig. 9 se presentan los tipos de rotura que pueden mostrar las probetas ensayadas a tracción perpendicular a las fibras.

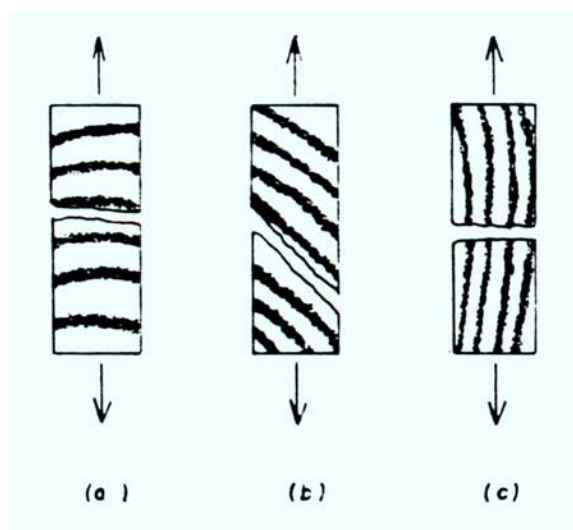


Fig. 9. Rotura de piezas sometidas a tracción perpendicular a las fibras

Corte

En maderas estructurales la resistencia al corte paralela a las fibras es considerablemente menor que la transversal a las fibras. En la Fig. 10 se presenta un esquema con los tipos de rotura que pueden mostrar las probetas ensayadas a tracción perpendicular a las fibras.

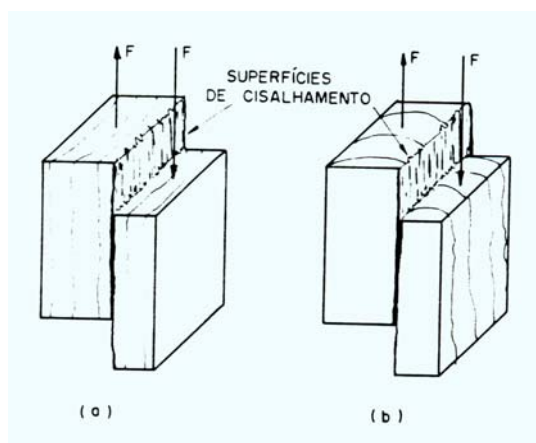


Figura 10. Rotura por corte

Flexión

La rotura de vigas de madera maciza es precedida por micro-roturas de la estructura interna del material inducidas por defectos presentes en la misma. De este modo los mecanismos de rotura no pueden ser analizados sólo en relación a la distribución de tensiones a lo largo de una sección transversal.

La presencia de defectos también afecta el comportamiento de una viga en relación a la flexión. En la Fig. 11 se muestran distintos casos que ilustran este hecho, considerando la presencia de defectos en el material.

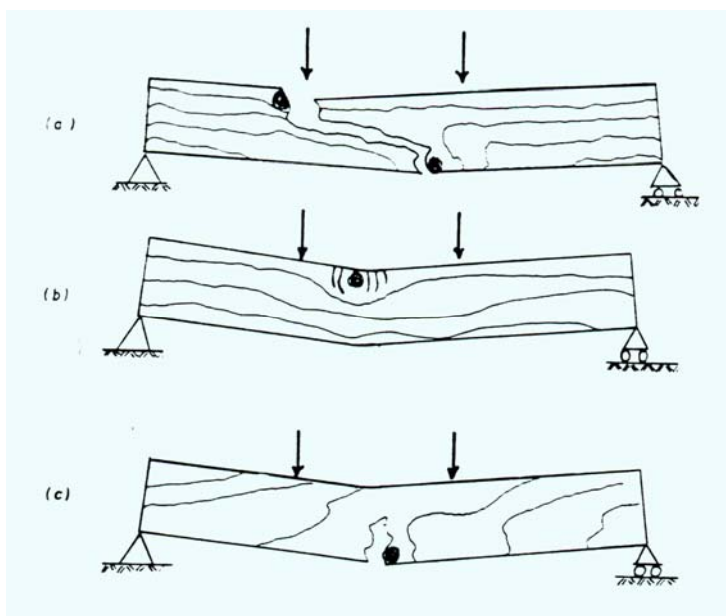


Fig. 11. Rotura de vigas con la presencia de nudos



Fluencia

La fluencia representa el aumento de la deformación con el tiempo bajo la acción de una carga constante. En la Figura 12 puede observarse el comportamiento general de la madera en relación a la fluencia. Con la descarga se produce la recuperación, pudiendo haber una deformación remanente.

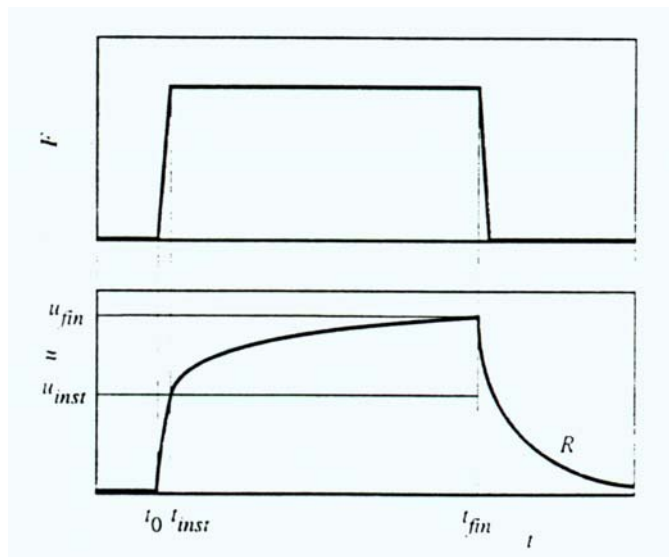


Fig. 12. Representación esquemática del comportamiento visco-elástico del material, u deformación, F carga, t tiempo y R recuperación.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Osvaldo Encinas, Conservación de maderas. Grupo de Investigación en Conservación de Maderas (GICOM), Universidad de Los Andes, Trujillo, Venezuela.
- CONSTRUCCIÓN EN MADERA, Frick - Knöll. Editorial Labor.
- De Oliveira Almeida, P. A. Estructuras de Grande Porte de Madeira Composta. Tesis Doctoral. Escola Politecnica de Universidad de San Pablo. 1990.
- Edlund, B. Timber Engineering STEP 1. First Edition, Centrum Hout. The Netherlands. 1995. Tension and Compresion
- Aune, P. Timber Engineering STEP 1. First Edition, Centrum Hout. The Netherlands. 1995. Shear and Torsion.
- www.infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_51_proteccion.pdf
- www.revistabit.cl/pdf/17articulo20.pdf