



# MADERAS

- Cualidades y clasificación
- Propiedades físicas
- Propiedades mecánicas
- Tensiones admisibles

Preparó:

Ing. Daniel A. García Gei

Revisó:

Ing. Daniel A. García Gei

Dirigió:

Ing. Daniel A. García Gei

## Tema 9: MADERAS

### A) Del programa analítico temático

Objetivos: a) Reconocer las características de la madera como material para estructuras.

9.1 La madera en la construcción: Constitución de la madera. Propiedades físicas: humedad, contracción e hinchazón, densidad, dureza. Propiedades mecánicas: compresión y tracción (paralela y transversal a las fibras), flexión, corte, hienda, fatiga. Influencia de la humedad, duración de la carga, temperatura y tamaño de la pieza. Defectos y alteraciones. Dimensiones comerciales. Clasificación de las maderas. Control de calidad y condiciones de recepción. Normas IRAM y DIN 4074.

9.2 Resistencia de la madera: Elasticidad de la madera: relaciones tensión /deformación. Tensiones características y básicas. Coeficientes de reducción. Tensiones admisibles. Clasificación resistente de maderas aserradas y encoladas. Deformaciones: inicial, diferida, influencia de las uniones y el ambiente. Deformaciones admisibles. Normas DIN 1052, AFNOR, EUROCÓDIGO 5., Americanas.

**TP9** a) Investigar, informar y reconocer las características tecnológicas de la madera, las formas comerciales, materiales derivados y sus aplicaciones

### B) Problemas a resolver

¿Qué es la madera de construcción, cuáles son las diferencias con maderas para ebanistería y muebles? ¿Cómo está constituida la madera? ¿Cuáles son sus propiedades físicas y mecánicas? ¿Qué es defecto en la madera, cuáles son las alteraciones que modifican sus características resistentes?

¿Cómo establecemos una clasificación que permita reconocer las cualidades resistentes de las diferentes maderas?

¿Qué es defecto en la madera, cuáles son las alteraciones que modifican sus características resistentes?

¿En qué formas comerciales las encontramos? ¿Cómo controlamos la calidad?

¿Qué ha hecho el hombre para mejorar las características de la madera? ¿Cómo se conforman los paneles de fibras prensadas, de fibras encoladas, compensados y aglomerados? ¿Se pueden utilizar estructuralmente? ¿Cómo se aprovechan las características en los laminados encolados?

¿Cómo se comporta la madera ante la velocidad de la carga?

¿Cómo controlamos las deformaciones?

### C) BIBLIOGRAFÍA

- LA MODERNA TECNICA DE LA COSTRUZIONE IN LEGNO – G. Giordano
- MADERAS DE CONSTRUCCION - Froment
- CALCULO DE ESTRUCTURAS DE MADERA – Argüelles Alvarez
- ESTRUCTURAS DE MADERA - Diseño y cálculo - (Eurocódigo 5) – IAITIM – dirigido por Argüelles Alvarez
- LE COSTRUZIONI IN LEGNO – A. Arcángeli
- DISEÑO SIMPLIFICADO DE ESTRUCTURAS DE MADERA – Parker
- OBRAS DE FABRICA Y METALICAS – P. Galabré – Tomo 2 – Capítulo LIV y ss.
- Normas DIN 1052 – 4074, EUROCODIGO 5 y Normas IRAM pertinentes

### 9.1. Constitución de la madera

Sección del tronco de un árbol. Se observa:

- Parte central: médula
- Anillos más antiguos: corazón
- Anillos de crecimiento, cada vez más gruesos disminuyendo la dureza hacia la periferia
- Capa blanda: albura
- Envoltente exterior: Corteza

El árbol se forma desde la primavera hasta el otoño. Cada año se forma un anillo compuesto de dos capas, una más blanda y clara formada en primavera y otra más dura y oscura durante el otoño. Poco a poco alcanzan la dureza del corazón por el proceso de lignificado. Esto ocurre así en las regiones de clima templado o con grandes cambios invierno-verano. En las regiones tropicales el crecimiento es ininterrumpido.

La naturaleza del suelo y las condiciones ambientales influyen en el crecimiento del árbol y, consecuentemente en la calidad de madera obtenida (fértil vs. árido, vientos suaves vs. violentos o constantes, asoleamiento, etc)

En las **frondosas** la capa producida en primavera es de espesor constante. Cuanto más deprisa crecen mayor es el espesor de la capa de verano, la más pesada y resistente. Se elegirán cortes de crecimiento rápido.

Los **resinosos** la capa producida en primavera es la más gruesa, por lo que resulta blanda y poco resistente. Se preferirán los árboles de crecimiento más lento pues tendrán una proporción relativamente menor de madera de primavera

### 9.2. Corta. Secado

La corta de los árboles debe realizarse antes de la subida de la savia de primavera  
El secado de la madera, corresponde para eliminar la savia y el agua libres.

Procedimientos:

- Secado natural al aire libre: proceso excelente aunque lento y limitado a las condiciones higrométricas del ambiente. Velocidad: maderas duras **1 año/cm/cara ventilada**, maderas blandas **½ año/cm/cara ventilada**
- Secado por flotación
- Secado en estufas: elimina también sales incrustantes

### 9.3. Defectos de la madera

La madera es un ser orgánico vivo y presenta anomalías que resultan en defectos para el uso estructural. Ello debido a las condiciones de crecimiento, ataque de insectos y hongos, heridas durante la corta, imperfecciones en el proceso de secado y fraccionamiento, etc.

Los principales son:

- Nudos: vivos, muertos y enfermos
- Fibras retorcidas.
- Curvatura del tronco.
- Trepas, lupias y verrugas
- Grietas: calaña (separación de anillos), pasmo (grieta de corazón), grietas (radiales desde la periferia), rajadas (durante el secado)
- Hongos. Bacterias. Insectos

**9.4. Propiedades físicas****9.4.1. Humedad**

Grado de exposición de la construcción	Exposición	H probable de la madera	Reducción de la tensión admisible
Local cerrado	S1	$\leq 17\%$	1.0
Estructuras abrigadas en local abierto	S2	$17 < H \leq 20$	0.8
Estructuras al aire libre	S2	$20 < H \leq 25$	0.7
Estructuras en medios muy húmedos	S3	$25 < H \leq 30$	0.6
Estructuras en contacto con agua y suelo	S3	$30 < H$	0.5

**9.4.2. Retracción****9.4.3. Dilatación térmica**

Los coeficientes de dilatación térmica son del orden de:

$$\alpha_{00} \cong 5 \text{ E-06}$$

$$\alpha_{90} \cong 50 \text{ E-06}$$

Las variaciones de longitud por cambio de temperatura son despreciables frente a las producidas por la retracción, y se dan en sentido contrario. Un aumento de temperatura disminuye el grado de humedad y la pieza de madera se retrae.

**9.4.4. Densidad**

La densidad depende tanto del grado de humedad, que no puede hablarse de ella sin referirla a este.

Las características dimensionales, físicas y mecánicas se toman considerando una humedad de 15%

**9.4.5. Resistencia mecánica****9.4.6. Constantes elásticas****9.4.7. Inflamabilidad**

El peligro de incendios presenta dos aspectos:

- La pérdida de resistencia mecánica de las piezas que forman la construcción
- La propagación del fuego debido a la combustibilidad de la madera

Aunque paradójico, si no hay corrientes fuertes de aire que activen el fuego, la pieza se consume lentamente y su resistencia no es afectada por altas temperaturas. Cuando falta oxígeno la combustión se detiene cuando la madera calcinada alcanza 1 cm de espesor.

Por ello un elemento de 25 mm de espesor conservará cierta solidez y no propagará el fuego.

Elementos de espesor menor a 25 mm se deben ignifugar, proteger del fuego o evitar de colocarlos.

Elementos entre 25 y 50 mm de espesor se pueden utilizar siempre que sea posible prevenir corrientes de aire.

Elementos de más de 50 mm de espesor deben admitirse sin más.

Sería ilógico proscribir la madera en la construcción aduciendo peligro de incendio, cuando se utilizan materiales plásticos en muchos elementos de la obra y del uso.

**9.5. Condiciones de aceptación. Control visual – DIN 4074 y AFNOR NFB 52-001**

Para definir la calidad de la madera estructural se proponen tres categorías. Se establecen límites respecto de los defectos y alteraciones que pueden presentarse en las piezas. La inspección es visual, no se requieren ensayos ni pruebas de carga.

CATEGORIA I		CATEGORIA II		CATEGORIA III	
<b>Nudos</b> sobre caras estrechas o sobre cuartos exteriores de caras anchas					
D ≤ 0.12 b ≤ 20 mm		D ≤ 0.25 b ≤ 40 mm		D ≤ 0.40 b ≤ 60 mm	
<b>Nudos</b> sobre mitad central de caras anchas					
D ≤ 0.25 b ≤ 40 mm		D ≤ 0.50 b ≤ 60 mm		D ≤ 0.80 b ≤ 80 mm	
<b>Pendiente</b> media de la fibra					
≤ 1/16 (≤ 6%)		≤ 1/13 (≤ 8%)		≤ 1/8 (≤ 12.5%)	
<b>Fallas: se admiten fallas cuyas longitudes y espesores cumplan los siguientes límites</b>					
Lf ≤ L/4		Lf ≤ L/3		Lf ≤ L/2	
bf ≤ b/4		bf ≤ b/3		bf ≤ b/2	
<b>Rajas extremas:</b> medidas con H=20%, se admiten rajadas cuya longitud resulta:					
Lr ≤ b		Lr ≤ 2 b		Lr ≤ 4 b	
<b>Anillos de crecimiento</b>					
Fronosas	Coníferas	Fronosas	Coníferas	Fronosas	Coníferas
> 7 mm	< 3 mm	> 4 mm	< 5 mm	Cualquiera	< 10 mm
<b>Densidad</b>					
> 0.80	> 0.50	> 0.70	> 0.45	Sin límites	Sin límites

- D: diámetro medio de los nudos. Los nudos secos y negros se cuentan con **doble diámetro**. Los grupos de nudos se cuentan sumando los diámetros individuales, respetando si se trata de nudos vivos o muertos
- b: espesor o ancho de la pieza aserrada o tabla encolada
- L: Longitud de la pieza
- Lf: Longitud de la falla
- bf: Ancho de la falla
- Lr: Longitud de la raja extrema. Las rajadas reducen la capacidad de cizallamiento en proporción a su profundidad respecto del espesor de la pieza.



## ANISOTROPÍA DE LA MADERA

En el estudio de una pieza de madera se deben considerar tres direcciones principales:

- **AXIAL:** paralela al eje del árbol ( $//$ ,  $0^\circ$ ,  $00$ )
  
- **RADIAL:** Perpendicular al eje del árbol, cortándolo ( $\perp$ ,  $90^\circ$ ,  $90$ )
  
- **TANGENCIAL:** Normal a las dos anteriores, tangente a los anillos de crecimiento ( $\perp$ ,  $90^\circ$ ,  $90$ ).

## PROPIEDADES FISICAS DE LA MADERA

### • EL AGUA EN LA MADERA:

- √ Agua de constitución: su eliminación supone la destrucción del material
- √ Agua de impregnación: agua contenida en las paredes de las células. La cantidad se mantiene en equilibrio con el ambiente. Se elimina por desecación en estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ . En condición de saturación se alcanza el 28-30% en coníferas
- √ Agua libre: Se encuentra en las cavidades de las células. No tiene influencia en las propiedades mecánicas y físicas, salvo la densidad aparente.

### • CONTENIDO DE HUMEDAD

$$H(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

- √ Recién cortada: 50-110%
- √ Secado natural: 16-18%
- √ Sumergidas: 100-200%

### • HIGROSCOPICIDAD

La madera es higroscópica, tiene a absorber o perder agua según las condiciones ambientales.

La madera de construcción tendrá la humedad más próxima al equilibrio higroscópico correspondiente a las condiciones ambientales de servicio

- √ Obras hidráulicas 30%
- √ En medios muy húmedos 25-30%
- √ Expuesta a la humedad (no cubierta) 18-25%
- √ Obras cubiertas abiertas por los lados 16-20%
- √ Obras cubiertas y cerradas 13-17%
- √ Locales cerrados y calefaccionados 12-14%
- √ Locales cerrados con calefacción continua 10-12%

### • HINCHAZÓN Y MERMA

La variación del contenido de humedad (agua de impregnación) produce cambios dimensionales en las piezas: hinchazón cuando aumenta, contracción o merma cuando disminuye.

La anisotropía confiere comportamiento distinto según las direcciones:

- √ Dirección tangencial 100%
- √ Dirección radial 50-60%
- √ Dirección longitudinal 2-4%



Como es natural, se modifica también el VOLUMEN de la pieza

- √ Contracción volumétrica y coeficiente de contracción volumétrica

$$C_v(\%) = \frac{V_s - V_0}{V_0} \times 100$$

$$v(\%) = \frac{V_s - V_0}{V_0 H} \times 100$$

- √ Contracción radial y coeficiente de contracción radial

$$R(\%) = \frac{R_s - R_0}{R_0} \times 100$$

$$v_r(\%) = \frac{R_s - R_0}{R_0 H} \times 100$$

- √ Contracción tangencial y coeficiente de contracción tangencial

$$T(\%) = \frac{T_s - T_0}{T_0} \times 100$$

$$v_t(\%) = \frac{T_s - T_0}{T_0 H} \times 100$$

	Alamo Criollo	Pino Paraná
Cv	10.5	11.8
R	3.9	3.9
T	7.1	7.2

La contracción puede tener consecuencias en la seguridad de la estructura:

- √ Tensiones originadas en los medios de unión. Sobre todo en aquellas conexiones que impiden el libre desplazamiento de la pieza
- √ Desajustes y holguras en los medios de unión si la madera fue colocada con excesivo contenido de humedad
- √ Aparición de fendas de secado que disminuyen la calidad de la pieza y pueden favorecer el ataque de organismos xilófagos

- **DENSIDAD**

La densidad aparente es muy variable, depende de la especie, del sitio de crecimiento y del contenido de humedad. Se la referencia al 12% de humedad de la madera.

Las coníferas más utilizadas tienen una densidad entre 400 y 550 kg/m<sup>3</sup>

Las frondosas entre 600 y 700 kg/m<sup>3</sup>

La densidad real (de las paredes celulares) es constante, 1500 kg/m<sup>3</sup>

## PROPIEDADES MECANICAS DE LA MADERA

### • COMPARACIÓN CON OTROS MATERIALES ESTRUCTURALES

Conforme con su constitución es un material anisótropo formado por un haz de tubos huecos específicamente diseñada para resistir esfuerzos paralelos a las fibras.

Debido a la ortotropía es necesario considerar la dirección de los esfuerzos para definir la resistencia: PARALELOS A LA FIBRA (0°) y NORMALES o PERPENDICULARES A LA FIBRA (90°), sea radial o tangencial

La seguridad en las construcciones obtenida mediante diseño y cálculo ingenieril es la misma que la conseguida con otros materiales estructurales.

### • TRACCION PARALELA A LA FIBRA

Elevada resistencia a tracción paralela, en maderas sin defectos es superior a los valores de flexión.

La relación tensión – deformación es prácticamente lineal hasta la rotura

### • COMPRESION PARALELA A LA FIBRA

La resistencia a compresión paralela a la fibra es elevada, alcanza valores *característicos* de 160 a 230  $kp/cm^2$

La resistencia a compresión en madera libre de defectos es inferior a la resistencia a tracción. En piezas con defectos sucede lo contrario. Los defectos influyen desfavorablemente en la resistencia a tracción.

El módulo de elasticidad es menor a compresión que a tracción.

### • FLEXIÓN

La resistencia a flexión de la madera es muy elevada comparada con su peso.

Es necesario hablar de resistencia a flexión independientemente de la resistencia a compresión y tracción. No se pueden trasponer los resultados individuales de aquellas a ésta, pues el comportamiento mecánico es diferente.

### • TRACCION PERPENDICULAR A LA FIBRA

La resistencia a tracción perpendicular a la fibra es notablemente baja (30 a 70 veces menor que la paralela).

La madera tiene escasas fibras leñosas en dirección radial y tangencial, por eso es tan baja esta resistencia.

Estos esfuerzos se presentan en piezas curvas, nudos de pórticos, apoyos de vigas y viguetas, cuando hay coacción de movimientos.

### • COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

Valores característicos de 43 a 60  $kg/cm^2$ , representa  $\frac{1}{4}$  de la resistencia en dirección paralela. El fallo se produce por aplastamiento sin alcanzar una rotura clara.

### • CORTANTE

Los valores característicos entre 17 y 30  $kg/cm^2$ , se obtienen en maderas habituales de la construcción.

- √ Tensiones tangenciales de cortadura. Las fibras son cortadas perpendicularmente a ellas, fallo por aplastamiento
- √ Tensiones tangenciales de deslizamiento: unas fibras deslizan respecto de las otras en dirección longitudinal
- √ Tensiones tangenciales de rodadura: fallo cuando unas fibras ruedan sobre otras en dirección normal a su dirección.
- √ En piezas sometidas a flexión y corte el fallo es conjunto por corte y deslizamiento (el plano más débil es el de deslizamiento y son las tensiones rasantes las que provocan el fallo).