

La Madera

y sus Propiedades

Por: César PERAZA Oramas
 Dr. Ingeniero de Montes
 Subdirector Técnico de A. I. T. I. M.

1. MADERA, DEFINICION

Desde un punto de vista científico e industrial se llama madera el conjunto de tejidos de XILEMA, que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos.

Debido principalmente a aspectos económicos y de manipulación industrial, se aprovecha principalmente la madera del tronco y ramas de los árboles, es decir, la procedente de los vegetales leñosos de ciertas dimensiones.

2. FUENTES

DE ABASTECIMIENTO

Antes de entrar en el estudio de este material, cuya bondad y características se deducirán a lo largo de estas líneas, quisiera en cifras redondas dar una visión de conjunto de las fuentes de esta materia prima.

La superficie forestal actual es de 4.000 M Has., es decir 1/3 de la superficie terrestre y el doble de la dedicada a la agricultura.

Siempre en la misma línea que nos venimos situando podemos hacer la siguiente clasificación:

	M. Has.
Bosque Virgen	2.000
Zona en Explotación ...	1.400
Zona Arrasada	600

El desarrollo de la humanidad, por consiguiente, ha hecho desaparecer el 15 % de la superficie forestal.

Las maderas, desde el punto de vista industrial y comercial, se clasifican en los tres grandes grupos:

- Maderas de coníferas (resinosas).
- Maderas de frondosas de la zona templada.
- Maderas de frondosas de la zona tropical.

La procedencia respectiva es de las zonas forestales siguientes:

BOSQUES DE CONIFERAS de las zonas frías: abetos, pinos nobles, alerces; **BOSQUES MIXTOS** de la zona templada: pinos, robles, hayas, nogales, álamos (chopos), castaños, y de los bosques ecuatoriales húmedos: caobas, cedros, palisandros, teca, lauanes, okume, serayas, sipo.

3. PRODUCCION

La potencialidad productiva de los montes en explotación es la siguiente:

	%
Coníferas	35
Frondosas de la zona templada	15
Frondosas de la zona tropical	50

El consumo de madera en rollo industrial en 1966 fue de 1.200 millones de m³, y en 1972 muy cerca de los 2.000 millones de m³. Hemos de señalar que este aumento de consumo no se debe exclusivamente al aumento de éste, sino también a la mejora progresiva de las estadísticas.

Refiriéndose más concretamente a España, las necesidades de la industria se cifran en 15,5 millones de m³ frente a unas cortas de 7,6 millones de m³, por lo que el déficit en 1972 puede cifrarse en 7,9 millones de m³.

Las industrias de primera transformación, entendiéndolas no de acuerdo a la clasificación industrial española C. N. A. E., que es anticuada y no real, sino de acuerdo con el concepto más exacto de la F. A. O. y en consonancia con las ideas actualmente en uso, son:

- Industria de Aserrado.
- Industria de Tableros Contrachapados.
- Industria de Tablero de Fibras.
- Industria de Pastas.
- Industria de Chapas.

Se define, por consiguiente, como industria de primera transformación aquella que partiendo de madera en rollo obtiene un producto de utilidad comercial,

pero que necesita una nueva transformación, la segunda, para ser consumible directamente por el usuario.

En cuanto a España se refiere, las necesidades de estas industrias de primera transformación se estimaban en 1973:

	Millones de m ³
Industria de Aserrado.	8,7
Industria de tableros de partículas	1,7
Industria de pastas ...	3,9
Industria de tableros de fibras	0,2
Industria de tableros contrachapados y chapa	1,0
TOTAL	15,5

4. LA MADERA, ESTRUCTURA

Una definición clara y sencilla de la madera, desde el punto de vista estructural y por consiguiente mecánico, podría ser la siguiente: Estructura tubular, longitudinal, cuyos ejes son más o menos paralelos al eje del árbol, cruzada por otra estructura tubular transversal de ejes en las direcciones de los planos radiales del árbol.

Esta estructura (**fig. 1**), como podemos comprender, es resistente y ligera de por sí, pero debido a la estructura peculiar que presentan las paredes de estos tubos, alcanzan los dos conceptos anteriores, resistencia y ligereza, su óptimo en la madera.

En la misma figura se ha señalado igualmente las diferentes formas que pueden adoptar estos elementos tubulares según se trate de los grandes grupos que hemos señalado: coníferas y frondosas.

Lo primero que observamos es que las coníferas tienen pocos elementos constitutivos diferentes: traqueidas y células de parénquima. Aparte de eso hay un predominio marcado de uno de ellos, la traqueida, que constituye aproximadamente un 90 por 100 de la madera. Las maderas de coníferas serán,

Reunión del Comité del Sello de Calidad (A. I. T. I. M.)

El día 16 de junio se reunió en Madrid el Comité del Sello de Calidad (A.I.T.I.M.), tomando, entre otros, los siguientes acuerdos:

- Conceder el Sello de Calidad 1 - 17 de Puertas Planas a la Empresa Quintanar Industrial, de Salas de los Infantes (Burgos).
- Conceder el Sello de Calidad 1 - 18 de Puertas Planas a la Empresa Imag, S. A., de Zaragoza.
- Conceder el Sello de Calidad 1 - 19 de Puertas Planas a Industrias Carsal, de Huarte (Pamplona).
- Conceder el Sello de Calidad para Tableros Interiores a la Empresa Joaquín Puigcerver Mengual, de Valencia.
- Conceder el Sello de Calidad 4 - 1 de Parquets a la Empresa Industrias Aras, de Jaén, para sus fabricados de roble y eucalipto.
- Homologar diversos tipos de puertas, que pasan al período de prueba, de las Empresas Andrés Serrano Castro, de Córdoba; Benjamín Díaz Alonso, de Gijón; Benito García Santiago, de Iscar (Valladolid); Talleres J. Arias, de Zaragoza; Anjoca, S. L., de Arteijo (La Coruña); Rafael Gallardo Bernal, de Villanubia (Cádiz), e Hincolsa, de Fuenlabrada (Madrid).
- Estudiar la creación de un Sello de Calidad para productos de protección de las maderas contra hongos, insectos y fuego.

pues de una gran homogeneidad estructural. Por el contrario las maderas de frondosas tienen muchos elementos estructurales diferentes vasos, traqueidas y fibras, traqueidas vasculares, traqueidas vasicéntricas, células de parénquima. Aparte de esta gran variedad, en las frondosas como grupo, no podemos decir que exista predominio de ninguno de ellos, es más, es rara la madera de frondosa que no tiene de todos y en proporciones más o menos equilibradas. De aquí nace la gran variedad estructural de las frondosas. Podemos concebir estas últimas de la siguiente forma: disponiendo de suficientes elementos estructurales distribuyéndolos en diferentes proporciones y ordenándolos de diferentes formas obtendríamos las diferentes ma-

deras de frondosas que existen en el mercado.

Vista a grandes líneas y microscópicamente la estructura de la madera no debe extrañarnos que J. E. Gordon, en «The New Science of Strong Materials», señale a la madera como el material utilizado por el hombre en el que la relación Resistencia/Peso Específico, alcanza los máximos valores y que sean las cualidades más destacables en la madera su ligereza y su resistencia. Estas cualidades, unidas a las estéticas producidas por la variedad estructural que podemos obtener de la combinación de sus células constitutivas, hacen de ella un material realmente noble, tanto desde el punto de vista mecánico, como de decoración.

Pero lo más importante no

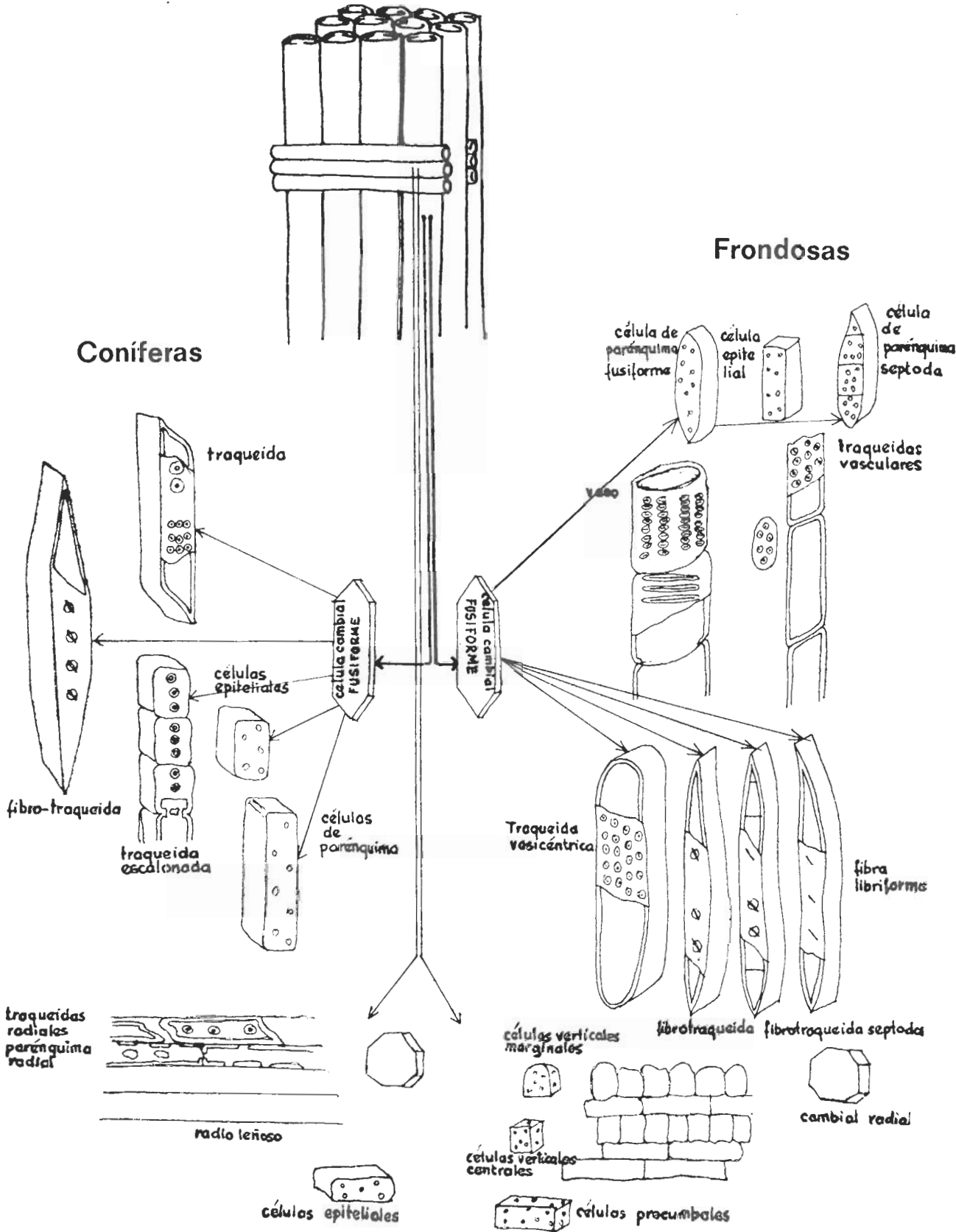


Fig. 1

está sólo en esta estructura tubular, sino en como están constituidas las paredes de los elementos tubulares. Para analizarlo detenidamente, tendría que emplear bastante más tiempo del que creo necesario por la índole del curso. Solo voy a tratar de esquematizarlo para que podamos comprender el comportamiento de este material. Aquél que quisiera profundizar en el tema le recomiendo el magnífico libro de Richard E. Mark, «CELL WALL MECHANICS OF TRACHEIDS».

Sintetizando el tema podemos establecer los siguientes puntos:

El estudio de la madera con el microscopio electrónico nos permite admitir, hoy por hoy, **figura 2**, que la pared celular tiene una estructura fibrilar (microfibrillas) y que además existen zonas cristalinas, es decir, zonas realmente sólidas en el sentido físico de la palabra, y otras zonas no cristalinas, es decir, de líquidos más o menos

viscosos en el sentido físico también de la palabra.

Por otra parte, el estudio de la estructura fibrilar, que en anatomía de madera se dice están constituidas por las microfibrillas, se descompone a su vez, en otras de menores dimensiones llamadas fibrillas elementales.

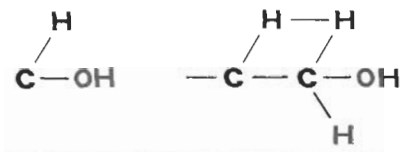
El análisis químico nos da como componentes principales de la madera los siguientes:

	% Conif.	% Fronde.
Celulosas	50	50
Hemicelulosas ...	23	26
Lignina	27	24

La celulosa es un polímero lineal formado por unidades de Celobiosa.

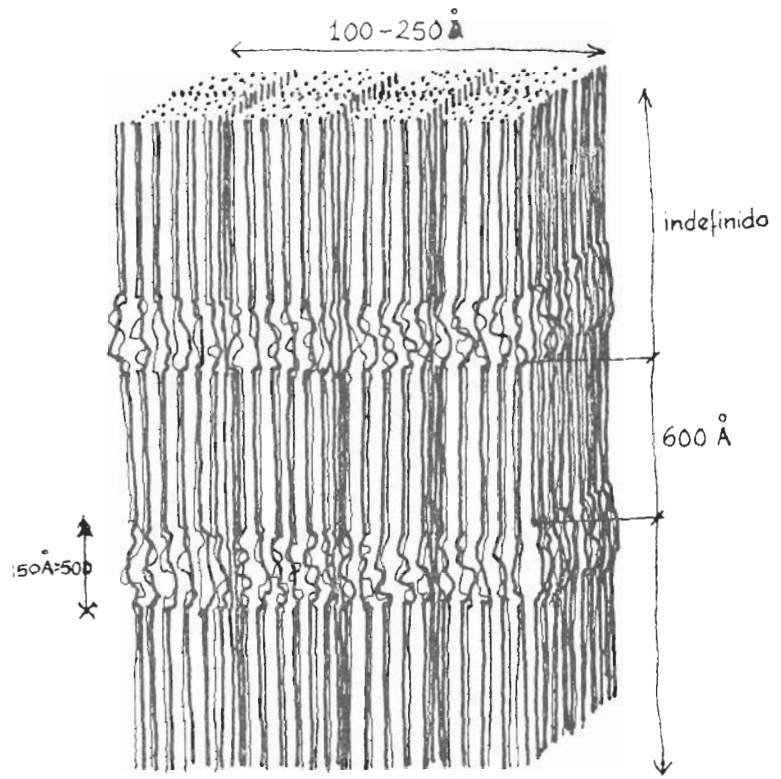
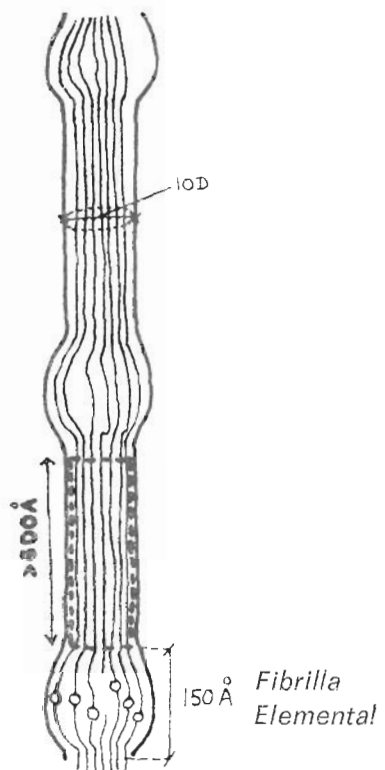
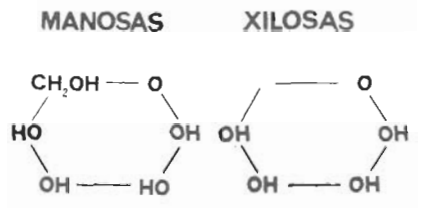
La longitud media de 5 Å y el número de unidades oscila entre 3.500 y 6.500.

Señalaremos únicamente la existencia de los grupos:



Ellos tienen los polos H y OH, que actúan como grupos polares en la retención y anclaje de moléculas de naturaleza polar, tales como el agua o los adhesivos y barnices.

Hemicelulosas. — Son polisacáridos lineales de elevado peso molecular, constituidos de 70-200 unidades. Son, pues mucho más cortos que la celulosa. Los componentes principales según los grupos de maderas son:



Microfibrilla Fig. 2

Teniendo las coníferas muchas unidades de manosas y pocas de xilosas, y las frondosas pocas de las primeras y elevadas de las segundas.

También presentan los grupos polares anteriormente mencionados, y por lo tanto con las mismas propiedades que la celulosa. No obstante, la menor longitud de sus cadenas hace que no sea un elemento de armado de la pared celular tan importante como la celulosa.

LIGNINA.—La lignina es producto prácticamente insoluble de la madera. Con el término de lignina se conoce una mezcla de sustancias de composición química similar pero diferentes estructuralmente, tales como fenilpropano, guayacil, synugil, etc.

El problema radica en cómo se combinan éstos para formar la macromolécula de lignina.

Los grupos principales parecen ser Fenilpropano y Guayacil.

Como hemos señalado las unidades componentes tienen igualmente grupos **OH**, lo que le da igualmente posibilidad de existencia de polaridad. No obstante, su menor abundancia y la insolubilidad de este material le hace mucho menos activo.

Finalmente el estudio físico de la madera, con rayos X, ha permitido establecer la estructura de la pared celular, con la existencia de zonas cristalinas, moléculas ordenadas, zonas de pequeña cristalinidad y, finalmente, de una parte totalmente amorfa.

De lo que hemos dicho anteriormente se puede deducir, teoría de la molécula flocada, que la parte amorfa estará formada por la lignina y la parte cristalina estará formada por las moléculas de celulosa ordenadas paralelamente, según se deduce del espectro producido por la madera.

El estudio en el microscopio electrónico permite poner de manifiesto la estructura fibrilar

de la pared celular, así como la diferente orientación de ellas dentro de la pared celular.

De todo ello, podemos establecer que la pared celular está compuesta de la siguiente manera:

1.º) Una estructura fibrilar, constituida por microfibrillas agrupadas en capas con diferente orientación (fig. 4), y que vienen señaladas por el ángulo que las microfibrillas forman con el eje de la célula y que definen:

— Pared primaria, con orientación más o menos arbitraria, por lo tanto, prácticamente amorfa.

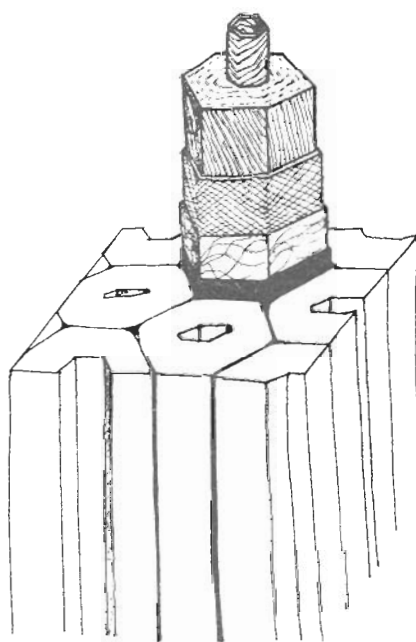


Fig. 4

— Pared secundaria, dividida a su vez en capas diferenciadas: S_1 capa exterior muy delgada, el ángulo de las hélices de las microfibrillas de $70^\circ-90^\circ$; S_2 capa media más gruesa que la anterior, con ángulo de microfibrillas de unos 30° ; S_3 capa interior, la más delgada de las tres hasta el extremo de que en algunas células no existe y en la que las microfibrillas forman ángulo de $70^\circ-80^\circ$, y por fin el lumen parte hueca de la célula.

Todo este conjunto fibrilar está incrustado de lignina, material insoluble y como hemos visto, viscoso. Todo este conjunto está envuelto por la laminilla media, por lo que podemos considerar, en un simil constructivo, como una columna cilíndrica hueca de hormigón armado. El papel del hormigón viene representado por la lignina y el del acero por las microfibrillas que producen el zunchado correspondiente, gracias a la distribución helicoidal de las mismas.

A su vez las microfibrillas están constituidas por las fibrillas elementales, haz apretado de moléculas de celulosa, en las cuales existen partes en que las moléculas de celulosa se desordenan. Las mediciones efectuadas permiten establecer que la longitud de las partes ordenadas son inferiores a las correspondientes de la molécula de celulosa. Por consiguiente éstas se podían extender a lo largo de las partes cristalinas pasando por las zonas intermedias no cristalinas. La fibrilla elemental viene definida como aquella parte de estructura en cuyo interior no puede penetrar molécula de cuerpos extraños, ya que la distancia entre moléculas es inferior a 3 \AA . En resumen y partiendo de menor a mayor, la estructura de la pared celular se desarrolla en la siguiente forma:

Molécula de celulosa — polímero longitudinal de celobiosa de longitud comprendida entre 400 a 12.000 \AA .

Aproximadamente 40 moléculas de celulosa firmemente ligadas entre sí por puentes de hidrógeno constituyen una fibrilla elemental con sus partes ordenadas, cristalinas y no ordenadas, amorfas. Las longitudes de éstas son respectivamente zonas cristalinas 600 \AA , zona no cristalina 150 \AA , por lo tanto, existirán moléculas de celulosa (12.000 \AA de longitud) que pasarán a través de diferentes zonas cristalinas y amorfas.

El diámetro de esta fibrilla elemental es aproximadamente de 100 Å y la distancia entre moléculas de celulosa inferiores a 3 Å. No penetrables por moléculas de agua.

Conjuntos de fibrillas elementales, que pueden variar de 4 a 8 constituyen la microfibrilla, con distancias entre fibrillas elementales superiores a 6 Å, por lo tanto ya penetrables por moléculas de agua.

Las microfibrillas arrolladas en espirales con distintos ángulos, incrustadas por lignina, constituyen la pared celular (figura 3).

Finalmente las paredes de las células producidas en la estación activa (primavera en las zonas boreales) tienen un menor porcentaje de lignina y el diámetro de lumen es mayor. Mientras que las células producidas en la estación menos activa (verano en las zonas boreales) son de menor diámetro y de

paredes más lignificadas. Ello da origen a los dos tipos de madera dentro del anillo anual (zonas boreales) de crecimiento conocidas con el nombre de madera de primavera y madera de verano, de propiedades físicas y características mecánicas diferentes.

5. PROPIEDADES FISICAS

Las propiedades físicas de la madera, es decir, aquéllas que determina su comportamiento en el medio ambiente sin que éste actúe mecánica o químicamente en su estructura, son:

5.1. Propiedades no dependientes de la composición de la madera

I) **COLOR.**—La celulosa, material básico, como hemos visto, de la madera, no tiene color. El color de las maderas lo definen por consiguiente las sustancias que se encuentran en el lumen o impregnan sus paredes. El color depende de la especie, edad y condiciones de crecimiento y fundamentalmente del clima. Las especies de los climas templados o fríos tienen colores pálidos, mientras que los de los climas tropicales tienen colores oscuros. La variedad de color en las maderas es todo lo amplio que se quiera y por consiguiente desde el punto de vista decorativo, no tenemos dificultades en encontrar maderas cuyo color satisfaga nuestras exigencias. Los colores varían desde el blanco del Chopo hasta el negro de Ebano, pasando por el azul de Palo de Campeche y el verde limón del Limoncillo.

El color se modifica con el tiempo y la exposición a la luz, por lo que la protección superficial, barnizado, es fundamental para conservar éste.

II) **BRILLO.**—También tenemos una amplia variedad desde las maderas sin brillo, como el Chopo, al satinado del Satén.

III) **OLOR Y GUSTO.**—Al ser los principales componentes de

la madera inodoros e insípidos, el olor y gusto de la madera se debe a sustancias de impregnación, y por consiguiente son más acusadas en madera verde, es decir, recién cortada que en madera seca. Estos olores pueden ser apreciados por el hombre, como los del alcanfor, limoneno, sándalo, o ser francamente desagradable que impiden el empleo de la madera. La naturaleza del origen de esta propiedad física hace que desaparezcan en gran parte con el tiempo.

NOCIVIDAD PARA EL HOMBRE.—Los elementos constitutivos de la madera, celulosa y lignina no son nocivos para el hombre, pero las sustancias extrañas que pueden impregnarla pueden serlo. Generalmente el efecto perjudicial para el hombre se produce en la manipulación de primera transformación. Las acciones nocivas son principalmente dermatitis, vómitos, náuseas, inflamación de órganos.

De entre las maderas perjudiciales para el hombre señalamos las recogidas en el cuadro I.

Estos efectos se reducen considerablemente evitando que en las operaciones, principalmente de serrerías, el hombre pueda entrar en contacto con el serrín o polvo producido en la manipulación. Los efectos perjudiciales desaparecen rápidamente al terminarse de trabajar la madera.

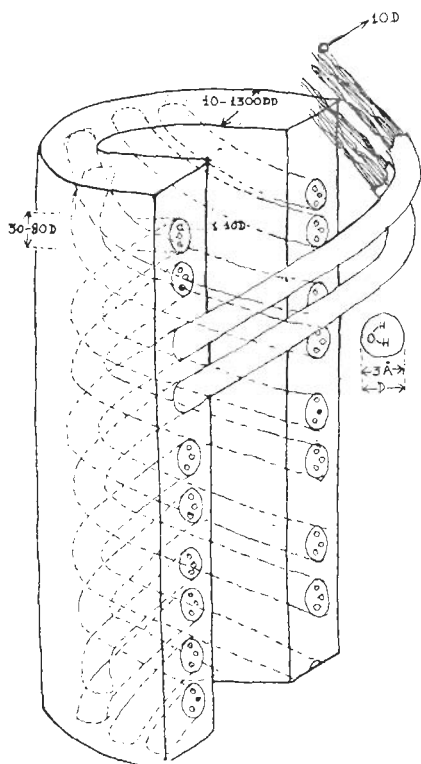
5.2. Propiedades dependientes de la estructura

I) **ESTRUCTURA, TEXTURA Y GRANO.**—La ordenación y distribución de los diferentes tipos de célula de que puede estar constituida la madera da origen a la estructura de la misma. Así en términos generales se puede hablar de la estructura homogénea de las coníferas y más o menos compleja en las frondosas.

Por otra parte, el diámetro relativo de los elementos permiten señalar el grano. En las fron-

Fig. 3

Esquema Mecánico Pared Celular



dosas se refiere principalmente al de los vasos, mientras en las coníferas se refiere al de las traqueidas. Así se clasifican las maderas como grano fino o basto.

Finalmente, la relación entre el ancho de la madera de verano al ancho total del anillo anual se llama textura.

Mientras las dos primeras propiedades están relacionadas principalmente con el acabado de las superficies de la madera, la última al ser la madera de verano más resistente que la de primavera, están más relacionadas con las características mecánicas. Por esto en la madera de construcción, se limita el número de anillos de crecimiento que pueda tener la madera (véase la última columna de las normas españolas de madera aserrada).

II) **DUREZA.**—Desde el punto de vista físico puede definirse como la resistencia superficial de un cuerpo sometido a un esfuerzo fuertemente localizado. De los tres procedimientos principales Janka, Brinell y Monnín, todos en el fondo responden al concepto anteriormente expuesto, por lo que el resultado ha de medirse por la huella relacionada con una carga, bien de una esfera (Janka, Brinell), bien por un cilindro (Monnín). La dureza de la madera depende del peso específico y de la humedad de la madera.

El valor que adquiera esta propiedad es de especial importancia en relación de la mayor o menor dificultad que presenta a ser trabajada con diferentes herramientas y al desgaste que pueda sufrir en su uso.

III) **PESO ESPECIFICO.**—Relación de peso a volumen como sabemos. En la madera por ser un material poroso e higroscópico cuyo volumen aumenta o disminuye con la variación del con-

Especie de Madera	Procedencia	Enfermedad	Materia Estimulante
Khaya ivorensis A. Chev.	Africa occidental.	Irritación en la piel.	
Swietenia mahagoni. Jacq.	Cuba, Santo Domingo.	Malestar general, Irritación de la piel.	Alcaloides. Alcoholes.
Khaya senegalensis, A. Juss.	Africa occidental.	Irritación de la piel.	
Mansonia altissima, A. Chev.	Ghana, Nigeria.	Vértigo, indisposición, ansias, vómitos, desfallecimiento, torticólis, estornudo, epistaxis, dermatitis.	Alcaloides, Digital glikosid «Mansonina» C ₂₇ H ₄₆ O ₁₁
Dalbergia retusa Hemsal. (Cocobolo).	América Central y Tropical.		Oleoresina, Haematoxylon, Brasilina, kobinina. Morui.
Chlorophora excelsa, Benth. y Hook (Iroko).	Africa tropical.	Dermatitis.	Chlorophorina C ₂₁ H ₂₄ O ₄
Jacaranda brasiliiana, Lam. (Jacaranda).	Sudamérica.	Dermatitis.	
Calophyllum brasiliense, Camb. (Jacareuba).	Región amazónica.	Dermatitis, vómitos, irritación en riñones.	Aceite colorantes Bálsamo, taninos.
Terminalia superba, Engl. y Diels. (Akoni).	Africa tropical.	Inflamación maligna hasta producir llagas las astillas.	
Dumoria heckellii, A. Chev. (Makoré).	Africa.	Dermatitis.	Saponina.
Lucuma procera, Mart. (Massaranduba).	Brasil.	Dermatitis.	
Triplochiton scleroxylon, K. Schum.	Africa occidental.	Asma.	
Dalbergia latifolia, Roxb. (Palisandro).	Indias occidentales.	Dermatitis.	
Chloroxylon swietenia, D. C.	Ceylán.	Dermatitis.	Alcaloides; chloroxylina C ₂₂ H ₂₂ O ₇ N
Paratecoma peroba, Kuhl. (Peroba blanca).	Sudamérica.	Dermatitis.	Resina, hapachonom C ₁₅ H ₁₆ O ₂
Aspidosperma spp. (Peroba rosa).	Zona amazónica, Brasil.	Ansias, vómitos, dermatitis, asma, letargo, parpadeo de ojos, sudor, calambres.	Alcaloide «Mocambien».
Dalbergia nigra, Fr. All. (Palisandro de Río).	Indias occidentales.	Dermatitis.	
Tectona grandis L. (Teca).	Tailandia, Birmania, Indonesia.	Dermatitis.	Resinas con gran porcentaje de ácidos resínicos no saturados.

peso de agua, se definen como pesos específicos:

Peso específico aparente.
Basados todos en el volumen aparente.

a) Peso específico anhidro:

$$\frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen anhidro}} = \rho_0$$

b) Peso específico húmedo:

$$\frac{\text{Peso húmedo (\%)}}{\text{Volumen húmedo (\%)}} = \rho_h$$

en el caso que la humedad sea del 12 %, se llama normal al ser el más normalizado con carácter internacional.

c) Peso seco volumétrico, saturado:

$$\frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen a h \%}} = R_s$$

siendo h % superior al 30 %.

d) Peso seco volumétrico húmedo:

$$\frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen a h \%}} = R_h$$

Peso específico real =

$$\frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen aparente} - \text{Volumen de poros}}$$

Peso específico comercial (densidad industrial).

Valores medios admitidos comercialmente en transacciones y no corresponden a una definición exacta, aunque se refieren generalmente a madera seca al aire.

Los a) y b) son los más empleados en publicaciones, científicas el primero y técnicas el segundo, y tienen valores fijos para cada especie. Los c) y d) son más utilizados en la industria, y mientras el R_s se le pue-

den atribuir un valor fijo por especie, el R_h es totalmente variable con el h.

Finalmente el peso específico real es prácticamente constante para todas las especies y el valor que se le atribuye es de 1,5, siendo por consiguiente el peso específico máximo de una madera, ya que este peso supone la desaparición de su porosidad.

La variedad de estructura de la madera y de su grano nos da una variación de peso específico grande, así estos valores

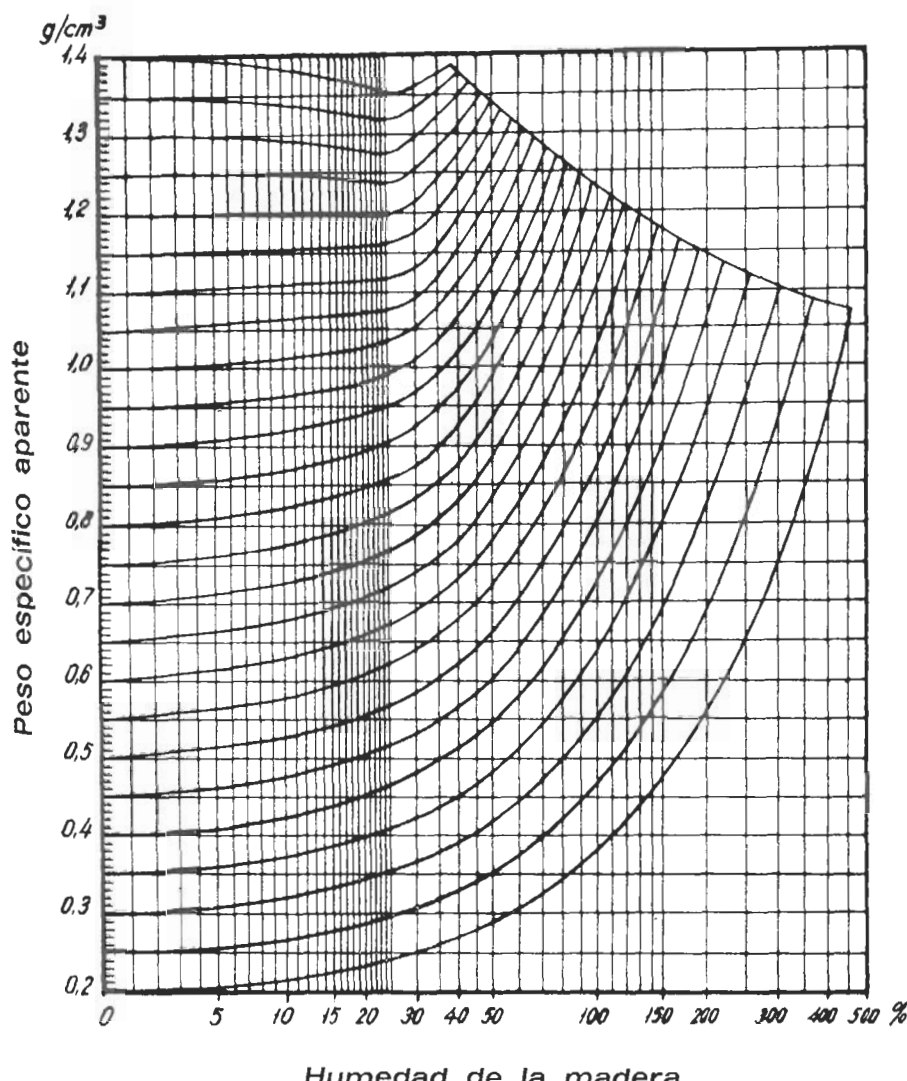
pueden variar desde 0,20 a 0,30 de la Balsa hasta 1,35 del Quebracho.

El primer factor que influye en el peso específico aparente húmedo es el agua de la madera, al repercutir tanto en los valores del numerador y denominador de la fracción que define el peso específico. El gráfico 1 permite la determinación del peso específico, partiendo del anhidro, a diferentes humedades. Este gráfico se puede emplear bien partiendo del ρ_0 y el h, hallar ρ_h o recíprocamente partiendo del ρ_0 y el ρ_h hallar el h. Ambos valores son muy utilizados en la industria.

Aunque no vamos a entrar en el detalle, sí debemos dejar

Gráfico 1

Diagrama humedad-peso específico de la madera. (Según F. Kollmann!)



constancia de que el peso específico varía con:

- La especie.
- La edad del árbol.
- La localización de la madera en el tronco.
- Ecología.
- Paquete genético.
- Tratamiento de la masa.
- Cuidados del vuelo.

Este conjunto de factores pueden dar una variación de $\pm 20\%$ de los pesos específicos atribuidos a la especie en los libros técnicos.

IV) PROPIEDADES TÉRMICAS.—Las propiedades térmicas de la madera, al igual que otros materiales se consideran en los tres aspectos siguientes:

a) Dilatación

El coeficiente de dilatación tiene valores muy pequeños y frecuentemente la dilatación viene enmascarado por la contracción que la pérdida de agua de la madera origina, por lo que el fenómeno de dilatación de la madera por elevación de temperatura se considera despreciable. Como todo cuerpo anisótropo presenta tres coeficientes de dilatación, el α_r (radial), α_t (tangencial), α_l (longitudinal). Las propiedades de estos coeficientes son α_r y α_t aumentan en general con el peso específico, siendo α_t superior al radial; α_l (longitudinal) no parece estar relacionado con el peso específico. El $\alpha_{||}$ varía de $1,98-6,38 \times 10^{-6}$ y el α_{\perp} desde $25-58 \times 10^{-6}$, según las especies. ($\alpha_{||}$ = paralelo a la fibra, α_{\perp} perpendicular a la misma.)

b) Calor específico:

Varía en función de la temperatura y la humedad de la madera. Según Kirilov viene determinado por la fórmula:

$$C_h = 0,28 \left[h \left(1 + \frac{t}{100} \right) \right]^{0,2} \text{ Cal/}^\circ\text{C}$$

en la que t, temperatura en grados centígrados y h por la más

sencilla de DUNCAL para la madera seca.

$$C_m.s. = 0,266 + 0,00116 \cdot t$$

la humedad h en tantos por uno.

c) Conductividad térmica:

Valores igualmente variables según las especies y dirección se pueden admitir los siguientes:

$$\begin{aligned} \lambda_l &= 0,05 \text{ a } 0,37 \text{ Kcal/m.h. } ^\circ\text{C} \\ \lambda_t &= 0,05 \text{ a } 0,25 \text{ Kcal/m.h. } ^\circ\text{C} \\ \lambda_r &= 0,04 \text{ a } 0,16 \text{ Kcal/m.h. } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

El coeficiente de conductividad térmica en dirección paralela a la fibra es de 2,25 a 2,75 veces al de la dirección perpendicular y su función del peso específico viene dada por la fórmula:

$$\lambda = A \rho_{12} + B.$$

En la que A y B son coeficientes y ρ_{12} peso específico a 12 % de humedad.

d) Difusión del estado térmico

La evolución del estado térmico de una madera en una probeta cuadrada viene dado por:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{(S_1)^2}{(S_2)^2}$$

Es decir que la evolución de las temperaturas es proporcional al cuadrado de las distancias.

V) RADIACION TÉRMICA.—

La radiación térmica de la madera es superior al de otros materiales, de aquí la sensación de calor que dan las habitaciones forradas de madera.

Así, por ejemplo, coeficientes de irradiación de una madera tipo roble es de 0,895 mientras que un metal pulimentado y brillante es de 0,04 y el hierro ondulado de 0,80 a 0,90.

VI) PROPIEDADES ELÉCTRICAS.

Resistencia eléctrica.—Como consecuencia de su estructura,

la madera tiene tres coeficientes de resistividad

$$\rho_l, \rho_r, \text{ y } \rho_t$$

es decir, longitudinal, radial y tangencial. En la mayor parte de las maderas

$$\rho_t \approx \rho_r \text{ y } \rho_l \approx \frac{1}{2} \rho_t$$

La resistencia eléctrica varía muchísimo con la humedad y lo hace con arreglo a la ley siguiente:

$$\rho = 1,78 \times 10^3 \cdot C^{-0,736h}$$

Como valores técnicos se pueden fijar desde 10.000×10^6 ohmios para la madera anhidra, hasta $0,01 \times 10^6$ ohmios para madera húmeda.

RIGIDEZ ELECTRICA.—La madera en estado anhidro es uno de los materiales más rígidos eléctricamente. Estudiándose comparativamente con otros materiales considerados rígidos eléctricamente, tenemos:

- Madera de 27 a 28 kv/5 mm.
- Mármol de 10 a 20 kv/5 mm.

El grave inconveniente es su gran variación con la humedad. Como hemos visto anteriormente, a la humedad de 100 % la madera se hace prácticamente conductora.

CONSTANTE DIELECTRICA.—Las propiedades de la constante dieléctrica de la madera son:

- Proporcional al peso específico,

$$\epsilon = K \rho$$

- Con dirección del campo perpendicular a la fibra es de un 30-60 % al con campo paralelo a la fibra,

$$\epsilon_{\perp} = (1,3 \text{ a } 1,6) \epsilon_{||}$$

- La constante dieléctrica disminuye al aumentar la frecuencia.

- La constante dieléctrica varía con el grado de humedad en función de la fórmula siguiente:

$$\log \epsilon_{m.h.} = \frac{1}{1+h} \log \epsilon_{m.d.} - \frac{h}{1+h} \log \epsilon_{H_2O}$$

— Varía mucho con la especie, así tenemos como valores extremos de nuestras especies:

Abeto seco, en el sentido de la fibra, 3,06.

Abeto seco, perpendicular a la fibra, 1,91.

Haya seca, en el sentido de la fibra, 3,18.

Haya seca, en el sentido perpendicular a la fibra, 2,20.

El límite superior de la constante dieléctrica de la madera, saturada de agua, es de 81.

VII) PROPIEDADES ACUSTICAS DE LA MADERA.—La velocidad de propagación del sonido, variable naturalmente según las direcciones, están en la relación siguiente:

$$\frac{V_e}{14} = \frac{V_r}{5} = \frac{V_t}{3}$$

V_e = velocidad en el sentido de la fibra.

V_r = velocidad radial.

V_t = velocidad tangencial.

En el sentido longitudinal de la madera la velocidad varía de 3.500 a 5.500 m/seg., y en el sentido perpendicular a la fibra entre 2.500 a 3.500. La resistencia acústica de la madera es el doble a la del agua y 6.000 veces la del aire, así como el 5 % de la del acero.

La transmisión acústica en gruesos relativo con el hormigón es seis veces la de éste, por lo tanto no tiene buenas propiedades aislantes. De ahí la célebre frase de escuchar detrás de las puertas.

Las propiedades acústicas de la madera permiten su utilización en instrumentos musicales y hacer más acogedoras, desde el punto de vista acústico, las habitaciones recubiertas de maderas.

6. RELACIONES AGUA-MADE-RA

Dentro de las propiedades físicas de la madera, la más im-

portante es las relaciones de sorción y desorción del agua.

En la madera puede existir el agua en los siguientes estados: Agua de constitución o agua formando parte de los elementos químicos con los que forman parte de la madera; agua de imbibición o agua higroscópica, la introducida en los espacios huecos de la estructura de la pared celular, es decir, intermicrofibrillas e intermicrofibrillas elementales; agua libre la que está situada en el lumen de las células. El agua libre, no ligada a la estructura de la madera, no tiene más repercusión que la ocupación física de los huecos. El agua de constitución no puede modificarse sin destruir la propia madera. El agua de imbibición al aumentar, cuando penetra, la distancia entre las microfibrillas y fibrillas elementales, o al disminuirlas al desaparecer, es la responsable de los fenómenos de hinchazón y merma de la madera, por lo que analizaremos más cuidadosamente.

Por otra parte, existe un equilibrio dinámico entre el agua de imbibición y el estado higrotérmico del medio ambiente, llamado equilibrio higroscópico de la madera y presentado por H.E.H.

Dado que la retención y cesión de agua se produce como consecuencia de la estructura submicroscópica, el equilibrio higroscópico a que hemos hecho referencia es prácticamente independiente de la especie. Ello ha permitido la construcción de gráficos que nos den la humedad que adquiere la madera expuesta a unas determinadas condiciones higrotérmicas (gráfico II) y lo que es más importante, establecer las humedades recomendables para una estructura de madera utilizada en determinadas condiciones, éste último de gran utilidad industrial está basado en que una variación de la humedad en un $\pm 2\%$ de la de equilibrio dinámico no supone modificación dimensional de la madera y por lo tanto no se desarrollan ten-

siones internas en la estructura (gráfico III).

En cuanto a los fenómenos de sorción y desorción de agua la madera presenta inercia, es decir, las curvas correspondientes dan un lazo de histéresis. Lazo cuya parte más aplanada corresponde a las humedades relativas más adecuadas a la vida humana (gráfico IV).

También es importante la consideración de que este lazo de histéresis es tanto más aplanado cuanto mayor es la temperatura a que se ha producido la desorción.

Finalmente la humedad máxima de imbibición que puede sorber la madera, aunque es variable según las especies, se fija industrialmente en un 30 %, valor medio muy adecuado para la aplicación industrial. Por el contrario el agua máxima que puede tener la madera, es decir, agua de imbibición más el agua libre, puede llegar hasta el 200 %. No obstante el porcentaje de agua superior al máximo citado del 30 por 100 y conocido con el nombre de punto de saturación de la pared celular o fibra (P. S. F.) y por lo tanto correspondiente al agua libre, se pierde rápidamente en las primeras elaboraciones de la madera. Para descender del P. S. F. se tiene que recurrir al secado, la primera se elimina por evaporación, bien sea en el medio ambiente, bien sea en ambiente controlado o secado en cámaras.

El P. S. F. señala una frontera de gran trascendencia en el comportamiento de la madera tanto en sus propiedades físicas como en sus características mecánicas. Por encima del P. S. F. prácticamente no varían ni las unas ni las otras. Por debajo del P. S. F. todas ellas son afectadas de una forma más o menos intensa.

Desde el punto de vista de la construcción la propiedad más importante derivada de los fenómenos de sorción y desorción son los de hinchazón y merma.

Humedad de equilibrio de la madera en función de la temperatura y humedad relativa del aire

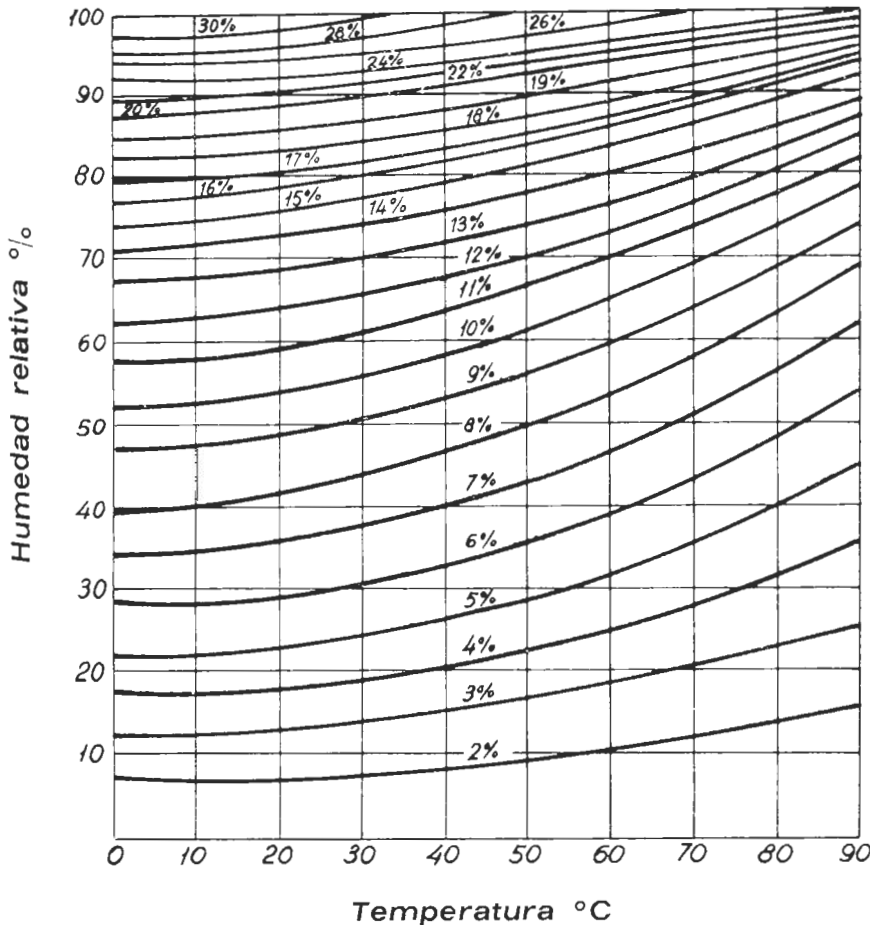


Gráfico 2

Las curvas señalan el porcentaje de humedad que debe tener la madera para estar en equi-

líbrio higroscópico con el aire, en función de la temperatura y del estado higrométrico de éste

Esta propiedad se mide por los coeficientes de hinchazón o merma, según la variación se produzca a partir de un volumen anhidro (α) o se produzca a partir de un volumen húmedo (β). Los valores de α , dadas las condiciones anisótropas de la madera, son cuatro:

$$\alpha_v = 28. \rho_0$$

α_v = coeficiente de hinchazón volumétrica en % entre el 0 % humedad y el P. S. F. ρ_0 = peso específico anhidro.

$$\alpha_t = 17 \rho_0.$$

α_t = coeficiente de hinchazón

en sentido tangencial en % entre el 0 % y el P. S. F.

$$\rho_0 = \text{al anterior.}$$

$$\alpha_r = 9.5. \rho_0$$

α_r = coeficiente de hinchazón en sentido radial.

$$\rho_0 = \text{al anterior.}$$

$$\alpha_l = 1.5 \rho_0.$$

α_l = coeficiente de hinchazón en sentido de la fibra ρ_0 igual anterior.

7. CARACTERÍSTICAS MECANICAS

Hemos visto anteriormente

que la madera tiene como componentes principales la celulosa y la lignina. La primera con zonas sólidas, cristalinas y de comportamiento — dentro de ciertos límites — perfectamente elásticos. La segunda plástica en su conjunto y de una gran viscosidad. No debe, pues extrañarnos que el comportamiento de la madera sea el de un cuerpo visco-elástico. El comportamiento mecánico de la madera es consecuencia de la yuxtaposición de sus células leñosas, cuyo comportamiento es a su vez consecuencia de su pared celular y está constituida por una matriz de hemicelulosas y sustancias pépticas reforzadas por lignina en el interior de la que están las fibrillas elementales. Las fibrillas constituyen por consiguiente, unidades Maxwell y al estar ligadas a la matriz el conjunto constituirá unidades Voigt. Cuando la madera es uniforme, coníferas sin canales, el comportamiento reológico es exacto, cuando no, éste se complica.

La madera, después de un largo período de la historia de la humanidad, en el que junto con la piedra constituyó un elemento fundamental de la construcción como elemento resistente, en los siglos XVIII y XIX sufre un desplazamiento progresivo por el hierro y el acero, para volver recientemente a introducirse en construcciones de grandes luces en forma de madera laminada.

Establecidos el concepto sobre el comportamiento mecánico de la madera, la determinación de las diferentes características, considero no es necesario entrar en detalles aquí. Por una parte, los distintos procedimientos son similares a los de otros materiales, variando únicamente las dimensiones y formas de la probeta, por otra, estos procedimientos ya están normalizados (normas U. N. E. 56.534, 56.535, 56.536 y siguientes) y por último, para el usuario lo único que le interesa es

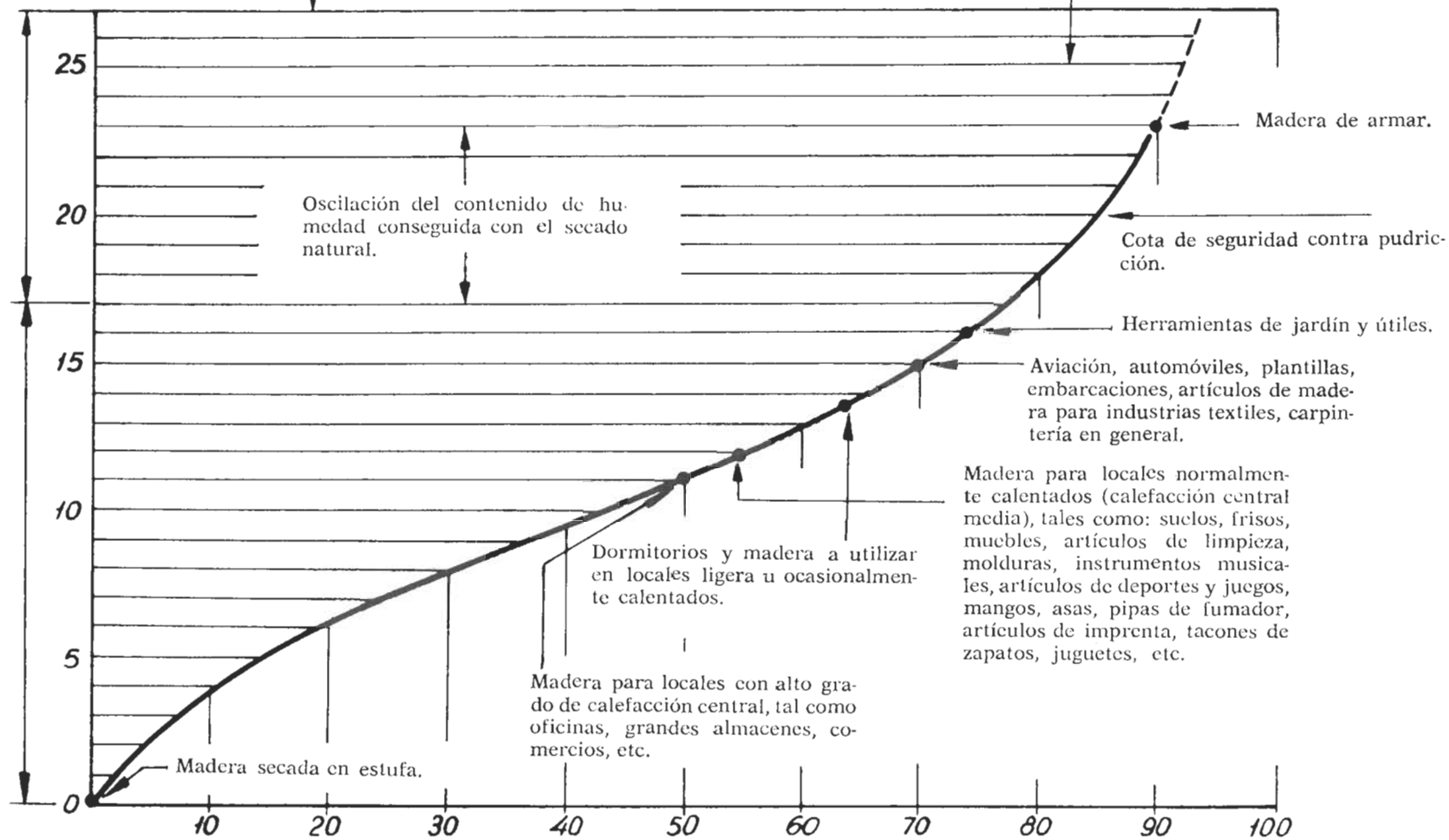
Contenido de humedad de la madera para diferentes usos

Comienzan apreciables contracciones a partir de este punto.

Contenido de humedad adecuado para madera tratada con creosota a presión, soluciones ignífugas, etcétera.

Exteriores al aire libre

Interiores con calor artificial



Humedad relativa del aire % a 15.6 °C correspondiente al contenido de humedad de la madera

manipular datos que dan los laboratorios.

Los laboratorios de madera dan lo que se llama la tensión básica. Se define como tensión básica a la carga de trabajo de la pieza ideal correspondiente, libre de defectos, teniendo en consideración en su fijación los factores siguientes:

- 1.º Humedad de la pieza de madera.
- 2.º Variabilidad obtenida en las probetas ensayadas.
- 3.º Garantía de que en las diferentes condiciones de trabajo, flexión, compresión, etc., no se sobrepase el límite de proporcionalidad.
- 4.º Duración permanente de la carga.
- 5.º Coeficiente de seguridad.

A partir de las tensiones básicas se pasa a las de trabajo de una pieza determinada basándose en el siguiente principio de mecánica de la madera. Cada anomalía o defecto produce la misma reducción en la tensión básica, independientemente de la clase de madera. La reducción viene dada por un coeficiente, que se deduce de la tabla correspondiente a la solicitud a que está sometida la pieza.

Existen tablas para:

- Nudos.
- Fendas y acebolladuras.
- Gemas.
- Inclinación de la fibra.

Los coeficientes no son acumulativos sino que al final se elegirá al que produzca más reducción.

Por ejemplo, supongamos una determinada pieza de una especie de madera, pino silvestre, sometida a compresión paralela a la fibra. Su tensión básica es de 112 y que por los diferentes defectos que tiene nos dan los coeficientes de reducción.

- Nudos: 0,82
- Fendas: 0,56
- Gema: 0,66
- Inclinación de la fibra: 0,53.

La carga de trabajo de esta pieza sería $0,53 \times 112 = 59,36$ Kp/cm².

Para simplificar la manipulación, las normas suelen recoger en función de los defectos que presenta la clasificación, el coeficiente aplicable. Así la española UNE 56.525 establece para madera aserrada las clases Extra /100, I/80, II/70, etc., que quiere decir que en las de clase Extra se puede utilizar el 100 por 100 de las tensiones básicas, en la I el 80 por 100, en la II el 70 por 100 y así sucesivamente. Por ello, no creemos necesario incluir las distintas tablas de coeficientes.

GRUPOS TECNOLOGICOS DE MADERAS

La variabilidad de estructura y composición de las maderas que hemos visto pueden producirse, reflejan una variación en sus características físicas y mecánicas que al fin y al cabo repercuten en que cada madera tiene un óptimo de utilización. La agrupación de las especies

de maderas que tienen un óptimo en una determinada utilización, constituyen el grupo tecnológico. Hoy disponemos en España de datos suficientes de más de 400 maderas, clasificadas en grupos tecnológicos y el que estimen interesado se le podrían dar. Estos grupos son:

- Herramientas agrícolas y vehículos.
- Construcción naval: puentes, cubiertas, cuadernas y quillas.
- Construcción civil.
- Traviesas de ferrocarril.
- Carpintería exterior.
- Suelos.
- Mangos de herramientas.
- Tornería, talla, escultura.
- Muebles.
- Escalabornes, armas de fuego.
- Pilotajes, postes, carcas, puentes.
- Carpintería interior.
- Tableros contrachapados de construcción civil.
- Tableros contrachapados y chapas decorativas.
- Resistentes al fuego.
- Maderas sucedáneas de las maderas caras.

César Peraza Oramas

Gráfico 4

