

LA MADERA.

Es un material ortótropo, con distinta elasticidad según la dirección de deformación, encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen año tras año, formando anillos concéntricos correspondientes al diferente crecimiento de la biomasa según las estaciones, y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Las plantas que no producen madera son conocidas como herbáceas.

Una vez cortada y seca, la madera se utiliza para distintas finalidades y distintas áreas:

- Fabricación de pulpa o pasta, materia prima para hacer papel.
- Alimentar el fuego, en este caso se denomina leña y es una de las formas más simples de uso de la biomasa.
- Menaje: vajillas, cuberterías.
- Ingeniería, construcción y carpintería.
- Medicina.
- Medios de transporte: barcos, carruajes.

Estructura de la madera



Sección de una rama de tejo con 27 anillos de crecimiento anuales, en color pálido la albura, de color más oscuro el duramen y el centro casi negro de la médula. Las líneas oscuras radiales son pequeños nudos.

Analizando un tronco desde el exterior hasta el centro se encuentran distintas estructuras con distinta función y características.

- **Corteza externa:** es la capa más externa del árbol. Está formada por células muertas del mismo árbol. Esta capa sirve de protección contra los agentes atmosféricos.
- **Cámbium:** es la capa que sigue a la corteza y da origen a otras dos capas: la capa interior o capa de xilema, que forma la madera, y una capa exterior o capa de floema, que forma parte de la corteza.

- **Albura:** es la madera de más reciente formación y por ella viajan la mayoría de los compuestos de la savia. Las células transportan la savia, que es una sustancia azucarada con la que algunos insectos se pueden alimentar. Es una capa más blanca porque por ahí viaja más savia que por el resto del tronco.
- **Duramen** (o corazón): es la madera dura y consistente. Está formada por células fisiológicamente inactivas y se encuentra en el centro del árbol. Es más oscura que la albura y la savia ya no fluye por ella.
- **Médula vegetal:** es la zona central del tronco, que posee escasa resistencia, por lo que, generalmente no se utiliza.

Características

Las características de la madera varían según la especie del árbol origen e incluso dentro de la misma especie por las condiciones del lugar de crecimiento. Aun así hay algunas características cualitativas comunes a casi todas las maderas.

La madera es un material anisótropo en muchas de sus características, por ejemplo en su resistencia o elasticidad.¹

Si al eje coincidente con la longitud del tronco le nombramos como axial y al eje que pasa por el centro del tronco (médula vegetal) y sale perpendicular a la corteza le llamamos transversal, podemos decir que la resistencia de la madera en el eje axial es de 20 a 200 veces mayor que en el eje transversal.¹

La madera es un material ortótropo ya que su elasticidad depende de la dirección de deformación.

Tiene un comportamiento higroscópico, pudiendo absorber humedad tanto del ambiente como en caso de inmersión en agua, si bien de forma y en cantidades distintas.²

La polaridad de la madera le hace afín con otros productos polares como agua, barnices, pegamentos con base de agua, etc.³

La densidad de la madera varía notablemente entre especies. Una vez secas, hay especies que apenas alcanzan los 300 kg/m³ (Cecropia adenopus) mientras que otras pueden llegar a superar los 1200 kg/m³ (Schinopsis balansae).⁴ No obstante la densidad habitual de la mayoría de especies se encuentra entre los 500 y los 800 kg/m³ (peso seco). La densidad también puede variar significativamente en una misma especie, o incluso en un mismo árbol, en función de la altura del fuste y de la distancia al centro del tronco.

Composición de la madera

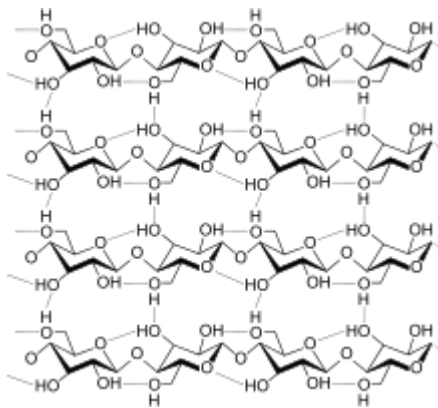
En composición media se constituye de un 50 % de carbono (C), un 42 % de oxígeno (O), un 6 % de hidrógeno (H) y el 2 % restante de nitrógeno (N) y otros elementos.

Los componentes principales de la madera son la celulosa, un polisacárido que constituye alrededor de la mitad del material total, la lignina (aproximadamente un 25 %), que es un polímero resultante de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos y que proporciona dureza y protección, y la hemicelulosa (alrededor de un 25 %) cuya función es actuar como unión de las fibras. Existen otros componentes minoritarios como resinas, ceras, grasas y otras sustancias.

Celulosa

La celulosa es un polisacárido estructural formado por glucosa que forma parte de la pared de las células vegetales. Su fórmula empírica es $(C_6H_{10}O_5)_n$, con el valor mínimo de $n = 200$.

Sus funciones son las de servir de esqueleto a la planta y la de darle una protección vegetal. Es muy resistente a los agentes químicos, insoluble en casi todos los disolventes y además inalterable al aire seco, su temperatura de astillado a presión de un bar es aproximadamente de unos 232,2 °C.



Enlaces de hidrógeno entre cadenas contiguas de celulosa.

La celulosa es un polisacárido estructural en las plantas ya que forma parte de los tejidos de sostén. La pared de una célula vegetal joven contiene aproximadamente un 40 % de celulosa; la madera un 50 %, mientras que el ejemplo más puro de celulosa es el algodón con un porcentaje mayor al 90 %.

A pesar de que está formada por glucosas, la mayoría de los animales no pueden utilizar la celulosa como fuente de energía, ya que no cuentan con la enzima necesaria para romper los enlaces β -1,4-glucosídicos; sin embargo, es importante incluirla en la dieta humana (fibra dietética) porque al mezclarse con las heces, facilita la digestión y defecación, así como previene los malos gases.

En el intestino de los rumiantes, de otros herbívoros y de termitas existen microorganismos, muchos metanógenos, que poseen una enzima llamada celulasa que rompe el enlace β -1,4-

glucosídico y al hidrolizarse la molécula de celulosa quedan disponibles las glucosas como fuente de energía.

Hay microorganismos (bacterias y hongos) que viven libres y también son capaces de hidrolizar la celulosa. Tienen una gran importancia ecológica, pues reciclan materiales celulósicos como papel, cartón y madera. De entre ellos, es de destacar el hongo *Trichoderma reesei*, capaz de producir cuatro tipos de celulasas: las 1,4- β -D-glucancelobiohirolasas CBH I y CBH II y las endo-1,4- β -D-glucanasa EG I y EG II. Mediante técnicas biotecnológicas se producen esas enzimas que pueden usarse en el reciclado de papel, disminuyendo el coste económico y la contaminación.

Dureza de la madera

Según su dureza, la madera se clasifica en:

- **Maderas duras:** son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, por lo que son más densas y soportan mejor las inclemencias del tiempo que las blandas. Estas maderas proceden, por lo general, de árboles de hoja caduca, pero también pueden ser de hoja perenne, que tardan décadas, e incluso siglos, en alcanzar el grado de madurez suficiente para ser cortadas y poder ser empleadas en la elaboración de muebles o vigas de los caseríos o viviendas unifamiliares. Son mucho más caras que las blandas, debido a que su lento crecimiento provoca su escasez, pero son mucho más atractivas para construir muebles con ellas. También son muy empleadas para realizar tallas de madera o todo producto en el cual las maderas macizas de calidad son necesarias. Árboles que se catalogan dentro de este tipo son: haya, castaño, roble, etc.
- **Maderas blandas:** engloba a la madera de los árboles pertenecientes a la orden de las coníferas y otros de crecimiento rápido. La gran ventaja que tienen respecto a las maderas duras, es su ligereza y su precio mucho menor. No tiene una vida tan larga como las duras. La manipulación de las maderas blandas es mucho más sencilla, aunque tiene la desventaja de producir mayor cantidad de astillas. La carencia de vetado de esta madera le resta atractivo, por lo que casi siempre es necesario pintarla, barnizarla o teñirla. Algunas maderas blandas de amplio uso son: pino, balsa, olmo, etc.

Producción y transformación de la madera

Troncos para madera apilados, en las islas de Java.

- **Apeo, corte o tala:** leñadores con hachas o sierras eléctricas o de gasolina cortan el árbol, le quitan las ramas, raíces y corteza para que empiece a secarse. Se suele recomendar que los árboles se corten en invierno u otoño. Es obligatorio replantar más árboles que los que se cortaron.
- **Transporte:** es la segunda fase y es en la que la madera es transportada desde su lugar de corte al aserradero y en esta fase influyen muchas cosas como la orografía y la

infraestructura que haya. Normalmente se hace tirando con animales o maquinaria pero hay casos en que hay un río cerca y se aprovecha para que los lleve, si hay buena corriente de agua se sueltan los troncos con cuidado de que no se atasquen pero si hay poca corriente se atan haciendo balsas que se guían hasta donde haga falta.

- **Aserrado:** en esta fase la madera es llevada a unos aserraderos. El aserradero divide en trozos el tronco, según el uso que se le vaya a dar después. Suelen usar diferentes tipos de sierra como por ejemplo, la sierra alternativa, de cinta, circular o con rodillos. Algunos aserraderos combinan varias de estas técnicas para mejorar la producción.
- **Secado:** este es el proceso más importante para que la madera esté en buen estado.

Agentes nocivos para la madera

El deterioro de la madera es un proceso que altera las características de ésta. En amplios términos, puede ser atribuida a dos causas primarias:

- agentes bióticos (que viven)
- agentes físicos y químicos (que no viven).

En la mayoría de los casos, el deterioro de la madera es una serie continua, donde las acciones de degradación son uno o más agentes que alteran las características de la madera al grado requerido para que otros agentes ataquen. La familiaridad del inspector con los agentes de deterioro es una de las ayudas más importantes para la inspección eficaz. Con este conocimiento, la inspección se puede acercar con una visión cuidadosa de los procesos implicados en el daño y los factores que favorecen o inhiben su desarrollo.

Agentes bióticos del deterioro

La madera es notablemente resistente al daño biológico, pero existe un número de organismos que tienen la capacidad de utilizar la madera de una manera que altera sus características. Los organismos que atacan la madera incluyen: bacterias, hongos, insectos y perforadores marinos. Algunos de estos organismos utilizan la madera como fuente de alimento, mientras que otros la utilizan para el abrigo.

Requerimientos bióticos

Los agentes bióticos requieren ciertas condiciones para la supervivencia. Estos requisitos incluyen humedad, oxígeno disponible, temperaturas convenientes, y una fuente adecuada de alimento, que generalmente es la madera. Aunque el grado de dependencia de estos organismos varían entre diferentes requerimientos, cada uno de estos deben estar presente para que ocurra el deterioro. Cuando cualquier organismo se extrae de la madera, ésta se asegura de los ataques bióticos.

Humedad

Aunque muchos usuarios de la madera hablan de la pudrición seca, el término es engañoso puesto que la madera debe contener agua para que ocurran los ataques biológicos. El contenido de agua en la madera es un factor determinante e importante de los tipos de organismos presentes que degradan la madera.

Generalmente, la madera bajo el punto de saturación de la fibra no se daña, aunque algunos hongos e insectos especializados pueden atacar la madera en los niveles de humedad mucho más bajos.

La humedad en la madera responde a varios propósitos en el proceso de la pudrición. Hongos e insectos requieren de muchos procesos metabólicos. Los hongos, también proporcionan un medio de difusión para que las enzimas degraden la estructura de la madera. Cuando el agua entra en la madera, la microestructura se hincha hasta alcanzar el punto de saturación de la fibra (sobre un 30% del contenido de humedad en la madera). En este punto, el agua libre en las cavidades de las células de la madera, el hongo puede comenzar a degradarla. La hinchazón asociada con el agua se cree que hace a la celulosa más accesible a las enzimas de los hongos, aumentando la velocidad de pudrición de la madera. Además, la repetida adherencia del agua, la sequedad o la continua exposición con la humedad pueden dar a lugar a una lixiviación de los extractos tóxicos y de algunos preservantes de la madera, reduciendo la resistencia al daño.

Oxígeno

Con la excepción de las bacterias anaeróbicas, todos los organismos requieren del oxígeno para su respiración. Mientras se priven de oxígeno puede parecerse una estrategia lógica para el control de la decadencia de la madera, puesto que la mayoría de los hongos pueden sobrevivir en niveles muy bajos de oxígeno. Una excepción está en sumergir totalmente la madera en agua. En ambientes marinos, se puede envolver en plástico o en hormigón de modo que los perforadores marinos no puedan intercambiar los nutrientes ni el con el agua de mar circundante. En muchos casos, la madera no tratada decaerá en agua dulce, pero permanece la implicación submarina donde está ausente el oxígeno.

Temperatura

La mayoría de los organismos prospera en un rango óptimo de temperatura de 21 °C a 30 °C; sin embargo, son capaces de sobrevivir sobre una considerable gama de temperatura. En temperaturas bajo 0 °C el metabolismo de la mayoría de los organismos se retarda. Mientras que la temperatura suba por encima de cero grados, ellos comienzan nuevamente a atacar la madera, pero la actividad se retarda rápidamente mientras que la temperatura se acerca a 32 °C.

En temperaturas sobre 32 °C, el crecimiento de la mayoría de los organismos declina, aunque un cierto número de especies continúe extremadamente tolerante a prosperar hasta 40 °C. La mayoría de los organismos mueren a la exposición prolongada sobre este nivel, y generalmente se acepta que en 75 minutos de exposición a la temperatura de 65,6 °C todos los hongos que están establecidos en la madera decaen.

Alimento

La madera suele ser el alimento de los agentes bióticos que la atacan por lo que no se puede privar de él para combatirlos.

Bacterias

Las bacterias son pequeños organismos unicelulares que están entre los más comunes de la Tierra. Se ha demostrado recientemente que tienen relación con la infección de la madera no tratada expuesta en ambientes muy húmedos, causando aumento de la permeabilidad y ablandamiento en la superficie de la madera.

La desintegración bacteriana es normalmente un proceso extremadamente lento, pero puede llegar a ser serio en situaciones donde la madera no tratada está sumergida por largos períodos. Muchas bacterias son, también, capaces de degradar los preservantes pudiendo modificar la madera tratada de una manera tal que ésta llegue a ser más susceptible químicamente a organismos dañinos. El decaimiento bacteriano no parece ser un peligro significativo en la madera tratada a presión, usada típicamente para la construcción.

Hongos

Los hongos son organismos que utilizan la madera como fuente de alimento. Crecen en la madera como una red microscópica a través de los agujeros o directamente penetrando la pared celular de la madera. Las hifas producen las enzimas que degradan la celulosa, hemicelulosa, o lignina que absorbe el material degradado para terminar el proceso de desintegración.

Una vez que el hongo obtiene una suficiente cantidad de energía de la madera, produce un cuerpo fructífero sexual o asexual para distribuir las esporas reproductivas que pueden invadir otras maderas. Los cuerpos fructíferos varían de las esporas unicelulares producidas al final de las hifas para elaborar cuerpos fructíferos perennes que producen millones de esporas. Estas esporas son separadas extensamente por el viento, los insectos, y otros medios que pueden ser encontrados en la mayoría de las superficies expuestas. Consecuentemente, todas las estructuras de madera están conforme al ataque de los hongos cuando la humedad y otros requisitos adecuados al crecimiento de los hongos estén presentes.

Moho y hongo de la mancha

El moho y el hongo de la mancha azul o mancha de albura (*blue stain*) colonizan muy rápido la madera una vez que ésta se corta y continúa su crecimiento mientras el contenido de humedad sigue siendo óptimo (sobre aproximadamente 25 por ciento para las maderas blandas).⁶ El efecto primario de estos hongos es manchar o decolorar la madera. Se consideran hongos inofensivos y son de consecuencia práctica sobre todo donde la madera se utiliza por sus calidades estéticas. El moho infecta la superficie de la madera, causando los defectos que se pueden quitar generalmente con [cepillo](#) cepillando, aplicando cloro diluido en agua, agua oxigenada o woodbrite solamente la preocupación sería la decoloración producida

en la madera por la aplicación de los productos anteriormente mencionados. El moho y el hongo de la mancha utilizan el contenido de la célula de la madera para el alimento y no degrada la pared celular por lo cual la resistencia estructural de la misma no se ve afectada.

Hongo de la pudrición

La pudrición en la madera es causada normalmente por el hongo de la pudrición. Este hongo se agrupa en tres amplias clases basadas en la forma del ataque y de la apariencia del material podrido. Los tres tipos de hongo de la pudrición son: el hongo de la pudrición parda, el hongo de la pudrición blanca, y el hongo de la pudrición suave.

Pudrición parda, como el nombre lo indica, da a la madera un color parduzco. En etapas avanzadas, la madera descompuesta es frágil y tiene numerosas líneas cruzadas, similar a un aspecto de quemado. Las pudriciones pardas atacan sobre todo la celulosa y las fracciones de la hemicelulosa de la pared celular de la madera y modifican la lignina residual, causando pérdidas del peso de casi el 70 por ciento.

De los tres tipos del hongo de la pudrición. las pudriciones pardas están entre las más serias debido a su patrón de ataque. Las enzimas producidas por estos hongos se desplazan o propagan lejos del punto donde las hifas del hongo están creciendo.

Pudrición blanca, producida por el hongo de la pudrición, se asemeja al aspecto normal de la madera, pero puede ser tan blanquecino o ligero en color con rayas oscuras.

Hongo de la pudrición suave, es un grupo más recientemente reconocido que restringe su ataque a la superficie externa de la madera. Atacan típicamente a la madera muy húmeda, producida por las condiciones cambiantes de humedad, el ataque también puede ocurrir con poco oxígeno o en ambientes que inhiben el hongo de la pudrición.

Insectos

Los insectos están entre los organismos más comunes en la Tierra, y muchas de sus especies poseen la capacidad de utilizar la madera para abrigo o alimento. De los 26 órdenes de insectos, 6 causan daño a la madera. Termitas (Isoptera), escarabajos (Coleoptera), abejas, avispas y las hormigas (himenópteros) son las causas primarias de la mayoría de la destrucción en la madera.

El ataque del insecto es evidente, generalmente, por aparición de túneles o cavidades en la madera, que contienen a menudo polvo o aserrín (heces del insecto) de madera. La presencia de polvo al pie de la madera o aserrín sobre la superficie de la madera son muestras de un ataque.

Daños mecánicos

Los daños mecánicos son probablemente el agente físico más significativo del deterioro del puente de madera. Es causado por un número de factores y, considerablemente varios en sus efectos sobre la estructura. Los daños mecánicos más comunes es la abrasión debida a los vehículos, que produce superficies gastadas o estropeadas y reduce la sección de la madera. Los ejemplos obvios de este daño ocurren en el área de la cubierta del puente donde la

abrasión produce la degradación de la superficie. Un daño mecánico más severo puede ser causado por la exposición a largo plazo a las sobrecargas del vehículo, a las instalaciones de fundación, a cataclismos o a témpanos de hielo en la corriente de un canal.

Luz ultravioleta

Es el deterioro más visible en la madera, resulta de la acción ultravioleta del sol que químicamente degrada la lignina cerca de la superficie de la madera. La degradación ultravioleta típicamente hace a las maderas claras oscurecer y a las maderas oscuras tornarse más oscuras, pero estos daños penetran solamente a una pequeña profundidad debajo de la superficie.

La madera dañada es levemente más débil, pero la baja profundidad del daño hace que influya poco sobre la resistencia a menos que se retire el trozo de madera donde está dañada reduciendo eventualmente las dimensiones de la pieza.

Corrosión

La degradación de la madera por los subproductos debidos a la corrosión del metal frecuentemente se pasa por alto como una causa de deterioro de una estructura. Este tipo de degradación puede ser revelador en algunas situaciones, particularmente en ambientes marinos donde las celdas galvánicas por los metales y el agua salada que se forman aceleran la corrosión. La degradación comienza cuando la humedad en la madera reacciona con el hierro en un mecanismo de unión, lanzando iones férricos alternadamente, deteriorando la pared celular de la madera.

Mientras que progresa la corrosión el mecanismo de unión se convierte en una pila electrolítica con un extremo ácido (ánodo) y un extremo alcalino (cátodo). Aunque las condiciones del cátodo no son severas, la acidez del ánodo causa la hidrólisis de la celulosa y reduce seriamente la resistencia de la madera en la zona afectada. La madera atacada de esta manera es a menudo oscura y se presenta suave. En muchas especies de maderas, la decoloración también ocurre donde el metal entra en contacto con el corazón de ésta.

Además del deterioro causado por la corrosión, las altas condiciones de humedad asociadas a este daño pueden favorecer inicialmente el desarrollo del hongo de la pudrición. Como progresa la corrosión, la toxicidad de los iones del metal y el pH bajo en la madera, elimina eventualmente los hongos de la zona afectada, aunque la pudrición puede continuar a una cierta distancia del mecanismo de unión. El efecto de la corrosión del metal en la madera puede ser limitado usando uniones galvanizadas o de un material que no sea metálico.

Degradación química

En casos aislados, la presencia de ácidos o bases fuertes puede causar daño substancial a la madera. Las bases fuertes atacan la hemicelulosa y la lignina, dejando la madera de un color blanco descolorado. Los ácidos fuertes atacan la celulosa y la hemicelulosa, causando pérdidas de peso y de resistencia. La madera dañada por el ácido es de color oscuro y su aspecto es

similar a la de la madera dañada por el fuego. Los fuertes productos químicos no entrarán en contacto normalmente con, por ejemplo, un puente de madera a menos que ocurran derrames accidentales.