

LA MADERA Y SUS PROPIEDADES

Por: Antonio GUTIERREZ Oliva

Ingeniero de Montes

Departamento de Maderas, del INIA

(I)

ESTRUCTURA DE LA MADERA

La madera puede definirse como el conjunto de tejidos de xilema que forman el tronco, raíces y ramas de los vegetales leñosos.

Desde un punto de vista práctico y económico, sólo se aprovecha, como madera, el tronco y las ramas de los árboles.

Veamos ahora cómo está constituida la madera.

En cuanto a su macroestructura podemos considerar al tronco de un árbol como inscribible en un tronco de cono o un paraboloide y formado por sucesivas capas superpuestas. Esto se debe a que la madera se forma a partir de una capa existente entre madera y corteza, llamada cambium y que, cuando las condiciones son favorables, producen madera hacia dentro y corteza hacia fuera. Como este fenómeno es más o menos igual en toda la superficie, en cada período vegetativo se forma una capa que recubre la capa del período anterior. Son los anillos de crecimiento, tan visibles a simple vista en un corte transversal de coníferas, y de muchas frondosas, en el que se observa, dentro de cada anillo, una zona más clara que corresponde, en nuestro clima, al crecimiento de primavera, con células de paredes delgadas y lúmenes grandes, y otra más oscura, correspondientes al crecimiento de verano, de paredes más gruesas y lúmenes pequeños.

Desde otro punto de vista, podemos considerar la madera como un conjunto de células alargadas en forma de tubos, paralelas al eje del árbol, extraordinariamente variables, tanto en longitud y forma como en el espesor de sus paredes y dimensiones de sus lúmenes. Estas células están unidas entre sí por una sustancia llamada materia intercelular o laminilla media y trabadas a la vez por otro tipo de células menos

abundantes, pero de naturaleza semejante, colocadas perpendicularmente a las anteriores y en el sentido radial del tronco, formando los radios leñosos.

Esta variedad de tipos de células, y sobre todo las formas de agruparse, caracterizan las miles de especies existentes, y las que han existido o pudieran existir, ya que son muchísimas las diferentes combinaciones y variaciones posibles con los diferentes tipos de células.

De todo lo anteriormente dicho puede concluirse que la madera es un material heterogéneo y anisótropo. Por tanto, sus características tanto físicas como mecánicas varían según la dirección que se considere.

Desde el punto de vista físico y mecánico se consideran tres direcciones principales, bien definidas:

Dirección axial. Paralela a las fibras, es decir paralela al eje del árbol. En esta dirección es donde la madera presenta mejores propiedades.

Dirección radial. Localizada en el plano transversal y normal a los anillos de crecimiento.

Dirección tangencial. Perpendicular al plano formado por los dos anteriores, o sea también transversal y tangente a los anillos de crecimiento.

Esta estructura tubular hace de la madera un material resistente y ligero a la vez. Además, esta propiedad se ve reforzada por la estructura fibrilar de la pared celular.

La pared de las células de la madera, consta de la «pared primaria», con microfibrillas sin una orientación determinada, y la «pared secundaria», con tres capas en las que las microfibrillas o haces de microfibrillas, están colocadas helicoidalmente con inclinación de la hélice diferente en cada capa: 70 a 90° en la exterior, 30° en la central y de 70 a 80° en la interior. De las tres, la central, es con mucho, la más gruesa y la interior, que a veces no existe, la más delgada.

Este conjunto fibrilar, está incrustado en un material, prácticamente insoluble que se llama lignina. Con lo que esta estructura tiene un símil con una columna hueca de hormigón armado, en la que la lignina hace de hormigón y las microfibrillas de acero.

Las microfibrillas están formadas por grupos de fibrillas elementales, distantes entre sí más de 6 Å, con lo que es posible la entrada de moléculas de agua.

Estas fibrillas elementales, en las que existen zonas cristalinas y zonas amorfas, están formadas, a su vez, por un grupo de unas 40 moléculas de celulosa, unidas entre sí por puentes de hidrógeno. La distancia entre ellas es tan pequeña, inferior a 3 Å, que hace imposible la entrada de agua.

La forma, inclinación de microfibrillas, proporción y cantidad de lignina, contribuyen a la obtención del máximo de resistencia, como elemento de sostén del árbol. De tal forma, que si una zona del árbol vivo sufriese una sobrecarga las células nuevas de dicha zona variarían los factores anteriores, a fin de contrarrestar el esfuerzo suplementario.

PROPIEDADES FÍSICAS

Propiedades físicas de la madera, son aquellas que determinan su comportamiento ante los factores que intervienen en el medio ambiente normal, sin que este actúe química ni mecánicamente en su estructura. Aunque en el caso de las deformaciones de contracción e hinchazón debidas a los cambios de humedad se producen tensiones; sin embargo, éstas no son debidas a esfuerzos exteriores.

Las propiedades físicas de la madera podemos considerarlas divididas en los siguientes grupos:

— Dependientes de las sustancias extractivas y minerales que se encuen-

tran en muchas especies en el lumen celular o impregnando sus paredes.

- Propiedades que dependen directamente de su estructura, o sea de la forma y distribución de los elementos anatómicos.
- Propiedades conductoras de calor, electricidad y sonido.
- Relaciones agua/madera.

Propiedades debidas a las sustancias de impregnación

Color.—Es debido a los taninos, pigmentos, etc., ya que los componentes principales de la madera, no tienen color.

El color varía con la especie, edad y condiciones de crecimiento, siendo en general más oscuro el duramen que la albura, llegando en algunos casos, como en el palo rojo, a ser completamente diferentes, blanca amarillenta la albura y de un rojo intenso el duramen; en otros casos, como p. e. el abeto no hay diferencias de color. Las maderas de países de clima tropical tienen un color más marcado que la de climas más fríos que dan maderas de colores más pálidos.

El color puede variar con el tiempo, debido a la oxidación de algunas sustancias en presencia de la luz, y que hace el que queden marcadas las zonas protegidas de la luz. Este fenómeno puede evitarse o disminuirse mediante el barnizado con un barniz al que se le ha agregado un producto que hace de filtro de los rayos ultravioletas.

La variedad de colores de la madera abarca toda la gama conocida. Así tenemos:

- El blanco o blanco amarillento de los chopos y algunas coníferas.
- El amarillo intenso del palo amarillo.
- El amarillo rosado del *Prunus avium*.
- El verde del lirio dendrum tulipifera.
- El rosado del palo rosa.
- El rojo de la sequoia y el palo rojo.
- El violeta de la copaífera bracteata.
- El azul del haematoxylon campechianum.
- El negro del ébano.

En general, al hablar del color de la madera, se refiere al color de la madera de **duramen**, ya que la albura suele ser de color claro que va oscureciendo al pasar a ser duramen.

En algunas maderas, principalmente tropicales, debido a la distinta orienta-

ción de las fibras se producen fenómenos de reflexión-refracción dando lugar a tonalidades de color al variar los ángulos de incidencia sobre los distintos planos que definen la orientación de las fibras y que hace variar de color al cambiar dicho ángulo.

El color es una característica de la especie, y su alteración puede indicar que la madera no está sana. En muchos casos el color es debido a esa alteración, como la producida por los hongos en la madera azulada, corazón rojo y corazón gris del haya, etc.

Quando interesa por su valor decorativo, el hombre trata la madera para obtener el color deseado. Como el tratamiento con colorantes químicos como la nogalina, o el de los llamados mordientes en las maderas ricas en taninos que forman sales fuertes insolubles en agua.

Brillo.—Esta propiedad de poca importancia industrial, ya que con el pulimento y barnizado se consigue el lustre apetecido, depende no sólo de las sustancias de impregnación, sino también de la estructura y plano de corte de la madera, siendo la transversal la de menos brillo y la radial, en la que se observa más frecuentemente. Las especies de radios gruesos, como los robles, el haya, plátano, caoba, dan en las secciones radiales los llamados espejuelos.

Olor y sabor.—El olor puede ser producido por tres causas:

Por las sustancias naturales de impregnación y que es característico de la especie.

Por la descomposición de las sustancias nutritivas que existen en la parénquima de la albura, tales como hidrato de carbono, proteínas, etc., y que, al descomponerse, producen olores desagradables, como ocurre en la albura de los árboles cortados en tiempo caluroso.

Por último, el olor de la madera puede ser debido al ataque de hongos o microorganismos que en muchos casos destruyen los elementos básicos de la madera propiamente dicha, **celulosa** o lignina.

El olor característico de una madera y al que nos referimos al hablar de olor de la madera, es el primero, los otros dos son debidos a causas accidentales.

El olor más intenso en las:

- maderas verdes que en las secas
- duramen que en la albura
- recién cortada que en las cortadas hace tiempo.

La exposición prolongada al aire o al agua amortigua o hace desaparecer

el olor al evaporarse los volátiles en contacto con el aire y ser arrastrados o disueltos otros productos por el agua de lluvia.

Hay maderas con olor desagradable como la **Ocotea foetens**. Otras, sin embargo, tienen olores agradables, como el **sándalo**, tan utilizado en los altares de Oriente, o la **cedrela** utilizada en las cajas de puros, la sabina cuyo olor rechaza a los insectos como ocurre también con el **cinamomun cómphora**, utilizados antiguamente en la fabricación de arcones.

El sabor y el olor están lógicamente interrelacionados.

Existen maderas de:

- sabor amargo como el *Juniperus virginiana*.
- sabor pimienta como el *Librocedrus deccurreus*.
- sabor regaliz como el *Pterocarpus soyauxi*.
- sabor astringente como el *Podocarpus epicatus*.

Toxicidad. Muchas especies tienen, entre las sustancias de impregnación, como inclusiones, productos tales como: **alcaloides, ésteres grasos, resinas con ácidos resínicos no saturados**, etc., que pueden ser tóxicos para el hombre. Las maderas tropicales por ser más ricas en dichas sustancias son las más propicias a producir alteraciones en el organismo humano. Estas alteraciones son principalmente de la piel y de las vías respiratorias.

En el cuadro adjunto se indican algunas especies con las alteraciones que producen y la materia estimulante.

Como el principal problema tiene lugar en las operaciones que se produce polvo de madera (aserrado, lijado, etc.) es conveniente para evitar estos males, al trabajar dichas maderas, seguir las siguientes recomendaciones:

- Reducir, en lo posible, las operaciones de aserrado y lijado.
- Tener un buen sistema de aspiración.
- Eliminar de dicho trabajo a las personas más alérgicas.
- Utilizar mascarillas y gafas.
- Untarse con cremas o productos grasos las partes expuestas de la piel, cara, manos, etc.
- Lavarse con agua jabonosa para eliminar los restos de polvo.

Propiedades dependientes de la forma y distribución de los elementos anatómicos

Estructura.—La ordenación y distribución de los elementos anatómicos de la madera da lugar a su estructura.

Así vemos que las coníferas tienen los elementos más ordenados que las frondosas, debido principalmente a que en las coníferas el 90% de sus elementos son traqueidas, mientras que las frondosas tienen más elementos di-

ferentes y más desigualdad en sus elementos. Por tanto, podemos decir que las coníferas, tienen una estructura simple y las frondosas, una estructura compleja.

TABLA 1

Clase	Especie botánica	Nombre comercial	Efecto
Irritante con frecuencia	<i>Chlorophra excelsa</i>	Iroko	D
	<i>Guarea</i> spp	Guarea	DR
	<i>Khaya anthotheca</i>	Africa, caoba	D
	<i>Machaerium scleroxylon</i> ...	Pau ferro, caviuna	D
	<i>Mansonia altissima</i>	Mansonia	DR
	<i>Paratecoma peroba</i>	White peroba	DR
	<i>Thuja plicata</i>	'Western red cedar'	R
	<i>Tieghemella heckelii</i>	Makoré	R
Irritante esporádicamente	<i>Aspidosperma peroba</i>	Peroba rosa	DR
	<i>Dalbergia</i> spp	Rosewood	D
	<i>Dipterocarpus</i> spp	Keruing etc	D
	<i>Distemonanthus benthamianus</i>	Ayan	D
	<i>Mitragyna ciliata</i>	Abura	R
	<i>Pericopsis elata</i>	Afrormosia	D
	<i>Piptadeniastrum africanum</i>	Dahoma	R
	<i>Tectona grandis</i>	Teca	D
Irritante en casos raros	<i>Adina cordifolia</i>	Haldu	R
	<i>Albizia</i> spp	West African albizia	R
	<i>Balfouriodendron riedelianum</i>	Pau marfim	DR
	<i>Brya ebenus</i>	Cocuswood	D
	<i>Caesalpinia</i> spp	Partridgewood	D
	<i>Cedrela</i> spp	Cedro americano	D
	<i>Cedrus libani</i>	Cedar	R
	<i>Celtis</i> spp	African celtis	R
	<i>Diospyros</i> spp	Ebony	D
	<i>Erythrophleum suaveolens</i> .	Missanda	R
	<i>Fagara</i> spp	Olon, satinwood	D
	<i>Gonioma kamassi</i>	'Knysna boxwood'	R
	<i>Gossweilerodendron balsamiferum</i>	Agba	D
	<i>Intsia</i> spp	Merbau	DR
	<i>Khaya</i> spp	African, caoba	D
	<i>Palaquium</i> spp	Nyaton	R
	<i>Tabebuia</i> spp (Lapacho)	Ipe, lapacho, etc.	D
	<i>Terminalia</i> spp	Idigbo, Afara, etc.	D
	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	Obeche	R
	<i>Turraeanthus africanus</i>	Avodiré	DR

D = produce dermatitis R = molestias respiratorias DR = ambas afecciones

Textura.—Es la relación que existe, dentro del anillo de crecimiento, entre la anchura de la zona de madera de verano y la anchura total del anillo.

Si el valor de esta relación es bajo, la textura es pequeña; si es alto (siem-

pre, como es lógico, inferior a la unidad) la textura será grande.

Como la madera de primavera tiene las células con paredes más delgadas y con lúmenes más grandes que la madera de verano, la textura tiene

una gran influencia en las propiedades mecánicas de la madera, ya que, lógicamente la madera de verano, es más resistente que la de primavera.

La anchura total del anillo nos da en algunos casos, un índice de la textura, aunque hay que tener en cuenta ciertas circunstancias.

En las coníferas, como regla general, el aumento de anchura del anillo es debido al aumento de la zona de primavera, con lo que la textura está en relación inversa a la anchura del anillo.

En las frondosas de anillo poroso, o sea las que forman un anillo con vasos de gran diámetro en la zona de primavera, el aumento de anchura del anillo es principalmente a base de la madera de verano, con lo que en este tipo de madera, la textura está en relación directa con la anchura del anillo, siendo más resistente cuanto mayor sea la anchura del anillo. Así tenemos, por ejemplo, la madera de roble, de las zonas españolas de clima continental con crecimientos lentos, debido a que cuando empieza a formarse la madera de verano, la falta de agua y llegada temprana de fríos paraliza el crecimiento, para continuar al año siguiente con la primavera (anillo poroso). Formándose en algunos casos sólo madera de primavera, sus anillos son estrechos y su textura pequeña. Por el contrario en climas más templados de la zona marítima, la misma especie forma un anillo poroso de anchura semejante al anterior, pero el anillo de madera de verano es mucho más amplio, teniendo una textura más grande y una mayor anchura de los anillos de crecimiento.

Debido a estas circunstancias en la clasificación de maderas para la construcción, se tiene muy en cuenta el número de anillos por centímetro, según la clase de madera.

Grano.—El grano de la madera viene indicado por el diámetro del lumen de sus elementos constitutivos. En las frondosas viene indicado por el diámetro relativo de los vasos, y en las coníferas por el de las traqueidas; por ser éstos, en cada clase de madera, los de mayor diámetro.

Así tenemos maderas de grano fino, como la caoba y el boj, de grano medio como la samanguila y de grano grueso como el elondo.

Peso específico.—Es el peso de la unidad de volumen, o sea la relación entre peso y volumen. En la madera nos encontramos con un primer dilema al poder considerar, como volumen, el real o el aparente, en el primer caso se

considera sólo a la de la parte sólida, sin tener en cuenta los huecos, en este caso obtendríamos el p. e. real de la madera, cuyo valor, determinado en estudios de investigación, es prácticamente constante para todas las especies, con un valor próximo a 1,5 gr/cm³ y que podríamos considerarlo como el p. e. de la pared celular.

Pero este es un valor que sólo nos sirve para trabajos de investigación y que tenemos que considerarlo como el tope superior del p. e. de una madera ideal que hubiese reducido a cero el volumen de sus poros.

El p. e. aparente, es el normalmente usado como p. e. de la madera y será considerado como volumen, el que aparentemente tiene la madera, o sea, incluyendo los huecos debidos a la estructura tubular de la misma.

Como el material, conocido como madera, está compuesto de estructura de madera propiamente dicha, sustancias más o menos extrañas, y agua, de las cuales esta última la posee en cantidad variable según las condiciones higrotérmicas del ambiente. El cambio de humedad en la madera, da lugar no sólo a un cambio de peso, sino también, para humedades inferiores al P.S.F., a un cambio de volumen. De ahí que el p. e. varíe con la humedad y que, por lo tanto, sea imprescindible dar el grado de humedad a que se ha determinado.

Las normas usadas son las siguientes:

$$\text{p.e. anhidro} = \rho_0 = \frac{P_0}{V_0}$$

$$\text{p.e. húmedo} = \rho_h = \frac{P_h}{V_h}$$

que en el caso de $H = 12$, tendríamos

$$\text{p.e. normal} = \rho_{12} = \frac{P_{12}}{V_{12}}$$

por ser este el normalizado internacionalmente.

En el gráfico de Kolman (ver Boletín n.º 80, pág. 9) puede verse la variación del p.e. aparente, al variar la humedad de la madera, donde, además, viene indicado la humedad máxima que puede tener la misma.

Por su interés práctico en industrias, sobre todo en la de celulosa, y ser usado en las publicaciones americanas mencionaremos el: P.S.V.

Peso seco volumétrico húmedo

$$R_H = \frac{P_0}{V_h} \quad (H < 30\%)$$

Peso seco volumétrico saturado

$$R_S = \frac{P_0}{V_h} \quad (H \geq 30\%)$$

La obtención práctica de esta característica de la madera se hace mediante peso y determinación del volumen por medición o desplazamiento de líquidos, como agua o mercurio.

No se ha hecho distinción entre p.e. y p.e. relativo, ya que en nuestros sistemas de unidad, al ser el p.e. del agua igual a 1, el p.e. relativo vendrá dado por el mismo número, pero sin unidades. Sin embargo, en sistemas de unidades usados por ingleses y americanos, al no ser el p.e. del agua igual a 1, es interesante utilizar (y de hecho así se hace) el p.e. relativo que, al carecer de unidades, es igual, cualquiera que sea el sistema de unidades elegidos.

El peso específico, por estar íntimamente relacionado con las propiedades físicas y mecánicas de la madera, es una de las más importantes características a determinar, ya que, conocida ésta, podemos darnos una primera idea de su comportamiento físico-mecánico.

El p.e. varía con la especie, encontrándose valores medios de p.e. desde 0,1 a 0,3 de la balsa hasta superiores al 1,3 en el guayaco y quebracho. Incluso, dentro de una misma especie, puede tener variaciones del orden del 20% y más, del valor medio, debido a la influencia de las condiciones de vida del árbol y, dentro de un mismo árbol, depende de la posición en el mismo, altura, orientación y distancia al eje. esta diferenciación llega a tener valores extremos a través del mismo anillo de crecimiento, la madera de verano de algunas coníferas llega a tener una densidad doble e incluso triple a la madera de primavera.

Según la estructura y composición de la madera su p.e. puede variar según:

- Longitud y diámetro de las células.
- Espesor de la pared celular.
- Textura.
- Porcentaje de celulosa y lignina.
- Cantidad y tipo de productos minerales y extractivos.

Propiedades conductoras

Propiedades térmicas.—Entre las propiedades térmicas podemos citar las siguientes:

Dilatación térmica: De la misma forma que en cualquier cuerpo sólido, las variaciones de temperatura producen en la madera una variación de sus dimensiones. La madera se dilata bajo la influencia del calor, pero estas variaciones son tan pequeñas, que en la práctica se consideran despreciables. Ocurre, además, que el aumento de temperatura lleva consigo una disminución de la humedad y, por tanto, una merma en sus dimensiones, con lo que actúa en dirección contraria de la dilatación.

Se define sin embargo, un «coeficiente de dilatación», como el aumento de longitud, en la dirección considerada, en tanto por ciento, al aumentar un grado la temperatura. Los coeficientes de dilatación radial y tangencial dependen del peso específico, y en función de él existen fórmulas para sus determinaciones.

Los valores de los coeficientes de dilatación son del orden siguiente:

en la dirección axial 5×10^{-6}

en la dirección radial o tangencial 5×10^{-5}

siendo algo mayor en la dirección tangencial que en la radial.

Comparados con los coeficientes de contracción son del orden de 100 veces menor.

Calor específico: Depende de la temperatura y humedad, siendo independiente del peso específico y de la especie.

El calor específico de la madera seca, $C_0 = 0,25 + 0,0006 T$.

El aumento del calor específico con la humedad, es debido no sólo al mayor c.e. del agua, si no también, a la energía, absorbida en la unión agua-madera.

Conductividad térmica: La madera tiene unos valores muy bajos, comparados con los de otros elementos estructurales, así por ejemplo, la conductividad de la madera de coníferas es del orden de 0,8 BTU pulgada/hora . grados F mientras la del aluminio es 1.390, la del acero 320, el hormigón 8 y el vidrio 5.

Dentro de la madera la conductividad térmica varía con el peso específico, humedad, substancias extractivas, dirección de la fibra y defectos, aumentando al aumentar los tres primeros.

Propiedades eléctricas

La conductibilidad en la madera se define y mide como en los demás cuerpos sólidos, con la única diferencia que varía según la dirección que se considere. Así pues, a igualdad de otros factores, la conductibilidad en el sentido de las fibras es de 2 a 4 veces mayor que en la transversal, y en la dirección tangencial es ligeramente superior a la radial.

La conductibilidad varía también con la especie, y el peso específico y sobre todo con la humedad, hasta tal punto, que una madera seca se considera como un buen aislante, mientras, muy húmeda, deja pasar fácilmente la corriente eléctrica. Para dar idea de este fenómeno basta leer los siguientes datos sobre la resistividad de la madera, en megahomios, a diferentes grados de humedad:

Para H = 0	1.000.000
» H = 9	10.000
» H = 13	1.000
» H = 18	100
» H = 23	10
» H = 26	1
» H = 30	0,1
» H = 50	0,01

Se puede decir que por cada 4,5% de disminución de la humedad (para H < 30) la resistencia se multiplica por 10. Esta propiedad se ha utilizado en la fabricación de xilohigrómetros.

La madera tratada con sales u otros productos, hace aumentar la conductibilidad, sobre todo a partir del 9% de humedad.

Propiedades acústicas

La velocidad del sonido en las maderas es del orden de los 4.500 m/seg. en la dirección axial, y de 3.000 m/seg. en la dirección perpendicular a la fibra (a título comparativo, en el acero es de 5.000 m/s, agua 1.435 m/s, aire 340 m/s). En la madera es algo mayor en la dirección radial que en la tangencial, esta velocidad es igual a la raíz cuadrada del cociente entre el módulo de elasticidad en la dirección fijada y su peso específico.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

esta propiedad es de gran importancia en los ensayos mecánicos no destructivos, ya que conociendo el peso específico y midiendo la velocidad v de propagación del sonido en la made-

ra, podremos conocer E , su módulo de elasticidad.

Otra propiedad acústica importante en la madera es la absorción acústica, sobre todo de productos derivados de la madera, como algunos tipos de tablero de fibra.

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

Relaciones agua-madera

El agua es el vehículo de transporte que utilizan las plantas para su alimentación, esto, unido a la higroscopicidad de la madera, hace que ésta tenga normalmente en su interior cierta cantidad de agua, que es necesario conocer antes de su uso, debido a las modificaciones que produce en las características físicas y mecánicas.

El agua, en la madera, se presenta en tres formas diferentes: como agua de constitución, de impregnación y libre.

Agua de constitución, o agua combinada, forma parte integrante de la materia leñosa y no se puede eliminar si no es destruyendo el propio material leñoso.

Agua de impregnación, de inhibición higroscópica o agua de saturación, es la que impregna la pared de las células rellorando los espacios submicroscópicos y microscópicos de la misma.

Se introduce dentro de la estructura de la pared celular; el fenómeno de la retención de agua recibe el nombre de sorción y desorción el fenómeno inverso.

El agua libre es la que llena el lumen de las células o tubos a los que hemos hecho referencia, tales como vasos, traqueidas, etc.

De estas tres formas de presentarse el agua en la madera, sólo nos interesa, desde el punto de vista de sus propiedades físicas y mecánicas, el agua de impregnación.

El primer agua que elimina la madera es el agua libre: esta pérdida se hace prácticamente sin variación de las características físico-mecánicas. Desaparecida el agua libre, queda el agua de impregnación de la pared celular. La máxima humedad que puede contener una madera sin que exista agua libre se llama «punto de saturación de las fibras» o más exactamente, «punto de saturación de la pared celular», (P.S.F.). Una vez pasado este punto, la madera no volverá a tomar agua libre si

no es por inmersión. Este P.S.F. es de gran importancia, ya que supone una frontera a la hinchazón, reducción de resistencias, etc. Su valor técnico medio, admitido para todas las especies, es del 30%, sin perjuicio de que cada una de ellas pueda tener un valor mayor o menor.

Cuando el agua libre ha desaparecido y continúa la evaporación, empieza a disminuir la cantidad de agua que impregna la pared celular con modificación de sus propiedades físico-mecánicas, el volumen de la pieza de madera disminuye como consecuencia de la disminución del volumen de las paredes de cada una de sus células. Su dureza y la mayoría de las resistencias mecánicas, aumentan. La humedad de la madera depende, ahora, de las condiciones higrotérmicas ambiente. A cada par de valores de temperatura y humedad relativa del aire corresponde, en la madera, una humedad comprendida entre el 0 % y el P.S.F., y que recibe el nombre de «humedad de equilibrio higroscópico» (H.E.H.). En el gráfico, publicado por AITIM en su Boletín 80, pág. 15, puede verse las H.E.H., correspondientes a las condiciones higrotérmicas ambientes.

En la práctica, existe una diferencia en la H.E.H. dependiendo de si la madera está en proceso de perder humedad «desorción», o de tomarla «sorción» (ver Boletín AITIM, n.º 80, pág. 16).

La curva de desorción está por encima de la de sorción, formando un ciclo de histéresis. Si una madera ha ido perdiendo humedad hasta llegar a la H.E.H. en la curva de desorción, se mantendrá en esta mientras las condiciones higrotérmicas del ambiente no cambien. Si aumentase la humedad relativa del aire, la nueva H.E.H., no la encontraría en la curva de desorción, si no en un punto más bajo, debido a la inercia que existe a tomar vapor de agua de nuevo, lo contrario ocurriría si de nuevo la humedad relativa baja. Si a esto añadimos que las curvas de sorción y desorción son menos pendientes en la zona correspondiente a las humedades en que normalmente se desarrolla la vida humana, se considera que la humedad de la madera, prácticamente no varía con pequeñas oscilaciones de la humedad relativa.

Cuanto mayor sea la temperatura, a la que se secó la madera, menos pendientes aparecerán las curvas en la zona intermedia antes dicha.

(Continuará)