



Madera como material

Diego N. Passarella

Udelar - Centro Universitario Tacuarembó

15 de noviembre de 2017

Curso “Avances en el uso de la madera en edificaciones urbanas”

Colaboran en la realización del curso:



Tenera S.A.

Montana Química



LONZA



Índice

Anatomía

Propiedades de la madera

Propiedades físicas

Propiedades mecánicas

Referencias

Índice

Anatomía

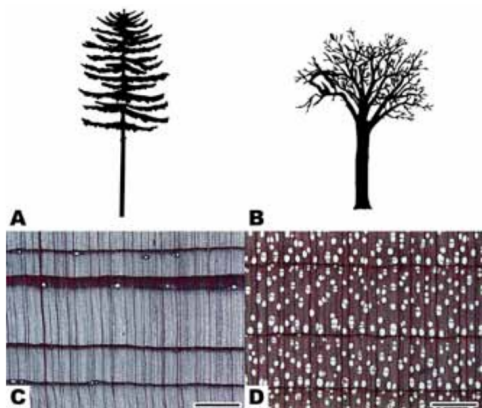
Propiedades de la madera

Propiedades físicas

Propiedades mecánicas

Referencias

Coníferas y latifoliadas



Diferencias morfológicas y estructurales entre coníferas y latifoliadas

Imagen extraída de referencia [2]

Coníferas y latifoliadas (cont.)

Distintos tipos de células:

- ▶ Coníferas
 - ▶ Traqueidas
 - ▶ Vasos resiníferos
- ▶ Latifoliadas
 - ▶ Vasos leñosos
 - ▶ Fibras
 - ▶ Radios leñosos
 - ▶ ...

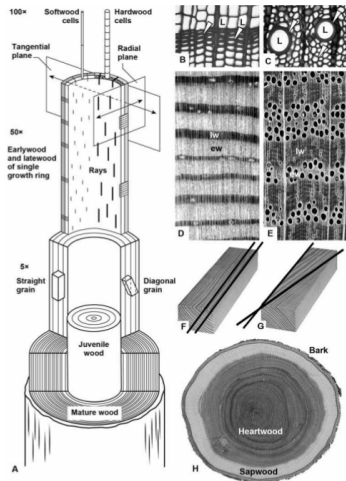
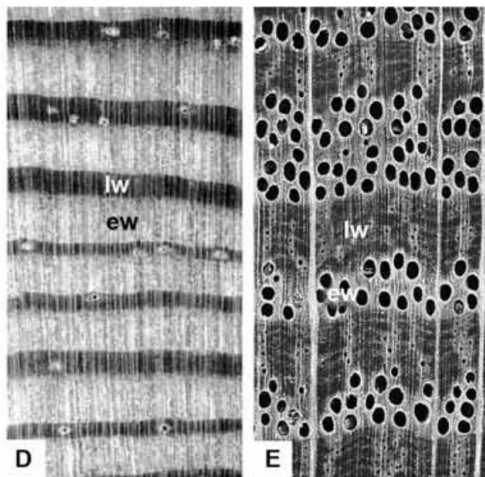


Imagen extraída de referencia [2]

Coníferas y latifoliadas (cont.)



Anillos de crecimiento

Imagen extraída de referencia [2]

Índice

Anatomía

Propiedades de la madera
 Propiedades físicas
 Propiedades mecánicas

Referencias

Propiedades físicas

Suele llamarse propiedades físicas a aquellas propiedades que no estén directamente relacionadas con aspectos químicos o mecánicos de la madera.

Las más relevantes son:

- ▶ Contenido de humedad
- ▶ Estabilidad dimensional
- ▶ Densidad
- ▶ Propiedades eléctricas
- ▶ Propiedades acústicas
- ▶ Propiedades térmicas
- ▶ Propiedades estéticas

Contenido de humedad

La pared celular de la madera está compuesta por moléculas de **celulosa** y **hemicelulosa** mayoritariamente, las cuales son moléculas **hidrofilicas**.

La **lignina** (agente aglutinante) es un compuesto comparativamente **hidrofóbico**.

Como consecuencia, las paredes celulares de la madera, son muy afines a incorporar agua, pero su capacidad está limitada por la presencia de lignina.

El contenido de humedad en la madera afecta fuertemente a sus propiedades, tanto sea durante el procesamiento, como en los productos finales

Contenido de humedad (cont.)

Por su carácter parcialmente hidrofílico, la madera intercambia humedad con el medio que la rodea. **El contenido de humedad (CH) de la madera dependerá de la temperatura y humedad del medio circundante.** Muchas de las propiedades macroscópicas de la madera como material dependen de su contenido de humedad.

El contenido de humedad se suele expresar como un porcentaje y se calcula como:

$$CH = \frac{m_{humeda} - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100$$

tomando como referencia el peso de la madera totalmente seca.

Contenido de humedad (cont.)

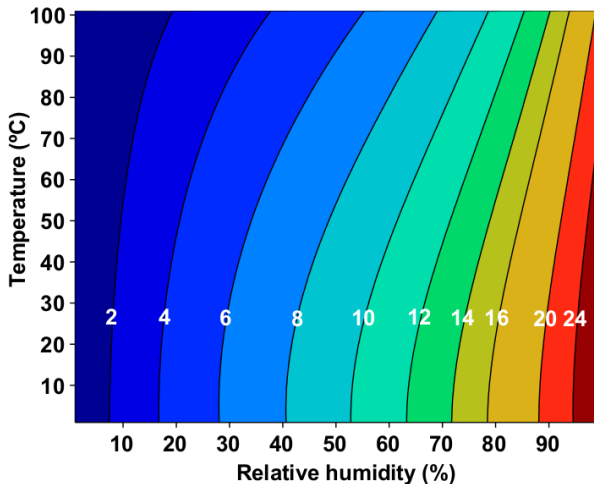


Imagen extraída de referencia [2]

Contenido de humedad (cont.)

Propiedades macroscópicas dependientes del contenido de humedad:

- ▶ Peso (transporte y comercialización)
- ▶ Estabilidad dimensional (contracción o hinchamiento)
- ▶ Propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas
- ▶ Resistencia a la degradación biótica (hongos e insectos)

Contenido de humedad (cont.)

Formas en las que el agua está presente dentro de la madera:

- ▶ **Agua libre.** Moléculas de agua presentes dentro de los canales celulares
- ▶ **Agua higroscópica.** Agua incorporada en las paredes celulares
- ▶ **Agua de constitución.** Moléculas de agua que son parte de la estructura química de la madera

Cuando se retira toda el agua libre e higroscópica de la madera, se considera que alcanza el estado anhidro.

¿Cuál es el contenido de humedad en equilibrio con el ambiente?

Contenido de humedad (cont.)

Punto de saturación de las fibras o punto de intersección: Es el contenido de humedad en el cual se remueve toda el agua libre en la madera, quedando las paredes celulares completamente saturadas en agua. En etapas de secado posteriores se comienza a eliminar el agua higroscópica de la madera.

El punto de saturación depende del tipo de madera, aunque usualmente ronda el 30 % de CH.

Para contenidos de humedad menores al punto de saturación, la madera comienza a registrar contracción y modificación de sus propiedades mecánicas.

Estabilidad dimensional

La madera es un material poroso y susceptible de incorporar agua en su estructura (libre, higroscópica, de constitución). Las modificaciones dimensionales (contracción/hinchamiento) ocurren en rangos de CH menores al punto de saturación de las fibras (0-30 %CH).

Las variaciones dimensionales se miden tres direcciones características del fuste: **tangencial, radial y longitudinal**. Dada la característica morfológica de la madera, el comportamiento en esas tres direcciones es distinto entre sí. Este comportamiento se denomina **anisotropía**.

La magnitud de la contracción en cada dirección resulta:

$$\textit{tangencial} > \textit{radial} \gg \textit{longitudinal}$$

Estabilidad dimensional (cont.)

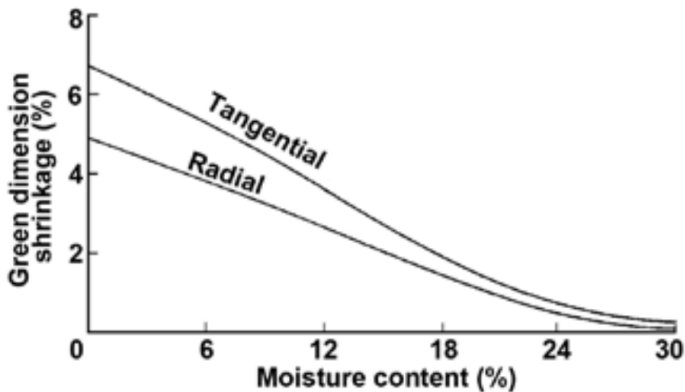


Imagen extraída de referencia [2]

Densidad

La densidad (ρ , también llamada peso específico) es una propiedad estrechamente relacionada con las propiedades mecánicas de la madera.

En términos generales, la densidad es una propiedad intensiva que resulta del cociente entre masa (m) y el volumen de un dado material (V).

Dado que la madera es un material poroso hidrofílico, es necesario especificar las condiciones en que es medida la densidad de la madera.

La densidad varía en la longitud y a lo largo del radio del fuste.

Densidad (cont.)

- ▶ m_a : masa de la madera anhidra
- ▶ m_v : masa de la madera verde
- ▶ V_a : volumen de la madera anhidra
- ▶ V_v : volumen de la madera en estado verde
- ▶ V_c : volumen de la madera seca al 12 % de CH

Densidades aparentes:

- ▶ anhidra: m_a/V_a
- ▶ básica: m_a/V_v
- ▶ corriente: m_a/V_c
- ▶ en verde: m_v/V_v

Adaptado de referencia [1]

Propiedades acústicas

La madera es un material ampliamente utilizado en aplicaciones acústicas, ya sea en instrumentos musicales, como cobertura de recintos.

En instrumentos musicales suele utilizarse en instrumentos de viento (flautas), cuerdas (guitarras, violines, etc.) o percusión (tambores).

En recintos, suele utilizarse para atenuar reverberaciones y/o amplificar naturalmente.

La madera y el sonido interactúan mecánicamente, por lo tanto, el módulo de elasticidad es una de las propiedades principales al momento de definir su uso.

Propiedades térmicas

Las tres propiedades térmicas más relevantes son:

- ▶ Conductividad térmica
- ▶ Calor específico
- ▶ Difusividad térmica

Además de entender su comportamiento ante los procesos de combustión.

Propiedades térmicas (cont.)

Conductividad térmica (k): Es una medida del flujo de calor (J) que atraviesa un medio sometido a una diferencia de temperatura. Cuanto menor sea, mejor aislante térmico resulta el material.

$$J = -k \frac{dT}{dx} \approx -k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

La conductividad de la madera es dependiente de la densidad, el contenido de humedad, el contenido y tipo de extractivos, la dirección del grano, la presencia de defectos y la temperatura.

Comúnmente se verifica que:

$$k_{tangencial} \approx k_{radial} < k_{longitudinal}$$

Propiedades térmicas (cont.)

Calor específico (c_p): Es la cantidad de energía necesaria para aumentar un grado de temperatura a una masa unitaria de material

Depende principalmente de la temperatura y el contenido de humedad. En general, la densidad o especie no afectan a esta propiedad.

Difusividad térmica (α): Indica la rapidez con que un material puede absorber (ceder) calor del (al) medio.

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

La difusividad térmica de la madera es menor que la mayoría de los materiales estructurales

Propiedades térmicas (cont.)

Combustión: La madera puede ser utilizada como combustible, para lo cual, es de interés conocer el **poder calorífico**. Éste depende del contenido de humedad y de la especie.

Como material estructural, es relevante estudiar los procesos de combustión y cómo ellos afectan mecánicamente a la madera.

Propiedades térmicas (cont.)

La combustión de madera provoca la descomposición química del material en las siguientes etapas:

- ▶ evaporación de la humedad (hasta 100C)
- ▶ evaporación de sustancias volátiles (entre 95 y 150C y más)
- ▶ carbonización superficial y salida lenta de gases inflamables (entre 150 y 200C)
- ▶ salida de gases inflamables e ignición (entre 200 y 370C)
- ▶ quema de gases inflamables y carbonización (entre 370 y 500C)

Propiedades térmicas (cont.)

Algunos de los factores involucrados en los procesos de combustión son:

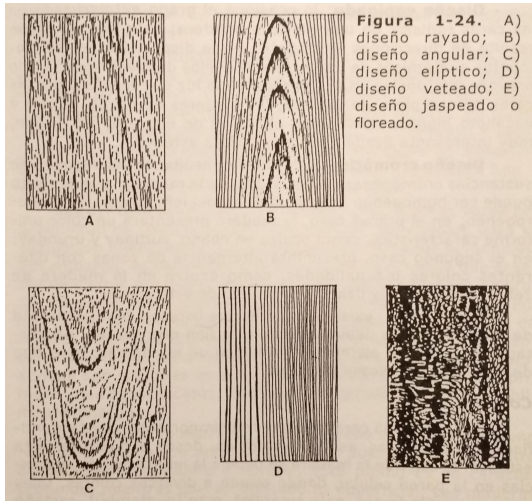
- ▶ especie forestal y su contenido de extractivos
- ▶ estructura del leño. Los ductos largos y amplios son más inflamables
- ▶ dirección preferencial en sentido longitudinal
- ▶ contenido de humedad
- ▶ temperatura (posible combustión espontánea a temperaturas mayores a 500C)
- ▶ esperores grandes son más convenientes
- ▶ presencia de preservantes o retardantes

Propiedades estéticas

Como propiedades estéticas, se pueden considerar:

- ▶ **Textura.** Fina, mediana o gruesa. Depende del tamaño de los componentes anatómicos de la madera
- ▶ **Grano.** Orientación de los elementos estructurales con respecto al eje longitudinal del fuste
- ▶ **Diseño.** Patrón que se observa en las caras de la madera aserrada y pulida. Es función de la distribución y orientación de los elementos leñosos. Puede ser rayado, parabólico, angular, elíptico, vetado o jaspeado
- ▶ **Color.** Depende de las sustancias que se infiltren en la pared celular
- ▶ **Lustre.** Es la capacidad de reflejar la luz. Mejora con el pulido y las caras con corte radial suelen ser las más convenientes para esta aplicación

Propiedades estéticas (cont.)



Propiedades mecánicas

La madera, como todos los materiales, presenta variabilidad en sus propiedades mecánicas. En particular, la madera puede presentar un amplio rango de valores de propiedades mecánicas, dependiendo del tipo de especie, el contenido de humedad, la densidad, las condiciones de crecimiento, la presencia de defectos, entre otros.

Debido a la distribución de sus elementos morfológicos, la madera presenta distintas propiedades mecánicas en función de su orientación. Pueden definirse propiedades a lo largo de tres ejes perpendiculares entre sí. Materiales con esta característica, se los denomina **ortotrópicos**. En la madera, las direcciones de esos ejes son: longitudinal (L), radial (R) y tangencial (T).

Propiedades mecánicas (cont.)

Conceptos de tensión y deformación:

- ▶ **Tensión:** Es la fuerza aplicada (N) por unidad de área (mm^2). Posee unidades de N/mm^2 (MPa) y puede descomponerse en componentes normales y tangenciales a la superficie de aplicación.
- ▶ **Deformación:** Es el cociente entre los desplazamientos inducidos por la fuerza aplicada (Δl) y la longitud inicial de la pieza (l_0). No posee unidades y suele expresarse como %.

En el **rango elástico**, la relación entre tensiones y deformaciones suele considerarse lineal y reversible.

Elasticidad

Desde el punto de vista de la **mecánica de medios continuos**, es necesario conocer **nueve propiedades elásticas** para describir a un **material ortotrópico elástico**.

- ▶ 3 módulos de elasticidad (E): longitudinal E_L , radial E_R y tangencial E_T
- ▶ 3 módulos de corte (G): $G_{LR}(= G_{RL})$, $G_{LT}(= G_{TL})$ y $G_{TR}(= G_{RT})$
- ▶ 3 módulos de Poisson (μ):

$$\mu_{LR} = \mu_{RL} \frac{E_L}{E_R}, \quad \mu_{LT} = \mu_{TL} \frac{E_L}{E_T}, \quad \mu_{TR} = \mu_{RT} \frac{E_T}{E_R}$$

Resistencia

Las propiedades mecánicas más comunes relacionadas con la resistencia de la madera son:

- ▶ **Módulo de ruptura:** Máxima carga que puede soportar una pieza a flexión.
- ▶ **Compresión paralela al grano:** Máxima tensión compresiva que se puede soportar en una orientación paralela al grano.
- ▶ **Compresión perpendicular al grano:** Límite de proporcionalidad cuando se somete a una pieza a compresión perpendicular al grano. Típicamente estudiado para durmientes o apoyos.
- ▶ **Corte paralelo al grano:** Resistencia a los esfuerzos de corte en dirección longitud. Es un promedio de las resistencias radiales y tangenciales.

Resistencia (cont.)

Las propiedades mecánicas más comunes relacionadas con la resistencia de la madera son (cont.):

- ▶ **Compresión paralela al grano:** Máxima tensión compresiva que se puede soportar en una orientación paralela al grano.
- ▶ **Tracción perpendicular al grano:** Resistencia a esfuerzos de tracción que puede soportar en la orientación longitudinal. Es un promedio de las resistencias en los planos radiales y tangenciales.
- ▶ **Dureza:** Resistencia medida como la carga necesaria para indentar una bola de acero de 11.3 mm de diámetro hasta la mitad de su diámetro (ensayo de dureza Janka).

Resistencia (cont.)

Ensayo de flexión:

<https://www.youtube.com/watch?v=GnUpjeW8BT8>

Ensayo de compresión paralela a las fibras:

<https://www.youtube.com/watch?v=DFeHYFPE1vE>

Ensayo de compresión perpendicular a las fibras:

<https://www.youtube.com/watch?v=yqAFSK1ALwk>

Ensayo de dureza Janka:

<https://www.youtube.com/watch?v=byU8s8RhSjI>

Índice

Anatomía

Propiedades de la madera

Propiedades físicas

Propiedades mecánicas

Referencias

Referencias

- 1 Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Volumen II. Rinaldo Tuset y Fernando Durán. Ed. Hemisferio Sur.
- 2 Wood Handbook - Wood as an engineering material. United States Department of Agriculture (USDA)
- 3 Materials Science and Engineering, 7^{ma} ed. William D. Callister. John Wiley & Sons

Colaboran en la realización del curso:



Tenera S.A.

Montana Química



LONZA

