

V. Consideraciones técnicas de la madera.

V.1 Características mecánicas.

Cuando una estructura de madera está sometida a fuerzas externas, sin lugar a dudas se afectarán sus dimensiones y en consecuencia su forma y su tamaño. La madera posee propiedades mecánicas que determinan la capacidad para resistir dichas fuerzas. Los valores de estas propiedades se obtienen en el laboratorio sometiendo a la madera a pruebas de esfuerzos, utilizando probetas extraídas de la madera en estudio tanto en estado seco o verde, determinando los valores de los esfuerzos a los que la madera puede ser sometida. El esfuerzo que soporta un cuerpo en general, es llamado tensión o compresión unitaria.

La resistencia de la madera es muy variable dependiente del grado de humedad que tenga. Para obtener resultados confiables se necesitan probetas de madera con un 12% de humedad (estado seco) y con un 30% de humedad (estado verde), además hay que tomar en cuenta la dirección de las fibras en las que actúan los esfuerzos que está soportando, ya sea en forma paralela o perpendicular a las fibras. La densidad es otro factor que modifica estos resultados. En general para hacer un buen uso de la madera se debe tener en cuenta sus características anisotrópicas, ya que en las direcciones, tangencial y radial sus diferencias resultan ser mínimas mientras que en la dirección perpendicular y paralela a las fibras, si hay grandes diferencias, (ver página 7).

Propiedades mecánicas.

Las características resistentes de la madera varían según la dirección considerada, en general cualquiera que sea el tipo de esfuerzo la forma de la gráfica esfuerzo-deformación correspondiente sin importar la especie de madera que se trate tiene la forma de la gráfica 129.

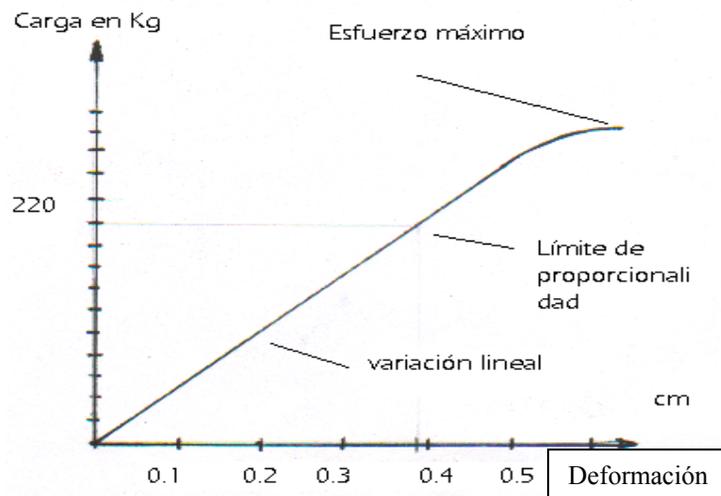


Figura 129. Gráfica, carga vs. deformación.

El límite elástico es la relación entre el esfuerzo y la unidad de superficie, donde la deformación va creciendo más rápido que la carga que se está aplicando. El esfuerzo requerido para solicitar el material hasta el límite elástico define el llamado límite de proporcionalidad, siendo éste la carga máxima a la que puede someterse el cuerpo sin que sufra deformaciones permanentes.

Una de las propiedades que ayuda a la madera a resistir las deformaciones provocadas por las fuerzas externas es la rigidez, cuya medida define al módulo de elasticidad, el cual se calcula como la razón entre el esfuerzo por unidad de superficie y la deformación por unidad de longitud.

Compresión paralela a la fibra.

Es la resistencia de la madera al someterse a cargas en dirección paralela a las fibras, se calcula en madera tanto en estado verde (Vv), como en estado seco (Pa), determinando la tensión de rotura, tensión al límite de proporcionalidad y el módulo de elasticidad, figura 130.

En pruebas de laboratorio se han obtenido resultados para un contenido de humedad del 10% a 12%, de 100 Kg/cm² a 1600 Kg/cm², dependiendo de la densidad de la especie. Para coníferas en México se han obtenido valores de 450 Kg/cm², con esfuerzos al límite de proporcionalidad del 75% del esfuerzo máximo, con deformaciones del 60%.

Las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Madera, página 62, señalan los diferentes valores para la resistencia en compresión y tensión paralela a la fibra, el módulo de elasticidad para maderas de coníferas y latí foliadas sin especificar la especie.

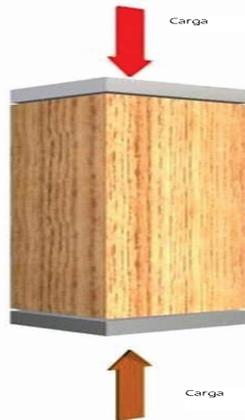


Figura130. Probeta de madera sometida a carga paralela a la fibra.

Compresión perpendicular a las fibras.

Es la resistencia de la madera cuando es sometida a una carga en dirección perpendicular a la fibra, aplicada en una cara radial. De esta forma se determina la tensión en el límite de proporcionalidad y la tensión máxima, figura 131.

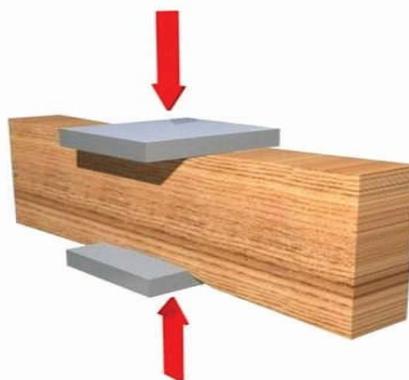


Figura131. Madera sometida a compresión perpendicular a las fibras.

Propiedades que alteran la resistencia de compresión de la madera.

- A medida que el contenido de humedad aumenta hasta un 30% (punto de saturación de la fibra) la resistencia a la compresión permanece constante.
- Si la humedad disminuye por abajo del punto de saturación de la fibra la resistencia aumenta.
- En este sentido (axial) es de quince a diecisiete veces más que la resistencia en dirección perpendicular a las fibras.
- La resistencia a la compresión perpendicular a las fibras, se relaciona directamente con la dureza y resistencia al corte.
- En las tablas de las NTC se encuentran valores que se obtuvieron en el laboratorio, a saber: el esfuerzo al momento de la ruptura, el esfuerzo al límite de proporcionalidad y el modulo de elasticidad.

Resistencia en flexión estática.

Se considera como la resistencia que surge cuando una viga tiene una carga puntual, aplicada al centro de su claro. De esta forma se determinan los esfuerzos relacionados con el momento (tensión) de rotura, tensión al límite de proporcionalidad y el modulo de elasticidad, figura 132.

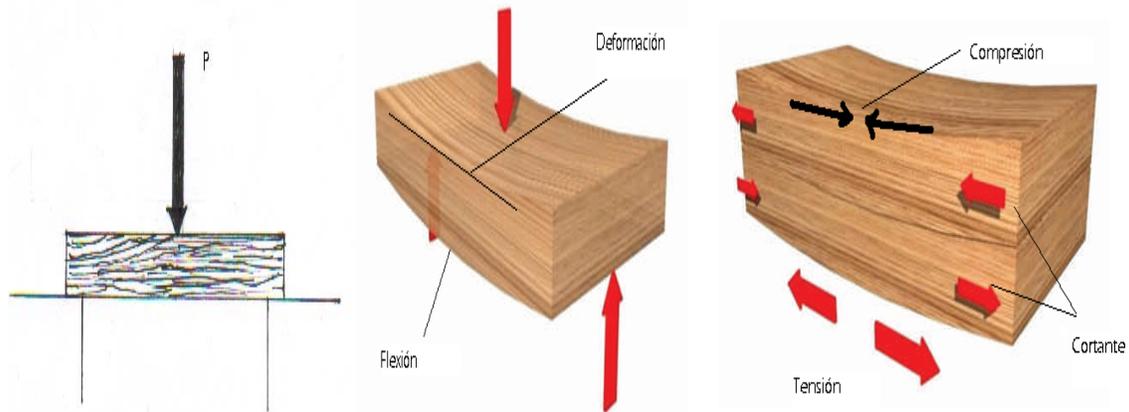


Figura 132. Efectos de la flexión estática, debido a una carga puntual.

Valores en resistencia para la flexión estática en (Kg / cm^2).

- Esfuerzo al momento de la ruptura, éste representa la medida promedio del esfuerzo cuando las fibras estén sujetas a falla, si está trabajando como viga.
- Esfuerzo al límite de proporcionalidad, se presenta cuando la madera está sujeta a un esfuerzo y éste ha llegado a la carga máxima. Si la carga va disminuyendo y la probeta se sigue deformando, quiere decir que en flexión estática la fractura total en la madera no se presenta instantáneamente sino que se desarrolla conforme pasa el tiempo.
- Módulo de elasticidad, es una medida de la rigidez de la madera, significa que si se tiene un módulo de elasticidad alto, se tiene un material rígido esta situación está representada por la pendiente de la recta en la gráfica de la figura 127; además significaría que podemos alargar una pieza unitaria al doble de su longitud sin que se rebase el límite de proporcionalidad. En una prueba a flexión el módulo de elasticidad no se debe tomar como la verdadera ya que los efectos de cortante y flexión se presentan simultáneamente.

- Trabajo hasta el límite de proporcionalidad, Las pruebas de laboratorio sobre una probeta de madera sometida a flexión genera datos cuando se llega hasta el límite de proporcionalidad, indicando cuando ocurre la ruptura total y la resistencia relativa de la madera al choque, también indica el choque o energía que puede absorber la madera, cuando a sufrido deformaciones pequeñas o grandes deformaciones siendo estas del tipo permanente, el trabajo total que realiza la pieza, y se obtiene la resistencia al choque hasta que la pieza sufre una fractura total.

Las deformaciones se consideran según los siguientes casos dependiendo de la longitud de la pieza: $L/300$ y $L/200$.

Las piezas pueden estar sometidas a diferentes tipos de cargas:

- cargas distribuidas
- cargas puntuales, y ,
- dos cargas puntuales sobre una pieza.

Resistencia de la madera al esfuerzo cortante.

Es una medida de la capacidad que tiene una pieza de madera para resistir fuerzas, que tienden a deslizar una parte de la madera sobre la otra, figura 133.

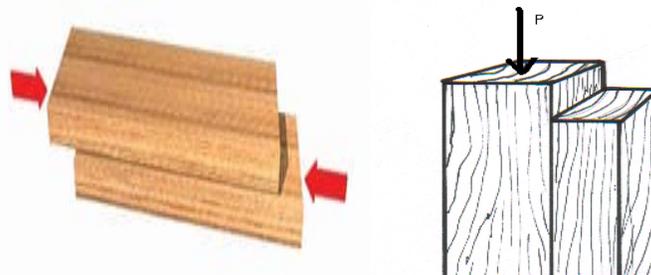


Figura133. Resistencia de la madera al esfuerzo cortante, y plano paralelo a las fibras.

Cuando el esfuerzo cortante se presenta paralelo a las fibras, produce un plano de falla paralelo a ellas, tangente a los anillos de crecimiento; mientras que si la sollicitación es paralela a las fibras se produce un plano de falla perpendicular a los anillos de crecimiento.

Tensión paralela a las fibras.

Se considera como la resistencia de la madera cuando se somete a una carga paralela a las fibras. De ésta forma, una pieza de madera puede ser sollicitada por una sola cara a esfuerzos de tensión perpendiculares a las fibras, dependiendo del plano con respecto a los anillos de crecimiento. La tensión puede estar en forma perpendicular tangencial o bien perpendicular radial, figura 134.

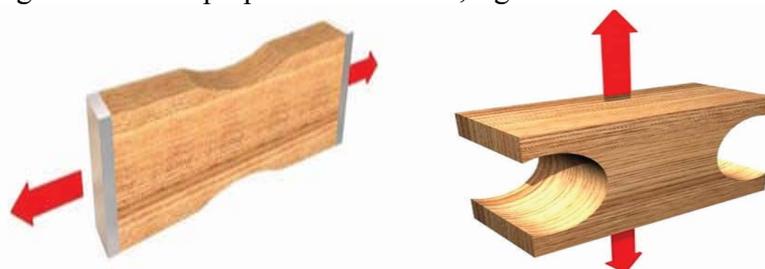


Figura 134. Tensión en la madera paralela a las fibras o perpendicular a ellas.

La rigidez.

Cuando la madera se opone a esfuerzos a los que esté solicitada tratando de mantener su forma y tamaño original se dice que es muy rígida, mientras las que se doblan muy fácilmente se dice que tiene poca rigidez es decir son flexibles. La rigidez de la madera también se llama módulo de elasticidad, y es válida para la porción recta de la gráfica de la figura 127.

$$E = \frac{f}{\epsilon} \quad ;$$

donde:

E = módulo de elasticidad en kg/cm²

f = esfuerzo en kg/cm²

ε = deformación unitaria adimensional

Modulo de Elasticidad (E).

Como las deformaciones a compresión y a tensión son diferentes por la anisotropía del material se hace difícil su determinación, además influye mucho en este valor el tipo de especie, la dirección del esfuerzo y la duración de la carga.

Algunas normas extranjeras dan los siguientes valores:

- en dirección axialE = 100 000 kg/cm²
- en dirección transversal.....E = 5 000 Kg/cm²

Deformación unitaria.

Al aplicar una fuerza sobre la madera esta empezará a deformarse y a cambiar sus dimensiones originales, este cambio se llama deformación unitaria (ε) se le define como el cambio que sufrió entre sus dimensiones originales.

$$\epsilon = \Delta l / l$$

donde:

ε = deformación unitaria

Δl = deformación absoluta en cm

l = dimensión original en cm

En las tablas 25 y 26 se muestran los resultados de la pruebas que se hicieron a probetas de maderas mexicanas libres de defectos en estado verde, las propiedades mecánicas consideradas fueron: flexión estática (módulo de ruptura y módulo de elasticidad), compresión paralela a la fibra (esfuerzo máximo), compresión perpendicular a la fibra, cortante paralelo a la fibra, dureza (janka), obtenidos mediante el criterio de la densidad relativa, clasificando a la madera en cinco grupos: muy alto, alto, mediano, bajo, muy bajo.

La mayoría de las pruebas para maderas mexicanas se hacen en condición verde, no hay resultados para madera en condición seca. La clasificación permite hacer comparaciones entre las diferentes especies de las maderas, los análisis se hicieron bajo parámetros estadísticos.

Valores	Flexión		Compresión		Cortante	Dureza	
	Módulo de ruptura [Kg /cm ²]	Módulo de elasticidad [Kg /cm ²]	Paralela Esfuerzo máximo [Kg /cm ²]	Perpendicular. Esfuerzo límite de proporcionalidad [Kg /cm ²]		Paralelo Esfuerzo máximo [Kg /cm ²]	Lateral [Kg / cm ²]
Mínimo	224	20,240	109	15	31	98	125
Máximo	1540	187,560	703	201	137	1223	1367
Promedio	697	106,080	331	63	83	438	480
Desviación estándar	285	34,690	135	47	26	255	262
Coefficiente variación	30	33	41	75	31	58	55

Tabla 25. Parámetros estadísticos de las propiedades mecánicas de maderas mexicanas en condición verde.

Concepto	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Flexión					
Modulo de Ruptura Kg /cm ²	< 290	291-500	501-650	651-900	<900
Modulo de Elasticidad Kg /cm ² (1000)	<55	56-80	81-100	100-125	>125
Compresión					
Paralela (Esfuerzo máximo) Kg /cm ²	<160	161-250	251-310	311-400	>400
Perpendicular (Esfuerzo límite de proporcional) Kg /cm ²	<55	16-35	36-50	51-85	>85
Cortante					
Esfuerzo máximo Kg /cm ²	>45	46-65	66-85	86-110	>110
Dureza					
Lateral kg	<130	131-275	276-400	401-620	>620
Extremos kg	<150	151-300	301-430	431-650	>650

Tabla 26. Clasificación de las características mecánicas de maderas mexicanas, libres de defectos en condición verde.

V.2 Proceso de secado.

Cuando un árbol es derribado, éste contiene una gran cantidad de agua que debe ser removida hasta un grado conveniente, por lo que el secado de la madera es un proceso que se justifica según el uso que se le vaya a dar una vez aserrada y convertida en tablas, tablones, vigas, chapa u otros elementos.

Factores que afectan el secado.

- La especie.
- La densidad. El tiempo de secado de la madera depende de su densidad, por lo que si es muy densa tendrá un mayor tiempo de secado y si es poco densa el tiempo será menor.
- El grosor. El tiempo necesario para secar una pieza de madera es directamente proporcional al cuadrado del grosor de la pieza.
- El clima. En caso de que la humedad relativa del aire sea alta no se recomienda un secado de la madera al aire libre.

Ventajas de secar la madera.

- Estabilidad dimensional. La madera se encoge ó se hincha según el contenido de humedad del medio ambiente; el secado reduce estas variaciones.
- Aumenta su resistencia contra el ataque de hongos y otros agentes degradadores de la madera.
- Reduce su peso facilitando, manejo y traslado.
- Mejora la absorción de preservadores logrando una mayor penetración.
- Mejora la resistencia y duración de barnices, pinturas, repelentes y adhesivos.
- Mejora las uniones, ensambles o cortes especiales, en los que hay que aplicar algún pegamento o adhesivo.
- La madera seca aumenta su resistencia, mejorando sus propiedades mecánicas y otras como: material aislante, térmico, acústico y eléctrico.
- Aumenta la resistencia a la extracción de clavos y tornillos.
- Mejora su trabajabilidad al cortarla y pulirla.

En la figura 135, se muestra como a medida que la madera disminuye su contenido de humedad su resistencia va creciendo.

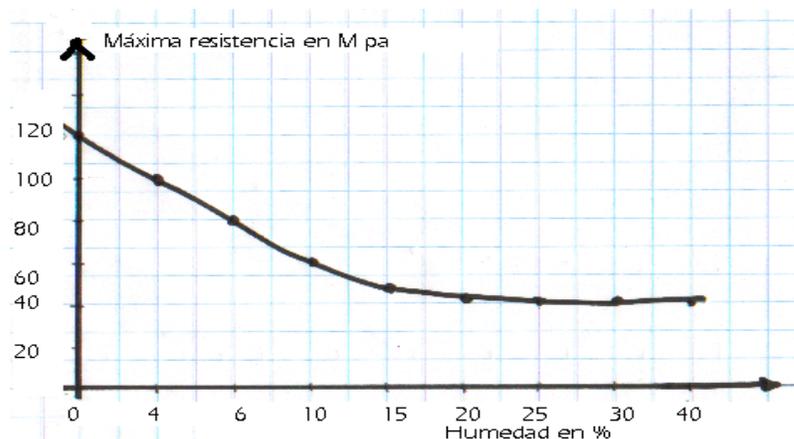


Figura 135. Variación de la resistencia con respecto al contenido de humedad.

Hay dos métodos fundamentales para secar la madera :

- al aire libre, y ,
- el secado en estufa.

Secado al aire libre.

La madera se coloca en patios o terrenos, de preferencia cerca del aserradero, debiendo cuidar que en su perímetro no haya árboles, además de ser un lugar soleado. Es recomendable que esté pavimentado o que de alguna forma se evite estar directamente en contacto con el suelo y la humedad. La madera se apilará de tal forma que entre cada tabla pueda circular el aire, este método es de bajo costo. Se alcanzan porcentajes del 15% al 23 % de humedad, dependiendo de la época del año y de la humedad relativa del aire. Figuras 136 y 137.



Figura 136. Madera colocada en patios para que se seque al aire libre.

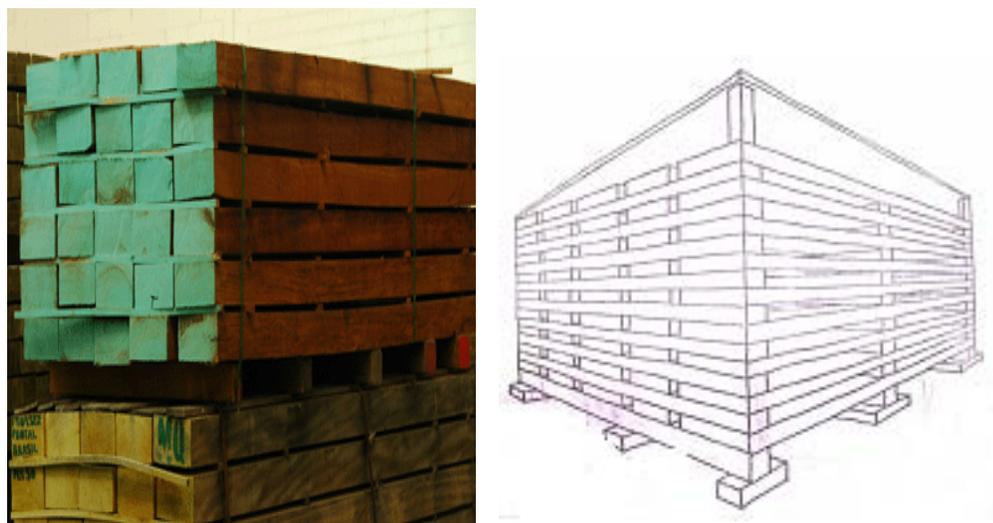


Figura137. Madera apilada, ventilada con separadores.

Es recomendable apilar la madera y que quede en forma plana en su parte superior, con el propósito de evitar el surgimiento de grietas, torceduras u otros defectos. Una de las ventajas de la madera proveniente de las coníferas (pino, cedro blanco, etc.), es que puede secarse rápidamente sin que ello provoque el surgimiento de defectos. En las latí foliadas (tzalam, fresno, etc.), se recomienda que en el proceso de secado no se mezclen especies diferentes y si es posible colocar madera de un solo grosor. El tiempo de secado al aire libre puede variar de unos días hasta un año, por lo que se recomienda combinar el secado al aire libre y el secado en estufa.

Secado en estufa convencional.

Este método es mucho más rápido. Consiste en una cámara especial (hornos) de grandes dimensiones, donde en forma longitudinal se colocan las pilas de madera es el más usado en los aserraderos por el manejo de las piezas. En este proceso las variables tales como la presión, humedad requerida y temperatura (de 80 a 90° C) se controlan, provocando que la madera presente colores más vivos y parejos.

El secado en estufa convencional requiere del control de la temperatura y de la humedad relativa del aire. Es importante que a medida que la madera se va secando, la velocidad con la que pasa por la cámara disminuya hasta que la humedad en la madera sea menor al punto de saturación de la fibra, para que la madera aumente su resistencia. En este momento se puede acelerar el proceso aumentando la temperatura y disminuyendo la humedad relativa del aire.

De no tener control sobre estas dos variables, pueden aparecer esfuerzos de contracción apareciendo los llamados defectos del secado.

Hay dos tipos de estufas convencionales.

- La estufa de secado continuo.
- La estufa de compartimento.

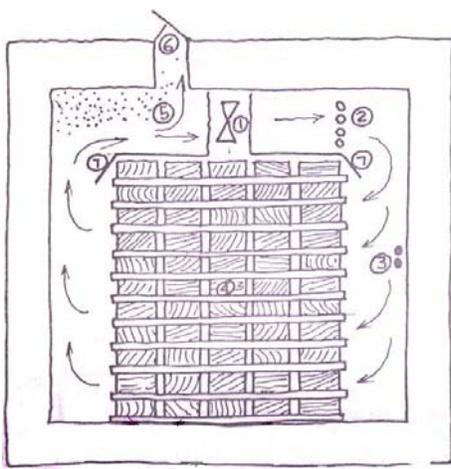


Figura 138. Estufa convencional.

El secado de la madera también puede hacerse en:

- en estufa solar, y ,
- por deshumidificador.

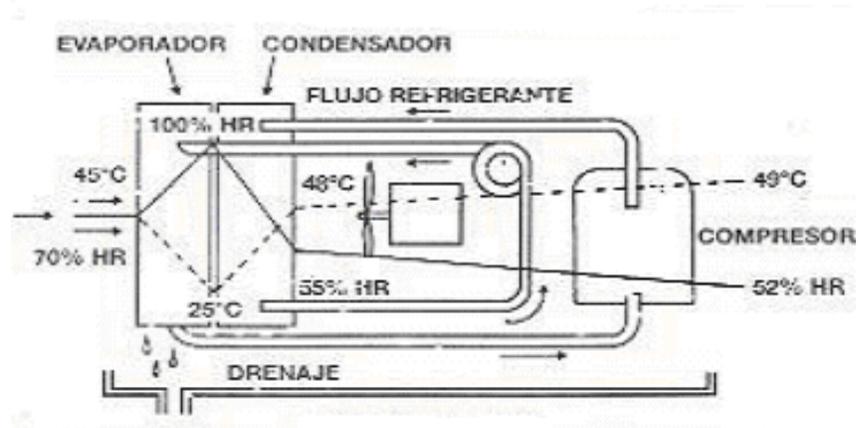


Figura 139. Estufa con deshumidificador.

Los defectos del secado son generados cuando en el interior de la estructura de la madera se producen tensiones.

Defectos del secado.

- Acanaladura.
- Grietas y hendiduras.
- Encorvadura.
- Torcedura
- Colapso , y
- Apanalamiento.

Acanaladura. Acanaladura o abarquillado es un alabeo en forma de canal que se produce transversalmente a las fibras, figura 140.



Figura140. Acanaladura y grietas en la madera.

Grietas, y hendiduras.

Este defecto aparece en el secado de la madera se produce por efecto de la contracción a lo largo y transversalmente a las fibras, las grietas son separaciones de las fibras de lado a lado de la madera, mientras que las hendiduras no pasan al otro lado de la pieza de madera.

Encorvadura.

La encorvadura o curvatura lateral es un alabeo de canto en el sentido de las fibras, de tal manera que la pieza se distorsiona, manteniéndose la pieza plana mientras que sus cantos se desvían de una línea recta entre un extremo y otro, figura 141.

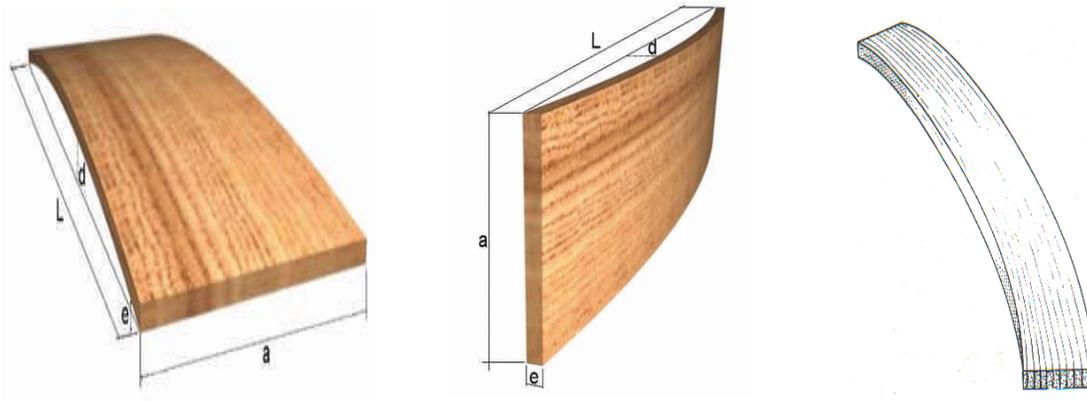


Figura 141. Arqueadura y encorvadura.

Torcedura o revirado.

Es un alabeo producto del secado de la madera donde una, dos o más aristas no están en el mismo plano, figura 142.

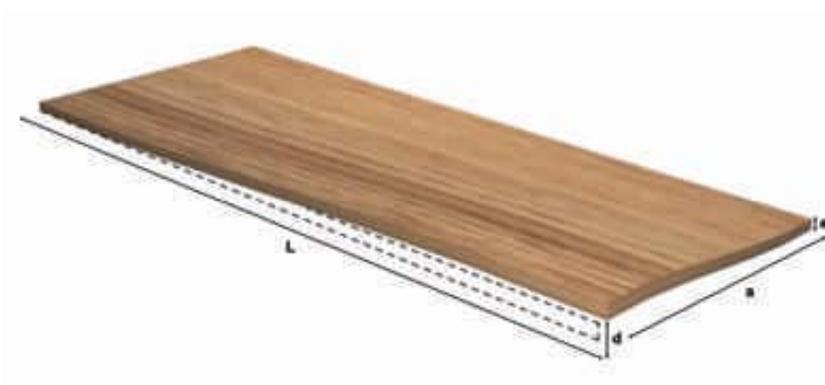


Figura 142. Torcedura o revirado de la madera.

Colapso.

Este defecto consiste en la reducción de las dimensiones de la madera, que se presenta, en el proceso del secado por arriba del punto de saturación de las fibras (30%), se presenta al colapsarse las cavidades celulares, figura 143.

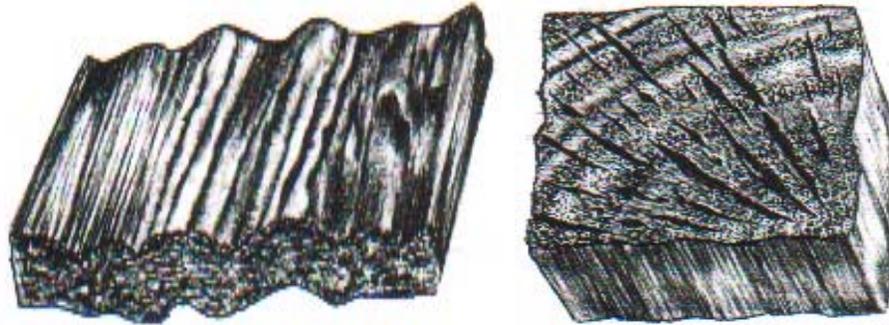


Figura143. Colapso y apanalamiento.

Apanalamiento.

Surge cuando la estructura interna tiene un alto contenido de humedad y la madera se somete a un alto grado de temperatura, se forman cavidades que se forman por la separación perpendicular de las fibras.

Otros métodos de secado.

- Químico.
- Con solventes.
- Al vacío.
- Corriente eléctrica de alta frecuencia.
- A altas temperaturas en estufas convencionales.
- Por rayos infrarrojos.

Estos métodos resultan ser apropiados en diferentes casos dependiendo de la especie de madera y de su permeabilidad, así como el costo de los equipos y de la cantidad de madera a secar.

Secado químico.

Con este método a las tablas aserradas se les rocía sal común o urea. Se sumerge en una solución de estas sustancias para después ser apiladas y compactadas sin dejar espacios entre ellas y se dejan así por varios días para que las sales penetren en la madera. Esta penetración dependerá de que tan permeable es la madera. Para bajar los contenidos de agua la madera se continua secando en alguna estufa convencional. Una de las ventajas al usar este tipo de sales, es que reduce considerablemente los agrietamientos superficiales por lo que se reducen las contracciones mientras que las dimensiones de la pieza no varían. Es importante incorporar sales de cromato para evitar la corrosión provocada por la sal en contacto con algunos metales que están en la madera.

Inconvenientes del método.

- La urea decolora la madera.
- La madera una vez seca adsorbe más humedad de la atmósfera.
- El costo del secado es mayor.

Secado con solventes.

Este método al igual que el anterior es costoso pero altamente efectivo para extraer las resinas y extractivos de algunas maderas como la del pino. La madera es calentada por medio de vapores de solventes orgánicos como la acetona. Ésta penetra en la madera y remueve el agua principalmente de la albura por ser más permeable, en el duramen es más difícil por ser menos permeable. Este método puede ser atractivo económicamente si se recuperan los extractivos y resinas.

Secado con líquidos oleosos.

Se utilizan los vapores de sustancias orgánicas por ser excelentes conductores del calor. Este solvente debe estar a una temperatura mayor a 100 °C; el método es recomendable cuando la madera va a ser impregnada de preservadores como la creosota. Esta madera generalmente es usada para postes telefónicos o para durmientes de ferrocarril, debido a que el solvente deja la superficie de la madera aceitosa. Internamente queda con esfuerzos, acción que se puede corregir al meter la madera en una estufa convencional, lo que aumenta su costo.

Secado al vacío.

En este método, la madera es introducida en un cilindro como el usado para aplicarle un preservador. El cilindro es calentado con vapor de agua a temperaturas mayores a 100 °C, después se extrae de la cámara, el agua y el vapor, induciéndose un vacío. En este momento surge agua y vapor de la madera la cual es extraída; este proceso termina por la disminución de la temperatura. Para llegar a niveles menores de contenido de agua, se tiene que repetir este ciclo varias veces.

Secado con prensa.

Este método consiste en usar una prensa con placas metálicas que son calentadas a temperaturas que van de 150 °C a 170 °C. Se aplica presión a la madera con las placas de unos 120 Kg/cm², se usa principalmente para maderas muy permeables. Una característica importante es que se reducen notablemente los tiempos. Para madera muy impermeable se intercalan placas perforadas que permiten la salida del vapor de agua y con el uso de placas se reducen considerablemente los alabeos. En cuanto al ancho casi no hay variación por lo que es ideal cuando se prepara duela para piso.

Secado con corriente eléctrica de alta frecuencia.

Este método es costoso es usado cuando se requiere madera de alta calidad y valor, en este se aprovechan las características dieléctricas de la madera al aplicarle energía eléctrica con una frecuencia alta, de aproximadamente un millón de ciclos por segundo. La rápida agitación de las moléculas polares provoca un alto calentamiento en toda la masa de la madera, por lo que se deduce que no importa el grueso de esta. La madera se coloca en una banda continua, que tiene electrodos de alta radio frecuencia el equipo debe contar con un sistema para eliminar el vapor de agua, al secar la madera se origina grandes contracciones, la capacidad giroscópica se reduce y queda completamente esterilizada.

Secado a altas temperaturas en estufas convencionales.

En algunos casos, una estufa convencional no sobrepasa los 90 °C. Cuando se utilizan temperaturas mayores a 120 °C no siempre es lo más adecuado, ya que las características de la madera son tan variables, tanto que en algunas se puede utilizar y en otras no, ya que se corre el riesgo de que la madera sufra agrietamientos, colapsos, etc. Cuando se utilizan temperaturas altas es preferible que sea madera de coníferas por su alta permeabilidad, mientras que su uso en las latí foliadas es limitado a las especies

permeables. Con altas temperaturas quedan esfuerzos internos que son relajados aplicando vapor a temperaturas menores a las usadas durante el secado. Si al final queda sobre la superficie resina, ésta se puede remover con un ligero cepillado. También la madera puede disminuir sus propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad y el esfuerzo de rotura a la flexión.

Secado por rayos infrarrojos.

Con este método la madera se somete a la acción de rayos infrarrojos. De esta forma se genera calor de manera uniforme, evitando así los defectos del secado como la aparición de grietas. El tiempo de secado se disminuye, ya que la madera llega a secarse hasta dos centímetros por hora del grueso de la madera.