

Tabla n° 1.7. Coeficientes de dilataciones termicas para algunas especies evaluadas entre -50 y +50°C [KOLLMANN]

Especie	Densidad $\rho_0$			
	g/cm <sup>3</sup>	$a_T \cdot 10^6$	$a_R \cdot 10^6$	$a_L \cdot 10^6$
Balsa	0,17	24,1	16,3	-
White fir	0,40	31,6	21,7	3,90
Sitka spruce	0,42	34,6	23,9	3,50
Redwood	0,42	35,8	23,9	4,59
Álamo amarillo	0,43	31,4	27,2	3,55
Cotton wood	0,43	33,9	23,3	3,1
Pino Oregón	0,51	45,0	27,1	3,52
Arce	0,68	37,6	28,4	4,16
Yellow birch	0,66	39,4	32,3	3,57

Las siguientes magnitudes pueden ser retenidas:

Coeficientes de dilatación termicas (ordenes de magnitud)		
Longitudinal	$a_L = 3,50$	(en $10^{-6} / ^\circ\text{C}$ )
Radial	$a_R = 12 + 28 \rho_0$	(en $10^{-6} / ^\circ\text{C}$ )
Tangencial	$a_T = 21 + 30 \rho_0$	(en $10^{-6} / ^\circ\text{C}$ )
$(\rho_0$ es la densidad anhidra en g/cm <sup>3</sup> )		

P.V.M. Como en el caso de las contracciones por cambios de humedad, se constata, a propósito de los coeficientes de dilatación térmica, una anisotropía que se traduce por la relación de orden siguiente entre los diferentes coeficientes.

$$(1.12) \quad a_T > a_R \gg a_L$$

$a_T$ : el coeficiente de expansión térmica tangencial es preponderante. Aparece como una función creciente de la densidad anhidra  $\rho_0$  de la madera considerada.

$a_R$ : los coeficientes de contracción radial es la mitad menos que  $a_T$ . También es una función creciente de la densidad anhidra  $\rho_0$ .

$a_L$ : El coeficiente de contracción longitudinal es un orden de magnitud menor que las precedentes.

Es interesante comparar los órdenes de magnitud de las contracciones de origen hidrica y las dilataciones de origen térmico. Notemos que una variación de

temperatura de 100 ° C. provoca una variación dimensional equivalente a aquellas que resultaría de una variación de 1% de humedad. Considerando los rangos normales de variaciones de humedad y de temperatura, se considera generalmente a las dilataciones de origen térmico como insignificantes en comparación a las contracciones e hinchamientos de agua.

#### **1.2.4. Conclusiones**

Para concluir, retendremos que la diversidad de especies cubre una gama de densidad anhidra  $\rho_0$  que va de 0,10 g/cm<sup>3</sup>, para las maderas menos densas (Balsa), a 1,25 g/cm<sup>3</sup> para las más densas (Endranendrana).

La madera de mayor importancia industrial poseen rangos de densidad entre 0,35 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>, pasando generalmente desde coníferas (pino, pino oregón) a latifoliadas (Hayas o Encino).

La madera es un material higroscópico, cuyo contenido de humedad se equilibra con las condiciones atmosféricas de almacenamiento, temperatura y humedad. ( $H_0$  10 a 15% en clima templado  $H_0$  15 a 22% en las zonas de climas tropicales húmedos, con fluctuaciones estacionales).

Se observa importantes contracciones entre el estado saturado y el estado anhidro, de 15 a 18%. Los coeficientes de contracción tangencial son de 1,7 a 2 veces mayor que los coeficientes de contracción radial. El coeficiente de contracción longitudinal es técnicamente el más a menudo despreciado.

Los coeficientes de dilatación térmica son ellos mismos altamente anisotrópicos. Para las fluctuaciones de temperatura inferiores a cien grados Celsius, los cambios dimensionales de origen térmico son a menudo despreciados en comparación con las contracciones e hinchamientos de agua.

Las influencias de los parámetros físicos sobre las propiedades mecánicas aparentes de la madera serán ampliamente discutidas en los capítulos siguientes.

### 1.3 LA MADERA : MATERIAL Y MATERIA PRIMA MULTIFORME

La madera del tronco de los árboles se utiliza como materia prima industrial en diversas formas, y por lo tanto entra en la composición de los productos terminados o semiterminados, a veces complejos, de tipo materiales compuestos de gran difusión a altos comportamientos.

Cada párrafo que se menciona más abajo, toca una rama particular del sector industrial: nosotros referiremos al lector a la bibliografía especializada para obtener información más detallada (ver bibliografía).

#### 1.3.1. La madera sólida

Conviene clasificar bajo la rúbrica "de madera sólida" los productos cuya dimensión más pequeña es varias veces mayor que el ancho de los anillos anuales de crecimiento. Esta noción es esencial en términos del análisis del comportamiento mecánico, ya que permite formular hipótesis aceptables de continuidad y de homogeneidad macroscópica del material.

Dentro de la madera sólida se encuentran los postes y de manera general, los productos obtenidos en una primera transformación de aserrío.

La madera aserrada encuentra una importante cabida en la industria de la construcción:

- Las vigas y piezas para la carpintería
- piezas y revestimientos para cubrir techos y encofrados de pared
- Revestimiento de madera y parquets para las terminaciones interiores, así como en muebles.

Las maderas para industrias comprenden:

- Postes (P.T.T.)
- Postes de sostenimiento (Minas)
- Traviesas o durmientes de líneas de trenes
- Embalaje (pallets y cajas).

Dentro de un aspecto de valorización económica, estos productos de aserrío fueron objeto de clasificaciones considerando el aspecto (presencia de nudos o coloraciones anormales), especialmente las calidades tecnológicas, las propiedades mecánicas (clasificación mecánica) y de trabajabilidad (rectitud de la fibra).

Ellos son sometidos en ciertos casos a tratamientos de preservación para garantizar una longevidad frente a las agresiones de hongos e insectos.

Las maderas reconstituídas por encolado del tipo vigas laminadas son consideradas como materiales o elementos de estructuras compuestas, las lamelas provienen de madera aserrada de madera sólida.

El análisis y la descripción del comportamiento mecánico de la madera sólida serán desarrolladas en los capítulos siguientes.

Tabla n° 1.8: Propuesta de nomenclatura estandarizada de los materiales compuestos en base a madera [según Maloney (versión en Inglés) traducción al español del autor]

Contrachapado o terciado	Plywood Blockboard
Panel de fibra no comprimida [aislación] Densidad media (MDF) alta densidad [Hardboard]	Fiberboard noncompressed[Insolation Board] Medium density [MDF] Compressedboard [Hardboard]
Panel de particulas	Particleboard
Panel de hojuelas anchas	Waferboard
Panel de hojuelas orientadas [OSB]	Oriented Strand Board OSB)
	COM-PLY
Productos moldurados de partículas , hojuelas, fibra	Molded products of particles, Flakes, or fiber
Encolado inorganico cemento y yeso	Inorganic Bonded cement or gypsum
Viga de chapas laminadas	Laminated Veneer lumber (LVL)
Viga de chapas orientadas	Oriented Strand Lumber (OSL)
Viga de chapas Paralelas	Parallel Strand Lumber (PSL)

### 1.3.2. Enchapado de madera

Se clasificarán por "Chapa" los productos cuya más pequeña dimensión es del orden de magnitud del ancho de los anillos de crecimiento estacionales. En términos de comportamiento mecánico, será necesario tener en cuenta la heterogeneidad asociada con la madera de primavera y madera de verano.

Las chapas se obtienen por primera transformación por medio de los procesos de debobinado y de foliado. Las chapas debobinadas entran para los

ensamblados de multicapaas orientadas en la fabricación de materiales compuestos como los contrachapado o terciado y también en las vigas de tipo LVL.

Las chapas foliadas son utilizadas principalmente en revestimientos estéticos de estructuras o muebles.

Los problemas de mecánica surgen tanto en la etapa de las operaciones técnicas para debobinar o foliar así como en la fabricación de terciados a causa de la relativa fragilidad de productos semi-terminados durante las manipulaciones necesarias.

### **1.3.3. Partículas y virutas**

Bajo forma de partículas de diversos tamaños, la madera se utiliza para la fabricación de elementos estructurales de tipo paneles, llamados tableros de partículas.

Las chapas pueden alcanzar dimensiones máximas algunos centímetros, el ancho está en relación de 1 a 1/2, mientras que el espesor está en relación de 1/20 a 1/40. Ellas se obtienen por diversos procesos de corte que garanticen la formación de virutas cortas o chapas.

Las partículas más pequeñas son obtenidas por un molido mecánico de los pedazos de madera que produce la destrucción en pequeños fragmentos. Estos métodos permiten, en particular, el reciclado de los restos de madera del aserradero.

Por último, una fracción de volumen importante de aserrín completa la gama dimensional de productos utilizados en la fabricación de los paneles.

La cohesión de los paneles se asegura mediante adhesivos ((urea formaldehído (UF), melamina-formaldehído (MF), melamina-urea-Formaldheído (MUF)), adhesivos generalmente sintéticos. La polimerización es asegurada por calentamiento en la prensa, con diferentes tasas de compresión de acuerdo a la densidad deseada del producto final.

Las tecnologías de los tableros de partículas desarrolladas durante los últimos cuarenta años muestran sin duda una promisoriosa expansión [MALONEY]: en efecto, pocos materiales, aparte de la madera, permiten construir paneles de unas pocas decenas de metros cuadrados de superficie y de unos pocos centímetros de espesor, y con excelentes propiedades mecánicas. Los recientes avances sobre aditivos, en las mezclas de viruta-resinas, ofrecen productos pocos o nada sensibles a la absorción de humedad y por lo tanto dimensionalmente estables.

Una de las principales salidas para los tableros de partículas son los muebles que se producen en masa, así como también en revestimientos y muros divisorios y su uso es cada vez mayor en el diseño de elementos estructurales.

#### **1.3.4. Fibras**

Como se ha indicado en 1.2.1., las fibras o traqueidas constituyen los elementos básicos del compuesto natural madera. Es lógico que el hombre haya entonces tratado de utilizar las fibras para crear un material compuesto de síntesis: la gama de productos que se produce es enorme.

Tableros de fibra. Ellos son conceptualmente más cerca de los productos mencionados anteriormente. Los elementos de base son fibras o haces de fibras de madera obtenidas por desfibrado. El desfibrado mecánico se realiza en madera muy húmeda y caliente para disminuir las cargas de ruptura de la lignina y de la hemicelulosa de la lamela media, favoreciendo por consiguiente la separación de las fibras.

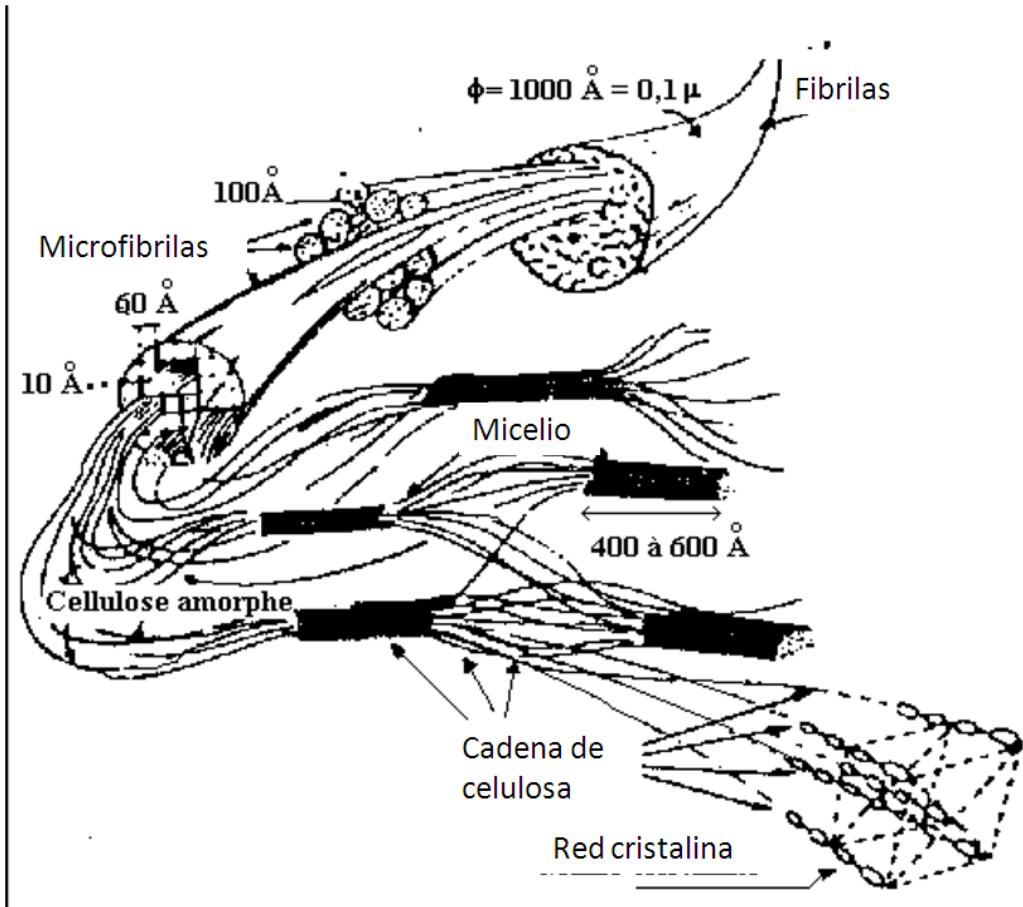
Las mezclas de fibras - Resinas sintéticas - aditivos, son tratados con diferentes tasas de compresión, lo que permite la producción de paneles en una amplia gama de densidades desde 0,02 a 1,45. Los paneles menos densos encuentran un mercado como producto de aislación.

Papeles y cartones. Estos son los usos más comunes de fibra de madera y el compuesto de alto comportamiento, probablemente el más antiguo. Para tales aplicaciones, la madera es transformada en pulpa.

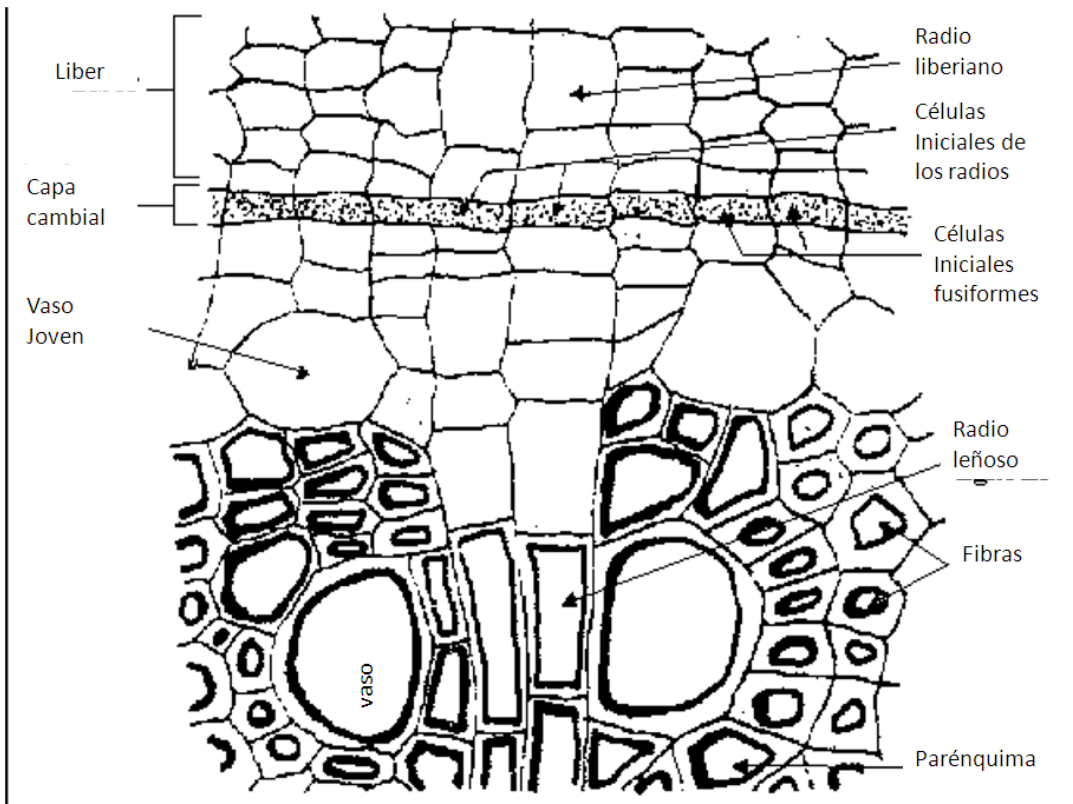
Pasta mecánica. Se obtienen de acuerdo al principio mencionado anteriormente, de desfibrado de madera húmeda y caliente: resultan ruptura de fibras y un papel de baja calidad, como por ejemplo, el papel de periódico.

La pulpa química o semi-química. Como su nombre lo indica, éstas se basan en las reacciones químicas en medio alcalino (soda pura o proceso kraft NaOH + sulfuro de sodio), o en medio ácido (sulfito de magnesio) que producen una despolimerización y el paso en solución de la lignina de la lámina media, y causan la separación de las fibras y traqueidas.

La longitud prépondérante de las traqueidas en relación a las fibras hace preferir el uso de maderas coníferas que las latifoliadas.



Desde la escala molecular a la microfibrila : Interior de la pared celular,  
 A ambos lados de la capa del cambium : Formación de madera hacia el interior r  
 y de corteza hacia el exterior de la troza



En términos de la mecánica, es concebible que el estudio de las propiedades mecánicas de las fibras individuales que entran en la composición de las pulpas, muestre conceptos completamente diferentes de aquellas que serán debatidos en el caso de las maderas sólidas o del enchapado, lo que requerirá un enfoque diferente.

### **1.3.5. Producto en base a química**

Es evidente que un producto de base como la madera constituida de polímeros complejos (polisacáridos, polifenoles), es y será ampliamente utilizado en química orgánica. Se concibe en efecto que conviene obtener la mejor parte de estos compuestos, ampliamente disponibles a partir de una materia prima renovable. Estos puntos no serán objeto de este libro, por lo que no será tratado más adelante.