

1. INTRODUCCION

2. COMPOSICION Y ESTRUCTURAS DE LA MADERA

COMPOSICIÓN

ESTRUCTURA MACROSCÓPICA

ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE LA MADERA

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS CONSTITUYENTES DE LA PARED CELULAR

3. PROPIEDADES FÍSICAS

ANISOTROPÍA

HUMEDAD DE LA MADERA. RELACIONES AGUA – MADERA

CONTENIDO DE HUMEDAD.

HINCHAZÓN Y MERMA DE LA MADERA

COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN VOLUMETRICA

PUNTO DE SATURACIÓN DE LAS FIBRAS

PESO ESPECIFICO

HIGROSCOPICIDAD

HOMOGENEIDAD

DURABILIDAD

INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN

4. PROPIEDADES MECÁNICAS

ELASTICIDAD – DEFORMABILIDAD

FLEXIBILIDAD

DUREZA

CORTADURA

HENDIBILIDAD

DESGASTE

RESISTENCIA AL CHOQUE

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

FLEXION ESTÁTICA

1. INTRODUCCIÓN

La madera es un material complejo, con unas propiedades y características que dependen no sólo de su composición sino de su constitución (o de la manera en que están colocados u orientados los diversos elementos que la forman). El cómo están colocados u ordenados estos elementos nos servirá para comprender mejor el comportamiento, algunas veces poco lógico (aparentemente) de este material.

En primer lugar se ha de recordar que la madera no es un material de construcción, fabricado a propósito por el hombre, sino que es un material obtenido del tronco y las ramas de los árboles cuya finalidad es la de facilitar el crecimiento y supervivencia de este elemento vegetal.

La madera no es un material homogéneo, está formado por diversos tipos de células especializadas que forman tejidos.

Estos tejidos sirven para realizar las funciones fundamentales del árbol; conducir la savia, transformar y almacenar los alimentos y por último formar la estructura resistente o portante del árbol.

Será interesante recordar algunos conceptos respecto a la composición, microestructura y sobre todo la macroestructura de la madera.

2. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURAS DE LA MADERA

COMPOSICIÓN

Es una sustancia fibrosa, organizada, esencialmente heterogénea, producida por un organismo vivo que es el árbol.

Sus propiedades y posibilidades de empleo son, en definitiva, la consecuencia de los caracteres, organización y composición química de las células que la constituyen.

El origen vegetal de la madera, hace de ella un material con unas características peculiares que la diferencia de otros de origen mineral.

Elementos orgánicos de que se componen:

- Celulosa: 40–50%
- Lignina: 25–30%
- Hemicelulosa: 20–25% (Hidratos de carbono)
- Resina, tanino, grasas: % restante

Estos elementos están compuestos de:

- Elementos esenciales (90%):
- Carbono: 46–50%
- Oxígeno: 38–42%
- Hidrógeno: 6%
- Nitrógeno: 1%
- Otros elementos (10%):
- Cuerpos simples (Fósforo y azufre)
- Compuestos minerales (Potasa, calcio, sodio)

ESTRUCTURA MACROSCÓPICA

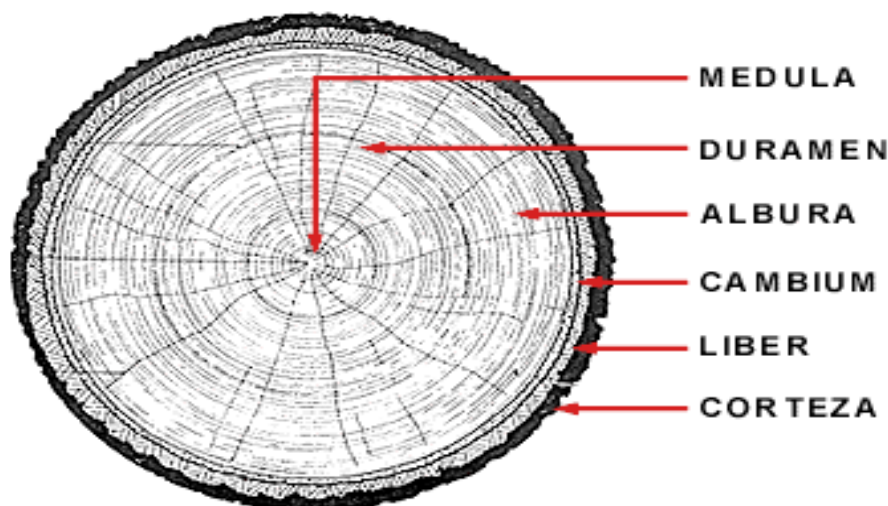
La observación de un trozo de madera nos permitirá ver los diversos elementos característicos que la forman, y además, apreciar que no se trata de un material homogéneo.

Si se observa el tronco de un árbol, se ve que tiene forma casi cilíndrica (truncocónica) y que está formado por sucesivas capas superpuestas (anillos).

En primer lugar se aprecia que entre la madera y la corteza existe una capa generatriz, llamada cambium, que produce madera hacia el interior y corteza hacia el exterior. En cada período vegetativo se forma una nueva capa (anillo) que cubre la anterior.

Dentro de cada capa se observan dos zonas bien diferenciadas, la formada al principio del período vegetativo con células de paredes delgadas y grandes lúmenes que se denomina madera de primavera, y la formada durante el verano, con células de paredes gruesas y lúmenes pequeños, llamada madera de verano.

Esta diferencia entre las dos zonas, hace fácilmente distinguible en la sección transversal, una serie de anillos concéntricos llamados anillos de crecimiento, cada uno de los cuales corresponde a un período vegetativo de la vida del árbol y que en nuestro clima, representa el crecimiento anual, por lo que su número indica la edad del árbol.



Analicemos, una por una, las diferentes partes que se puedan observar en una sección normal al eje del árbol.

– Médula:

Parte central del árbol. Constituida por tejido flojo y poroso. Tiene un diámetro muy pequeño. Madera vieja y normalmente agrietada. Se suele desechar en los procesos de elaboración de la madera.

– Duramen:

Madera de la parte interior del tronco. Constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia (debido al proceso de lignificación.) De coloración, a veces, más oscura que la exterior. Madera adulta y compacta. Es aprovechable. La duraminización (transformación de albura a duramen) de la madera se caracteriza por una serie de modificaciones anatómicas y químicas, oscurecimiento, aumento de densidad y mayor resistencia frente a los ataques de los insectos.

– Albura:

Se encuentra en la parte externa del tronco, bajo la corteza. Constituida por tejidos jóvenes en período de crecimiento (zona viva). Contiene mucha savia y materias orgánicas. De coloración más clara que el duramen, más porosa y más ligera, con mayor riesgo frente a los ataques bióticos.

– Cambium:

Capa existente entre la albura y la corteza, constituye la base del crecimiento en especial del tronco, generando dos tipos de células:

Hacia el interior: Madera (albura)

Hacia el exterior: Liber

– Liber:

Parte interna de la corteza. Es filamentosa y poco resistente. Madera embrionaria viva.

– Corteza:

Capa exterior del tronco. Tejido impermeable que recubre el liber y protege al árbol.

– Radios leñosos:

Bandas o láminas delgadas de un tejido, cuyas células se desarrollan en dirección radial, o sea, perpendicular a los anillos de crecimiento. Ejercen una función de trabazón. Almacenan y difunden las materias nutritivas que aporta la savia descendente (igual que las células de parénquima). Contribuyen a que la deformación de la madera sea menor en dirección radial que en la tangencial.

Son más blandos que el resto de la masa leñosa. Por ello constituyen las zonas de rotura a compresión, cuando se ejerce el esfuerzo paralelamente a las fibras.

– Anillos anuales:

. Cada anillo corresponde al crecimiento anual, consta de dos zonas claramente diferenciadas:

– Una formada en primavera: Predominan en ella los vasos gruesos que conducen la savia bruta hasta las hojas (tejido vascular). Color claro, pared delgada y fibras huecas y blandas.

– Otro formado en verano: Tienen los vasos más pequeños y apretados. Sus fibras forman el tejido de sostén. Color oscuro denso y fibras de paredes gruesas.

En zonas tropicales (o en las zonas donde no se producen, prácticamente, variaciones climáticas con los cambios de estación, y la actividad vital del árbol es continua), no se aprecian diferencias entre las distintas zonas de anillos de crecimiento anual.

Su suma, son los años de vida del árbol. Debido a la forma tronco-cónica del árbol, los anillos anuales se deben contar en el tronco, en zona más próxima a las raíces.

ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE LA MADERA

Como se ha visto la madera no es un material homogéneo, está formado por diversos tipos de células especializadas que forman tejidos.

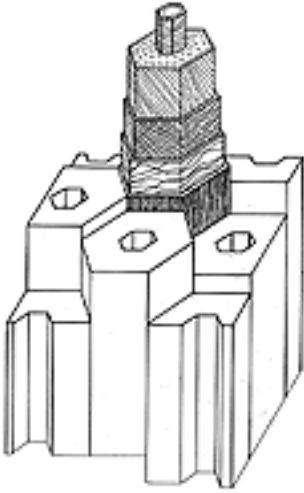
Estos tejidos sirven para realizar las funciones fundamentales del árbol; conducir la savia, transformar y almacenar los alimentos y formar la estructura resistente o portante del árbol.

La heterogeneidad de la madera será, en parte, la causa de sus propiedades.

Se puede considerar la madera como un conjunto de células alargadas en forma de tubos, paralelos al eje del árbol, muy variables, tanto en longitud y forma, como en el espesor de sus paredes y en las dimensiones interiores.

Estas células están unidas entre sí por una sustancia llamada materia intercelular o laminilla media, y a su vez trabadas por otro tipo de células, colocadas perpendicularmente a las anteriores y en el sentido radial del tronco, formando los llamados radios leñosos.

La variedad de tipos de células y la forma de unirse, definen la infinidad de especies diferentes de madera que existen.

	Las paredes de los tubos están formadas por una serie de capas compuestas por microfibrillas de celulosa enrolladas helicoidalmente alrededor del eje con inclinación diferente en cada capa, y todas ellas, embebidas en un material amorfo. Prácticamente insoluble, que es la lignina. Es muy habitual asimilar estas células a un pilar hueco de hormigón armado, en la que la lignina, hace las veces de hormigón y las microfibrillas de celulosa las del acero.
---	--

Todo ello hace de la madera un material resistente y ligero, que puede competir favorablemente con otros materiales utilizados en la construcción, en cuanto a la relación resistencia–peso específico.

En el sentido axial distinguimos:

a)– Fibras alargadas, de pared gruesa formadas por células que se han prolongado afinándose en las puntas, constituyendo los tejidos de sostén, es decir, la estructura y la parte resistente de la madera (tejido fibroso).

En las coníferas estas células son las mismas que sirven para permitir la circulación de los fluidos.

b)– Vasos y poros de pared delgada (tejido vascular), formando los órganos de conducción o vehículo de la savia ascendente o bruta; los poros de la madera aparecen en sección transversal (pequeños agujeros), y en sección longitudinal (pequeñas estrías).

c)– Células de parénquima, son cortas y poco abundantes. Difunden y almacenan en todo el espesor del árbol la savia descendente o elaborada.

El parénquima constituye una especie de tejido conjuntivo (tegumental o de defensa), que vincula entre sí a los otros tejidos y que está formado por células poliédricas de paredes celulósicas delgadas y esponjosas.

Esta especialización entre estructura y función sólo existe en los árboles frondosos; en los resinosos, todas las fibras son de carácter especial, llamadas traqueidas, de paredes más o menos espesas según la época del año en que se han formado.

En el sentido radial hay menos células, y estas se disponen por bandas o láminas delgadas (radios medulares), intercaladas entre las fibras y los vasos, a los que cruzan en ángulo recto, dirigiéndose desde la corteza hasta el centro del árbol.

En esas bandas de células llamadas radios celulares o mallas, almacenan y difunden, como las células del parénquima, las materias nutritivas que arrastra la savia descendente.

En ciertas especies se encuentran en ambos sentidos, axial y radial, unos canales secretores de resina.

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

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS CONSTITUYENTES DE LA PARED CELULAR

El análisis de los distintos componentes será el siguiente:

CELULOSA

La celulosa es el principal componente estructural de la madera. Sería el equivalente a las armaduras en el hormigón armado.

La celulosa es un polímero lineal, cuya fórmula es $(C_6 H_{10} O_5)_n$ siendo el valor de n varios miles de unidades.

HEMICELULOSA

Se considera a la hemicelulosa como el agente cementante que mantiene aglomeradas las microfibrillas y evita fisuras cuando las fibras de la madera son sometidas a esfuerzos de torsión, flexión o compresión que actúan sobre ellas.

La hemicelulosa, también un polímero, cuyas fórmulas $(C_5 H_8 O_4)_n$ y $(C_6 H_8 O_4)_n$ siendo el valor de n de centenares de unidades. Su grado de polimerización es menor que el de la celulosa.

LIGNINA.

Podríamos decir que la lignina actúa como impermeabilizante de las cadenas de celulosa (muy hidrófilas) y como aglomerante de las *estructuras fibrilares de las células*.

3. PROPIEDADES FISICAS

ANISOTROPÍA

Dado que la madera es un material formado por fibras orientadas en una misma dirección, es un material anisótropo, es decir, que ciertas propiedades físicas y mecánicas no son las mismas en todas las direcciones que pasan por un punto determinado, si no que varían en función de la dirección en la que se aplique el esfuerzo.

Se consideran tres direcciones principales con características propias:

– Dirección axial: Paralela a las fibras y por tanto al eje del árbol. En esta dirección es donde la madera presenta mejores propiedades.

– Dirección radial: Perpendicular al axial, corta el eje del árbol en el plano transversal y es normal a los anillos de crecimiento aparecidos en la sección recta.

– Dirección tangencial: Localizada también en la sección transversal pero tangente a los anillos de crecimiento o también, normal a la dirección radial.

HUMEDAD DE LA MADERA. RELACIONES AGUA – MADERA

Es la propiedad más importante, pues influye sobre todas las demás, propiedades físicas, mecánicas, mayor o menor aptitud para su elaboración, estabilidad dimensional y resistencia al ataque de seres vivos.

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

El agua en la madera, puede estar presente de tres formas diferentes:

- Agua de constitución o agua combinada: Es aquella que entra a formar parte de los compuestos químicos que constituyen la madera. Forma parte integrante de la materia leñosa (de su propia estructura), y no se puede eliminar si no es destruyendo al propio material (por ejemplo, quemándola).
- Agua de impregnación o de saturación: Es la que impregna la pared de las células rellenoando los espacios submicroscópicos y microscópicos de la misma. Se introduce dentro de la pared celular, siendo la causa de la contracción de la madera cuando la pierde (desorción) y de su expansión o hinchamiento cuando la recupera (sorción: retención de agua). Se puede eliminar por calentamiento hasta 100 – 110° C.
- Agua libre: Es la que llena el lumen de las células o tubos (vasos, traqueidas, etc.) Es absorbida por capilaridad.

El agua libre, una vez perdida por la madera, ya no puede ser recuperada a partir de la humedad atmosférica. Para recuperarla, habrá de ser por inmersión directa en el agua. El agua libre no tiene mas repercusión que la ocupación física de los huecos, y por consiguiente no influye en la hinchazón o merma de la madera ni en las propiedades mecánicas.

Las dos últimas, impregnación y libre son las que constituyen la humedad de la madera. La humedad es la cantidad de agua que contiene la madera expresada en % de su peso en estado anhidro o húmedo.

CONTENIDO DE HUMEDAD.

Definimos como contenido de humedad o simplemente humedad de la madera **h** a la relación del peso del agua contenida en la madera, al peso de la madera anhidra y se calcula de la siguiente forma: