

**DESCRIPCIONES DE LAS PROPIEDADES
FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA**

TERESA MARÍA SUIREZS

GILSON BERGER

2009



EDITORIAL UNIVERSITARIA DE MISIONES

San Luis 1870

Posadas - Misiones – Tel-Fax: (03752) 428601

Correos electrónicos:

edunam-admini@arnetbiz.com.ar

edunam-direccion@arnetbiz.com.ar

edunam-produccion@arnetbiz.com.ar

edunam-ventas@arnetbiz.com.ar

Colección: Cuaderno de Cátedra

Coordinación de la edición: Claudio Oscar Zalazar

Armado de interiores: Amelia E. Morgenstern

Corrección: Amelia E. Morgenstern

ISBN 978-950-579-154-5

Impreso en Argentina

©Editorial Universitaria

Suirezs, Teresa María, Gilson Berger
Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. 1a ed. Posadas:
EdUNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones, 2010.
58 p.; 30x21 cm.
ISBN 978-950-579-154-5
1. Maderas. I. Título
CDD 620.12

Fecha de catalogación: 23/03/2010

ÍNDICE

Introducción.....	5
Definiciones.....	5
Cortes o planos considerados para estudiarla.....	6
Propiedades.....	7
Toma de muestras para determinar las propiedades.....	8
Propiedades físicas.....	13
Peso específico.....	13
Humedad.....	20
Sorción de la madera.....	23
Hinchamiento y contracción.....	26
Determinación de contracciones e hinchamientos.....	27
Anisotropía del hinchamiento y de la contracción.....	28
Causas de la anisotropía.....	29
Propiedades térmicas.....	32
Propiedades acústicas.....	34
Propiedades eléctricas.....	34
Propiedades de rozamiento en la madera.....	34
Propiedades mecánicas.....	35
Propiedades elásticas.....	37
Flexión estática.....	39
Comprensión paralela a las fibras.....	42
Resistencia al corte o cizallamiento paralelo a las fibras.....	44
Resistencia a la tracción.....	47
Resistencia al clivaje o rajadura, hendimiento.....	48
Propiedades de dureza Janka.....	50
Resistencia a la torsión.....	52
Propiedades de desgaste.....	53
Resistencia dinámica.....	53
Tensión admisible.....	53
Bibliografía.....	56

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA

INTRODUCCIÓN

Haciendo un análisis profundo sobre las propiedades de la madera puede distinguirse entre propiedades científicas y tecnológicas. Las propiedades científicas nos permiten obtener valores que luego son aplicados para definir las características de las especies. Las propiedades tecnológicas tienen la finalidad de predecir el comportamiento de la madera frente a un determinado uso (cada madera tiene diferentes cualidades y cada uso tiene sus exigencias).

La madera es un material orgánico que tiene diferentes aplicaciones, cada especie presenta sus propias características, razón por la cual es utilizada para distintos fines, según sus propiedades físicas y mecánicas.

Así como cada especie tiene distinto comportamiento en sus propiedades, se ha comprobado, a través de investigaciones, que una misma especie varía sus propiedades según las zonas geográficas y climas donde se desarrolla.

Definiciones:

La madera es un material de estructura compleja y de carácter anisótropo, que forma un tejido leñoso, fisiológicamente inactivo (IRAM N° 9502).

La madera es una sustancia orgánica vegetal más o menos dura, compacta y fibrosa que se extrae de los árboles y con la cual el hombre fabrica los más variados objetos para la vivienda y el uso diario (Galante, J. 1981).

Desde el punto de vista de la física la madera es un material:

- Orgánico
- Heterogéneo
- Higroscópico
- Anisótropo
- Poroso

Orgánico: su principal componente es el Carbono (C) con aproximadamente el 50%; Hidrógeno (H) 6%; Oxígeno (O) 43-44%; Nitrógeno (N) 0.1% y otros elementos minerales.

Heterogéneo: contiene células de distintas formas y funciones (Conducción, transformación de productos, almacenamiento y sostén). Presenta una gran variación en su estructura, encontrándose maderas con densidades de 0.15 a 1.4 gr/cm³ brindándonos variadas aplicaciones.

Higroscópico: es un material capaz de absorber humedad del ambiente.

Poroso: las maderas tienen espacios libres, se deben a los lúmenes de las células y a los espacios intercelulares.

Anisotropía: distinto comportamiento de la madera según las direcciones *Axial*, *Radial* y *Tangencial*.

Cortes o planos considerados para estudiarla

Básicamente se encuentran tres planos del material leñoso para ser estudiados, plano transversal, es decir, normal al eje del tronco; Radial, determinado por el eje del tronco y un diámetro; y tangencial, paralelo al eje del tronco y que pasa por una de las cuerdas de la circunferencia del fuste. (Figura 1).

Las probetas destinadas a ser estudiadas deben tener un sentido longitudinal o axial (paralelo al eje de crecimiento del árbol). Sentido tangencial (coincidente con la sección tangencial). Sentido radial (coincidente con la sección radial).

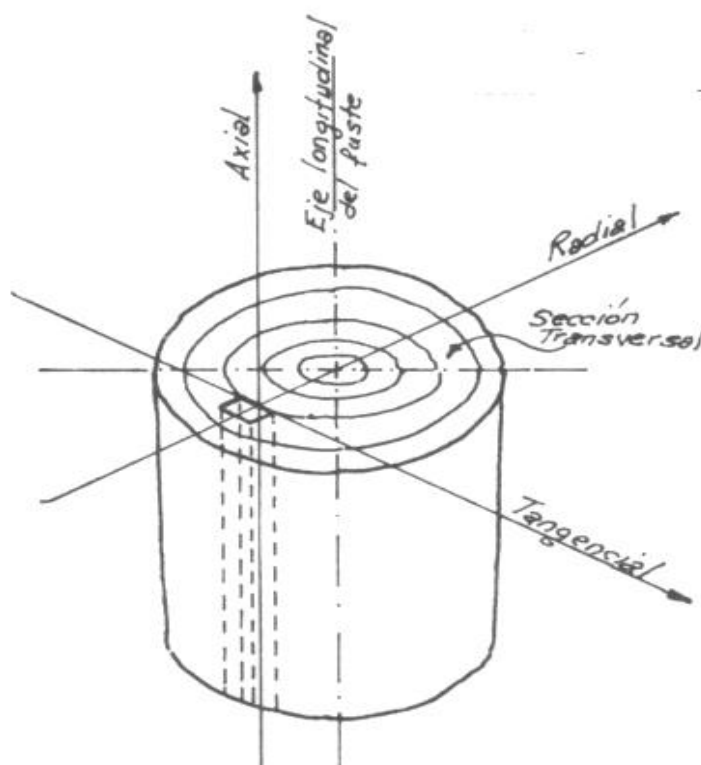


Figura 1. Ejes o sentidos que son considerados en la elaboración de las probetas.

1. Sentido tangencial
2. Sentido axial
3. Eje axial o longitudinal del fuste
4. Sección transversal
5. Sentido radial
6. Dirección del radio

Propiedades científicas y Propiedades tecnológicas

Propiedades científicas

Nos permiten obtener valores que luego son aplicados para definir las características de las especies.

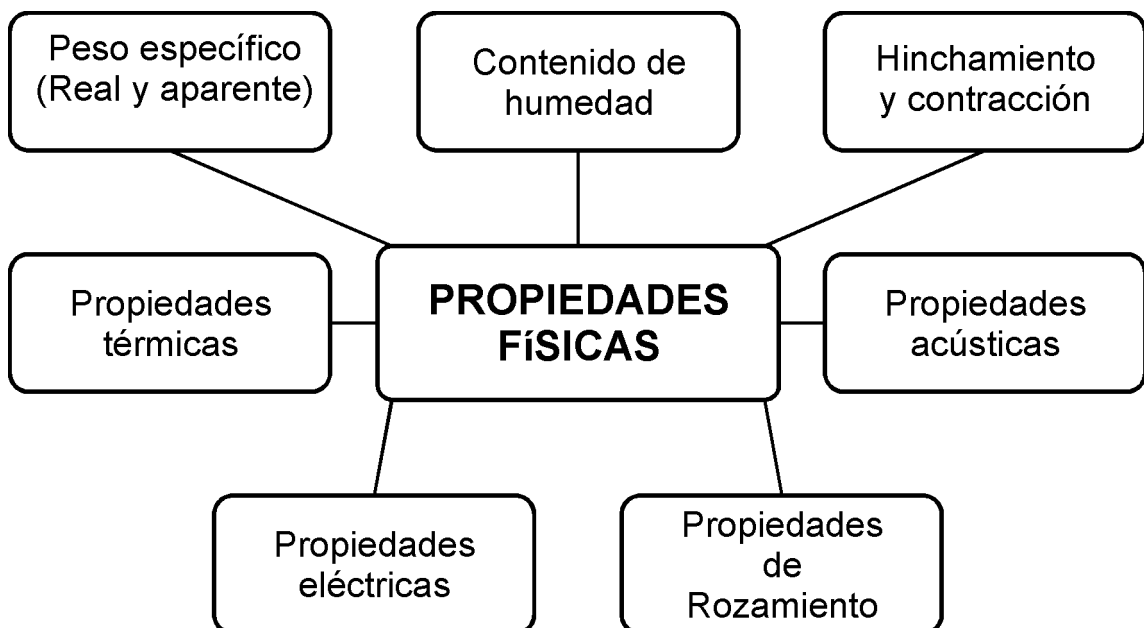
Propiedades tecnológicas

Prevé el comportamiento de las maderas frente a un determinado uso.

PROPIEDADES



PROPIEDADES FÍSICAS



Finalidades del estudio de las propiedades

- Obtener información de las diferentes características de la madera, para poder compararlas y definir sus usos.
- Determinar las resistencias con el fin de fijar las tensiones admisibles que se emplean en los cálculos de las estructuras y clasificar por resistencias.
- Determinar la calidad de las maderas, que pueden dar lugar a nuevas aplicaciones o investigaciones, posibilitando un aprovechamiento más racional de las mismas y obtener un mayor valor agregado.
- Estudiar la influencia de los factores sobre las propiedades de las maderas y obtener relaciones que puedan utilizarse técnicamente.

Toma de muestras para determinar las propiedades

Generalidades

Las propiedades físicas y mecánicas de una madera, se determinan en base a un valor medio. Para lograr un valor exacto se deberían estudiar todos los árboles de la especie, esto no es posible, pero con el auxilio de la estadística se logran valores medios de suficiente exactitud en los ensayos, reduciendo así los costos de investigación.

La madera presenta variaciones en sus propiedades físicas y mecánicas entre árboles de la misma especie y aun en el mismo árbol. Por ejemplo, en un mismo ejemplar ocurre gran variabilidad de acuerdo a la altura del fuste donde se toma la muestra y la profundidad desde la corteza hacia adentro.

R. Pearson y Williams (1958) han demostrado que las variaciones entre los árboles son más significativas que la variación dentro del mismo. Por lo tanto, la precisión será mayor con respecto a los valores de la media, si se toman más árboles de diferentes sitios y menos muestras por árbol.

Para obtener resultados sin riesgos y permitir el cálculo del error de estimación de las medias muestrales, el muestreo de las piezas de ensayos debe ser al azar.

El tamaño de la muestra depende de la variación de las propiedades y de la precisión deseada para estimar las medias y, además, relacionado con los costos de la selección de un árbol y la preparación y ensayos de cada probeta.

Cantidad de árboles a seleccionar

La cantidad de árboles a seleccionar dependerá del grado de precisión que se desee lograr en los diferentes ensayos.

Se recomienda trabajar con una probabilidad estadística del 95%.

- Precisión del 15% del valor medio: 5-6 árboles. 2-3 probetas de cada árbol para cada uno de los ensayos.
- Precisión del 10%: 10-12 árboles
- Precisión del 5%: 20-30 árboles

Para determinar el número de probetas es necesario conocer la variación de las propiedades dentro de un árbol y entre árboles de la misma especie.

$$n = \frac{t^2 (CV)^2}{R^2}$$

Siendo:

n: Números de muestra

t: t de Student de tabla

CV: Coeficiente de variación

R: Error del intervalo de confianza

(CV: 16% para latifoliadas subtropicales)

Para una especie nueva se debe realizar un ensayo preliminar. Muestra piloto

Métodos para la selección de las muestras de ensayo:

1. De playas industriales

Planchada

Playa de acopio de rollos

Playa de acopio de madera aserrada

2. De una masa forestal

Extracción de árboles vivos.

Etapas para la obtención de probetas para ensayos físicos y mecánicos.

1. Definición de la población.

Identificación de las o la especie.

Determinación de la edad.

Inventario. Determinación del Dap. Medio y volumen de madera por unidad de superficie.

2. Selección de la Zona, Sector.

3. Selección de los árboles (Dap. Medio)

Marcar el norte.

Registrar el N° del árbol.

4. Selección de las trozas.

Identificar cada troza con los siguientes datos:

N° del árbol

Nombre de la troza

Puntos cardinales

Registrar en planillas

5. Selección de las viguetas dentro de la troza.

6. Obtención de las probetas dentro de las viguetas.
Dibujar las probetas
Cortar las probetas

Resumiendo:

1. Definición de la población.
2. Selección de la zona, sector o bloque.
3. Selección de los árboles.
4. Selección de las trozas.
5. Selección de las viguetas dentro de la troza.
6. Obtención de las probetas dentro de las viguetas.

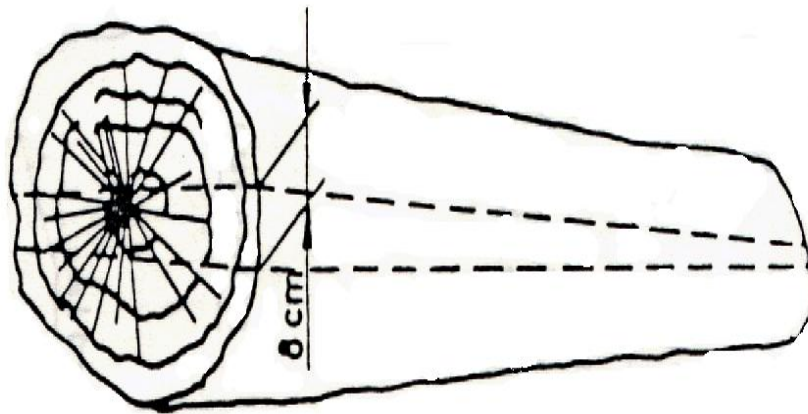
Trozas con viguetas marcadas



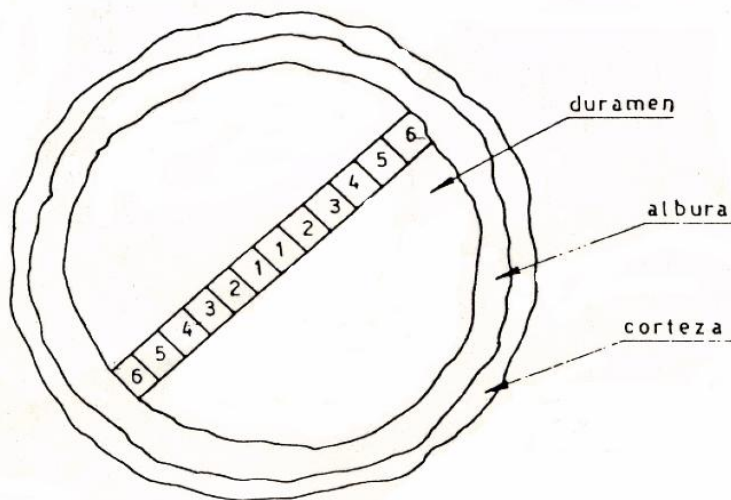
Viguetas para la elaboración de probetas.



Troza marcada para obtener un tablón de 8 cm de espesor (IRAM 9523).



Troza con viguetas marcadas.



Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos

1. Protección contra hongos e insectos

Inmediatamente después del talado

Fumigar totalmente las trozas

Después del aserrado

Fumigar las viguetas

2. Protección contra grietas

Proteger los extremos con pinturas o resinas sintéticas

Parafina, cera, etc.

Si las trozas no pueden ser procesadas inmediatamente

Proteger del sol

Contacto con el suelo

Rociarlas permanentemente con agua, o

sumergirlas en agua.

3. Acondicionar las viguetas y probetas en ambiente normalizado

Humedad relativa: $65\% \pm 1\%$

Temperatura: $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$

Normas utilizadas para ensayos físicos y mecánicos

- ASTM (American Society for Testing Materials) (Sociedad Americana de ensayos de materiales).
- IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales).
- DIN (Deutsch Industrie Norm), (Instituto para normas Alemanas).
- AFNOR (Association Française de Normalization) (Asociación Francesa de Normalizacion).
- BSI (British Standards Institution (Instituto Británico de estandarización).
- COPANT (Comité Panamericano de Normas Técnicas).
- ISO (Internacionales Standards Organization) (Organización Internacional de Estandarización).

Propiedades físicas

Definición

Determinan el comportamiento de las maderas ante los factores que intervienen en el medio ambiente natural, sin que este actúe química ni mecánicamente en su estructura interna.

Factores que influyen en las propiedades físicas:

- La disposición y orientación de los componentes de la pared celular.
- Cantidad de sustancias básicas que conforman las paredes celulares.
- Porcentaje de material celulósico.
- Composición química de las sustancias básicas.
- Contenido de agua.

Las propiedades físicas que se estudian de la madera son:

Peso específico real
Peso específico aparente
Contenido de humedad
Contracción e hinchamiento
Propiedades térmicas
Propiedades acústicas
Propiedades eléctricas
Propiedades de rozamiento

Peso específico

El peso específico es una de las propiedades físicas más importantes de la madera, porque de ella dependen la mayoría de sus características físicas y mecánicas. En la práctica sirve para clasificarlas. En general, puede decirse que las más pesadas son más resistentes, elásticas y duras que las maderas livianas, pero son de más difícil trabajabilidad y pueden presentar mayor variación volumétrica.

La densidad es la relación entre la masa m en gr y el volumen V en cm^3 (gr/cm^3). Es decir, que la densidad es la cantidad de materia leñosa por unidad de volumen.

Como en los laboratorios, el peso y la masa se determinan de la misma forma, por medio de balanzas, se acepta que la masa es igual al peso, ($m = p$), obteniéndose la expresión del peso específico:

$$Pe = P/V (\text{gr}/\text{cm}^3)$$

Peso específico real

Este valor se determina con la relación entre el peso del material y el volumen realmente ocupado por el material leñoso, sin los poros.

Este valor está comprendido entre 1.53 y 1.56 gr/cm^3 para todas las especies.

Peso específico aparente

El peso específico aparente de una madera es la relación entre el peso y su volumen, incluyendo el volumen de los poros que contiene la madera, medidos en las mismas condiciones de humedad.

Como el peso específico aparente de las maderas varía de 0.1 a 1.4 gr/cm³, podemos clasificarlas en:

1. Muy livianas de 0.100 a 0.350 gr/cm³
2. Livianas de 0.351 a 0.550 gr/cm³
3. Semipesadas de 0.551 a 0.750 gr/cm³
4. Pesadas de 0.751 a 1.000 gr/cm³
5. Muy pesadas, más de 1.000 gr/cm³

1- Muy livianas de **0.100 a 0.350** gr/cm³.
Kiri, Álamo, Sauce.

2- Livianas de **0.351 a 0.550** gr/cm³
Guayca, Laurel amarillo, Timbó.

3- Semipesadas de **0.551 a 0.750** gr/cm³
Viraró, Anchico blanco, Cancharana, Caroba, Cedro, Eucaliptus, Laurel negro, Laurel ayuí, Loro negro.

4- Pesadas de **0.751 a 1.000** gr/cm³
Algarrobo blanco, A. Negro, Anchico colorado, Canela de venado, Curupay, Guatambú amarillo y blanco, Grapia, Incienso, Marmelero.

5- Muy pesadas, más de **1.000** gr/cm³
Lapacho amarillo y negro, Urunday, Urundel, Itin, Quebracho.

Clase de madera, según el peso específico aparente al 15% de humedad	Número de especies	Participación en%
Muy livianas	10	4.36
Livianas	43	18.77
Semipesadas	70	30.56
Pesadas	85	37.11
Muy pesadas	21	9.17
Total	229	100

Determinación del peso específico aparente, estacionado, anhidro, básico o internacional y saturado de la madera.

Los pesos específicos de la madera se determinan, según lo establece la Norma IRAM N° 9544, utilizándose cubos de 2 centímetros de sección.

Peso específico aparente estacionado

Para la obtención del peso específico aparente, el peso y el volumen deben ser medidos en las mismas condiciones de humedad. El peso se obtiene en una balanza, y el volumen por mediciones con calibre o por desplazamiento de fluidos, mercurio o agua. La fórmula es la siguiente:

$$PEE = \frac{Pe}{Ve}$$

Siendo:

PEE: peso específico aparente estacionado (gr/cm³)

Pe: peso de la muestra estacionada (gr).

Ve: volumen de la muestra estacionada (cm³).

Peso específico aparente anhidro

El peso y volumen de la madera se determinan al 0% de humedad, las medidas de las probetas se toman, después de haber estado veinticuatro horas en estufa a 103 +/- 2°C.

$$PEA = \frac{Po}{Vo}$$

Siendo:

PEA: peso específico aparente anhidro (gr/cm³).

Po: peso de la muestra seca (gr).

Vo: volumen de la muestra seca (cm³).

Peso específico aparente básico.

El peso específico aparente básico se determina con la relación del peso seco de la muestra sobre el volumen saturado. El volumen se mide, una vez que se asegura la saturación de las muestras, dejando las probetas sumergidas en agua por aproximadamente siete días.

$$PEB = \frac{Po}{Vs}$$

Siendo:

PEB: peso específico básico (gr/cm³).

Po: peso de la muestra seca (gr).

Vs: volumen de la muestra saturada (cm³).

Peso específico saturado.

El peso específico saturado se determina relacionando el peso saturado de la muestra y el volumen saturado. El peso y el volumen se miden una vez que se asegura la saturación de las muestras.

$$D_s = \frac{P_s}{V_s}$$

Siendo:

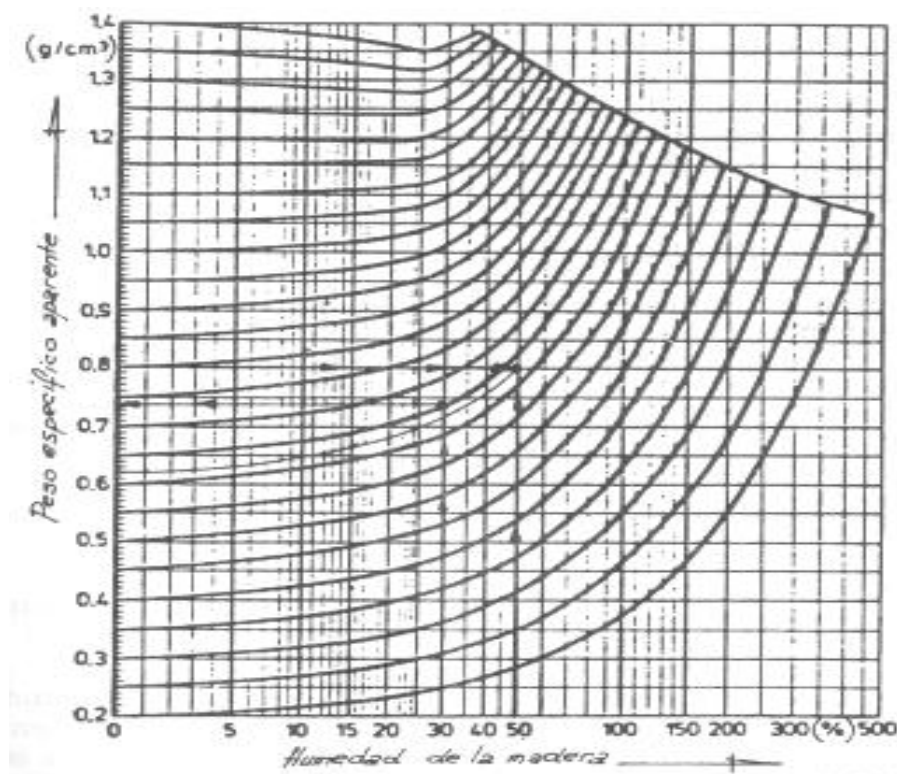
Ds: peso específico saturado (gr/cm³).

Ps: peso de la muestra saturada (gr).

Vs: volumen de la muestra saturada (cm³).

Peso específico aparente y la humedad

El peso específico aparente de las maderas varía con los cambios del contenido de humedad, en las especies con peso específico hasta 1,00 g/cm³, al aumentar el CH, aumenta el peso específico aparente y en las especies con peso específico mayor que 1,20 g/cm³ al aumentar el CH el peso específico disminuye. Esto se debe a que el valor de coeficiente de hinchamiento volumétrico en las maderas más pesadas es superior. Este comportamiento es diferente al de las más livianas hasta el punto de saturación de las fibras, a partir de ahí todas tienen el mismo comportamiento, aumentando el peso específico con el aumento del CH.



Relación entre peso específico aparente y humedad de la madera (Según Kollmann, 1976).

Ejemplos:

1. ¿Cuál es el peso específico aparente de una madera con 30% de humedad si el peso específico anhidro es de $0,65 \text{ gr/cm}^3$?

Rta: aprox. $0,74 \text{ gr/cm}^3$.

2. ¿Cuál es el peso específico aparente anhidro, si a 50% de humedad el peso específico aparente es de $0,80 \text{ gr/cm}^3$?

Rta: aprox. $D_0 = 0,62 \text{ gr/cm}^3$.

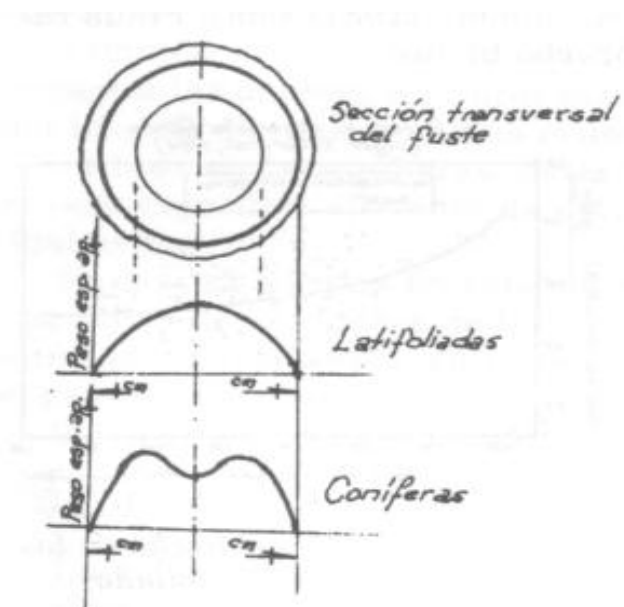
Factores que influyen sobre el peso específico

➤ Causas internas

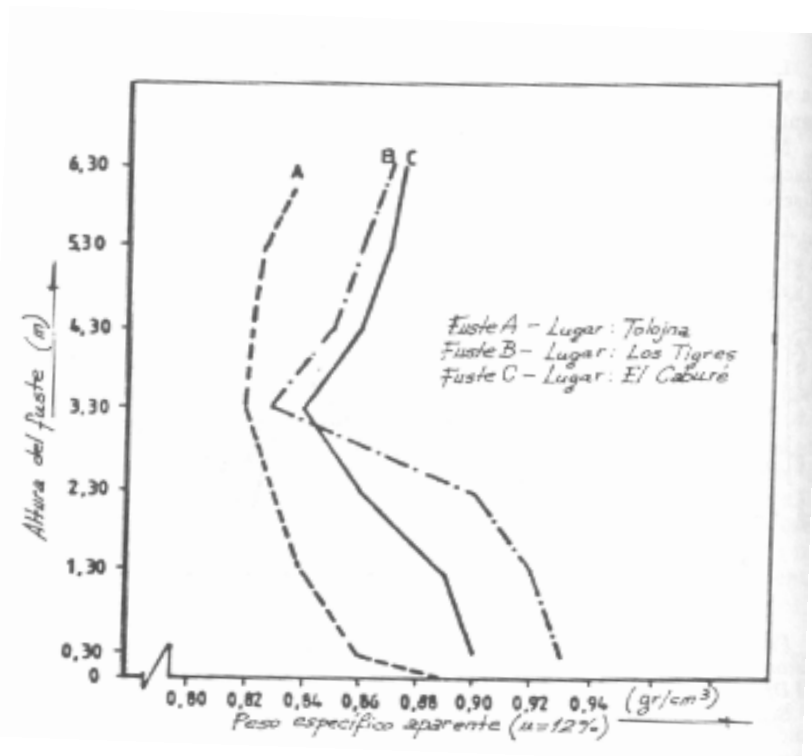
- Especie vegetal.
- Humedad.
- Leño temprano y tardío.
- Ancho de los anillos de crecimiento.
- Posición de la toma de muestras en el tronco.

➤ Causas externas

- Lugar de crecimiento.
- Tratamientos silviculturales.



Variación del peso específico aparente en el sentido transversal del fuste.



Variación del peso específico aparente en relación con la altura del fuste de quebracho blanco (Coronel 1984).

Pesos específicos aparentes de algunas especies nativas y exóticas de Misiones. Estudiadas por R. González; O. Pereyra; T. Suirezs.

Especies	Peso específico aparente al 12% gr/cm ³	Peso específico aparente al 0% gr/cm ³	Peso específico saturado 30% gr/cm ³
Araucaria	0.51	0.48	0.43
Loro Blanco	0.67	0.62	0.56
Paraiso	0.60	0.57	0.50
Grevillea	0.53	0.50	0.44
Hovenia	0.69	0.65	0.56
Kiri	0.27	0.25	0.23
Eucaliptus dunni	0.60	0.58	0.47
Pino elliotti	0.54	0.50	0.44
Pino taeda	0.47	0.44	0.39
Pino taeda Marion	0.54	0.50	0.43
Pino patula	0.47	0.43	0.38

Densidades básicas medias de tarugos según clase de edad en el Norte de Misiones

Clase de edad	Secciones			Media general (g/cm ³)
	externa (g/cm ³)	media (g/cm ³)	interna (g/cm ³)	
16 a 20	0,54	0,4	0,346	0,428
11 a 15	0,568	0,404	0,351	0,441
6 a 10	0,38	0,375	0,339	0,364

Pereyra Obdulio, Proyecto forestal de desarrollo SAGPyA- BIRF, Informe final.

Especie	Densidades [gr/cm ³]			
	Anhidra	Estacionada	Saturada	Básica
<i>Albizia niopoides</i>	0,56	0,60	1,02	0,50
<i>Ilex brevicuspis</i>	0,60	0,63	0,96	0,49
<i>Bastardiopsis densiflora</i>	0,61	0,67	0,92	0,58
<i>Lonchocarpus nitidus</i>	0,62	0,70	0,94	0,58
<i>Luehea divaricata</i>	0,62	0,67	0,91	0,57
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	0,65	0,73	0,93	0,61
<i>Ateleia glazioveana</i>	0,66	0,69	1,01	0,60
<i>Patagonula americana</i>	0,67	0,71	1,01	0,58
<i>Matayba elaeagnoides</i>	0,67	0,71	0,99	0,58
<i>Cupania vernalis</i>	0,73	0,80	1,02	0,64
<i>Lonchocarpus leucanthus</i>	0,86	0,90	1,10	0,73
<i>Helietta apiculata</i>	0,87	0,90	1,09	0,75
<i>Holocalyx balansae</i>	0,91	0,94	1,12	0,73

Tesis Alicia Bohren. 2005.

Peso específico aparente estacionado de maderas sin impregnar e impregnada con PEG 600.

Especies	P. esp. gr/cm ³ S/imp)	P. esp. gr/cm ³ (imp)
Cañafístula	0,94	0,94
Mora amarilla	0,86	0,95
Lapacho negro	0,98	1,03
Guayaibi	0,94	1,06

Suirezs *et al* 2004. Estabilidad dimensional de las maderas de *Chlorophora tinctoria*, *Patagonula americana*, *Peltophorum dubium* y *Ttabebuia ipé* impregnadas con polietilenglicol pm 600.

Pesos específicos aparentes de la madera de loro blanco sin impregnar e impregnada con PEG PM 600.

Tratamientos	Propiedades físicas								
	PEE gr/cm ³	DS gr/cm ³	CV %	PEA gr/cm ³	DS gr/cm ³	CV %	PEB gr/cm ³	DS gr/cm ³	CV %
Loro blanco sin impregnar	0,68a	0,06	9	0,64a	0,06	9	0,57a	0,05	8
Loro blanco impregnado	0,89b	0,04	4	0,85b	0,33	4	0,79b	0,22	3

Suirezs *et al* 2005. Comportamiento de las maderas de *Araucaria angustifolia* y *Bastardiopsis densiflora* impregnadas con polietilenglicol.

Humedad

Un árbol recién cortado contiene gran cantidad de agua, variando su contenido según la época del año, la región y la especie.

Las maderas más livianas, por ser más porosas, contienen mayor cantidad de agua libre que las maderas pesadas.

El agua se encuentra en tres diferentes formas en la madera:

- 1- **Agua libre:** se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de los elementos vasculares. Esta agua se pierde por evaporación ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, una vez eliminada el agua libre la madera se encuentra en el punto de saturación de las fibras, que corresponde a un contenido de humedad entre el 21 y 32%, en el cual las paredes celulares están completamente saturadas.
Durante la fase de eliminación del agua libre la madera no experimenta cambios dimensionales ni alteraciones en sus resistencias mecánicas.
- 2- **Agua higroscópica:** también llamada agua de imbibición o agua de impregnación, es aquella que se encuentra impregnando las paredes celulares y una vez que haya perdido toda el agua libre comienza a perder el agua de imbibición, hasta llegar a un equilibrio higroscópico que está entre el 12 y 18% de humedad, dependiendo del lugar.
En esta fase la madera sufre variaciones en sus dimensiones y resistencias mecánicas.
- 3- **Agua de constitución:** es la que forma parte de la estructura química de las paredes celulares. Se puede eliminar con la destrucción de la madera.

La humedad influye en:

- Propiedades físicas.
- Resistencia mecánica.
- Resistencia al ataque de agentes biológicos.
- Elaboración de productos.
- Rendimiento y calidad de celulosa.

Contenido de humedad

El contenido de humedad es la cantidad de agua y sustancias volátiles susceptible de estar contenida por la madera, expresada en por ciento de peso seco en estufa a 103 +/- 2°C.

Métodos para determinar el contenido de humedad en la madera

La Norma IRAM N° 9532 establece los siguientes métodos para determinar el contenido de humedad en la madera:

- 1- Método secado en estufa o por pesadas.
- 2- Métodos eléctricos (con instrumentos que funcionan por resistencia eléctrica).
- 3- Método por destilación o extracción.
- 4- Método colorimétrico.
- 5- Método de titulación.
- 6- Método higrométrico.
- 7- Método de expulsión directa del agua por presión.

1- Por secado en estufa o pesadas

Es el método más exacto y el único científicamente satisfactorio para determinar el agua contenida en la madera, ya que se la debe evaporar y luego calcular por diferencia de peso.

El contenido de humedad en la madera se define como la diferencia entre el peso en estado húmedo y el peso seco obtenido en la estufa a 103 +/- 2°C relacionados con el peso seco, con probetas de 2x2x2 cm. Sin embargo, puede determinarse la humedad con trozos de cualquier dimensión. En la práctica, generalmente, se toman algunos trozos de la madera de la que se quiere conocer la humedad y se coloca en estufa hasta llegar a un peso constante. Utilizándose la fórmula que establece la Norma IRAM N° 9532.

$$CH\% = \frac{Ph - Po}{Po} \times 100$$

$$CH\% = \frac{Ph - Po}{Ph} \times 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad en%.
Ph = Peso húmedo en gramos.

Po = Peso Anhidro o seco en gramos.

2- Métodos eléctricos

La medición se realiza con instrumentos llamados Xilohigrómetros, y es muy aplicado en las industrias por ser un método rápido para obtener el contenido de humedad. Además no destruye el material, indispensable para medir humedades en productos terminados.

La medición del contenido de humedad por métodos eléctricos tiene su base en las diferencias de propiedades eléctricas entre la madera seca y húmeda, tanto en relación a la resistencia óhmica, como a la constante dieléctrica y a la pérdida de potencia. Es decir, que la resistencia óhmica y las propiedades dieléctricas de la madera dependen del contenido de humedad en el rango de 4% a 25%. En el rango del estado anhidro al punto de saturación de las fibras (PSF) existe una relación casi lineal entre el logaritmo de la resistencia eléctrica y el contenido de humedad de la madera. Por debajo del PSF la resistencia eléctrica aumenta en un millón de veces.

Existen dos tipos distintos de medidores eléctricos para determinar el contenido de humedad de la madera, uno mide el CH por su resistencia eléctrica y el otro por sus propiedades dieléctricas (capacidad eléctrica o la pérdida de energía en un campo alterno de alta frecuencia). Para usar estos instrumentos se deben considerar la temperatura y la especie.

3- Por destilación o extracción

Este método también está indicado en la Norma IRAM 9532 y es especialmente utilizado en maderas que contienen resinas o aceites esenciales.

Consiste en colocar 10 gramos de astillas de madera en un recipiente de vidrio con aproximadamente 250 cm³ de un disolvente insoluble en agua (xilol, tolueno, tetracloroetano, etc.). Sobre el recipiente se coloca un condensador de vapores, conectado a un medidor de volumen, graduado en cm³, y en la base del recipiente de vidrio se coloca una fuente de energía. Al calentarse el recipiente, los vapores se condensan en el dispositivo refrigerante, el destilado se recoge en el tubo graduado, donde se separan el agua y el disolvente en dos capas debido a sus diferentes pesos específicos. El proceso debe seguir hasta que el volumen de agua sea constante, (tiempo aproximado 6 horas). El peso del agua en gramos es igual al volumen ocupado en cm³ o ml.

La humedad se determina con la siguiente fórmula:

$$H\% = \frac{\text{Peso en gr. del agua recogida}}{\text{Peso inicial de las astillas} - \text{peso en gr del agua recogida}} \times 100$$

Aplicaciones de la madera según su contenido de humedad

	CH%
Muebles y parqué en países fríos con calefacción alta	8 - 10
Muebles en ambientes con calefacción central normal	10 - 12
Muebles en ambientes calefaccionados eventualmente	13 - 14
Puertas y ventanas al exterior	14 - 15
Equipos agrícolas, tonelerías, embalajes, cajas	16 - 17
Maderas en la que se quiere evitar la pudrición	18 - 20
Construcción en corrientes de aire fresco y húmedo	21 - 24
Maderas preparadas para impregnar	24 - 28

Sorción de la madera

Introducción

Variación del contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad en la madera se consideran el agua libre y el agua de impregnación.

Agua libre

En capilares gruesos y espacios intercelulares. Humedad mayor de 28-30%.

Agua de impregnación adsorbida

Impregna espacios submicroscópicos de la pared celular. Ligada por fuerzas eléctricas polares en forma de capas gaseosas polimoleculares.

Humedad de 6 a 28-30%.

Agua de Absorción química

Es la humedad retenida en forma de capa gaseosa monomolecular en la superficie de la pared celular por fuerzas de Van der Waal y puente hidrógeno. Humedad de 0 a 6%.

Humedad de equilibrio en la madera

Ocurre cuando se establece un equilibrio entre la tensión de vapor de agua contenida en el aire y la tensión de vapor interna en los espacios de la madera.

La madera, al encontrarse en contacto con el medio ambiente, absorbe o elimina humedad hasta corresponder a un estado de equilibrio con el aire, momento en que se produce el equilibrio higroscópico.

La humedad de equilibrio de una madera varía con la temperatura y la humedad relativa del aire. La madera presenta distinta humedad de equilibrio, según la zona en que se encuentre estacionada.

Concepto de sorción

Por ser un material poroso, en contacto con vapor de agua, lo admitirá hasta un estado de equilibrio entre ambos.

Causas de la porción

La madera adsorbe agua por las fuerzas de sorción, desde el estado seco 0% de humedad hasta el punto de saturación de las fibras.

Puede dividirse en tres campos de porción

Sorción química: hasta 6% de H.

Adsorción-BET: hasta 16% de H.

Condensación capilar: mayor de 16% de H.

Sorción química

Reacción química entre molécula de vapor de agua y madera. Ocurre en las capas exteriores o en todo el espesor. Las moléculas de agua se acumulan en la madera debido a la propiedad dipolar, los grupos hidróxilos OH de la celulosa atraen a las moléculas de agua. (Fuerza de Van der Waal: Los grupos hidróxilos atraen a los dipolos libres del agua y los mantiene ordenados). El agua se almacena en la zona amorfa o paracristalina de la fibrilla.

Adsorción-BET. (Brunnauer, Emmet y Teller).

Es la acumulación de varias capas de agua. Condensación del vapor de agua en la superficie exterior de la madera, sin reacción química.

Condensación capilar

A humedades relativas del aire mayores a 60% se produce la condensación del agua en los capilares de la madera.

Procesos de porción

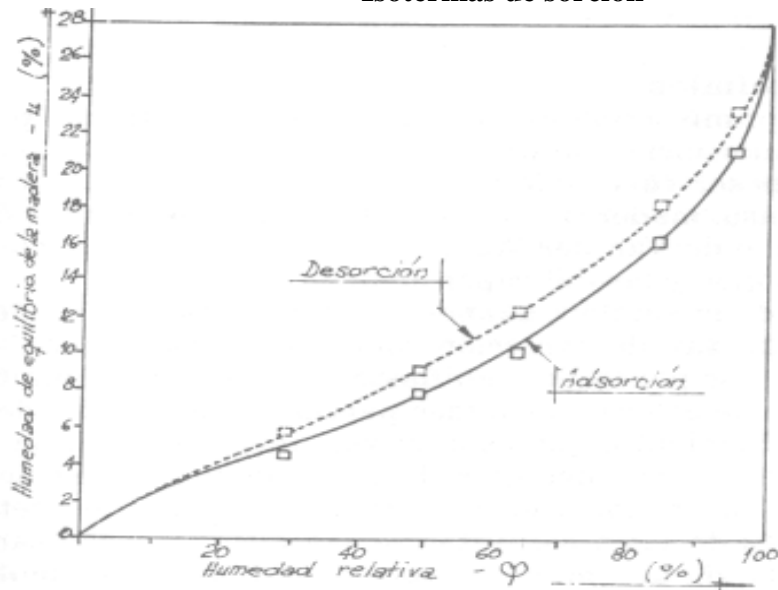
Adsorción

Toma de humedad, (hinchamiento).

Desorción

Pérdida de humedad, (contracción)

Isotermas de sorción



Determinación de las isotermas de porción

- Método de solución salinas
 - Solución saturada.
 - Mezclar continuamente la solución.
 - Mezclar el aire.
 - Temperatura constante.
- Cámara de climatización

Histéresis de porción

- Es el ciclo que se forma y se estima cerrado en la humedad relativa de 100%.
- Cuando la madera se seca los valores de humedad de equilibrio son más elevados que los valores cuando toma humedad del ambiente.
- Por lo tanto para una misma temperatura se presentan dos isotermas de sorción.
- La diferencia de las humedades de equilibrios en los procesos de desorción y adsorción ($H_d - H_a$) depende de la humedad relativa del aire.

Coefficiente de histéresis

$$\text{Coef. hist.} = H_a/H_d$$

Normalmente se toma a la H.R. del 85% está entre 0,8-0,9, depende de la madera y temperatura.

Teorías sobre la causa de la histéresis de sorción

◆ Teoría de Urquhart.

Cuando la madera está seca, las moléculas de agua son adsorbidas con mayor facilidad durante el secado, ya que tienden a permanecer unidas en los lugares donde fueron adsorbidas.

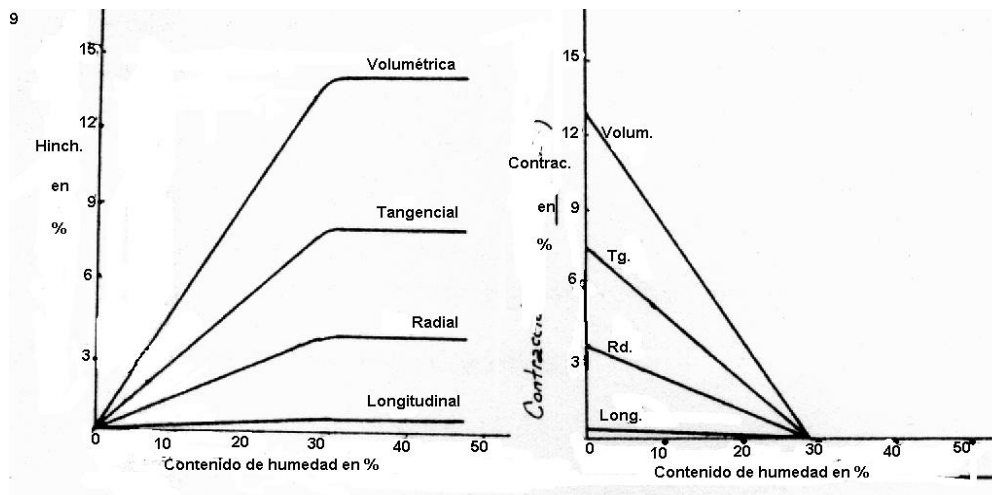
◆ Teoría de Barkas

Enuncia que los distintos valores de humedad de equilibrios se deben a la diferente plasticidad de la madera en la adsorción y desorción.

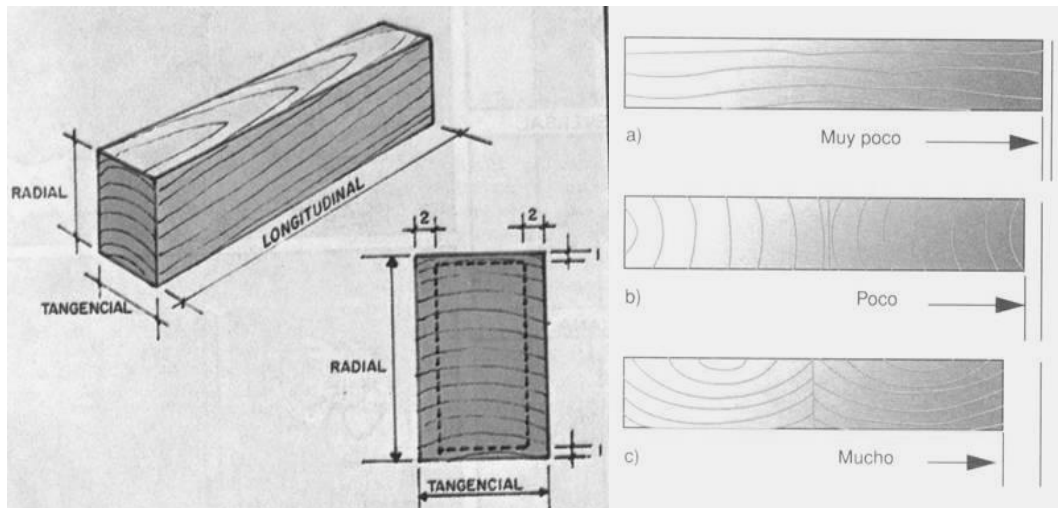
Hinchamiento y contracción

El hinchamiento es el aumento del volumen de la madera desde el estado seco hasta el punto de saturación de las fibras (PSF). A partir del PSF el volumen de la madera permanece estable y aumenta su contenido de humedad.

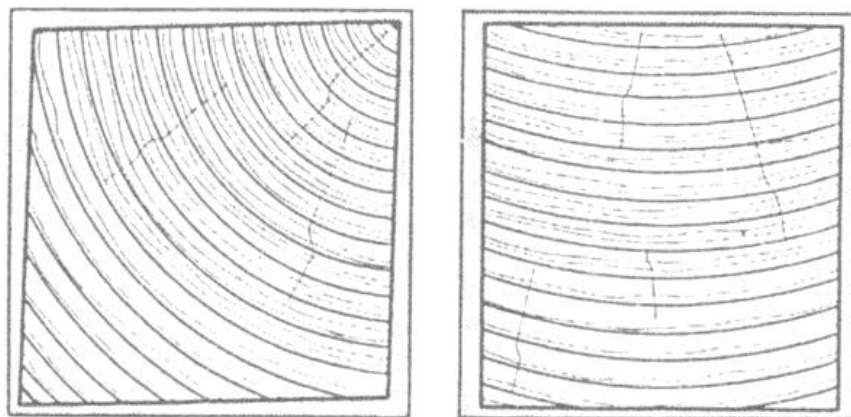
La contracción es la disminución del volumen de una pieza de madera, al perder humedad, por debajo del punto de saturación de las fibras, hasta el estado anhidro. En el gráfico de abajo se presentan las curvas de hinchamiento y contracción.



Porcentaje de hinchamiento y contracción de la madera.



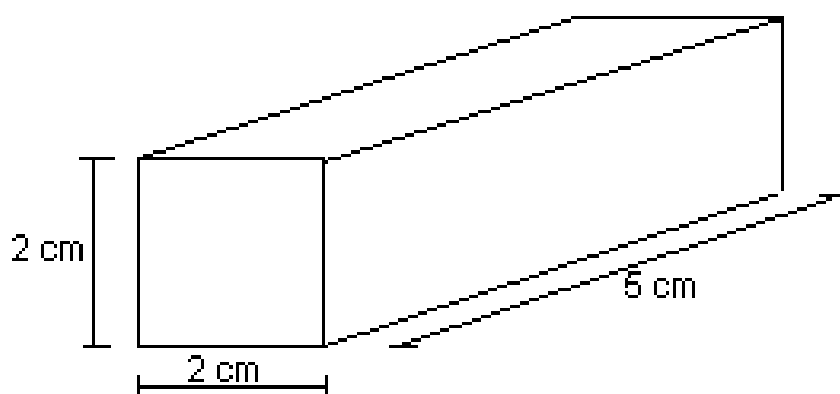
El trabajo de la madera.



Defectos que se producen en la madera según el corte.

Determinación de contracciones e hinchamientos

En las determinaciones de las contracciones e hinchamientos se utilizan probetas de 2 centímetros de sección por 5 centímetros de longitud, como indica la Norma IRAM N° 9543. Las probetas deben cortarse de manera que puedan ser medidas las contracciones e hinchamiento en los sentidos tangencial, radial y axial o longitudinal. Las dimensiones se miden con calibre.



Para calcular las contracciones e hinchamientos se usan las siguientes fórmulas:

Hinchamiento:

$$H = (L_s - L_o) / L_o \cdot 100$$

Siendo:

H = Hinchamiento máximo, en porcentaje.

L_s = Longitud saturada, en cm.

L_o = Longitud anhidra, en cm.

Contracción: (del estado estacionado al anhidro).

$$C = (L_e - L_o) / L_e \cdot 100$$

Siendo:

C = Contracción, en porcentaje.

L_e = Longitud en estado estacionado, en cm.

L_o = Longitud anhidra, en cm.

Contracción total: (del estado saturado al anhidro)

$$C_t = (L_s - L_o) / L_s \cdot 100$$

Siendo:

C_t = Contracción total, en porcentaje.

L_s = Longitud saturada, en cm.

L_o = Longitud anhidra, en cm.

Coefficiente de retractabilidad o contracción de la madera

El coeficiente de retracción o retractabilidad nos indica la variación dimensional que sufre la madera desde el estado anhidro (seco) hasta el punto de saturación de fibras o viceversa, por cada 1% de variación en su contenido de humedad.

El coeficiente de retracción se determina en los tres sentidos de la madera, axial, radial y tangencial, y para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_r = C / H\%$$

Siendo:

C_r = Coeficiente de retracción.

C = Contracción del estado estacionado al 12% de humedad al 0%. En%

H% = Humedad de las probetas, estacionada al 12%.

Anisotropía del hinchamiento y de la contracción

El coeficiente de anisotropía es la relación entre los movimientos lineales tangencial y radial. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$A_c = \beta_t / \beta_r$$

Siendo:

β_c = Anisotropía de la contracción

β_t = Contracción tangencial

β_r = Contracción radial

Si el coeficiente de anisotropía fuera 1 sería lo ideal, esto quiere decir que la variación, tanto en el sentido tangencial como radial, es igual, pero esto no ocurre en las maderas. Cuanto mayor es la relación entre la dirección tangencial y radial, mayor es el valor de anisotropía, y mayores dificultades tendrá en el secado.

Las que presentan valores de anisotropía entre 1.2 a 1.5 son consideradas muy buenas, excelentes para usos donde no se permiten alabeos. Cuando los valores de anisotropía son de 1.6 a 1.9 la madera es considerada como normal, muy inestable; y con limitaciones en sus aplicaciones cuando el valor de anisotropía es mayor que 2.

Causas de la anisotropía

Teoría

Estructura microscópica

- Dirección horizontal de los radios leñosos.
- Puntuaciones tangenciales (desvío de la microfibrilla alrededor de las puntuaciones).

Punto de saturación de las fibras

El punto de saturación de fibras ocurre cuando las paredes celulares se encuentran totalmente saturadas y se ha eliminado toda el agua libre, quedando solamente el agua higroscópica o de imbibición.

En las maderas de latifoliadas con porosidad difusa, el PSF se encuentra aproximadamente entre 32 y 35% de humedad. En coníferas y latifoliadas con porosidad anular varía entre 21 y 28%. En la práctica, con el fin de facilitar los cálculos, se generaliza el PSF en 28-30% de humedad sin especificar la especie.

Cuando la madera se encuentra por encima del punto de saturación de fibras no sufre variación dimensional, solo aumento de peso y porcentaje de humedad. Por debajo del punto de saturación de fibras comienza a producirse cambios en las dimensiones de la madera.

El punto de saturación de la fibra se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{PSF} = C_t / C_r$$

Siendo:

PSF = Punto de saturación de las fibras.

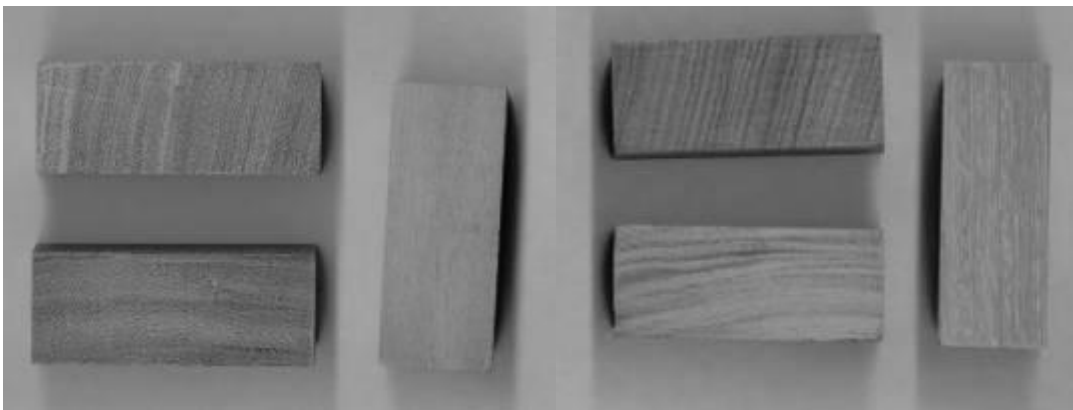
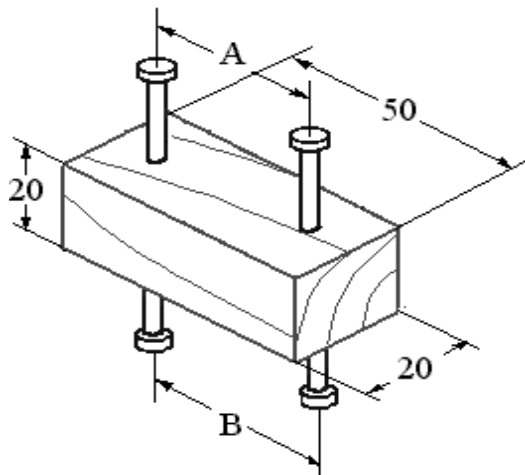
C_t = Contracción total.

C_r = Coeficiente de retracción.

Valores medios de PSF

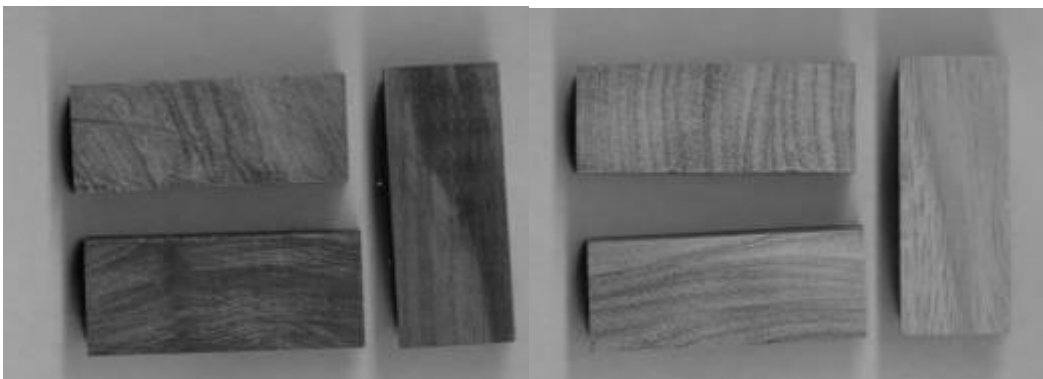
- ◆ En maderas de latifoliadas con porosidad difusa el PSF se encuentra entre 32 y 35% de humedad.
- ◆ En coníferas y latifoliadas con porosidad anular varía entre 21 y 28%.
- ◆ En la práctica se generaliza el PSF entre 28 y 30% de humedad, sin especificar la especie.

Diseño de probeta con los 4 clavos para determinar la contracción e hinchamiento de la madera.



Mora amarilla

Lapacho negro



Guayaibi

Cañafistula

Contracciones totales, coeficientes de contracción y anisotropía

Especie		Contracción total en%		Coeficiente de retractabilidad		Coeficiente de anisotropía
Nombre común	Nombre científico	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial	
Alecrín	<i>Holocalyx balansae</i>	12.91	5.47	0.42	0.18	2.4
Anchico blanco	<i>Albizia hasleri</i>	4.6	1.9	0.15	0.06	2.4
Anchico colorado	<i>Piptadenia rígida</i>	10.4	5.6	0.34	0.18	1.9
Camboatá blanco	<i>Cupania vernalis</i>	10.42	6.54	0.33	0.2	1.6
Camboatá colorado	<i>Matayba eleagnoides</i>	5.63	4.47	0.16	0.15	1.3
Grevilea	<i>Grevillea robusta</i>	5.69	3.5	0.25	0.23	1.6
Guatambú amarillo	<i>Aspidosperma australe</i>	9.5	5.6	0.39	0.23	1.7
Loro blanco	<i>Bastardiopsis densiflora</i>	8.18	5.13	0.29	0.19	1.6
Mora amarilla	<i>Clorophora tinctoria</i>	5.36	2.06	0.29	0.15	2.6
Mora colorada	<i>Clorophora tinctoria</i> var. <i>polyneura</i>	3.8	2.5	0.23	0.15	1.5
Paraíso	<i>Melia azedarach</i>	6.82	5.44	0.2	0.18	1.25
Persiguero bravo	<i>Prunus subcoriácea</i>	10.6	4.3	0.4	0.16	2.5
Peteribí	<i>Cordia trichotoma</i>	9	6.7	0.3	0.22	2.3
Pino elioti	<i>Pinus elliotii</i>	5.5	4	0.17	0.14	1.4
Pino Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	7	3.8	0.2	0.16	1.8
Pino patula	<i>Pinus patula</i>	6.3	3.1	0.22	0.13	2
Pino ponderosa	<i>Pinus ponderosa</i>	6.3	3.9	0.21	0.13	1.6
Pino taeda	<i>Pinus taeda</i> L.	6.1	3.8	0.17	0.12	1.6
Rabo itá	<i>Lonchocarpus leucanthus</i>	10.74	6.29	0.33	0.23	1.7

Especies	Contracción total tangencial (%)	Contracción total radial (%)	Coeficiente de contracción tangencial	Coeficiente de contracción radial
Mora amarilla sin impregnar	5,36 a	2,32 a	0,29 a	0,14 a
Mora amarilla impregnada	4,26 b	2,22 a	0,25 b	0,13 a
Guayaibi sin impregnar	8,69 a	3,21 a	0,37 a	0,17 a
Guayaibi impregnado	4,53 b	2,36 b	0,17 b	0,11 b
Lapacho negro sin impregnar	6,53 a	3,75 a	0,34 a	0,20 a
Lapacho negro impregnado	4,55 b	2,72 b	0,23 b	0,16 b
Cañafistula sin impregnar	7,13 a	4,21 a	0,29 a	0,18 a
Cañafistula impregnada	6,51 b	3,79 a	0,27 a	0,17 a

Suirezs *et al.* 2004. Estabilidad dimensional de las maderas de *Chlorophora tinctoria*, *Patagunula americana*, *Peltophorum dubium* y *Ttabebuia ipé* impregnadas con polietilenglicol pm 600.

Especies	Contracción total tangencial (%)	Contracción total radial (%)	Coefficiente de contracción tangencial	Coefficiente de contracción radial
Araucaria sin impregnar	6,85	3,82	0,24	0,16
<i>Araucaria impregnada</i>	0,77	0,76	0,04	0,03
Loro blanco sin impregnar	8,25	5,28	0,30	0,20
<i>Loro blanco impregnado</i>	1,70	0,63	0,13	0,04

Suirezs *et al.* 2005.

Propiedades térmicas

La madera es un buen aislante térmico, comparada con otros materiales de construcción. Por su baja conductividad térmica es aplicada como aislador térmico en construcciones y herramientas por ser un material poroso, podemos decir que es un mal conductor del calor.

Los factores que intervienen en la conductividad térmica son:

- Dirección de la fibra.
- Densidad.
- Contenido de humedad.
- Presencia de extractivos.
- Proporción de leño temprano y tardío.

Los factores que más influyen en la conductividad térmica son la densidad y el contenido de humedad. Las maderas con mayor densidad son más conductoras, debido a la menor cantidad de espacios vacíos. La madera húmeda es más conductora que la seca por ser el agua el conductor.

La madera se contrae al enfriarse y se expande al calentarse. El coeficiente de expansión varía según las direcciones. En el sentido longitudinal el coeficiente de expansión es independiente de la densidad. En los sentidos radial y tangencial varía en forma directa con la densidad.

- ◆ Estas propiedades estudian el comportamiento de la madera frente a los efectos del calor y de la temperatura.
- ◆ Desde el punto de vista de las propiedades físicas, interesa conocer los efectos del calor y de la temperatura en determinadas magnitudes, donde no se producen alteraciones profundas a la estructura de la pared celular. En este marco se estudian los siguientes temas:
 - Dilatación de la madera.
 - Calor específico de la madera.

- Conductibilidad calórica o térmica.

Dilatación de la madera

- Baja aplicación en la práctica.
- Dilatación pequeña.
- Se considera en piezas muy largas en construcciones de puentes.
- En lugares donde los cambios de temperaturas son importantes.

Ecuación para determinar la dilatación de las maderas

$$l_t = l_o [1 + ac (t-t_o)]$$

Donde:

l_t = Longitud final después del aumento de temperatura.

l_o = Longitud inicial.

ac = Coeficiente de dilatación lineal.

t = Temperatura final.

t_o = Temperatura inicial.

Coeficiente de dilatación lineal

Para madera a temperaturas normales:

Coníferas

3,2 a 4,3 x 10⁻⁶ sentido longitudinal.

22 a 28 x 10⁻⁶ sentido radial.

32 a 43 x 10⁻⁶ sentido tangencial.

Latifoliadas

2,9 a 3,8 x 10⁻⁶ sentido longitudinal.

23 a 31 x 10⁻⁶ sentido radial.

30 a 38 x 10⁻⁶ sentido tangencial.

Calor específico de la madera

Madera anhidra = 0,324 Kcal/kg.°C

Noack, (1964).

El calor específico depende de:

- La temperatura.
- La humedad.

Considerado en la fabricación de cabos de herramientas y utensilios de cocina.

Conductibilidad calórica o térmica

El coeficiente de conductibilidad térmica depende de:

- La dirección del flujo.
- Contenido de humedad.
- Peso específico aparente.
- Temperatura.
- Conformación anatómica del leño.

Coefficiente de Conductibilidad térmica

0,35 Kcal/m.h.°C. Longitudinal a las fibras.

0,10 a 0,15 Kcal/m.h.°C. Transversal a las fibras.

0,07 a 0,12 Kcal/m.h.°C. En aglomerado.

IRAM 11601 y 11601(1988). Se encuentran los coeficientes.

IRAM 11559 (1971). Para determinar el Coef. de conductibilidad térmica.

Poder calorífico de la madera

Es una característica **termoquímica** dado que en la determinación del poder calorífico se produce la combustión de la madera, con formación de cenizas como residuo.

Definición

Es el calor desprendido por kg de combustible en combustión completa a presión y temperatura atmosférica normal.

El poder calorífico de la madera se toma como un valor medio de: 4500 Kcal/kg para madera anhidra.

Factores que influyen en el poder calorífico de la madera:

- Contenido de humedad.
- Porcentaje de lignina (mayor contenido de lignina, mayor poder calorífico).

Propiedades acústicas

La madera es tomada en cuenta en las construcciones cuando se quiere proteger del sonido, por lo tanto actúa como aislante del sonido, es 9 veces más aislante que el cemento.

En los casos de construcción de instrumentos musicales, la madera por ser un material elástico es muy usada, ya que las ondas sonoras necesitan de un material elástico para propagarse. Es decir, por ser porosa tiene la capacidad de amortiguar las vibraciones sonoras absorbiendo y reduciendo el sonido.

La temperatura de la madera y su contenido de humedad elevados afectan el amortiguamiento negativamente.

Propiedades eléctricas

La madera no es conductora de la electricidad, pero en estado húmedo conduce la corriente eléctrica, debido a que el agua es el conductor.

Propiedades de rozamiento en la madera

Coefficiente de rozamiento

0,22-0,55 ambas superficies áspera recién aserrada.

0,32-0,42 una superficie cepillada y otra sin cepillar.

0,17-0,28 ambas superficies cepilladas.

Por lo general tienen un coeficiente de rozamiento elevado.

Las hace aptas para construcciones, pisos -ya que no deben ser resbaladizos-, cojinetes de madera (en fábricas de alimentos, donde no se puede utilizar lubricantes).

Propiedades mecánicas

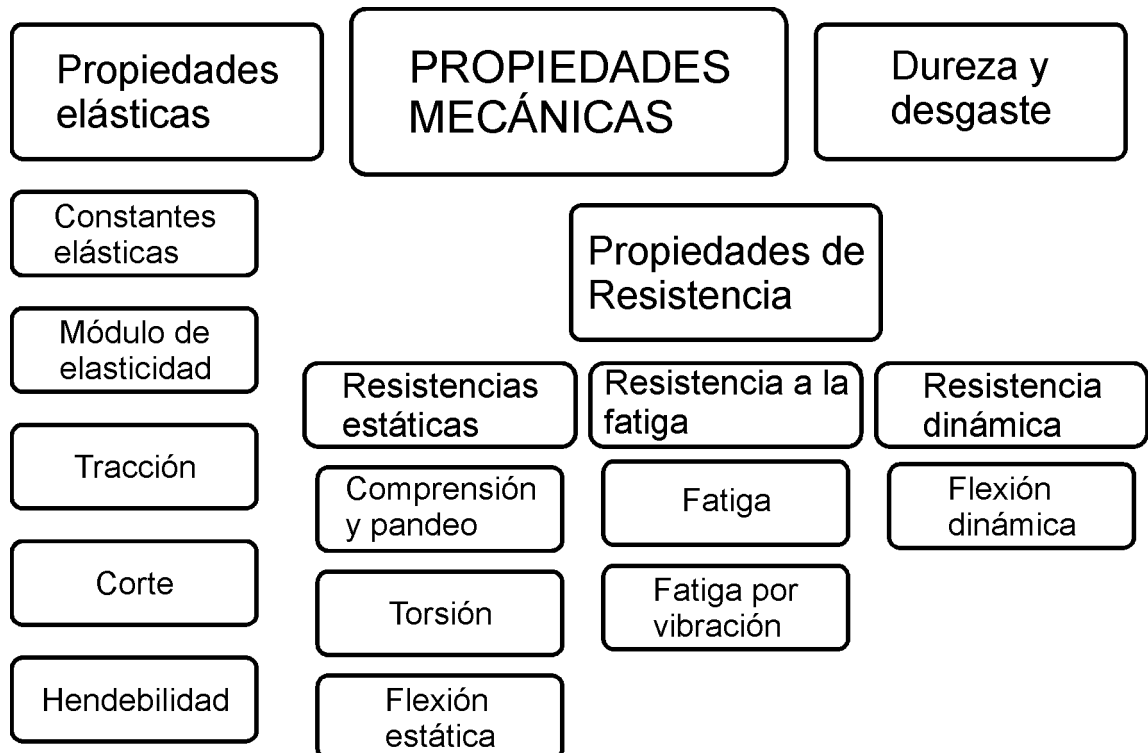
Las propiedades mecánicas son los comportamientos y las resistencias que ofrece la madera al ser sometida por fuerzas exteriores.

- Miden la aptitud y la capacidad para resistir cargas externas.
- Presenta diferentes propiedades en las distintas direcciones.
- De estas características se desprenden los diferentes grados de resistencia.

Determinación de las propiedades mecánicas

- Obtener valores o magnitudes, con el fin de clasificarlas por su resistencia.
- Definir la resistencia de las maderas, para obtener las *tensiones admisibles*.
- Proveer de datos técnicos a los constructores de madera.

PROPIEDADES MECÁNICAS



Factores que influyen en la resistencia de la madera

Los factores que afectan el comportamiento y la resistencia pueden dividirse en dos:

- 1- Influencia de la naturaleza del material.
- 2- Influencia de las condiciones ambientales.

1- Influencia de la naturaleza del material

1.1- Estructura de la pared celular

La presencia de fibras y traqueidas alargadas dan rigidez a la madera. Los poros y canales secretorios disminuyen su resistencia. Los radios medulares y las células parenquimáticas presentan zonas más débiles y plásticas.

1.2- Peso específico aparente

Las maderas con elevado peso específico aparente presentan altas resistencias mecánicas, porque este es una medida de la cantidad del material sólido de la madera.

1.3- Posición de la muestra en el tronco

La resistencia de la madera varía a distintas alturas del tronco, a mayor altura disminuyen las resistencias, se debe a que la densidad es menor. En la base del tronco la madera presenta mayor resistencia.

1.4- Velocidad de crecimiento

Las maderas que tienen rápido crecimiento (anillos son anchos) tienen peso específico aparente bajo, por lo tanto, sus resistencias son menores.

1.5- Nudos

Los nudos vivos y muertos disminuyen los valores de resistencia. Se debe tener muy en cuenta este defecto en las maderas con fines estructurales.

1.6- Inclinación de las fibras

Cuando las fibras están inclinadas, no se encuentran paralelas al eje longitudinal del tronco, ya sea por su crecimiento o por el mal aserrado, afectan considerablemente las resistencias de la madera.

1.7- Rajaduras radiales y anulares

Estos defectos ocasionan disminución en los valores de las resistencias.

1.8- Maderas secadas al aire y secada en cámara

En los casos en que el secado en cámara ha sido el adecuado y que el contenido de humedad sea similar al de la madera secada al aire libre no existen variaciones en los valores de sus resistencias. Cuando el secado no se realiza con un programa correcto, sí existen disminuciones en los valores de las propiedades mecánicas.

1.9- Leño juvenil y leño adulto

En las coníferas, el leño juvenil presenta valores de resistencia bajos, y mejoran sus valores en el leño adulto.

2- Influencia de las condiciones ambientales

2.1- Contenido de humedad

Es muy notable la disminución de los valores de las resistencias cuando aumenta el contenido de humedad en la madera, hasta el punto de saturación de las fibras, a partir de ahí los valores se mantienen prácticamente constantes.

2.2- Velocidad con que se aplica la carga

La velocidad de aplicación de las cargas está establecida por Normas para cada ensayo. Una velocidad alta produce valores más elevados en las resistencias de las maderas, porque las fibras y moléculas presentan una corta inercia de reacción.

2.3- Formas y dimensiones de las probetas

Las formas y dimensiones de las probetas influyen en el resultado de los valores. En el caso de probetas pequeñas sección 2 x 2 cm dan valores mayores, porque prácticamente son más fáciles de obtener piezas con los granos orientados paralelamente al eje axial y evitar otros tipos de defectos.

2.4- Sentido de aplicación de la carga con respecto a las fibras

El comportamiento mecánico de la madera varía con la aplicación de la carga según la dirección de las fibras.

2.5- Duración de la carga

La duración de la carga disminuye considerablemente la resistencia de la madera.

2.6- Temperatura

A mayor temperatura la resistencia de la madera es más baja.

Propiedades elásticas

- La madera es considerada un material elástico.
- Se deforma con cargas leves, pero al descargarse recupera sus dimensiones originales.

Elasticidad de la madera

- En los materiales de estructura cristalina la relación entre esfuerzo y deformación en la zona elástica es lineal.
- En los materiales no cristalinos la deformación en la zona elástica no es lineal. (H. Hayden, 1991).

Constantes elásticas

- Módulo de elasticidad longitudinal.
- Módulo de elasticidad tangencial.
- Módulo de elasticidad Radial.

Módulo de elasticidad

- El ME indica la medida de rigidez de una madera.
- Las que presentan ME elevado son las más indicadas para la construcción.

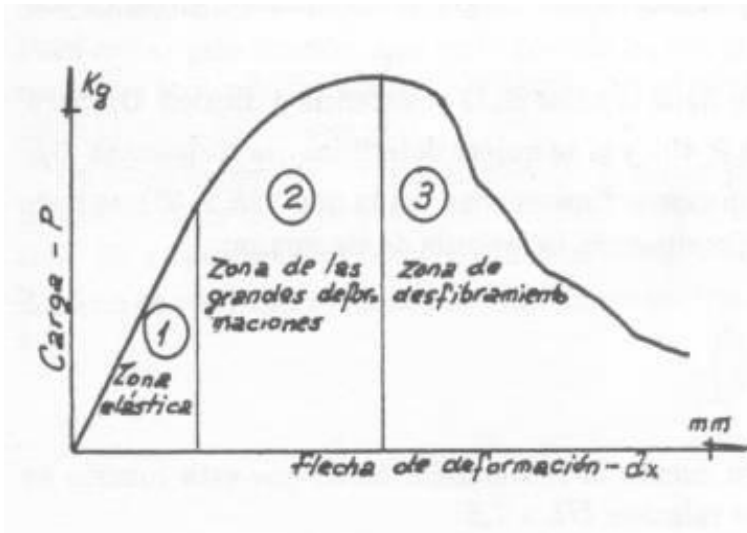


Gráfico de esfuerzo-deformación.

Reología de la madera

Estudia las propiedades visco elásticas o plásticas de la madera

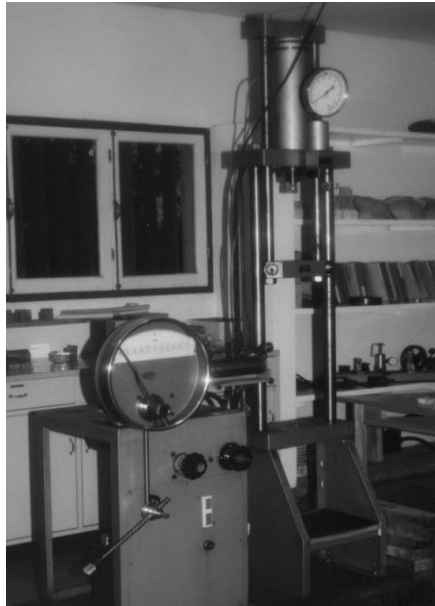
Comportamiento reológico de la madera

- Se produce el escurrimiento o fluencia del material.
- Esta deformación plástica es función del tiempo.
- Durante la deformación viscoelástica o plástica se produce una disminución del esfuerzo.

Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos de flexión estática, compresión paralela a las fibras, dureza Janka, corte o cizallamiento paralelo a las fibras, tracción perpendicular a las fibras, clivaje o rajadura, se realizan según lo establecen las Normas DIN (Deutsche Industrie Norm), ASTM (American Society for Testing and Materials) e IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Para ello, se utiliza una máquina universal de ensayos, cuyas características son las siguientes: capacidad máxima de carga de 10 toneladas, con cuatro escalas de operación, 1, 2, 5 y 10 toneladas, conectada a un gabinete de trabajo y control de la misma fabricación, que permite apreciar cargas mínimas de 2.5 kilogramos. Posee cilindro inscriptor de curvas de flexión y compresión y sus distintos accesorios permiten realizar los

ensayos citados, (estas características corresponden a la Máquina Universal de ensayos que se presenta en la foto.)



Máquina Universal de ensayos. Eldorado, 1999.

Flexión estática

Una madera está sometida a la flexión estática cuando sobre ella ejercen cargas en forma lenta que tienden a curvarla. Las maderas en uso generalmente están solicitadas por cargas o fuerzas que tienden a flexionarlas.

El esfuerzo de flexión ocurre en piezas de gran longitud respecto a su sección transversal, la acción de la carga normal a su eje longitudinal provoca una curvatura. Se producen tres esfuerzos fundamentales: 1) Esfuerzo de compresión que producen un acortamiento longitudinal en la parte superior; 2) Esfuerzo de tracción que producen un alargamiento en la parte inferior; 3) Esfuerzo de corte o cizalle en el centro. La combinación de los dos primeros esfuerzos origina en la viga una concavidad en la zona de compresión y convexidad en la zona de tracción.

Los ensayos de flexión estática pueden realizarse con las siguientes Normas: Norma DIN N° 52186 (Deutsche Industrie Norm), que establece las siguientes dimensiones de las probetas: sección cuadrada de 2 cm de lado; longitud total de 36 cm; distancia entre apoyos de 30 cm. La carga debe ser aplicada tangencialmente a los anillos de crecimiento, a una velocidad de 400 a 500 kg/cm² por minuto.

Norma IRAM 9542 exige probetas de 2 cm de altura por 2 cm de base y 34 cm de largo y la velocidad de carga de la máquina sin la probeta debe estar regulada, de manera que el cabezal móvil avance a 5 mm/minuto.

Norma ASTM, las probetas deben tener una sección de 5 cm por 5 cm y largo de 76 cm. Como se ve, requiere una gran cantidad de material respecto a las Normas anteriores, que son las más utilizadas.

Para este ensayo es necesario un flexómetro o deflectómetro con precisión de 0.01 mm para medir las flechas. Cuando se realizan los ensayos de flexión estática se debe tomar las cargas y las deformaciones que va sufriendo la madera hasta la carga de rotura, luego se traza la curva carga-deformación para obtener la carga en el límite proporcional y la flecha o deformación en el límite elástico.

Se producen tres esfuerzos:

- *Esfuerzo de compresión*. Produce un acortamiento longitudinal en la parte superior.
- *Esfuerzo de tracción*. produce un alargamiento en la parte inferior.
- *Esfuerzo de corte o cizalle*. Se produce en el centro.

Módulo de rotura a la flexión estática

El módulo de rotura se calcula con la fórmula:

$$\text{MOR} = 3PL/2bh^2$$

Siendo:

MOR = módulo de rotura, en kg/cm².

P = Carga de rotura, en kg.

L = Longitud entre apoyos, en cm.

b = Base, en cm.

h = Altura, en cm.

Módulo de elasticidad a la flexión estática

La carga en el límite proporcional y la deformación se determina con la ayuda de las curvas de elasticidad para cada probeta ensayada.

El módulo de elasticidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{MOE} = P'L^3/4bh^3f$$

Siendo:

MOE = Módulo de elasticidad, en kg/cm².

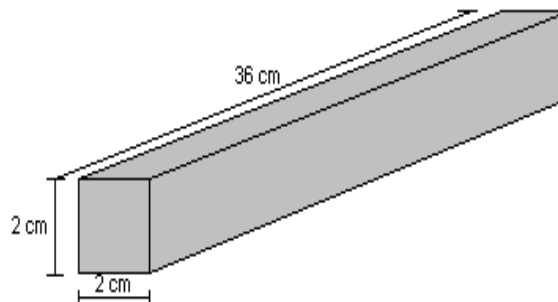
P' = Carga en el límite proporcional elástico, en kg.

L = Longitud entre apoyos, en cm.

b = Base, en cm.

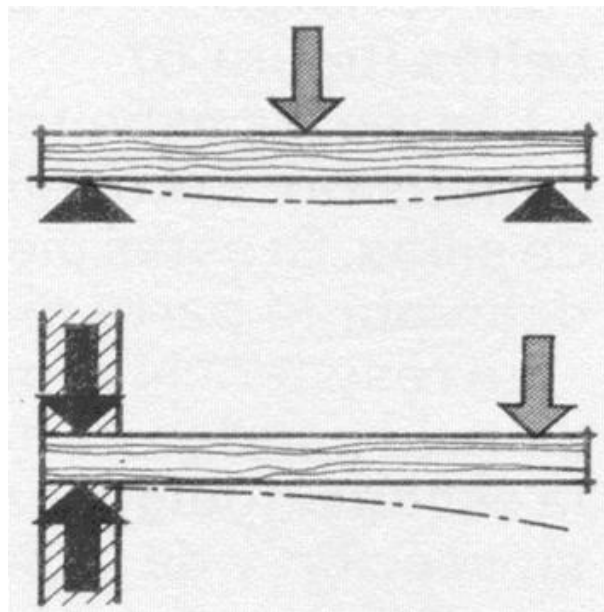
h = Altura, en cm.

f = Deformación, en cm.



Probetas para determinar resistencia a la flexión estática. DIN N° 52186. IRAM 9542.

Resistencia a la flexión estática



Módulos de rotura y elasticidad a la flexión estática

Especie		Flexión estática	
Nombre común	Nombre científico	MOR (kg/cm ²)	MOE (kg/cm ²)
Alecrín	<i>Holocalix balansae</i>	1117.9	203596
Anchico blanco	<i>Albizzia hasleri</i>	1000	113750
Anchico colorado	<i>Piptadenia rígida</i>	1191	157801
Camboatá blanco	<i>Cupania vernalis</i>	797.6	180619
Camboatá colorado	<i>Matayba eleagnoides</i>	636.7	117415
Eucaliptus duni	<i>Eucaliptus dunnii</i>	536	45774
Grevilea	<i>Grevillea robusta</i>	521	45693
Guatambú amarillo	<i>Aspidosperma australe</i>	1420	136000
Guatambú blanco	<i>Balfourodendron riedelianum</i>	1250	115300
Guayaibí	<i>Patagonula americana</i>	1360	110000
Guayaibí amarillo	<i>Terminalia triflora</i>	1220	115700
Hovenia	<i>Hovenia dulces</i>	1154	108075
Kiri	<i>Pawlonia sps.</i>	257	25261
Lapacho negro	<i>Tabebuia ipe</i>	1300	157000
Laurel amarillo	<i>Nectandra lanceolada</i>	730	89740
Loro blanco	<i>Bastardiopsis densiflora</i>	612	59440
Mora amarilla	<i>Clorophora tinctoria</i>	1400	149000
Mora colorada	<i>Clorophora tinctoria var. polyneura</i>	1305	133000
Paraíso	<i>Melia azedarach</i>	853	72505
Persiguero bravo	<i>Prunus subcoriácea</i>	1700	142000
Peteribí	<i>Cordia tricótoma</i>	825	110000
Pino elioti	<i>Pinus elliottii</i>	920	52416
Pino Paraná de reforestaciones	<i>Araucaria angustifolia</i>	872	113103
Pino Paraná natural	<i>Araucaria angustifolia</i>	708	100400
Pino ponderosa	<i>Pinus ponderosa</i>	658	90000
Pino taeda	<i>Pinus taeda L.</i>	776	63784
Rabo itá	<i>Lonchocarpus leucanthus</i>	1158.6	205196
Rabo molle	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	551.6	111461
Urunday	<i>Astronium balansae</i>	1210	109500
Urundel	<i>Astronium urundeuva</i>	1626	159000

Compresión paralela a las fibras

Una pieza de madera está sometida a una carga de compresión cuando está bajo la acción de dos fuerzas iguales y de sentido contrario, aplicada sobre el área transversal y cuyo efecto es acortar la pieza y aumentar su sección. La rotura produce desgarramiento y separación de las fibras.

Compresión longitudinal o paralela a las fibras.

Compresión perpendicular a las fibras.

Compresión longitudinal o paralela a las fibras

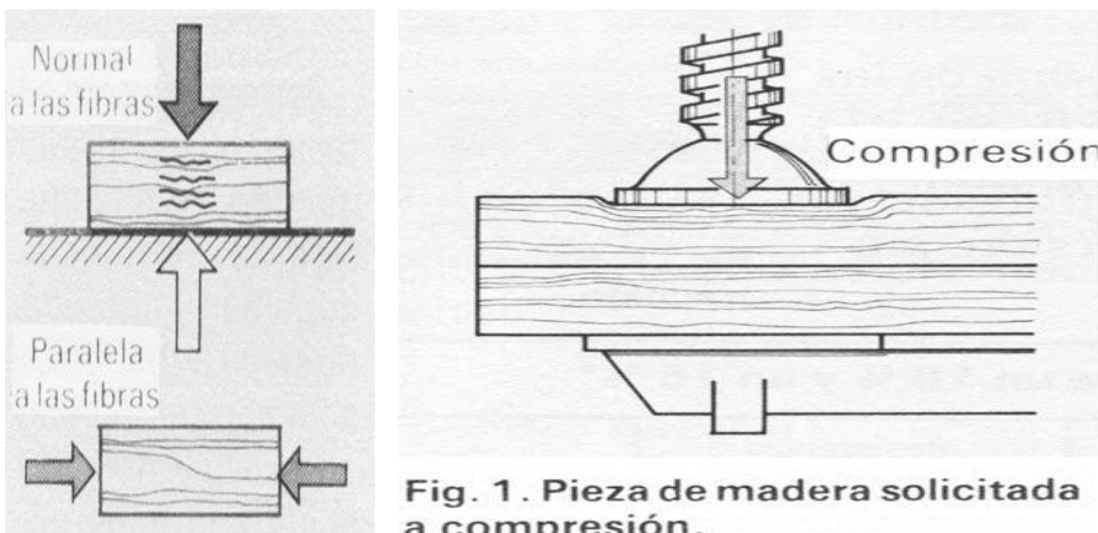
La resistencia a la compresión en el sentido longitudinal es de 5 a 8 veces mayor que la compresión perpendicular.

Para determinar la resistencia a la compresión axial o paralela a las fibras pueden utilizarse probetas con dimensiones según establecen las Normas IRAM, DIN, AFNOR, ASTM, COPANT, etc. Estas dos últimas utilizan probetas con sección transversal de 5 cm por 5 cm, mientras que las anteriores adoptan sección de 2 cm por 2 cm y 6 cm de largo. A continuación se describen las más utilizadas.

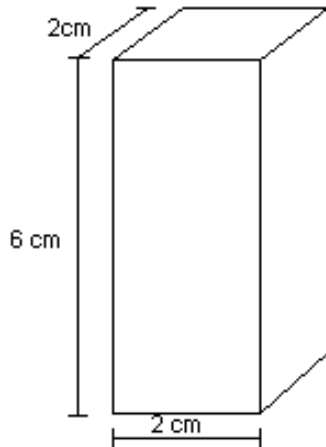
Norma DIN N° 52186, utiliza probetas de sección cuadrada de dos centímetros de lado y seis centímetros de longitud. La velocidad de avance del cabezal es de 0.6 milímetro por minuto.

Norma IRAM 9541, las probetas deben tener una sección de 2 cm por 2 cm, largo 6 cm, libres de defectos y contenido de humedad del 12%. La velocidad de avance del cabezal aproximadamente de 0.6 mm/min.

Se coloca un compresómetro que indicará las deformaciones que se irán produciendo con las distintas cargas. Con estos datos se realiza el diagrama carga-deformación para obtener la carga y la deformación en el límite de proporcionalidad.



Probetas para determinar compresión paralela a las fibras. IRAM 9541. DIN 52185.



Módulo de rotura a la compresión

La tensión de rotura se determina según la fórmula siguiente:

$$\text{MOR} = P/S$$

Siendo:

MOR = Módulo de rotura, en kg/cm^2 .

P = Carga de rotura, en kg.

S = Sección, en cm^2 .

Módulo de elasticidad a la compresión

Para determinar el módulo de elasticidad a la compresión, se dibujan la curva de elasticidad para cada probeta ensayada, con el fin de obtener de ellas las cargas y deformaciones en el límite proporcional.

La fórmula para calcular es la siguiente:

$$\text{MOE} = P'L/Sf$$

Siendo:

MOE = Módulo de elasticidad, en kg/cm^2 .

P' = Carga en el límite proporcional elástico, en kg.

L = Longitud de la probeta, en cm.

S = Sección de la probeta, en cm^2 .

f = Deformación, en cm.

Compresión perpendicular a las fibras.

En la práctica, la madera se somete al esfuerzo de compresión perpendicular cuando se le aplica prensa o sargentos.

Cuando se la utiliza para soleras, durmientes.

Módulos de rotura y elasticidad a la compresión paralela a las fibras

Especie		Compresión paralela a las fibras	
Nombre común	Nombre científico	MOR (kg/cm ²)	MOE (kg/cm ²)
Anchico blanco	<i>Albizzia hasleri</i>	700	
Anchico colorado	<i>Piptadenia rígida</i>	597	150000
Eucaliptus duni	<i>Eucaliptus dunnii</i>	412	
Grevilea	<i>Grevillea robusta</i>	269	90100
Guatambú amarillo	<i>Aspidosperma australe</i>	707	166400
Guatambú blanco	<i>Balfourodendron riedelianum</i>	689	143000
Guayaibí	<i>Patagonula americana</i>	550	127800
Guayaibí amarillo	<i>Terminalia triflora</i>	614	147000
Hovenia	<i>Hovenia dulcis</i>	464	
kiri	<i>Pawlonia sps.</i>	169	
Lapacho negro	<i>Tabebuia ipe</i>	920	184100
Laurel amarillo	<i>Nectandra lanceolata</i>	357	96900
Loro blanco	<i>Bastardiopsis densiflora</i>	422	140000
Mora amarilla	<i>Clorophora tinctoria</i>	830	181000
Mora colorada	<i>Clorophora tinctoria var. polyneura</i>	845	142000
Paraíso	<i>Melia azedarach</i>	361	67800
Persiguero bravo	<i>Prunus subcoriácea</i>	735	162900
Peteribí	<i>Cordia trichotoma</i>	550	127800
Pino elioti	<i>Pinus elliotii</i>	300	
Pino Paraná natural	<i>Araucaria angustifolia</i>	390	142000
Pino ponderosa	<i>Pinus ponderosa</i>	330	
Pino taeda	<i>Pinus taeda L.</i>	436	127746
Urunday	<i>Astronium balansae</i>	625	187000
Urundel	<i>Astronium urundeuva</i>	874	190000

Resistencia al corte o cizallamiento paralelo a las fibras

El corte o cizalla ocurre cuando una pieza de madera está sometida a fuerzas que tienden a provocar un deslizamiento de una parte de ella sobre la otra parte adyacente.

Corte paralelo a las fibras

Corte perpendicular a las fibras

Corte o cizallamiento paralelo a las fibras

El corte paralelo a las fibras ocurre cuando una pieza de madera está sometida a fuerzas que tienden a provocar un deslizamiento de una parte de él sobre la otra parte adyacente. Se produce separación de las fibras entre sí, la pieza se divide en dos.

Este ensayo se realiza aplicando las siguientes Normas: IRAM 9596, ASTM Y COPANT. La Norma ASTM 143/52, establece las siguientes dimensiones para las probetas: 62.5 mm de longitud, presentando un escalón en uno de sus extremos de 19 mm de base por 12.5 mm de altura y longitud de 50 mm, donde se aplica la carga por medio de un pistón. La

Norma IRAM utiliza prácticamente las mismas dimensiones de probeta. La probeta se coloca en una armadura de acero como puede verse en la foto.

La velocidad de ensayo según estipula la Norma, es 0.6 mm/min.

La tensión de corte se calcula de la siguiente forma:

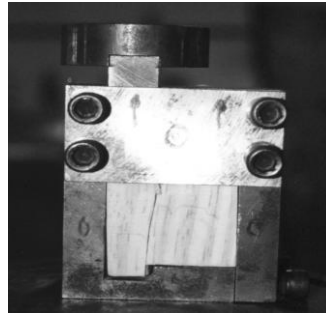
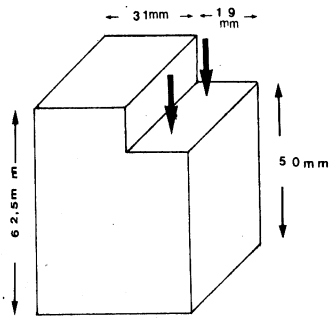
$$T_c = P/S$$

Siendo:

T_c = Tensión de corte, en kg/cm^2 .

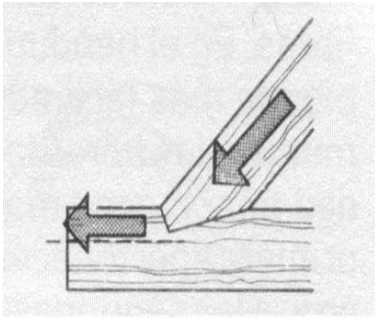
P = Carga de rotura, en kg.

S = Sección de la probeta, en cm^2 .



Probeta ensayada, corte paralelo a las fibras encerrado en la armadura de acero.

Ejemplos de Corte paralelo a las fibras



**Corte
fibras en**

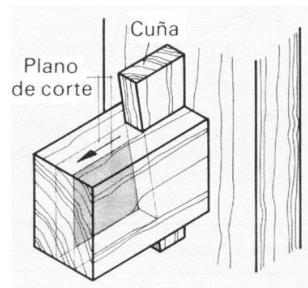


Fig. 2. Tensión de cortadura en la mortaja de la cuña.

**paralelo a las
cola de milano**

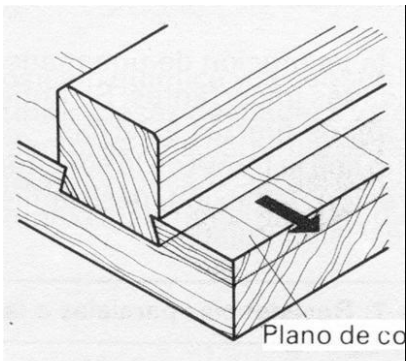


Fig. 3. Tensión de cortadura en la unión a cola de milano.

Resistencia al corte perpendicular a las fibras

Se produce aplastamiento de las fibras.

Presenta una carga superior a la de corte paralelo de 60% a 100%.

Tensión de corte

$$T_c = P/S$$

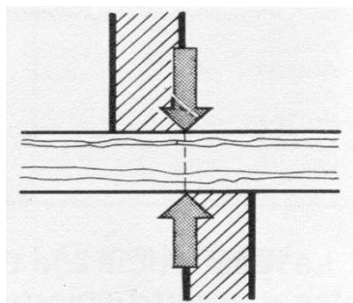
Siendo:

T_c = Tensión de corte, en kg/cm².

P = Carga de rotura, en kg.

S = Sección de la probeta, en cm².

Ejemplo:



Especie	Corte o cizallamiento paralelo a las fibras promedio (kg/cm ²)	
	Radial	Tangencial
<i>Albizia niopoides</i>	38,13	42,11
<i>Ilex brevicuspis</i>	73,26	86,33
<i>Cupania vernalis</i>	77,17	104,63
<i>Matayba elaeagnoides</i>	83,66	129,18
<i>Helietta apiculata</i>	115,99	150,24
<i>Bastardiopsis densiflora</i>	109,79	150,73
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	128,28	155,28
<i>Patagonula americana</i>	105,96	155,31
<i>Lonchocarpus nitidus</i>	136,01	177,13
<i>Luehea divaricata</i>	189,09	217,14
<i>Ateleia glazeoviana</i>	182,11	233,61
<i>Lonchocarpus leucanthus</i>	184,37	234,95
<i>Holocalyx balansae</i>	269,09	309,11

Borhen Alicia. 2005. Tesis.

Resistencia a la tracción

Un cuerpo se encuentra sometido a la tracción cuando actúan dos fuerzas de igual magnitud y sentido contrario.

Tracción perpendicular a las fibras

Tracción longitudinal a las fibras

Tracción perpendicular a las fibras

Un cuerpo se encuentra traccionado cuando está sometido por dos fuerzas de igual magnitud y sentido contrario provocándole un alargamiento.

La resistencia a la tracción está dada por el esfuerzo que opone la adherencia entre las fibras de la madera, al estar sometida por cargas externas que tienden a separarlas. La resistencia en este sentido generalmente arroja valores bajos.

La resistencia a la tracción perpendicular a las fibras es 10% menor que la tracción longitudinal o paralela a las fibras.

Esta resistencia tiene poca importancia en la fabricación de muebles y construcciones interiores.

Para la determinación de este ensayo pueden emplearse las Normas ASTM D143, COPANT 30:1-016 Y AFNOR B51-003.

La Norma ASTM 143/52 especifica que las probetas deben ser de sección cuadrada de 50 mm de lado por 63 mm de longitud. En ambos extremos existen escotaduras de 25 mm de diámetro, donde se fijan las mordazas de tracción. Los centros se encuentran a 6 mm de las superficies transversales. La sección de tracción es de 25 mm por 50 mm que es el ancho de la probeta. Establece como velocidad de ensayo, 2.5 mm/min. Foto.

La tensión se calcula con la siguiente fórmula:

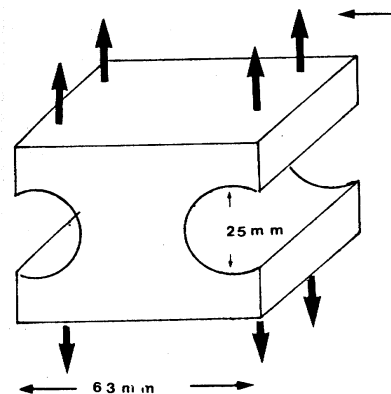
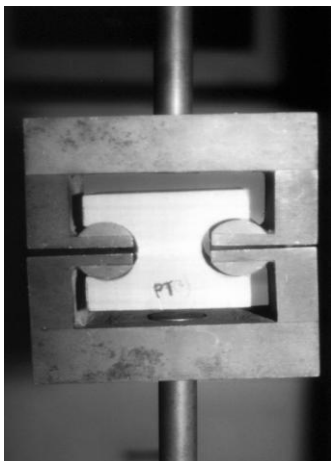
$$T_t = P/S$$

Siendo:

T_t = Tensión de corte a la tracción, en kg/cm^2

P = Carga de rotura, en kg.

S = Sección de la probeta, en cm^2 .



Probeta para ensayos de tracción perpendicular a las fibras.

Resistencia a la tracción longitudinal a las fibras

La pieza de madera sufre un alargamiento.

Las probetas son difíciles de construir.

Presentan una escotadura en el centro.

Las normas utilizadas son Norma ASTM D143/52 y DIN 52188.

Especie	Tracción perpendicular a las fibras (kg/cm^2)	
	Radial	Tangencial
<i>Bastardiopsis densiflora</i>	67,64	26,41
<i>Albizia niopoides</i>	52,01	28,38
<i>Luehea divaricata</i>	33,86	29,85
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	68,48	36,33
<i>Lonchocarpus nitidus</i>	57,19	39,86
<i>Ateleia glazeoviana</i>	52,77	41,45
<i>Matayba elaeagnoides</i>	57,03	45,35
<i>Ilex brevicuspis</i>	81,29	48,44
<i>Lonchocarpus leucanthus</i>	69,71	50,19
<i>Helietta apiculata</i>	74,00	53,42
<i>Cupania vernalis</i>	62,09	54,70
<i>Holocalyx balansae</i>	79,82	54,06
<i>Patagonula americana</i>	75,57	62,44

Borhen Alicia. 2005. Tesis.

Resistencia al clivaje o rajadura, hendimiento

Es la resistencia que ofrece la madera a rajarse. Se estudia la resistencia a la rajadura en los sentidos tangencial y radial.

Por lo general la madera se hiende con mayor facilidad en el sentido del esfuerzo tangencial que en el sentido del esfuerzo radial.

Un cuerpo se encuentra sometido al esfuerzo de rajadura cuando dos fuerzas de igual magnitud y opuestas provocan la rotura de la misma. La tensión depende del ancho de la pieza. La rajadura es el desgarramiento de las fibras, que se produce por la aplicación de una carga.

Las maderas que se hienden con mayor facilidad se usan para fabricar tablillas, radios de ruedas, peldaños de escaleras, remos.

Este ensayo puede ser realizado utilizando las Normas ASTM, AFNOR. La Norma ASTM 143/52 establece una velocidad de ensayo de 2.5 mm/min; requiere probetas prismáticas de sección cuadrada de 50 mm de lado y de 95 mm de longitud, uno de sus

extremos cuenta con una escotadura de 25 mm de diámetro cuyo centro se ubica a 6 mm de la superficie transversal. Foto.

Las probetas deben ser preparadas de tal forma, que permitan aplicar la tensión en el sentido radial y tangencial respecto a los anillos de crecimiento.

La tensión se calcula con la siguiente fórmula:

$$Tr = P/L$$

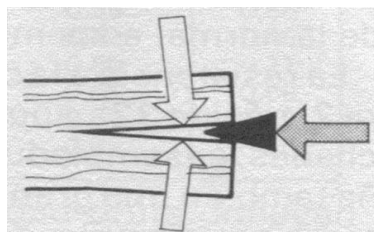
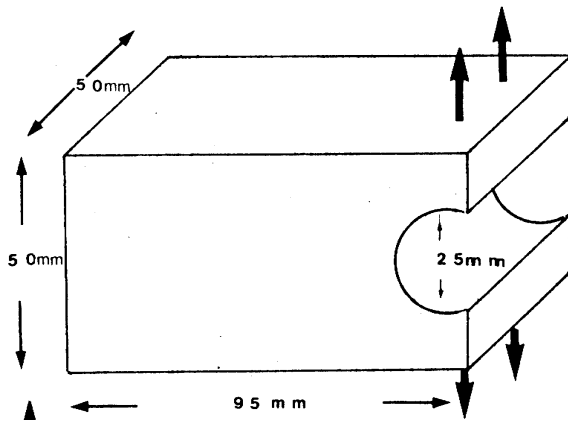
Siendo:

Tr = Tensión de corte a la rajadura, en kg/cm

P = Carga de rotura, en kg.

L = Longitud de la escotadura, en cm.

Probetas para ensayos de clivaje



CLIVAJE o RAJADURA (Kg/cm).

Edad	Esfuerzo	Media	Desvío	CV
6	tg	25,50 a	2,72	10,68
	rd	32,36 bc	3,12	9,64
9	tg	29,67 ab	3,25	10,95
	rd	33,80 c	4,34	12,85
16	tg	37,69 d	3,60	9,55
	rd	42,99 e	4,15	9,66
		35,54	6,38	17,95

Weber, 2005. Tesis.

Propiedades de dureza Janka

La dureza de la madera es la resistencia que esta ofrece a la penetración de un cuerpo más duro.

Una madera dura indica dificultad de trabajabilidad, y generalmente son más pesadas. Son apropiadas para pisos y todas aquellas piezas que requieren retener tornillos, clavos, etc.

La dureza no está exactamente considerada como una propiedad mecánica, debido a los diversos métodos para su determinación y el diferente sentido físico de los valores que se obtienen.

Los ensayos de dureza se determinan según establece la Norma ASTM 143/52, utilizándose probetas de sección cuadrada de 50 mm. de lado y 150 mm. de longitud, orientadas de tal forma que las caras opuestas tengan dos superficies tangenciales, dos radiales y dos transversales. Se realiza un ensayo en cada superficie, obteniéndose medias para cada una de las superficies.

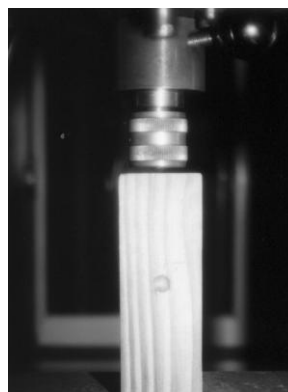
El ensayo consiste en la introducción de una semiesfera de acero de 11.28 mm de diámetro, que deja una impronta de sección circular de un centímetro cuadrado de superficie, en la foto se observa una probeta durante el ensayo.

La dureza se expresa en kg/cm^2 . La velocidad de carga del ensayo es de 6 mm/min.

Comercialmente se divide a la madera en:

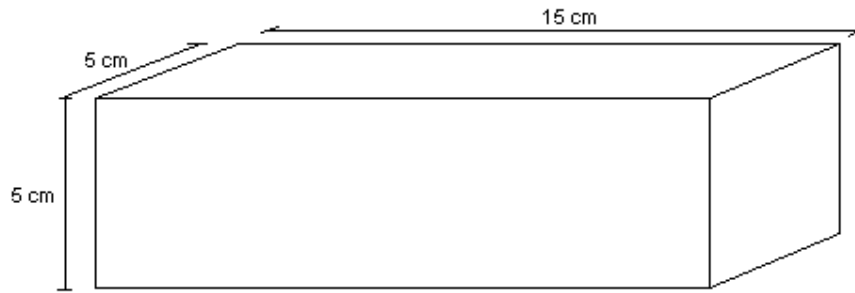
Clasificación de maderas argentinas propuesta por R. García y J. García (1949)

Maderas	Dureza Janka kg/cm^2
Muy blandas	300
Blandas	301 a 500
Semiduras	501 a 700
Duras	701 a 1000
Muy duras	+ de 1000



Probeta para ensayo de dureza Janka,

Probetas para determinar la dureza de la madera
Norma ASTM 143/52



Especie		Dureza Janka (kg/cm ²)		
Nombre común	Nombre científico	Radial	Tangencial	Transversal
Anchico colorado	<i>Piptadenia rígida</i>		1055	1135
Camboatá blanco	<i>Cupania vernalis</i>			350
Caoba	<i>Swetenia macrophilla</i>		471	
Cedro	<i>Cedería fissilis</i>		380	
Eucaliptus duni	<i>Eucaliptus dunnii</i>	278	264	335
Grevilea	<i>Grevillea robusta</i>	402	420	520
Guatambú amarillo	<i>Aspidosperma australe</i>		830	854
Guatambú blanco	<i>Balfourodendron riedelianum</i>		750	
Guayaibí	<i>Patagonula americana</i>		690	
Hovenia	<i>Hovenia dulces</i>	522	562	534
Kiri	<i>Pawlonia Tomentosa</i>	120	145	260
Lapacho negro	<i>Tabebuia ipe</i>		766	850
Laurel amarillo	<i>Nectandra lanceolada</i>		429	
Loro blanco	<i>Bastardiopsis densiflora</i>	324	330	522
Mora amarilla	<i>Clorophora tinctoria</i>		752	970
Mora colorada	<i>Clorophora tinctoria var. polyneura</i>		995	
Paraíso	<i>Melia azedarach</i>	397	415	570
Persiguero bravo	<i>Prunus subcoriácea</i>			
Peteribí	<i>Cordia tricótoma</i>		660	
Pino elioti	<i>Pinus elliottii</i>	344	385	432
Pino Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	337	325	490
Pino ponderosa	<i>Pinus ponderosa</i>			208
Pino taeda	<i>Pinus taeda L.</i>	307	320	377
Rabo molle	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>		540	649
Urunday	<i>Astronimum balansae</i>		1100	
Urundel	<i>Astronimum urundeuva</i>		1125	
Tarumá	<i>Vítex cymosa</i>		530	
Timbó	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>		395	
Tipa	<i>Tipuana tipu</i>		696	

Madera de loro blanco

Propiedades mecánicas		Promedio (kg/cm ²)
Dureza Janka (kg/cm ²) madera sin impregnar	Tangencial	436,50
	Radial	402,50
	Transversal	579,00
Dureza Janka (kg/cm ²) Madera impregnada	Tangencial	545,00
	Radial	527,00
	Transversal	456,00

Suirezs *et al.* 2005.

DUREZA JANKA (kg/cm²). Madera de *Pinus taeda* M.

Edad	Superficie	Media	Desvío	CV
6	radial	165,50 a	38,69	23,38
	tangencial	210,50 ab	37,52	17,83
	transversal	230,00 bc	50,72	22,05
9	radial	235,16 bc	47,30	20,11
	tangencial	251,77 bc	44,38	17,63
	transversal	289,74 a	58,72	20,27
16	radial	263,39 c	33,08	12,56
	tangencial	290,57 d	35,44	12,20
	transversal	355,05 e	47,45	13,36
		277,04	61,25	22,11

Weber, 2005. Tesis.

Resistencia a la torsión

Es la resistencia que ofrece la madera a la rotación o giro alrededor del eje longitudinal a la Fibra.

Ejemplo:

Durante el torneado, la madera está sometida a la torsión.
Pata de sillas cuando se gira el cuerpo estando sentados.

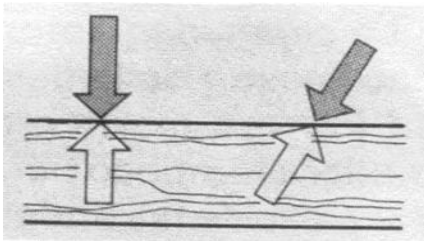
Propiedades de desgaste

Resistencia que ofrece la madera al ser trabajada con materiales abrasivos.

Lijado.
Cepillado.
Aplastamiento.

Esta propiedad es de importancia para la utilización de tableros, pisos, aberturas y muebles que requieren de pulidos.

Resistencia a la abrasión. DIN 52108.



Resistencia dinámica

Flexión dinámica

IRAM 9546

Se determina a través de la aplicación de una carga instantánea.

Aplicaciones en muelles, puentes.

Tensión admisible

Es el esfuerzo que un elemento estructural puede estar solicitando dentro de determinados límites de seguridad.

Para dimensionar a las maderas estructurales: se deben ajustar los valores obtenidos en los ensayos normalizados. Se utiliza una tensión admisible o de trabajo inferior a la de rotura.

La tensión admisible depende de la tensión de rotura y del coeficiente de seguridad.

$$T_{adm} = T_{rot}/n$$

Donde:

T_{adm} = Tensión admisible. kg/cm^2 , N/mm^2 .

T_{rot} = Tensión de rotura. kg/cm^2 , N/mm^2 .

n = Coeficiente de seguridad.

Coefficiente de seguridad

Para asignar el coeficiente de seguridad se debe considerar:

- Que las cargas no superen el límite elástico.
- Tipos de cargas: permanentes, variables o alternadas.
- Probabilidad de sobrecargas accidentales.
- Defectos de construcción, dimensiones inadecuadas, uniones incorrectas.
- Consecuencias por daños parciales y total de la estructura.

Factores que influyen en el coeficiente de seguridad de la madera

- Heterogeneidad de la pared celular.
- Variabilidad en la resistencia.
- Contenido de humedad.
- Nudos.
- Fibras espiraladas.
- Duración de las cargas.
- Cargas accidentales.
- Defecto de construcción.
- Errores de cálculo en el dimensionado de los elementos estructurales.

Determinación del coeficiente de seguridad

Por R. López Zigarán

Para determinar el coeficiente de seguridad, a partir de los valores de resistencias de probetas normalizadas, con contenido de humedad entre 12-15%, se deben considerar:

La variación de la resistencia de la madera

Reducción del valor medio de la resistencia en $\frac{3}{4}$.

Efectos de humedad

Reducción de la resistencia en $\frac{3}{4}$ debido al efecto de la humedad.

Presencia de nudos y fibras espiraladas

Reducción del valor medio de la resistencia en $\frac{3}{4}$.

Tiempo de duración de las cargas

Reducción del valor medio de la resistencia en $\frac{7}{16}$ a **$\frac{9}{16}$** .

Cargas accidentales

Reducción del valor medio de la resistencia en $3/5$.

Valor del coeficiente de seguridad

$$1/n = 3/4 * 3/4 * 3/4 * 7/16 * 3/5 = 567/5200 = 1/9$$

En este caso el factor de reducción para maderas secas es de aproximadamente 0,11.

Valores de coeficientes de seguridad n, para distintos materiales (R. Saliger, 1950).

Material	n		
	Tracción	Compresión	Flexión
Madera	7-10	6-10	7-10
Hierro dulce	2-3	2-3	-
Hierro colado	5	7-9	-
Acero dulce	2-2,5	2-2,5	-
Fundición	-	5	-
Hormigón	-	8-9	-
Piedras	-	16-20	-
Muros de mampostería	-	25-30	-

Valores de tensiones admisibles de la madera

En algunos países existen Normas que establecen las tensiones admisibles, por ejemplo: DIN 1052, Maderas alemanas y europeas. ASTM D245-57T, Maderas norteamericanas.

En numerosos países existen Reglamentos Técnicos:

Chile: “Ley y Ordenanza General para Construcciones y Urbanización de Santiago de Chile, 1941”.

Brasil: “Boletín N° 24 del año 1939 del Instituto de Pesquisas Tecnológicas de San Pablo”

Argentina: “Código de Edificación de la Municipalidad de la ciudad de Buenos Aires”, Ordenanza N° 14089, septiembre 1944.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM (American Society for Testing and Materials), N° 143/52.

Borhen, Alicia. 2005. Evaluación del potencial para la producción de chapas decorativas de tres especies arbóreas de la selva misionera. Tesis

Coronel, E. O. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Primera parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Instituto de tecnología de la madera, Fac. de Cs. Forestales. Santiago del Estero. Argentina. 1994.

Coronel, E. O. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Segunda parte: Fundamentos de las propiedades mecánicas de la madera. Instituto de tecnología de la madera, Fac. de Cs. Forestales. Santiago del Estero. Argentina. 1994.

DIN (Deutsch Industrie Norm) N° 52186 (Instituto para Normas Alemanas).

González, R. A.; Pereyra, O.; Suirezs, T.M. "Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* reforestado en la provincia de Misiones, Argentina". Yvyretá. Año 3, N° 3. Pág. 5-19. (1992).

González, R. A.; Pereyra, O.; Suirezs, T.M. "Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de *Pinus taeda* reforestado en la provincia de Misiones, Argentina". Yvyretá, Año 4, N° 4. Pág. 4-8. (1993).

González, R. A.; Suirezs, T.M. "Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de pino Paraná (*Araucaria angustifolia*) reforestado en la provincia de Misiones, Argentina". Yvyretá Año 5- N° 5, Pág. 4-8. (1994).

González, R. A.; Suirezs, T.M. "Contribución al conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de pino patula reforestado en la provincia de Misiones, Argentina". Yvyretá, Año 7. N° 7, Pág. 21-23. (1996).

González, R. A.; Suirezs, T.M.; Pereyra, O. "*Eucalyptus dunni*: Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de árboles jóvenes reforestado en la provincia de Misiones". Yvyretá N° 8. Pág. 46-50. (1997).

IRAM N° 9532; 9543; 9544. Para determinaciones de: la humedad, las contracciones totales; axial, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras y la densidad aparente.

IRAM N° 9541; 9542; 9570. Para determinación de compresión axial, flexión estática y dureza Janka respectivamente.

I.S.O. Internacional Standard Organization (Organización internacional de estandarización).

Kollmann, Franz. Principles of wood science and technology.

Suirezs, Teresa M. 2000. Efecto de la impregnación con CCA (Cromo-Cobre-Arsénico) sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda*. Eldorado. Misiones. UNaM. Tesis.

Tuset, R. Y Duran, F. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Editorial Agropecuaria, Hemisferio Sur S.R.L. Montevideo.1979.

Weber, Elizabet M. 2005. Caracterización física y mecánica de *Pinus taeda* Marion en plantaciones de diferentes edades y determinación de usos potenciales. Eldorado. Misiones. UNaM. Tesis.