

UNIDAD TEMÁTICA N°8

“MADERAS”

1. EL ÁRBOL. ESPECIES MADERABLES

Definición de la madera

De acuerdo a las normas IRAM se define a la madera como el material de estructura compleja y carácter anisótropo que forma el tejido leñoso del árbol abatido, es decir fisiológicamente inactivo.

Se considera madera a los fustes, raíces y ramas de los árboles desprovistos de su corteza.

Clasificación de las especies maderables

Las especies maderables se pueden clasificar en:

- Coníferas
- Dicotiledóneas

Coníferas o resinosas

A pesar de contar con muy pocas especies, aproximadamente 500 en todo el mundo y 11 en nuestro país, constituye el grupo de mayor importancia y el de mayor utilización por las industrias del mundo; aproximadamente las 3/4 partes del madera utilizada proviene de las coníferas.

Muchas especies contienen taninos y resinas que las hacen aprovechables por la industria química, pero las especies argentinas se caracterizan por contar con escasos canales resiníferos.

Las coníferas están esencialmente constituídas por “traqueidas” y son de hojas angostas (de 1,5 a 6 mm de ancho) y perennes. Tienen generalmente una marcada rectitud del fuste y muy buena trabajabilidad, condiciones que las hacen aptas para la fabricación de estructuras complejas, como aviones e instrumentos musicales, así como también para aplicaciones sencillas, como la fabricación de cajones.

Habitan generalmente en zonas de clima templado a templado-frío y húmedas.

Las especies de coníferas son, en orden de importancia:

- 1) Pino Paraná (nombre indígena “Curiy”)
- 2) Pehuen
- 3) Ciprés
- 4) Alerce
- 5) Pino del cerro
- 6) Ten (también llamado “Len”o “Ciprés de las guaitecas”)
- 7) Maniú macho
- 8) Maniú o Maniú hembra
- 9) Piñeiriño
- 10) Lleuque
- 11) Ciprés enano

Las cinco primeras son las especies mas abundantes y de mayor uso en nuestro país. En el apéndice se dan algunas características importantes de estas especies.

Dicotiledóneas, frondosas o latifoliadas

Existen aproximadamente 120.000 especies de esta clase en todo el mundo; en nuestro país hay más de 1.500 especies, aunque solamente alrededor de 500 tienen aplicaciones industriales.

Las dicotiledóneas están esencialmente constituídas por vasos, fibras y tejido parenquimático longitudinal y son de hojas anchas “latifoliadas” y caducas, es decir que se caen en otoño.

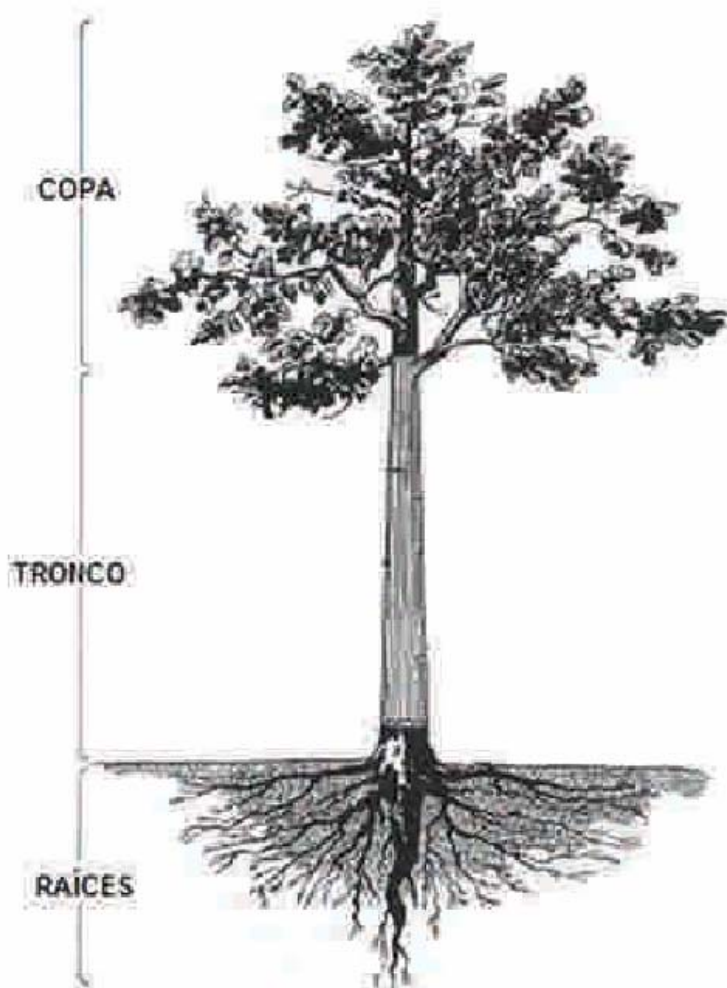
Habitan generalmente en zonas de clima frío o templado-frío, aunque existen algunas excepciones.

Algunas de las especies de dicotiledóneas argentinas mas comunes son:

- 1) Sauce criollo (nombre indígena “Ibirá - pucú”)

- 2) Cebil colorado o curupay
- 3) Quebracho colorado (nombre indígena “Ibirá -yübí” que significa: árbol duro)
- 4) Quebracho blanco
- 5) Nogal criollo
- 6) Raulí (también llamado cedro del sur)
- 7) Algarrobo blanco (nombre indígena “Yana-tacú”)
- 8) Peteribí (en la provincia de Salta se lo llama “afata”)
- 9) Guatambú o guatambú blanco
- 10) Urunday
- 11) Ñandubay (también llamado “Espinillo colorado”)
- 12) Caldén
- 13) Palo santo (nombre indígena “Ibiocaí”)
- 14) Cedro salteño (también se lo llama “cedro de Orán”)
- 15) Cedro misionero (también se lo llama “cedro colorado”)
- 16) Viraró (nombre indígena “Ibiraró” que significa árbol amargo)
- 17) Seibo (nombre indígena “Zuinaandí” o “Ibirá-iputezú”)
- 18) Incienso (nombre indígena “Ibirá- payó” que significa: árbol hechicero)
- 19) Arrayán (nombre indígena “Cuthú”)
- 20) Laurel de la falda o simplemente laurel
- 21) Timbó o Timbó colorado
- 22) Algarrobo negro (nombre indígena “Yurá-tacú”)
- 23) Lenga
- 24) Ibirá-né (nombre indígena que significa: árbol hediondo)
- 25) Ibirá-pitá (también llamado “virapitá”)

Además de las especies autóctonas, existen en el país masas arbóreas creadas por la acción del hombre. Entre ellas podemos citar por su importancia, las desarrolladas en el Delta del Paraná (principalmente Alamos, Eucaliptos y algunas especies de pinos) y en la provincia de Buenos Aires (Acasia blanca, Eucalipto y el roble europeo).



Descripción del árbol

El árbol está constituido esencialmente por las raíces, el fuste o tronco y la copa donde se encuentran las ramas y las hojas.

Una vez cortado el árbol, es decir transformado en madera, se denomina rollizo primario al fuste y rollizo secundario a los obtenidos de las ramas mas gruesas. Si efectuamos un corte según una sección normal al eje del fuste, podemos diferenciar las siguientes zonas, desde el exterior al interior del mismo (Fig. N°1):

a) La corteza exterior: se trata de un material blando y esponjoso fácilmente putrecible, que tiene por misión en el árbol, el de su defensa de los ataques exteriores (climáticos o de animales).

b) La corteza interior o liber: que recibe las sustancias nutritivas, las almacena y forma la sustancia orgánica de crecimiento; muy putrecible.

c) El cambium: es una zona submicroscópica donde se efectúa el cambio de las sustancias químicas y se produce la generación de las células y por consiguiente el crecimiento del árbol.

d) A continuación se encuentra el tejido leñoso que se divide en dos zonas: la albura o sámbago (d1) que constituye el tejido fisiológicamente activo: por sus conductos circulan las sustancias que alimentan al árbol desde las raíces hasta la copa, y el duramen, corazón o cerne (d2) que está constituido por conductos taponados y que constituye la zona resistente del árbol, cumpliendo las funciones de columna vertebral del mismo.

e) Por último, prácticamente en coincidencia con el eje del fuste, se encuentra la médula constituido por tejido blando y esponjoso que no cumple ninguna función en el árbol vivo y que tampoco es aprovechado una vez cortado el árbol.

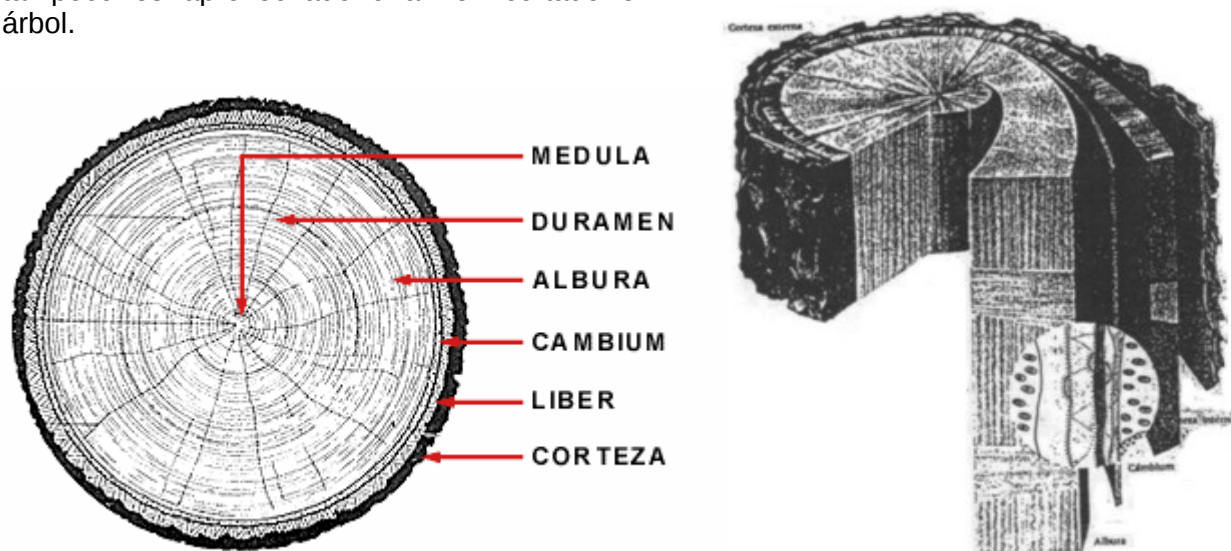
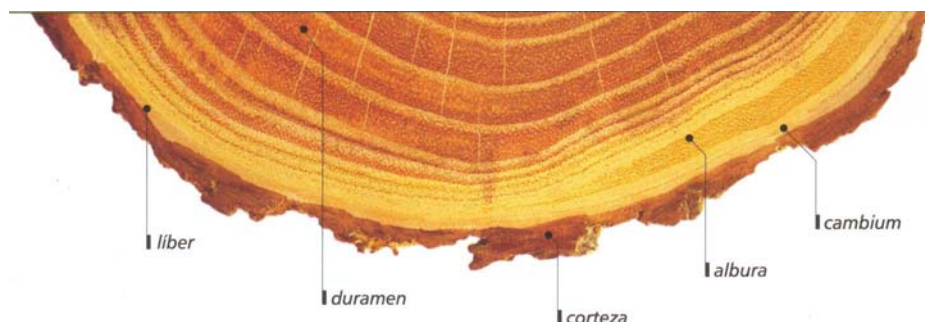


Fig. N° 1



Condiciones ecológicas

Las condiciones ecológicas son el conjunto de factores del medio (clima y suelo) que afectan en mayor o menor grado las características del tejido leñoso. Estas son:

a) La humedad: es indispensable que exista un mínimo de humedad en la zona, para la existencia de masas arbóreas. En general es preferible que en la zona se produzcan lluvias finas y

continuas, que grandes chaparrones aislados. En nuestro país, salvo en algunas zonas como en la patagonia y en el parque chaqueño en la zona occidental, cuyo centro es la provincia de Santiago del Estero, las condiciones de humedad son favorables en general para el desarrollo de los árboles.

b) La luz y el calor también son indispensables para las formaciones boscosas y en nuestro país, salvo en las zonas de alta montaña, en general se sobrepasa la mínima temperatura para que pueda existir el bosque. En general, aunque existen excepciones, las regiones cálidas originan maderas oscuras y las regiones frías maderas más claras.

c) El viento por el contrario, cuando es muy intenso, constituye el factor determinante de la falta de árboles; como por ejemplo en la patagonia.

El viento impide el desarrollo y el crecimiento de los árboles.

d) El suelo también tiene influencia en las características que presentan las especies. En general los suelos arenosos, con una rápida evaporación e infiltración del agua de lluvia, limitan el desarrollo de los árboles por falta de humedad, y por otra parte las raíces se desarrollan muy alargadas y ocupando la superficie del terreno, de modo de aprovechar al máximo el agua de lluvia antes de que se infiltre a los estratos inferiores. Por el contrario, los suelos arcillosos que retienen más tiempo el agua, favorecen la existencia de masas arbóreas y las raíces son más cortas y profundas.

e) Otras condiciones que no dependen del clima ni del suelo, pero que también afectan las características de las especies, son el manejo y ordenación de las masas boscosas. La acción del hombre es sumamente importante en este aspecto: el efectuar las “cortas” en el momento oportuno y en forma racional, impidiendo que se corten árboles demasiado jóvenes o excesivamente maduros, algunos ya con enfermedades por decrepitud y que constituyen focos de infección para el resto del bosque; los incendios, generalmente provocados por el hombre para favorecer la ganadería o por turistas desaprensivos; el permitir que la ganadería, en particular los ovinos y caprinos, se internen en el bosque, arrasando y destruyendo los árboles y, finalmente realizar el estudio de las enfermedades de las distintas especies forestales a fin de disminuirlas, son aspectos importantísimos para nuestra riqueza forestal.

2. XILOLOGIA O ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS DE LA MADERA

La xilología es la ciencia que estudia los caracteres del material leñoso que constituye la madera.

Estos pueden dividirse en:

Caracteres estéticos u organolépticos: son los que se pueden apreciar con los órganos de los sentidos y que hacen al valor decorativo y estético de la madera.

Caracteres estructurales: son los que se refieren a la observación y el estudio de la estructura del tejido leñoso.

Caracteres anómalos o anomalías: son los que se refieren a las irregularidades que se originan en el tejido leñoso por diferentes causas.

Caracteres químicos: son los que se refieren a la composición química del tejido leñoso y se determinan mediante análisis.

Caracteres físicos: se refieren a las propiedades físicas de las maderas, que junto con las propiedades mecánicas, son los caracteres más importantes, bajo el punto de vista del ingeniero.

Caracteres mecánicos: estos caracteres son los que definen la capacidad de la madera de resistir esfuerzos y tolerar deformaciones que la hacen útil para su uso en ingeniería. Por ser la madera un material natural, fundamentalmente anisótropo se hace necesario el estudio de las características en diferentes direcciones.

Caracteres estéticos u organolépticos

El estudio de los caracteres estéticos resulta sumamente útil para distinguir entre sí las distintas especies y poder utilizar la madera apropiada para el uso a que está destinada. Ellas son: color, olor, sabor, brillo, textura, grano y veteado.

El color

Es producido por sustancias colorantes, resinas, derivados tánicos, gomas y colorantes específicos como por ejemplo: morina y berberina, que impregnando el tejido leñoso lo colorean con diferentes tonalidades.

La madera recién cortada es mas clara que la que ha sido estacionada un tiempo, esto se debe a la oxidación de las resinas que contienen las maderas en contacto con el aire.

Por lo general el duramen, como ya se ha mencionado, es de coloración mas oscura que la albura, aunque existen especies que se caracterizan por no presentar diferencias entre ambas formaciones; sin embargo esto no significa que carezcan de duramen o corazón.

También el leño o anillo de otoño tardío al crecer mas cerrado y compacto que el de primavera o temprano, tiene una tonalidad más oscura, aunque en algunas especies, que se desarrollan en climas muy uniformes y donde no existen grandes diferencias entre la humedad y las temperaturas de verano y de invierno, prácticamente no se logran distinguir a simple vista los anillos anuales.

El olor

Es originado por la volatilización de diversas sustancias, como resinas y aceites, que les dan a las distintas especies un olor característico que las distingue entre sí.

Por lo general el olor es mas intenso en la madera recién cortada o cuando se la esta trabajando; la oxidación de la superficie, al estar estacionada, disminuye su aroma.

Existen maderas con olor muy agradable, como el palo santo y el cedro de misiones en nuestro país, y otras con olor realmente desagradable, como el ibirá-né; motivo por el cual no pueden ser utilizadas en algunas aplicaciones a pesar de presentar otras excelentes características.

Algunas especies, como el incienso y el lapacho poseen “saponina” en sus células, y al ser trabajadas secas desprenden un polvo que provoca irritaciones en las mucosas nasales; conviene trabajarlas en estado verde o con máscaras adecuadas.

El sabor

Las distintas especies poseen sabores diferentes que las distinguen entre sí. A veces, dos especies con características físicas y mecánicas muy diferentes, presentan coloración, olor y estructura similar, y una buena práctica para diferenciarlas es mediante su sabor.

El brillo

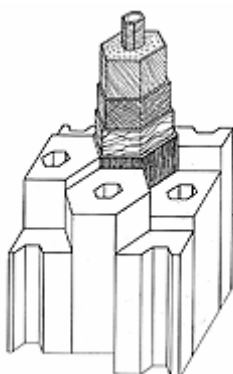
Es la propiedad que poseen algunas maderas de reflejar la luz en sus superficies pulidas; de las tres secciones principales, la de mayor brillo es la sección longitudinal radial. Algunas maderas presentan cambios en los reflejos luminosos al modificarse el ángulo que forma la sección con la dirección de la visual (brillo tornasolado) como por ejemplo el viraró.

El brillo no es un carácter importante en las maderas, pues puede ser dado a voluntad con los lustres.

La textura

Es el tamaño y la distribución de los elementos constitutivos del leño. Se refiere en particular al tamaño de las traqueidas, vasos, fibras y tejido parenquimático y a la diferencia entre los elementos del anillo de otoño y el de primavera. Podemos hablar entonces de textura gruesa cuando los elementos constitutivos del leño son amplios y los poros (Sección transversal de los vasos y las traqueidas) son de gran diámetro, textura mediana y textura fina cuando los poros son de pequeño diámetro, menores de 0,15mm en la fina. También podemos hablar de textura homogénea o heterogénea, cuando las diferencias entre los anillos anuales es poca o marcada respectivamente.

Como ejemplo diremos que, en general, el “seibo” presenta una estructura gruesa y homogénea; el “timbo” textura gruesa y heterogénea; el “pehuén”, el “alerce” y el “raulí” textura fina y homogénea y el “laurel”, el “palo santo” y el “urunday” textura fina y heterogénea.



El grano

Es la dirección de los elementos constitutivos del leño (en particular las traqueidas, los vasos y las fibras), con referencia al eje del fuste. Podemos clasificar las maderas entonces como:

a) De grano derecho: cuando los elementos constitutivos del leño son sensiblemente paralelos al eje del fuste. Ejemplo: cebil colorado.

b) De grano entrelazado o entrecruzado: cuando tienen dirección opuesta y alternada en los sucesivos anillos o anillos de crecimiento. Ejemplo: quebracho blanco. La madera con este grano presenta, al ser hendida o rajada, una superficie acanalada.

c) De grano crespado: se llama así cuando la dirección de los elementos constitutivos del leño no es recta, sino sinuosa u ondulada. Ejemplo: caldén.



El veteado

Es el dibujo que aparece en los cortes longitudinales del leño y que le da a la madera su gran valor ornamental.

La belleza del veteado depende del tipo de madera y de la dirección en que se da el corte, así como también muchas veces, del anormal crecimiento de los elementos que componen el leño.

Con respecto al veteado, podemos clasificar las maderas en:

Maderas con veteado liso: cuando los elementos constitutivos del leño son pequeños y de coloración uniforme; es decir que existe poca diferencia entre los anillos de primavera y otoño y el tejido parenquimático es nulo o escaso.

Maderas con veteado pronunciado: cuando por el contrario, la diferencia entre los anillos anuales es muy marcada (grandes variaciones de temperatura y humedad entre invierno y primavera) y además poseen abundante tejido parenquimático, en especial los radios leñosos.

Maderas con veteado suave: es el término medio de los veteados anteriores.

Como ya hemos dicho, la dirección en que se corte la madera, puede hacer variar notablemente la belleza del veteado. El corte cónico o de punta de lápiz es el que, para la mayoría de las especies, brinda el mejor veteado.

El veteado espigado del palo santo o el jaspeado del radial o del peteribí es de gran valor ornamental; en particular, esta última especie, debido a la abundancia de sus radios leñosos.

Caracteres anómalos o anomalías de las maderas

Estos caracteres se refieren a las imperfecciones de las maderas y podemos clasificarlos en intrínsecos y extrínsecos.

Las anomalías intrínsecas dependen fundamentalmente del estado sanitario del árbol y de su normal crecimiento, de modo que se desarrollen anillos anuales, tempranos y tardíos, constituidos por células de igual tamaño y que tengan además el mismo espesor.

Por el contrario las anomalías extrínsecas no dependen de la especie sino de factores ajenos a ella, como ser: el clima, el inadecuado manejo de las masas arbóreas, el ataque de insectos o animales y el tratamiento de la madera posterior a la corta (aserrado de los rollizos, secado, etc.).

A su vez y dentro de esta clasificación, podemos dividir a las anomalías en tres tipos principales, a saber: defectos, alteraciones y deformaciones.

Defectos

Los defectos son anomalías que no alteran la composición química de la madera, ni la coloración de su tejido leñoso; pero sí afectan en mayor o menor grado a sus características estéticas, físicas y/o mecánicas. Vamos a citar algunos de los más comunes en las maderas argentinas:

Acebollado

Este defecto se caracteriza por la separación de dos o más anillos de crecimiento, del mismo modo que las capas de la cebolla. Se observa claramente en el corte transversal del rollizo y puede llegar a afectar a toda su longitud e inclusive a algunas ramas superiores (Ver Foto).



Las especies argentinas donde más se encuentra este defecto frecuentemente son: quebracho colorado, urunday, cedro, lapacho, coihué, lenga y alerce.

Se produce por el debilitamiento de uno o más anillos de crecimiento; luego el árbol prosigue su desarrollo y al ser flexionado por el viento, en el o en los anillos que se generaron mas débiles se origina una rajadura a través de los mismos, que provoca el acebollado.

Las causas que provocan el debilitamiento de los anillos de crecimiento pueden ser muy

variadas, entre ellas podemos citar: las heladas tardías en primavera, que provocan la detención brusca del anillo que se está generando, lluvias excesivas, fuera de lo común, que generan anillos con paredes muy delgadas y fáciles de fisurarse; heridas producidas en el tronco, incendios, ataque de hongos o insectos y también muy frecuentemente a la explotación irracional de los bosques, donde ejemplares que se encontraban protegidos al quedar aislados, crecen más rápidamente acebollándose el primer anillo posterior a la corta de los otros ejemplares.

Las causas que hemos citado son extrínsecas, aunque también se produce el acebollado por causas intrínsecas, como ser en el quebracho colorado que, por causas aún no bien conocidas, desarrolla en algunos años de su vida, anillos con excesivo contenido de tanino; estos anillos suelen acebollarse.

Cuando la acebolladura es total, abarcando todo el anillo, se suele llamar a este defecto acañonado, debido a que puede llegar a separarse del rollizo un cilindro central y un tubo que queda en esta forma de cañón. Este defecto, naturalmente, provoca un gran desperdicio de la madera, que al ser aserrada se separa en los anillos acebollados.

Médula excéntrica

Este defecto se caracteriza por el crecimiento no uniforme de los anillos anuales, presentando estos un espesor excesivo en un lado del rollizo y uno muy exiguo del lado opuesto, es decir con una conformación elíptica (Fig. N°3).

Las causas más comunes que producen este defecto son: un viento predominante sobre una cara del tronco que impide o retarda el crecimiento de los anillos en esa zona, por el contrario en el lado opuesto el crecimiento es más rápido y los anillos son de mayor espesor y de paredes más delgadas. Los árboles denominados “bandera”, que desarrollan la copa del lado opuesto al viento (Fig. N°4) son siempre sospechosos de presentar este defecto. Del mismo modo suele presentarse médula excéntrica, en los árboles que se encuentran en los bordes de las laderas (Fig. N°5), del lado de ésta el crecimiento es menor que del lado opuesto, dado que las raíces del lado de la ladera absorben menos sustancias alimenticias.

8 - "Maderas"



Otra causa posible de este defecto, es cuando en el bosque se efectúan raleos inadecuados, exponiendo algunos ejemplares a la acción del viento o a la entrada irregular del sol, provocando un mal funcionamiento del cambium.

Es muy frecuente por otra parte, que este defecto provoque a su vez el acebollado del fuste. La madera proveniente de un rollizo con médula excéntrica, presenta una anisotropía y heterogeneidad mucho más acentuada que la misma especie sin este defecto, variando notablemente las características físicas y mecánicas de la misma.

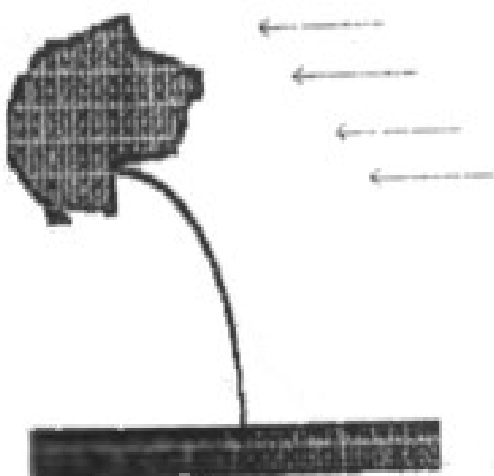


Figura N°4



Figura N°5

Rajaduras

Este defecto se manifiesta por la separación longitudinal del tejido leñoso, desde la corteza hacia la médula o desde la médula hacia la periferia. Las rajaduras se producen generalmente siguiendo los radios leñosos por ser este tejido el más débil; por consiguiente las especies con abundantes radios leñosos, como el peteribí, son las más propensas a este defecto.

La causa principal que provoca las rajaduras, es la gran contracción de la madera en la dirección tangencial durante su secado.

En el árbol vivo suelen producirse rajaduras por la acción de rayos, que desgraciadamente suelen caer sobre los ejemplares más altos y gruesos disminuyendo su valor.

En el árbol ya cortado, transformado en madera, la causa fundamental es su gran contracción en la dirección tangencial, como ya se ha citado, agravado por un inadecuado secado de la misma.

La madera con rajaduras disminuye notablemente su valor, por el desperdicio que se origina al ser trabajada, y es particularmente grave cuando las mismas son internas no llegando a la corteza, puesto que recién se ponen en evidencia al ser cortado el rollizo.

Suelen denominarse "grietas" a las rajaduras de poca profundidad que afectan una sola cara de la madera ya elaborada.

Nudos

Este defecto se presenta como una desviación y aumento de la densidad del tejido leñoso en la zona donde se desarrolló una rama (Fig. N°6), ésta al caerse, natural o artificialmente, deja su huella,

que luego con el posterior crecimiento del árbol, pasa a formar parte del duramen, quedando en esa zona una conformación más densa del tejido leñoso, más dura y frágil que la madera que la circunda.

Las especies argentinas con mayor cantidad de nudos son: el ciprés y el pehuén.

Los nudos naturalmente afectan las características estéticas, físicas y/o mecánicas de las maderas al aumentar la heterogeneidad de las mismas y crear zonas de concentración de tensiones; pero su influencia depende del tipo de nudo, de su tamaño y de su ubicación.

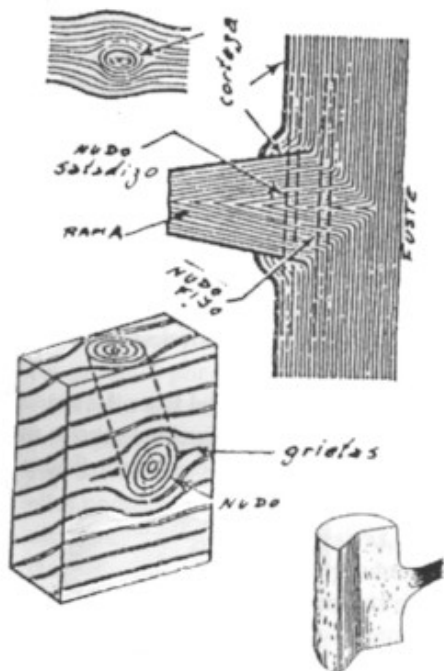


Figura N°6

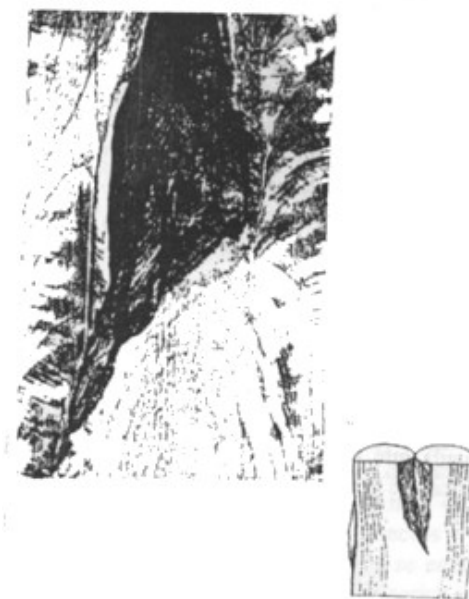


Figura N°7

Corteza incluida

Este defecto se caracteriza por la presencia de un trozo de corteza dentro del duramen. Siendo la corteza un material blando y fácilmente putrescible, produce una cavidad en la madera con el consiguiente desperdicio de la misma.

Este defecto puede presentarse por heridas provocadas en el fuste del árbol vivo; sea por una rajadura causada por un rayo, por contracciones excesivas, por animales o por personas irresponsables.

El árbol trata de cicatrizar su herida y al continuar su crecimiento la cubre con corteza que luego queda retenida en su interior (Fig. N°7).

Suele quedar corteza incluida también, como ya se ha mencionado, en los nudos con bolsillo.

Bolsas de resina

Este defecto sólo se manifiesta en las coníferas. Debido a rajaduras o lastimaduras producidas en el cambium, se forman bolsas que se llenan de resinas y que fluye de los canales resiníferos afectados por las grietas.

Madera roja o comprimida

Aparece generalmente en las coníferas, en la parte inferior de las ramas y en otras zonas del fuste sobrecargadas. La madera sometida a compresión es de color pardo rojizo y de consistencia córnea, por el contrario la sometida a tracción, como por ejemplo en la parte superior de las ramas en su unión con el fuste, es de coloración blanca. Este defecto origina una mayor heterogeneidad de la madera, aumentando las deformaciones durante el secado.

Oquedades

Denominadas también “huecos axilares”, se originan por falta de alimentación en la zona del fuste situada debajo de las ramas de mayor tamaño.

Corazón múltiple o ahorquillado

Se manifiesta por la formación de dos o más corazones dentro de un solo fuste (Fig. N°8). Se origina por el desarrollo de varios brotes terminales por destrucción de la guía principal (por animales, viento, granizo, insectos o por predisposición natural de determinadas especies) y también por la fusión de dos árboles que se desarrollan muy juntos y terminan por unirse. Este defecto aumenta también la heterogeneidad de la madera, afectando sus características. Suele presentarse también “corteza incluida” entre los dos fustes unidos.

Cementado y colapso

Son defectos extrínsecos que se originan por un secado inadecuado de la madera en hornos. Cuando la temperatura de secado del horno es muy elevada, se produce una rápida evaporación del agua en la superficie de la madera permaneciendo húmeda en su interior, esto produce una fuerte contracción de la superficie quedando sumamente dura y quebradiza; este defecto se denomina cementado por su similitud con el acero cementado, aunque naturalmente los procesos de endurecimiento de la superficie sean sustancialmente distintos. El colapso se debe a un secado excesivamente rápido del agua que embebe las paredes del tejido leñoso (agua de imbibición), originando una superficie corrugada en la madera.



Apolillado

Es un defecto similar al anterior, también provocado por insectos xilófagos pero de menor tamaño. Originan galerías de sección transversal elípticas con diámetros medios que oscilan entre 2 y 3 mm. Se manifiesta preferentemente en maderas estacionadas y constituyen el terror de los fabricantes de muebles; se recomienda que en la fabricación de los mismos no se utilice la albura, por las razones anteriormente mencionadas.

Ataque de otros insectos y animales

Otros insectos que destruyen la madera son las especies voladoras, como los “lepidópteros” e “himenópteros”. Otro grupo importante lo constituyen las “termes” del grupo de isópteros, comúnmente llamados termitas, que son hormigas xilófagas que se alimentan del contenido de la madera. Un crustáceo marino, sumamente destructor de la madera sumergida en el mar, es el “teredo navalis” que mide aproximadamente 15 cm de largo o más en el estado adulto.

Otros defectos muy comunes en las maderas, son los originados por el ataque de animales, como el ganado, liebres, conejos, ratones y ardillas que destruyen la corteza del árbol, abriendo de este modo una vía para el posterior ataque de insectos y hongos.

Con respecto a las aves podemos citar el famoso “pájaro carpintero” que se alimenta del taladro, localizándolo por el ruido que hace al construir sus galerías; dotado de un fuerte pico, orada el árbol hasta encontrarlo.

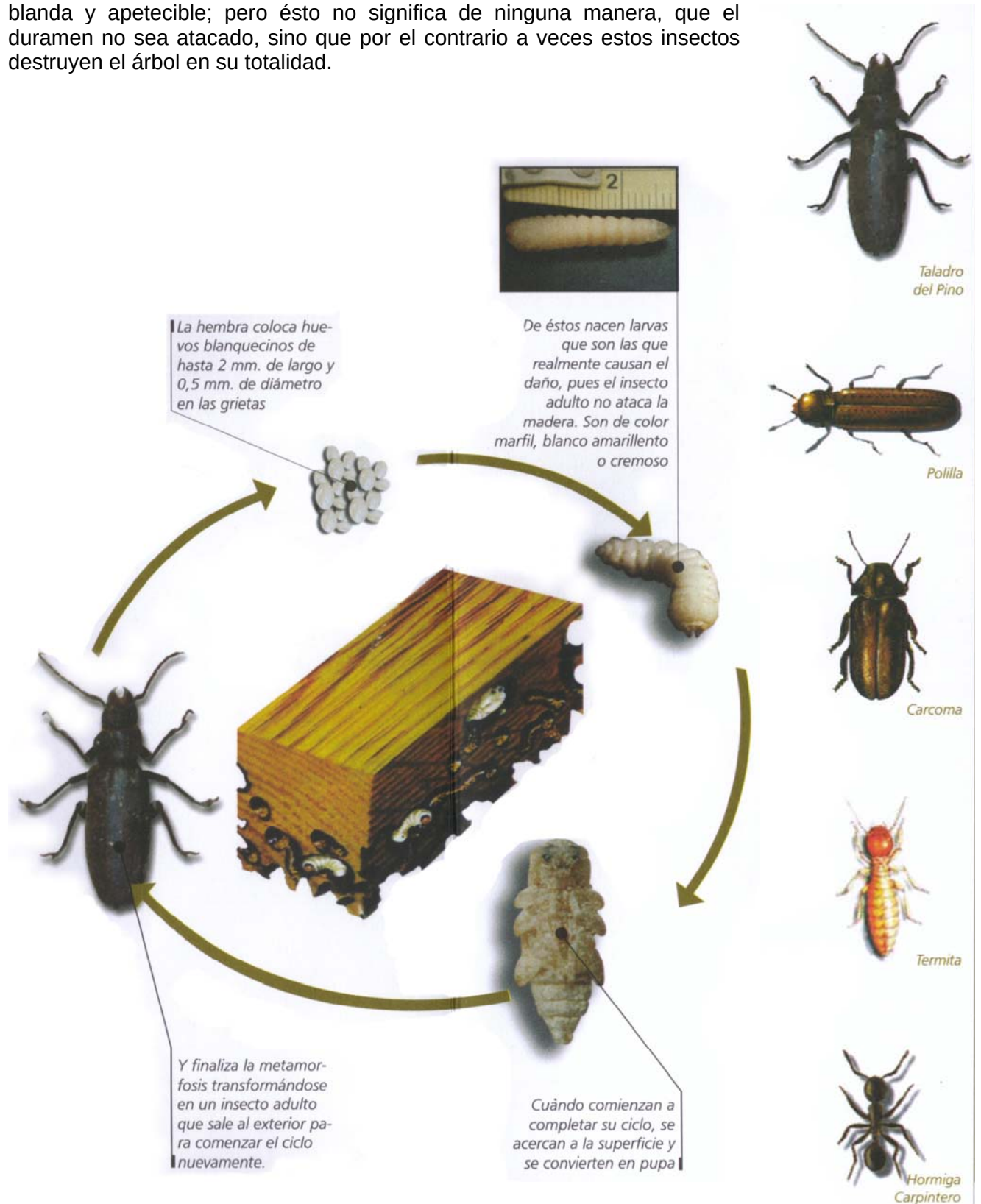
Taladrado

Este defecto y los que veremos posteriormente, son también extrínsecos y debido al ataque de insectos o animales. El taladrado se debe al ataque de insectos xilófagos (que se alimentan de la madera) de los cuales existen muchas especies, por lo general coleópteros, que producen orificios

de sección transversal elíptica de aproximadamente 3 cm de diámetro medio. Estos insectos se alimentan de los hidratos de carbono que contiene el leño o de las excrecencias de los hongos que transforman el contenido de la madera en un producto azucarado.

Algunas especies autóctonas son particularmente propensas al "taladrado", en especial: el quebracho colorado, el palo trébol o roble del país, el palo blanco, el pino, etc. por contener abundantes hidratos de carbono. (Ver infografía "Ciclo de Vida del Taladro del pino").

Es lógico que el ataque de estos insectos se produzca preferentemente en la albura, por contener ésta mayor cantidad de productos de alimentación que el duramen y ser considerablemente más blanda y apetecible; pero ésto no significa de ninguna manera, que el duramen no sea atacado, sino que por el contrario a veces estos insectos destruyen el árbol en su totalidad.



Alteraciones

Las alteraciones son anomalías que fundamentalmente afectan a la composición química de la madera y la coloración de su tejido leñoso. Las características físicas y mecánicas de la misma pueden verse afectadas o no. Se pueden clasificar en:

Manchas

Se deben a la actividad desarrollada por hongos lignícolas de diferentes tipos, y que fundamentalmente colorean la albura o el duramen con colores variados: pardo rojizo, grisáceo o azulado. Los hongos lignícolas que originan esta alteración, se alimentan fundamentalmente del almidón que contiene la madera (especialmente en la albura) pero prácticamente no atacan ni la celulosa ni la lignina, razón por la cual no afectan en mayor grado las características físicas o mecánicas de las maderas. Las maderas argentinas que más frecuentemente sufren el ataque de hongos son el quebracho colorado, el sauce criollo y el pino Paraná.

Podredumbre

Producida también por hongos lignícolas, las podredumbres son alteraciones que modifican totalmente la composición química de la madera destruyéndola en su totalidad y afectando naturalmente sus características físicas y mecánicas.

Podemos citar la “podredumbre clara o blanda” en la cual los hongos atacan la lignina, transformando la madera en una masa blanda y blanca constituida fundamentalmente por celulosa. Se presenta particularmente en el quebracho blanco, el urunday, la lenga, la espina corona o espina de Cristo, etc.

La “podredumbre oscura o atabacado” es una alteración semejante a la anterior, aunque en este caso el hongo ataca fundamentalmente a la celulosa, transformando a la madera en una masa oscura, frágil y fácilmente desmenuzable constituida por un alto porcentaje de lignina y que se asemeja al tabaco, semejanza de la cual proviene su nombre. Se presenta particularmente en el quebracho blanco y colorado y en la lenga. La humedad es indispensable para que se produzca el ataque de los hongos, sólo con un porcentaje del 18% o más de humedad en la madera, es posible su desarrollo; por el contrario si la humedad de la madera es muy elevada, dificulta su desarrollo.

Protección de la madera contra hongos e insectos

La protección de la madera es necesaria en construcciones permanentes o semipermanentes, con el objeto de incrementar la vida útil del material en servicio. En general las maderas tratadas incrementan de 5 a 10 veces su vida útil. Así por ejemplo, pilotes sumergidos en el agua de mar, son destruidos en el término de un año por los insectos marinos (principalmente el teredo naval), tratados con creosota pueden tener una vida promedio de 10 a 12 años; del mismo modo los durmientes para ferrocarril tratados con cloruro de cinc o creosota duran entre 20 y 28 años respectivamente, mientras que no alcanzan a los 5 años de vida útil los durmientes no tratados.

Es evidente que los tratamientos de protección aumentan el costo de inversión, pero la experiencia mundial ha demostrado que el uso de la madera tratada a lo largo del tiempo es un ahorro para el consumidor. En algunos casos, como por ejemplo postes para líneas telefónicas rurales, el mayor precio de la madera tratada puede influir considerablemente en el costo total, sin embargo cuando se trata de puentes, durmientes, o grandes estructuras permanentes, el costo de los tratamientos es solamente una pequeña parte del costo de la instalación.

Existen diferentes procedimientos para proteger la madera del ataque de hongos e insectos; fundamentalmente podemos dividir estos tratamientos en “transitorios” y “permanentes”.

Los tratamientos transitorios duran, como su nombre lo indica, poco tiempo y se utilizan durante el almacenamiento de la madera y hasta su venta. Los productos fungicidas o insecticidas se aplican en este caso por inmersión, pincelado o pulverizado.

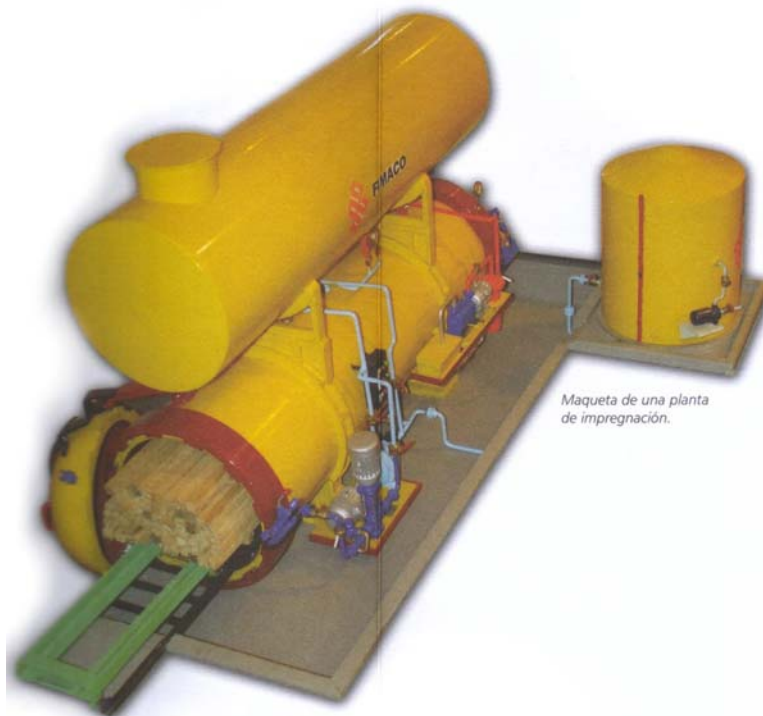
Los tratamientos permanentes por el contrario deben ser realizados de modo tal, que la madera quede convenientemente protegida durante toda su vida útil. Existen fundamentalmente dos tratamientos permanentes que son: el denominado “baño caliente-frío” y el denominado “vacío-presión”.

El primero consiste en sumergir la madera en un baño caliente, de modo que se abran sus poros y escape el aire encerrado en sus conductos, inmediatamente se introduce la madera en el fungicida y/o insecticida frío y de esta forma al contraerse, absorbe el líquido protector hasta un espesor considerable desde su superficie.

El método denominado “vacío-presión” se aplica en aquellas maderas muy compactas, de poros cerrados, que tienen difícil acceso a su interior; el método anterior en estos casos no da resultados satisfactorios. El tratamiento consiste en introducir la madera en un autoclave y luego de un vacío preliminar para extraer las sustancias que se encuentran en el interior del tejido leñoso, aplicar en el autoclave los productos insecticidas a presión. De esta forma, aunque el procedimiento es más caro, aumenta considerablemente el volumen protegido de la madera. Existen tres procedimientos:

a) Procedimiento de celda llena: es el más antiguo; la madera encerrada en el autoclave es sometida a un vacío (comprendido entre 40 y 60 cm de mercurio) durante un período que varía entre 1/4 y 2 horas. Luego se introduce en el autoclave el preservativo a una presión comprendida entre 7 y 14 atmósferas, durante un período de hasta 5 horas. Luego se vacía el autoclave aplicándose un vacío final.

b) Procedimiento de celda vacía: en este procedimiento la madera es sometida inicialmente a presión con aire comprimido y no al vacío. Luego se aplica el producto conservador a presiones corrientes y al abrir el autoclave el aire comprimido encerrado en los conductos de la madera, expulsa el exceso del producto dejando solamente impregnadas las paredes del tejido leñoso.



Maqueta de una planta de impregnación.

c) Procedimiento de ebullición en vacío: se aplica especialmente a la madera verde y a maderas que son difíciles de impregnar. La madera se sumerge en el conservativo a una temperatura elevada y se aplica un vacío con el propósito de extraer la humedad de la misma. Después de un lapso de 12 a 24 horas de este tratamiento, se aplica cualquiera de los procedimientos anteriores de celda llena o vacía.

Los productos que se aplican en todos estos tratamientos son:

- Creosota: es un producto obtenido por la destilación de alquitranes (aceites y brea). Se presenta en general en estado líquido, y preserva la madera contra hongos e insectos.
- Pentaclorofenol: constituido por fenol con determinado grado de cloración. Se presenta para la venta en escamas o en polvo generalmente.
- Naftenato de cobre: se presenta en pasta y es un buen insecticida contra los agentes biológicos.

- Preservadores compuestos: son productos solubles en agua constituidos por sales inorgánicas y que tienen proporciones significativas de cinc, cobre o arsénico. Se suelen presentar en el comercio en forma de pasta o polvo.

Elección del tratamiento preservante

1- Conceptos importantes a considerar:

a- Categorías de riesgo

CATEGORIA DE RIESGO	HONGOS	TERMITAS	INSECTOS	XILOFAGOS
A- SIN HUMEDAD	▲	▲	◎	◎
B- HUMEDAD ACCIDENTAL	■	■	◎	◎
C- HUMEDAD INTERMITENTE	●	●	◎	◎
D- HUMEDAD PERMANENTE	◎	◎	◎	◎



Sin riesgo de ataque



Riesgo de ataque no corriente. La importancia se halla condicionada al paso del tiempo.



Riesgo de ataque importante, pero no corriente. O bien, riesgo de evolución lenta



Riesgo de ataque importante y corriente. Con amenaza de destrucción rápida.

- A- Sin riesgo de humedad: la madera se mantiene con la humedad que tenía al momento de ser puesta en obra. Ej: revestimientos interiores, puertas interiores y cielorrasos.
- B- Riesgo de humedad accidental: existe la posibilidad de fugas de agua que humidifiquen la madera. También se presenta en maderas en contacto o cercanas a elementos húmedos o con ventilación inadecuadas. Ej: maderas exteriores bajo techo y vigas en general.
- C- Riesgo de humedad intermitente: se expone a la madera a ciclos y variaciones de humedad por encima o por debajo del 20 %. Ej: maderas para carpinterías y revestimientos exteriores.
- D- Riesgo de humedad permanente: la madera se halla expuesta en forma constante a condiciones ambientales muy desfavorables que modifican su contenido de humedad por encima del 20%. Ej: postes de fundación y otras maderas en contacto con el suelo o muy cercanas a él o a alguna otra fuente permanente de humedad.

b- Durabilidad natural: es la capacidad de resistir los ataques biológicos que presenta el duramen.

c- Permeabilidad: caracteriza la mayor o menor facilidad con que una madera puede ser impregnada.

d- Retención: cantidad de preservante (expresada en kg/m³ de óxidos activos) de acuerdo con su destino final.

e- Grado de penetración:

-superficial: la profundidad media del preservante alcanza los 3 mm. ;

-media: la profundidad promedio es igual o superior a 3 mm. Sin llegar a impregnar el 95% de la zona impregnable;

-profunda: la profundidad media alcanza o supera el 95% de la zona impregnable.

2- Elección del tratamiento:

Como primer paso debe establecerse la categoría de riesgo (ver tabla) y verificar si es posible alguna disminución de la misma, tomando medidas de tipo constructivas. En base a ello, se establecen 4 categorías de protección.

Con relación a la especie a utilizar se debe verificar si posee o no durabilidad natural: si no la tiene se verifica que la especie es factible de impregnar o no; si es moderadamente durable o no: la permeabilidad deberá ser tal que permita alcanzar el grado de protección adecuado (en caso contrario, se deberá cambiar de especie”.

Clases de protección:

-Protección clase 1: para categoría de riesgo A. Grado de penetración superficial, con retención 3,5 para preservantes hidrosolubles C.C.A. ó C.C.B. y 4 para oleosolubles P.C.F.

-Protección clase 2: para categoría de riesgo B. Penetración superficial, con retención 3,5 para preservantes hidrosolubles C.C.A. ó C.C.B. y 4 para pentaclorofenol.

-Protección clase 3: para categoría de riesgo C. Penetración media, con retención 4 para C.C.A. ó C.C.B. y 6,4 para pentaclorofenol.

- Protección clase 4: para categoría de riesgo D. Penetración profunda, con retención 6,4 para C.C.A ó C.C.B., 8 para pentaclorofenol y 160 para creosota.

Caracteres químicos de las maderas

La madera está compuesta fundamentalmente de "celulosa", "lignina" e "hidratos de carbono".

La celulosa que forma del 40 al 70 % del tejido leñoso según las distintas especies, está constituida por moléculas de glucosa en forma de cadena que constituyen el esqueleto del tejido leñoso.

Los hidratos de carbono son fundamentalmente sustancias de reserva encontrándose coligados con la celulosa, y junto con ella son los elementos que le dan resistencia y tenacidad a la madera; estos componentes se encuentran unidos por varias sustancias cementantes como ser: la lignina, gomas, resinas, grasas, ceras, componentes minerales y colorantes.

La lignina cementa y une el armazón celulósico y está unida químicamente al mismo, formando del 20 al 30 % del tejido leñoso.

Las resinas se pueden originar normalmente en los tabiques celulares, principalmente en los llamados canales resiníferos, o patológicamente a causa de heridas en el leño. El duramen contiene más resinas que la albura.

Las grasas (ácidos: palmítico, oleico, linólico y linolénico) se encuentran en proporciones muy variadas aún en la misma especie; influyendo mucho el clima y la edad del árbol. La madera muy estacionada eleva considerablemente su porcentaje de grasas.

Los minerales y metaloides que se encuentran en pequeña cantidad, son principalmente: nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, silicio, magnesio, hierro y otros en cantidades sumamente pequeñas.

El tanino se encuentra en la corteza y en el duramen en cantidades variables entre el 3 y el 20 %.

Las materias colorantes juegan un papel importante en la industria del teñido; las principales son: hematoxilina, brasilina, hemateína, morina y berberina.

Con respecto a la composición elemental de la madera, todas las especies presentan una composición química similar constituida por un 50 % de carbono, 44% de oxígeno y 6 % de hidrógeno, por lo cual el análisis químico de la madera no resulta útil para diferenciar las especies.

Con respecto a las acciones químicas que los agentes exteriores tienen sobre la madera, podemos mencionar la acción de la luz, los álcalis, los ácidos y las sales.

La luz cuando actúa sobre delgadas láminas de madera, la ataca fuertemente volviéndolas frágiles; el papel de diario constituido por un alto porcentaje de pasta de madera, se fragiliza rápidamente al exponerlo a la luz.

La madera es bastante resistente a los álcalis que atacan preferentemente a los hidratos de carbono.

También la madera es muy resistente a los ácidos ya que solamente la comienzan a atacar a partir de un $P_h = 2$.

Con respecto a las sales, algunas atacan la madera, como por ejemplo el sulfuro de sodio, pero la mayoría de ellas no ejercen prácticamente acción alguna o la atacan algo en caliente.

Con respecto al hormigón, los fabricados con cementos aluminosos tienen una acción más reducida sobre la madera que los cementos Pórtland.

El pH medio del tejido leñoso es de 4,5 a 5,5 en general, con contenidos de humedad menores del 10 %, no produce corrosión en cuerpos metálicos; por el contrario la madera húmeda ataca los distintos metales, principalmente la madera y el plomo. Las maderas impregnadas con productos insecticidas o fungicidas, atacan más intensamente a los metales que las no protegidas.

Caracteres físicos de las maderas

Los caracteres físicos, así como los mecánicos que veremos en el párrafo siguiente, son los más importantes desde el punto de vista de la madera como material de construcción. El estudio de estas características permite el mejor aprovechamiento de la madera y el uso adecuado de las distintas especies.

Las principales normas extranjeras que normalizan los ensayos físicos y mecánicos de las maderas son: las normas norteamericanas ASTM; las normas francesas AFNOR; las normas inglesas BSI y la norma alemana DIN. Las normas IRAM de la serie 9500 son las correspondientes a maderas.

Siendo la madera un material orgánico, heterogéneo y anisótropo, los ensayos requieren una técnica más compleja que para otros materiales, agravado por las comunes anomalías que presenta y la influencia del medio ambiente sobre sus propiedades.

Los caracteres físicos de las maderas son: la humedad, el peso específico, las contracciones y las propiedades térmicas, acústicas y eléctricas.

Humedad

El agua se encuentra en general en las maderas, en las tres formas siguientes:

a) Agua de constitución: que es la se encuentra formando parte de las células del tejido leñoso como en todo material orgánico, y por supuesto no desaparece con el secado de la madera; puede eliminarse solamente quemando la madera hasta convertirla en cenizas.

b) Agua de imbibición: que se encuentra impregnando las paredes del tejido leñoso, embebida en él.

c) Agua libre: que se encuentra llenando los conductos por los cuales circula junto con otros elementos que alimentan el árbol.

La suma del agua de imbibición y del agua libre, constituye lo que llamamos “humedad de la madera” y puede eliminarse por secado de la misma.

La madera es un material sumamente higroscópico y por lo tanto es capaz de absorber una gran cantidad de humedad. En estado verde (el árbol vivo o recién cortado) alcanza una humedad variable entre el 40 y el 200 %; y sumergido en agua, hasta su total saturación, puede variar entre el 50 y el 500 % de humedad.

Se denomina “humedad de saturación” (H_s), a la que corresponde al estado en el que la madera tiene las paredes de su tejido leñoso (paredes de las traqueidas, vasos fibras y tejido parenquimático) totalmente saturadas de agua (agua de imbibición) pero que no contiene agua libre; este valor oscila entre el 25 y el 35 %.

Naturalmente estos valores son muy variables para las distintas especies, y aun dentro de la misma especie dependen del clima donde se hallan desarrollado y de la época de corta, como así también de la edad y dimensiones de los árboles, puesto que a mayor edad y dimensiones, aumenta la proporción de duramen que es menos húmedo que la albura.

El conocimiento de la humedad que contiene la madera es sumamente importante pues afecta sus otras características físicas y mecánicas en forma muy notable.

De la variación de humedad en las maderas dependen casi todas sus características, tales como los cambios de volumen (contracciones o hinchamientos), las propiedades mecánicas en general, el poder calorífico, el rendimiento y calidad de su celulosa, el peso específico, las propiedades eléctricas, acústicas y térmicas y aún la mayor o menor aptitud para su elaboración.

En las normas de los distintos países se establece una “humedad standard”, que llamaremos “humedad normal”, y que es la media de la que contiene la madera cuando se encuentra en equilibrio higroscópico con el ambiente. Naturalmente esta humedad normal varía con los diferentes climas y para nuestro país, en toda la zona de la pampa húmeda, se establece en un 15 % ya que la humedad de equilibrio higroscópico se encuentra entre el 12 y el 18 % en dicha zona.

La humedad generalmente está referida en por ciento respecto del peso seco de la madera, aunque en algunos casos como en las industrias de la combustión y de la celulosa, se la suele referir al peso húmedo.

Peso específico

Del peso específico de la madera dependen fundamentalmente sus características de resistencia y su poder calorífico, pero esta dependencia está muy influenciada, como hemos visto, por la humedad y las anomalías que pueda contener la madera. Sin embargo y a pesar de lo dicho, el peso específico es un dato sumamente útil para valorar la calidad de la madera.

Como en todo cuerpo poroso, podemos distinguir dos pesos específicos; el denominado peso específico real y el peso específico aparente.

El peso específico real

Es el peso de la unidad de volumen del material leñoso propiamente dicho, descontando todos los espacios vacíos que contiene la madera. Este peso específico, que es de difícil determinación, no tiene mucha utilidad en la práctica, pues es prácticamente constante para todas las especies e igual a 1.56 gr/cm^3 (variando entre 1.52 y 1.62).

La forma de determinar el peso específico real de las maderas es utilizando aserrín muy fino y un picnómetro, o por el desplazamiento de alguna sustancia de bajo peso molecular y que no sea absorbido por la celulosa, como por ejemplo el helio.

El peso específico aparente

Se define como la relación entre el peso de una muestra de madera y el peso de un volumen igual de agua. En este caso se consideran solo los espacios vacíos de la madera como parte integrante del volumen.

El peso específico aparente es muy variable para las distintas especies y aún dentro de la misma especie depende en gran medida de la región donde se haya desarrollado el árbol, de las anomalías que contenga y de la zona del árbol de donde se obtenga la muestra.

Varía entre 0.1 gr/cm^3 para la madera “balsa” hasta 1.50 gr/cm^3 para las maderas muy pesadas. Los Ings. Agrs. R. García y J. García han propuesto la siguiente escala, aplicable a maderas secas al aire (con un contenido de humedad de aproximadamente el 15 %):

- Muy livianas: hasta 0.350 gr/cm^3
- Livianas: de 0.351 a 0.550 gr/cm^3
- Semipesadas: de 0.551 a 0.750 gr/cm^3
- Pesadas: de 0.751 a 1.000 gr/cm^3
- Muy pesadas: de más de 1.000 gr/cm^3

Entre las maderas autóctonas más comunes tenemos:

- Muy livianas: palo borracho y seibo jujeño
- Livianas: timbó, pino Paraná, alerce ciprés., sauce y nogal criollo.
- Semipesadas: piñeirino, peteribí y jacarandá.
- Pesadas: palo amarillo, quebracho blanco y curupay o cebil colorado.
- Muy pesadas: quebracho colorado, quebracho santiagueño, urunday, lapacho, palo santo y el Itín (1.35 gr/cm^3).

En lo sucesivo cuando hablemos del peso específico nos referiremos al aparente.

Las influencias de la región (suelo, temperatura, humedad y viento) donde se desarrolla la especie son en general las siguientes:

El peso específico aumenta con la latitud y disminuye con la altitud. Los mayores valores se encuentran en maderas que se dan en terrenos de llanura con alta temperatura y humedad.

Los suelos pantanosos producen en general maderas muy livianas.

El peso específico es mayor en el duramen que en la albura y mayor también en los anillos de otoño que en los de primavera (por ser éstos muy porosos).

Determinación del peso específico

La determinación se realiza en general con tres estados de humedad: verde, seca al aire y totalmente seca. Para estudios científicos conviene realizar la determinación del peso específico para madera totalmente seca (hasta peso constante), pues es un valor invariable y fácilmente repetitivo.

Como hemos dicho, el peso específico es la relación entre el peso de la madera y el peso de un volumen igual de agua, es decir:

$$P_e = \frac{G}{V}$$

La determinación del peso (G) se realiza sin ninguna dificultad, cortando un trozo de la madera en estudio y pesándola con una balanza suficientemente precisa. Por el contrario la medición del volumen presenta algunos inconvenientes, los métodos más comunes para determinarlo son: método estereométrico, método de desplazamiento de líquidos.

Influencia de la humedad en el peso específico

La variación del peso específico en función de la humedad que contiene la madera, está indicado en la Fig. N°9. Vemos que para maderas muy livianas, livianas, semipesadas y pesadas, el peso específico aumenta con el contenido de humedad; para maderas muy pesadas el peso específico disminuye con el contenido de humedad hasta aproximadamente el 30 %, correspondiente al punto de saturación, y luego aumenta rápidamente.

Como veremos, cuando hablemos de las cotas de calidad, para comparar las distintas maderas entre sí, es necesario reducir los valores obtenidos en la determinación, y que generalmente se hacen sobre muestras totalmente secas o con humedad cualquiera, a la humedad normal.

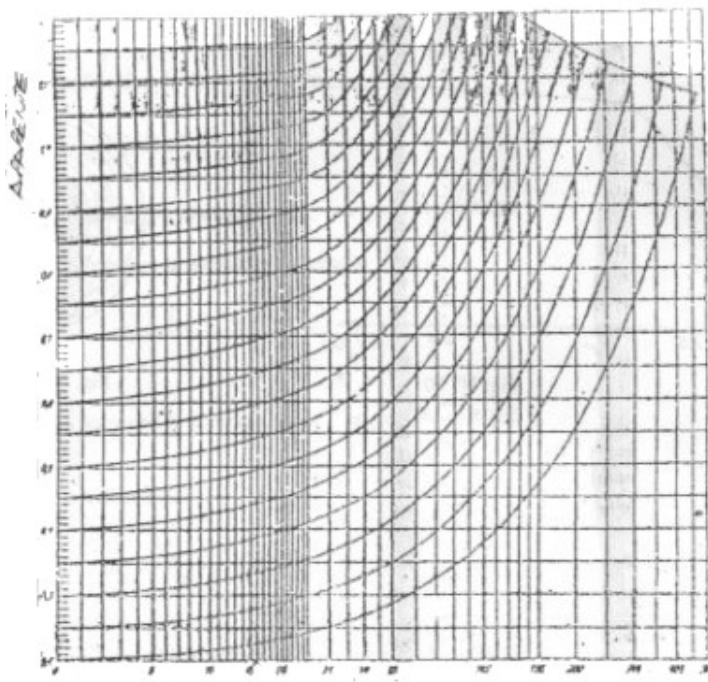


Fig. N°9.

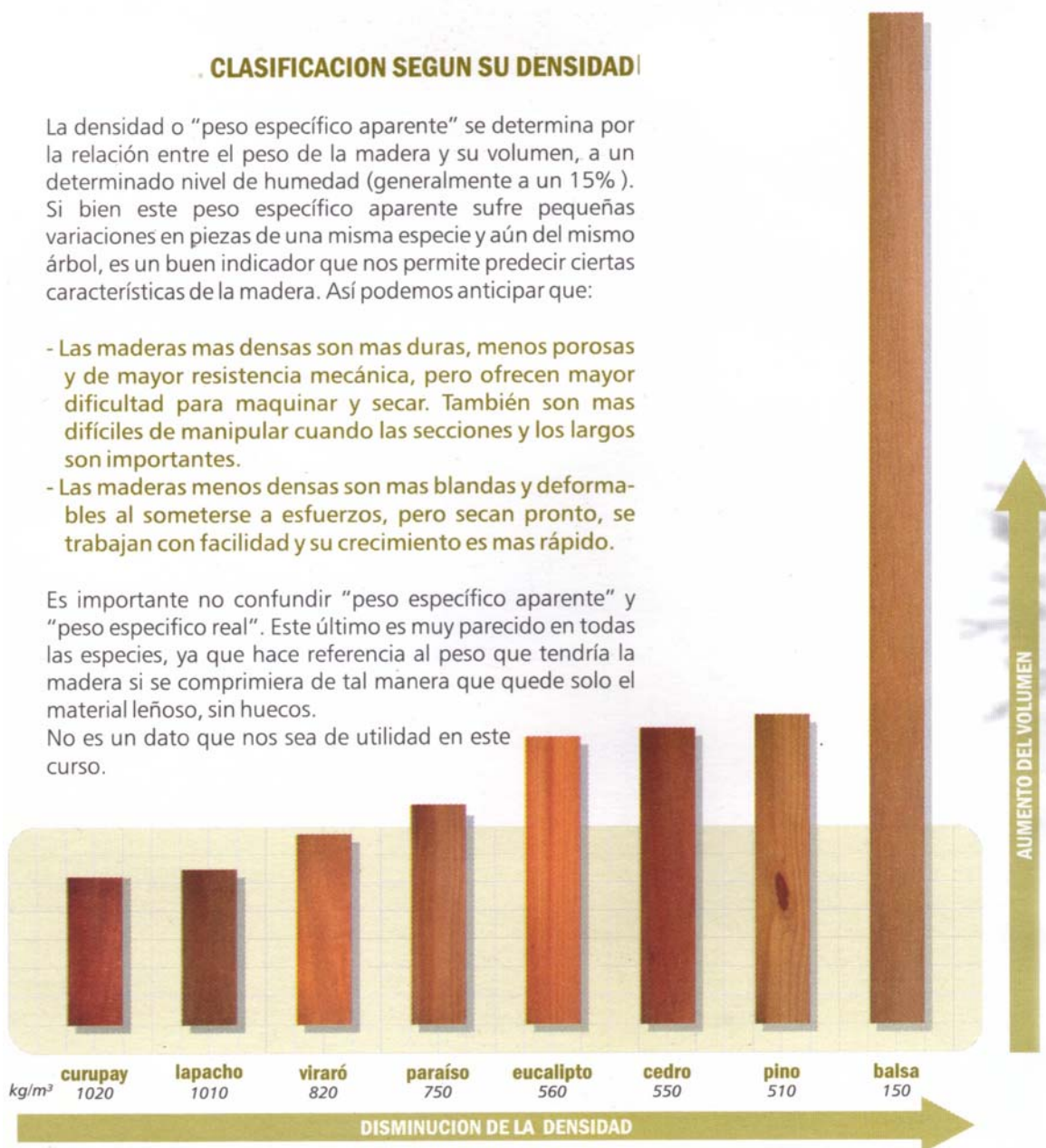
CLASIFICACION SEGUN SU DENSIDAD

La densidad o “peso específico aparente” se determina por la relación entre el peso de la madera y su volumen, a un determinado nivel de humedad (generalmente a un 15%). Si bien este peso específico aparente sufre pequeñas variaciones en piezas de una misma especie y aún del mismo árbol, es un buen indicador que nos permite predecir ciertas características de la madera. Así podemos anticipar que:

- Las maderas mas densas son mas duras, menos porosas y de mayor resistencia mecánica, pero ofrecen mayor dificultad para maquinar y secar. También son mas difíciles de manipular cuando las secciones y los largos son importantes.
- Las maderas menos densas son mas blandas y deformables al someterse a esfuerzos, pero secan pronto, se trabajan con facilidad y su crecimiento es mas rápido.

Es importante no confundir “peso específico aparente” y “peso específico real”. Este último es muy parecido en todas las especies, ya que hace referencia al peso que tendría la madera si se comprimiera de tal manera que quede solo el material leñoso, sin huecos.

No es un dato que nos sea de utilidad en este curso.



Contracciones o cambio de volumen

Esta característica física, de mucha importancia para el profesional, se refiere al aumento de longitud o del volumen de la madera a medida que aumenta su contenido de humedad y viceversa, a la reducción de su longitud o de su volumen al ser secada. Se expresa en por ciento de su longitud o volumen al estado seco.

La variación del volumen de una madera en función del contenido de humedad, la podemos indicar por la gráfica indicada en la Fig. N°10. Como vemos al ser secada la madera verde, no sufre apreciables variaciones de su volumen hasta aproximadamente un 60 % de su humedad; este período corresponde a la pérdida de agua libre únicamente y que no provoca tensiones en la madera que hagan variar sensiblemente su volumen.

Por el contrario, y a partir de la humedad que hemos llamado de “saturación” (Hs= 25 a 35 % según las distintas especies), la madera sufre una gran contracción que hace disminuir sensiblemente su volumen y que corresponde a la pérdida del agua de imbibición. Este período es aproximadamente lineal.

Entre la humedad del 60 % hasta la saturación, existe una pérdida simultánea del agua libre y de imbibición, y este hecho se traduce en la gráfica por una curva de transición entre las dos zonas anteriores.

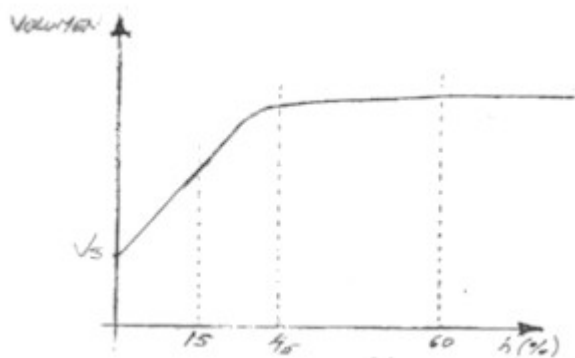


Figura N°10

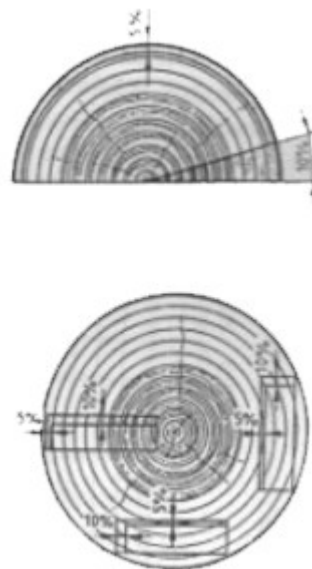


Figura N°11

Si el secado de la madera se hace en forma natural (al aire), sólo puede alcanzarse un estado de humedad de alrededor del 15 % con la cual se establece el equilibrio higroscópico con el ambiente, como ya se ha dicho. Para disminuir este contenido de humedad es necesario secar la madera en estufas o en ambientes calefaccionados.

Como las contracciones lineales en las tres direcciones principales, es decir en la dirección del eje del rollizo, en la dirección del radio y en la dirección normal a la anterior y tangente a los anillos de crecimiento, no son las mismas sino que por el contrario, en la dirección tangencial la contracción es aproximadamente tres veces mayor que en la dirección radial y aproximadamente 10 veces mayor que en la longitudinal, se producen las inevitables deformaciones (alabeos) que pueden provocar rajaduras en las piezas de madera. En la Fig. N°11 vemos las deformaciones que sufren piezas de distintas formas, cortadas de un rollizo.

Podemos considerar entonces tres contracciones lineales, que se refieren a las sufridas en las tres direcciones principales y una volumétrica referida a la variación del volumen y que se puede deducir de las anteriores.

Del mismo modo las contracciones pueden ser totales, es decir del estado “saturado de agua” al “seco”, o parciales, es decir desde una humedad “h” cualquiera al estado seco.

Tendremos entonces:

a) Contracción lineal en la dirección longitudinal

a1) Total:

$$\alpha_1 = \frac{L_{1h} - L_{1s}}{L_{1s}} 100$$

a2) Desde una humedad h al estado seco:

$$\alpha_{1h} = \frac{L_{1h} - L_{1s}}{L_{1s}} 100$$

b) Contracción lineal en la dirección radial

b1) Total:

$$\alpha_r = \frac{L_{rH} - L_{rs}}{L_{rs}} 100$$

b2) Desde una humedad h al estado seco:

$$\alpha_{rh} = \frac{L_{rh} - L_{rs}}{L_{rs}} 100$$

c) Contracción lineal en la dirección tangencial

c1) Total:

$$\alpha_t = \frac{L_{tH} - L_{ts}}{L_{ts}} 100$$

c2) Desde una humedad h al estado seco:

$$\alpha_{th} = \frac{L_{th} - L_{ts}}{L_{ts}} 100$$

d) Contracción volumétrica

d1) Total:

$$\alpha_v = \frac{V_H - V_s}{V_s} 100$$

d2) Desde una humedad h al estado seco:

$$\alpha_{vh} = \frac{V_h - V_s}{V_s} 100$$

Propiedades térmicas

Como la mayoría de los materiales, la madera sufre un alargamiento al ser calentada, pero este alargamiento es despreciable frente a la contracción que sufre por la pérdida de humedad.

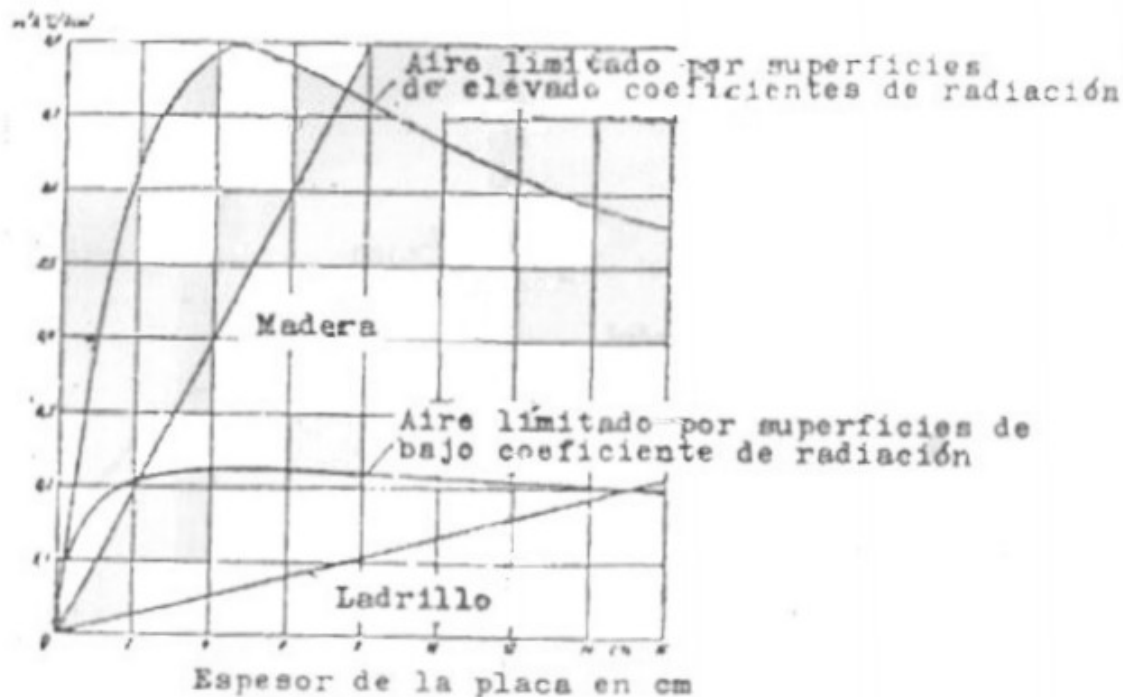


Figura N°12

La madera es un excelente aislante térmico debido a su estructura porosa, y en este carácter es muy utilizada en construcciones, vagones frigoríficos y recipientes para aislar térmicamente líquidos.

En la gráfica de la Fig. N°12 podemos observar la resistencia al paso del calor en tabiques o techos planos de madera y de otros materiales.

Por otra parte la madera tiene un calor específico muy elevado, lo que la hace muy mala conductora del calor, propiedad que se aprovecha en muchos casos como: mangos de sartenes y otros enseres domésticos, fósforos, etc. Para pisos tiene un excelente comportamiento debido a que sustrae poco calor al cuerpo humano al andar sobre ellos. El poder calorífico de las maderas tiene un valor medio de 4500 Kcal/Kg y es mayor en las coníferas que en las dicotiledóneas.

Propiedades acústicas

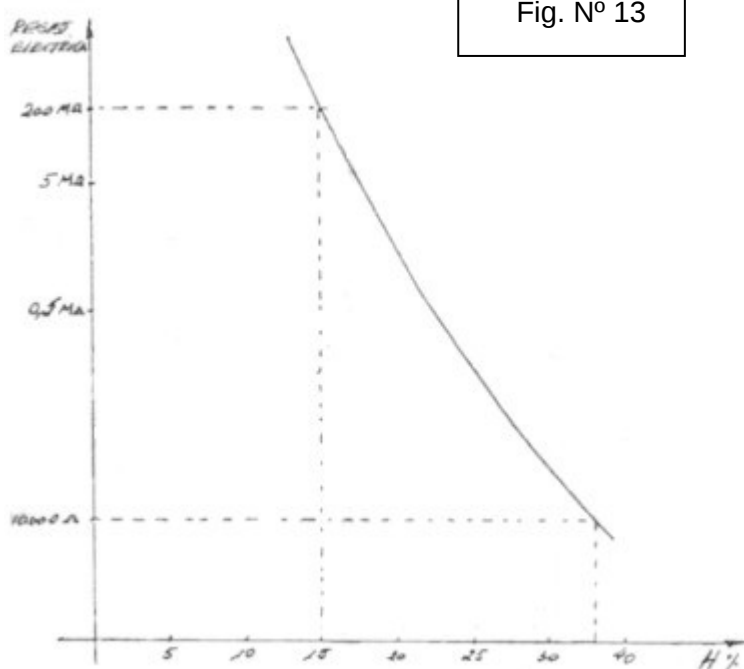
Son muy conocidas las inmejorables propiedades acústicas de las maderas en revestimientos para salas de conciertos y en especial para instrumentos musicales donde son insustituibles. Naturalmente que estas propiedades pueden verse afectadas si el material es empleado inadecuadamente.

La velocidad del sonido en la madera (entre 3500 y 5000 m/s) es prácticamente la misma que en la mayoría de los metales, pero como su peso específico es mucho menor, la resistencia acústica es del orden de 10 veces menor que la de aquellos. Esto significa que el amortiguamiento por pérdidas es muy pequeño y grande por el contrario el amortiguamiento por radiación; estas propiedades son esenciales para la fabricación de instrumentos musicales.

Propiedades eléctricas

La resistencia óhmica de la madera seca es muy elevada, actuando ésta como un excelente aislante, pero disminuye bruscamente al aumentar el contenido de humedad, y en estado saturado casi alcanza la conductividad del agua (Fig. N°13). Este efecto se ha aprovechado para la determinación de la humedad en las maderas, midiendo su resistencia eléctrica. Algunos protectores contra hongos e insectos, como por ejemplo la creosota, aumentan considerablemente la conductividad de la madera, esto se ha podido observar en postes de líneas eléctricas tratadas y sin tratar.

La constante dieléctrica de la madera seca es sumamente baja, pero basta que contenga una pequeña cantidad de humedad, para que se eleve considerablemente. Como ejemplo diremos que para una frecuencia de 300 Hz, la constante dieléctrica se duplica para una humedad del 12 % en relación a la madera seca.



Propiedades mecánicas de las maderas

Las principales características mecánicas de las maderas son las siguientes:

- Rigidez
- Resistencia a la compresión paralela a las fibras
- Resistencia a la compresión perpendicular a las fibras
- Resistencia a la tracción paralela a las fibras
- Resistencia a la tracción perpendicular a las fibras
- Resistencia a la flexión estática
- Resistencia a la flexión dinámica
- Resistencia al corte
- Resistencia al hendimiento
- Resistencia a la torsión
- Dureza

Dada la heterogeneidad y anisotropía que presenta la madera, los ensayos utilizados para determinar sus características mecánicas resultan más complejos que para otros materiales.

Esta circunstancia, unida a la influencia del medio ambiente donde se desarrolló el árbol y las anomalías que casi sin excepción presenta la madera, obliga a ser cuidadoso en las técnicas utilizadas en los ensayos, esto es válido desde la elección de las muestras a ensayar en relación a su ubicación en el fuste, posición de la probeta en la máquina de ensayos respecto a la dirección de las fibras y la determinación del contenido de humedad de la probeta luego de realizado el ensayo.

A los efectos de elegir una madera para un determinado uso estructural, no solamente hay que tener en cuenta la resistencia a la sollicitación principal a la que está sometida, sino también considerar su peso específico aparente, de modo tal que resulte una estructura resistente y liviana, y por lo tanto económica. Para evaluar esto último es importante introducir el concepto de cota de calidad, que es una razón entre la resistencia y el peso específico de una determinada madera.

Cotas de calidad

A los efectos de elegir una madera para un determinado uso estructural, no solamente hay que tener en cuenta la resistencia a la sollicitación principal a la que está sometida, sino también considerar su peso específico aparente, de modo tal que resulte una estructura resistente y liviana, y por lo tanto económica.

Por otra parte la relación entre algunos valores obtenidos en los ensayos, nos da una orientación más completa de la calidad de la madera para un determinado uso.

Por estos motivos se han desarrollado las denominadas “cotas de calidad” que nos dan “índices” para poder valorar las distintas especies en función de su peso específico y su resistencia mecánica.

Es necesario aclarar que las “cotas de calidad” se consideran como números adimensionales, aunque así no resulte de las fórmulas respectivas.

Veremos a continuación como se determinan las características mecánicas de las maderas y las correspondientes cotas de calidad.

Resistencia a la compresión paralela al grano

La determinación de la resistencia a la compresión paralela al grano se efectúa en general sobre probetas prismáticas de sección cuadrada, como se indica en la Fig. N°14.

Una vez ejecutada la probeta, que deberá tener sus caras paralelas y normales entre sí, se la somete a un esfuerzo de compresión en una prensa que tenga suficiente sensibilidad (error menor del 1 %), midiéndose cargas y deformaciones entre dos puntos de la probeta, registrándose la gráfica correspondiente (Fig. N°15).

La velocidad de carga esta fijada en las normas respectivas y uno de los platos de compresión que apoyan sobre las caras de la probeta, deberá contar con una rótula esférica a los efectos de centrar la carga, como se ve en la Fig. N°14.

Generalmente el compresómetro que mide los acortamientos sufridos por la pieza durante el ensayo, lo hace en dos caras opuestas de la misma, determinándose el promedio de ambas lecturas. Inmediatamente de concluido el ensayo se corta de una zona próxima a la sección de rotura, un trozo de madera y se determina la humedad correspondiente.

La rotura de la probeta se produce por el pandeo de los elementos constitutivos del leño, produciéndose en general un deslizamiento de dos o más secciones. Es importante señalar el tipo de rotura producido, que va a depender no sólo de la especie sino también de la humedad que contenga la probeta, de las anomalías y de la apropiada ejecución de la pieza para ensayo; las normas ASTM indican algunos de los tipos de rotura más frecuentes en las maderas (Fig. N°16).

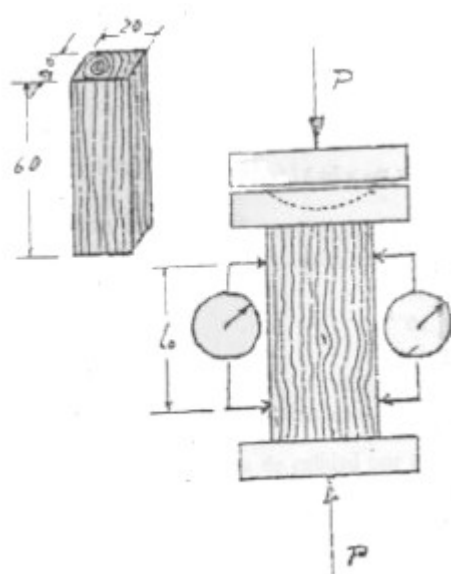


Figura N°14

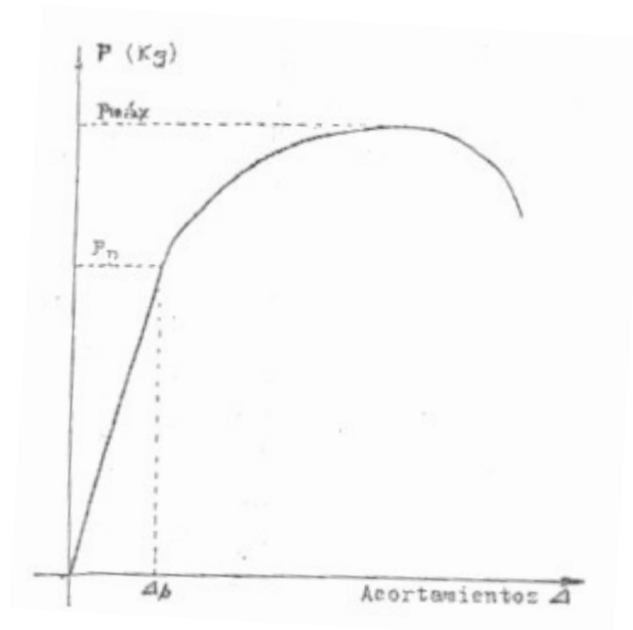
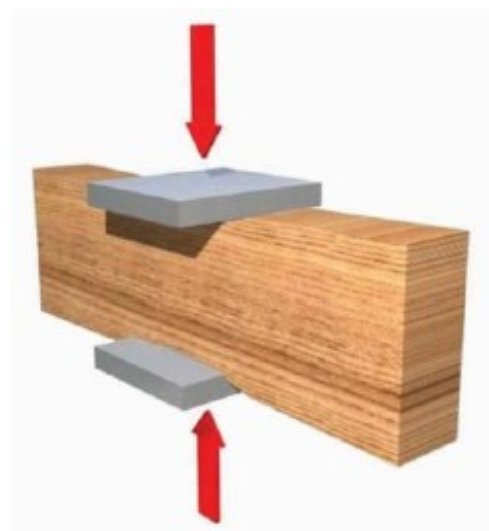


Figura N°15



Esquema de ensayo de compresión paralela a las fibras.



Esquema de ensayo de compresión normal a las fibras.

 Aplastamiento: El plano de rotura es aproximadamente horizontal	 Hendimiento en cuña: Debe registrarse la dirección del hendimiento (radial o tangencial)	 Corte: El plano de rotura forma un ángulo mayor de 45° con la base de la probeta.
 Desgarramiento: Ocurre generalmente en probetas con defectos preexistentes.	 Compresión y corte // al grano: Ocurre cuando la pieza tiene grano entrecruzado.	 Cabeza tipo escoba: Ocurre cuando la probeta tiene mucha humedad en los extremos o está mal ejecutada. Debe repetirse el ensayo.

Figura N°16

Los valores que se obtienen de la gráfica “cargas- deformaciones” son:

a) Resistencia a la compresión paralela al grano:

$$T_c'' = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

b) Tensión al límite de proporcionalidad:

$$T_p = \frac{P_p}{A_0}$$

La tensión admisible, tensión de trabajo o tensión de cálculo, se determina utilizando alguno de estos valores afectados de un coeficiente de seguridad, es decir:

$$T_{adc}'' = \frac{T_r}{v} = \frac{T_c''}{v'}$$

Siendo:

- v y v' los coeficientes de seguridad; naturalmente v' se toma mayor que v para tener igual seguridad.

c) Módulo de elasticidad por compresión paralela al grano

Este valor como sabemos nos mide la rigidez de la madera a esta sollicitación, y es la tangente trigonométrica del ángulo que la zona proporcional de la gráfica de ensayo forma con el eje de las deformaciones. Es decir:

$$E_c = \frac{P_p \cdot l_o}{A_l \cdot A_0} = \frac{T_p}{E_p}$$

Los valores de resistencia hay que reducirlos a los que corresponden a la “humedad normal “. Existen varias fórmulas experimentales, para corregir los valores obtenidos para una humedad cualquiera a la normal, algunas de ellas son:

1) La propuesta por Marwardt y Wilson:

$$\sigma_h = \sigma_s \cdot 10^{-kh}$$

Siendo:

- σ_h = la resistencia a la humedad “h”
- σ_s = la resistencia al 0 % de humedad (seca)
- k = una constante que se determina experimentalmente para cada especie y tipo de sollicitación.

También puede ponerse de la siguiente manera:

$$\log \sigma_h = \log \sigma_s - k.h$$

Esta fórmula es aplicable lógicamente hasta la humedad de saturación, para humedades mayores las resistencias en general se mantienen prácticamente constantes.

Otros autores han propuesto fórmulas considerando una función hiperbólica en lugar de la exponencial mencionada.

2) La función parabólica propuesta por Delpech:

$$\sigma_h = \sigma_s - k^I \times h + k^{II} \times h^2$$

Siendo:

- k' y k'' son constantes que dependen de la especie y del tipo de sollicitación, y se determinan experimentalmente.

3) La función lineal utilizada comúnmente es:

$$\sigma_{h1} = \sigma_h [1 + k(h - h_1)]$$

Que para $h_1 = 15 \%$ resulta:

$$\sigma_{15} = \sigma_h [1 + k(h - 15)]$$

Siendo “k” una constante que depende de la especie y principalmente del tipo de sollicitación; puede tomarse con suficiente aproximación:

- $k = 0,04$ para compresión paralela al grano
- $k = 0,02$ para flexión estática
- $k = 0,00$ para flexión dinámica (tenacidad), etc.

Las normas IRAM 9541 y 9551 normalizan el ensayo de compresión paralelo al grano, el procedimiento es el siguiente:

Se corta una probeta prismática de sección cuadrada de 20x20x60 mm de manera tal que la mayor longitud coincida con la dirección del eje del rollizo. Utilizando una prensa se miden las cargas y las correspondientes deformaciones o acortamientos de la probeta, obteniéndose la gráfica correspondiente. Las deformaciones se miden con un compresómetro que deberá tener una apreciación mínima de 0,001 mm.

En la confección de la probeta deberá cuidarse el correcto paralelismo de sus caras y un suficiente pulido de las mismas para evitar puntos de concentración de tensiones. La velocidad del ensayo esta normalizada (0,4 mm/min) y la prensa deberá tener uno de sus platos con "calota esférica" a fin de centrar correctamente la carga.

De la gráfica "cargas-deformaciones" se obtienen los valores de las características mencionadas.

Una vez rota la probeta, y en forma inmediata, se debe determinar su humedad y su peso específico; para ello se corta, lo mas próximo a la sección de rotura, un trozo de 20 mm de longitud y de sección igual a la de la probeta, determinándose estas características físicas con las normas respectivas.

Reduciendo los valores hallados al 15 % de humedad, se obtiene: (considerando las tensiones en kg/cm^2 y los pesos específicos en gr/cm^3):

- Cota de calidad estática:

$$CCE = \frac{\sigma^{II}_{15\%}}{Pe_{15\%} \times 100} \text{ (número adimensional)}$$

- Cota específica.

$$CE = \frac{\sigma^{II}_{15\%}}{Pe^2_{15\%} \times 100} \text{ (número adimensional)}$$

La cota de calidad estática o cota de calidad por compresión paralela al grano, se utiliza en estructuras resistentes sollicitadas preponderantemente a compresión (columnas por ejemplo). La madera que tiene mayor cota será la de menor peso y mayor resistencia.

Como ejemplo supongamos dos maderas A y B que tienen las siguientes características al 15 % de humedad:

- Madera A: $\sigma^{II}_c = 600 \text{ Kg / cm}^2$ y $Pe = 0,6 \text{ gr / cm}^3$
- Madera B: $\sigma^{II}_c = 450 \text{ Kg / cm}^2$ y $Pe = 0,3 \text{ gr / cm}^3$

Las cotas de calidad estática serán respectivamente:

- Para la madera A: $CCE = \frac{600 \text{ Kg / cm}^2}{0,6 \text{ gr / cm}^3 \times 100} = 10$

- Para la madera B: $CCE = \frac{450 \text{ Kg / cm}^2}{0,3 \text{ gr / cm}^3 \times 100} = 15$

Surge de la comparación de las cotas que la madera B es la más apta para la construcción de estructuras resistentes a compresión; es decir que usando la madera B, obtendremos una columna más liviana aprovechando al máximo su resistencia.

La cota de calidad específica es utilizada principalmente, cuando se quieren comparar maderas livianas, es decir en aquellas estructuras donde el peso de la misma es de vital importancia; por ejemplo en la fabricación de carrocerías, planeadores, etc.

Hagamos otro ejemplo: dos maderas D y E que al 15 % de humedad:

- Madera D: $\sigma^{\parallel}c = 800\text{kg} / \text{cm}^2$ y $Pe = 0,8\text{gr} / \text{cm}^3$
- Madera E: $\sigma^{\parallel}c = 500\text{kg} / \text{cm}^2$ y $Pe = 0,56\text{gr} / \text{cm}^3$

Las cotas serán:

- Cota de calidad estática:
 - o Madera D = 10
 - o Madera E = 8,9
- Cota de calidad específica:
 - o Madera D = 12,5
 - o Madera E = 15,9

Surge de estos valores que la madera D es la más apta para la construcción de estructuras sometidas a compresión, y la madera E resultará más apta para la construcción de estructuras livianas.

Monnin estableció las siguientes calidades en función de la cota de calidad estática:

$$CCE = \frac{\sigma^{\parallel}c15\%}{Pe15\% \times 100}$$

Madera	Blanda	Semidura	Dura	Muy dura	Calidad
Coníferas	< 8	< 7	< 6	-	Mala
	8 a 9,5	7 a 8,5	6 a 7,5	-	Mediana
	> 9,5	> 8,5	> 7,5	-	Buena
Dicotiledóneas	< 7	< 6	< 6	< 7	Mala
	7 a 8	6 a 7	6 a 7	7 a 8	Mediana
	> 8	> 7	> 7	> 8	Buena

Resistencia a la compresión normal al grano

La resistencia a la compresión disminuye a medida que la dirección del esfuerzo se aleja de la posición de paralelismo con respecto al grano y llega a ser mínimo cuando es perpendicular; en este caso se denomina "resistencia a la compresión normal al grano".

Se han establecido varias ecuaciones experimentales para expresar la variación de la resistencia a la compresión en función del ángulo que forma la dirección de la carga con el grano. Por ejemplo Jackson llegó a la siguiente:

$$\sigma\varphi = \frac{\sigma^{\parallel} \cdot \sigma^{\perp}}{\sigma^{\parallel} \sin^n \varphi + \sigma^{\perp} \cos^n \varphi}$$

Siendo:

- $\sigma\varphi$: la resistencia en la dirección que forma un ángulo φ con el grano.
- $\sigma^{\parallel}$ y $\sigma^{\perp}$: en las direcciones paralela y perpendicular respectivamente.

La resistencia a la compresión normal al grano varía a su vez con el ángulo que forma la dirección de las cargas con los anillos anuales. La Fig. N°17 muestra como varía la resistencia a la compresión en función de los ángulos variables que hemos mencionados.

En el ensayo de compresión perpendicular al grano, la madera se comporta en forma muy diferente al de compresión paralela. En este caso la madera se comprime como un material muy plástico sin que se produzca una rotura neta: es decir que no existe una carga máxima a partir de la cual pueda ser calculada la resistencia a la rotura.

La gráfica cargas-deformaciones presenta la forma de la Fig. N°18, aumentando la carga indefinidamente a medida que se aplastan los elementos constitutivos del leño.

Durante su empleo en estructuras, pocas veces la madera se encuentra sometida a esfuerzos de compresión transversal que obren sobre toda una cara (Fig. N°19), por el contrario esos esfuerzos,

generalmente actúan en superficies limitadas; es por esta razón que los ensayos tienden a reproducir estas condiciones, utilizándose la probeta esquemáticamente representada en la Fig. N°20. Las cargas actúan en dirección tangente a los anillos de crecimiento, como se indica en la figura.

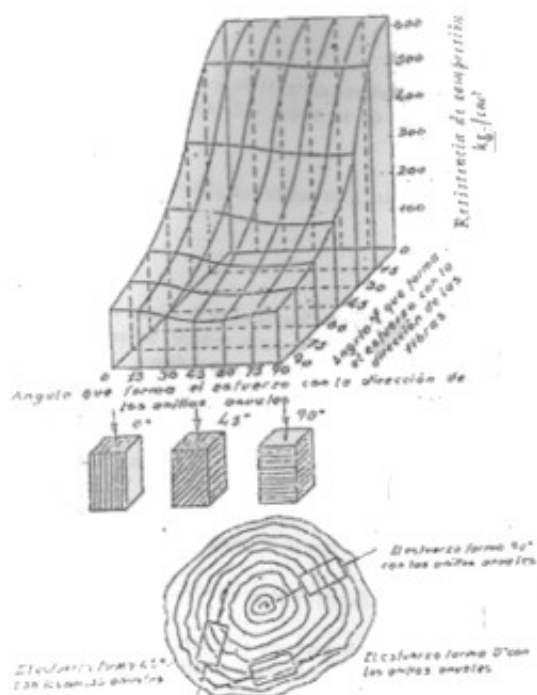


Figura N°17



Figura N°18

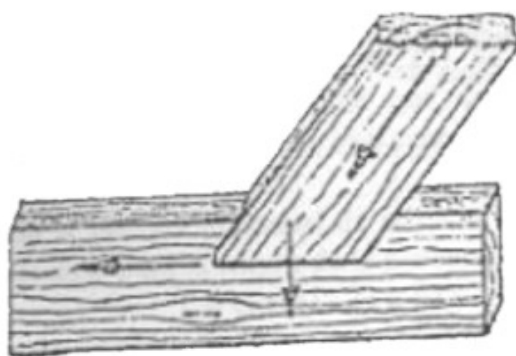


Figura N°19

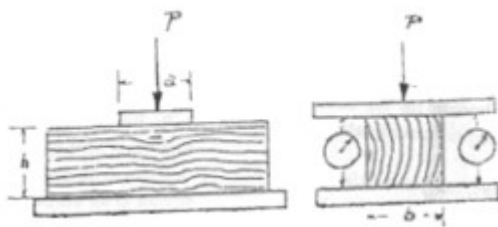


Figura N°20

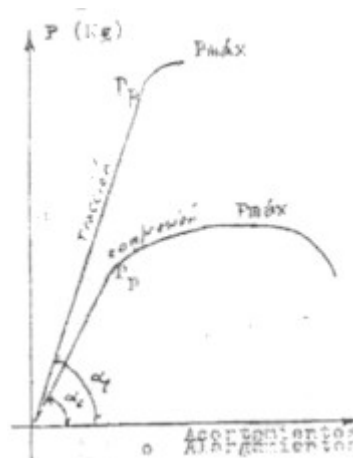


Figura N°21

La resistencia a la rotura por compresión normal al grano, se establece como el cociente entre la carga que corresponde a una deformación de la probeta del 5 % de su altura y la sección realmente comprimida, es decir:

$$\sigma_c^{\perp} = \frac{P_{5\%}}{a.b}$$

Siendo:

- $P_{5\%}$ = la carga correspondiente a la deformación indicada (si se utiliza una probeta de 2 cm de altura será: 1 mm)
- a = el ancho de la chapa de acero (2 cm)
- b = el ancho de la probeta (2 cm)

Una vez ensayada la probeta se deberá determinar el peso específico y la humedad de la misma sobre un trozo extraído de una zona próxima a la sección comprimida, y con estos datos reducir la tensión de rotura y el peso específico al 15 % de humedad, calculando la cota de calidad correspondiente.

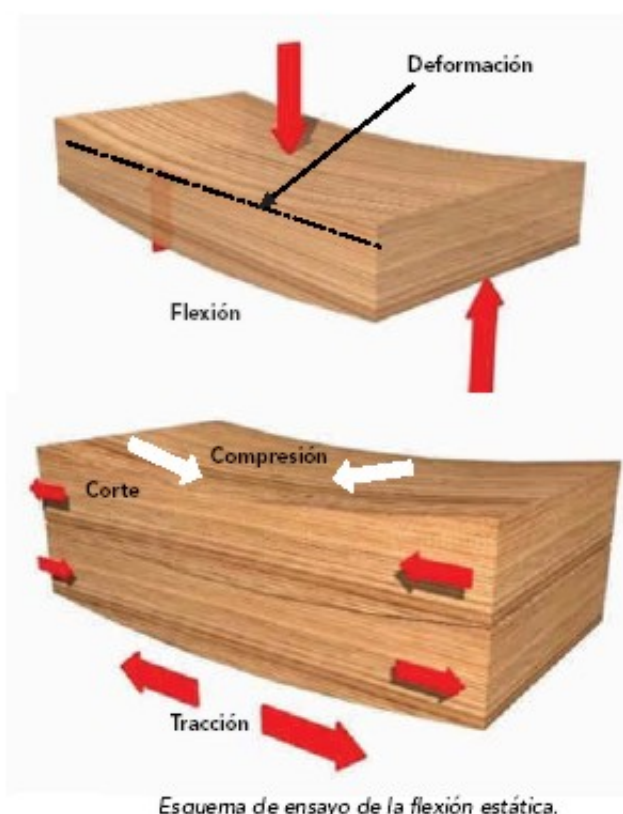
Resistencia a la flexión estática

Como ya se ha mencionado al hablar de la rigidez, el módulo de elasticidad de la madera es diferente según se la solicite a tracción o a compresión. En la Fig. N°21 se observan las gráficas "tensiones-deformaciones" correspondientes a las sollicitaciones de tracción y de compresión, paralelas al grano ambas; como vemos el módulo de elasticidad por tracción es mayor que el de compresión (es decir que la madera presenta una mayor rigidez a la tracción).

Esta característica de la madera impide que se cumpla, aún dentro del período elástico, las condiciones que exige la ecuación clásica de Navier, es decir:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

En la Fig. N°22 se observa el diagrama de tensiones en una pieza sometida a flexión estática durante diferentes períodos de carga



según Baumann; en ella la línea I corresponde al estado de tensiones durante el período elástico, la línea II corresponde al período donde parte de la zona comprimida ha superado el límite de elasticidad, la línea III corresponde al instante anterior a la rotura de la pieza y la línea IV correspondería al diagrama de tensiones calculadas de acuerdo con la ecuación de Navier.

Como consecuencia de lo expuesto, las tensiones de tracción son en todo instante superiores a las tensiones de compresión, la resistencia a la flexión se encuentra comprendida entre los valores de resistencia de las otras dos sollicitaciones y el eje neutro se desplaza hacia la zona traccionada. No obstante lo dicho, generalmente se utiliza la fórmula clásica de Navier para el cálculo de la resistencia a la flexión que se denomina: "módulo de rotura por flexión".

Como generalmente el ensayo se realiza con una pieza de madera simplemente apoyada y con una carga concentrada en el medio, tendremos:

$$\sigma_f = \frac{M}{W} = \frac{P_{max} \cdot L \cdot 6}{4 \cdot b \cdot h^2} = \frac{3}{2} \frac{P_{max} \cdot L}{b \cdot h^2}$$

Siendo:

- P_{max} : la carga máxima alcanzada en el ensayo
- b : la base de la probeta
- h : su altura
- L : la luz de ensayo

Monnin estableció que el exponente de h no era 2 sino un valor " n " que él denominó "índice de forma tecnológica" y que dependía fundamentalmente de las anomalías que presentaba la pieza de madera sometida a ensayo. Mediante un trabajo experimental calculó el exponente " n " para distintas calidades tecnológicas llegando al siguiente resultado:

Maderas sin defectos (aviación, carrocerías, etc.) $n = 11/6$ a $10/6$

Maderas comunes (carpintería en general) $n = 10/6$ a $9/6$

Maderas con muchas anomalías $n = 9/6$ a $8/6$

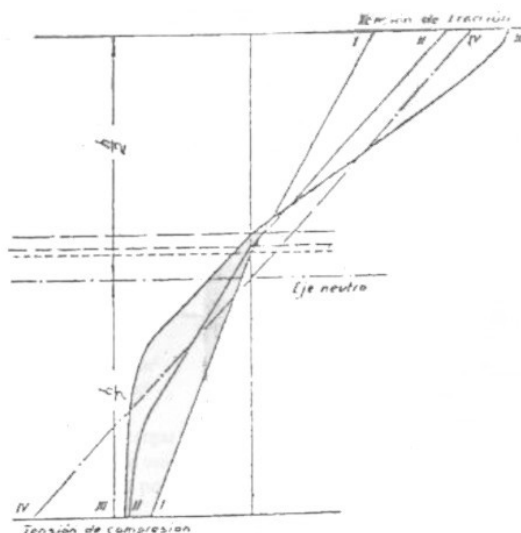


Figura N°22

Resistencia a la flexión dinámica - tenacidad

Cuando sólo se quiere conocer la tenacidad de la madera, es decir el trabajo absorbido hasta la rotura, es más sencillo realizar un ensayo de flexión dinámica que nos da más rápida y directamente este valor.

Las normas IRAM 9546 y 9550 normalizan este ensayo, el procedimiento a seguir es el siguiente:

Se corta una probeta prismática de sección cuadrada de 20x20x300 mm de tal modo que la mayor longitud coincida con el grano (Fig. N°23). Se apoya esta probeta sobre dos rodillos que tengan un radio de curvatura de 15 mm y mediante una masa pendular (similar al ensayo de Charpy para

metales) se aplica en el centro de la probeta una carga dinámica por intermedio de otro rodillo con el mismo radio de curvatura.

Conociendo la energía potencial de la masa pendular y determinando la energía residual, se calcula el trabajo necesario para la rotura de la probeta y que da un índice de su tenacidad, es decir:

Siendo:

$$T = G \cdot h_1 - G \cdot h_2$$

- T: el trabajo consumido en romper la probeta
- G: el peso de la masa pendular
- h_1 : la altura del centro de gravedad de esta masa respecto del eje de la probeta en el instante inicial.
- h_2 : la altura del centro de gravedad de la masa pendular respecto del eje de la probeta en el instante en que se detiene después de la rotura de la misma.

Por lo tanto será:

Coeficiente de Resiliencia

$$k = \frac{T}{W} \Rightarrow k = \frac{6 \cdot T}{b \cdot h^2}$$

Siendo:

- W: el módulo resistente
- b: la base de la probeta
- h: la altura de la misma

Como ya se ha mencionado, este valor k que mide la tenacidad de la madera, varía muy poco con el contenido de humedad de la probeta.

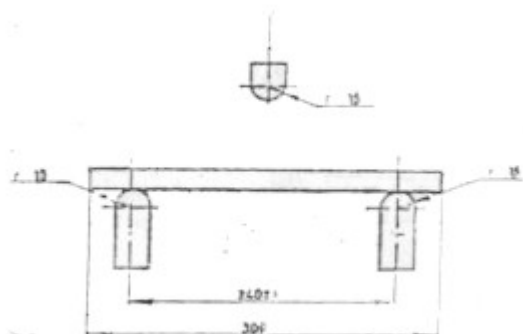


Figura N°23

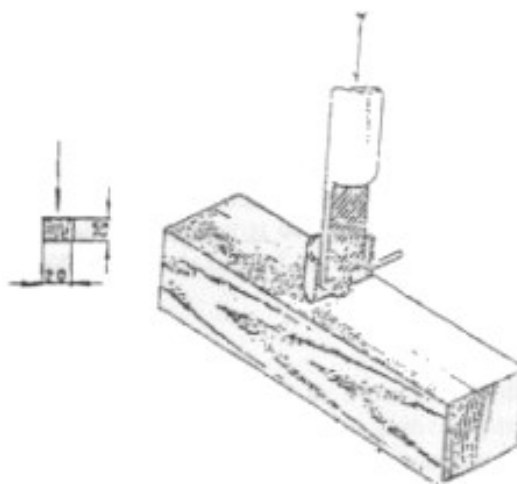


Figura N°24

Dureza

La dureza de la madera puede determinarse mediante el ensayo Brinell del mismo modo que en los metales, en este caso la bolilla utilizada es de 10 mm de diámetro y las cargas de 10, 50 ó 100 kg según se trate de maderas muy blandas, medias o muy duras respectivamente. Pero en realidad el método Brinell no suele utilizarse con frecuencia debido a la dificultad en establecer el diámetro de la impronta por las roturas locales de las fibras en el lugar del ensayo.

Los métodos más utilizados en nuestro país son:

- a) El método Janka, de procedencia Norteamericana, y
- b) El método Chalais- Meudon, de procedencia francesa.

El método Janka consiste en cargar la probeta mediante una bolilla de acero con un diámetro de 11,28 mm, es decir con una sección diametral de 1 cm² y determinar la carga necesaria para

introducir esta bolilla hasta la mitad de su diámetro (es decir un radio). La carga necesaria dividida por la proyección sobre la cara de la probeta de la impronta producida (es decir 1 cm²) nos da en kg/cm² la dureza Janka correspondiente. Es decir:

$$D_J = \frac{P(kg)}{1cm^2}$$

El ensayo debe hacerse sobre las tres direcciones principales, es decir, sobre la sección transversal y longitudinal, radial y tangencial. Generalmente la dureza sobre la sección transversal es mayor que sobre las otras secciones, salvo en maderas muy duras donde puede darse el caso inverso.

Existen diversos dispositivos para determinar el instante en que la bolilla se introduce hasta la mitad de su diámetro; el más sencillo y más utilizado consiste de una pieza giratoria en forma manual, que se frena en el instante indicado al rozar con la cara de la probeta (Fig. N°24).

Como siempre se deberá determinar, después del ensayo, el peso específico y la humedad de la probeta: reducir estos valores al 15 % de humedad y calcular la cota de calidad por dureza mediante la relación:

$$CCD = \frac{D_J 15\%}{P_e 15\% \times 100}$$

Los Ings. Agrs. R. García y J. García han propuesto la siguiente escala de dureza, aplicables a maderas secas al aire y medida sobre la sección transversal:

Maderas muy blandas	hasta 300 kg/cm ²
Maderas blandas	de 301 a 500 kg/cm ²
Maderas semiduras	de 501 a 700 kg/cm ²
Maderas duras	de 700 a 1000 kg/cm ²
Maderas muy duras	más de 1000 kg/cm ²

El método de Chalais- Meudon consiste en cargar la probeta mediante un cilindro de acero de 30 mm de diámetro, con una carga de 100 kg por cada centímetro de ancho de la probeta (Fig. N°25). Se mide la penetración “f” en mm y la dureza está dada por:

$$D_{ch} = \frac{1}{f} \quad \text{es decir la inversa de f en mm.}$$

A veces se mide el ancho “a” de la penetración y se calcula:

$$f = 15 - \sqrt{225 - \frac{a^2}{4}}$$

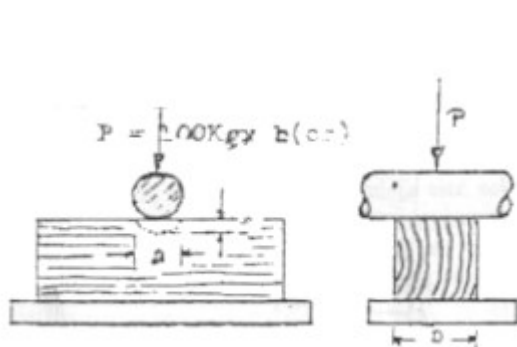


Figura N°25

Resistencia al corte

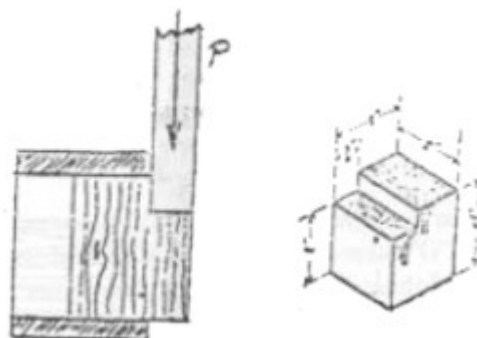


Figura N°26

La resistencia al corte de las maderas se mide en la dirección del grano que es la sollicitación que generalmente se produce en la práctica.

Generalmente en el ensayo de corte se originan tensiones complementarias de flexión, compresión, aplastamiento, etc., que se suman al esfuerzo de corte dando valores en general menores que si la sollicitación de corte fuera pura. Las probetas utilizadas en este ensayo, están indicadas en la Fig. N°26 así como el instrumental utilizado.

Se obtiene del ensayo la resistencia al corte que está dada por la siguiente expresión:

$$\sigma_{\text{corte}} = \frac{P_{\text{max}}}{A_o}$$

Siendo:

- A_o : la sección de rotura.

El ensayo puede realizarse sobre la sección tangencial (tangente a los anillos de crecimiento) o sobre la sección radial (normal a la anterior).

Resistencia al hendimiento

Este ensayo nos determina la capacidad que tiene la madera de resistir esfuerzos que tiendan a rajarla en la dirección de las fibras. En el caso de los encofrados de madera para hormigón armado, se produce un gran desperdicio de la madera si ésta no presenta una buena resistencia al hendimiento.

Las probetas utilizadas son del tipo indicado en la Fig. N°27 y mediante dispositivos adecuados se aplica la carga en las direcciones indicadas en la figura hasta la rotura de la pieza, determinándose:

$$\text{Hendimiento} = \frac{P_{\text{max}}}{A_o}$$

Siendo.

- A_o : la sección de rotura.

El ensayo se realiza generalmente en la sección radial tangencial siendo esta última en general mayor.

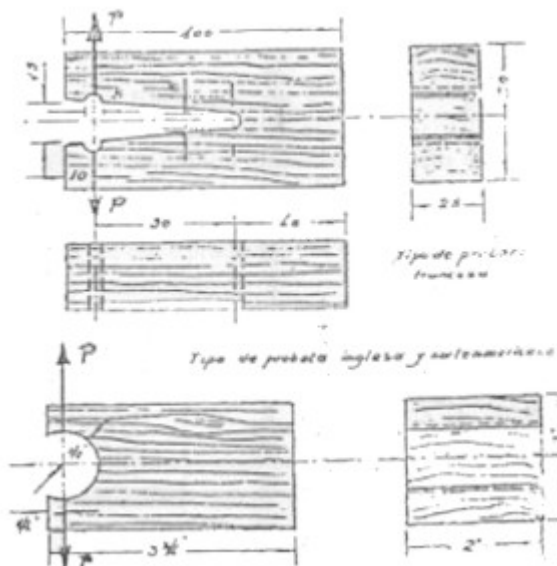


Figura N°27

Resistencia a la tracción paralela al grano

Los ensayos de tracción tanto paralelo como normal al grano, generalmente no se realizan por las siguientes razones:

1) Los valores obtenidos en los ensayos tienen una gran dispersión; esto se debe fundamentalmente a que cualquier defecto que tenga la probeta, aún imperceptible a simple vista, provocará una rotura prematura de la misma pues se trata de un material sumamente frágil a esta sollicitación.

2) Las probetas son de difícil realización por ser muy esbeltas en la zona calibrada y tener sus cabezas de grandes dimensiones.

3) Lo más probable es que la rotura se produzca fuera de la zona calibrada, generalmente se produce en una de las cabezas por el aplastamiento que sufre al tomarlas en las mordazas.

Por estos motivos y en base a experiencias de laboratorio se acepta que la resistencia a la tracción paralela al grano es de 1 a 2,5 la resistencia a la compresión paralela al grano y por lo tanto se adopta como tensión admisible o de trabajo a esta sollicitación de 1 a 2,25 veces la tensión admisible a la compresión paralela al grano.

La resistencia a la tracción paralela al grano será:

$$\sigma_t = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Siendo

- A_0 : la sección inicial de la probeta.

La gráfica “cargas-deformaciones” presenta la forma indicada en la Fig. N°23, determinándose además los siguientes valores:

Tensión al límite de proporcionalidad:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{A_0}$$

Módulo de elasticidad (rigidez) por tracción paralela al grano:

$$E_t = \frac{P_p}{\Delta_p} \times \frac{l_0}{A_0}$$

Posteriormente, como en todas las determinaciones anteriores, habrá que determinar la humedad y el peso específico de la probeta reduciéndose estos valores a los correspondientes a la humedad normal.

Resistencia a la tracción normal al grano

Aunque en este caso las probetas son de más fácil realización y no rompen en las mordazas, de todos modos existe una gran dispersión en los resultados, por lo cual este ensayo no es muy frecuente. Se determina solamente la resistencia a la tracción normal al grano:

$$\sigma_t = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Sin obtenerse la gráfica “carga-deformación”. El ensayo se realiza en la sección radial y tangencial.

Resistencia a la torsión

Dado que no es frecuente que la madera esté solicitada a esfuerzos de torsión, este ensayo no suele realizarse; es necesaria su realización si se quiere determinar el módulo de elasticidad transversal “G”. El ensayo se realiza tomando una probeta de sección circular entre dos mordazas y aplicándole un momento torsor hasta la rotura de la misma, determinándose:

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\max}}{J_p} r$$

Siendo:

- $M_{\max}$: el momento torsor de rotura
- J_p : el momento de inercia polar
- r : el radio de la probeta

$$\tau_p = \frac{M_p}{J_p} r$$

Siendo:

- M_p : el momento torsor hasta el límite de proporcionalidad

$$G = \frac{\tau_p \cdot l_0}{\gamma \cdot r}$$

Siendo:

- l_0 : la longitud de medida inicial
- γ : el ángulo de torsión al límite proporcional

La resistencia a la torsión correspondiente a un momento perpendicular al grano es mayor que la debida a un momento paralelo al mismo.

3. MADERA ASERRADA

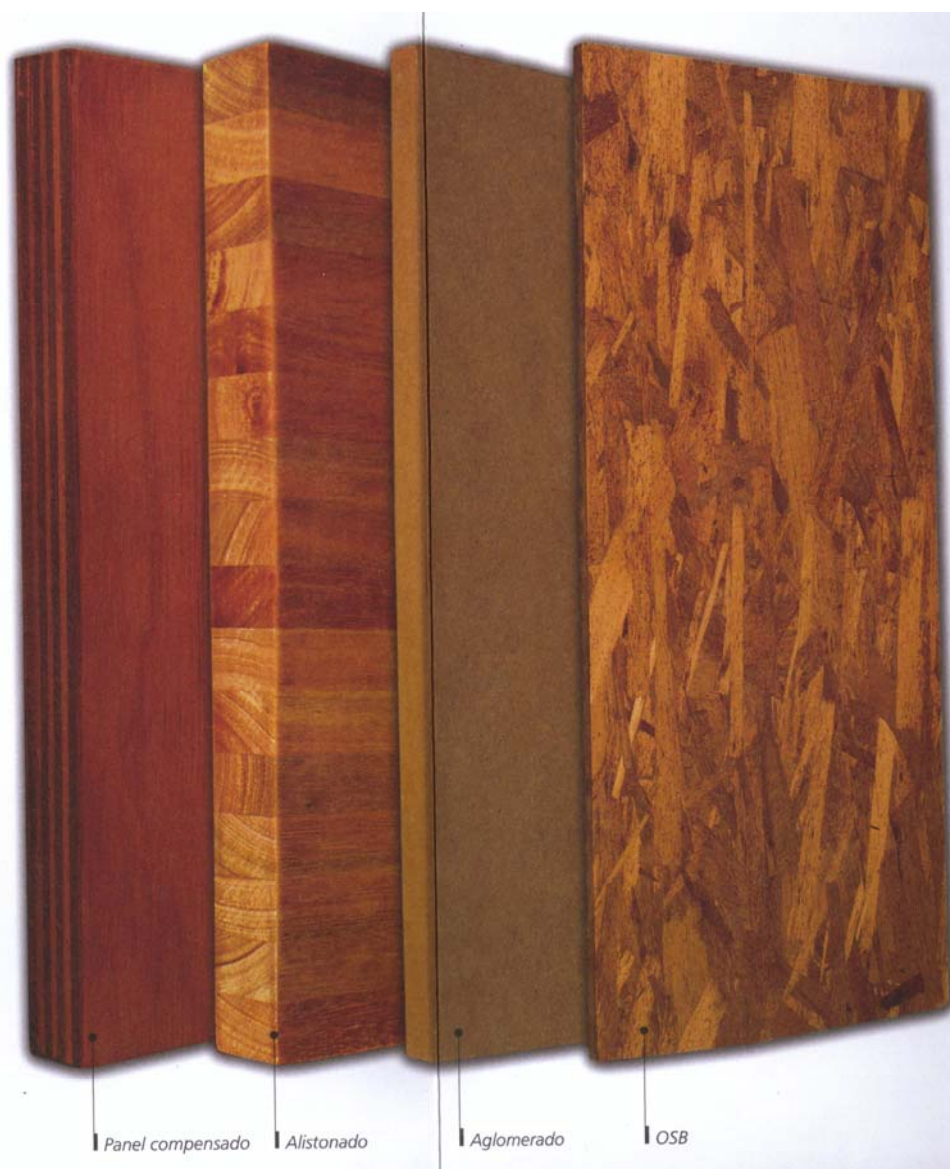
Formas comerciales

Las diversas formas en las cuales se comercializa la madera destinada a elementos constructivos son las siguientes:

- Rollizo: tronco sin ramas y corteza, como viene.
- Poste: rollizo pequeño de tronco delgado
- Viga: rollizo escuadrado
- Tirante y Tirantillo: $L > 3,00$ m, escuadría $> 3" \times 6"$
- Tablón: $e > 2"$, $b > 1'$.
- Tabla: $1/2" < e < 2"$, $b < 6"$
- Alfajías: las escuadrías más usuales son las siguientes:
 - o $1" \times 1 1/2"$
 - o $1" \times 2"$
 - o $1/2" \times 2"$
 - o $1/2" \times 3"$
 - o $1" \times 3"$
 - o $2" \times 3"$
- Listones: espesores y escuadrías menores a las de las alfajías, $L < 5,00$ m.

4. PRODUCTOS DERIVADOS DE LA MADERA DE APLICACIÓN EN CONSTRUCCIONES

- Enchapado: Recubrimiento de madera mala por otra buena (viruta)
- Terciado: Composición de un número impar de chapas delgadas de madera con cruce de fibras, los espesores varían entre 3 y 15 mm. También denominados paneles compensados. Las medidas de las chapas son las siguientes:
 - o 1.20×1.60
 - o 1.20×1.80
 - o 1.20×2.00
 - o 1.60×2.44
- Aglomerado: Fibras con parafina, urea formaldehído o melamina. Pueden ser hechos por compresión o por extrusión. Espesores de 8 a 22 mm. Medidas de las placas: 1.20×2.40 y $1,83 \times 3.66$.
- Madera laminada encolada: Tablas de espesor no mayor a $1 1/2"$ pegadas con colas de diversos tipos. Se pueden construir piezas de eje recto o curvo.



5. BIBLIOGRAFIA

- Timber Construction Manual. American Institute of Timber Construction, 4a. Edición. 1994.
- Maderas y Bosques Argentinos. Lucas Tortorielli.
- Manual de Maderas. Anatolio Ernitz. Librería y Editorial Alsina. 1961.
- Maderas. Apuntes del Centro de Estudiantes de Ingeniería La Línea Recta. Facultad de Ingeniería- Universidad de Buenos Aires 1988.
- La industria maderera. Nelson Brown - James Bethel. Editorial Limusa. 1975.
- Tecnología de la madera y del mueble. W. Nutsch. Editorial Reverté. 1992.
- La madera. Editorial Blume. 1978.
- Guía de insectos de interés forestal. Adolfo Luis Jimenez. Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería Dirección de Recursos Naturales Renovables. 1978.
- Wood Preservation by chemicals. Michal Czajnik. Polonia. 1970.
- Revista Formas para la Construcción No. 3. 1981.
- Revista Vivienda (números diversos).
- Fascículos coleccionables “Cubiertas con estructura de madera” Héctor Scerbo Edit. Cerro Negro - 2005-2006-2007