



# Maderaula

cese**for**



Aula de formación Construcción Eficiente con Madera



Especialista en cálculo y diseño estructural de construcciones en entramado ligero de madera





# Maderaula cese**for**



Aula de formación Construcción Eficiente con Madera



Con la colaboración de:

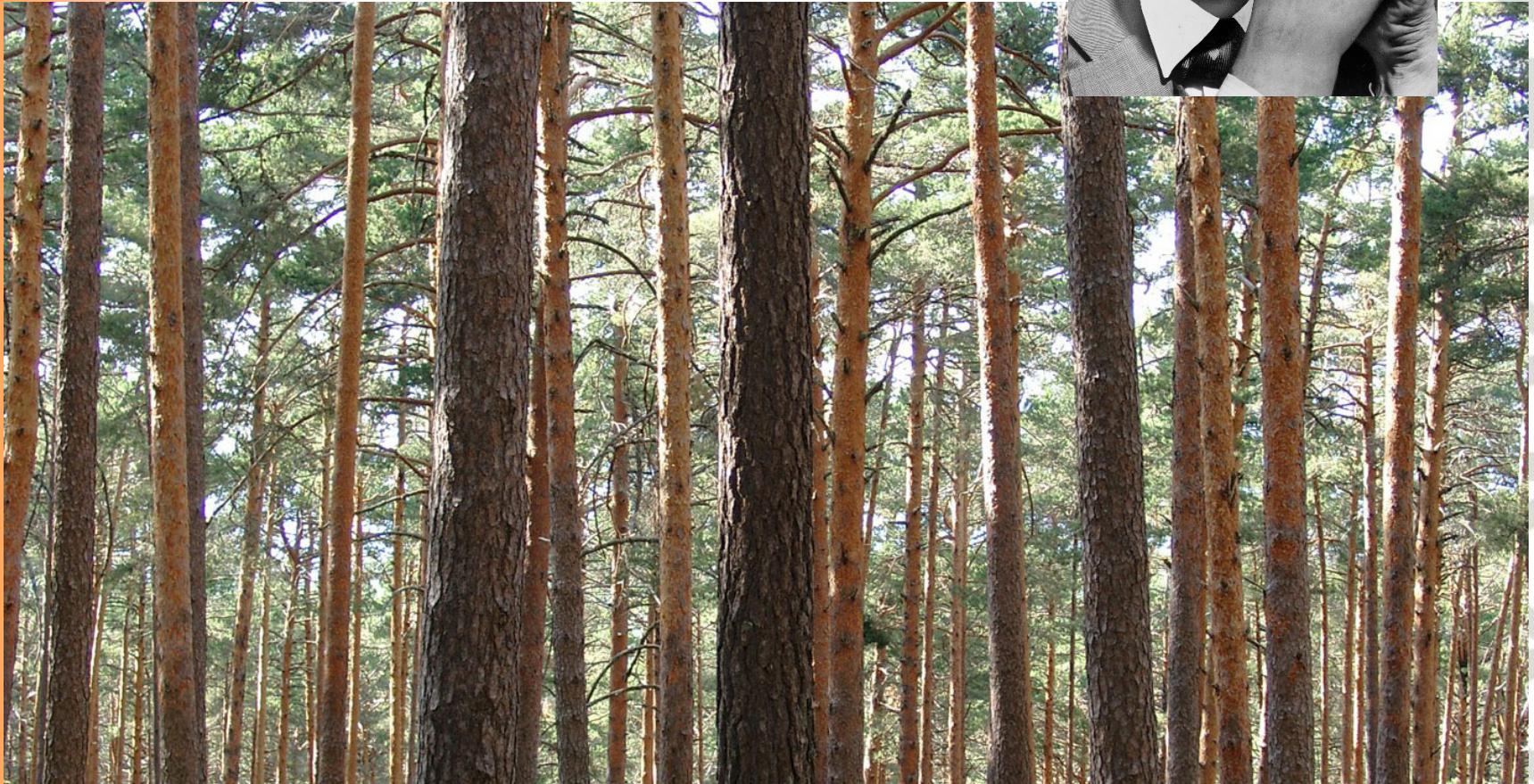
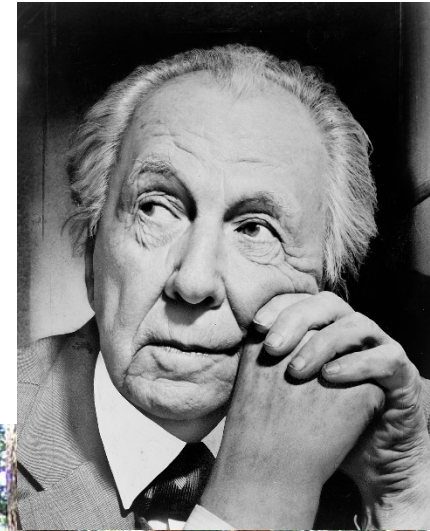


# **Propiedades físicas de la madera**

**CURSO DE CONSTRUCCIÓN CON MADERA**

“We may use wood with intelligence  
only if we understand wood”

Frank Lloyd Wright, 1928



REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA

UNIONES: UN RETO PARA CONSTRUIR CON MADERA

DISCURSO DEL ACADÉMICO

**EXCMO. SR. D. RAMÓN ARGÜELLES ÁLVAREZ**

LEÍDO EN LA SESIÓN INAUGURAL DEL AÑO ACADÉMICO  
EL DÍA 26 DE ENERO DE 2010



MADRID MMX

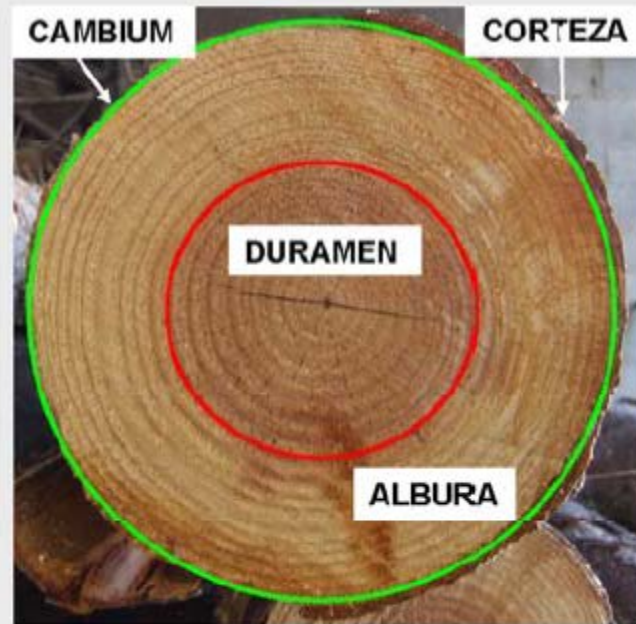
## DEFINICIÓN

La madera es el **conjunto de tejidos orgánicos** que forman el **tronco, las raíces y las ramas** de los vegetales leñosos, excluida la corteza. Está formada por un conjunto de células de cuya unión y especialización se originan los diferentes tejidos leñosos. La **agrupación de estos tejidos, mayoritariamente orientados de forma paralela al eje longitudinal del tronco y las ramas, forman el xilema o parte maderable de los árboles.**

La madera **no es un material homogéneo**, sino que está formado por un conjunto de **células especializadas en tejidos** que llevan a cabo las **funciones fundamentales del vegetal:**

- conducción de la savia.
  - transformación y reserva de los productos vitales.
  - sustentación mecánica.
-

# ESTRUCTURA MACROSCÓPICA



Madera de primavera

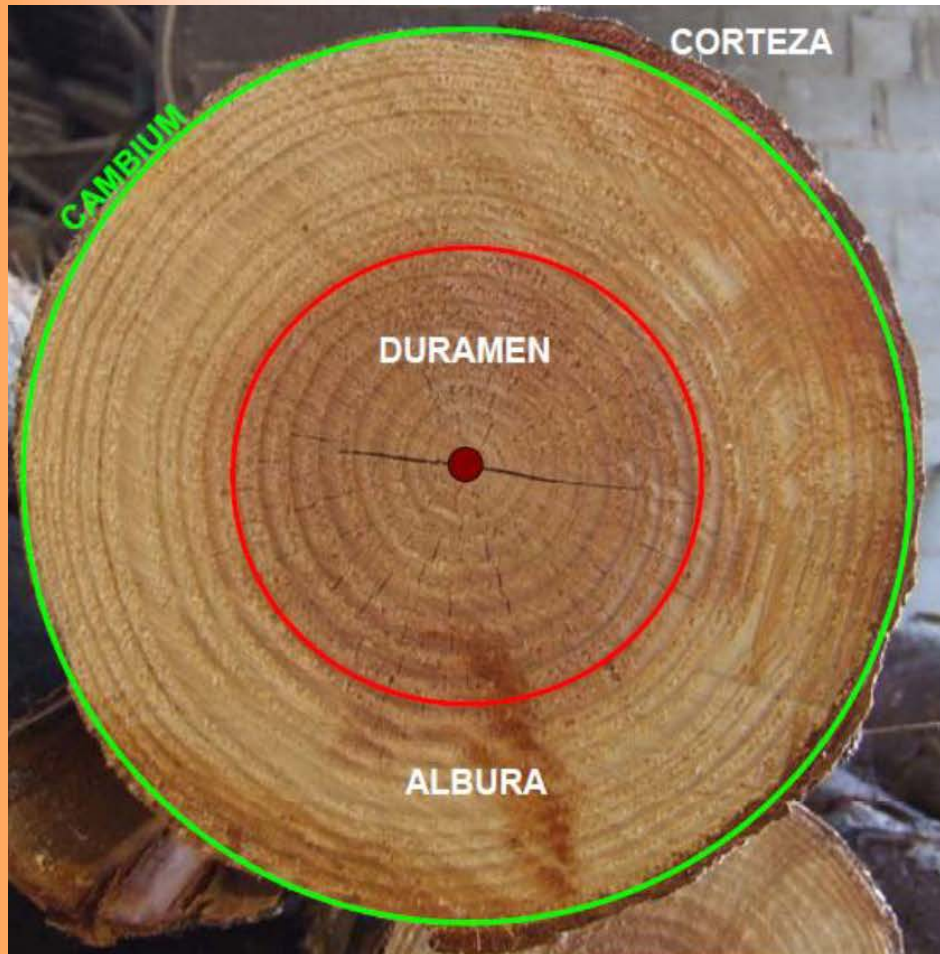


Madera de verano



ANILLOS DE CRECIMIENTO

## ESTRUCTURA MACROSCÓPICA



**CORTEZA:** constituida por células muertas.

**CAMBIUM:** tejido que origina corteza hacia el exterior y madera hacia el interior.

**DURAMEN:** madera de la parte interior del tronco. Madera más oscura, más densa (mayor resistencia mecánica) y mayor resistencia a los ataques de insectos.

**ALBURA:** madera de la parte más próxima a la corteza. Madera fácil de tratar y de trabajar.





<https://encrypted-tbn0.gstatic.com>



<https://www.pinturasarenas.es/>



<https://infomadera.net/>



Fotos: Alfonso Barreiro, Roberto

# ESTRUCTURA MACROSCÓPICA



**ANILLOS DE CRECIMIENTO:** crecimiento anual. Diferencia madera de primavera y madera de verano.

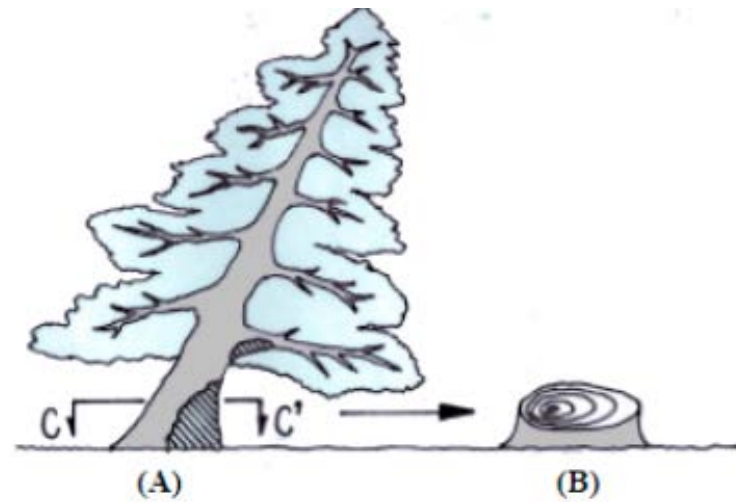
**MADERA JUVENIL:** madera producida durante los 5-20 primeros anillos de crecimiento. Más marcada en coníferas. Menor resistencia y rigidez y mayor hinchazón y merma.

Se encuentra en la zona del duramen. En árboles de crecimiento rápido con alta proporción de madera juvenil, el duramen puede tener características mecánicas inferiores a la albura.

**MADERA DE REACCIÓN:** madera modificada como respuesta a un esfuerzo adicional en una dirección. En el caso de la madera a compresión, la densidad es mayor (mejores características mecánicas) y tiene mayores deformaciones durante el secado y tendencia a la rotura frágil.



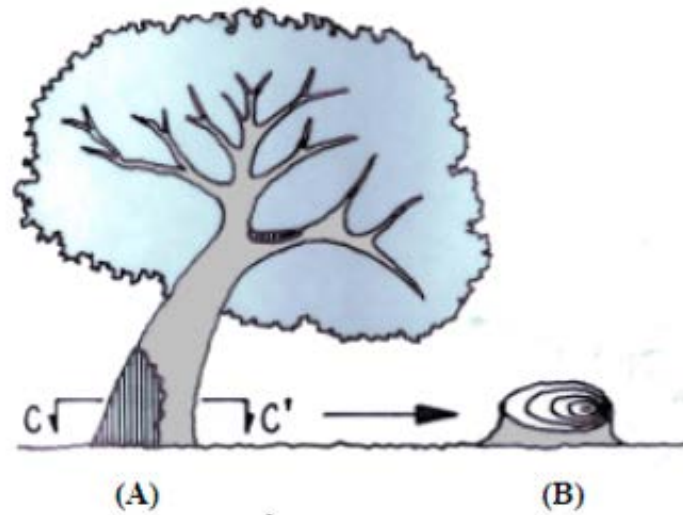
<https://www.maderea.es/>



<https://www.maderea.es/>

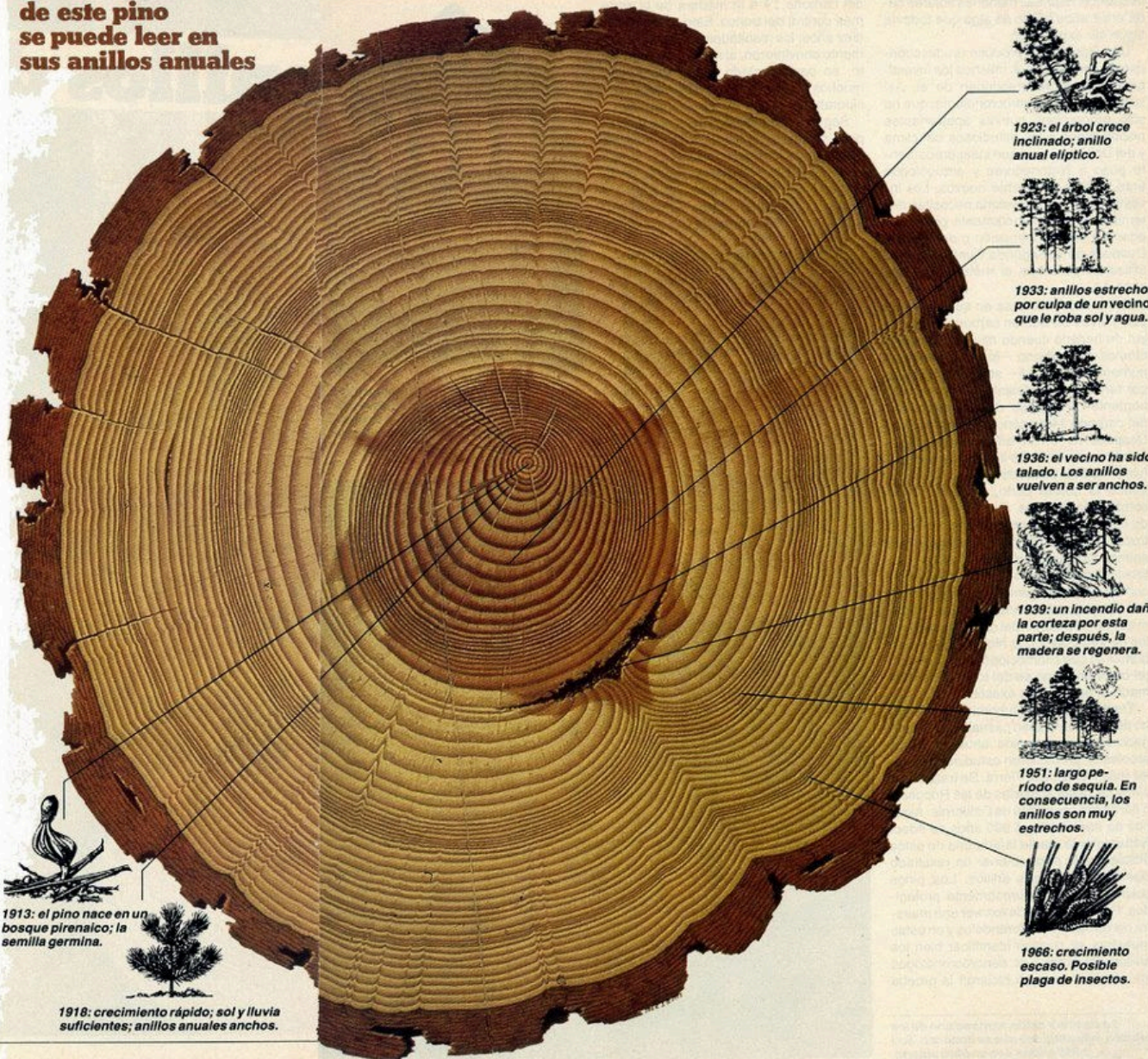


Fuente: G. Vargas



<https://www.maderea.es/>

**El currículum  
de este pino  
se puede leer en  
sus anillos anuales**



1913: el pino nace en un bosque pirenaico; la semilla germina.



1918: crecimiento rápido; sol y lluvia suficientes; anillos anuales anchos.



1923: el árbol crece inclinado; anillo anual elíptico.



1933: anillos estrechos por culpa de un vecino que le roba sol y agua.



1936: el vecino ha sido talado. Los anillos vuelven a ser anchos.



1939: un incendio daña la corteza por esta parte; después, la madera se regenera.



1951: largo período de sequía. En consecuencia, los anillos son muy estrechos.



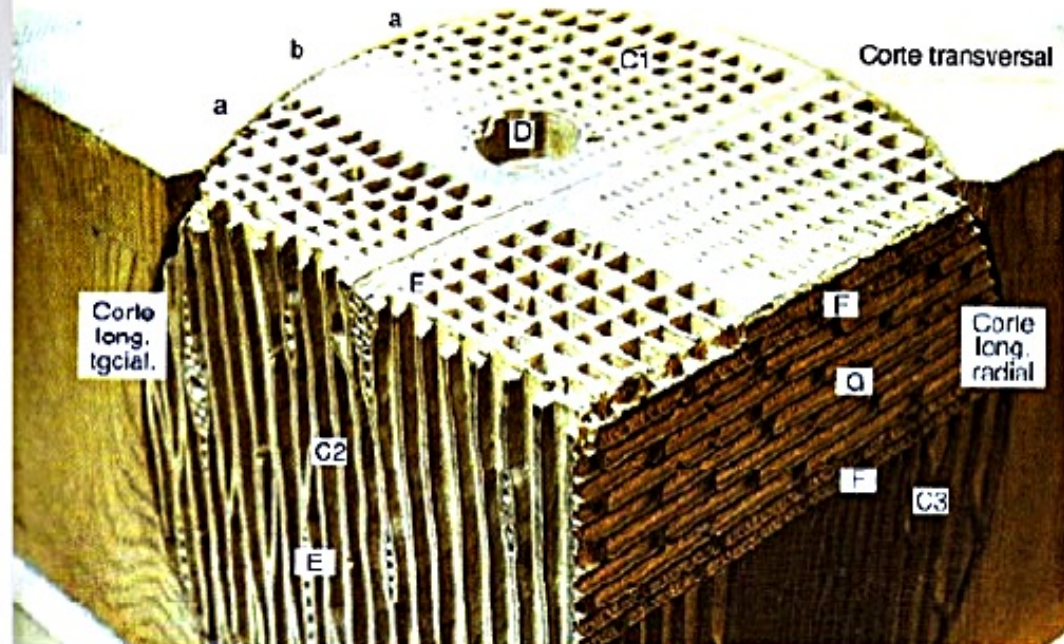
1966: crecimiento escaso. Posible plaga de insectos.

# ESTRUCTURA MICROSCÓPICA

## Coníferas

90 % traqueidas: función conductora y de sostén.

Aspecto tridimensional microscópico de la madera de conífera.  
Fuente: Vignote y Martínez, 2006.



a: madera temprana o de primavera.  
b: madera tardía o de otoño.

C: Traqueida longitudinal de primavera.

C1 vista transversal.

C2 vista long. tgcial.

C3 vista long. radial.

D: Canal resinífero longitudinal.

E: Radio leñoso en el plano longitudinal tgcial.

F: Células de parénquima en un radio leñoso.

G: Traqueidas transversales en un radio leñoso.

# ESTRUCTURA MICROSCÓPICA

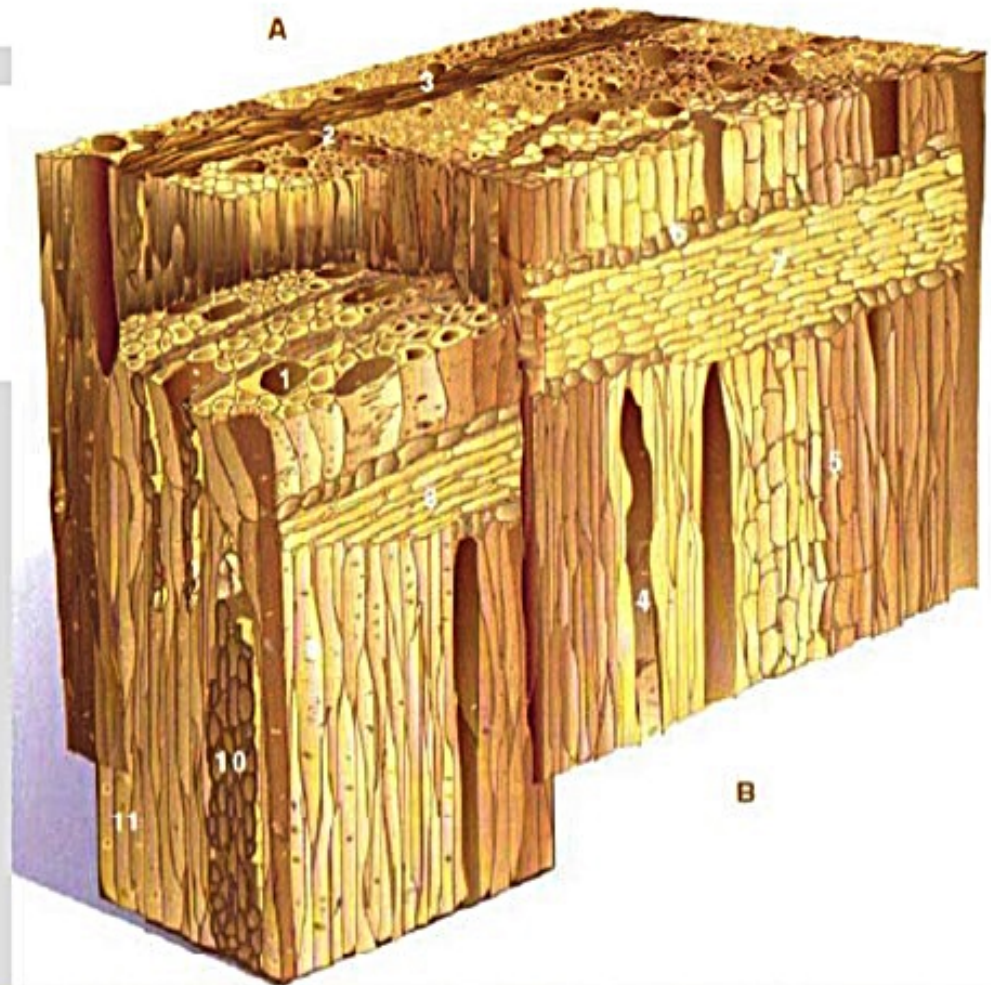
## Frondosas

Células más especializadas.

Estructura más compleja.

Traqueidas: función de sostén.

Vasos: función conductora.



# ESTRUCTURA SUBMICROSCÓPICA

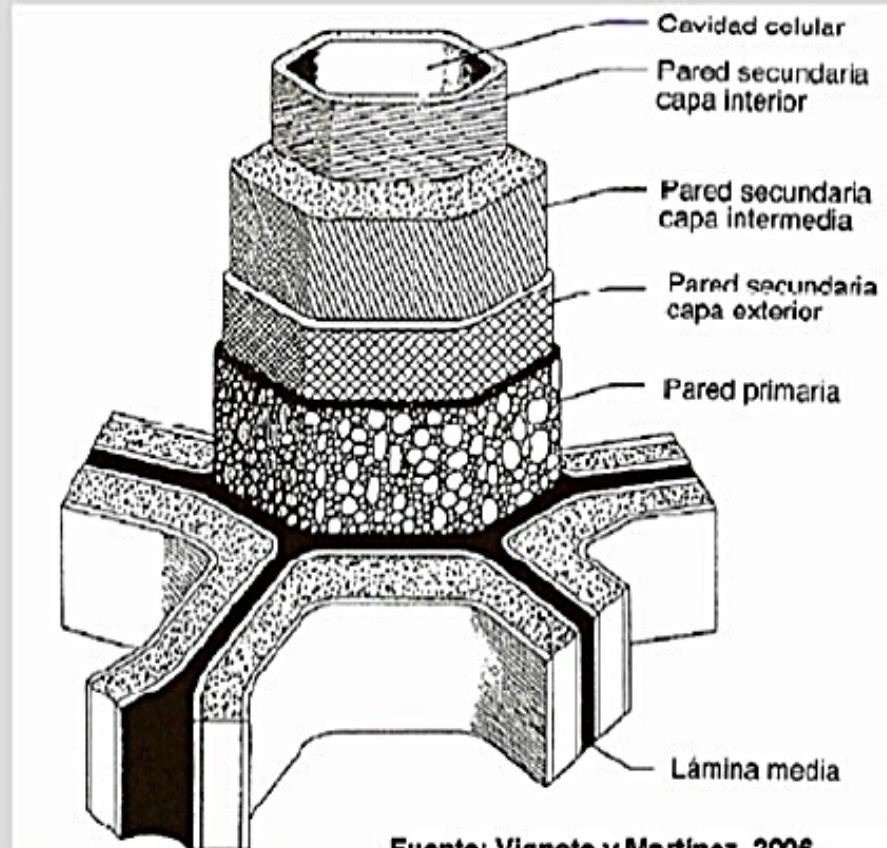
## COMPOSICIÓN DE LA PARED CELULAR

**Lámina media:** lignina + hemicelulosa.  
Elemento de cohesión entre células para formar tejidos.

**Pared primaria:** microfibrillas incrustadas en un fondo de lignina.

**Pared secundaria:** microfibrillas incrustadas en pequeñas proporciones de lignina donde se distinguen tres capas que contienen microfibrillas con distintas orientaciones.

Tubos de cadenas de celulosa dispuestos según el eje del árbol ligados entre sí mediante lignina.



Fuente: Vignote y Martínez, 2006.

# ANISOTROPÍA

La madera es un material **anisótropo**, es decir que presenta un comportamiento desigual frente a una propiedad física o mecánica según la dirección que se considere.

Para analizar el comportamiento físico-mecánico de la madera **se considera como un material ortótropo** estableciendo **tres direcciones principales y ortogonales entre sí**:

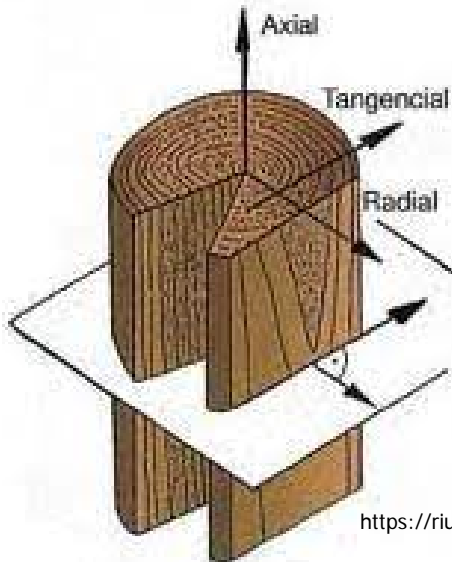
- **Axial o longitudinal**: Paralela al eje de crecimiento del árbol y por tanto a la dirección de las fibras.
  - **Radial**: Perpendicular a la dirección axial y cortando al eje del árbol, es decir, perpendicular a los anillos de crecimiento.
  - **Tangencial**: Normal a las direcciones axial y radial, es decir, tangente a los anillos de crecimiento.
-



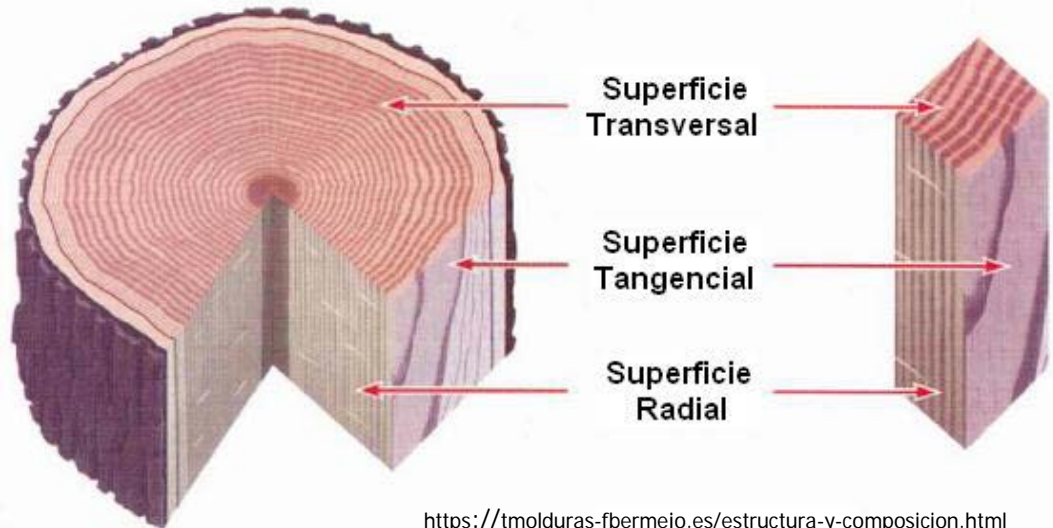
# ANISOTROPÍA

Las tres direcciones descritas, dan lugar a **tres planos o secciones de estudio también perpendiculares a sí**. De este modo se tiene:

- **Sección transversal:** perpendicular a la dirección axial o longitudinal (L), plano perpendicular al eje del tronco o de la rama.
- **Sección radial:** definida por una recta en dirección axial (L) y otra en dirección radial (R), plano que incluye el eje y un radio del tronco o de la rama.
- **Sección tangencial:** definida por una recta en dirección axial (L) y otra en dirección tangencial (T), plano tangente al tronco o anillo de crecimiento.

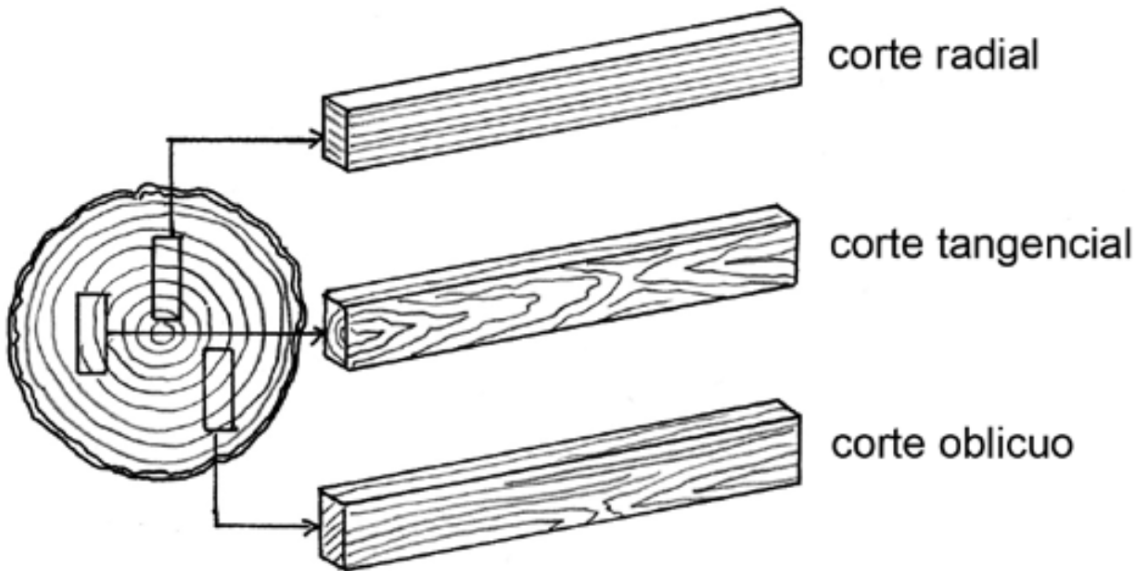


<https://riunet.upv.es/>



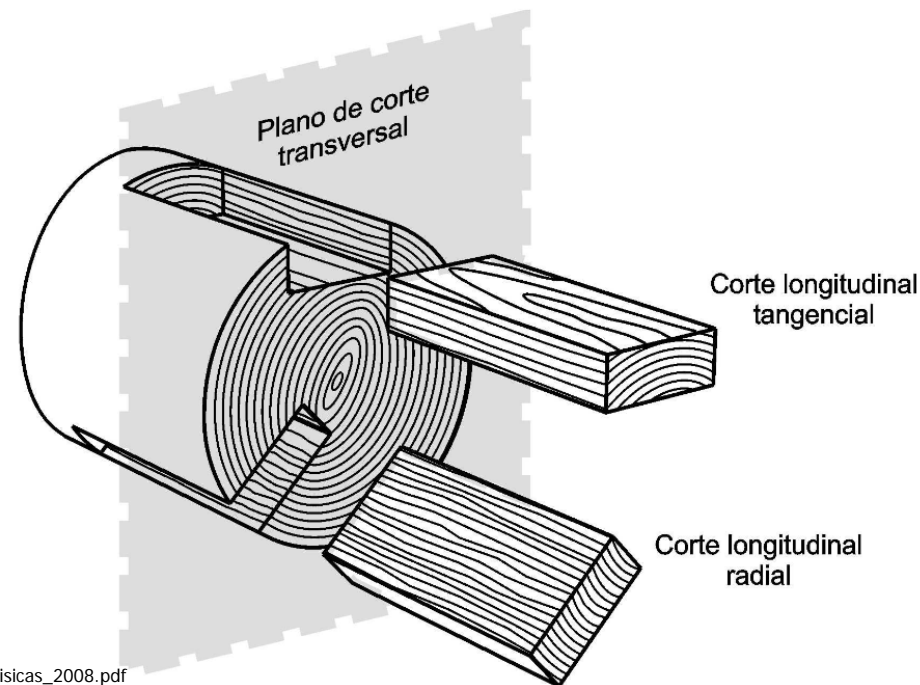
<https://tmolduras-fbermejo.es/estructura-y-composicion.html>

# ANISOTROPÍA



Según el método de aserrado se consiguen diferentes piezas de madera con diferentes propiedades físicas

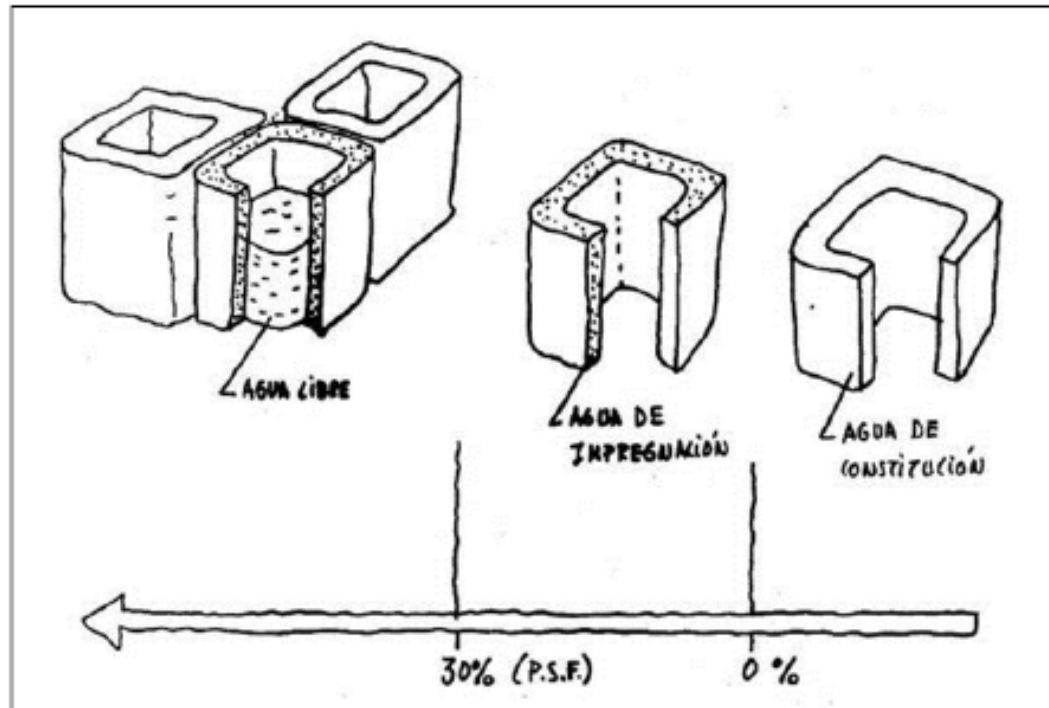
Fuente: Técnicas de secado de la madera. CITEmadera



## HIGROSCOPICIDAD. CONTENIDO DE HUMEDAD

El agua en la madera:

- agua de constitución
- agua de impregnación: 0 - 30% Punto Saturación de las Fibras
- agua libre

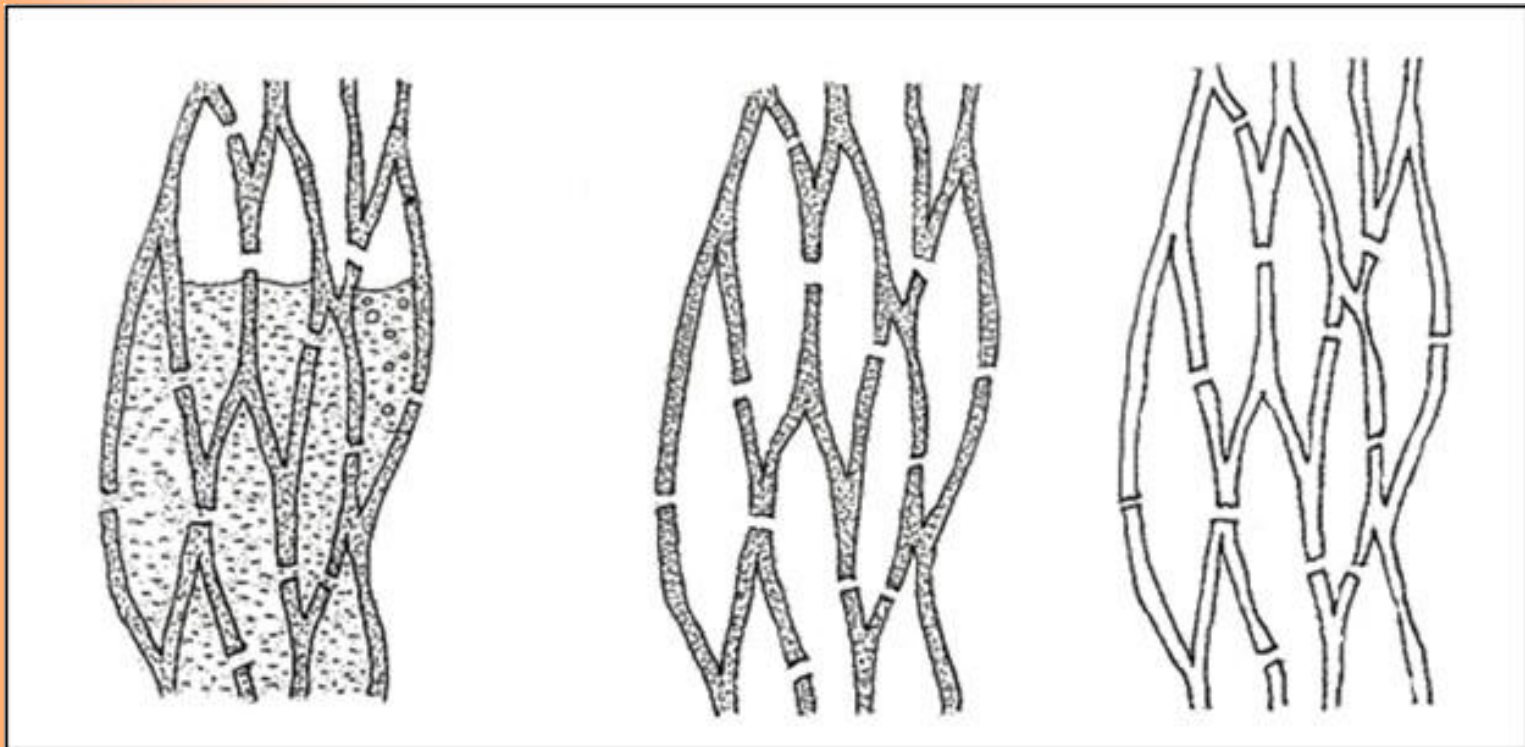


# HIGROSCOPICIDAD. CONTENIDO DE HUMEDAD

Madera verde

Madera saturada

Madera anhidra



Agua libre

Agua de impregnación

Agua de constitución

Fuente: ITL

ceste

# HIGROSCOPICIDAD. CONTENIDO DE HUMEDAD

Árbol recién apeado: 60-150 % de humedad.

Estimación de humedad en laboratorio:

$$h = \frac{P_h - P_0}{P_0} \times 100$$

$h$  : humedad %

$P_h$  : peso húmedo

$P_0$  : peso seco

Estimación de humedad en obra:  
xilohigrómetro



Humedad de equilibrio higroscópico (HEH): humedad de la madera en la que se equilibra la fuerza de absorción de humedad de la madera con la fuerza desecante del aire.

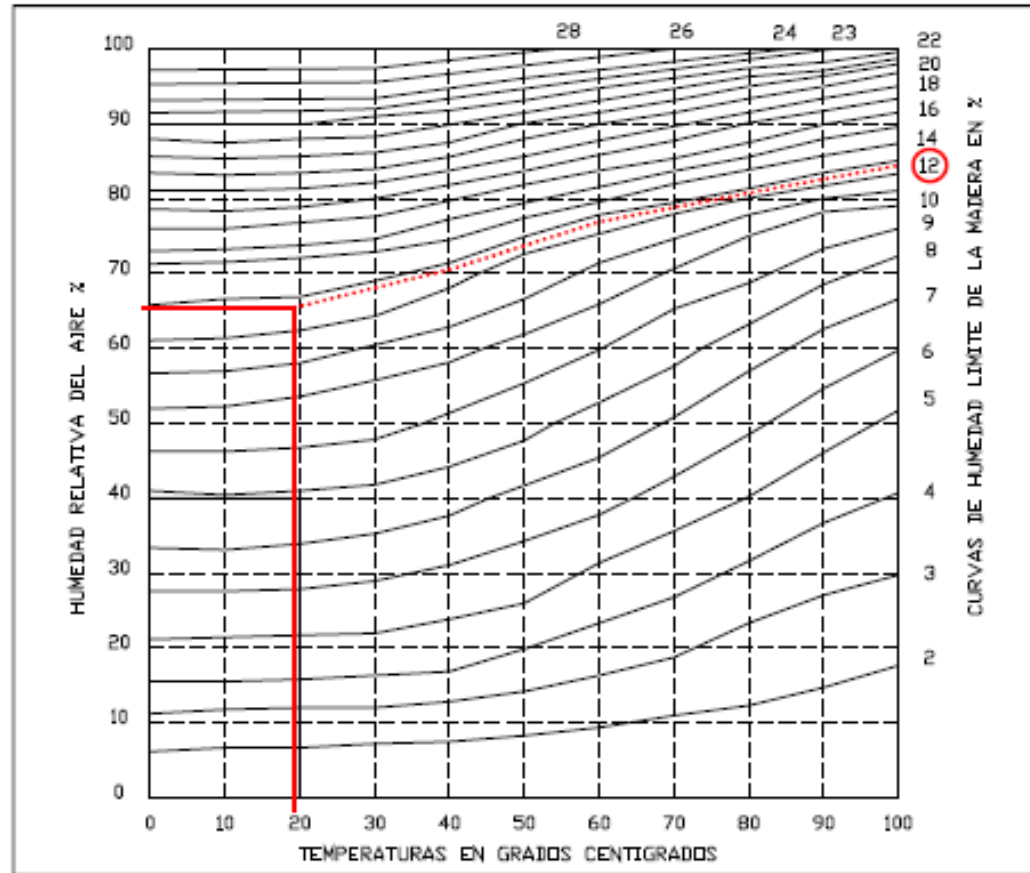
# HIGROSCOPICIDAD. CONTENIDO DE HUMEDAD

Madera:  
material higroscópico

Humedad relativa  
del aire: 65 %

Temperatura  
del aire: 20 °C

Contenido  
de humedad  
madera: 12 %



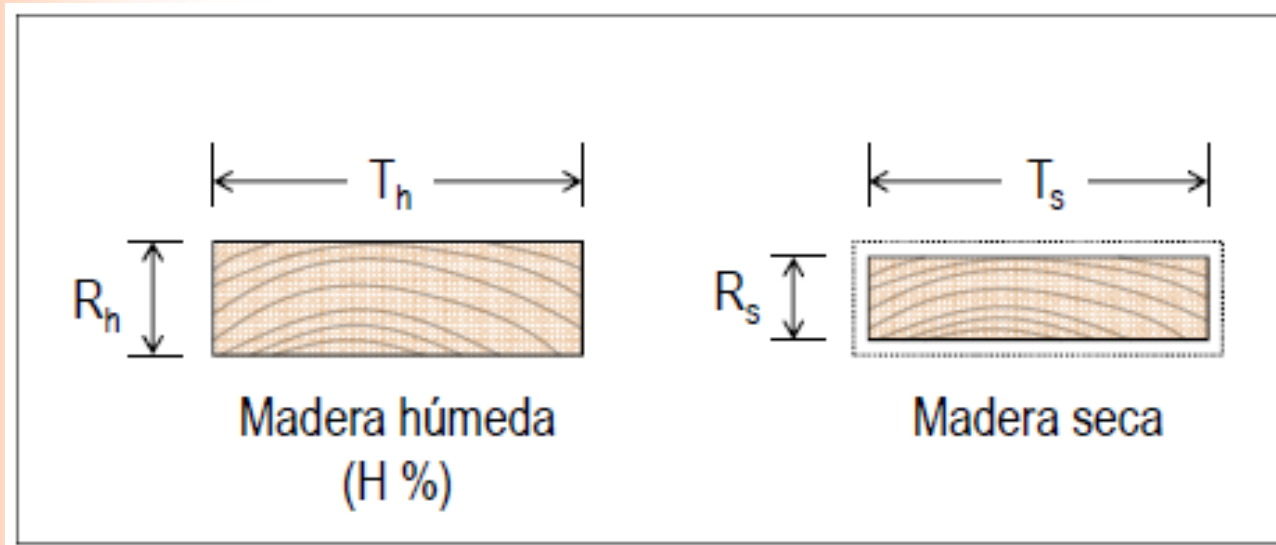
# HIGROSCOPICIDAD. CONTENIDO DE HUMEDAD

CTE : SE-M Anejo F. Valores orientativos de humedad de equilibrio de la madera, con uso en exterior protegido de la lluvia.

Capital	Mes más húmedo		Humedad de equilibrio (%) Máxima anual	Mes más seco		Humedad de equilibrio (%) Mínima anual
	T (°C)	HR (%)		T (°C)	HR (%)	
Albacete	4	82	17,2	24	47	8,5
Alicante	19	69	12,7	26	61	10,8
Almería	16	79	15,0	25	72	13,4
Ávila	2	82	17,2	20	42	8,0
Badajoz	9	80	16,2	26	40	7,5
Barcelona	22	74	14,1	24	67	12,1
Bilbao	10	83	17,7	12	70	13,3
Burgos	3	89	20,7	19	59	10,6
Cáceres	8	77	15,3	26	33	6,5
Cádiz	13	82	17,2	25	66	11,9
Castellón	25	65	11,6	11	59	10,9
Ciudad Real	5	73	14,1	26	56	9,9
Córdoba	10	78	15,6	28	41	7,7
Cuenca	3	80	16,2	22	41	7,7
Gerona	0	75	14,1	22	41	7,7
Granada	7	79	15,6	28	41	7,7
Guadalajara	6	83	17,7	12	70	13,3
Huelva	12	76	15,6	28	41	7,7
Huesca	5	82	17,2	25	66	11,9
Jaén	9	81	16,7	23	45	8,5

En medios muy húmedos	25-30 %
Expuestas a la humedad (no cubiertas)	18-25 %
Obras cubiertas pero abiertas	16-20 %
Obras cubiertas y cerradas	13-17 %
En local cerrado y calefactado	12-14 %
En local con calefacción continua	10-12 %

## HIGROSCOPICIDAD. HINCHAZÓN Y MERMA



Las diferentes cantidades de humedad en la madera representa diferentes volúmenes de la misma



# HIGROSCOPICIDAD. HINCHAZÓN Y MERMA

Punto de saturación de la fibra (PSF):  $H=30\%$ .

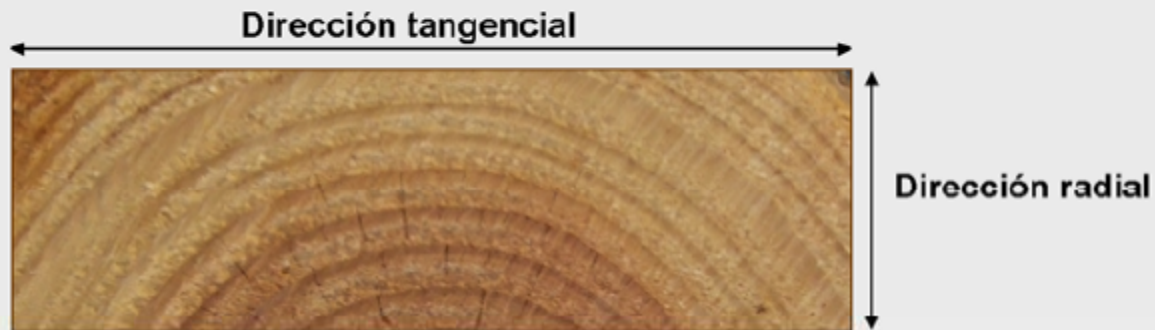
Si  $H\% > PSF \rightarrow$  No efecto hinchazón y merma.

Anisotropía de la madera: variaciones dimensionales diferentes en las tres direcciones: longitudinal, radial y tangencial.

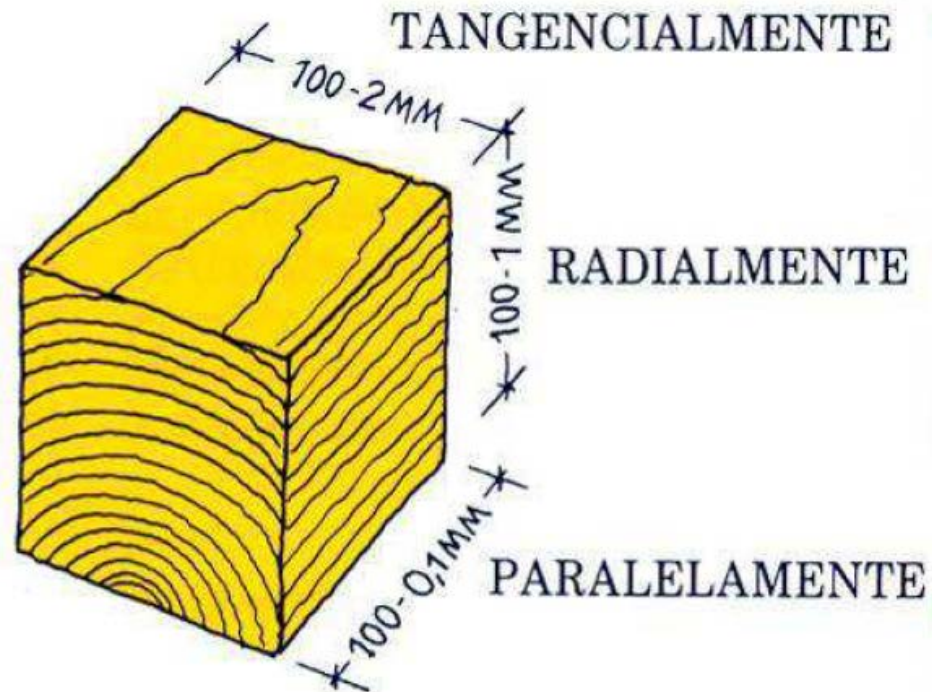
Mayor variación dimensional  $\rightarrow$  Dirección tangencial

Variación radial  $\rightarrow$  50-60 % dirección tangencial

Variación longitudinal  $\rightarrow$  2-4 % dirección radial

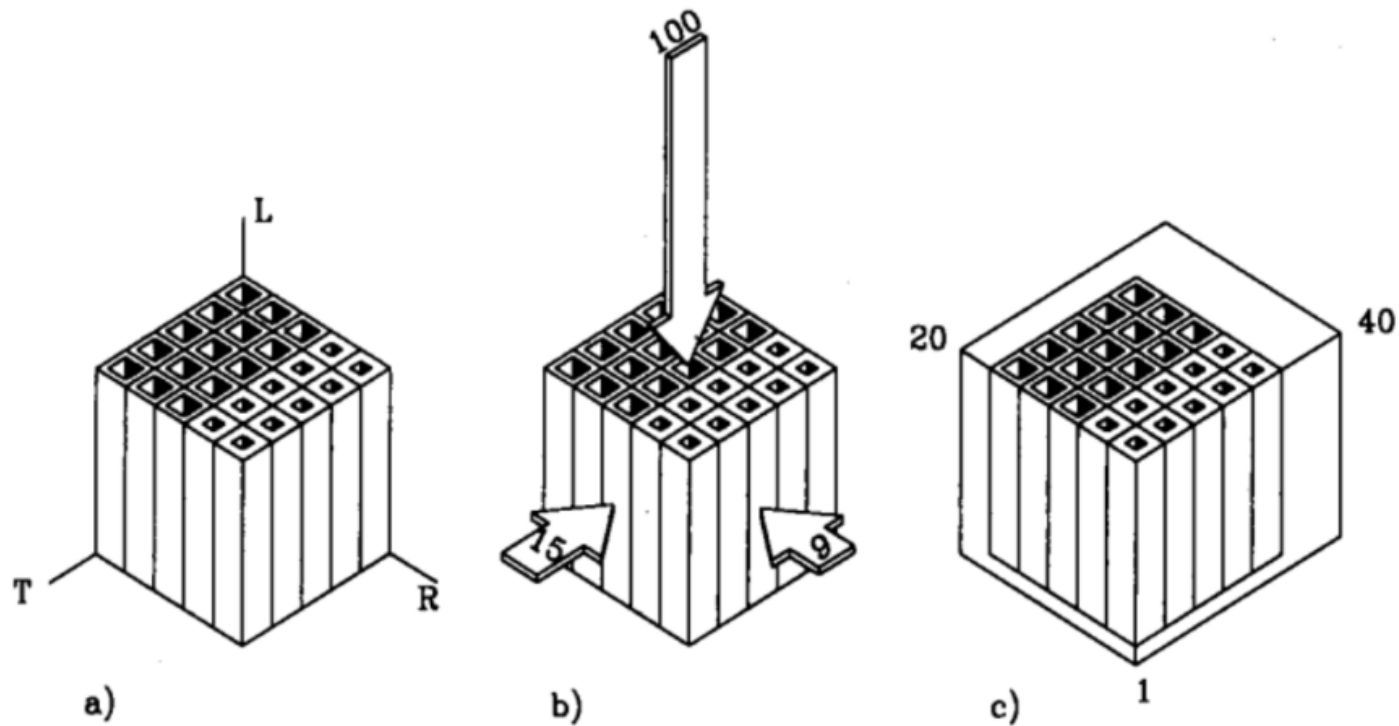


## HIGROSCOPICIDAD. HINCHAZÓN Y MERMA



*Un cubo de 100 mm de arista y con un grado de humedad del 20 %, se contrae aproximadamente tanto como muestra la figura, cuando se le seca hasta un grado de humedad del 10 %.*

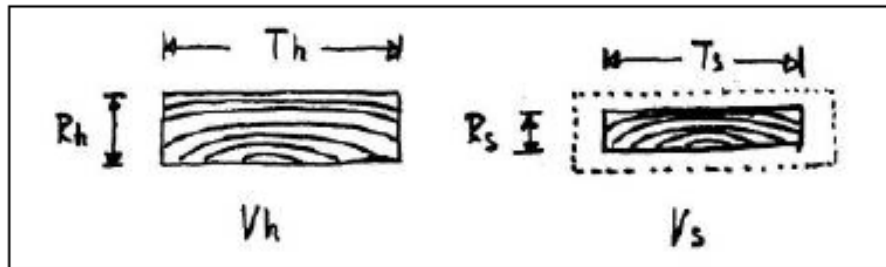
## HIGROSCOPICIDAD. HINCHAZÓN Y MERMA



*Figura 1.5. Anisotropía de la madera.*

*a) Direcciones principales, b) Resistencia relativa a compresión, c) Hinchazón y merma relativa.*

# HIGROSCOPICIDAD. HINCHAZÓN Y MERMA



Madera de  
**pino silvestre:**  
 $v: 0,37 \text{ \% / \%}$   
 $v_R: 0,12 \text{ \% / \%} - v_T: 0,21 \text{ \% / \%}$

Contracción volumétrica

$$C_v = \frac{V_h - V_s}{V_s} \cdot 100$$

Contracción radial

$$C_R = \frac{R_h - R_s}{R_s} \cdot 100$$

Contracción tangencial

$$C_T = \frac{T_h - T_s}{T_s} \cdot 100$$

Coef. de contracción volumétrica

$$v (\%) = \frac{V_h - V_s}{V_s \cdot H} \cdot 100$$

Coef. de contracción radial

$$v_R (\%) = \frac{R_h - R_s}{R_s \cdot H} \cdot 100$$

Coef. de contracción tangencial

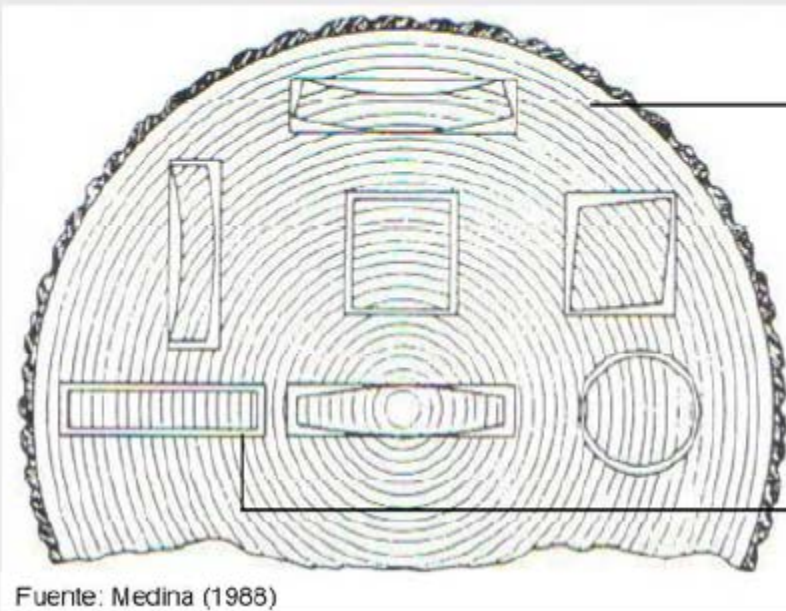
$$v_T (\%) = \frac{T_h - T_s}{T_s \cdot H} \cdot 100$$

## HIGROSCOPICIDAD. HINCHAZÓN Y MERMA

Maderas nerviosas: diferencias acusadas entre coeficientes de contracción tangencial y radial, mayor tendencia al alabeo durante el secado.

Maderas nobles: diferencias pequeñas entre coeficientes de contracción tangencial y radial, menor tendencia al alabeo durante el secado.

Variaciones dimensionales según la dirección que se considere.



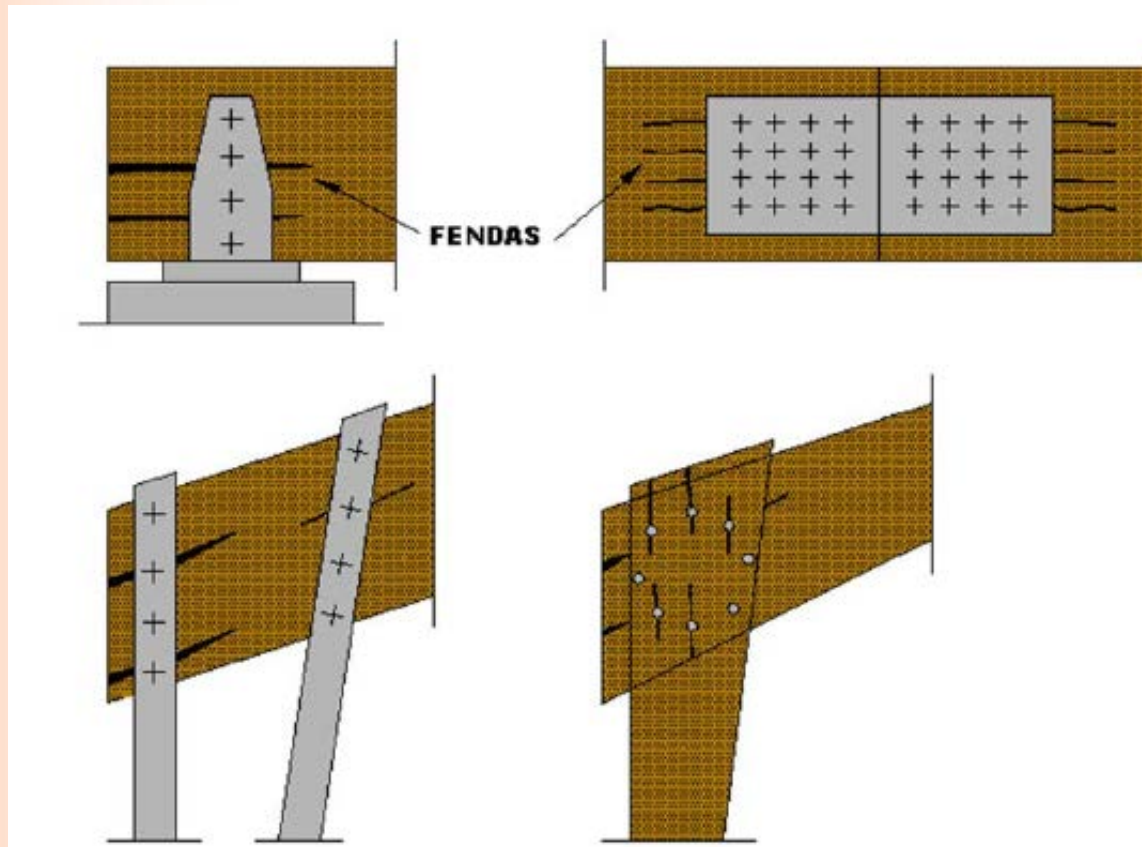
Corte tangencial:  
mayor alabeo

Corte radial: menor alabeo

Fuente: Medina (1988)

# HIGROSCOPICIDAD. HINCHAZÓN Y MERMA

Fendado en uniones mal concebidas debido a la merma de la madera



# HIGROSCOPICIDAD. HINCHAZÓN Y MERMA



# DENSIDAD

**Densidad:**  $\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \text{ (kg / m}^3\text{)}$

Humedad de referencia: 12 % (HR = 65 % y T = 20 °C)

- Madera de balsa: 300 kg/m<sup>3</sup>
- Coníferas: 400 - 550 kg/m<sup>3</sup>
- Frondosas: 600 - 700 kg/m<sup>3</sup>
- Lapacho, guayacán: 1.200 kg/m<sup>3</sup>

**Densidad real madera (de la pared celular): 1.500 kg/m<sup>3</sup>**

Material	Madera	Acero	Hormigón
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	500	7.800	2.400
Peso/Superficie	1	1,3 a 1,5	4 a 7



## RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

### **Anisotropía:**

- Dirección **paralela** a la fibra
- Dirección **perpendicular** a la fibra

### **Higroscopicidad:**

- Contenido de humedad
- Hinchazón y merma: libertad de movimiento

### **Densidad:**

- Ligereza

cesefor