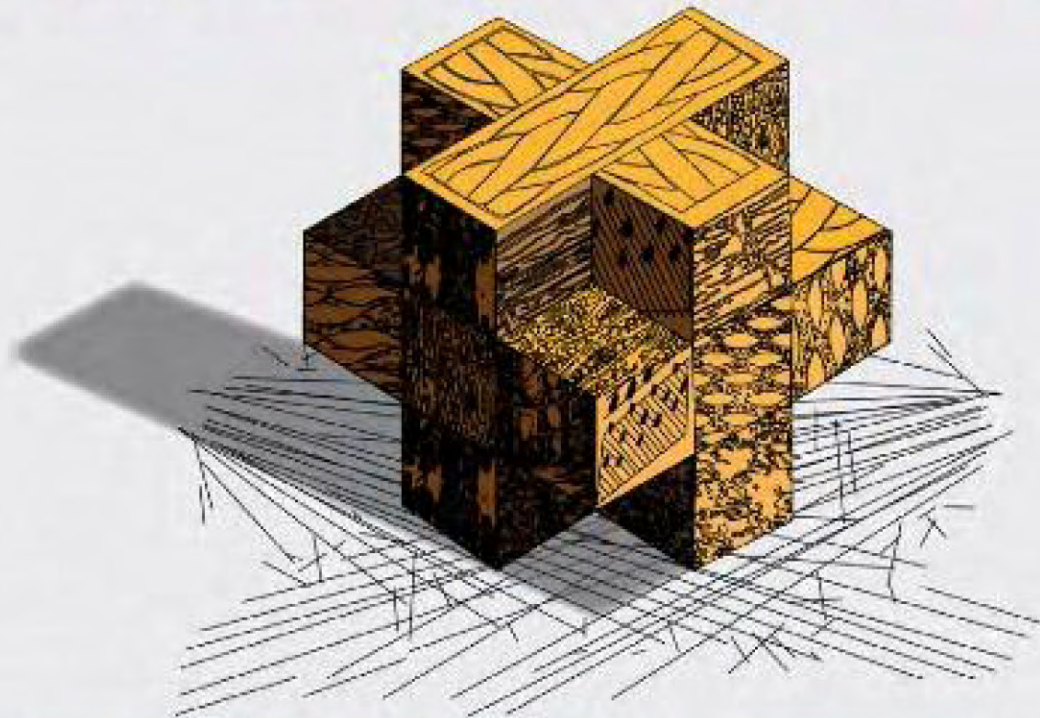


textos

Los materiales para
el Diseño Industrial

Manual de estudio

Luis Manuel Nerey Carvajal



PUBLICACIONES
VICERRECTORADO ACADÉMICO

La obra

Este texto se dirige a estudiantes del primer año de la carrera de Licenciatura en Diseño Industrial y recorre, de manera general, el universo de materiales naturales, artificiales y sintéticos, con los cuales ellos se irán relacionando, a medida que vayan transcurriendo sus años de formación.

Es necesario aclarar que el énfasis mayor de esta obra se resguarda en el aprendizaje y dominio de las principales propiedades, que determinarán la elección de un material en la propuesta de un producto de diseño.

De esta manera simple y al alcance de los bachilleres recién llegados a nuestra Escuela de Diseño Industrial, comienza su familiarización con el mundo material que nos rodea.



Contenido

- Capítulo I: Maderas y papel
- Capítulo II: Materiales poliméricos
- Capítulo III: Materiales metálicos
- Capítulo IV: Materiales cerámicos
- Capítulo V: Materiales compuestos



ISBN: 978-980-11-1942-5



Los materiales para el Diseño Industrial

Manual de estudio

Los materiales para el Diseño Industrial

Manual de estudio

Luis Manuel Nerey Carvajal



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Autoridades Universitarias

- **Rector**
Mario Bonucci Rossini
- **Vicerrectora Académica**
Patricia Rosenzweig Levy
- **Vicerrector Administrativo**
Manuel Aranguren Rincón
- **Secretario**
José María Andrés Álvarez
- **Directora de Talleres Gráficos Universitarios**
María Ofelia Rojas

SELLO EDITORIAL PUBLICACIONES DEL VICERRECTORADO ACADÉMICO

- **Presidenta**
Patricia Rosenzweig Levy
- **Coordinador**
Ricardo R. Contreras
- **Consejo editorial**
Ricardo R. Contreras
María Teresa Celis
Jesús Alfonso Osuna Ceballos
Alix Madrid
Rafael E. Solórzano
Marlene Bauste

Unidad operativa

- **Supervisora de procesos técnicos**
Yelliza García
- **Asesor editorial**
Freddy Parra Jahn
- **Asistente**
Yoly Torres
- **Asistente técnico**
Liliam Torres

Los trabajos publicados en esta colección han sido rigurosamente seleccionados y arbitrados por especialistas en las diferentes disciplinas.



PUBLICACIONES
VICERRECTORADO ACADÉMICO

COLECCIÓN TEXTOS UNIVERSITARIOS
Sello Editorial Publicaciones Vicerrectorado Académico

Los materiales para el diseño industrial. Manual de estudio

Primera edición digital, 2018

© Universidad de Los Andes
Sello Editorial Publicaciones del Vicerrectorado Académico de la Universidad de Los Andes con el apoyo de Talleres Gráficos Universitarios
© Luis Manuel Nerey Carvajal

Hecho el depósito de ley
Depósito Legal: ME2018000097
ISBN: 978-980-11-1945-6
ISBN: 978-980-11-1942-5

- **Corrección de texto**
Carlos Guillermo Casanova
(Departamento de corrección. Talleres Gráficos Universitarios)
- **Concepto de colección**
Katalin Alava
- **Diseño de Ilustraciones y diagramación**
Luz Marina Quintero
(Departamento de arte. Talleres Gráficos Universitarios)
- **Diseño de portada**
Isaimar Salerno Sosa
(Pasante de la Escuela de Diseño Gráfico de la Facultad de Arte de la Universidad de Los Andes)

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin la autorización escrita de los autores y editores.

Universidad de Los Andes
Av. 3 Independencia,
Edificio Central del Rectorado,
Mérida, Venezuela.
publicacionesva@ula.ve
publicacionesva@gmail.com
<http://www2.ula.ve/publicacionesacademicas>

Editado en la República Bolivariana de Venezuela

Mi agradecimiento a todas aquellas personas (alumnos, profesores, amigos, especialistas y familiares) que me han estimulado para realizar esta obra.

También mi agradecimiento a quienes han trabajado en la recopilación, edición, impresión, etc., de todo lo aquí descrito y seleccionado, lo cual se ha hecho siempre pensando en nuestros nuevos alumnos, en la adecuación de los conceptos y en las definiciones dirigidas a ellos, porque deben, en *tiempo record*, alcanzar un dominio de los diversos tipos de materiales existentes, para que sus propuestas de diseño sean acertadas y seguras cuando salgan al mercado.

Por último, un agradecimiento especial a la Junta de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1980), porque se han empleado, en el primer capítulo “Maderas y papel”, gran parte de los gráficos, esquemas y dibujos de su Cartilla de Construcción con Maderas.

[Índice]

Prefacio

13

Capítulo I

Maderas y papel

- 16 | Maderas: identificación sistemática de especies
- 17 | Bases para la descripción de la madera
- 17 | Orientaciones para describir las propiedades de la madera
- 18 | Planos de corte
- 19 | Descripción anatómica
- 19 | Descripción macroscópica
- 19 | Descripción microscópica
- 20 | Características externas
- 21 | Estructura anatómica de la madera conífera
- 22 | Estructura anatómica de la madera latifoliada
- 23 | Propiedades de la madera
- 29 | Corte, flexión, compresión y tracción
- 32 | Secado de la madera
- 40 | Preservación de la madera
- 50 | Aspectos a considerar en el diseño
- 54 | Papel
- 66 | Referencia

Capítulo II

Materiales poliméricos

- 68 | Propiedades y estructura de los polímeros
- 71 | Generalidades de los elastómeros: cauchos
- 86 | Generalidades de los plásticos
- 109 | Textiles
- 113 | Especificidades de las fibras naturales
- 129 | Especificidades de las fibras artificiales
- 132 | Otras fibras textiles
- 133 | Las cuerdas
- 137 | Generalidades de los cueros
- 142 | Referencia

Capítulo III

Materiales metálicos

- 143 | Metalurgia extractiva (siderurgia)
- 146 | Metalurgia física
- 148 | Propiedades de los metales
- 154 | Clasificación de los metales y sus aleaciones
- 178 | Tratamiento térmico de los materiales metálicos
- 185 | Coloreado químico
- 185 | Identificación de los metales

Capítulo IV

Materiales cerámicos

- 189 | El vidrio
- 194 | Refractarios
- 200 | Abrasivos
- 207 | Cemento y concreto

Capítulo V

Materiales compuestos

- 214 | 1. ¿Qué es un material compuesto?
- 214 | 2. Importancia de los materiales compuestos
- 215 | 3. Fase de un material compuesto
- 215 | 4. Clasificación de los materiales compuestos
- 229 | 5. Madera
- 230 | 6. Referencias

Anexos

- 231 | Estructuras microscópicas de mezclas asfálticas
- 232 | Materiales compuestos, vistos con microscopio
- 233 | Compuestos reforzados por fibras
- 234 | Tipos de fibras
- 235 | Ejemplos de materiales compuestos
- 238 | Laminado de aluminio-aramida, para aplicaciones aeroespaciales
- 239 | Diseño de materiales compuestos
- 240 | Uso de materiales compuestos en la construcción
- 241 | Construcciones destacadas con el uso de materiales compuestos
- 243 | Aplicaciones en la construcción industrial

[Prefacio]

Este texto se dirige a estudiantes del primer año de la carrera de Licenciatura en Diseño Industrial y recorre, de manera general, el universo de materiales naturales, artificiales y sintéticos, con los cuales ellos se irán relacionando, a medida que vayan transcurriendo sus años de formación.

Es necesario aclarar que el énfasis mayor de esta obra se resguarda en el aprendizaje y dominio de las principales propiedades, que determinarán la elección de un material en la propuesta de un producto de diseño. De esta manera simple y al alcance de los bachilleres recién llegados a nuestra Escuela de Diseño Industrial, comienza su familiarización con el mundo material que nos rodea.

El texto se ordena en cinco capítulos. El primero se dedica a la madera y su principal derivado, el papel. Su explotación sustentable, así como su aprovechamiento óptimo, son las premisas para hacer de nuestra Pachamama un lugar agradable y duradero donde se pueda vivir saludablemente. Para el diseñador industrial, el empleo de este material constituye parte de su quehacer cotidiano, si lo elige en sus propuestas de diseño, pero además se le convierte en un enorme reto de sobrevivencia. Por eso, la estudiamos en primer lugar, aun sabiendo que las llamadas maderas artificiales con todas sus limitaciones de empleo y durabilidad han venido a aliviar el uso desmedido de las maderas naturales. En este capítulo también se recogen las principales características del papel en su condición de principal derivado de la madera, el cual un diseñador contemporáneo no puede dejar de conocer.

El segundo capítulo trata sobre los materiales de tipo polimérico (tanto naturales como sintéticos) entre los cuales destacan: elastómeros, termoplásticos, termoestables, textiles y cueros. Sin profundizar en aspectos físicoquímicos, se da una panorámica de la mayoría de los representantes de estos tipos de materiales con los cuales el futuro diseñador tendrá una frecuente vinculación.

En el tercer capítulo, dedicado a los materiales metálicos, se estudian con detenimiento el hierro y el aluminio, como elementos principales de nuestra riqueza siderometalúrgica, que descansan en productos fabricados con estos elementos metálicos y con sus aleaciones.

Para desarrollar el cuarto capítulo, se han seleccionado los materiales cerámicos, en cuanto a sus propiedades estéticas y funcionales, la riquísima variedad de minerales con que se dispone en el país, así como la naciente gama de cerámicos de ingeniería para estar a tono con la actualidad tecnológica.

Finalmente, en el quinto capítulo, se han descrito y estudiado aquellos materiales compuestos que van transformando a la sociedad moderna en una sociedad del futuro, acorde con la era que se nos viene encima.

¡En sus manos está sacarle el máximo provecho!

Luis Manuel Nerey Carvajal

Capítulo I

Maderas y papel

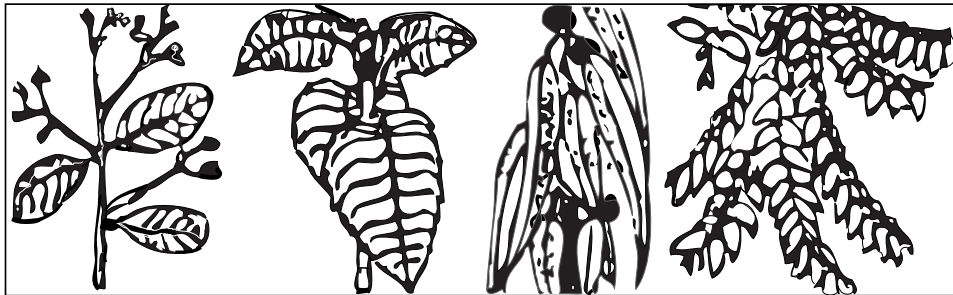
Al tener en cuenta el uso tan extenso que tiene la madera por parte de los diseñadores industriales (mobiliario, construcción, etc.), y por ser uno de los materiales que en cualquiera de sus presentaciones (natural o artificial) está siempre a nuestro alcance, comenzaremos por conocer acerca de su origen, es decir, los árboles.

La identificación dendrológica consiste en reconocer a qué especie pertenece un árbol, con base en el estudio de sus características externas:

a. Forma y disposición de las hojas (Figura 1.1):

FIGURA 1.1

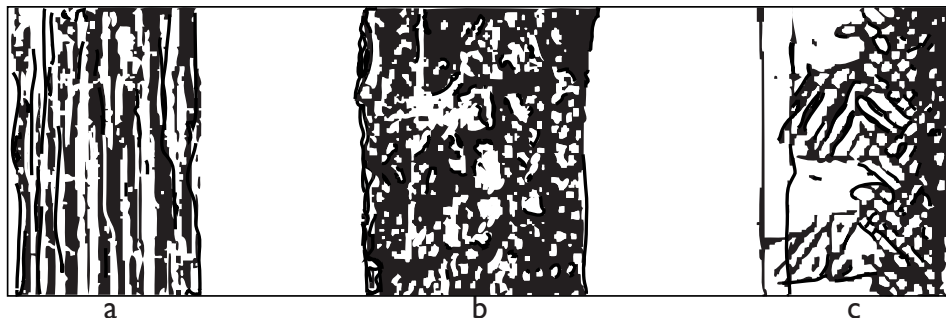
Distintos tipos de hojas: redondeadas, aserradas, aciculadas y compuestas



b. Tipos de corteza de los árboles (Figura 1.2):

FIGURA 1.2

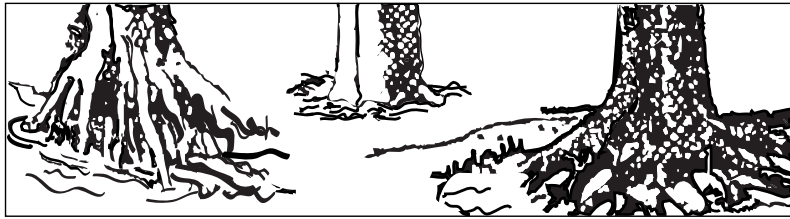
Distintos tipos de corteza: (a) alineada, (b) escarpada y (c) no uniforme (irregular)



c. Forma de sus raíces (Figura 1.3):

Distintos tipos de raíces: acuática, terrestre y aérea

FIGURA 1.3



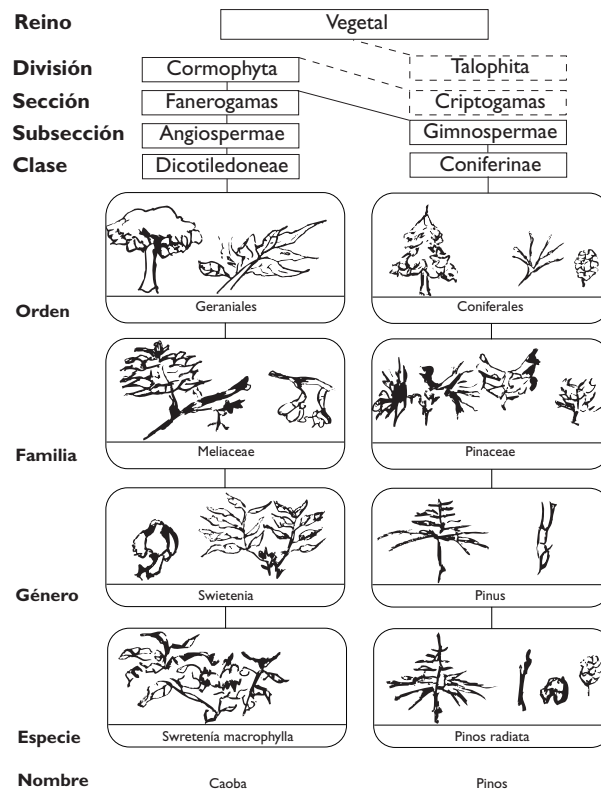
Además, es posible identificar a los árboles por las sustancias que segregan, tales como látex, resinas y gomas.

1. Maderas: identificación sistemática de especies

Al aumentar el número de vegetales conocidos, se necesitó desarrollar una clasificación sistemática para poder reconocerlos. Estudios profundos sobre genética, fisiología de las plantas, ecología, etc., han permitido integrar una taxonomía vegetal con grupos definidos. Los criterios de agrupación se basan en las características morfológicas y anatómicas de los órganos vegetativos y de reproducción. La unidad básica de este sistema de clasificación es la especie y, en ubicación ascendente en la escala, el género, la familia, el orden, la clase, la subsección, la sección, la división y el reino (Figura 1.4.):

Unidad básica del sistema de clasificación vegetal

FIGURA 1.4



Fuente: *Tratado de Botánica*, de G. Gola, G. Negri y C. Cappelletti, 1965.

2. Bases para la descripción de la madera

Para la descripción general del árbol maderable, se utilizan las siguientes denominaciones (Figura 1.5):

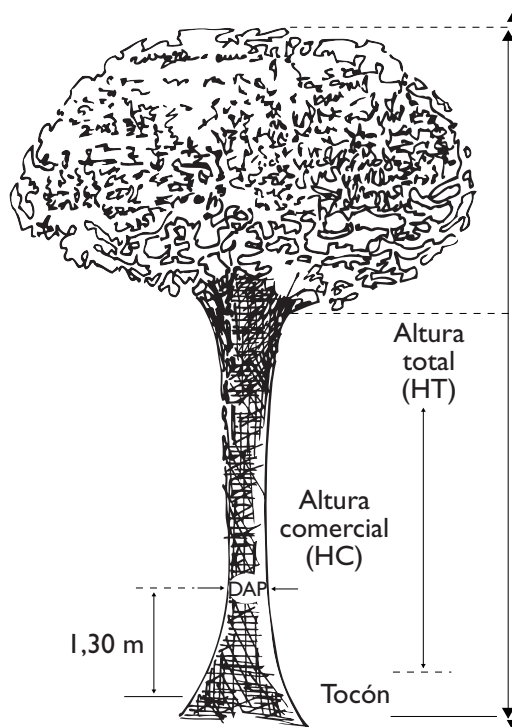
2.1. Altura total (HT): distancia vertical entre el nivel del suelo y el extremo superior del árbol.

2.2. Altura comercial (HC): longitud de un tronco, desde su parte inferior hasta su extremo superior, donde empiezan las ramificaciones de la copa del árbol. El tocón es la parte del árbol unida a las raíces que queda en el suelo después de ser cortado el árbol.

2.3. Diámetro a la altura del pecho (DAP): diámetro del árbol ubicado a 1,30 m de altura sobre el nivel del suelo.

Principales denominaciones de los árboles maderables

FIGURA 1.5



3. Orientaciones para describir las propiedades de la madera

La descripción de las propiedades de la madera se hace con referencia a tres direcciones principales (Figura 1.6):

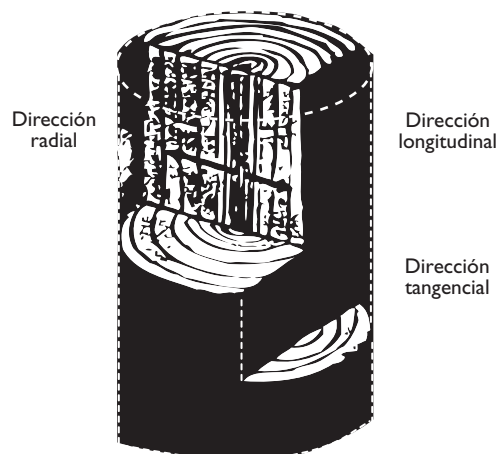
3.1. Longitudinal: es la dirección paralela al eje del árbol.

3.2. Radial: es la dirección que siguen los radios medulares, desde la médula hasta la corteza.

3.3. Tangencial: es la dirección tangencial a los anillos de crecimiento.

Direcciones principales que definen las propiedades de la madera

FIGURA 1.6



4. Planos de corte

La descripción de elementos leñosos se da mediante las siguientes secciones o planos de corte de la madera (Figura 1.7):

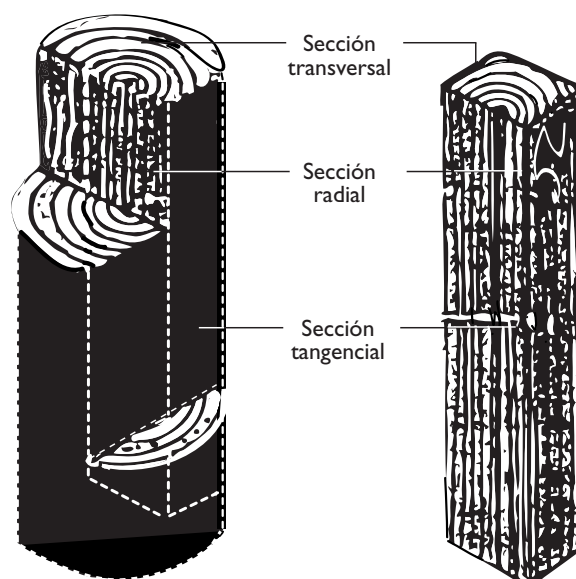
4.1. Sección transversal: es la sección o cara perpendicular al eje del tronco.

4.2. Sección longitudinal: es la sección o superficie paralela al eje del tronco, que a su vez puede ser:

- *Radial:* resultante de un corte longitudinal paralelo a los radios, desde la corteza hasta la médula.
- *Tangencial:* si el plano de corte sigue una dirección perpendicular a los radios o tangente a los anillos de crecimiento.

Secciones de los elementos leñosos según los planos de corte

FIGURA 1.7



5. Descripción anatómica

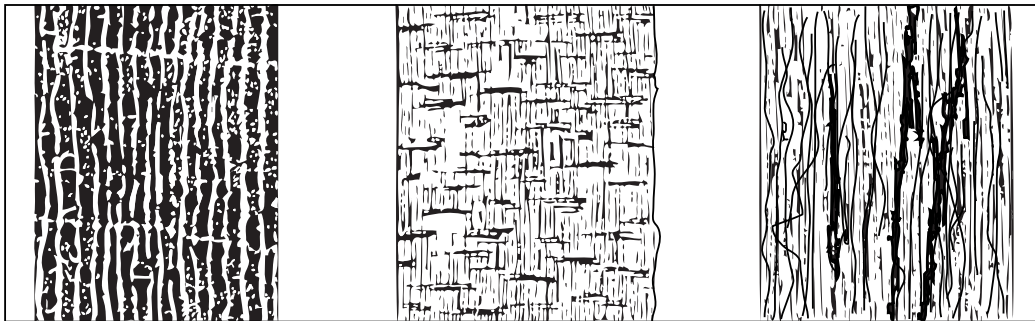
La descripción anatómica de la madera se realiza con el fin de elaborar claves para su identificación, a base de la estructura observada en las secciones: transversal, radial y tangencial.

6. Descripción macroscópica

Observación de la estructura de tejidos leñosos a simple vista o con lupa de 10 aumentos. Destacan los poros, parénquima, radios, canales gomíferos y resiníferos que, clasificados según sus dimensiones, cantidades y tipo de agrupamiento, posibilitan la identificación, al menos, de la familia a la que pertenece la madera (Figura 1.8).

Observación macroscópica de tejidos leñosos

FIGURA 1.8



Sección transversal

Sección radial

Sección tangencial

7. Descripción microscópica

Observación del tipo y estructura de las células que componen los tejidos leñosos, con ayuda del microscopio. Esta visualización permite describir y clasificar las diferentes especies y sirve para determinar, en forma aproximada, ciertas propiedades de la madera (Figura 1.9).

Observación microscópica del tipo y estructura de las células de los tejidos leñosos

FIGURA 1.9



Sección transversal

Sección radial

Sección tangencial

8. Características externas

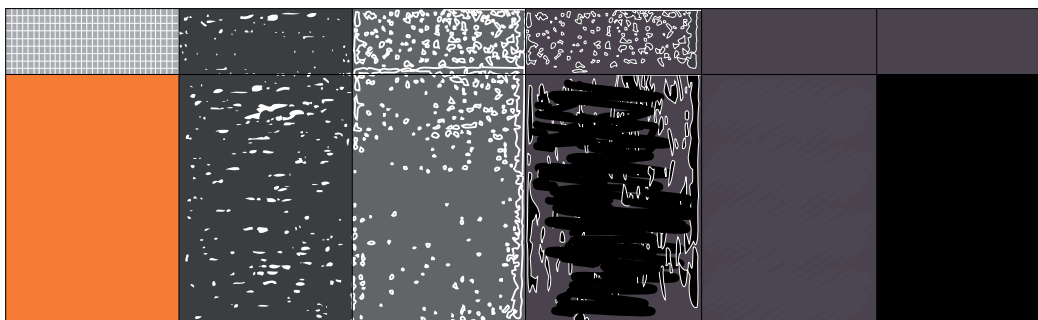
Las características externas u organolépticas de la madera son aquéllas que pueden percibirse con la vista, el olfato, el tacto y el gusto. Tienen considerada importancia en la diferencia de la madera. Entre éstas se hallan:

8.1. Color

Originado por sustancias colorantes y demás compuestos secundarios. Tiene importancia en la diferenciación de las maderas y, además, sirve como indicador de su durabilidad. Las maderas de color oscuro son generalmente las más durables y resistentes (Figura 1.10).

Distintos colores e intensidades en las maderas

FIGURA 1.10



8.2. Olor

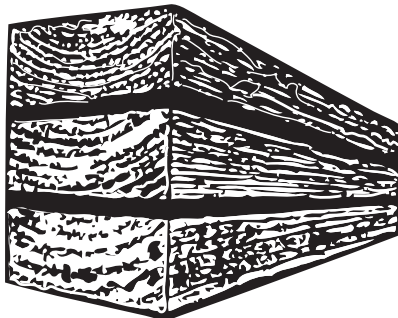
Producido por sustancias volátiles como resinas y aceites esenciales que, en ciertas especies, producen olores característicos.

8.3. Textura

Referido al tamaño de los elementos anatómicos de la madera. Tiene importancia en el acabado de las piezas (Figura 1.11).

Diferentes tipos de texturas

FIGURA 1.11

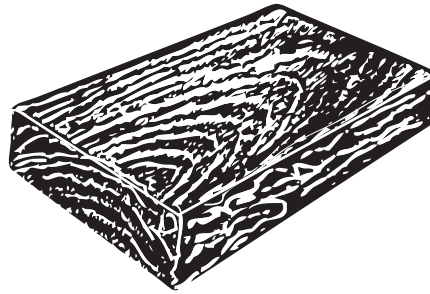


8.4. Veteado

Figuras formadas en la superficie de la madera debido a la disposición, tamaño, forma, color y abundancia de los distintos elementos anatómicos. Tiene importancia en la diferenciación y en el uso de las maderas (Figura 1.12).

Disposición de vetas

FIGURA 1.12

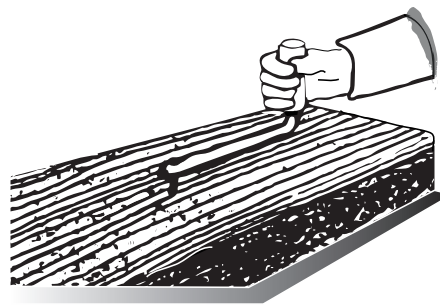


8.5. Orientación de fibra o "grano"

Dirección que siguen los elementos leñosos longitudinales. Tiene importancia en el trabajo de la madera y en su comportamiento estructural (Figura 1.13).

Elementos leñosos longitudinales orientados a favor del trabajo de la madera

FIGURA 1.13

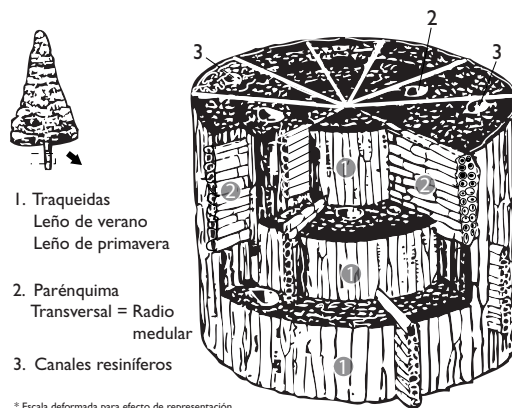


9. Estructura anatómica de la madera conífera

El tejido leñoso de las coníferas tiene una estructura celular simple conformada por (Figura 1.14):

Estructura anatómica de la madera conífera

FIGURA 1.14

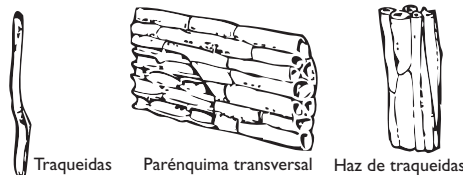


1. Traqueidas
Leño de verano
Leño de primavera

2. Parénquima
Transversal = Radio
medular

3. Canales resiníferos

* Escala deformada para efecto de representación



Traqueidas Parénquima transversal Haz de traqueidas

9.1. Traqueidas

Células alargadas fusiformes, de extremos cerrados y provistas de puntuaciones que permiten el paso de los líquidos entre las células. Cumplen la doble función de transportar líquidos y servir de sostén a la estructura leñosa. Son las células de mayor longitud en las coníferas y miden normalmente entre 3 y 5 mm de largo, dimensión la cual puede ser hasta 75 veces mayor que la magnitud de su diámetro.

9.2. Parénquima

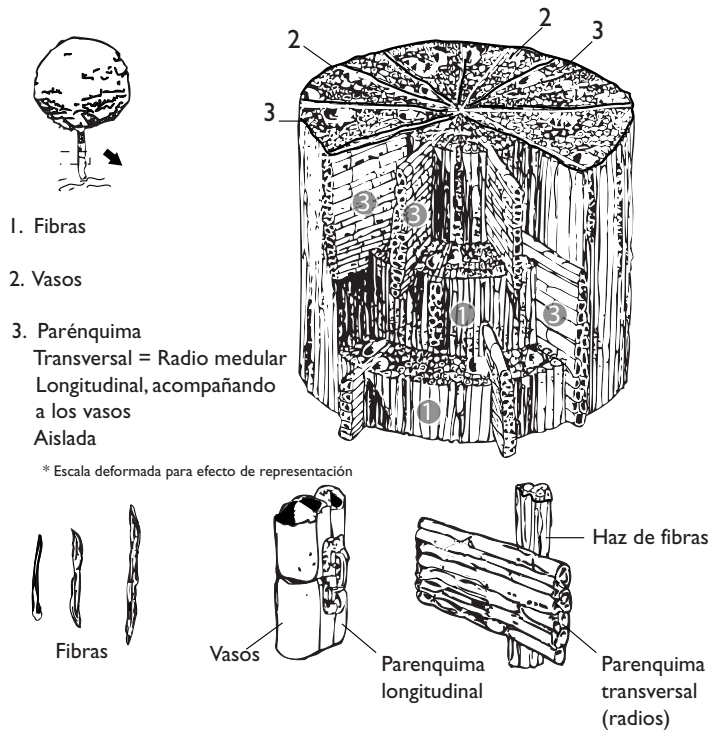
Célula de longitud menor que se presentan en sentido radial de la corteza hacia la médula, mientras conforman los radios medulares. Sirven para almacenar nutrientes y distribuirlos radialmente en el tronco. Ocasionalmente, existen canales resiníferos, rodeados de tejidos parenquimatosos especializados, dispuestos de manera longitudinal o dentro de los radios medulares.

10. Estructura anatómica de la madera latifoliada

El tejido leñoso de las maderas latifoliadas tiene una estructura celular más compleja constituida por (Figura 1.15):

Estructura anatómica de la madera latifoliada

FIGURA 1.15



10.1. Fibras

Células alargadas, agrupadas en haces y provistas de puntuaciones que facilitan el paso de nutrientes. Cumplen funciones de sostén del cuerpo leñoso. La fibra es el principal componente de la madera latifoliada. Su diámetro promedio alcanza 0,1 mm y su longitud puede ser hasta 29 veces mayor.

10.2. Vasos

Elementos de conducción constituidos por células tubulares unidas en sus extremos, los cuales son abiertos generalmente.

10.3. Parénquima

Puede ser longitudinal o radial. El parénquima longitudinal consta de una o varias hileras de células y tiene como función almacenar sustancias de reserva en los radios medulares, los cuales acumulan y distribuyen transversalmente los nutrientes desde la corteza hasta la médula. Ocasionalmente, se hallan canales gomíferos, formados por células especializadas en parénquima, ubicados longitudinalmente o dentro de los radios medulares.

11. Propiedades de la madera

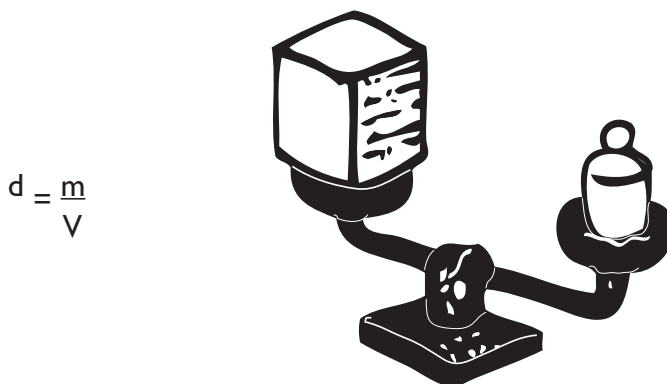
11.1. Propiedades físicas

11.1.1. Densidad (d)

Relación entre la masa (m) de una pieza de madera con su volumen (v), expresada en gramos por centímetros cúbicos (g/cm^3). La *densidad aparente* está referida al conjunto de material leñoso, extractivos y espacios intercelulares que forman la estructura de la madera. La densidad o peso específico aparente varía de acuerdo con la estructura anatómica, en contraposición con la densidad real o el peso específico real respecto al material leñoso y que tiene un valor aproximado de $1,50 \text{ g}/\text{cm}^3$, el cual es constante en todas las especies (Figura 1.16).

Método para determinar la densidad de la madera

FIGURA 1.16



Las formas de expresión de la densidad, en función del contenido de humedad, son diversas. La más común se presenta al relacionar el peso y el volumen de una muestra en estado verde, a 12% del contenido de humedad o en estado anhidro. Igualmente, se puede relacionar el peso anhidro de la madera con su volumen verde. Dicha relación se denomina *densidad básica*, la cual se determina con mayor frecuencia y permite establecer relaciones con demás propiedades de la madera y hacer comparaciones con otras especies.

En general, la densidad se relaciona directamente con otras propiedades de la madera. Proporciona una primera indicación acerca de su comportamiento probable frente a la absorción o pérdida de agua y su correspondiente grado de variación dimensional bajo el punto de saturación de las fibras. De igual manera, le permite estimar el comportamiento mecánico de la madera ante ciertos esfuerzos y su aptitud para trabajabilidad y acabado.

11.1.2. Contenido de humedad (CH)

Cantidad de agua presente en la madera, expresada como porcentaje del peso de la madera seca o anhidra y calculada mediante la siguiente fórmula (Figura 1.17):

Proceso de determinación experimental del contenido de humedad (CH)

FIGURA 1.17

$$CH (\%) = \frac{(P_i - P_o)}{P_o} \times 100$$

donde

CH= Contenido de humedad (%)
 P_i= Peso inicial (g)
 P_o= Peso en estado anhidro (g)



El agua en la madera puede encontrarse en las siguientes formas (Figura 1.18):

11.1.3. Agua libre

Ocupa los espacios intercelulares y el lumen o la cavidad celular.

11.1.4. Agua higroscópica

Es aquella retenida por las paredes de las células y está comprendida entre 0% y 30% de contenido de humedad. El punto de saturación de las fibras es la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por las paredes celulares; oscila entre 28 y 30% de contenido de humedad.

11.1.5. Agua de constitución

Aquella adherida a las superficies de las partículas sólidas por atracción molecular. Únicamente, puede ser eliminada por carbonización y no se la toma en cuenta para la determinación del contenido de humedad.

Esquematación de la presencia del agua en la madera**FIGURA 1.18****11.1.6. Medición del contenido de humedad**

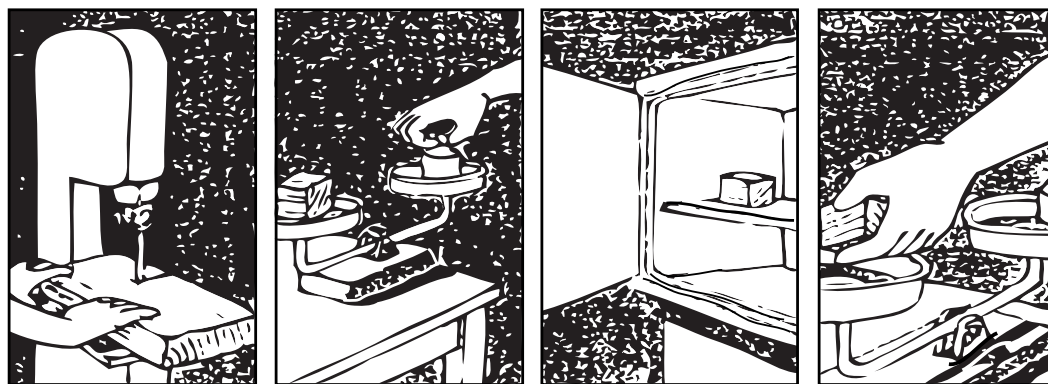
En la práctica, la cantidad de agua existente en la madera se determina según dos métodos principales: *directo*, por diferencias de peso, e *indirecto*, con ayuda de xilohigrómetros eléctricos.

11.1.7. Método por diferencia de peso

Es el más confiable de todos y consiste en determinar el peso de agua y relacionarlo con el peso de la madera seca. Para ello, basta pesar la madera húmeda, secarla después en una estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, hasta que alcance un peso constante o peso anhidro (en una muestra pequeña es suficiente un período de 48 horas). Luego se pesa la muestra nuevamente en este estado anhidro. Al aplicar la fórmula antes establecida, se determina directamente cuál es el contenido de humedad (Figura 1.19).

Pasos a seguir para determinar el contenido de humedad de una madera:

(a) hacer corte de muestra, (b) pesar, (c) deshidratar y (d) volver a pesar

FIGURA 1.19**11.1.8. Método de xilohigrómetros eléctricos**

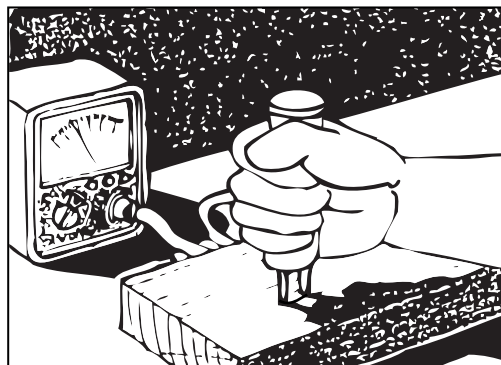
Basado en la respuesta de la humedad contenida en la madera, al paso de la corriente eléctrica. Los instrumentos utilizados pueden ser de dos tipos:

- *Xilohigrómetros de resistencia*: basados en la resistencia eléctrica de la madera. Son muy utilizados en la actualidad y permiten determinar la humedad con bastante aproximación, hasta el contenido de humedad (25%), punto sobre el cual su confiabilidad disminuye.

- *Xilohigrómetros de capacidad*: basados en la relación entre el contenido de humedad y la capacidad eléctrica de la madera (Figura 1.20):

Xilohigrómetro de capacidad

FIGURA 1.20



11.1.9. Contenido de la humedad de equilibrio

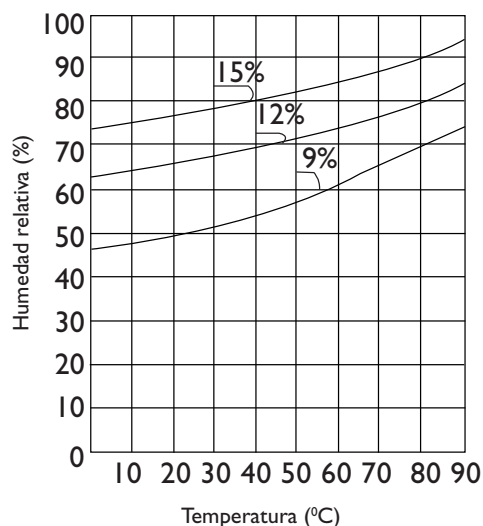
La madera es un material higroscópico, es decir, puede ganar o perder agua fácilmente según el contenido de humedad que contenga y las condiciones de humedad relativa y temperatura del medio ambiente en que se encuentre.

11.1.10. Humedad de equilibrio

Contenido de humedad que adquiere la madera cuando es expuesta al ambiente durante un tiempo prolongado. En estas condiciones, la madera perderá o ganará agua hasta alcanzar un estado de equilibrio entre la humedad que contiene y la del aire. En la práctica, las condiciones de temperatura y humedad del medio no son constantes y, en consecuencia, el valor de la humedad de equilibrio en la madera generalmente está sujeto a fluctuaciones estacionales o anuales de acuerdo con el clima de lugar.

Curvas típicas de humedad de equilibrio de 9, 12 y 15%, en función de la temperatura y la humedad relativa del aire

FIGURA 1.21



En la figura anterior (Figura 1.21), vemos que la madera, dentro de un ambiente que permanece constante a 25°C de temperatura y 65% de humedad relativa, tendrá un contenido de humedad de equilibrio de 12%.

En los países de nuestra región, la humedad de equilibrio puede fluctuar entre 12% y 17% de contenido de humedad aproximadamente.

11.1.11. Contracción y expansión

La magnitud de la contracción varía según las características de la especie, las secciones y la orientación anatómica del corte.

11.1.12. Cálculo de la contracción

Se expresa como porcentaje de la dimensión original de la pieza de madera. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C(\%) = \frac{D_v - D_o}{D_v} \times 100$$

C = contracción

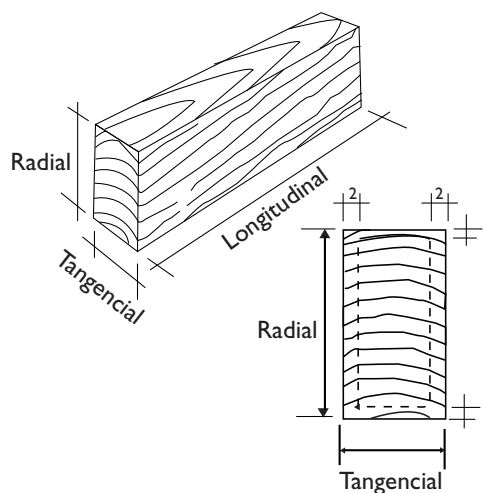
D_v = dimensión en verde

D_o = dimensión final a determinado contenido de humedad

Para evitar problemas de contracción en una determinada pieza, es conveniente utilizar madera con un contenido de humedad lo más próximo posible a aquél encontrado en equilibrio con el clima del lugar.

Contracción en la madera

FIGURA 1.22



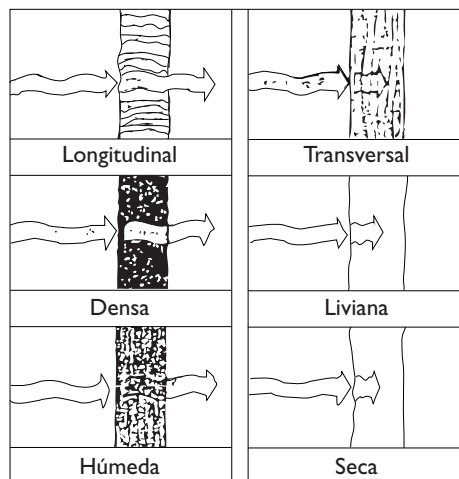
La higroscopicidad de la madera, así como su anisotropía, explican la diferencia en la magnitud de contracción existente entre los tres sentidos anatómicos de la madera. La contracción, en el sentido tangencial, es más o menos el doble de la radial, mientras que la longitudinal es mínima, por lo que no se la toma en cuenta para calcular la contracción volumétrica. En otros términos, si se desea que una pieza de madera posea mayor estabilidad dimensional en su ancho, debe utilizarse un corte radial (Figura 1.22).

11.1.13. Aislamiento

-*Térmico*: por su estructura anatómica, así como por su constitución lignocelulósica, la madera es un excelente aislante térmico. La cantidad de calor conducido por la madera varía con la dirección de la fibra, el peso específico, la presencia de nudos, las rajaduras y su contenido de humedad. La conducción de calor será mayor cuanto más densa sea la madera y cuanto más agua contenga (Figura 1.23).

Conducción del calor en la madera

FIGURA 1.23

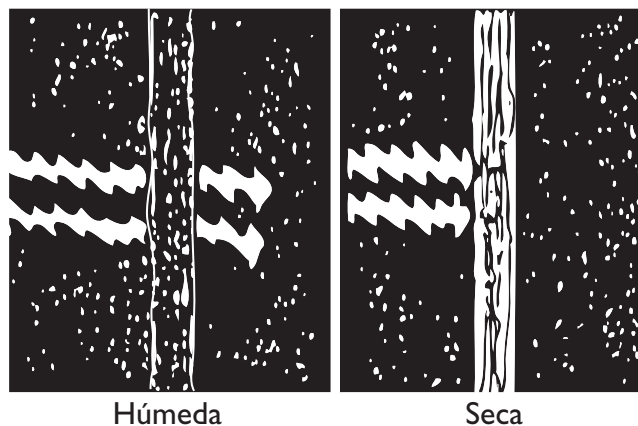


-*Acústico*: la madera tiene buena capacidad para absorber sonidos incidentes. Esta propiedad puede ser aprovechada ventajosamente en el diseño de divisiones. El aislamiento acústico puede incrementarse de forma notable si se dejan espacios vacíos entre los tabiques o se utilizan materiales aislantes, tales como fibra de vidrio o yeso.

-*Eléctrico*: la madera seca es mala conductora de la electricidad. Su conductividad aumentará rápidamente al aumentar su contenido de humedad, a tal punto que la madera saturada puede llegar a ser conductora. La capacidad aislante de la madera tiene numerosas aplicaciones prácticas en la transmisión y protección de la energía eléctrica (Figura 1.24).

Conducción de la electricidad en la madera

FIGURA 1.24

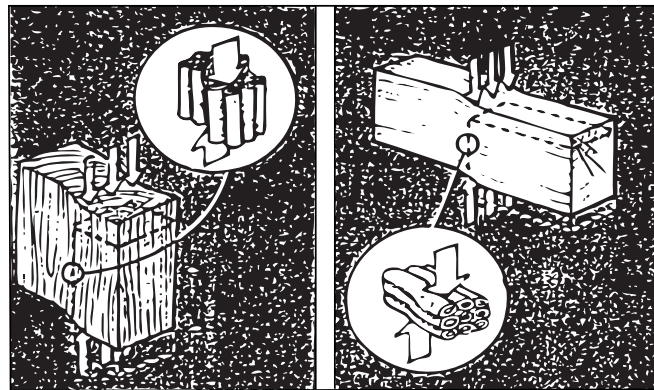


12. Corte, flexión, compresión y tracción

12.1. Corte o cizallamiento

El comportamiento en el corte o cizallamiento de la estructura interna de la madera es semejante al comportamiento de un paquete de tubos que se hallan adheridos entre ellos; por esta razón, en el caso de corte o cizallamiento paralelo al grano (A), el esfuerzo de corte es resistido básicamente por la sustancia cementante, es decir, la lignina, mientras que, en el esfuerzo de corte o cizallamiento perpendicular al grano (B), son las fibras las que aumentan la resistencia al cizallamiento. La madera es más resistente al corte perpendicular que al corte paralelo (Figura 1.25).

Cortes en la madera

FIGURA 1.25

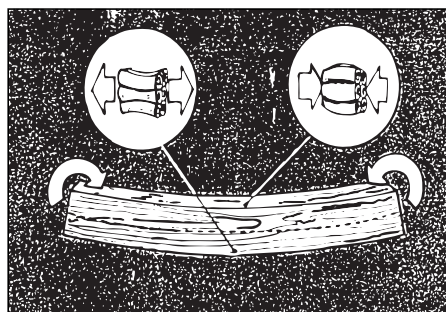
(a) paralela

(b) perpendicular

12.2. Flexión

El comportamiento en flexión de una pieza de madera combina, simultáneamente, los comportamientos a tracción, compresión y corte, cuando se repiten los mismos fenómenos anteriores descritos. La madera constituye un material particularmente apto para soportar tracción y compresión paralela, debido a su alta capacidad por unidad de peso. En la práctica, la madera es requerida a flexión cuando se emplea en forma de vigas, viguetas, solera superior, entablado, dinteles, entre otros (Figura 1.26).

Deformación de la madera ante la flexión

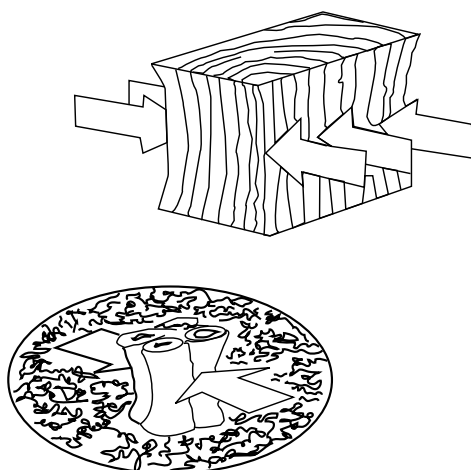
FIGURA 1.26

12.3. Compresión perpendicular al grano

La madera se comporta a manera de un conjunto de tubos alargados como si sufriera una presión perpendicular a su longitud; sus secciones transversales serán aplastadas y, en consecuencia, tendrán disminución en sus dimensiones bajo esfuerzos suficientemente altos. En la práctica, la madera se somete a esfuerzos de compresión perpendicular cuando se la utiliza en forma de soleras, durmientes, carteleras de cerchas, entre otros (Figura 1.27).

Compresión perpendicular al grano en la madera

FIGURA 1.27

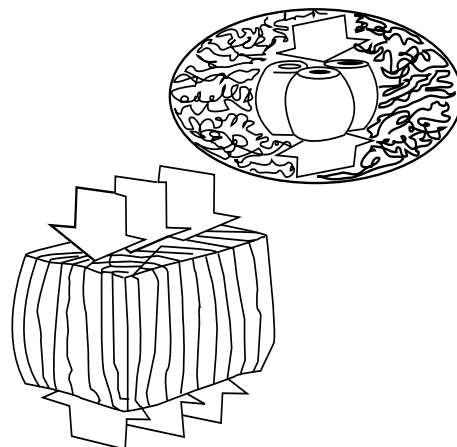


12.4. Compresión paralela al grano

La madera se comporta como si el conjunto de tubos alargados sufriera la presión de una fuerza que trata de aplastarlos. Su comportamiento, ante este tipo de esfuerzos, es considerado dentro de su estado elástico, es decir, mientras tenga capacidad de recuperar su dimensión inicial una vez retirada la fuerza. En la práctica, la madera se somete a esfuerzos de compresión paralela cuando se emplea como pilotes, columnas, barras internas de cerchas, entre otros (Figura 1.28).

Compresión paralela al grano en la madera

FIGURA 1.28

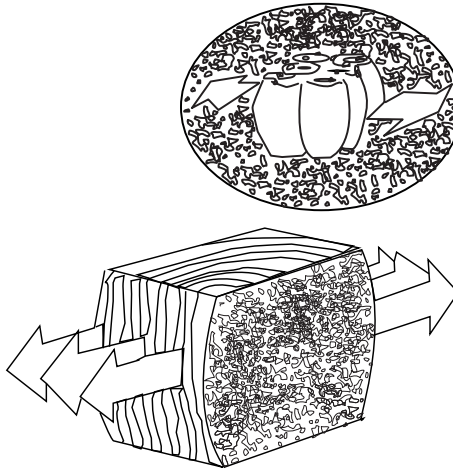


12.5. Tracción perpendicular

La capacidad de resistencia, en tracción perpendicular al grano, es asumida básicamente por la lignina de la madera, la cual cumple una función cementante entre las fibras. La madera tiene menor resistencia a este tipo de esfuerzo en relación con otros materiales (Figura 1.29).

Tracción perpendicular

FIGURA 1.29

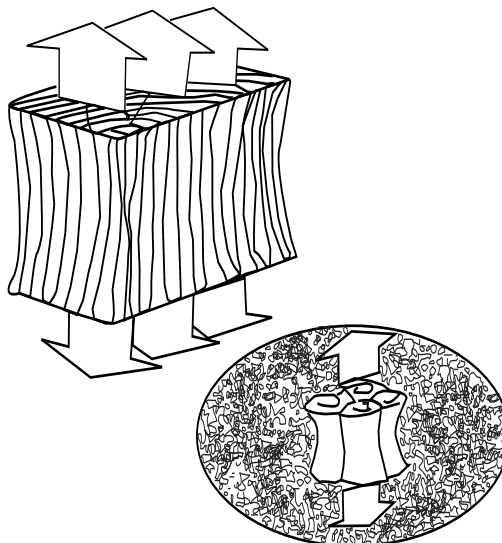


12.6. Tracción paralela al grano

La madera tiene gran resistencia a la tracción paralela a las fibras, debido a que las uniones longitudinales entre ellas son de 30 a 40 veces más resistentes que las uniones transversales. Sin embargo, esta cualidad debe considerarse con sumo cuidado, pues los defectos de la madera tienen influencia negativa en la tracción paralela a la fibra (Figura 1.30).

Tracción paralela en la madera

FIGURA 1.30



Si ordenamos las formas de adopción de la madera, en una combinación múltiple de líneas superficiales y sólidos, podemos sistematizar el comportamiento de cada una de estas formas y sus agrupamientos ante la acción de los esfuerzos. De esta manera, un trozo de madera se puede comparar con una cantidad de sorbetes que han sido unidos entre sí. Por esta razón, la madera tiene características anisotrópicas, es decir, resiste la acción de fuerzas exteriores, de manera diferente, según la dirección que tomen dichas fuerzas (Figura 1.31).

Resumen del comportamiento de la madera

FIGURA 1.31

Elemento													
Esfuerzo													
Tracción													
Compresión													
Flexión													
Torsión													
Corte													

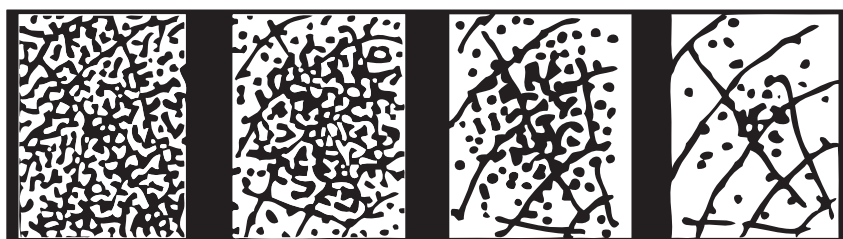
13. Secado de la madera

13.1. Proceso variable

La madera, como material orgánico, contiene agua. Para ciertas aplicaciones, es conveniente trabajar con madera seca, es decir, que posea una cantidad de humedad relativamente bajo. El secado es el proceso por el cual la madera pierde agua de forma paulatina, debido a la evaporación desde la superficie y seguido por la traslación de agua desde las capas internas a las externas por capilaridad y difusión. La diferencia en el contenido de humedad, entre las capas externas e internas de una pieza de madera, se denomina gradiente de humedad, el cual será mayor cuanto más intensas sean las condiciones del secado. Se deberá regular la intensidad del secado para evitar un gradiente muy pronunciado que podría contribuir a la aparición de defectos (Figura 1.32).

Esquema de la distribución de humedad de la madera durante el secado

FIGURA 1.32



En esta figura, se muestran secciones transversales de una pieza de madera cortadas en diferentes intervalos de tiempo, a una cierta distancia de los extremos, que muestran el tipo de distribución de humedad típico durante el secado.

13.2. Variables que intervienen en el secado

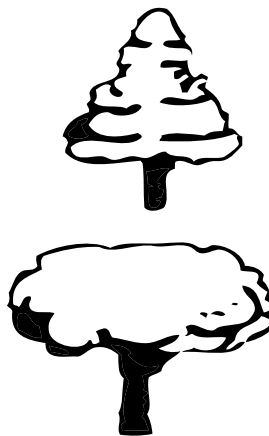
Se consideran dos tipos de variables:

13.2.1. Propias del material

La especie y sus dimensiones, especialmente el espesor (Figura 1.33). La especie influye en las características de secado, en especial, por la función de su densidad. La madera de baja intensidad se seca en forma relativamente rápida; en cambio, la madera de alta densidad se seca lentamente. Las piezas de madera de dimensiones pequeñas se secan rápidamente y, por el contrario, las piezas estructurales se secan con mayor lentitud (Figura 1.34).

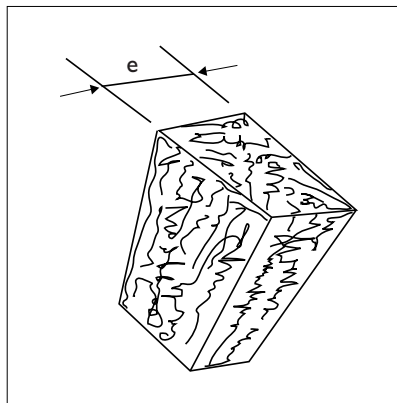
Especies de madera: coníferas y latifoliadas

FIGURA 1.33



Esquema de una pieza de madera de espesor relativamente grande

FIGURA 1.34



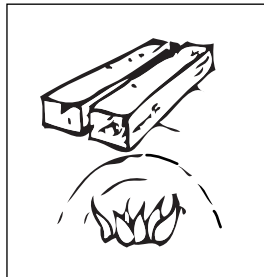
13.2.2. Propias del medio ambiente

La temperatura, la humedad relativa y el movimiento del aire actúan en estrecha relación durante el proceso de secado.

- *La temperatura:* cuanto mayor es la temperatura, mayor es la velocidad de secado. Además, conforme disminuye el contenido de humedad de la madera, mayor es la cantidad de calor necesaria para acelerar el secado. Sin embargo, las temperaturas de secado altas pueden degradar la calidad de la madera (Figura 1.35).

Calentamiento de la madera

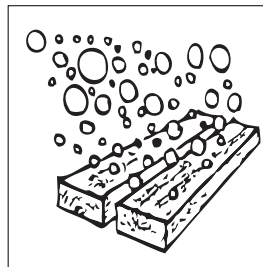
FIGURA 1.35



- *La humedad relativa:* cantidad de vapor de agua que contiene el aire a una temperatura determinada, expresada como porcentaje de su capacidad máxima de retención de vapor de agua, a esa temperatura (Figura 1.36).

Pérdida de agua a baja humedad relativa

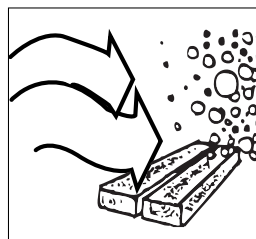
FIGURA 1.36



- *El movimiento del aire:* afecta la velocidad del secado en forma indirecta, porque, al removerse el aire húmedo alrededor de la madera, evita que la humedad relativa en su superficie llegue al punto de saturación y detenga el proceso del secado (Figura 1.37).

Influencia del aire en el secado de la madera

FIGURA 1.37



13.2.3. Método de secado

Existen diversos métodos de secado, pero los que se utilizan a escala comercial son: secado al aire, pre-secado en ambientes controlados y secado en hornos. El secado solar, desarrollado en los últimos años, tiene también posibilidades de uso en la subregión.

Es de vital importancia que el usuario conozca los principios de cada método y las posibilidades que ofrece respecto a la calidad de la madera, obtenida en el proceso. En la práctica, es posible combinar estos métodos para aprovechar las ventajas de cada uno de ellos (Figura 1.38).

Métodos de secado de la madera

FIGURA 1.38

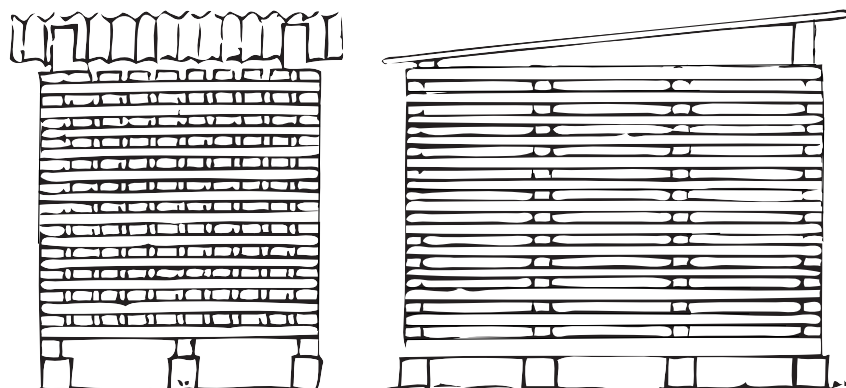


En gran parte de la región, se puede utilizar con ventaja el método de secado de aire que es, a la vez, simple y relativamente económico. Sin embargo, en aquellos sitios con condiciones ambientales desfavorables, se le puede reemplazar en las etapas iniciales por pre-secado. Este puede complementarse con un secado al horno cuando la madera alcanza un contenido de humedad de 30-35%.

- *Secado al aire*: hay dos condiciones esenciales que controlan la calidad de la madera obtenida al final del secado al aire: *suficiente circulación de aire* a través de las pilas y *empleo de técnicas de apilado* que reduzcan los defectos a un mínimo.
- *Apilado horizontal de planos*: deben colocarse las bases o pilones a unos 40-45 cm del suelo para facilitar la circulación de aire y evitar la acumulación de humedad. La madera se apila y se alterna con listones transversales a fin de dejar espacios por donde circule el aire; estos listones deben ubicarse alineados de forma vertical y a espacios convenientes para que no se generen deformaciones de las tablas. Además de ello, la pila deberá estar protegida por una cubierta superior o techo, con la finalidad de evitar la acción de la lluvia y la incidencia directa del sol (Figura 1.39).

Apilado horizontal o de planos

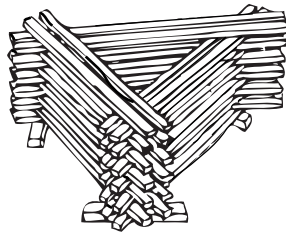
FIGURA 1.39



- *Apilado en triángulo*: utilizado especialmente para tablonés (Figura 1.40).

Apilado en forma de triángulo de tablonés

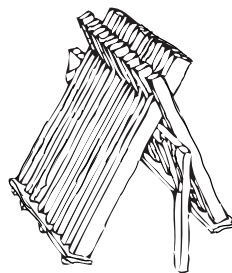
FIGURA 1.40



- *Apilado en caballete*: utilizado con especies de madera que tienen un alto contenido de humedad inicial y que no son susceptibles a sufrir deformaciones inmediatamente después del aserrado (Figura 1.41).

Apilado en forma de caballete

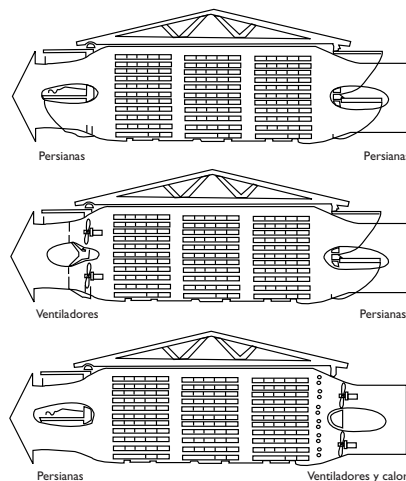
FIGURA 1.41



- *Pre-secado*: reemplaza el secado al aire cuando se desea acelerar el proceso. Es más eficiente en el secado de madera desde el estado verde o húmedo hasta un contenido de humedad de 20%. Si se utiliza para secar la madera hasta la humedad de equilibrio, el proceso se torna más lento. En climas tropicales, basta proteger a la madera de la lluvia y aumentar la velocidad de circulación del aire para acelerar su secado. En climas estacionales fríos, es necesario un sistema de calefacción durante épocas del año cuando existan bajas temperaturas. Este calor puede ser generado por combustión, electricidad o mediante el uso adecuado de la energía solar (Figura 1.42).

Esquema de instalaciones de presecado en las que se incorporan persianas, ventiladores y aire caliente

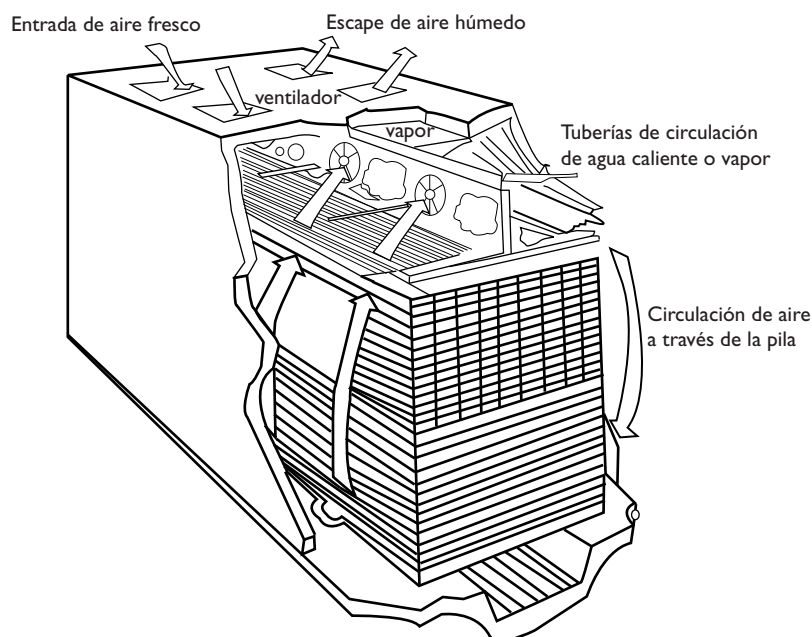
FIGURA 1.42



- Secado al horno: este tipo de secado se realiza bajo condiciones controladas de temperaturas, humedad relativa y circulación de aire. Permite obtener madera con cualquier contenido de humedad según el uso al que esté destinada y en un tiempo menor a otros métodos. La velocidad y dirección del flujo de aire se regulan mediante el empleo de ventiladores que lo impulsan a través de la tubería. El calor generalmente se proporciona mediante agua caliente o vapor de agua, el cual circula por una serie de tuberías que recorren toda la longitud del horno, al llevarse a cabo la regulación de la temperatura en función del número de tuberías por donde se hace circular el agua o el vapor durante un momento determinado. Alternativamente, se pueden utilizar radiadores eléctricos u otros sistemas de calentamiento directo del aire. La humedad relativa se controla con aberturas reguladoras de la salida de aire saturado y de la entrada de aire fresco al interior de la cámara. También se puede inyectar vapor de forma directa, al usar una tubería con orificios conectada a una fuente de vapor (Figura 1.43).

Instalación de secado. En este caso, un horno con circulación de aire

FIGURA 1.43



13.3. Defectos originados por el secado y cómo reducirlos

Los defectos más comunes son grietas, rajaduras y alabeos, originados por las tensiones internas durante el secado.

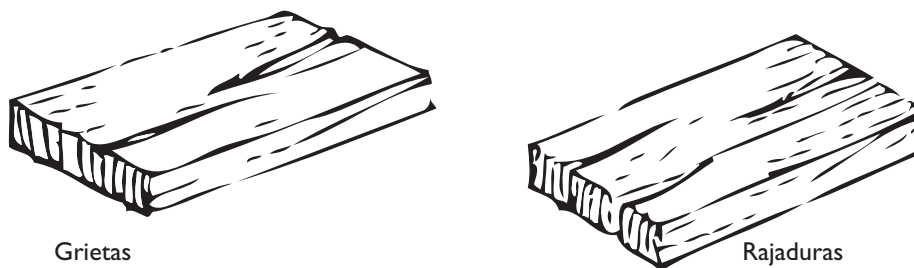
Un tipo especial de defecto es el colapso, producido debido a tensiones hidrostáticas creadas en los finos capilares del tejido leñoso por el fenómeno de tensión superficial. Muchas veces se observa, y puede ser característico de la especie, un oscurecimiento superficial de la madera, que puede ser localizado o extendido.

13.3.1. Grietas y rajaduras

Originadas, en general, debido a un secado muy rápido, especialmente durante las primeras etapas o como consecuencia de un secado irregular a lo largo de una pieza de madera (Figura 1.44).

Grietas y rajaduras en madera secada rápidamente

FIGURA 1.44



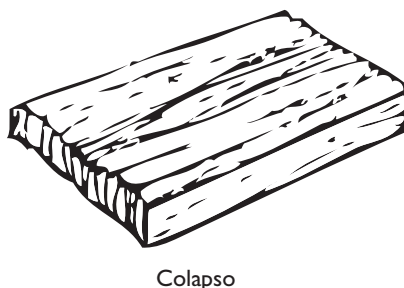
Las grietas pueden ser superficiales, terminales o internas. Asimismo, pueden reducirse con un secado gradual, sea disminuyendo la velocidad del viento entre las pilas o manteniendo una alta humedad relativa. Es recomendable, además, evitar la evaporación del agua en los extremos, con la aplicación de alguna sustancia impermeabilizante.

13.3.2. Colapso

El colapso se origina en las primeras etapas del secado y causa una deformación irregular de la madera, muchas veces acompañada de grietas internas, de forma ovalada típica. Se puede disminuir su efecto con un secado gradual e, incluso, es posible su eliminación casi total al final del secado, al ejecutar un tratamiento de vaporización en ambiente saturado, a 100°C (Figura 1.45).

Colapso en madera secada

FIGURA 1.45

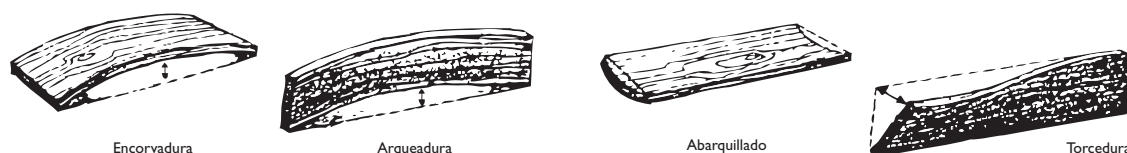


13.3.3. Alabeos

Estas deformaciones pueden deberse a tensiones internas del árbol, a un deficiente sistema de apilado, a un secado irregular o a la forma de aserrado de la madera. En este último caso, la deformación es causada por la contracción diferenciada en las tres direcciones de corte de la madera (Figura 1.46).

Distintos tipos de alabeos en madera seca

FIGURA 1.46



13.4. Control de secado

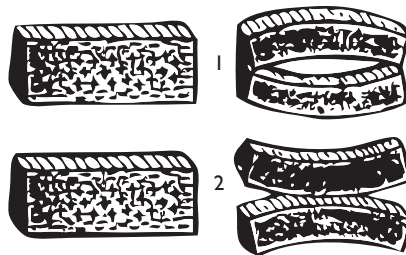
Al final del proceso de secado, cualquiera que sea el método empleado, es probable que se hayan originado tensiones internas en la madera, cuya magnitud dependerá de la especie, de sus dimensiones y de las condiciones de secado.

La existencia de tensiones internas, en una pieza de madera, se manifiesta en el reaserrado, pues, su liberación ocasiona deformaciones que dependen, precisamente, de la intensidad de dichas tensiones. En el secado al horno, se puede disminuir de manera notable este efecto, cuando se reduce al final del proceso el gradiente de humedad de la madera mediante un tratamiento de vaporización.

Las tensiones de tracción y compresión, entre la madera de la superficie y la madera del interior de una pieza, son producto de la acción combinada de variaciones de humedad generadas en el secado y del fenómeno de contracción manifestado en la madera bajo el punto de saturación de las fibras, aproximadamente a 30% de contenido de humedad (Figura 1.47).

Tensiones de tracción (1) y tensiones de compresión (2) en madera seca

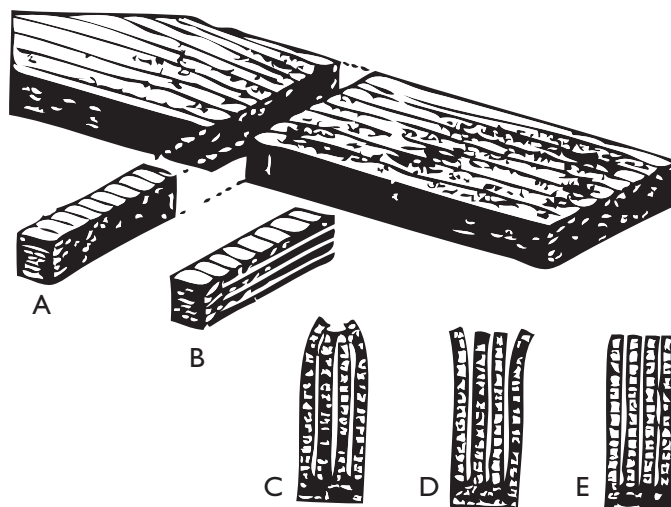
FIGURA 1.47



Para comprobar la existencia e intensidad de las tensiones, se puede recurrir al ensayo de probetas tenedor, tal como se muestra en la figura inferior (Figura 1.48).

Esquema del ensayo de probetas tenedor: (A) probeta de madera en estado verde, (B) probeta en cortes a modo de tenedor, (C) y (D) tensiones internas por secado no uniforme, (E) madera seca libre de tensiones de secado

FIGURA 1.48



En la sección transversal de una pieza de madera que está secándose, como se muestra en el sector inferior de la Figura 1.48, se observa lo siguiente:

- En una pieza de madera, el secado comienza desde la superficie. La madera, una vez que su contenido de humedad baja del punto de saturación de las fibras, empieza a contraerse. La contracción, sin embargo, no alcanza a manifestarse en toda su magnitud debido a la restricción impuesta por la madera del interior, todavía húmeda. En estas circunstancias, las capas exteriores de la madera se estabilizan en una dimensión mayor a la que le correspondería si pudiese contraerse libremente, al quedar en estado de tracción. A su vez, estas capas tratan de reducir el interior a una menor dimensión, pero como éste todavía no empieza a contraerse, queda en estado de compresión (C).
- Al continuar el proceso de secado, las capas interiores empiezan a secarse bajo el punto de saturación de las fibras y se contraen, pero en magnitud inferior a la normal, pues, se lo impiden las capas exteriores, estabilizadas en un estado de dilatación forzada. De esta manera, se produce una inversión de tensiones al quedar el centro de la pieza en estado de tracción y el exterior en estado de compresión (D).

14. Preservación de la madera

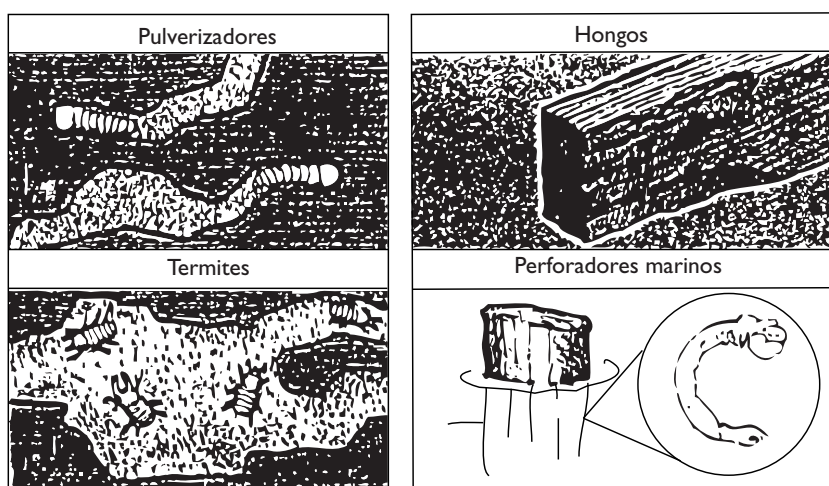
14.1. La preservación

Los materiales son susceptibles a la acción de diversos agentes orgánicos que causan alteraciones en su comportamiento normal, cuando afectan progresivamente su eficiencia y durabilidad (Figura 1.49). La madera, por ejemplo, puede ser atacada por agentes degradantes, pero esta desventaja es subsanable con sistemas de preservación relativamente simples.

Existen especies forestales altamente resistentes a la degradación biológica, por cuya razón estas maderas son más solicitadas y se hacen cada vez más costosas. Otras especies son poco usadas porque, a pesar de tener óptimas cualidades de trabajabilidad o aspecto, son poco durables por la degradación biológica; sin embargo, esto puede evitarse al proteger la madera con sustancias químicas que garantizan su durabilidad.

Entes biológicos degradantes más importantes de la madera

FIGURA 1.49



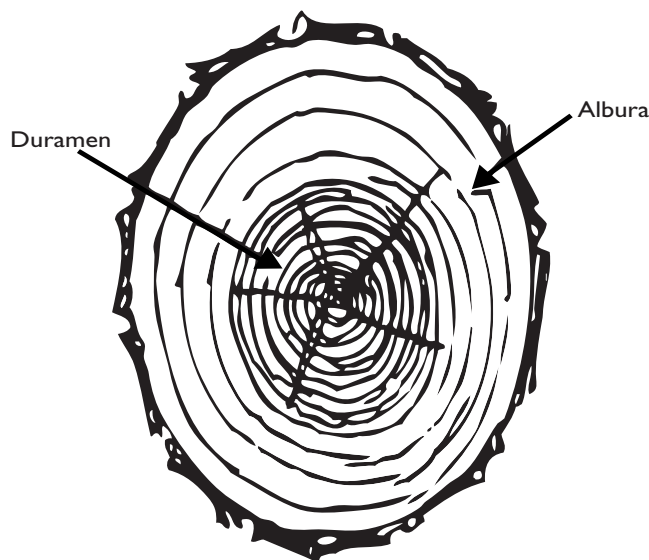
14.2. Durabilidad natural

Capacidad que poseen algunas especies de maderas forestales para resistir al ataque de organismos llamados xilófagos que la devoran o degradan. Normalmente, la durabilidad está referida a la resistencia al ataque de hongos. Los métodos de laboratorio, que permiten clasificar la madera en rangos de durabilidad relativa, utilizan precisamente hongos xilófagos de especies seleccionadas, para lograr este objetivo.

El árbol tiene distintas partes con funciones bien definidas que aseguran su existencia e impiden que su interior esté expuesto a posibles ataques por organismos degradantes, como hongos e insectos xilófagos. El grado de durabilidad de una pieza de madera depende fundamentalmente de la especie y de la zona del tronco de donde proviene. Por razones fisiológicas, la albura carece o tiene poca durabilidad natural, sin importar la especie. El duramen, por el contrario, es más resistente al ataque de hongos e insectos y, en algunas especies, no es atacado aun después de largos períodos de exposición. Esto se debe a que, durante el proceso normal de crecimiento del árbol, las células del duramen se lignifican y, en sus cavidades, se depositan sustancias tóxicas que limitan o impiden el ataque de organismos degradantes (Figura 1.50).

Partes que integran el tronco del árbol maderable

FIGURA 1.50



Las maderas pueden clasificarse de acuerdo con su durabilidad relativa, en tres grupos:

Clasificación de la madera según durabilidad relativa

CUADRO 1.1

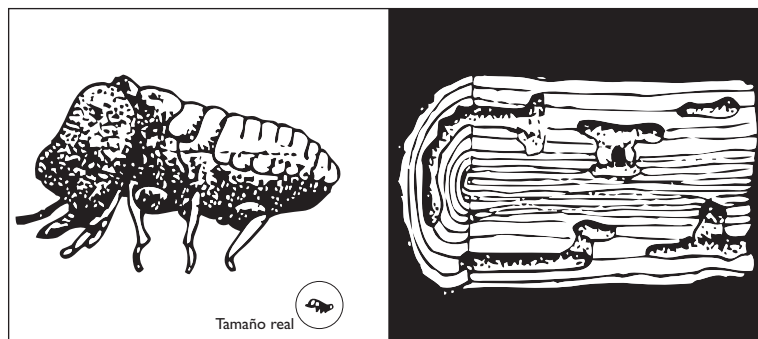
TIEMPO (MADERA PROTEGIDA A LA HUMEDAD DEL SUELO)		
Hasta 5 años	5 a 20 años	20 años o más
No durables	Moderadamente durables	Durables

14.3. Termites

Son los principales causantes del deterioro de la madera en uso. Abundan en las regiones tropicales, pero también se encuentran en gran parte de las zonas templadas del mundo. Invaden la madera y forman colonias organizadas donde suele haber tres castas: reproductores, soldados y obreros. Se alimentan indirectamente de la lignina y celulosa, cuyos fragmentos son digeridos por millares de protozoos que poseen en su interior, los cuales los convierten en sustancias alimenticias. Hacen daños considerables en las estructuras de las construcciones que atacan. El instinto protector de los insectos evita que destruyan la madera al punto de romperse por su propio peso. Son los más nocivos de la madera en uso. Actúan en toda la subregión desde los 0 m hasta alrededor de los 1500 msnm. No requieren de fuente de agua cercana. Son alados, por lo que pueden alcanzar a la madera en cualquier lugar y suelen desprenderse de sus alas (Figura 1.51).

Termites de madera seca

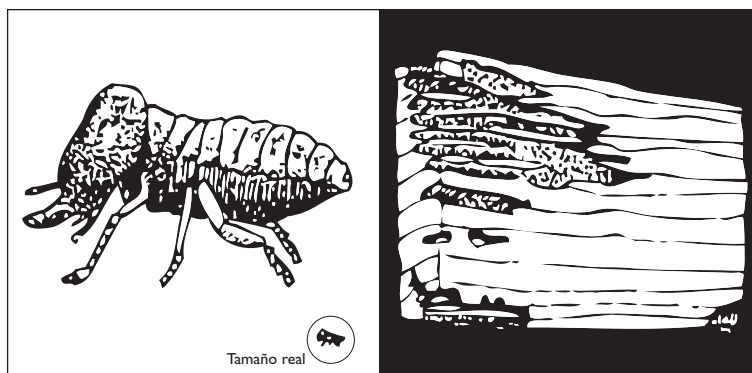
FIGURA 1.51



Actúan en la zona tropical húmeda. Atacan madera verde cercana a fuentes de agua subterránea, a través de delgados túneles que construyen hasta llegar a la madera, perforada siguiendo la dirección de las fibras (Figura 1.52).

Termites subterráneos

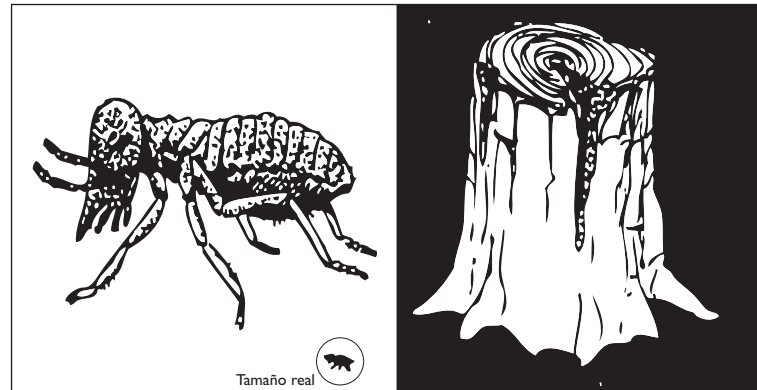
FIGURA 1.52



Se encuentran solamente en la zona tropical húmeda. No requieren de una fuente de agua cercana a sus nidos; atacan partes muertas de árboles, madera de construcciones o la apilada, pero nunca árboles vivos de vigor normal (Figura 1.53).

Termitas de nido aéreo

FIGURA 1.53



14.4. Control

Las medidas preventivas son las más recomendables. En construcciones, el empleo de diseños adecuados y el establecimiento de barreras que impidan el paso de los insectos, constituyen sistemas de protección eficaces. En caso de haber termitas subterráneas, se recomienda el uso de sustancias tóxicas en el suelo alrededor y debajo de la construcción. Asimismo, la madera debe estar tratada con sustancias preservantes en lugares donde haya mayor riesgo de ataque.

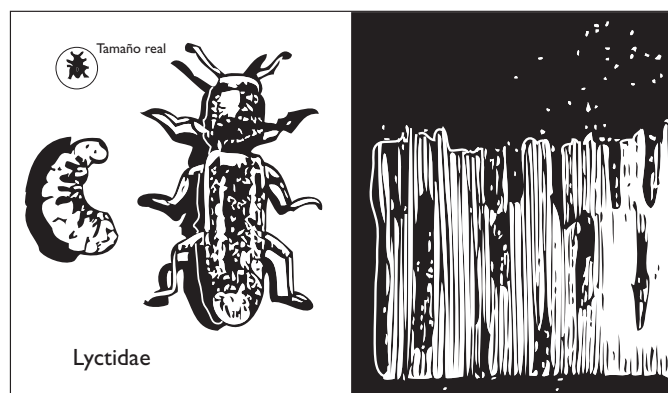
14.5. Pulverizadores

14.5.1. Lyctus

Atacan la albura de especies latifoliadas, de preferencia a la madera seca con alto contenido de almidón. El daño es causado por las larvas que horadan la madera mientras buscan su alimento. Los residuos producidos se acumulan en forma de pequeñas pilas de polvo fino, en el exterior de los orificios de salida, lo que constituye un indicio evidente de su presencia en la madera. Los adultos emergen o infestan otras maderas cuando depositan los huevos en poros o grietas superficiales (Figura 1.54).

Pulverizadores típicos: lyctus

FIGURA 1.54

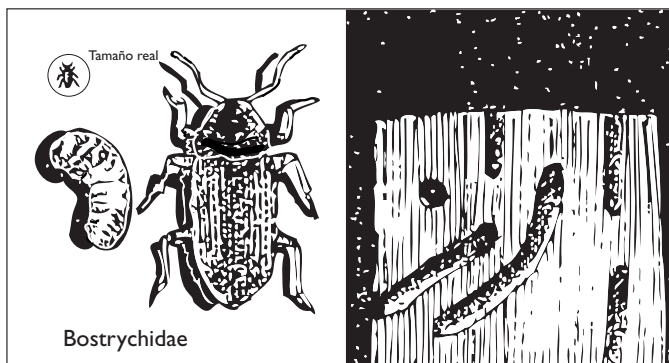


14.5.2. Bostrichidos

Se encuentran en toda la subregión; atacan, igual que los lyctus, la albura de latifoliadas y prefieren madera seca con alto contenido de almidón. También producen el polvillo fino característico de los pulverizadores. Se diferencia de los lyctus, porque el insecto adulto deposita sus huevos en galerías subterráneas perforadas bajo la superficie de la madera (Figura 1.55).

Pulverizadores típicos: bostrichidos

FIGURA 1.55



14.5.3. Control

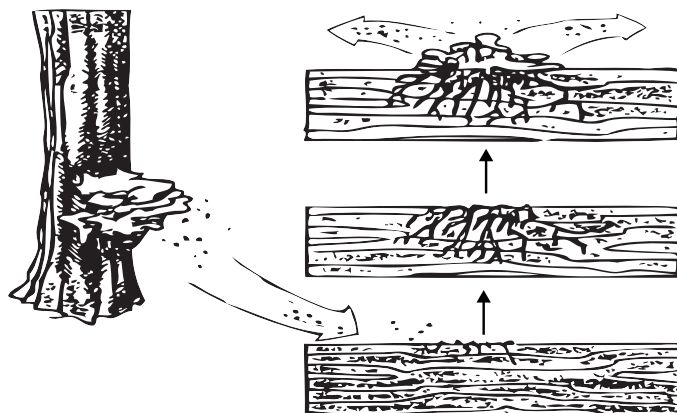
Para controlar el ataque de los pulverizadores en las construcciones, es recomendable utilizar madera preservada o de durabilidad natural comprobada.

14.5.4. Hongos

Especies de plantas inferiores que constituyen formaciones microscópicas, parecidas a hilos, que invaden a la madera. Al no poder sintetizar su propio alimento, se valen de las sustancias almacenadas en las cavidades de las células o en las paredes de éstas. Se reproducen por medio de esporas, las cuales son arrojadas hacia el interior de la madera; el aire las arrastra y, en condiciones adecuadas, germinan, con lo que inicia así un nuevo ciclo de descomposición (Figura 1.56).

Proceso de reproducción de hongos

FIGURA 1.56



- *Hongos xilófagos*: son el grupo más importante, capaces de desintegrar las paredes de las células. Cambian las características físicoquímicas mientras alteran la materia y dan lugar a la pudrición; la cual puede ser: café, cuando el ataque se encuentra en la celulosa, o blanca, cuando se extiende a la lignina y celulosa (Figura 1.57).

Hongos xilófagos

FIGURA 1.57



- *Hongos cromógenos*: originan variación de color, sin afectar de manera notable la continuidad y textura de la madera. El tipo más común es el llamado *mancha azul*, aun cuando también se encuentran coloraciones de tonos gris, verde y café. El hongo obtiene su alimento de las sustancias almacenadas en las cavidades celulares de la albura (Figura 1.58).

Hongos cromógenos

FIGURA 1.58



14.6. Control

En madera aserrada, se recomienda reducir, lo antes posible, el contenido de humedad y usar alguna sustancia tóxica para protegerla durante el apilado. Para madera en uso, se recomienda que sea resistente, preservada y aislada de las fuentes de humedad.

14.7. Sustancias preservantes

Son sustancias químicas usadas normalmente en soluciones que, al ser aplicadas a la madera, le imparten características de durabilidad frente al ataque de hongos e insectos. Se pueden diferenciar dos grupos principales: solubles en agua y solubles en solventes orgánicos. A título informativo, se presenta, a continuación, un resumen de los tipos de preservantes, los métodos de aplicación y uso.

Tipos de preservantes, métodos de aplicación y uso

CUADRO 1.2

TIPOS DE PRESERVANTE	PRESERVANTE	MÉTODOS DE APLICACIÓN	RECOMENDACIONES DE USO
HIDROSOLUBLES Solubles en agua Se lixivian fácilmente en contactos con suelos o ambientes húmedos, a menos que se incorpore en la sal un elemento que permita formar un compuesto estable que se fije en la madera, tal como cromo o sal de cromo	LIXIVIALES (Arsentato de sodio, bórax, ácido bórico, mezclas de ambos, fluoruro de sodio, sulfato de cobre y cloruro de zinc)	Difusión Vacío Presión Inmersión	Apropriadas para madera usada en interiores Permiten el empleo de recubrimientos como pintura o barniz No son recomendables para madera usada en exteriores o en contacto con el suelo
	NO LIXIVIALES Sales de cobre, cromo, boro (CCB) Sales de cobre, cromo, arsénico (CCA) Cromo-cloruro de zinc	Vacío Presión Inmersión	Apropriadas para maderas destinadas a uso interior o exterior y en contacto con el suelo. Permiten el empleo de pinturas o barnices
OLEOSOLUBLES Solubles en solventes orgánicos (petróleo combustible) Son estables y resisten la lixiviación en madera expuesta a la intemperie	Creosota Pentaclorofenol Naftanato de cobre	Baño caliente-frío Vacío Presión Sistema Boulton*	Apropriados para maderas a ser usadas en la intemperie y en contacto con el suelo. No se recomienda el empleo de pinturas o barnices

* Proceso aplicado para impregnar postes verdes, el cual consiste en sumergir la madera en creosota a temperatura ligeramente superior a 100°C, al aplicar vacío en una autoclave o cilindro de impregnación, para luego inyectar el preservante a presión.

14.8. Durabilidad adquirida y sustancias preservantes

Para proteger la madera susceptible al ataque de organismos xilófagos, se puede recurrir al empleo de sustancias químicas, en determinada concentración tóxica para los hongos e insectos. Dichas sustancias pueden ser aplicadas por diferentes procedimientos y proporcionan un cierto grado de durabilidad a la madera. La albura, al ser permeable, es fácilmente penetrada por líquidos preservantes y puede adquirir características de durabilidad similar y aún superior al duramen de una especie dada.

14.9. Métodos de preservación de la madera

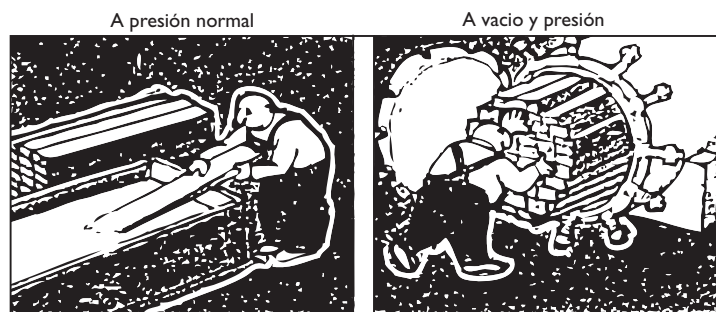
- A presión normal.
- Empleo de vacío y presión.
- Mediante diseño apropiado.

En caso de que la madera no posea una durabilidad natural o resistencia a los ataques biológicos, se requiere de:

- Aplicación de sustancias preservantes en la madera (Figura 1.59):

Aplicación de sustancias preservantes: a presión normal y variada

FIGURA 1.59

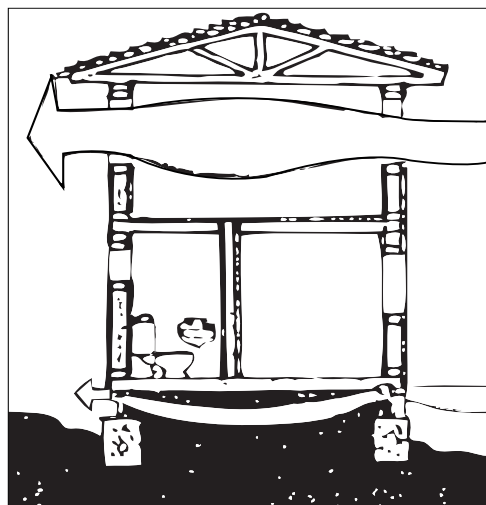


- También puede ser defendida del ataque de hongos e insectos xilófagos, al tomar las siguientes precauciones en el diseño (Figura 1.60):

- Aislar la edificación del terreno húmedo.
- Evitar filtraciones y condensaciones por daños en la propia edificación o en sus instalaciones interiores.
- Utilizar barreras anti termes.

Elementos de protección en el diseño

FIGURA 1.60



14.10. Métodos de preservación a presión normal

Existen varios métodos para aplicar los preservantes. La efectividad de un tratamiento depende de la cantidad de preservante introducida en la madera, pues, a mayor penetración el tratamiento será más efectivo.

14.10.1. Brocha y aspersion

En ambos métodos, se aplica el preservador mientras se procura empapar completamente la superficie para impregnarla al máximo. Se utilizan soluciones en agua o petróleo y, en ambos casos, se obtiene sólo penetración superficial y una protección poco eficaz. Este tratamiento es de poca utilidad para maderas colocadas en obra, ya que las zonas más favorables al ataque de organismos xilófagos no se encuentran accesibles al operador. Es acertada su aplicación en superficies expuestas después de cortar o desbastar la madera tratada.

14.10.2. Inmersión

Consiste en sumergir la madera seca en una solución preservante durante un tiempo determinado. Puede ser:

- *Inmersión momentánea*: aplicada durante unos pocos segundos o minutos y se utiliza especialmente para la protección contra hongos cromógenos, al emplear pentaclorofenato de sodio.
- *Inmersión en soluciones acuosas*: se sumerge la madera en un tanque con preservador disuelto en agua y se deja varios días o semanas a temperatura ambiente.
- *Inmersión en soluciones oleosas frías*: generalmente se usa pentaclorofenol; el tiempo de inmersión es de 2 a 7 días.
- *Baño caliente y frío*: sucesivos en recipientes con líquido preservante oleoso. Normalmente, se introduce la madera durante unas 5 horas en el preservante caliente, luego se deja enfriar el preservante o se pasa la madera a otro recipiente con preservante frío, por 12 horas o más.

14.10.3. Difusión

La madera verde y húmeda se sumerge, por dos horas o más, en sustancias preservantes solubles en agua, luego se acomoda en pilas compactas y tapadas herméticamente con material impermeable u otra materia adecuada para evitar la pérdida de humedad. Durante este período, las sales hidrosolubles penetran en la madera verde al difundirse en el agua que ésta contiene. El preservante también puede aplicarse en forma de pasta cuando no sea fácil la inmersión de la madera.

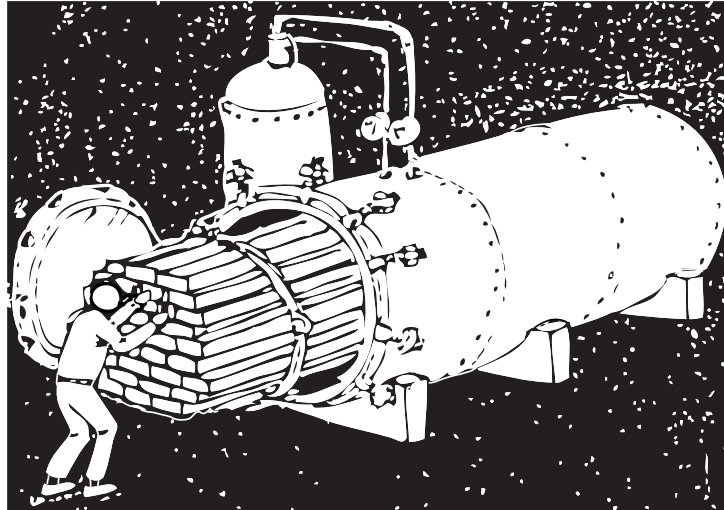
14.11. Método de preservación con empleo de vacío y presión

Se utiliza a escala industrial. Con este método, puede regularse la penetración y la absorción del preservante, al obtenerse un tratamiento más seguro y permanente. La madera se apila sobre carros de acero y se introduce en un gran cilindro o autoclave; éste se cierra herméticamente, a veces se hace un vacío inicial y se llena el tanque con el preservante.

Seguidamente, se aumenta la presión para forzar su penetración en la madera y finalmente se hace un vacío leve para eliminar el exceso de preservantes (Figura 1.61).

Sistema industrial de preservación

FIGURA 1.61

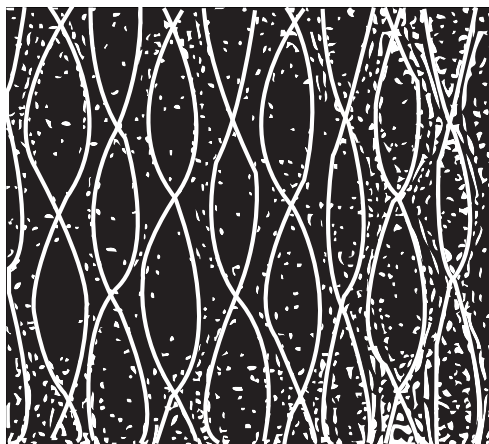


14.11.1. Formas de aplicación

- *A célula llena:* cuando se desea obtener una retención máxima de la sustancia preservante en la madera. Su proceso consiste en eliminar el aire del interior del cilindro y de la madera de forma simultánea; se introduce el preservante sin romper el vacío y se aplica presión hasta obtener la absorción deseada; luego se hace un vacío leve para extraer el exceso de preservante (Figura 1.62).

Aplicación de preservante a célula llena

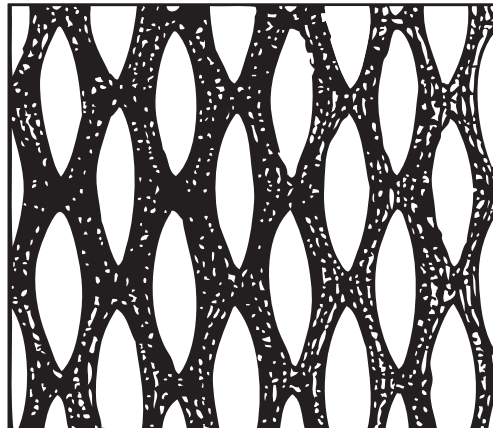
FIGURA 1.62



- *A célula vacía:* cuando se requiere una penetración profunda y baja retención del preservante. Su proceso consiste en no emplear vacío inicial. Al aplicar el preservante a presión, el aire queda atrapado en las celdillas de la madera y las células tienden a recubrirse del preservador en vez de llenarse de él; al ceder la presión y hacerse el vacío final, el aire contenido se expande y rechaza entre un 20 y 40% del preservante, que es recuperado (Figura 1.63).

Aplicación del preservante a célula vacía

FIGURA 1.63



En ambos métodos, pueden utilizarse compuestos hidro y oleosolubles. En el caso de los compuestos oleosolubles, pueden ser aplicados en frío o en caliente. Para obtener una mejor penetración y absorción, la madera debe ser previamente secada por lo menos hasta un contenido de humedad de 25%. En caso de usar sustancias hidrosolubles, la madera deber ser secada nuevamente después del tratamiento.

15. Aspectos a considerar en el diseño

En el diseño de edificaciones de madera, se deben tener en cuenta ciertas pautas que ayuden a prolongar su vida útil. La madera utilizada debe estar seca, libre de infecciones y ser debidamente tratada, a no ser que sea una especie de conocida durabilidad natural. Además, se eliminarán posibles focos de infección en el terrero y se evitará la construcción en zonas prolongadamente húmedas, oscuras y abrigadas, donde se condensa la humedad, la cual predispone a la madera al ataque de hongos e insectos. Para ello, es necesario:

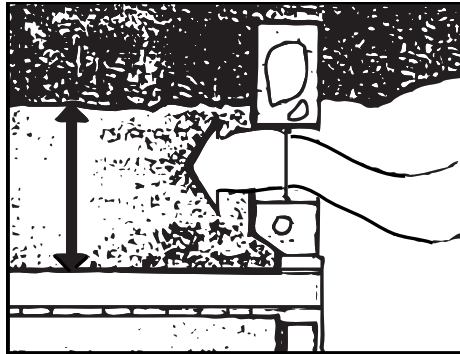
- a. Evitar filtraciones de agua de lluvia en los techos y las paredes rajadas o mal talladas (Figura 1.64).

Ausencia de filtraciones

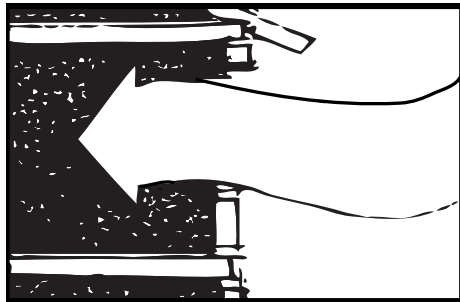
FIGURA 1.64



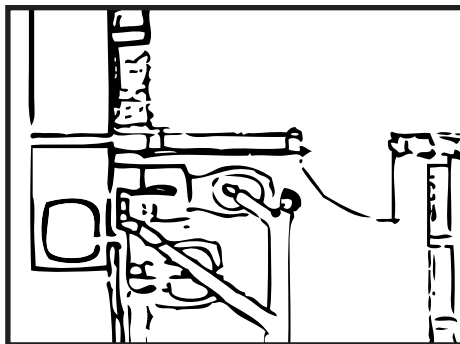
- b. Aislar la madera de la tierra húmeda por lo menos en 50 cm, para procurar que el aire circule la madera (Figura 1.65).

Aislamiento de la madera del suelo**FIGURA 1.65**

c. Iluminar y ventilar adecuadamente todas las habitaciones, a fin de evitar las condensaciones (Figura 1.66).

Sistema de ventilación**FIGURA 1.66**

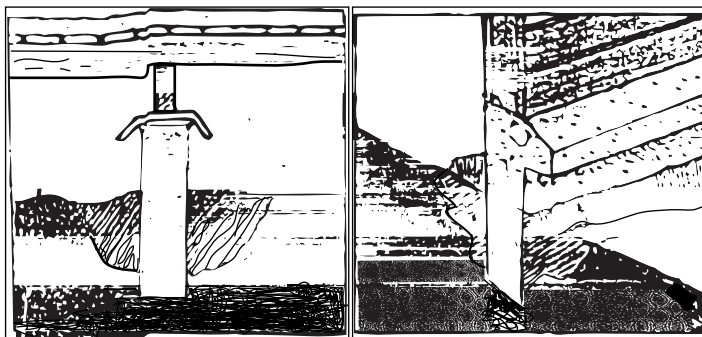
d. Concentrar aparatos sanitarios para disminuir el riesgo de fuga (Figura 1.67).

Instalación de equipos sanitarios**FIGURA 1.67**

e. Evitar el acceso de termes subterráneos, al proteger las bases de la edificación, con escudos metálicos o de hormigón, o al agregar compuestos químicos en mezcla con el suelo (Figura 1.68)

Aislamiento mediante escudos metálicos y de hormigón

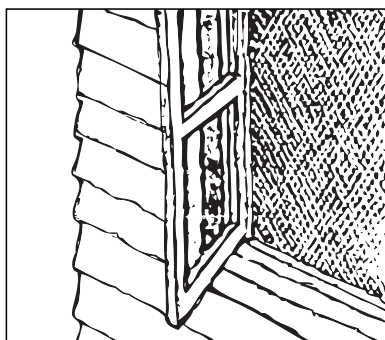
FIGURA 1.68



f. Colocar mallas anti-termes en puertas y ventanas, a fin de impedir el ataque a la madera no tratada en el interior de la edificación (Figura 1.69).

Protección de la madera no tratada contra depredadores externos

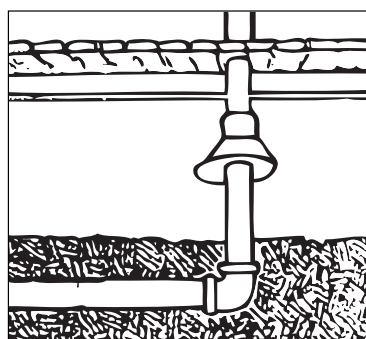
FIGURA 1.69



g. Colocar collares metálicos con preservante en las tuberías que ingresan a la edificación (Figura 1.70).

Uso de collares en tuberías

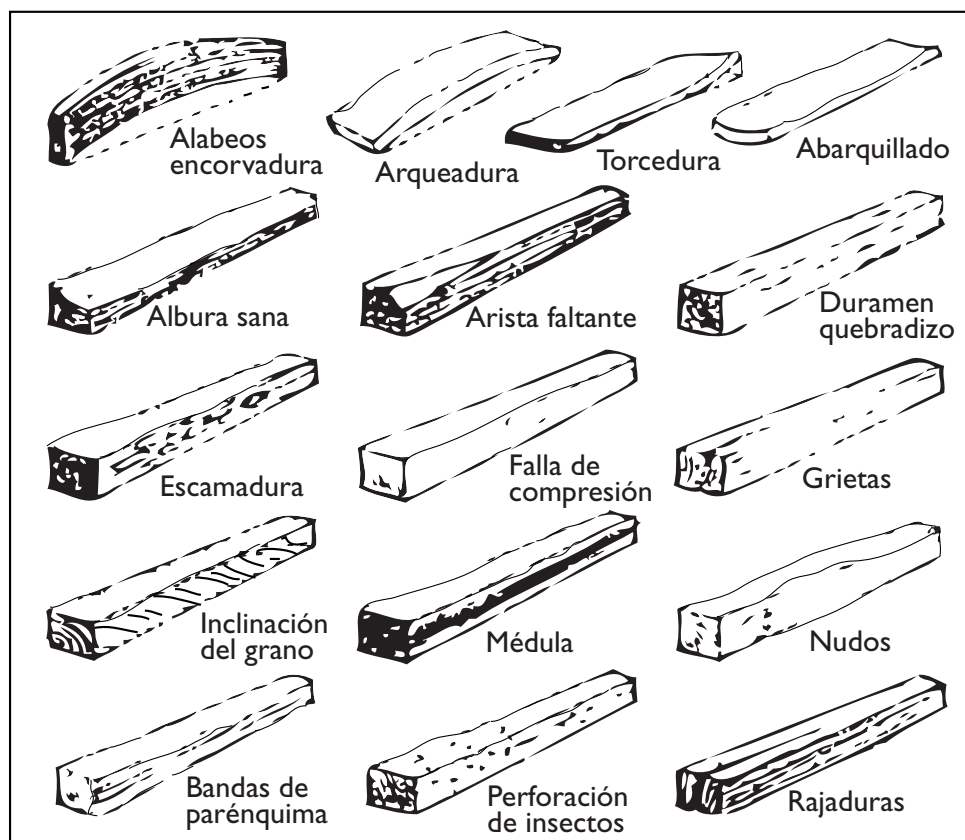
FIGURA 1.70



15.1. Clasificación visual por defectos

Los defectos son anomalías o irregularidades que afectan el comportamiento estructural y la apariencia de la madera.

Aquéllos que se toman en cuenta para clasificar la madera son (Figura 1.71):

Principales defectos y anomalías de la madera**FIGURA 1.71****15.2. Clasificación por resistencia**

Cuarenta y seis especies tropicales de la subregión, aptas para uso estructural, han sido clasificadas de acuerdo con su resistencia mecánica, en tres grupos designados por las letras A, B y C. Al grupo A, corresponden las especies más resistentes; al grupo B, aquellas especies con características intermedias y, al grupo C, las especies con menor resistencia mecánica.

Hay una relación marcada entre la densidad de la madera y sus propiedades mecánicas. Por esta razón, la clasificación en los tres grupos estructurales corresponde aproximadamente a los siguientes rangos de densidades: grupo A, de 0,71 a 0,90; grupo B, de 0,56 a 0,70 y grupo C, de 0,40 a 0,55.

Mediante el uso de la regla de clasificación por defectos, el usuario puede escoger madera de cualquiera de los tres grupos, para utilizarla en estructuras. Por ejemplo, si se dispone de un lote de madera perteneciente a una de las 46 especies agrupadas por resistencia, el constructor, a través de la regla de clasificación visual, debería seleccionar como piezas estructurales aquellas libres de defectos o con los permitidos por dicha regla. Las piezas que no cumplan con la regla de clasificación visual, y cuya magnitud de defectos no sea tan grande, podrán usarse como elementos o componentes no estructurales. Las piezas que presenten exceso de defectos, no deben ser utilizadas en la construcción y se consideran como madera de rechazo.

16. Papel

El papel es una hoja o lámina delgada formada por elementos fibrosos, la mayor parte, entrelazados y además unidos por otros productos no fibrosos. Se inventó en China a principios de nuestra era y, hasta el siglo XII, no se generalizó su fabricación en Europa. España fue uno de los primeros países en producirlo, pues en Játiva se comenzó su fabricación durante el siglo XI. Es una de las materias básicas de la civilización moderna, cuyo consumo, por individuo, constituye un índice de desarrollo económico de las naciones (Cuadro 1.3). En la actualidad, se consumen más de 150 millones de toneladas de papel por día en todo el planeta. El papel se utiliza principalmente para escribir, imprimir y embalar, aunque tiene otras aplicaciones no menos importantes, como los papeles fotográficos, los soportes para abrasivos (papeles de lija), los papeles para fabricación de aislantes (aislamiento de cables, de pares telefónicos, etc.), para el empapelado de habitaciones, entre otros.

Consumo del medio de papel, por países

CUADRO 1.3

PAPEL (KG/HABITANTE)	
Estados Unidos	274
Canadá	221
Suecia	203
Dinamarca	167
Suiza	151
Holanda	148
Alemania	143
Japón	142
Noruega	136
Bélgica	134
Inglaterra	130
Finlandia	130
Australia	125
Italia	81
España	61
Portugal	39
Argentina	31
Brasil	23

16.1. Primeras materias para la fabricación del papel

El papel está formado por dos clases de materiales: los fibrosos y los no fibrosos. *Los fibrosos* constituyen las denominadas pastas de papel, compuestas por fibras extraídas de materias vegetales, animales y minerales. *Los no fibrosos* son las cargas minerales, las colas, los aprestos y los productos colorantes.

16.1.1. Materiales fibrosos

Las pastas de papel son, en realidad, productos intermedios, porque las verdaderas materias primas fibrosas, en la fabricación de papel, son las materias naturales. Sin embargo, la moderna industria papelera parte de las pastas generalmente, para la fabricación de papel; por tanto, corre la producción de éstas a cargo de las denominadas fábricas de celulosa.

Teóricamente, puede producirse papel de cualquier material fibroso y, así, podrían clasificarse las materias fibrosas papeleras en tres clases:

- *De origen vegetal*, procedentes de plantas de desarrollo súper-anual, como los árboles (abeto blanco o rojo, pino, abedul, chopo, haya, eucaliptus) y de plantas de desarrollo anual (paja, esparto, bambú, etc.).
- *De origen animal*, poco utilizados, como la lana.
- *De origen mineral*, sólo se emplean las fibras de amianto y de vidrio, para crear papeles especiales.

También se emplean trapos, cuerdas y suelas de alpargatas de cáñamo, etc., solos o con otras pastas, recortes de papel y papeles viejos siempre mezclados con pastas más nobles, en la fabricación de papel.

Con gran diferencia, las fibras más utilizadas son las de origen vegetal, hasta el punto de que ordinariamente sólo se considera, como pasta de papel, la derivada de las fibras vegetales. La de origen vegetal está constituida casi en su totalidad por celulosa, compuesto orgánico de fórmula general $(C_6H_{10}O_5)_n$, cuyo índice "n" depende del grado de polimerización de la celulosa, el cual obedece, a su vez, a la clase de planta que la origina.

16.1.1.1. Pastas mecánicas

No se clasifican según su origen, sino por el procedimiento de obtención en cuatro clases: pastas mecánicas, pastas semiquímicas, pasta mecánico-químicas y pastas químicas.

Se obtienen siempre de la madera, generalmente de pino, abeto, álamo o abedul. Una vez descortezados los troncos se desfibran mecánicamente y se obtiene una pulpa o pasta que deshidratada representa 80-85% del peso de la madera sacada. Así se obtienen las denominadas *pastas mecánicas, crudas o normales*. Las pastas mecánicas pueden blanquearse con un agente blanqueante, oxidante o reductor; de este proceso se obtienen las *pastas mecánicas blanqueadas*.

Antes de proceder al desfibrado de los troncos, pueden cocerse al vapor una vez descortezados, a fin de disolver las materias incrustantes que, reducidas a ácido acético o fórmico, etc., se extraen por lavado. Este proceso colorea de un tono pardo la pasta, por eso las pastas obtenidas a través de este procedimiento se denominan *pastas mecánicas pardas*. Su rendimiento oscila entre 65 y 80%.

Las pastas mecánicas están compuestas de celulosa, muy impurificada por lignina y otras materias incrustantes. Por eso, no se emplean solas para la fabricación de papel, sino mezcladas con pastas químicas.

- *Pastas mecánico-químicas*: se obtienen por desfibrado mecánico, complementado con tratamiento químico.
- *Pastas semiquímicas*: se obtienen por tratamiento químico incompleto de las materias fibrosas. Son de difícil blanqueo
- *Pastas químicas*: están formadas por celulosa pura. Se obtienen generalmente de los desperdicios de la madera o de la paja de cereales, a los que se someten a tratamiento químico para eliminar la materia incrustante que une y hace quebradizas las fibras de las plantas. Esta operación puede realizarse mediante dos procedimientos que resulta en dos clases de pastas químicas: (a) por el procedimiento ácido, se obtienen las pastas al bisulfito, y (b) por el procedimiento alcalino, se obtienen las celulosas a la sosa, al sulfato y al monosulfito, según el reactivo empleado.
 - *Las celulosas al bisulfito* se obtienen de los desechos de la madera tratados con bisulfito cálcico, el cual, con la lignina que une las fibras, forma lignosulfatos solubles y, por tanto, eliminables por lavado. El rendimiento puede llegar a 45% en peso de la madera tratada.
 - *Las celulosas a la sosa* se obtienen principalmente de plantas anuales, como la paja de cereales, esparto, etc., aunque también de la madera. Para esto, se cuecen las plantas con sosa cáustica. El rendimiento es algo inferior al obtenido por vía ácida.
 - *Las celulosas al sulfato* se obtienen al cocer las materias fibrosas con sosa y sulfuro sódico. Una variedad de las pastas al sulfato son las celulosas kraff, empleadas para fabricar papeles de alta resistencia utilizadas en embalajes.
 - *Las celulosas al monosulfito* se obtienen con sosa, en medio reductor. Después de obtenidas las pastas químicas, por cualquiera de los procedimientos indicados, pasan a deshidratadores que las desmenuzan y después a cribas, donde las pastas van espesándose por escurrido y succión del agua.
- *Pastas de trapos*: las pastas químicas pueden someterse a un tratamiento complementario para refinarlas, con lo que se obtienen las pastas nobles. Las cuerdas, las alpargatas, etc., constituyen una clase especial de pastas obtenidas al someter estos materiales a una limpieza previa en batanes o tambores de limpieza. Después, se desmenuzan en trituradoras, se cuecen con sosa cáustica o cal viva para eliminar aprestos, la grasa y las materias colorantes, hasta que, por último, se lavan y desfibran.

16.1.1.2. Blanqueo de las pastas

Las pastas de papel pueden ser blanqueadas en una operación que, al mismo tiempo de mejorar su presentación y la del papel a cuya fabricación se destinan, eliminan sus impurezas. Las pastas mecánicas, al contrario, se suelen blanquear con ácido sulfuroso (blanqueo por reducción) y con hidrosulfito o agua oxigenada. Las pastas semiquímicas y químicas, con hipoclorito cálcico.

16.1.2. Materiales no fibrosos

16.1.2.1. Las cargas

Los productos denominados *cargas* tienen como misión rellenar los vacíos existentes entre las fibras, para dar al papel superficies uniformes/lisas y reducir, al mismo tiempo, su transparencia, cuando aumenta su brillo y mejora la escritura o impresión. Como los productos utilizados en las cargas son más baratos que las materias fibrosas, se abusa de su empleo a veces, a fin de sustituir a éstas y abaratar el papel.

Un papel cargado en exceso tiene menos resistencia mecánica, mala capacidad para encolado y, en general, una vida más corta que el papel con carga adecuada. La cantidad de materiales utilizados como carga se valora aproximadamente por su contenido de cenizas. En el Cuadro 1.4, puede apreciarse el porcentaje de cenizas y, por tanto, el porcentaje de carga que contienen algunos tipos de papel:

Contenido de cenizas equivalentes a la carga de algunos tipos de papel

CUADRO 1.4

PAPELES PARA IMPRESIÓN	2–6 %
PAPELES PARA PRENSA	12–15 %
PAPELES PARA ILUSTRACIÓN	10–15 %
PAPELES PARA ESCRITURA	8–13 %
PAPELES PARA DIBUJO	9–10 %

Los materiales más empleados como cargas son: *los caolines*: de fórmula aproximada $(Al_2O_3) - (2SiO_2) - (H_2O)$; *el talco*: silicato magnésico de fórmula $(SiO_3)_4 (Mg_3H_2)$; *el blanco de titanio*: óxido de titanio (TiO_2) ; *el blanco fijo*: llamado también blanco de barita, sulfato de bario (SO_4Ba) ; *la creta*: carbonato cálcico (CO_3Ca) , que favorece la combustibilidad del papel de fumar, etc.

16.1.2.2. Colas y aprestos

Tienen por objeto unir las cargas a las fibras y proteger éstas de la humedad. El encolado puede efectuarse en las pilas donde mezclan los productos que componen el papel o, posteriormente, por impregnación superficial de las hojas de papel acabado.

El producto más empleado para el encolado es una resina denominada *colofonia*, obtenida por destilación de la resina bruta de pino. Como la colofonia es insoluble en el agua, se saponifica con carbonato sódico o sosa cáustica.

16.1.2.3. Productos colorantes

Los productos colorantes se emplean para alterar la tonalidad natural del papel y darle el más adecuado para la utilización a que se destina. También se emplean para aumentar la blancura del papel. Los colorantes pueden ser minerales u orgánicos, de los cuales los principales son las anilinas.

16.2. Fabricación de papel

Abarca tres operaciones fundamentales:

16.2.1. Refino de pasta y mezcla de los componentes

La primera operación que se realiza para la fabricación del papel es el refino y humedecimiento de la pasta y la mezcla de las cargas, colas y colorantes necesarios.

16.2.2. Formación de la hoja de papel

La hoja de papel se forma por tres procedimientos principales: *a mano*, *en máquina redonda* y *en máquina plana*

- *A mano*: es la formación más antigua y actualmente casi no se emplea más que para la fabricación de papeles especiales. Se introduce al operario un marco con tela metálica denominado *forma* en la tina que contiene la pasta. Al levantarlo, se escurre el agua y queda una lámina de pasta sobre la tela que se seca en prensa de mano antes de retirarla de la *forma*.
- *La máquina redonda*: se emplea para fabricar algunos tipos de papel y cartón. Consiste en el empleo de un tambor de tela metálica con eje horizontal sobre el que incide una corriente de pasta acuosa que va dejando las fibras celulósicas sobre la superficie del tambor mientras va filtrándose el agua en su interior. Una tela de fieltro transporta la lámina de pasta formada a un cilindro donde se prensa y arrolla, a medida que se forma así el papel en hojas.
- *Las máquinas planas*: son las más empleadas. Fueron inventadas en 1779 y son capaces de fabricar papel continuo y de longitud indefinida, hasta de 6 m de ancho, a una velocidad de 600 m por minuto. Estas máquinas tienen una longitud, a veces, de más de 100 m. Fundamentalmente, estas máquinas trabajan con una cinta transportadora, de tela metálica de bronce fosforoso, sobre la que se va extendiendo la pasta uniformemente en la cantidad necesaria para producir una capa del grueso adecuado. La pasta, en forma ya de lámina, va perdiendo agua, a medida que la cinta avanza por goteo y aspiración. Cuando el papel transportado por la cinta de la tela metálica llega a alcanzar consistencia suficiente, es transferido a otras cintas de fieltro de lana, que lo desplazan por diferentes secciones, a fin de alcanzar su secado, por prensado, entre cilindros prensadores y calentamiento en cilindros secadores caldeados por vapor. Pasa, por fin, por cilindros enfriadores, los cuales neutralizan la electricidad estática acumulada por la fricción y después por las calandras (cilindros) de alisado y satinado; finalmente es arrollado en una bobina.

16.2.3. Acabado del papel

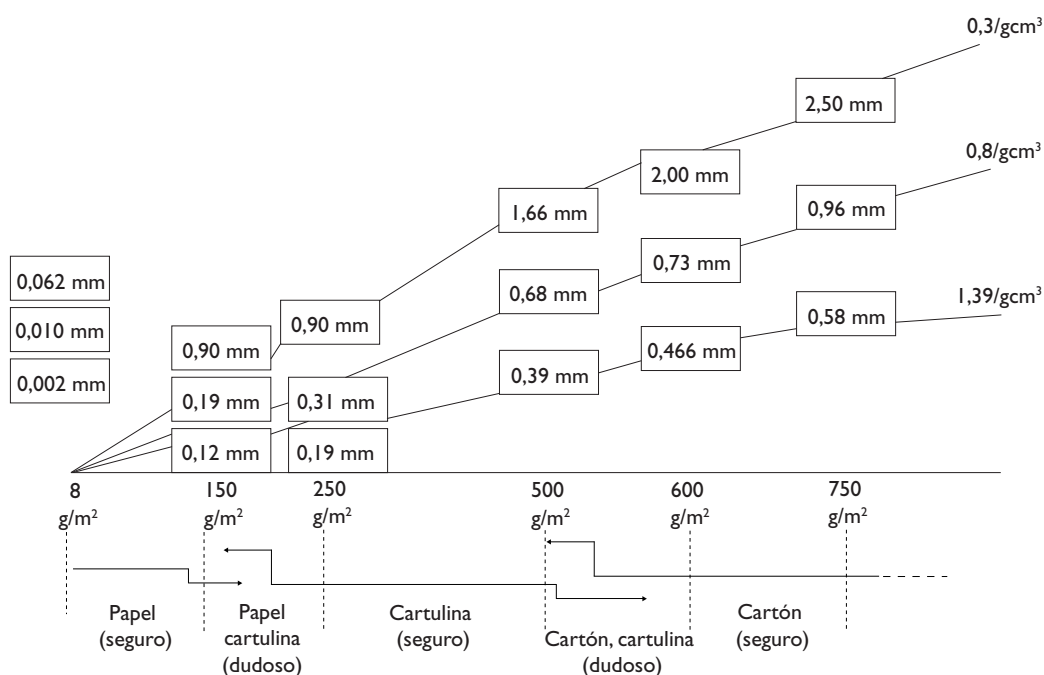
El papel, una vez fabricado, se examina cuidadosamente, se engoman las rasgaduras y suplen las porciones rotas, hasta enrollarlo finalmente en las bobinas que han de emplearse para su transporte. Si el papel ha de tener un satinado superior al que le da la máquina, se somete a una operación que se denomina *recalandrado*.

16.3. El cartón

El cartón es, en realidad, un papel grueso. No existen, sin embargo, normas fijas que diferencien exactamente los papeles de los cartones; pero se consideran *papeles* cuando tienen espesores inferiores a 0,20 mm y *cartones*, cuando tiene espesores superiores. Klemm ha tratado de concretar esta división al introducir la clase de cartulinas, intermedias entre ambos. En la Figura 1.72, se han representado los límites seguros y dudosos de cartones, cartulinas y papeles según sus espesores, pesos por cm³ y pesos por m².

Clasificación de papeles y cartones según su espesor y gramaje

FIGURA 1.72



Los cartones pueden fabricarse en hojas o en procedimiento continuo. Los cartones en hojas resultan del engrosamiento progresivo de una hoja inicial de un peso de 30 a 40 g/m², enrollada sobre el cilindro de una máquina redonda de papel sobre la que se va superponiendo hojas. Al llegar al grueso deseado, la hoja se separa del cilindro, se seca al aire y se somete a las operaciones de acabado. Este tipo de cartones se emplean en la construcción de maletas, generalmente barnizados y granulados; en calzados (contrafuertes, entre suelas, etc.), en cartuchos de escopetas, en moldes para la estereotipia, en la fabricación de cartones asfálticos impermeables, en las carrocerías de automóviles, en juntas o en la fabricación de cartón de amianto y aislantes (*presspan*, etc.).

Los cartones continuos se fabrican en máquinas enormes, de un modo similar al papel, lo que permite, en la fase final de su fabricación, darles los aprestos, coloraciones y verificar el encolado de hojas de papel en una o las dos caras del cartón. Por este procedimiento se fabrican cartones homogéneos, es decir, formados por una sola pasta, o cartones heterogéneos, formados por la unión de varias capas de distinta pasta en estado húmedo.

16.4. Clases de papeles

El perfeccionamiento de la fabricación del papel y las exigencias en cuanto a calidades específicas durante cada aplicación, han hecho proliferar las clases de papel que actualmente se fabrican, cuyas denominaciones no están normalizadas.

Para facilitar su estudio, pueden clasificarse a partir de su composición o aplicación. Pero como la composición está relacionada con la aplicación de los papeles, adoptaremos una clasificación mixta (Ver Cuadro 1.5).

Clases de papel y cartón

CUADRO 1.5

COMPOSICIÓN	CLASES
I. Sólo trapo	1ª Papel de barba 2ª Papel de fumar 3ª Papeles delgados de copias y envolver (sedas, manilas y cristal) 4ª Papeles de dibujo (ingres, acuarela, whatman, canson, vegetal)
II. Sólo trapo, con mezcla de celulosa o sólo celulosa	5ª Papeles fotográficos y heliográficos (ozalid, ferroprusiato) 6ª Papeles filtros y secantes 7ª Papeles de escritura (registro y cartas) 8ª Papeles de impresión (cromos, biblia, litos, ciceros, couché, printing, pluma, huecograbado y offset)
III. Pastas mecánica y celulosa	9ª Papel para prensa y para empapelar 10ª Papeles recios de embalaje (kraft, celulósicos e inglés)
IV. Recortes de papel y pastas	11ª Papeles ordinarios de embalaje (estraza y papelotes) 12ª Cartones y cartulinas (gris y madera)
V. Materias vivas	13ª Papeles y cartones especiales de paja, de amianto, de cuero de tela, ondulados, soportes para abrasivos, etc.

Las características fundamentales de cada clase de papel son las siguientes:

16.4.1. Primera clase: papel de barba

Denominado así por producirse barbas en los bordes de las hojas. Este papel se fabricaba a mano y, actualmente, en máquinas redondas, con pasta exclusivamente de trapo, en su mayor parte, de algodón. Se emplea este papel en documentos notariales, papeles de valores, acciones, papeles de música, etc.

Generalmente, llevan marcas en forma de escudos, nombres comerciales o iniciales, visibles al trasluz, denominados *marcas al agua*.

16.4.2. Segunda clase: papel de fumar

La primera cualidad de este tipo de papel es no tener mal sabor, ni mal olor, al quemarse; asimismo, debe arder con la mayor facilidad. Se fabrica en máquina plana, con pastas de cuerdas o trapos de lino, cáñamo, algodón, etc. Una composición típica es de 75% de cáñamo o lino, 10% de recortes de papel de fumar y 15% de algodón. Su carga es, usualmente, carbonato magnésico ($\text{CO}_3 \text{Mg}$), que facilita la combustión del papel.

16.4.3. Tercera clase: papeles delgados de copias y de envolver

Sus características comunes son: poco peso, comprendido entre 10 y 32 gr/m², la buena calidad de los materiales que los componen (yute, algodón, cáñamo, etc.) y una elaboración bastante cuidadosa, con lo que se obtienen notables longitudes de rotura y del orden de los 4 m. Estos papeles se emplean todavía en copias de máquina, con la denominación de *copia seda*. El papel de envolver, también denominado *manila*, se fabricaba antes sólo con fibra de cáñamo de manila o abacá, pero actualmente se fabrica con yute, esparto, etc.

El *papel cristal* se fabrica con algodón y alguna mezcla de otras celulosas; luego se trata con ácido sulfúrico ($\text{SO}_4 \text{H}_2$) o cloruro de zinc ($\text{Cl}_2 \text{Zn}$), que lo endurece y hace transparente. Se utiliza en el empaquetado de productos farmacéuticos. Una variedad de este tipo de papel, peor acabado pero también sulfurizado, es el *papel grasa* o pergamino grasas, el cual es traslúcido y muy impermeable a las grasas, por lo que se emplea en el empaquetado de mantequilla, etc.

16.4.4. Cuarta clase: papeles de dibujo

Deben tener gran resistencia al frote de la goma borradora y admitir los pliegues o despliegues sin romperse. Además, no deben alterarse ni modificar los colorantes y aguadas que reciban. Se componen de pasta de trazo, sola o con celulosa. Las variedades gruesas son de 120 a 200 g/m² y abarcan los denominados papeles ingles, acuarela y *whatmann*, fabricados en máquina redonda y llevan encolado superficial, o el Canson, producido en máquina plana y encolado fuertemente.

Entre los papeles de dibujo finos, de 50 a 100 gr/m², el más utilizado es el *papel vegetal*, formado por pasta de algodón sulfurizado con ácido sulfúrico rico ($\text{SO}_4 \text{H}_2$) o cloruro de zinc ($\text{Cl}_2 \text{Zn}$) los cuales, similar al papel cristal, le dan un acabado duro y lo hacen traslúcido. No lleva carga.

16.4.5. Quinta clase: papeles fotográficos y heliográficos

Los *fotográficos* son los papeles soportes de las emulsiones sensibles a la luz que, mediante el revelado, hacen visibles las imágenes positivas de los clisés o negativos.

Estos papeles deben estar totalmente exentos de hierro y herrumbre, porque descomponen la emulsión y producen manchas. Esto se consigue al revestir las cubas de hierro que surgen al estar en contacto con las pastas, o al emplear otras clases de metales, como bronce, etc.

Los *heliográficos* son los destinados a la obtención de copias de planos mediante la acción de la luz ultravioleta, natural (del sol) o artificial (vapor de mercurio) que, al pasar con más o menos intensidad a través del dibujo realizado en papel traslúcido colocado sobre el heliográfico, descomponen más o menos el compuesto químico con que ha sido impregnado. Los más empleados son el ozalid, que se revela con vapores de amoníaco y da líneas rojo oscuro o marrón sobre fondo blanco y el ferroprusiato que se revela con agua y da línea blanca sobre fondo azul. Actualmente, se usa más el ozalid, pues es de impresión rápida, no hay que remojarlo y, además, permite dibujar sobre él.

16.4.6. Sexta clase: papeles filtros y secantes

Los *de filtros* son papeles porosos que permiten el paso de líquidos y retienen las partículas que llevan en suspensión. Estos papeles no deben comunicar ni olor ni sabor a los productos filtrados y, además, deben poseer suficiente resistencia cuando están mojados. Se componen de pastas de algodón en 100%, con 0,7% de cenizas.

Los *papeles secantes o chupones* se fabrican con pastas de algodón y celulosa al bisulfito, en partes iguales y se emplean para absorber líquidos, como, por ejemplo, manchas de tinta. Su poder absorbente se valora por la altura a que aspira el agua una tira de ellos colocada verticalmente. Estos se clasifican, a su vez, en:

Clasificación de los papeles secantes

CUADRO 1.6

INÚTILES		Si la altura de aspiración es menor de 20 mm
DÉBILES	>	de 21 a 40 mm
MEDIANOS	>	de 41 a 60 mm
REGULARES	>	de 61 a 90 mm
BUENOS	>	de 91 a 120 mm
SUPERIORES	>	mayor de 120 mm

16.4.7. Séptima clase: papeles finos de escritura

Fabricados con pastas de trapo y celulosas; sólo algunas calidades inferiores llevan algo de pastas mecánicas. Sus principales variedades son:

- *Los papeles registro*: son duros, de buena resistencia al plegado, similares a los papeles de barba, pero fabricados en máquina plana y compuestos por trapo en 30%, celulosa al bisulfito en 50%, pasta de paja en 10%, para darles mayor dureza, y 10% de desperdicios de papel.
- *Los papeles de cartas*: también denominados parcheminés o apergaminados, son los más finos para escribir y van fuertemente encolados.

16.4.8. Octava clase: papeles de impresión

Fabricados con pasta de excelente calidad. Sus variedades más empleadas son:

- *Los papeles cromo*: papeles de impresión de lujo, fabricados a mano o en máquina redonda o máquina plana, con fibras de morera, seda, hilo puro o fibras exóticas. Son empleados en ediciones de bibliófilos.
- *Los papeles biblia*: denominados también Indian u Oxford, son los más delgados papeles de impresión fabricados. Se componen de 50% de lino y 50% de algodón, o 60% de algodón y 40% de esparto, mientras tienen una elaboración muy cuidada.
- *Los papeles couché*: son papeles estrucados con sulfato de barita, caolín, óxido de titanio, etc., en una o las dos caras. Estos papeles son los adecuados en la reproducción de ilustraciones y se distinguen por su blancura, brillo, satinado y opacidad. Sólo se emplean en las ediciones de lujo, por su elevado precio.
- *Los papeles printing*: son una versión moderna del couché, que no tienen un acabado tan perfecto, pero sí suficiente para la reproducción de ilustraciones, con un precio más económico.
- *Los papeles litos*: son los modernos sustitutos de los cromos; se les ha cambiado el trazo por celulosa de esparto y otras fibras. Tienen textura uniforme, de superficie unida y lisa con poco extensibles. Si son bien fabricados, constituyen unos excelentes papeles de impresión.
- *Los papeles cíceros*: están también compuestos de diversas celulosas, sin trazo y son de acabado más satinado que los litos.
- *El papel pluma*: para la impresión, se caracteriza por ser voluminoso con respecto a su peso. Se fabrica con esparto y algodón o con esparto únicamente, mediante una técnica adecuada para que quede esponjoso. Se emplea en la edición de novelas y libros de versos.
- *El papel huecograbado*: ha de ser bastante absorbente, pero no secante y bastante resistente ($RI=2000$ m). Se fabrica con pasta mecánica y celulosa al bisulfito.
- *El papel offset*: debe presentar una superficie áspera, con cierto grano. Su gramaje debe oscilar entre 80 y 200 gr/m^2 ; en otros términos, es un papel grueso. Su longitud de rotura longitudinal (RI) debe ser, por lo menos, de 2000 m. En su composición, entra en 50% la pasta mecánica.

16.4.9. Novena clase: papel prensa y para empapelar

El de prensa, destinado a la impresión de periódicos, es un papel de fabricación mecanizada, compuesto por 70 a 75% de pasta mecánica y 27 a 22% de celulosa al bisulfito, con 3% de carga de caolín. Se le exige una longitud mínima de rotura de 2000 m. *Los de empapelar* son similares a los de prensa, con un encolado muy fuerte, de 3 a 4%.

16.4.10. Décima clase: papeles recios de embalaje

En esta clase, se encuentran, principalmente, *los papeles fuertes*, que son empleados en la fabricación de sacos de cementos y otros productos, así como en aislamientos para cables eléctricos, etc.

La variedad más importante es el *papel kraft*, compuesto por celulosa kraft y pleno de fibras de madera tratada con sulfato sódico, que son morenas y difíciles de blanquear, pero muy fuertes, mezcladas con pastas de yute o cáñamo. El kraft tiene longitudes de rotura del orden de los 5000 m.

El *papel inglés* se fabrica con celulosa al bisulfito y pasta mecánica a partes iguales, al que se le añade, a veces, 25% de recortes de papeles.

16.4.11. Décimaprimer clase: papeles ordinarios de embalaje para ondular

Estos papeles se fabrican con paja de arroz y recortes de papeles. Sus principales variedades son:

- *Papel para ondular* (tripa del cartón ondulado): fabricado en mesa plana con pasta de paja de cereales, pasta semiquímica de madera y recorte de papeles.
- *Papel de estraza*: fabricado en mesa plana, con hojas secadas al aire, con pastas de alpargata, de yute o de esparto, trapos de mala calidad y recortes de papel y cartón.
- *Papel papelote*: fabricado en máquina plana, con recortes de papel o con algo de pastas de madera de calidad inferior. A este papelote se le conoce con el nombre de *papelote gris*, por su color, para distinguirlo del denominado *cuero*, el cual se fabrica encolado y satinado, con un color parecido al cuero natural.

16.4.12. Décimasegunda clase: cartones y cartulinas

Existen variedades de cartones y cartulinas; entre las más corrientes se encuentran el *cartón gris*, fabricado con recortes de papeles o de recogida de basurero y el cartón madera, en el que se emplea, además, pasta mecánica, pasta al bisulfito y pasta kraft. Se fabrican en máquina plana, hasta un determinado gramaje y en máquina redonda los cartones gruesos.

16.4.13. Décimatercera clase: papeles y cartones especiales

Se clasifican, dentro de esta clase, aquellos papeles y cartones no comprendidas en las clases anteriores; entre ellos, se encuentran los papeles y cartones paja, formados por pasta de paja obtenida por maceración o lejiado con cal; los cartones de amianto y cuero auténtico, en los que entran estas materias en su composición; los papeles entelados, los cartones ondulados y los cartones de fibra vulcanizada, utilizados en la fabricación de maletas.

Cada uno de los papeles descritos tienen, usualmente, un acabado liso o en vitela, pero también se les da un acabado especial que genera un estriado superficial, o verjura; por eso se les denomina papeles verjurados.

16.5. Formatos de papeles y cartones

Los formatos más empleados son los siguientes:

64 x 88 cm, del que salen.....	}	El folio: 22 x 32 La cuartilla: 16 x 22 La octavilla: 11 x 16 La holandesa: 22 x 28
56 x 88 cm, del que salen.....	}	La media holandesa: 14 x 22 El cuarto holandesa: 11 x 14 El folio prolongado: 25 x 35
70 x 100 cm, del que salen.....	}	La cuartilla prolongada: 17,5 x 25 La octavilla prolongada: 12,5 x 17,7

También se emplean, en papeles de ediciones, los formatos de 65 x 90 y 80 x 112. En cartones, los formatos más utilizados son los de 50 x 65 y 70 x 100. Los formatos DIN, utilizados en Alemania, también se usan en España para crear los formatos de planos y memorias en la redacción de proyectos técnicos. En el Cuadro siguiente, figuran las cuatro series de formatos DIN (Cuadro 1.7):

Formatos de papel, según las normas DIN, 476

CUADRO 1.7

FORMACIÓN		SERIE A mm	SERIE B mm	SERIE C mm	SERIE D mm
CLASE	DENOMINACIÓN	(PREFERENTE)			
0	Cuádruple pliego	841 x 1189	1000x1414	917 x 1297	771 x 1090
1	Doble pliego	594 x 841	707 x 1000	648 x 917	545 x 771
2	Pliego	420 x 594	500 x 707	458 x 648	385 x 545
3	Medio pliego	297 x 420	353 x 500	324 x 458	272 x 385
4	Cuarto pliego	210 x 297	250 x 353	229 x 324	192 x 272
5	Cuartilla	148 x 210	176 x 250	162 x 229	136 x 192
6	Media cuartilla	105 x 148	125 x 176	114 x 162	96 x 136
7	Cuarto de cuartilla	74 x 105	88 x 125	81 x 114	68 x 96
8	Octavilla	52 x 74	62 x 88	51 x 81	48 x 68

De las cuatro series que figuran en este cuadro, la más utilizada es la A, cuya clase 0, de 841 x 1189 mm, tiene 1 m² de superficie. Cada clase inferior es la mitad de la anterior. Los lados de cada clase están en la relación de $1:\sqrt{2}$, es decir, la misma que hay entre un lado de un cuadrado y la diagonal. De la serie A, la más importante es la A4, de 210 x 297, que es la utilizada en la redacción de proyectos, cartas comerciales, etc. En las cartas particulares, se emplea el tamaño A5, de 148 x 210, denominado cuartilla. Las tarjetas postales usan el tamaño A6, de 105 x 148, tamaño postal internacional, según el acuerdo de la Unión Postal Universal de 1925. Los formatos B, C y D se han desarrollado para sobres, cubiertas, carpetas, etc.

17. Referencia

Gola, Giuseppe; Negri, Giovanni y Cappelletti, Carlo (1965). *Tratado de Botánica*. Barcelona, España: Editorial Labor.