

PREVENCIÓN, PROTECCIÓN Y ANALISIS
DE LA MADERA.

Tesis presentada para optar al grado de Doctor
en Bellas Artes, por el licenciado
D. Manuel Gómez Rivero.

DIRECTOR:

Catedrático Dr. D. Antonio Pérez Pineda

UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE BELLAS ARTES

Junio de 1.987

AGRADECIMIENTOS:

A lo largo de todas las investigaciones realizadas durante los tres últimos años, no puedo olvidar el apoyo que en todo momento he descubierto entre los investigadores que integran los distintos equipos y departamentos dependientes del CSIC (Centro del Zaidín).

Vaya mi más sincero agradecimiento para D. Francisco Girela Vilchez, D. José Luis Guardiola Saenz, y D.^{ña} Marta Roldán Medina, sin cuya ayuda no habrían sido posibles las investigaciones desarrolladas en este trabajo.

Dijo a Noé:

"Hazte un arca de maderas
resinosas, dividela en
compartimentos y embéala
por dentro y por fuera".

Génesis, Capítulo VI,

Ver 14.

Un buen conocimiento de la madera resulta de vital interés, cuando están en juego pretensiones de tipo artístico. Saber como está constituida y que características posee es el fundamento para poder utilizarla adecuadamente en cualquier tipo de obra, tanto como soporte pictórico, como escultórico o arquitectónico.

El estudio de los factores bióticos y abióticos que afectan o descomponen su estructura lignea nos facilita la base de actuación para prevenir sus agresiones, así como poner los medios a nuestro alcance para evitarlas. Los productos utilizables en la actualidad para los tratamientos necesarios en cada caso suponen una aportación ineludible y necesaria. La dimensión de este trabajo abarcará pues estos aspectos. Sólo conociendo en profundidad los agentes deteriorantes, tanto abióticos (irtemperie, contaminación ambiental, cambios climáticos, medios químicos, etc.) como bióticos (hongos, bacterias, insectos xilófagos, etc.), podremos prevenir su actividad erosiva o destructiva, situandola convenientemente y de esta forma velar por su integridad y mantenimiento, esta es la razón que me ha

inducido a dedicar un capítulo a estas causas, pues son evidentemente de suma importancia.

Admitidos pues, estos factores determinantes de la destrucción de la madera, conviene exponer una amplia gama de soluciones, las cuales han sido contrastadas demostrando su efectividad en determinados casos. En museos y otros centros de restauración viene siendo habitual su utilización baste citar el ejemplo del polietilen-glicol (PEG) para las maderas que han permanecido durante largo tiempo cubiertas de agua, o la aplicación de la resina epoxi, muy conveniente en situaciones en que la madera se encuentra desprendida o con fendas, cuando sus propiedades estructurales deben mantenerse inalterables por la función de sostén que están ejerciendo.

Antes de recurrir a estos tratamientos de consolidación, se puede evitar que la madera se vea expuesta a los peligrosos ataques de xilófagos o a la perjudicial influencia que puede ejercer el clima o los cambios constantes en el medio ambiente circundante, aplicando toda una serie de productos protectores tanto orgánicos, como hidrosolubles o derivados de la creosota de alquitrán de hulla, habiendose demostrado que su uso ofrece unos resultados francamente satisfactorios.

El análisis del estado del soporte, así como de sus características microambientales y la correcta aplicación de los tratamientos, tanto preventivos (difusión, impregnación, etc.), como curativos (contra hongos, o insectos), será determinante para coronar con éxito nuestra intervención.

Los estudios sobre la madera se han incrementado mucho en el curso de los últimos años. El necesario conocimiento de su estructura microscópica, así como de su composición química, y de sus propiedades físicas y mecánicas, además de su carácter anisotrópico, nos resultan indispensables para proceder adecuadamente en los tratamientos de conservación y restauración. Estos conocimientos nos permitirán además deducir unas condiciones climáticas óptimas y constantes que garanticen el mantenimiento de su masa estructural, así como una protección contra la luz y los insectos.

La situación elegida para su ubicación tiene suma importancia, puesto que a menudo es difícil encontrar un ámbito que reúna todos esos requisitos. Es necesario prever una localización favorable, para mantener inalterable su naturaleza. Conviene por tanto preservarla principalmente de variaciones climáticas constantes, sobre todo de la humedad, así como de la contaminación ambiental.

Los cristales de las ventanas que preservan la madera contendrán una sustancia que absorba parte de los rayos ultravioletas e infrarrojos.

Es importante que los objetos ligneos no estén nunca en contacto directo con las paredes exteriores (para evitar daños debidos a la condensación) ni cerca de una fuente de calor.

La mayoría de los problemas y dificultades que surgen en torno a la conservación de los soportes de madera, provienen según el ICOM de la defectuosa adecuación del tipo de materia lignea seleccionada, en relación con la función y localización a que iba destinada cuando fueron realizadas las obras. También han influido las condiciones desfavorables del medio ambiente que les rodeó.

Evidentemente todo trabajo de Tesis Doctoral, debiera proponer al menos una aportación personal nueva, ésta puede partir de la revisión de una serie de conceptos o planteamientos asimilados y admitidos, de esta forma es posible el progreso y el avance de la cultura. Personalmente he intentado desarrollar este trabajo con semejantes propósitos.

Mis estudios sobre la madera iniciados básicamente durante el año 1.985, con motivo del disfrute de una Beca del Plan de Formación del Personal Investigador, dependiente del Ministerio de

Educación y Ciencia, se han dinamizado más tarde en una investigación más profunda, centrando una parte del tema en lo que podríamos considerar un **nuevo método de análisis**. Esta búsqueda ha sido culminada con resultados satisfactorios puesto que hemos logrado (1) un método de análisis experimental, que pueda suponer una **innovación** respecto a la técnica utilizada hasta hoy (2) para el estudio analítico de la madera.

Siempre nos hemos servido de la Microscopía Óptica para el análisis diferenciador de la madera y de esta forma poder identificar la especie de que se trataba, comprobando que el dibujo característico que producían sus anillos anuales y fibras, tenían una referencia exacta en la especie a que pertenecía. Este análisis lo podemos desarrollar simplemente al calentar unos miligramos de madera hasta que se produce la combustión, con el método de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC). Se pueden scmeter estos miligramos a un calentamiento constante, provocandose determinados cambios en el estado de esta muestra que se manifiestan mediante un sensor en un gráfico. Este resultado es el producto de las transformaciones de que es objeto toda materia en la que se inicia un proceso de combustión.

En las investigaciones efectuadas se ha utilizado un calentamiento constante de 10°C/min, y puedo constatar que se ha repetido un tipo de gráfico

característico y diferenciador para cada especie distinta de madera.

Dada la repetición de estos gráficos específicos para cada tipo de madera, considero útil (3) el mencionado método de Calorimetría Diferencial de Barrido, para el análisis de la madera y así poder determinar según las particularidades de cada caso la idoneidad de la especie a utilizar.

Finalmente podríamos recordar las palabras de Hug Johnson, que no me parecen nada desmesuradas si reflexionamos sobre la función que viene desempeñando este elemento por el que tanto habremos de velar :

"Hace mal quien trata esta materia como cosa baladí. La madera tiene el valor inapreciable, por no decir único, de ser la sola fuente natural de recursos que el hombre es capaz de ir renovando. El petróleo se acabará algún día, las minas de carbón y otros minerales se agotarán. Pero un bosque bien cuidado (e incluso sin cuidar) irá produciendo madera indefinidamente".

(1)- Con la desinteresada y valiosa colaboración de los doctores D. Francisco Girela Vilchez y D. José Luis Guardiola Saenz, así como del resto de los miembros de los Departamentos de Química Analítica y Suelos respectivamente, dependientes del CSIC en el Centro Experimental del Zaidín.

(2)- En la actualidad se viene utilizando la Microscopía Óptica, como método de diferenciación de las distintas especies de maderas.

(3)- Para confirmar absolutamente la total eficacia de este método, habría que constatar la repetición de un porcentaje muy alto de muestras que mantuviesen siempre los mismos resultados. Esta posibilidad proyecta desarrollarla a corto plazo en una posible publicación que abarque este tema a nivel monográfico.

1.1.1. Definición y constitución.

Podemos considerar madera al conjunto de tejidos que forman el tronco, raíces y ramas de los vegetales leñosos, excluyendo lo que se entiende normalmente por corteza.

Vegetales leñosos, son aquellos que presentan las siguientes características:

1- Son plantas vasculares, es decir tienen tejidos conductores especializados, formados por el XILEMA que está lignificado y constituye la madera del vegetal maduro.

2- Son plantas perennes, deben vivir durante un cierto número de años, siempre superior a dos.

3- Tienen un tallo principal que persiste de un año para otro.

4- Tienen crecimiento secundario, es decir, en diámetro, independiente del crecimiento longitudinal.

1.1.2. División y diferenciación de las maderas.

Los vegetales leñosos comercialmente maderables, se encuentran entre las Gimnospermas y Angiospermas de las Espermafitas.

Gimnospermas: son un subtipo de plantas fanerógamas cuyos óvulos y semillas no están encerrados en ovarios y se presentan desnudos en la inflorescencia femenina. Ejemplo - el pino.

Angiospermas: es el grupo que comprende casi todas las fanerógamas, su gineceo posee ovario y estigma y las semillas están encerradas dentro del fruto. Como ejemplo podemos citar las yucas, las palmas, etc. A este grupo pertenecen las maderas frondosas del comercio.

Aunque existen cinco órdenes de Gimnospermas, unas por su pequeño tamaño y otras por su escasez se puede concluir que sólo tienen interés a escala comercial las Coníferas, por lo que la denominación de CONIFERAS, puede y de hecho representa a las Gimnospermas.

Los términos de maderas frondosas y maderas coníferas son muy convenientes para satisfacer las necesidades de expresión que impone el comercio.

La madera, como parte integrante de determinados seres vivos, tiene naturaleza celular. Las células o elementos de modelo y funciones similares, se reúnen en diferenciados tipos que podemos agrupar en dos grandes clases:

- La formada por los que tienen su mayor dimensión dirigida en el mismo sentido que el eje del

tronco y reciben el nombre de elementos longitudinales o verticales.

- La constituida por las que se alargan en dirección radial del árbol que llamamos elementos transversales u horizontales.

I.1.3. Caracteres de distinción entre maderas frondosas y coníferas.

Se aprecian siempre aplicando grandes aumentos:

- 1º. Las frondosas poseen poros (vasos vistos en sección transversal) mientras que las coníferas carecen de ellos ya que no son maderas porosas.
- 2º. La disposición radial de las células longitudinales que caracterizan a las coníferas, cuando son vistas en una sección normal a la dirección de la fibra no existe, o está más disfrazada en las frondosas.
- 3º. La estructura de las frondosas es mucho más compleja que la de las coníferas, entrando muchos más tipos de células en su composición.
- 4º. Las frondosas como grupo son más ricas en parénquima que las resinosas.
- 5º. Los radios leñosos de las frondosas son más variables en anchura y altura que los resinosos.

Esto se puede apreciar en las figuras que siguen:

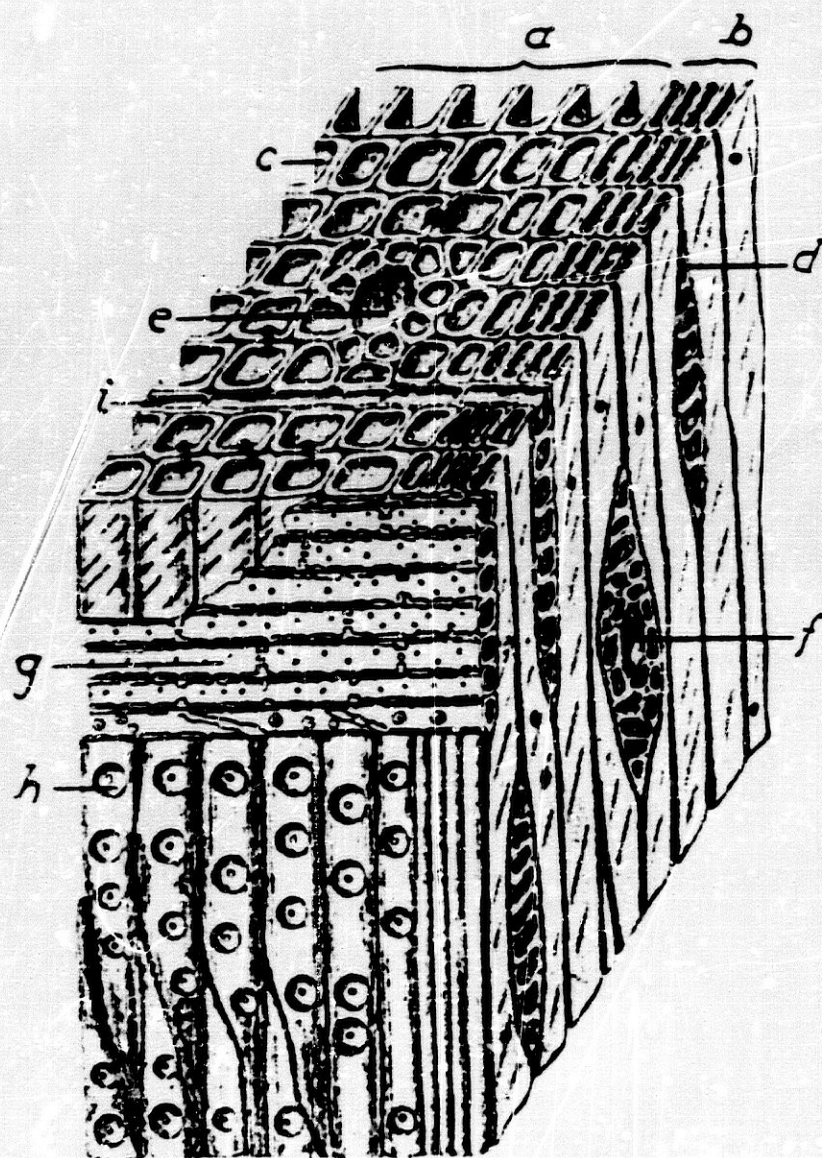


Fig. 1. Estructura de la madera de una conifera del genero Pinus. -
A), madera de primavera; B), madera de otoño; C), fila radial de
traqueidas; D), radio leñoso en sección tangencial; E), canal
resinifero vertical; F), canal resinifero horizontal; G), radio
leñoso en sección radial; H), punteaduras areoladas; I), radio
leñoso en sección transversal.

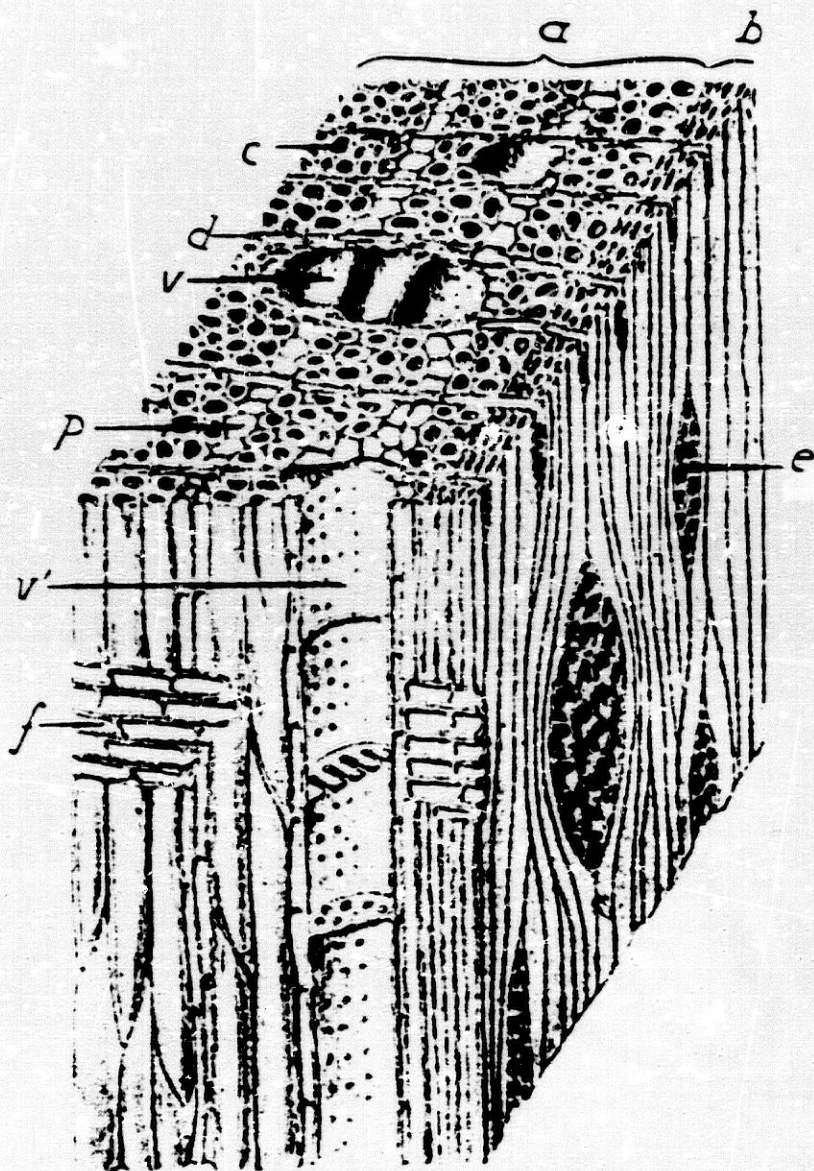


Fig. 2. Estructura de la madera de una frondosa.- A), madera de primavera; B), madera de verano; C), fibras leñosas; D), radio leñosos en sección transversal; E), radio leñoso tangencial; F), radio leñoso en sección radial; V), vasos; P), parenquina vertical; V'), vasos con los tabiques de separación de los elementos vasculares.

I.1.4. Características Físicas y Mecánicas:

I.1.5. Características físicas:

Humedad.

Se llama grado de humedad o humedad de la madera a la capacidad de agua que contiene, expresada en tanto por ciento de su peso en estado anhidro(1).

La humedad (H) viene dada por la fórmula:

$$H \% = \frac{P_m - P_a}{P_a} \times 100$$

Siendo:

P_m = Peso de la probeta en estado húmedo.

P_a = " " " " " " anhidro.

La madera de un árbol en pie o recién cortado, contiene cantidades de agua importantes; su humedad es elevada.

Expuesta al aire normal pierde agua y acaba por estabilizarse a una humedad que depende de las condiciones de aire:

temperatura y estado higrométrico (2) (grado de humedad de la atmósfera). Si estas condiciones varían, también variará la humedad.

La humedad de la madera tiende siempre a estar en equilibrio con el estado del aire ambiente.

La madera sumergida en agua absorbe grandes cantidades de ella, obteniéndose de esta forma la madera empapada.

La humedad de la madera influye sobre sus propiedades físicas y mecánicas: volumen, densidad, dureza, resistencias mecánicas, etc. Para comparar las maderas entre sí, es necesario medir sus características a una humedad determinada, siempre igual, llamada humedad normal. Esta humedad es de 15 por cien, según la norma francesa y del 12 por cien según la Conferencia Internacional de Ginebra.

En la madera húmeda, el agua se encuentra en dos formas diferentes:

a- Agua libre: que llena en mayor o menor proporción los poros de la madera: vasos, meatos, etc., es decir en forma parecida a como se encuentra el agua en el interior de una esponja, y su presencia no tiene, en general, influencia sobre las propiedades de la madera.

b- Agua de impregnación: está incorporada a la pared celular, saturando las fibras de la madera.

La máxima humedad que puede contener una madera sin que exista agua libre se llama punto de saturación de las fibras.

Cuando el agua libre ha desaparecido y continúa la evaporización, empieza a disminuir el agua que impregna las fibras de la madera con modificación de sus propiedades fisicomecánicas; los tejidos leñosos de la madera disminuyen su volumen y al mismo tiempo, su dureza y resistencia mecánica aumenta.

Las maderas de punto de saturación bajo tienen estabilizadas sus características mecánicas cuando son empleadas en atmósferas húmedas, como sucede en los climas tropicales húmedos, o si mediante un tratamiento determinado, impregnación con una sal higroscópica, por ejemplo, se la mantiene con humedad media igual o superior a un 18 por cien.

Por el contrario si dichas maderas se emplean en atmósferas de humedad mas bajas, 12 por cien por ejemplo, se deformarán cuando varíe dicha humedad; es el caso de las maderas que se llaman nerviosas.

Con respecto a las maderas de punto de saturación alto, en general son utilizadas en un medio con un porcentaje de humedad muy inferior al que corresponde al punto de saturación de las fibras, si se exceptúa

el caso en que se encuentran sumergidas; se moverán siempre bajo la influencia de las variaciones de humedad, pero en general son poco nerviosas.

En la madera seca expuesta a una temperatura y humedad relativa determinadas, ocurrirá que las moléculas de agua del medio ambiente penetran por los espacios existentes en el tejido leñoso y quedan retenidas en ellos. Del mismo modo, si partimos de una madera que tenga completamente saturadas sus paredes celulares, pasarán moléculas de agua al medio ambiente. Estos procesos, llamados respectivamente de sorción y desorción, continúan hasta que se establece un estado de equilibrio dinámico entre las moléculas que entran y salen de la madera y son típicos de sólidos con una estructura capilar compleja. Por tanto, siempre existe un equilibrio dinámico entre el agua ligada o de impregnación de la pared celular y el estado higrotérmico del medio ambiente.

Aunque según la especie de la madera existen diferencias en su estructura celular, se admite que los valores de equilibrio higroscópico de la madera son iguales para todas ellas.

ESTADO DE LA MADERA SEGUN SU TANTO POR CIENTO DE HUMEDAD.

ESTADO DE LA MADERA	H en %	CIRCUNSTANCIAS DEL MEDIO
Madera empapada.....	70 a 150% o mas	Madera sumergida en agua.
Madera verde.....	Del punto de saturación a 70% o mas.	Madera en pie o cortada en el monte.
Madera saturada.....	Punto de saturación.	Expuesta al aire saturado de humedad.
Madera semiseca.....	23% a punto de saturación.	Humedad que alcanza la madera aserrada.
Madera comercialmente seca.....	18 a 22%	Durante la estancia al aire.
Madera seca al aire.	17 a 13%	Al abrigo de la lluvia.
Madera muy seca.....	menos del 13%	Secado artificial, o natural en clima seco.
Madera anhidra.....	0%	En estufa a 103 grados. Estado inestable.

Contracción.

Se denomina así, a la propiedad que posee la madera de variar en sus dimensiones y en su volumen cuando su estado de humedad varía. Si una madera se seca por debajo del punto de saturación de las fibras, disminuye su volumen y si vuelve a aumentar su contenido de humedad, volverá a aumentar su volumen; este fenómeno constituye el llamado "movimiento o juego de la madera", y por su importancia es necesario medirlo y representarlo en cifras.

El punto de saturación de las fibras representa el tanto por ciento de humedad de la madera cuando se ha alcanzado la máxima dilatación; si disminuye la humedad, también lo hará el volumen, pero si aquella aumenta, el volumen permanecerá prácticamente constante.

Las variaciones de volumen tienen como resultado consecuentemente variaciones lineales de sus tres dimensiones:

- Longitudinal
- Tangencial
- Radial

Las contracciones serán muy diferentes para cada una, debido a su naturaleza anisótropa, es decir, extraordinariamente heterogénea.

-En sentido longitudinal o de la fibra de la madera, el movimiento es muy pequeño, y en la práctica se considera nulo.

-En el sentido tangencial, la contracción, es, en general de 1,5 a dos veces mayor que en el sentido radial.

Existen algunas maderas en las que las contracciones radial y tangencial son prácticamente iguales; estas maderas, aun con una fuerte contracción, si se desecan con cuidado, no se deforman, son las maderas de ebanistería, las caobas principalmente.

Peso específico.

El peso específico de una madera viene dado por la relación entre el peso de la madera y su volumen, medidos en las mismas condiciones de humedad.

$$\begin{array}{l} \text{Peso} \\ P_{\text{esp}} = \frac{\text{-----}}{\text{Volumen}} \end{array} \qquad \begin{array}{l} \text{P. en gramos} \\ P_{\text{esp}} = \frac{\text{-----}}{\text{V. en cm}^3} \end{array}$$

Densidad.

Podemos distinguir la densidad real y la densidad aparente. La densidad real es sensiblemente igual para toda clase de madera, oscila en 0,56. La densidad aparente varía no sólo de unas especies a otras, sino que dentro de una misma especie depende del grado de humedad, zona donde se desarrolló e incluso la zona del tronco que elijamos. Para hallar la densidad media de una madera hay que tomar muestras de distintas partes del tronco. Las maderas se clasifican por su densidad aparente en:

- pesadas, si es mayor a 0,8. $\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$
- ligeras, entre 0,5 y 0,8.
- muy ligeras, menor de 0,5.

Así hay maderas que, como la balsa son ligeras o «de aflote» en las que la densidad es menor que la del agua, también existen «maderas anegadizas» con densidad superior a la del agua y al echarlas en ésta van hacia el fondo.

Dureza.

La dureza de la madera es la resistencia que opone al ser trabajada. Esta dureza depende de su

densidad, de su edad, de si es trabajada en sentido de la fibra o perpendicular a la fibra, también si las fibras están más o menos unidas. Se pueden clasificar atendiendo a este aspecto en: duras (ábramo, Encina, Tejo), y blandas (Chopo, Acacia, Pino, etc.,) entre otras. (3)

I.1.6. Características Mecánicas:

Resistencia a la compresión.

Es la que opone la madera a dejarse romper por aplastamiento. Esta resistencia está influenciada según se haga en sentido de la fibra o en sentido perpendicular, siempre se romperá antes en el mismo sentido de la fibra. La resistencia varía según su porosidad. Como cifra indicativa puede resistir 80 Kg. por cm^2 , como norma de seguridad siempre se toma la quinta parte.

Resistencia a la flexión.

La madera es un material muy flexible adquiriendo cifras de las más altas de entre todos los materiales

excepto algunos metálicos. La resistencia es máxima cuando se actúa perpendicularmente a la fibra. Se ha determinado con pruebas en laboratorios que la resistencia a la flexión es máxima cuando la sección es 5/7 de su longitud.

Una pieza colocada horizontalmente sobre dos soportes resiste más según como se distribuya la carga que tenga encima, y si ésta no se mueve resistirá más que si lo hace.

La madera verde, húmeda o caliente es más flexible que la seca y fría, y las maderas jóvenes lo son más que las viejas.

Resistencia a la tracción.

Es la oposición que presenta la madera a dejarse romper por un alargamiento continuo. La tracción es más dura en sentido longitudinal y más blanda en sentido perpendicular.

Hendibilidad.

Es la propiedad de separar con elementos punzantes la fibra, trabajando en sentido paralelo a su eje. Puede considerarse también este concepto como

facilidad de esculpir. Maderas fáciles de hendir son:
la Encina, Abeto, Haya, etc.,.

I.1.7. Estructura general y desarrollo.

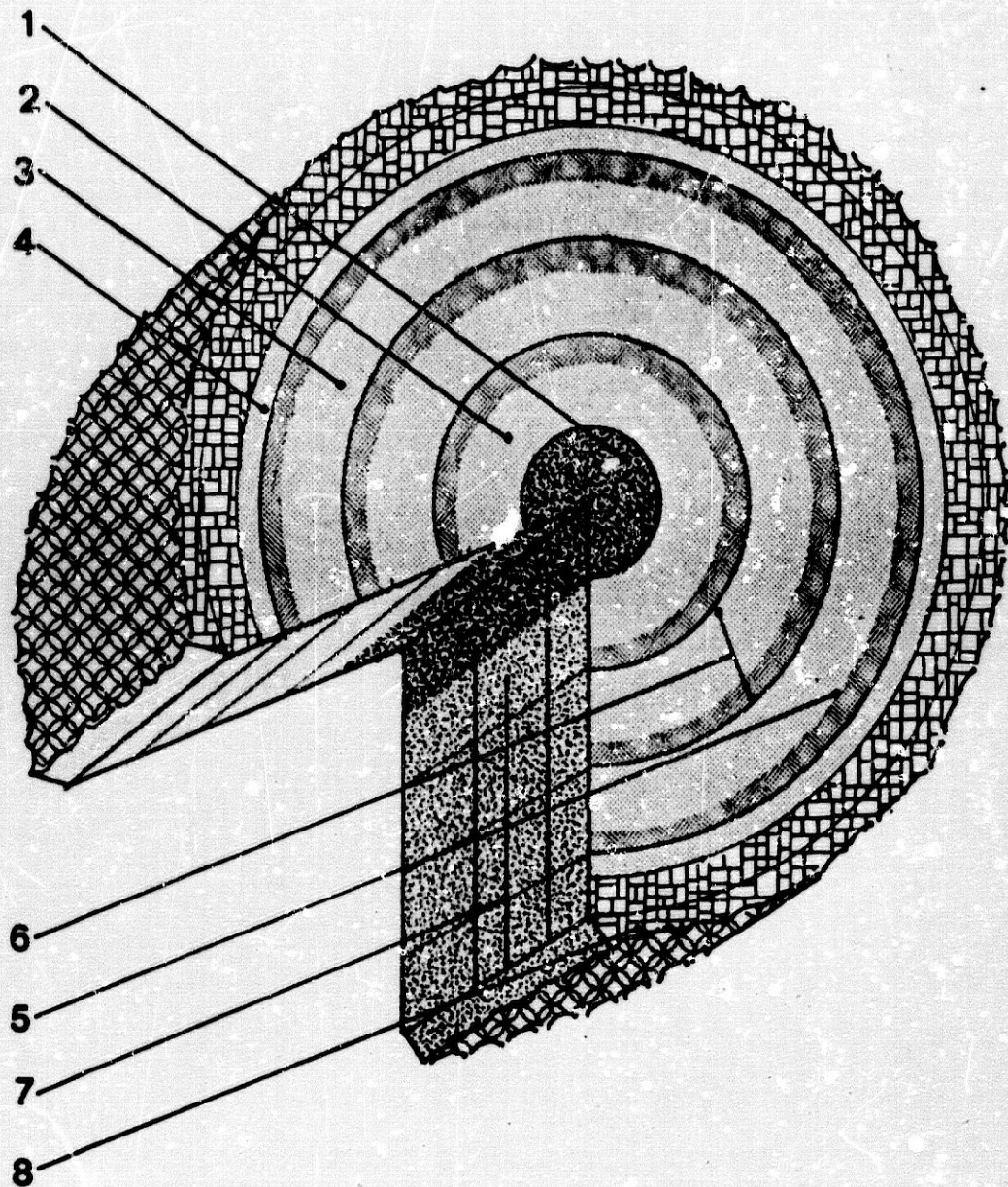


Fig. 1.

1. MÈDULA.

2. CORAZÓN.

3. ALBURA.

4. LIBER

5. CAMBIUM.

6. ANILLOS ANUALES.

7. RADIOS MEDULARES.

8. CORTEZA.

MEDULA: está en el centro del tronco y suele ser más dura que el resto de la madera que la circunscribe y de la cual parten los radios medulares hacia la corteza.

CORAZÓN: que está compuesto principalmente de tejido leñoso de color más oscuro que el resto.

ALBURA: de color claro de donde proviene su nombre. En realidad los anillos anuales se desglosan en dos:

-El duramen: de anillos más oscuros.

-La albura: que es la parte más clara por contener más sabia que los anteriores.

Cada año se va formando un anillo nuevo, llamado también xilema, con tejidos lechosos claros y blandos que se producen en la estación invernal, lo cual es debido a la excesiva abundancia de sabia, y por la madera de estío, más dura y de color más oscuro.

EL LÍBER: que es una capa que envuelve a todo lo anterior y que va, a su vez, al exterior del cámbium, zona inmediata a la corteza. El cámbium suele ser bastante blando.

CÁMBIUM: es la capa generadora del crecimiento por lo que mantiene una gran importancia en el tronco.

Estructura.

La madera está formada básicamente de celulosa, hemicelulosa y lignina, los lúmenes o huecos se encuentran en mayor o menor cantidad de acuerdo con las especies. Reacciona de acuerdo con unas características mecánicas y físicas, las diferentes células se clasifican como: tejido de apoyo (soporte) o fibra, el tejido conductor o los vasos, y el tejido de almacenaje o parénquima. Salvo las células especiales que forman radios en la madera y que se alejan del centro del árbol en dirección perpendicular a su eje (axis), todas las células son longitudinales en el corte y están orientadas en la dirección axial del árbol.

Los diferentes tejidos de la madera se clasifican según las distintas especies, pero para cada especie la ordenación es idéntica; esto se conoce como el plano de la madera y sirve para una identificación a simple vista o por microscopía.

El plano de la madera se estudia de acuerdo con tres direcciones de cortes; transversal, radial o cuarteado y tangencial o cuadrículado.

En las coníferas, el plano de la madera es muy simple. La masa principal está formada por un único tipo de célula, la traqueada, variando de uno a tres milímetros de longitud y dispone de perforaciones; los

radios leñosos son muy delgados. En ciertas especies como el pino o el alerce hay también células o conductos para la resina.

En las maderas duras, el plano es relativamente complejo; incluye fibras similares en la forma a las traqueadas de coníferas, pero con perforaciones simples, vasos que en ocasiones tienen un lumen (cavidad) muy ancho, como en la madera con una zona porosa, y las células parenquimales dispersas a mayor o menor extensión. Los radios leñosos de madera, algunas veces muy delgados (Chopo), pueden llegar a ser muy espesos y visibles a simple vista (Roble, o Haya).

Aunque todas las especies de maderas tienen un dibujo característico en los anillos el grosor de los mismos puede variar con respecto a la rapidez del crecimiento. La proporción de crecimiento está condicionada por factores climáticos de suelo y cuidado del bosque, que le dan diferentes proporciones a la madera de primavera y a la de verano.

En las coníferas que han crecido rápidamente, la madera de primavera predomina, los anillos anuales son espesos y la madera carece de densidad. Al contrario, en las coníferas que crecen lentamente (en países, regiones de altas latitudes) los anillos de crecimiento son delgados y la madera relativamente densa.

Si se corta transversalmente un tronco de árbol se puede ver primero la capa externa o corteza y luego una delgada capa de crecimiento. Es esta la capa responsable del crecimiento en grosor del tronco o las ramas de un árbol, pues forma la corteza hacia fuera y madera hacia dentro, se llama CAMBIUM. Cada año se añade un nuevo anillo de crecimiento.

En el período de crecimiento del árbol, las células de los anillos anuales más externos (albura) se encargan del transporte de líquidos desde la raíz a las hojas.

El tronco está constituido por diversos tejidos celulares cuyas paredes forman el verdadero cuerpo sólido de la madera. Unos tienen la misión de procurar al organismo de la madera el agua provista de materias nutrientes, otros constituyen depósitos para humedad(4) y resina y otros ingredientes de la madera; otros sirven principalmente para el crecimiento de la planta.

Las células que forman la madera cumplen distintas funciones, como la conducción de la savia, almacenamiento de sustancias, transformación de sustancias y sostén.

Al examinar la sección producida por un corte transversal en el tronco de un árbol, se observan, del interior al exterior, las siguientes capas:

Los anillos externos más jóvenes juegan un papel activo en la vida del árbol, encargándose del transporte de savia, y constituyendo la zona exterior del tronco (albura). Los anillos más antiguos, denominados duramen, dejan de cumplir las misiones descritas quedando únicamente como elementos de sostén, esto se debe a que sufren una serie de transformaciones no sólo estructurales, como pueden ser la obstrucción de los vasos por membranas secundarias, sino también a otras de tipo químico, entre las que destacan la aparición en sus tejidos de taninos y resinas que oscurecerán progresivamente apareciendo distintas capas claramente diferenciables.

I.1.8. Composición y comportamiento de la pared celular.

Las células de la madera contienen en sus paredes componentes primarios (celulosa, hemicelulosas y lignina), éstos son los que condicionan sus propiedades físico-mecánicas. También encontramos componentes secundarios como resinas, ceras, azúcares, taninos, minerales etc., sin embargo estas sustancias secundarias se incorporan después de la constitución de la pared celular.

Sin incluir los componentes secundarios, la composición media de las maderas de coníferas y frondosas es:

	Coníferas	Frondosas
Celulosa	50%	50%
Hemicelulosas	23%	26%
Lignina	27%	24%

La celulosa es un polímero lineal insoluble en agua. En las moléculas de celulosa encontramos grupos polares, por lo que al ser también el agua un compuesto polar, ésta puede ser retenida por aquéllas, (lo que determina sus características higroscópicas) y, por consiguiente, también en la madera.

Las Hemicelulosas, son polímeros carbohidratados llamados respectivamente pentosanos y hexosanos, que funcionan como sustancias de sostén o de reserva y son además insolubles en agua.

La lignina es un polímero tridimensional, amorfo y con cadenas ramificadas, compuesto de unidades de fenil-propano.

Eliminando los componentes inorgánicos y la lignina, el residuo de celulosa y hemicelulosas

permanece sin cambios de dimensiones. Podemos considerar que las cadenas de celulosa se mantienen sin cambios de posición debido a sus enlaces con las cortas cadenas de las hemicelulosas.

Estudios llevados a cabo demuestran que al deslignificar la madera los fenómenos mecánicos se producen teniendo en cuenta que:

-La celulosa es el compuesto más elástico de la pared celular con gran resistencia a la tracción. Su papel de principal componente estructural de la madera se debe a que la unión de puentes de hidrógeno es una de las más fuertes, al mismo tiempo impiden el desplazamiento de las moléculas de celulosa.

-Las hemicelulosas aunque forman cadenas de menor longitud, también contribuyen a reforzar las uniones entre microfibrillas y cumplen un importante papel en ocasiones en que se fuerza esta materia por flexión, compresión o hienda.

- El papel de la lignina en la pared celular es cementante de las microfibrillas. Si desapareciera la lignina las microfibrillas actuarían por separado y la resistencia del conjunto disminuiría. La lignina es un protector impermeabilizante de la celulosa, que disminuye la higroscopicidad de ésta, aumenta la

resistencia a la compresión y da rigidez a las estructuras de las fibras.

I.1.9. La corta de la madera.

Los árboles conviene cortarlos en el otoño o a principios de invierno y es muy conveniente el haberlos talado antes, es decir, en cuanto alcanzaron la debida madurez. Si la madera se corta antes de haber alcanzado esa madurez, resultará menos duradera y tendrá un exceso perjudicial de savia; en cambio, si se corta después, se presentará un tanto quebradiza. Por otra parte, la madera que se corta en verano tiene el peligro de la putrefacción mas rápida. El tiempo que tardan los árboles en alcanzar la plenitud debida es muy variable en cada especie.

Una vez los árboles cortados elejidos para tal fin por ser ya "maderables", se procede al transporte hasta el lugar de su primer almacenamiento, y para proceder al secado, siguiendo a éste su debida transformación.

Más tarde se produce el descortezado total del árbol, ya que unos meses antes de la corta del mismo, se debió proceder al descortezado de la base del tronco, a efectos de evaporación. Cortadas las

maderas, se almacenarán al abrigo del viento, a veces durante mucho tiempo. El agua que todavía queda en la madera que suele ser del 10 al 15%, ya sólo puede eliminarse por procedimientos artificiales.

I.2.0. Operaciones para la transformación de la madera.

Una vez descortezado el árbol, se procede al trabajo denominado hechura, que significa toda la serie de operaciones necesarias para transformar la materia prima "árbol" en piezas, tablones, listones, etc.

Previamente, se hará el desrama o limpieza del tronco.

El desroña consiste en quitar con el hacha una faja de corteza, del ancho aproximado de un par de centímetros, para poder marcar las aristas de la futura pieza, aunque estas medidas son muy elásticas y van en función de otras constantes.

Para quitar al tronco toda la parte que no nos interesa, es decir, todo lo que queda fuera de la futura pieza proyectada, se efectúa el trabajo llamado desbasta.

El trabajo de alisado o afinado de las caras de las piezas recibe el nombre de dashilado.

Por despiezo se entiende el conjunto de operaciones que conducen a dividir con la sierra un trozo según los planos paralelos a un eje.

Madera enteriza es aquella en que se aprovechan al máximo las dimensiones del tronco.

1.2.1. Tipos de aserrado.

Para la transformación de la madera se emplean generalmente máquinas que proceden al aserrado, procurando que el desperdicio que necesariamente deba quedar, sea el mínimo posible.

Los procedimientos más usuales de aserrado son:

- El aserrado PLANO; que aparece en la figura 2-G; en este procedimiento, los anillos anuales son cortados entrecruzando la cara cortada bajo un ángulo menor de 45 grados. Se corta rápidamente y apenas quedan desperdicios. Por lo general, este procedimiento tiene buenos rendimientos si se trabaja con sierra mecánica, de las llamadas de cinta horizontal, también en las de cinta vertical.

- Aserrado TANGENCIAL; es, aquél que se efectúa cortando el tronco por planos tangentes a los anillos anuales y es interesante este

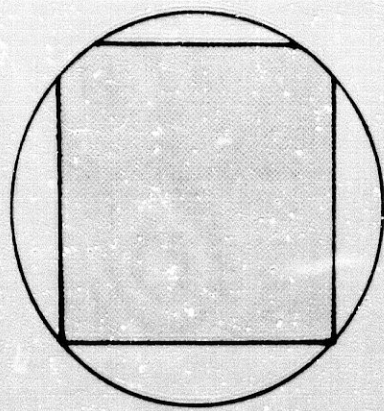
procedimiento cuando estos anillos son muy pronunciados.

- Aserrado ROTATORIO; se obtienen las tablas o chapas mediante el corte del tronco haciéndolo girar sobre su eje (la médula) y teniendo una cuchilla fija que va deslaminando la madera. También se llama este procedimiento "rebanador".

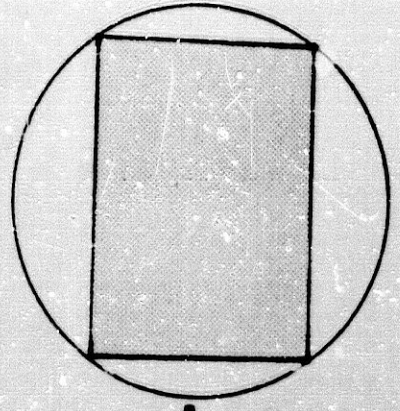
En cualquier tipo de transformación de la madera, siempre se tiene en cuenta el máximo rendimiento, es decir, que el desperdicio sea el mínimo. Si por ejemplo, queremos obtener la máxima resistencia en una toza, usaremos en cada lado de la sección de la tabla una relación de 5:7, que nos indica la figura (2-A). En este caso la sección tiene por área el valor $s=0,472 D^2$, en el que D es el diámetro del tronco en el que está inscrita la figura.

Existen diversas formas de aserrar la madera como se puede observar en la figura (2). Así en B tenemos madera de aristas vivas, en la cara inferior de la figura, y de aristas truncadas, en la parte superior de la misma; en C de aristas redondeadas; en D a madera de media sección y de cuarto de sección; y en E y sucesivas, considerando los máximos aprovechamientos de las secciones del tronco.

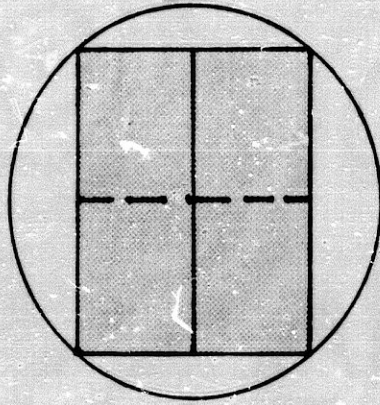
En España han sido fijadas normas para obtener las distintas escuadrias de las piezas, publicadas en



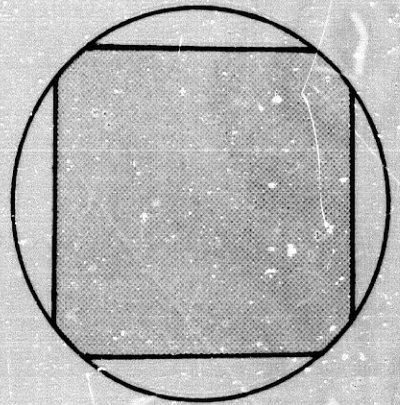
B



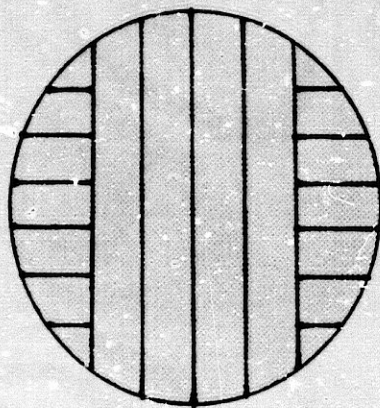
A



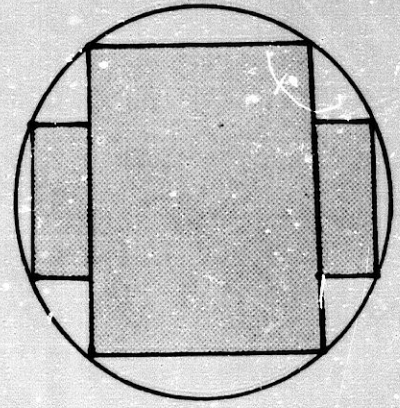
D



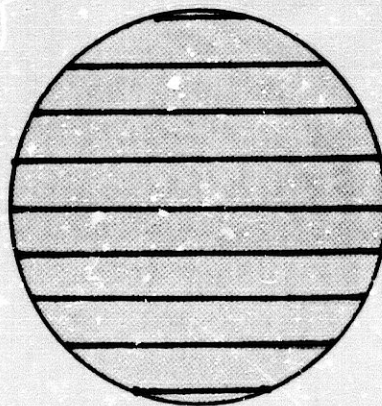
C



F



E



G

Fig. 2.

Orden Ministerial de 12 de noviembre de 1948, aparecida en el Boletín Oficial del Estado, número 328.

1.2.2. Tipos de secado:

- NATURAL
- ARTIFICIAL
- MIXTO

Debido a la enorme proporción de savia que contiene la madera recién cortada, no es apta para su empleo en ese momento por lo que hay que proceder a un secado previo que elimine al máximo esa humedad.

En las maderas llamadas blandas, la cantidad de agua que poseen sus células en una u otra forma, es considerable, llegando hasta el 40% de su peso total y aún más. Si no perdieran este agua antes de emplearse en una utilidad determinada, lo harían después, equilibrando su humedad con la del medio ambiente, produciendo sus consiguientes movimientos que deformarían su volumen original.

Una madera seca que absorbe humedad del ambiente se dilata. Cada vez que la humedad del aire cambie, cambiarán las dimensiones de la madera. Se dice que la

madera «trabaja». La contracción axial (en sentido longitudinal, de las fibras) es casi nula.

El alamo, nogal, etc. presentan una débil contracción; las resinosas media.

Es importante secar las maderas hasta que el grado de humedad se estabilice con el del lugar en donde van a utilizarse.

El buen secado de la madera nos garantizará un uso posterior duradero.

Los troncos troceados en tablas se secan mejor y mucho antes que estando el árbol entero.

La desecación desigual y rápida crea contracciones mayores en unos lugares que en otros, lo que hace que la madera sufra tensiones y termine resquebrajándose. Las partes más expuestas al aire y al sol, las partes externas y extremas de las piezas, son más propensas a la aparición de fendas que el resto. Los extremos de las tablas apiladas también son susceptibles a abrirse con mayor rapidez.

Un secado demasiado rápido es pues muy nocivo, tanto más cuanto más fina sea la madera.

Un secado excesivo que no deje ninguna humedad en las maderas las vuelve inflexibles y las inutiliza para otras labores de carpintería.

Tampoco es recomendable curar la madera demasiado lentamente. Si los troncos se guardan mojados y con

corteza, a la sombra y en lugar poco aireado, se pudren muy pronto.

Generalidades sobre el secado.

La albura contiene más agua que el corazón y cuando se corta un tronco, éste estará condicionado por las partes que lo integran variando según el corte. Si una madera recién apeada, se corta en tozas y se deja secar al aire libre, las zonas más húmedas se contraerán más que las secas y las tablas se alabearán. Una madera cortada recientemente se someterá a un secado lento en condiciones que impidan la distorsión. Pero la madera, sin embargo, nunca pierde toda su humedad. Ésta permanece en las paredes celulares y una vez acabado el secado, la humedad de la madera varía con la humedad relativa contenida en la atmósfera que la rodea.

La albura es particularmente sensible a los ataques de hongos e insectos, sobre todo al iniciarse el secado, influyendo en este sentido el contenido de humedad así como de gran cantidad de elementos nutritivos.

Una precaución que se tomará en la conservación de la madera curada, es evitar exponerla a las grandes variaciones de la humedad atmosférica, y que

se originaran cambios en el sentido de la veta, provocando dilataciones y contracciones en el sentido de la contrafibra, originando el alabeo. Tampoco podemos proteger una sola cara del tablero de madera, ya que de esta forma la otra cara absorberá y transmitirá humedad de forma más acelerada lo que potenciará más aún ese efecto de alabeamiento. De esta forma podemos comprender el movimiento producido en las tablas pintadas e imprimadas en una sola cara. Las variaciones de la humedad relativa tienden a producir movimientos oscilantes que decidirán sobre la duración de dichas tablas.

Secado natural.

En éste sólo interviene el aire del medio ambiente en donde se colocan las pilas de madera, figura-3; donde dejaremos espacio entre las tozas para que circule el aire libremente. Estas pilas pueden estar a la intemperie, protegiéndolas un poco con otro material, en caso de lluvias, también se pueden disponer las hiladas de la pila un tanto inclinadas, con el fin de que el agua que penetre en ellas procedente de las lluvias, tenga pendiente para correr libremente fuera de la pila.

Para maderas blandas, que secan más fácilmente, es importante apilarlas en primavera y principios de verano, ya que toleran mejor un secado rápido. Por el contrario en las duras su secado es más lento y se apilan en invierno.

Si se realiza un secado natural se colocará en lugares con cierta inclinación, de modo que no se produzcan encharcamientos por el agua de lluvia. Los lugares altos ofrecen la ventaja de una menor humedad, y mayor ventilación. Se prefiere la orientación sur y este (vientos secos) para los secaderos, pero se ha de procurar apilar al resguardo de los vientos reinantes. También evitaremos la incidencia de los rayos solares, protegiéndolas convenientemente. Los cambios bruscos de temperatura y humedad habrán de evitarse a fin de mantener en buena conservación esta madera aserrada.

En el secado natural, sin forzar por medios artificiales, las tablas tardan de dos a tres años en secar, aunque esto depende de muchos factores, entre ellos el grosor, la temperatura y la humedad. Las maderas duras en tozas de 5 a 7 cm. de grosor tardan en secar de 5 a 6 años; las de 8 a 12 cm. habrán de permanecer expuestas para su secado 10 años.

Este procedimiento de secado es muy barato, como se puede deducir, ya que no necesita vigilancia, ni instalaciones de ningún tipo. Pero como contrapartida esta su lentitud, queda además bastante humedad rema-

nente, y aún ésta es distinta según el lugar que ocupó en la pila, se necesita también bastante espacio si se quiere secar madera en cantidad apreciable.

Secado artificial.

Con este tipo de secado se obtienen rendimientos muy interesantes, se puede controlar el proceso de secado permanente, si bien es más caro y exige ciertas instalaciones.

Consiste en hacer circular corrientes de aire calentado previamente por estufas, no seco, sino un tanto húmedo, ya que el aire seco resquebrajaría la madera.

Se apila la madera como hemos expuesto anteriormente. Este aire, ya cargado por la humedad que ha recogido al pasar a través de las pilas, se renueva por aire del exterior más fresco. De esta manera, el proceso de secado suele oscilar entre las tres y las quince semanas, que no admite comparación con el largo proceso natural.

Secado mixto.

En el proceso mixto intervienen ambos métodos de secado: una vez que por secado natural se ha llegado a

reducir el grado de humedad contenida en la madera hasta un 20 por ciento, entonces se procede a secarla artificialmente, para darle ya el grado necesario.

No obstante, en todo proceso de secado, siempre se producen ciertas contracciones, alabeos, etc. En la figura-3 se indica el modo en que contraen algunas de las diversas piezas según su situación en el tronco:

-La pieza A experimenta las contracciones de la figura debido a la mayor cantidad de humedad en unas zonas que en otras, deformándose de una sección rectangular a otra rómbica.

-En la B la sección circular pierde esta, forma achatándose como indica la figura.

-En la C se contraen más las fibras del corazón, por contener más sabia, ya que son nuevas, pues los anillos son más recientes.

-En D sufre una contracción por igual, sensiblemente, quedando una pieza semejante a la anterior, pero de lados más reducidos.

-En E las fibras más cercanas al corazón permanecen inalterables, pero las más extremas sufren considerable contracción.

-En F aparece algo similar a D contraen todos sus lados.

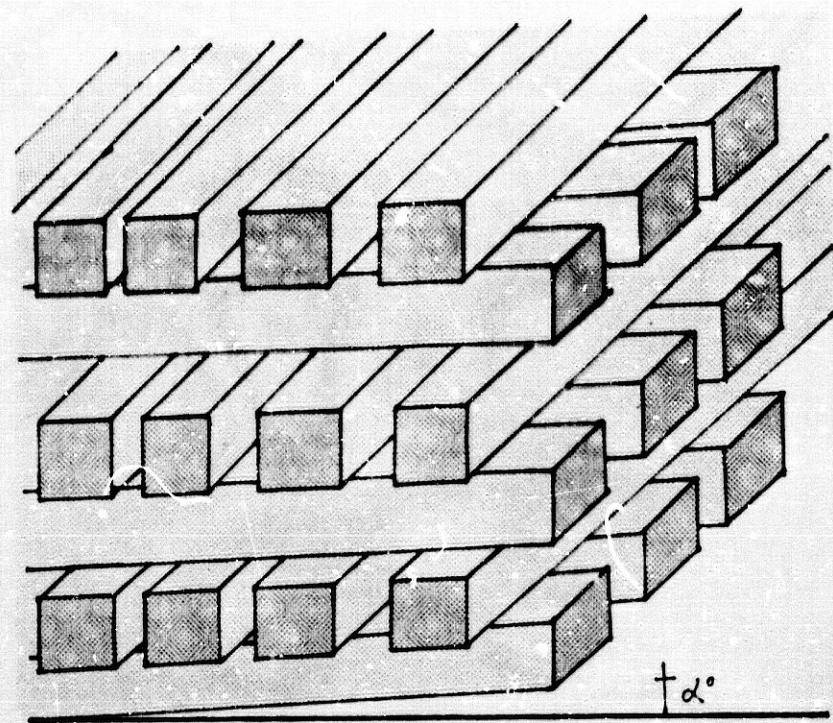
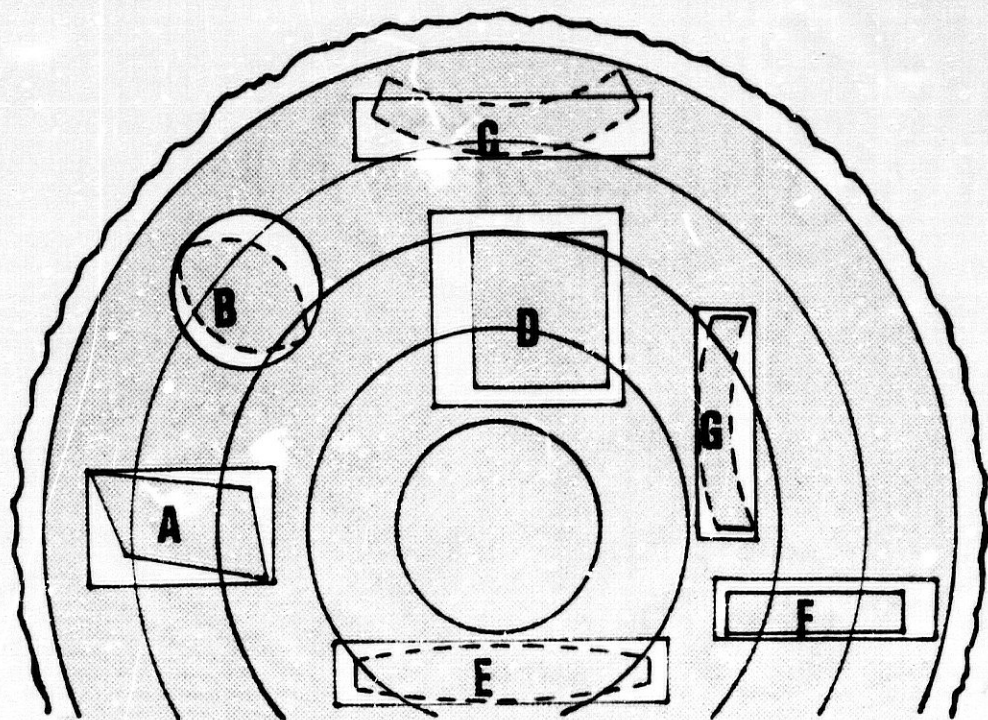


Fig. 3. Colocación de la madera en pendiente para su secado (arriba), movimientos de secado (abajo).



-En Q toma una sección cuya convexidad mira hacia el corazón.

1.2.3. Defectos de la madera.

éstos pueden ser de muy diversa índole y su causa pudo estar en el pleno desarrollo del árbol o bien en la madera cortada, en cada caso se pueden distinguir varias irregularidades:

A- En el desarrollo del árbol:

A-1 - Nudosidad.

A-2 - Veta en espiral.

A-3 - La corteza queda encerrada.

A-4 - Depósitos cristalinos.

A-5 - Quebraduras.

A-6 - Grietas.

A-7 - Hendiduras.

A-8 - Cuadraturas.

A-9 - Rodaduras.

A-10- Madera borne.

A-11- El contrahilo.

A-12- La excentricidad de la madera.

B- En la madera cortada y almacenada:

B-1 - Friabilidad.

B-2 - Colapso.

A- En el desarrollo del árbol:

A-1 NUDOSIDAD: es producida por una rama que está inserta en el tronco, ésta provoca un nudo, es decir, que cuantos más nudos aparezcan mayor será el número de ramas. Se distinguen dos tipos de nudos: el nudo vivo, que procede de una rama viva y está adherido a la madera muy fijamente y el nudo muerto que procede de una rama que se cortó hace mucho tiempo, y la pequeña superficie de madera muerta se va a recubrir con nuevos crecimientos de fibras, la nueva madera es bastante buena.

A-2: VETA EN ESPIRAL: las fibras de la madera tienden naturalmente a crecer rectas, paralelas al eje vertical del árbol, siendo esta la veta normal, sin embargo en algunas especies se encuentra la veta en espiral, esto presenta el inconveniente de que la madera se agriete a lo largo de la veta.

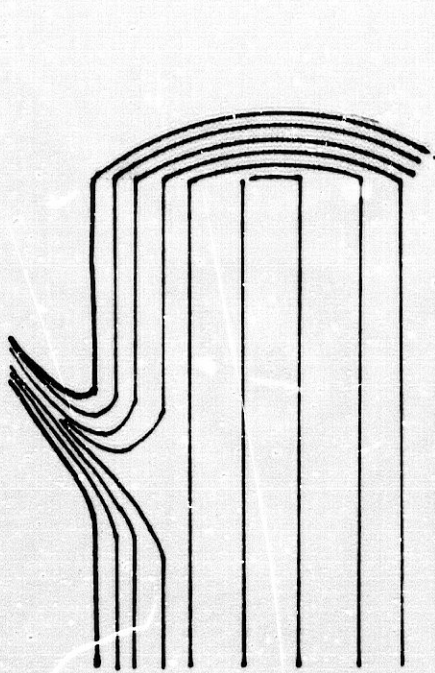
A-3: CORTEZA ENCERRADA: en alguna ocasión puede ocurrir que la corteza quede encerrada entre dos ramas muy próximas de un árbol, que se unen a medida que va creciendo madera nueva.

A-4: DEPOSITOS CRISTALINOS: suelen depositarse en las fibras, procedentes de la precipitación de sales minerales y ascienden a través de las raíces. Generalmente son tan pequeños que no producen ningún inconveniente pero si se agrandan demasiado, pueden constituir un peligro al cortar la madera.

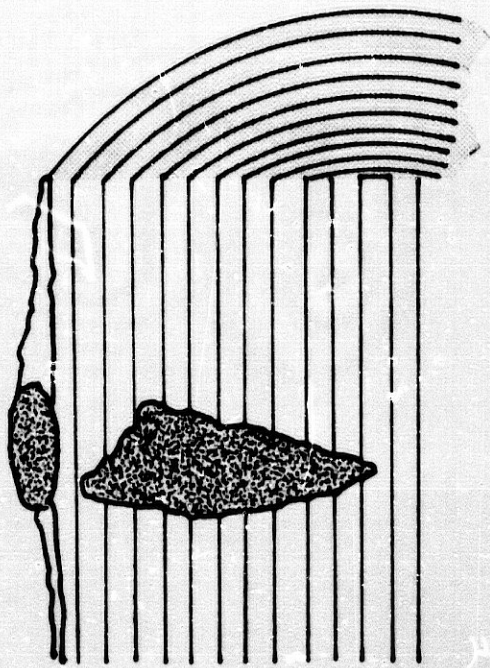
A-5: QUEBRADURAS: aparecen en la madera por un rápido cambio de dirección en las fibras provocado por haber recibido en ese sector, un golpe el árbol durante su crecimiento. No tiene más inconveniente que el aspecto, un tanto desagradable que puede dar su veteado, en caso de que se empleen con fin decorativo.

A-6: GRIETAS.- Son las rajadas que parten del interior y van hacia el centro, pueden ocasionarse entre otros factores, por la desecación demasiado rápida del tronco.

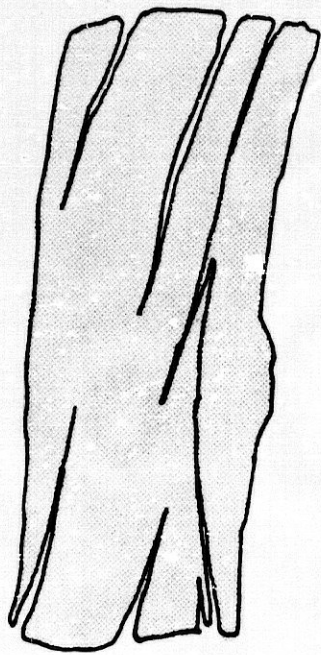
A-7: HENDIDURAS.- Son las rajadas que parten del centro del árbol y recorren prácticamente un radio. Se producen a consecuencia de las heladas que en los



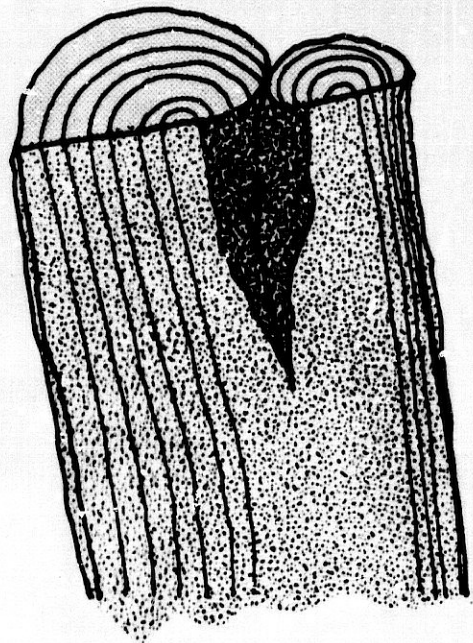
Nudo vivo.



Nudo muerto.



Fibra en espiral



Corteza encerrada.

Fig. 4.

inviernos muy fríos congelan la savia y hacen que la madera salte.

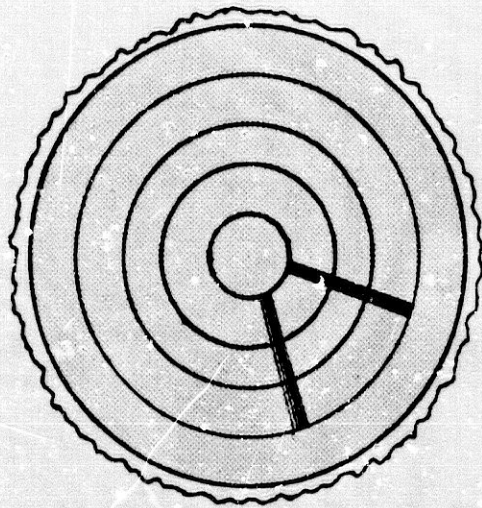
A-8: CUADRATURAS.- Son el encuentro en el corazón del árbol de una grieta y una hendidura.

A-9: RODADURAS.- Se trata de grietas circulares que se encuentran en el interior, separando dos capas anuales que no se soldaron en el momento de su formación; pueden deberse a heladas, vientos u otras inclemencias atmosféricas o escarchas que desprendieron la corteza impidiendo que la capa siguiente se soldase por completo. La rodadura puede ser parcial o total, en el último caso la raja forma un círculo completo.

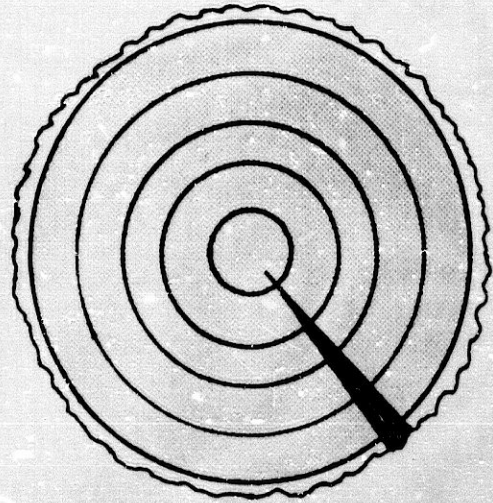
A-10: MADERA BORNE.- Proviene de ramas superiores secas o muertas por lo que no es útil para carpintería.

A-11: EL CONTRAHÍLO.- Es un cambio en la dirección de la fibra, lo que supondrá problemas posteriores cuando se intente trabajar dicha madera.

A-12: LA EXCENTRICIDAD DE LA MEDULA.- Hace que las características de la madera según el lugar que ocupen tenga distintas variantes. El viento recibido en una

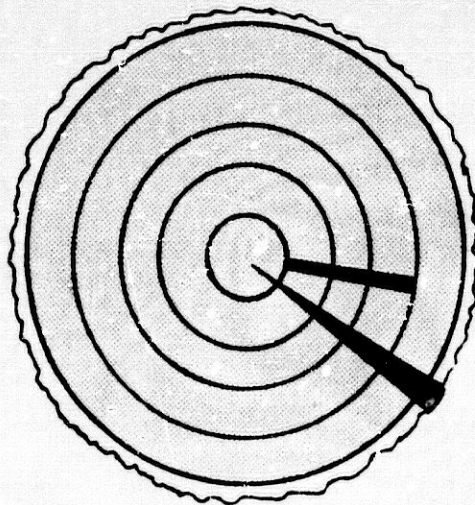


Grietas



Hendiduras

Cuadraturas



Rodaduras

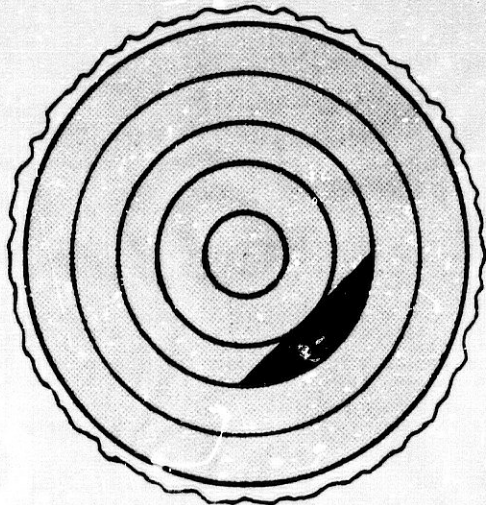


Fig. 5.

dirección determinada o el desarrollo de la madera en terrenos inclinados pueden ser causa de este fenómeno.

B- En la madera cortada y almacenada:

B-1: FRIABILIDAD: producida por un proceso demasiado rápido de secado, o si la temperatura del medio ambiente era en extremo cálida. Esta madera suele romper con facilidad.

B-2: COLAPSO: se produce durante el período de secado de la madera. Cuando comienza este secado, el agua que contienen sus células se evapora con gran rapidez y si queda un vacío, producido por esta evaporación, antes de que el aire rellene esos huecos, puede suceder el fenómeno de que esas células se aplasten y contraigan bruscamente. El mejor modo de evitarlo es el de seguir en el proceso de secado, un ritmo ascendente de temperaturas, empezando por pocos grados, y subiendo conforme se pierda el agua.

1.2.4. Distintas calidades de la madera; Derivados.

En cuanto a su presentación en el comercio, la madera se encuentra en dos formas fundamentalmente:

- Sin labrar: tozas (2), troncos descortezados, madera enteriza, etc.

- Labrada o escuadrada: en vigas, viguetas, tablones, tabloncillos, etc.

Además de esta primera clasificación, que atiende enteramente a su forma, también existe otra en cuanto a su calidad, y así tenemos la madera de primera clase, de segunda, de tercera y cuarta.

CALIDADES: En cuanto a la calidad de la madera, se tienen las siguientes normas, aplicables a cualquier tipo de madera en el comercio; nosotros nos centraremos en dos variedades de las más utilizadas actualmente y que nos pueden servir como ejemplos:

MADERA DE PINO: Se tiene por madera de primera clase, la que es sana, sin coloración azul, ni pudriciones, ni gemas (caras de las piezas que son las mismas del árbol no aserradas); sin nudos visibles.

Madera de segunda clase, debe ser sana, sin coloración azul, pudrición ni gemas. Se pueden admitir con nudos adherentes, en las condiciones ya citadas.

Como de tercera clase se tiene aquella sana, sin pudrición y admitiéndose algo azulada, con nudos sanos.

Por madera de cuarta clase, se entiende aquella que no pudiendo incluirse en las anteriores, es sin embargo, admisible para ciertos trabajos.

MADERA DE HAYA: Clase primera es aquella sin alteraciones, defectos, nudos ni gemas.

En la clase segunda se admiten piezas con nudos sanos de diámetros menores de los cinco milímetros y en menos de dos por metro lineal. No se admiten gemas.

Tercera clase, en esta se encuentran las maderas que tienen defectos mayores de los incluidos en las dos clases anteriores, pero sin disminuir en modo apreciable el buen aspecto de la pieza. En este tipo se incluyen los nudos de color claro, sanos y de diámetro menor de quince milímetros. Se admiten piezas con algo de gema pero limitándose a las dos aristas que definen una cara.

En la cuarta clase se admiten los nudos adherentes, siendo sanos y de un diámetro menor de veinticinco milímetros, coloreados o no. Si tienen el corazón rojo, grietas y otros defectos, sin afectar sensiblemente a su solidez, son válidas. Las gemas sólo se admiten en una cara.

Para el roble, castaño y otros, rigen normas muy similares a las ya citadas para las especies que hemos comentado.

Derivados.

Existen otras formas de presentarse las maderas en el mercado, entre las que podemos destacar:

CONTRACHAPADO: o madera laminada es aquella que se obtiene por el encolado a presión de varias capas finas llamadas láminas, de manera que las fibras de una y las dos que la cubren sean perpendiculares.

Cada hoja de contrachapado (aunque no debemos confundir nunca hoja con lámina, ya que la primera es una plancha compuesta de varias láminas) se compone de un número impar de láminas. El número de tres es el más usual, por lo que se llama tablero de contrachapado normal. Al pasar de tres, se llaman multilaminarea, y son de cinco, de siete láminas, e incluso nueve o más.

El proceso de fabricación comprende diversas fases, que abarcan desde la preparación de las tozas, hasta el acabado y almacenamiento.

Como en todos los casos, los troncos de los árboles se cortan en tozas descortezándolos, eliminando todos sus nudos y defectos posibles. Si las maderas son muy duras, habrán de ser previamente tratadas con vapor de agua para reblandecerlas y poder meterlas en máquina de aserrar.

Una vez las tozas ya dispuestas convenientemente, por medio del aserrado rotatorio, se convierten en las chapas del grosor que nos convengan, todo consiste en colocar adecuadamente las cuchillas de la rebanadora. De la máquina aserradora se va obteniendo una chapa continua, que se enrolla en un tambor, para proceder después al debastado. Los trozos defectuosos son eliminados y el resto se va cortando en piezas de tamaño fijo.

Con las láminas así elegidas, se procede ya a su encolado para lo que se emplea resina, caseína, colas, etc. Se colocan las láminas y se someten a presión en prensas que pueden ser en frío o en caliente. Las presiones suelen oscilar, si es en frío, entre los seis y doce kilos por centímetro cuadrado, mientras que para el prensado en caliente suelen ser de diez a veinte kilos por centímetro cuadrado, siendo a temperaturas superiores a los sesenta grados.

El contrachapado cuenta con unas ventajas que hacen generalizado su empleo hoy día, entre las que podemos destacar su resistencia superior, el movimiento de contracción e hinchamiento, "trabajo" de la madera, es casi inapreciable. La capa es susceptible de ser modelada si queremos obtener tablones en bloque, compuestos, etc.

El contrachapado que se vende normalmente es de madera de Abedul, de 5 capas, que está constituido por

una gruesa base de madera de álamo a cada lado de la cual se pegan dos láminas de madera de abedul, con las fibras perpendiculares a la base. También se hacen tableros de Arce, Nogal, Caoba y otras maderas con diversos tipos de granos. La capa exterior generalmente es de una sola pieza.

Contrachapados macizos.

Se fabrican para usos técnicos más que como maderas decorativas de Arce de igual espesor, y probablemente más duraderos que los que tienen un núcleo grueso y un laminado fino, en el mercado se encuentran con distintos tamaños.

El contrachapado se suele clasificar al venderlo en "con un lado bueno" y "con los dos lados buenos"; el último tipo es más caro.

Si el núcleo del contrachapado es de una sola tabla, o constara de piezas cortadas de la misma tabla, habría más probabilidades de que se arquearan o se rajaran a la vez. Los laminados para muebles suelen ser más firmes que los que se usan para propósitos técnicos. Luego se secan y se venden en estado plano, aunque vuelven a curvarse si se humedecen.

Los tableros para pintar no necesitan efectos de grano, y se pueden obtener contrachapados baratos, de madera corriente, que mantienen muy buenos resultados.

Tableros de fibra de madera: táblex.

Se llama tablero de fibras (tipo "táblex") a la madera obtenida sintéticamente, deshaciendo la madera natural, suprimiendo sus defectos, mejorando sus cualidades, añadiéndole otras ventajas, propiedades, etc., y rehaciéndola después en forma de chapa.

Históricamente, el tablero de fibras tuvo su origen en Estados Unidos, ya entrado el siglo actual y se ha extendido su producción considerablemente.

El proceso de elaboración es esencialmente químico. La madera es desfibrada, siendo las fibras perfectamente separadas sin deteriorarlas o desintegrarlas. Así se forma una pasta que recibe varios tratamientos durante los cuales le son añadidos adecuados productos químicos. Después de ese proceso, se forma una capa húmeda, continua, en la que la pasta se espesa progresivamente hasta que es lo suficiente para ser cortada en hojas. Una vez cortadas, son introducidas en la prensa y sometidas al tratamiento adecuado. A continuación son cortadas en planchas, preparadas ya para salir al mercado.

Entre las características más interesantes cabe destacar: que carece de grietas y nudos, por tanto se evita que se agriete, resiste bien la compresión y la tracción, es flexible, lo que permite su empleo en superficies curvas.

Tableros Novopan.

Es un conglomerado de virutas en planchas, en sus capas exteriores cuidadosamente preparadas, esterilizadas, secas, prensadas y encoladas con resinas de sus masas interiores. Están formados sus tableros por tres capas de materia. De esta manera alcanza solidez y estabilidad y la masa puede conformarse a las leyes naturales, o sea sufrir libremente los defectos de la dilatación o contracción sin que ello influya en nada en su superficie.

Entre sus características encontramos su resistencia al alabeado, al producirse cambios atmosféricos, es un excelente aislante térmico (es uno de los materiales que mejor aísla del calor y del frío), gran aislante acústico.

Cartones laminados.

Se confeccionan a partir de residuos de papel y pasta de madera. Existen muchas marcas en el mercado, todas ellas de calidad aproximadamente igual. Este material se vuelve quebradizo muy rápidamente, y en general es demasiado frágil para usarlo como soporte para pintura permanente. A causa de su bajo precio, a veces se utiliza para prácticas de estudiantes y principiantes de pintura.

Tableros compactos.

Existe un grupo muy importante, integrado por cartones compuestos de fibras prensadas en una textura tan compacta que pueden sustituir incluso a la madera. Algunas de sus variedades se consideran permanentes, habiendo pasado todas las pruebas aunque tal vez sea el paso real del tiempo el que nos confirme de idoneidad de esta materia.

El táblex o Presdwood viene dando unos resultados interesantes; es un cartón de construcción de color marrón de unos 3 mm de espesor, con una cara perfectamente lisa y la otra con marcas de una rejilla u otra impresión.

Este material tampoco contiene aglutinante(6), sino que está hecho sometiendo a las fibras de madera a una presión de vapor de 70 Kg. por cm² (68 atm) y prensando en caliente la pulpa refinada. Las fibras se entrelazan y forman una masa permanente dura, aglutinada de manera natural por las ligninas u otros ingredientes de la madera. A lo largo de la fabricación se añade a las fibras una pequeña cantidad de parafina con otros componentes que la hacen casi impermeable por lo que se comporta muy bien frente a los cambios de humedad ambiental. Se expende en el mercado con distintos grosores, para usos artísticos es recomendable el Standard Masonite Presdwood, ya la misma compañía fabrica otros cartones similares de dudosa utilidad artística.

El táblex templado (tempered presdwood), que se encuentra con colores marrón oscuro y negro, no es idóneo para la pintura, ya que está impregnado con un aceite para protección, el cual impide la buena adhesión de la imprimación.

Otros tableros.

Existen otros tableros que se usan en la construcción y que no son adecuados para el pintor, hay tableros muy pesados, hechos de fibra de amianto

aglutinada con cemento y prensada. La mezcla normal suele contener alrededor de un 80 por ciento de cemento Portland. No son útiles para pintar al óleo, en cambio si han dado buenos resultados para pintar con caseína y otras técnicas murales (7). Algunos nombres comerciales son: Transite, de la compañía Johns Manville (New York), el Flexboard, es menos denso ya que en su proceso de fabricación se le somete a menos presión, el Marinite es más espeso contiene escayola y amianto y se usa preferentemente en construcciones interiores.

Dentro de los tableros de amianto existe una gran gama de variedades, sin embargo, pienso personalmente que no podemos considerarlos inalterables y que el paso del tiempo es un factor de sumo interés que demostrará la realidad de los mismos.

Reforzamiento de los tableros de cartón.

Podríamos establecer algunas normas generales a tener en cuenta para el reforzamiento de los tableros de cartón y aplicables además a los de madera, cabe destacar entre otras: la no utilización de clavos o tornillos, los reforzamientos tampoco serán tan firmes y rígidos que impidan los movimientos naturales de su

origen aminotrópico, en cuyo caso se producirían
arqueamientos y deformaciones.

SEGUNDA PARTE.

AGENTES QUE CAUSAN LA DEGRADACIÓN DE LA MADERA.

Aunque existen muchas causas en la descomposición de la madera, en el estudio que estamos realizando abarcaremos todos los agentes directos e indirectos que ponen o pueden poner en peligro la estabilidad de la misma.

Podemos establecer dos grupos para señalar las causas que afectan al estado de conservación de la madera:

-Causas abióticas.

-Causas bióticas.

Entre las causas abióticas, se encuentran los agentes meteorológicos, las radiaciones solares y la contaminación ambiental. Las causas bióticas pueden estar representadas por la acción de hongos e insectos.

Hay que reconocer la diferencia que existe entre el estado de conservación que presentan las maderas expuestas a la intemperie y las que se encuentran en interiores. Es observable a simple vista esta diferencia, ya que al verse unas condicionadas por una serie de cambios atmosféricos y de otro tipo aparecen con desprendimientos de la capa de barniz, así como agrieteadas o alabeadas, por el contrario las que se

encuentran en interiores no presentan este grado de deterioro.

AGENTES QUE INTERVIENEN EN LA DESTRUCCIÓN DE LA MADERA.

II.0.0 AGENTES ABIÓTICOS.

II.1.1. Madera a la intemperie.

El aire contaminado contiene entre otros, óxidos de nitrógeno y de azufre, que pueden atacar a las fibras leñosas y alterar en ciertos casos los antisépticos inyectados en la madera para su conservación.

Una madera sometida constantemente a la radiación solar, también sufre alteración tanto en la resistencia mecánica como en su cambio de tonalidad superficial, lógicamente cuanto más delgado sea el trozo de madera, más se verá afectado por este agente. La exposición prolongada de la madera a la luz solar ocasiona además numerosas fendas, las cuales a su vez posibilitan la entrada de humedad, y también favorecen la proliferación de hongos xilófagos. Estas fendas asimismo sirven para almacenar el agua de lluvia o de

otro tipo, que al bajar la temperatura por debajo de cero grados helará y acentuará más aún el grosor de la fenda.

La lluvia, el granizo y las partículas de polvo ejercen una acción erosiva en la madera y a largo plazo, también producen un deterioro considerable.

Si colocamos la madera en contacto con el suelo, igualmente sufre alteraciones; en suelos secos tendrá más duración que si está en suelos húmedos. La naturaleza de los suelos es otro factor de gran influencia sobre su duración. En suelos húmedos y compactos (suelos arcillosos), la madera dura en general más que en suelos sueltos (arenosos o calizos), hay una excepción, el Haya, que no se comporta de esta forma.

Con respecto a la utilización en las construcciones de madera que ha sido anteriormente sometida a la acción del agua, por ejemplo en su transporte a través de ríos, encontramos opiniones contradictorias, ya que hay quien supone que con ello se pierden los taninos, resinas y otras sustancias, que desempeñan un cierto papel en la conservación de la madera; otros por el contrario, estiman que al quitar la savia se aumenta la duración de la madera, porque se eliminan algunas sustancias que favorecen la pudrición. Si consideramos que los hongos xilófagos propiamente dichos no viven a expensas del contenido

celular, sino de las paredes de las células leñosas, y si se tiene en cuenta además que el poder fungicida de las sustancias intracelulares (especialmente del tanino) es relativamente pequeño, comparado con el de los antisépticos empleados usualmente para conservar la madera, se comprenderá fácilmente que el desaviado no puede ejercer gran influencia sobre la duración de la madera.

II.1.2. Agentes atmosféricos.

Los elementos estructurales de madera localizados a la intemperie, suponen un fenómeno complejo en el que intervienen numerosos factores, entre los que se encuentran no sólo los agentes atmosféricos, sino también la superposición de los mismos, su periodicidad, e intensidad diarias.

Las radiaciones solares, suponen una degradación en la madera, aunque su acción se localiza más en una pequeña parte del espectro que alcanza la Tierra, al ser filtradas por otras capas entre las que el ozono supone un factor importante. En piezas de grosor no reduce considerablemente la resistencia mecánica, pero sí influye, decisivamente en la degradación superficial. En los primeros meses de exposición, la capa superficial de la madera está sometida al ataque

de los rayos ultravioleta, aunque también ejercen una acción nociva los infrarrojos e incluso los del espectro visible. En general, la degradación comienza por la lignina y, si la superficie no está sometida a la acción de la lluvia, el ataque se refleja en un oscurecimiento pronunciado. En las capas externas en contacto con el aire ambiente pueden aparecer progresivamente gran cantidad de mohos para los que resulta vital la humedad de la madera y los productos de la fotodegradación, dando a la superficie la coloración grisácea o negruzca tan común en carpinterías de exteriores. Este último fenómeno no ocurre, o se atenúa considerablemente, en climas muy secos o en regiones costeras en las que la atmósfera salina puede inhibir el crecimiento de microorganismos, favoreciendo por tanto frente a posibles ataques de este tipo.

La fotodegradación y los citados mohos producen un debilitamiento mecánico de la sustancia leñosa superficial que, combinados con la acción del viento y de la lluvia, la destruyen. Por otra parte, los tejidos menos densos (madera de primavera) son más atacados que los compactos (madera de verano), lo que origina los típicos «dientes de peine» en la superficie de maderas colocadas en exteriores. Como dato de referencia, puede indicarse que una madera después de 100 años de plena exposición a la

intemperie pierde una capa de aproximadamente 6,25 mm de espesor. Por otra parte, esta pérdida superficial, junto a la variación de volumen (merma e hinchazón) producida por los cambios de humedad, ocasionan la aparición de fendas de mayor o menor grosor, por las que penetra la humedad posibilitando así el acceso por esta vía a los microorganismos atacantes de la misma.

II.1.3. Agentes mecánicos.

El roce o la presión que se ejerce sobre un determinado tipo de madera por el uso a que se ve expuesto determina una merma de sus características mecánicas, lo que se acentuará o disminuirá según el grado de dureza.

II.1.4. Resistencia al fuego.

Definiendo previamente el concepto de incendio podemos comprender más claramente la reacción de esta materia ante este elemento.

- INCENDIO. Es un fuego o combustión incontrolada cuya evolución y duración es consecuencia de los

materiales que forman parte del mismo dependiendo, por tanto, de la naturaleza de los mismos.

La NBE (Norma Básica de la Edificación) CPI-82 define la resistencia al fuego de un elemento constructivo como el tiempo durante el cual dicho elemento es capaz de mantener las condiciones de estabilidad mecánica, estanqueidad a las llamas, ausencia de emisión de gases inflamables y aislamiento térmico.

Refiriéndonos a la madera podemos decir que se trata de un material combustible (su poder calorífico varía según las especies entre 4.000 y 4.500 cal/gr), cuya reacción al fuego se encuentra comprendida entre las clases medianamente inflamables. Sin embargo, al principio de la combustión el calor aportado a la madera se emplea en evaporar el agua de la misma, con lo que se reduce el foco calorífico en la primera fase del incendio. Por ello, raras veces es la causa de la iniciación del fuego, a no ser que se trate de piezas muy pequeñas y muy secas. Por otra parte, la inflamabilidad de la madera, originada por el desprendimiento de hidrocarburos en su calentamiento, puede corregirse mediante el tratamiento con ignífugos, que actúan de diversas formas: unos impiden la salida de gases inflamables, rellenando al fundirse a baja temperatura los poros de la madera o formando espumas o barreras; otros actúan directamente sobre el

proceso de combustión interrumpiendo las reacciones que en él tienen lugar, también a partir de fosfatos se aumentará la cantidad de carbón y de vapores de agua. Por tanto se trata más bien de factores económicos los que deciden una buena protección contra el incendio.

Aunque la madera sin ignífugar tiene mala reacción al fuego, su resistencia es alta, posibilitando contener el incendio y mantener la resistencia estructural en pie del mismo permitiendo mientras tanto el desaloje.

La carbonización exterior de la madera y su baja conductibilidad térmica no permiten arder a la parte interna de las vigas y piezas de grandes dimensiones (se admite que la velocidad de penetración del fuego en la madera es de 0,7 mm/min, despreciando los 3 primeros mm. de formación de carbón). Además, la pérdida de resistencia originada por la disminución de sección, al quedar la superficie carbonizada, es en parte compensada por el hecho de que la madera al ir deshidratándose por efecto del calor, aumenta de forma proporcional su resistencia a la compresión y a la flexión. Esta es la razón, avalada por numerosos incendios espectaculares ocurridos en todo el mundo, de que los bomberos confíen en las estructuras de madera más que en las de acero y hormigón armado, que tienden a desplomarse en presencia del fuego de forma más inesperada e inmediata.

IGNÍFUGOS PARA LA MADERA.

Resultaría prácticamente imposible hacer de la madera una materia permanentemente incombustible, pero se la puede hacer inmune al fuego.

Los gases combustibles que se desprenden por la acción del calor, deberán mezclarse con otros gases de forma que dificulten la propia combustión, de esta manera no se desprenderán llamas. Fue Gay-Lussac uno de los primeros investigadores que analizaron las condiciones indispensables para hacer incombustibles los cuerpos orgánicos.

La utilización de sales volátiles, que no arden al descomponerse por el calor (sales amoniacales), producirá calcinación en ausencia de llamas.

Para ignífugos de madera pueden usarse las siguientes fórmulas:

I. Para inmersión o imbibición: a) Fosfato amónico 100 partes, ácido bórico, 10 partes agua hasta completar 1000 partes.

b) Sulfato amónico 135 partes, borato sódico 15 partes, ácido bórico 5 partes, agua hasta completar 1000 partes.

II. Para aplicación con brocha:

a) Silicato sódico 100 partes, albayalde 50 partes, cola 100 partes. Se aplica en caliente.

b) Se da una primera mano, en caliente, de: agua 100 partes, sulfato aluminico 20 partes. A continuación se da una segunda mano de: agua 100 partes, silicato sódico líquido 50 partes.

c) Primer aplicación, dos manos: agua 100 partes, silicato sódico 50 partes. Segunda aplicación, dos manos: agua hirviendo 75 partes, gelatina blanca 200 partes; se amasa con amianto 50 partes, bórax 30 partes y ácido bórico 10 partes.

d) También para evitar que arda la madera expuesta temporalmente al fuego, se emplean pinturas de aceite hechas incombustibles por la adición de fosfato amónico y bórax en forma de polvo incorporado a la masa, o pinturas de cal y amianto o de amianto solo.

e) Silicato sódico sólido 350 partes, amianto en polvo 350 partes, agua hirviendo 1000 partes. Se dan varias manos antes de dar la siguiente.

f) Amianto en polvo 35 partes, borato sódico 20 partes, agua 100 partes, goma laca de 10 a 15 partes. Se disuelve el bórax en el agua, al calor, y en esta solución caliente se disuelve la laca. Una vez hecha la solución resultante se incorpora el amianto.

Estas dos últimas fórmulas proporcionan una protección superficial, cuya eficacia depende del número de manos o capas, que se den.

III. Se somete la madera, o los objetos de madera de que se trate, durante ocho horas, a la acción de una solución hirviendo de 33 partes de cloruro de manganeso, 20 partes de ácido ortofosfórico, 12 partes de carbonato de magnesio, 10 partes de ácido bórico y 25 partes de cloruro amónico en 1000 partes de agua. La madera así tratada resulta perfectamente incombustible aun a grandes temperaturas, y además queda protegida contra la putrefacción, polilla, etc.

IV. Por la acción del vacío: a) Uno de los procedimientos más sencillos consiste en saturar la madera con una solución de volframato de sosa, haciendo esta operación en una cámara de vacío, con lo cual queda la madera parcialmente desprovista del aire contenido en su interior. Se obtienen muy buenos resultados.

b) El método Payne consiste en tratar la madera en cámara de vacío, primero con una solución de sulfato de hierro, y después con cloruro de calcio; de este modo se precipita el sulfato de calcio en los tejidos de la madera, que queda incombustible y le confiere mucha vida.

Actualmente algunos Laboratorios oficialmente homologados realizan ensayos de ignifugación según la Norma UNE 23.727. Según Orden de 14 Octubre de 1982 nº 30544, estos Laboratorios son los siguientes:

- Laboratorio de Experiencias e Investigaciones del Fuego del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. INIA.
- Laboratorio de Control del Fuego del Iranor.
- Laboratorio de Madrid del Instituto Nacional para la Calidad de la Edificación.
- Laboratorio General de Ensayos e Investigaciones de la Generalitat.
- Laboratorio Municipal del Fuego del Cuerpo de Bomberos del Ayuntamiento de Barcelona.

Las marcas IGNITOR, (Indig, S.A.), Manresa (Barcelona), y MEBSA, en Granada, se encargan de estos tratamientos de ignifugación, aplican cuatro métodos básicos:

- reacción química.
- impregnación.
- impregnación a presión.
- recubrimientos superficiales.

TRATAMIENTOS DE IGNIFUGACIÓN.

Existen cuatro métodos básicos de ignifugación en materiales inflamables: Cambio o reacción química; impregnación; impregnación a presión; y recubrimientos superficiales.

El cambio químico y la impregnación a presión están limitados a los procesos de fabricación, y normalmente proporcionan un alto grado de uniformidad.

La efectividad del sistema de cambio químico está básicamente a los plásticos y fibras sintéticas. Ello puede lograrse con la formación de un polímero intrínsecamente resistente a la llama, como el NOMEX, o los clásicos clorados como el PVC, o bien por reacción con un monómero retardante como el tetrabromobisfenol A.

La impregnación está limitada al tratamiento de materiales absorbentes, ya que el producto retardador debe ser introducido disuelto en un líquido, normalmente agua. El proceso se reduce a una inmersión total o a una pulverización superficial. En ocasiones el medio puede ser un disolvente, buscando la posterior resistencia al lavado en sistema acuoso. En caso contrario la limpieza queda restringida a los lavados en seco.

Los tratamientos de impregnación a presión son específicos de materiales no absorbentes como la madera, donde por un proceso de vacío-presión similar a los de preservación, se introducen las sales retardantes en las células interiores de la misma.

Los recubrimientos superficiales ofrecen diferentes posibilidades ya que pueden ser aplicados en cualquier etapa del proceso de fabricación del

material combustible. Normalmente se aplican a elementos estructurales de madera, llegándose al aislamiento por medio de materiales incombustibles como el asbesto o bien por aplicación de pinturas intumescentes cuya expansión en contacto con el calor forman la capa de protección. Son fácilmente aplicables aunque el roce continuo en las mismas dificulta su efectividad.

MÉTODO DE ACCIÓN DEL IGNITOR IS-80.

Los mecanismos exactos de ignifugación o retardo de llama que, aplicados a la celulosa, hasta la fecha se conocen son:

1. Cambio químico. Durante el proceso de combustión, la presencia del ignifugante modifica la relación de los productos de descomposición de la misma, de forma que se producen menos gases inflamables y mayor cantidad de residuo carbonoso no inflamable.

2. Efecto térmico. Aunque de menor importancia, como tal se considera a la absorción de calor por descomposición del ignifugante durante la combustión, produciéndose un estado de enfriamiento.

3. Fase gas. Al descomponerse el ignifugante emite gases no combustibles que alteran la inflamabilidad del resto de las maderas.

El IGNITOR IS-80, reduce la incandescencia o combustión sin llama, que suele producirse a 600° C, siempre que se aplique correctamente como se señala en sus instrucciones de uso.

También existen pinturas que protegen a la madera del fuego, es el caso de la Protecflam que bajo la acción directa del fuego forma una capa de espuma microporosa y multicelular, aislante y no combustible, el inconveniente de su color blanco nos limitará su uso para maderas artísticas visibles aunque se podría utilizar en estructuras de construcción ocultas consistentes.

Se puede utilizar también el barniz ignífugo PROTECFLAM, sus resinas sintéticas disueltas en medio acuoso al contacto con el fuego forman una capa de espuma microporosa e ininflamable protectora y aislante de los materiales de madera, está especialmente condicionado a aplicarse en contrachapados, aglomerados y otros tipos de madera colocados en interiores.

La cola ignífuga IMPAGTOR, compuesta de resinas fenólicas resulta también muy resistente a los ácidos y álcalis.

II.1.5. Sorción de agua.

La higroscopicidad de la madera es un factor a tener muy en cuenta ya que dependiendo del lugar en que se encuentre (interior, exterior), se verá influenciada por el ambiente circundante, tendiendo a absorber vapor de agua, si la proporción dominante en el ambiente es mayor que la de la propia madera.

Se manifestará exteriormente un aumento de volumen o una reducción del mismo si el medio ambiente que le rodea es extremadamente seco.

Las radiaciones solares, la temperatura y la humedad serán, pues, factores condicionantes de la sorción de agua, por lo que si se protege convenientemente se producirán menos cambios en su estructura.

II.1.6. Agentes químicos.

Esta materia sufre alteraciones por la acción de los ácidos fuertes(8), lejías alcalinas e incluso de

los detergentes; la cal apagada en estado fresco también puede producir acciones corrosivas si está mucho tiempo en contacto directo con el tejido leñoso.

Las piezas de hierro y acero en contacto con la madera y en presencia de cierto grado de humedad también producirán deterioros en esta materia, traduciéndose en la aparición de manchas, generalmente negras o negro-azuladas, que pueden ser muy intensas, afeando sensiblemente la superficie de la madera. Se producen por una reacción química entre el hierro y los taninos o polifenoles presentes en el tejido leñoso, que da como resultado la formación de compuestos de hierro de color oscuro, siendo mucho más frecuente en las frondosas que en las coníferas. Con el fin de evitar estos daños, no deberán emplearse en madera con alto contenido en taninos, sometidas periódicamente a condiciones de humedad elevadas (exteriores), clavos, tornillos, herrajes, etc. de hierro o acero, sino los fabricados en latón, bronce, aluminio u otro material no ferroso. En el caso de que las manchas se hayan producido ya, es posible eliminarlas aplicando una solución acuosa de ácido oxálico al 8% en las zonas afectadas, previa eliminación de las posibles capas de barniz existentes. Posteriormente lavaremos con agua la madera tratada a fin de eliminar los restos de ácido, que podrían producir reacciones negativas a su vez.

II.1.7. Madera en interiores.

En lugares secos y herméticamente cerrados la madera se conserva sin presentar ningún problema y puede durar indefinidamente, buena prueba de ello son los sarcófagos de las momias egipcias.

Sin embargo, en gran cantidad de ocasiones esto no es así, y al cabo de varios siglos, éstas suelen perder su resistencia mecánica y se hacen quebradizas.

La madera sufre variaciones en su composición y estructura, cuando se somete a altas temperaturas durante largos períodos de tiempo; incluso a temperaturas muy por debajo de 120 grados centígrados se observan ya alteraciones, que se van intensificando a medida que aumenta el tiempo de exposición, ya que se inicia la destilación.

La madera, al igual que muchos otros materiales se ve envuelta por un medio ambiente, el cual sufre naturalmente los lógicos ataques de la contaminación, esta supone un factor primordial para el estudio que venimos realizando, la contaminación es pues un punto clave a analizar pues por sí misma condiciona y transforma el periodo normal de envejecimiento que toda madera sufre progresiva y gradualmente.

Para aclarar este término, servirá una comparación entre el aire contaminado y el no contaminado, esto puede constituir el punto de partida lógico para cualquier estudio al respecto.

II.1.8. Aire no contaminado.

El de aire es un término vagamente definido que usamos para describir la mezcla de gases que existe en una capa relativamente delgada alrededor de la Tierra. La composición de esta mezcla, desde el nivel del suelo hasta una altura de aproximadamente 100 Kilómetros, es bastante homogénea.

Como se señala en esta tabla, el nitrógeno y el oxígeno son los gases predominantes en la atmósfera, y juntos constituyen el 99 % de la mezcla en volumen. Casi toda la atmósfera restante está formada por argón y dióxido de carbono. El porcentaje total en volumen

de estos cuatro componentes, en el aire seco y limpio, es del 99'99 por ciento.

	Concentración (porcentaje en volumen)	Peso total (millones de toneladas)
Componentes principales		
Nitrógeno (N ₂)	78.09	4 220 000 000
Oxígeno (O ₂)	20.95	1 290 000 000
Argón (Ar)	0.03	72 000 000
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.032	2 700 000
Componentes menores		
Neón (Ne)	0.0018	70 000
Helio (He)	0.00052	4 000
Metano (CH ₄)	0.00015	4 600
Criptón (Kr)	0.0001	16 200
Hidrógeno (H ₂)	0.00005	190
óxido nitroso (N ₂ O)	0.00002	1 700
Monóxido de carbono	0.00001	540
Xenón (Xe)	0.000008	2 000
Ozono (O ₃)	0.000002	190
Amoniaco (NH ₃)	0.0000006	21
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.0000001	9
óxido nítrico (NO)	0.00000006	3
Dióxido de azufre (SO ₂)	0.00000002	2
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0.00000002	1

TABLA-1. Composición del aire limpio y seco, y peso total de sus constituyentes.

En la tabla-1 aparecen los componentes del aire seco, y se desprecia el agua que suele ser el quinto componente principal del aire limpio. El agua no se incluye en la tabla debido a que, a diferencia de los otros componentes, el vapor de agua se encuentra en el aire limpio en cantidades variables. Dependiendo de la temperatura y de la evaporación de la misma el contenido atmosférico de agua oscila entre el 0'01 y el 5 %. En términos globales, el valor se encuentra entre el 1 y el 3 %. Está claro que la inclusión del vapor de agua disminuiría las concentraciones de los otros componentes atmosféricos. Sin embargo, las proporciones relativas de estos otros componentes siguen siendo constantes, y cuando se conoce el contenido de humedad, los porcentajes de los otros componentes (gases), puede calcularse a partir de esta proporcionalidad constante.

Los componentes menores del aire son numerosos, y varios provienen de diversos procesos naturales. El sulfuro de hidrógeno (H_2S), el dióxido de azufre (SO_2) y el monóxido de carbono (CO), son vertidos a la atmósfera por la actividad volcánica. La putrefacción de plantas y animales bajo condiciones donde no hay oxígeno (descomposición anaerobia), produce metano (CH_4), amoníaco (NH_3) y sulfuro de hidrogeno. Los óxidos de nitrógeno (N_2O, NO, NO_2) se ocasionan mediante descargas eléctricas durante las tormentas.

mientras que toneladas de monóxido de carbono son generadas por los incendios forestales.

II.1.9. Aire contaminado.

La adición de cualquier sustancia alterará en cierto grado las propiedades físicas y químicas del aire puro, por lo que esta nueva sustancia podrá considerarse como un contaminante del mismo. Sin embargo, se clasifican como contaminantes únicamente aquellas sustancias que añadidas en suficientes cantidades, producen efectos peligrosos sobre los seres humanos, los materiales y la fauna y flora. Según esto, casi cualquier sustancia natural o sintética capaz de ser transportada por el viento puede clasificarse como contaminante. Tales sustancias pueden presentarse como partículas sólidas, gotas líquidas, gases o mezclas de las mismas.

El vapor de agua, que influye considerablemente en la mayoría de los procesos de deterioro lo tendremos inevitablemente presente. Tendremos en cuenta que el efecto perjudicial de las impurezas atmosféricas sólidas y gaseosas puede reducirse algo, disminuyendo la humedad relativa. Estas impurezas son, por lo tanto, menos importantes en los climas tropicales calidos y secos que en los templados y

húmedos. El efecto de las impurezas es máximo cuando el aire está saturado y se producen condensaciones de humedad en los objetos. La proporción de impurezas sólidas y gaseosas depende y es variable en función del tiempo y de la proximidad de las ciudades, de las instalaciones industriales, del mar, etc. El dióxido de azufre (con su producto de oxidación, el ácido sulfúrico) es uno de los agentes perjudiciales más poderosos. Los cloruros, procedentes en parte de las atmósferas industriales y principalmente del mar, pueden ser una importante causa suplementaria de deterioro. Las partículas sólidas de la atmósfera pueden contener sustancias alquitranosas y carbón, así como sales y materias silíceas. El depósito de polvo sobre la madera puede producir un doble efecto. En primer lugar, los depósitos que contienen agentes activos de deterioración pueden actuar, especialmente en presencia de humedad, como emplastos sumamente corrosivos. En segundo lugar, la suciedad puede alterar tanto el aspecto de un objeto que tenga que quitarse el depósito, operación que puede acarrear daños.

Existe una difusión atmosférica muy reducida del aire de superficie, más allá de una altitud comprendida entre los 3.000 y 3.600 metros por encima del nivel del suelo, y además muchos contaminantes nunca rebasan el nivel de los 600 metros. Las barreras

geológicas y las artificiales también limitan naturalmente el movimiento lateral del aire, reduciendo mucho los efectos de mezcla y dilución.

TIPOS Y FUENTES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.

Más del 90% del problema de la contaminación atmosférica extendido por todo el mundo, está comprendido por cinco tipos de sustancias, a las que se conoce como contaminantes primarios. Estos son:

1. Monóxido de carbono (CO).
2. óxidos de nitrógeno (NO_x).
3. Hidrocarburos (HC).
4. óxidos de azufre (SO_x).
5. Partículas (part.).

Existen varias cuestiones:

- a) ¿De dónde proceden la mayor cantidad de contaminantes del aire?
- b) ¿Qué contaminante se encuentra en mayor cantidad?
- c) ¿Con qué rapidez aumentan las concentraciones de los contaminantes en la atmósfera?

Existen estadísticas llevadas a cabo en EE.UU. sobre las fuentes de contaminantes primarios, y cantidades (millones de toneladas/año), 1.970. (Ver tabla -2).

Según la información de la tabla-2, podemos considerar el transporte como la principal fuente de contaminación atmosférica, conclusión determinada comparando los 143'9 millones de toneladas de contaminantes totales por este concepto, con las cantidades anuales que producen otras fuentes.

El monóxido de carbono es el principal contaminante individual, con un tonelaje ligeramente superior al total de los restantes combinados. Por estas razones, el CO y el transporte constituyen a menudo los primeros ejemplos mencionados, cuando se trata el tema de la contaminación atmosférica.

Fuente de contaminación	Peso de contaminantes producidos					
	CO	NO _x	HC	SO _x	Part.	Total
Transporte	111,0	11,7	19,5	1,0	0,7	143,9
Combustión de carburantes. (fuentes estacionarias)....	0,8	10,0	0,6	26,5	6,8	44,7
Procesos industriales.....	11,4	0,2	5,5	6,0	13,1	36,2
Eliminación de residuos sólidos.....	7,2	0,4	2,0	0,1	1,4	11,1
Varios.....	16,8	0,4	7,1	0,3	3,4	28,0
Peso total de cada contaminante.....	147,2	22,7	34,7	33,9	25,4	263,9

TABLA-2: Datos recogidos de "Nationwide Air Pollutant Emission Trends", de Environmental Protection Agency, 1.973.

<u>CONTAMINANTE</u>	<u>Nivel de tolerancia</u>	<u>Factor de efecto</u>
CO	5600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1
NO _x	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22,4
HC	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	125
SO _x	365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15,3
Part.	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	21,5

TABLA-3: Factores de efecto de los contaminantes, basados en las normas de calidad para el aire, 1.972.

Quando las masas de emisi3n de la tabla-2, se multiplican por el factor efecto apropiado de la tabla-3, se obtienen nuevos datos que denominaremos efectos de emisi3n. La comparaci3n de los datos de emisi3n en base a la masa y al efecto puede verse en

el gráfico 1 y 2:

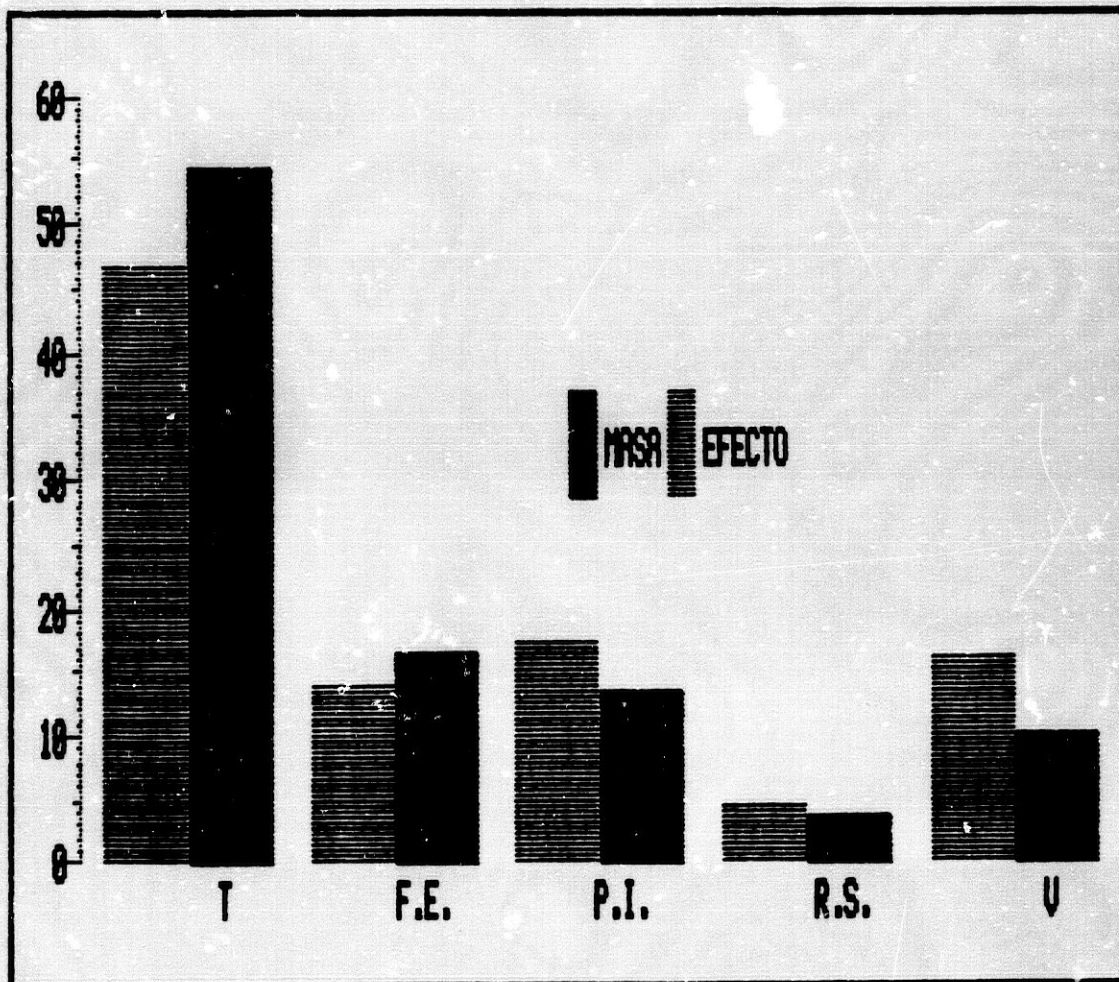


GRAFICO-1: SEGUN EL ORIGEN.

T=Transporte.

F.E.=Fuentes estacionarias de combustión de carburantes.

P.I.=Procesos industriales.

R.S.=Eliminación de residuos sólidos.

V.=Varios.

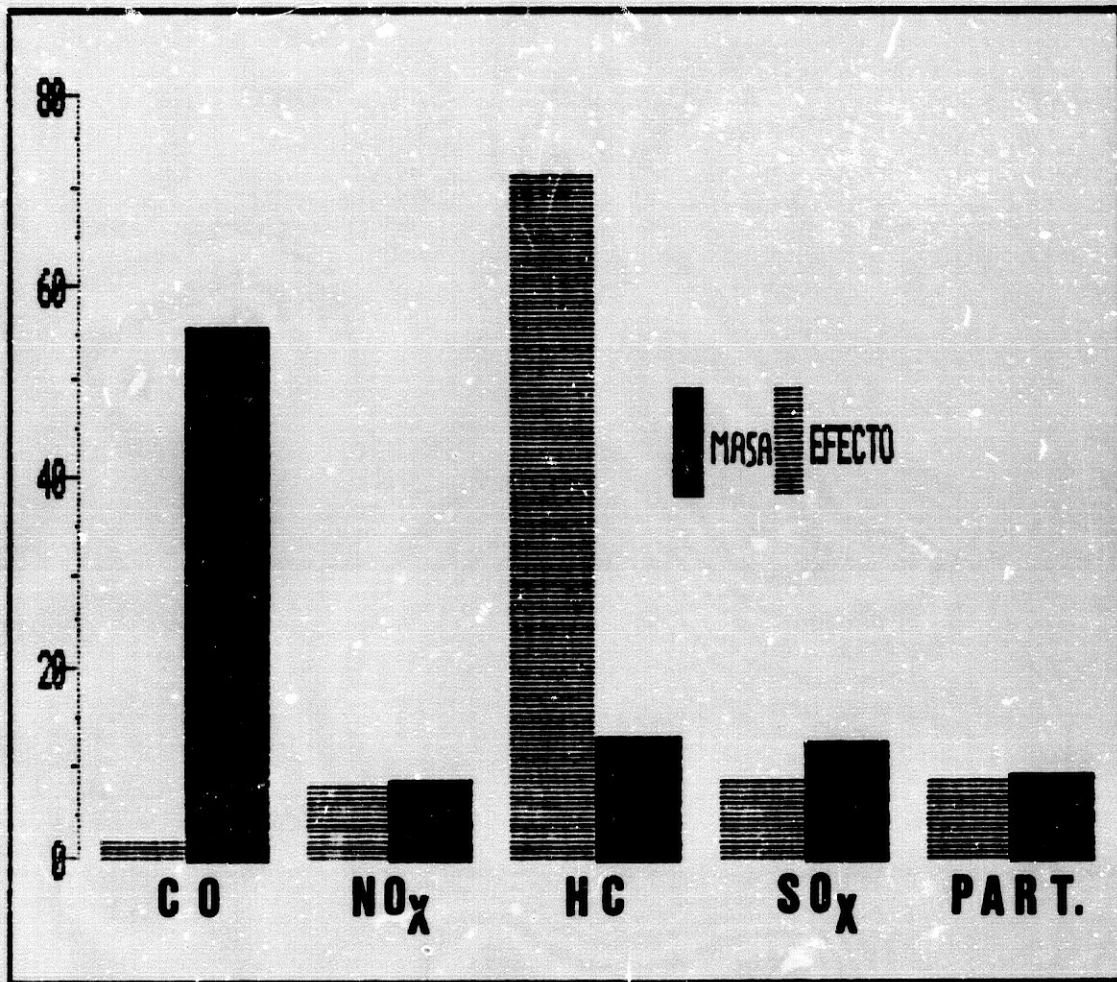


GRAFICO-2: SEGÓN EL CONTAMINANTE.

En la figura se observa que las conclusiones basadas en los efectos de emisión son algo distintas a las basadas en las masas de emisión. En uno y otro caso la principal fuente de contaminación sigue siendo el transporte, pero la combustión estacionaria de carburantes pasa desde el segundo lugar por la masa al cuarto por el efecto. Los demás contaminantes muestran cambios similares. Respecto al efecto, los hidrocarburos se convierten en los contaminantes más importantes, constituyendo casi el 72% del problema de la contaminación atmosférica, mientras respecto a masa sólo contribuyen en un 13%. El monóxido de carbono representa únicamente el 2% del problema, en cuanto a efecto pero el 54% respecto a su voluminosa masa emitida.

Los factores de efecto de la tabla-3 los podemos utilizar más bien desde el punto de vista cualitativo que cuantitativo.

MONÓXIDO DE CARBONO.

II.2.0. Monóxido de carbono.

El monóxido de carbono (CO) es el contaminante del aire más abundante y ampliamente distribuido, de los que se encuentran en la capa inferior de la atmósfera. Es gas a todas las temperaturas superiores a su punto de ebullición de -192° C, es incoloro, inodoro e insípido. Presenta una densidad del 96'5% de la del aire, y no es apreciablemente soluble en agua. Es inflamable y arde con llama azul.

PROCEDENCIA.

Tanto las fuentes naturales como las antropogénicas (debidas a las actividades humanas) contribuyen a los niveles atmosféricos de CO. Es muy conocida la presencia de este gas en los escapes de los automóviles y otros efluentes, debida a una combustión pobre. Los efectos ambientales del CO a partir de ésta y otras fuentes antropogénicas han sido muy estudiados. El reconocimiento del significativo papel desempeñado por las fuentes naturales de CO ha tenido lugar recientemente. Fue en 1.949 cuando se produjo la primera indicación de que el CO era un constituyente natural en forma de trazas en la atmósfera, al detectarse líneas de absorción para el

CO en el espectro solar. Estas observaciones no obstante no llevaron a demasiadas investigaciones sobre fuentes naturales de CO antes de 1.972; se pensó que su contribución era despreciable comparada con la resultante de las actividades humanas. Aunque los estudios efectuados más tarde han demostrado lo contrario: las fuentes naturales aportan mucho más CO que las antropogénicas.

El metano, que origina más del 77 por ciento del CO atmosférico total, se ha visto que procede de la descomposición de las sustancias orgánicas sumergidas en los pantanos, arrozales y regiones tropicales del mundo.

CONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCION DEL CO:

Debido a que el automóvil es la fuente aislada más importante de CO contaminante (65 %), la localización en las zonas urbanas muy pobladas muestran las mayores concentraciones ambientales de dicho gas.

La concentración de CO del aire ambiental en cualquier lugar depende de la tasa de emisión a la atmósfera y de las tasas de dispersión y eliminación. En las zonas urbanas, esta última es muy baja, adquiriendo mayor importancia los otros dos factores.

La tasa de dispersión depende directamente de factores meteorológicos: velocidad y dirección del viento, turbulencia o estabilidad atmosférica. En las grandes ciudades, aunque se creen turbulencias por el movimiento de coches y corrientes de aire por encima y alrededor de los edificios, se dan prolongados periodos de estancamiento aéreo que conducen a una inadecuada dispersión y al consiguiente incremento de la concentración de CO en el aire ambiental, permaneciendo el mismo con pocos movimientos.

DESTINO DEL CO ATMOSFÉRICO:

Tras largas investigaciones se ha concluido que:

1. Las reacciones atmosféricas son demasiado lentas como para suponer una eliminación sustancial del CO.
2. Los océanos han resultado ser fuentes de CO, en lugar de sumideros.
3. Las plantas superiores no han demostrado capacidad de eliminación del CO de la atmósfera que las rodea.
4. Una amplia gama de suelos son capaces de eliminar el CO de la atmósfera.

El importante papel que está cumpliendo el suelo en la eliminación del CO atmosférico está confirmado

en base a investigaciones realizadas a principios de los años setenta. El proceso ha resultado ser de naturaleza biológica, habiéndose indentificado catorce especies de hongos como agentes activos. Experimentos preliminares con CO marcado radiactivamente indican que el proceso de eliminación implica la oxidación del CO a CO₂. Es un hecho, que las principales zonas productoras de CO del país presentan a menudo la menor cantidad de suelo disponible, lo que agrava el problema.

CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN POR CO:

Para controlar la contaminación ocasionada por el CO se han realizado una serie de inventos, la mayor parte de ellos se dirigen hacia el motor de combustión interna (automóvil). Ello es razonable, pues representan casi las dos terceras partes de las emisiones antropogénicas de CO en países industrializados. El problema de las emisiones de CO procedentes de motores de combustión interna se ve complicado por la presencia de otros contaminantes en los gases de escape, que deben tratarse esencialmente de forma conjunta. Estos otros contaminantes son los hidrocarburos (HC), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y las partículas.

ÓXIDOS DE NITRÓGENO.

II.2.1. Óxidos de nitrógeno.

Se conocen ocho óxidos de nitrógeno distintos, habitualmente sólo se detectan tres de ellos en la atmósfera. Son el óxido nitroso (N_2O), el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2). El primero es un gas incoloro, no inflamable ni tóxico, con un aroma y sabor ligeramente dulces. El óxido nítrico también es incoloro y no inflamable, pero inodoro y tóxico. El dióxido de nitrógeno, un gas pardo-rojizo, es tóxico y se caracteriza por un olor casi asfixiante, aunque no es inflamable.

FUENTES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO:

Las fuentes naturales al igual que las antropogénicas contribuyen a los niveles atmosféricos corrientes de óxidos de nitrógeno. Las emisiones a partir de estas fuentes, según su distribución son muy semejantes a las del monóxido de carbono, contribuyendo las fuentes naturales significativamente más que las ocasionadas por los humanos. El porcentaje de la emisión procedente de fuentes naturales y antropogénicas difiere considerablemente para los tres óxidos. Casi todo el N_2O atmosférico procede de fuentes naturales. El NO atmosférico proviene de

fuentes tanto naturales (80 por ciento) como antropogénicas (20 por ciento), mientras que casi todo el NO_2 emitido hacia la atmósfera es de origen antropogénico.

La actividad bacteriana en el suelo, que causa la descomposición de compuestos nitrogenados, representa la fuente natural más importante de N_2O .

EFFECTOS DE LOS (NO_x) SOBRE LOS MATERIALES:

Los estudios de campo y las investigaciones de laboratorio han relacionado con éxito los óxidos de nitrógeno (NO_x) y sus productos de reacción (nitratos) con los problemas relacionados con la degradación de tintes y fibras textiles, y con las aleaciones de algunos metales. Algunos tintes textiles pierden color al ser expuestos a NO_x . Los tintes incluyen los utilizados en rayón de acetato, algodón y otras mezclas. El problema de la pérdida de color del algodón surgió a mediados de los años cincuenta, cuando las amas de casa se quejaban del fenómeno al secar las prendas en secadores alimentados con fuego de gas. La pérdida se atribuyó a los óxidos de nitrógeno formados durante la combustión del gas natural utilizado para calentar los secadores.

Los niveles elevados de nitratos particulados han causado fallos de tensión debidos a la falta de corrosión en los cables trenzados de cuproniquel, usados en los relés de las compañías telefónicas. Se encontró que las elevadas concentraciones de nitratos en el polvo transportado por el viento, que se habían acumulado en las áreas rotas, era lo que causaba los fallos.

HIDROCARBUROS Y OXIDANTES FOTOQUÍMICOS.

II.2.2. Hidrocarburos y oxidantes fotoquímicos.

Los hidrocarburos y los oxidantes fotoquímicos constituyen dos categorías distintas de sustancias contaminantes, pero que están relacionadas. Los hidrocarburos son contaminantes primarios pues son introducidos directamente en el aire. Los oxidantes fotoquímicos son contaminantes secundarios que se originan en la atmósfera a partir de reacciones que implican a contaminantes primarios.

HIDROCARBUROS:

Estas sustancias, como su nombre indica, contienen sólo los elementos hidrógeno y carbono. Se conocen literalmente decenas de millares de estos compuestos. Se encuentran en los tres estados físicos (gas, líquido y sólido) a temperatura ambiental. El estado físico característico de cada uno está relacionado con la estructura molecular, y en particular, con el número de átomos de carbono que forman la molécula.

Los hidrocarburos más importantes en la contaminación atmosférica son los que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiental normal, o los que son muy volátiles (que pueden transformarse en

gases con facilidad) a tales temperaturas. La mayor parte de estos hidrocarburos presentan unas estructuras relativamente simples, con doce o menos átomos de carbono por molécula.

FUENTES DE HIDROCARBUROS:

En su mayoría, entran en la atmósfera procedentes de fuentes naturales, como en el caso del CO y de los NO_x. Casi todas estas fuentes implican procesos biológicos, a pesar de que unas pocas incluyen actividad geotérmica y procesos que tienen lugar en yacimientos de hulla, gas natural y petróleo.

El metano (CH₄), el hidrocarburo más simple, se libera en la atmósfera en cantidades mayores que cualquier otro. Al año y en todo el mundo, la cantidad se estima en 310 millones de toneladas. Las reacciones de descomposición bacteriana representan la fuente primaria, y como podemos suponer, las mayores cantidades se generan en pantanos, marismas y otras masas de agua.

SUS EFECTOS:

Algunos estudiosos consideran que buena parte de la degradación de los materiales atribuida en la

actualidad a la exposición a la intemperie, es en realidad el resultado del ataque por parte de contaminantes atmosféricos, y en particular, de los oxidantes fotoquímicos. Hasta el momento la mayoría de investigaciones en este campo se han centrado en un oxidante, el ozono, y en dos tipos de materiales, los textiles y el caucho; lo que podemos aplicar también a la madera.

Se sabe que muchos polímeros orgánicos, incluyendo el caucho y las fibras textiles naturales y sintéticas, están sujetos a la alteración química por exposición a cantidades muy reducidas de ozono. Las concentraciones del aire ambiente suelen ser lo bastante elevadas como para que estas reacciones tengan lugar.

Estas reacciones producen dos efectos distintos, la rotura de la cadena de carbonos y el enlace cruzado de las mismas. En el primer caso, las cadenas largas de los átomos de carbono que constituyen el polímero se rompen, y el material se hace más fluido y pierde resistencia a la tensión. El segundo efecto desemboca en la formación de nuevos enlaces entre cadenas de carbonos paralelas. Esto hace que el material se haga menos elástico y más quebradizo. Este tipo de actividad tiene lugar con niveles de ozono ambiente muy inferiores a los que afectan al hombre.

El caucho no extendido puede exponerse al ozono durante largos periodos de tiempo, sin que se formen las grietas características. Sin embargo, la exposición a concentraciones ambientales de 0,01 a 0,02 ppm de ozono desemboca en la formación de grietas si el caucho está más extendido. En apariencia, el caucho está protegido por una cobertura consistente en un compuesto de ozono y caucho (ozonuro), que se forma en la superficie y protege a este último de la penetración y ataque por parte del primero. Esta película protectora se agrieta cuando el caucho se somete a tensión y las superficies de caucho fresco se exponen al ozono atmosférico.

La utilidad primordial del caucho es en los neumáticos de los automóviles, y éste se halla expuesto al ozono atmosférico mientras se somete a una tensión continua (dilatándose y flexionándose). Para evitar el ataque del ozono y las correspondientes grietas, se añaden aditivos antiozonantes al caucho. Ello evita el ataque del ozono, pero aumenta el costo del neumático. En ocasiones estas sustancias trascienden hacia la superficie del neumático y pierden buena parte de su efectividad, o son eliminadas del mismo por el aceite, la gasolina u otros disolventes. En cualquier caso el neumático se hace muy susceptible al ataque del ozono, lo que causa grietas.

El ozono también ataca a la celulosa de los productos textiles y leñosos. Luz y humedad parecen ser los factores precisos, antes de que tenga lugar una alteración apreciable en la fuerza para la rotura de la fibra. Los efectos nocivos de la exposición al ozono de los productos textiles y ligneos aumentan cuanto más naturales son los mismos.

CONTAMINACIÓN ESTRATOSFÉRICA:

La contaminación estratosférica del aire fue descubierta mediante investigación y se informó de ella a principios de la década de los setenta. Este problema se estudia aquí debido a que se encuentra implicado el ozono. Sin embargo, el ozono de este estudio no está relacionado con las neblinas contaminantes. Nuestro problema en este caso es el de mantener una concentración de ozono y no de que ésta disminuya.

La atmósfera, hasta una altitud de 110 Km, puede dividirse en cuatro regiones (ver figura-1). La capa más inferior o troposfera, se extiende hasta una altitud de unos trece kilómetros (18 en los trópicos) y es la zona en la que tiene lugar la mayor parte de la actividad humana (y de la contaminación). La troposfera contiene alrededor del 75 por ciento de la

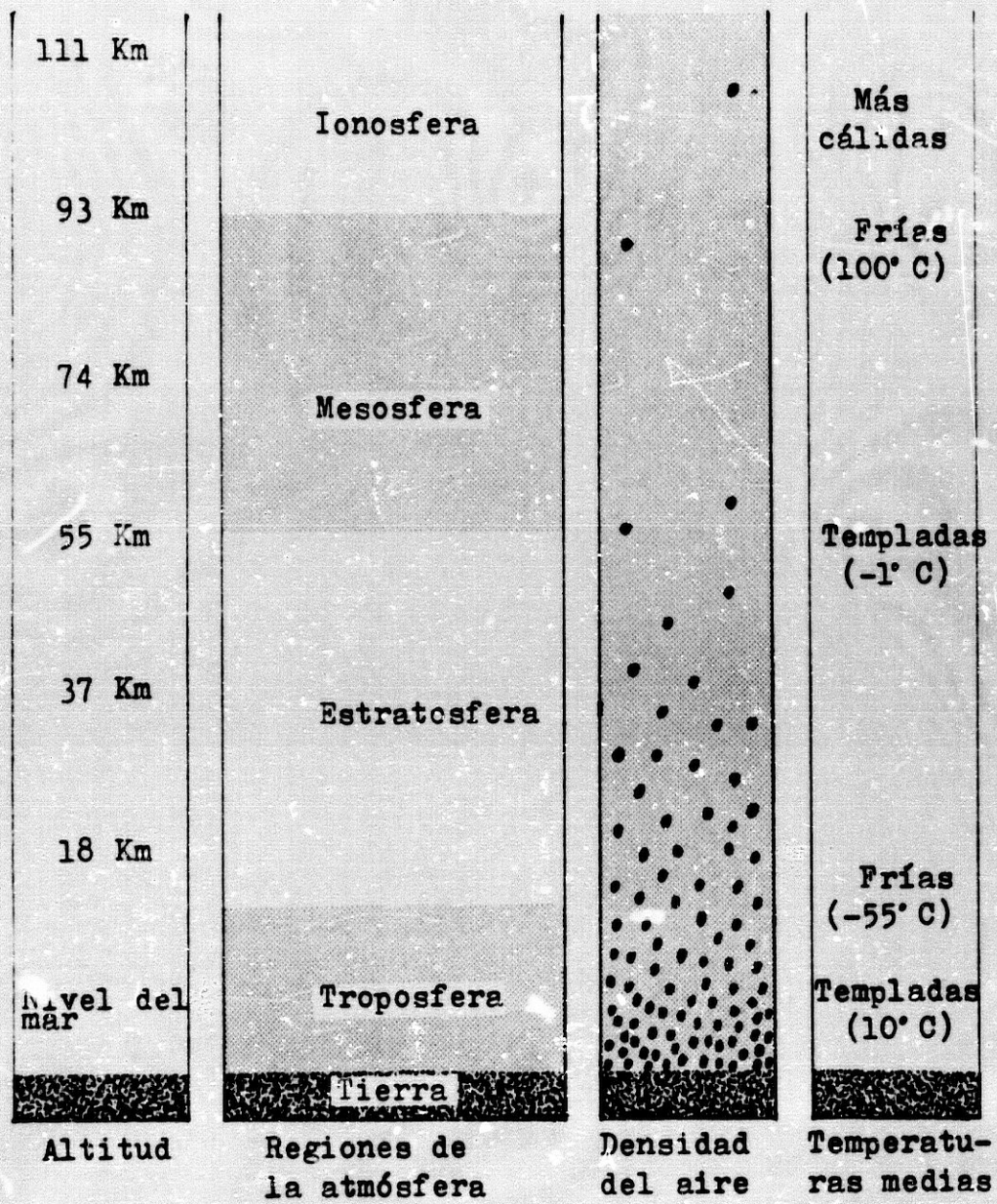


FIGURA-1: Descripción de las cuatro capas de la atmósfera, hasta una altitud de 111 kilómetros.

masa total de la atmósfera. La siguiente capa, la estratosfera, es unas tres veces más gruesa que la troposfera pero contiene sólo el 15 por ciento de la masa atmosférica total. Esta diferencia en cuanto a masa se debe al rápido descenso de la densidad atmosférica con la altitud. La densidad se reduce más o menos a la mitad cada seis kilómetros y medio de aumento de la altitud por encima del nivel del mar. A una altitud de cincuenta y cinco kilómetros, cerca del límite superior de la estratosfera, la atmósfera sólo tiene una densidad del 1% de la que tiene al nivel del mar.

El ozono es un componente natural de la estratosfera. La fotodisociación del oxígeno molecular es el principal mecanismo de su formación en la atmósfera superior. La energía para el proceso proviene de la radiación solar ultravioleta. El ozono formado de esta manera sufre continuamente una descomposición en oxígeno ordinario.

En la estratosfera, las tasas de formación y descomposición del ozono hacen que la cantidad neta sea siempre constante. Este equilibrio de la concentración del ozono puede alterarse cambiando la tasa de formación o la de descomposición.

La capa estratosférica de ozono absorbe más del 90 por ciento de la radiación solar ultravioleta. La radiación de este tipo, de intensidad elevada, es

perjudicial para casi todas las formas de vida. Los rayos ultravioleta pueden romper los enlaces carbono-hidrógeno de las moléculas orgánicas, así como disociar las moléculas de agua. Todos los organismos vivos contienen muchas moléculas con enlaces carbono-hidrógeno; puede haber un cambio fisiológico cuando se rompen tales enlaces. Así pues, la capa de ozono protectora es muy importante para la vida sobre la Tierra.

A principios de los setenta se hizo patente la preocupación ante la posibilidad de que se destruyera la capa de ozono. Se especuló acerca de que los contaminantes antropogénicos emitidos hacia la estratosfera podían catalizar la reacción de descomposición del ozono, alterar el equilibrio entre formación y descomposición del mismo, y disminuir la concentración de ozono en equilibrio. Desde entonces, se han establecido muchos programas de investigación para estudiar el problema, lo que está claro es la necesidad de proteger estas capas de ozono para mantener así la vida en nuestro planeta.

ÓXIDOS DE AZUFRE.

11.2.3. óxido de azufre.

El óxido de azufre que se emite hacia la atmósfera en mayores cantidades es el dióxido de azufre, SO_2 . Lo acompaña por lo común una pequeña cantidad de trióxido, SO_3 , pero en general en un porcentaje que no rebasa el 1 ó 2 por ciento del SO_2 . En conjunto, ambos óxidos se designan como SO_x .

El dióxido de azufre es un gas incoloro y no inflamable, con unos puntos de fusión y ebullición respectivos de $-75,5$ grados C y $-10,0$ grados C. El trióxido de azufre es un gas incoloro y muy reactivo que puede condensarse fácilmente hasta formar un líquido (punto de ebullición = $44,8$ grados C). En condiciones normales no se encuentra SO_3 en la atmósfera puesto que reacciona rápidamente con la humedad, formando ácido sulfúrico (H_2SO_4).

A escala mundial, podemos calcular que en la atmósfera entran anualmente 146 millones de toneladas de SO_2 de forma directa. Estas emisiones proceden casi exclusivamente de fuentes antropogénicas. Además, dentro de la atmósfera se generan anualmente unos 194 millones de toneladas de SO_2 como resultado de la oxidación del sulfuro de hidrógeno (H_2S). La fuente del H_2S atmosférico es la descomposición de la materia orgánica. Los pantanos y turberas así como otras aguas estancadas son particularmente productivos. Los

océanos constituyen la fuente de 30 millones de toneladas anuales, mientras que las fuentes biológicas terrestres contribuyen con 70 millones. La actividad volcánica genera cierta cantidad de H_2S , pero a nivel mundial es despreciable si se compara con los procesos de descomposición biológica. Una pequeña cantidad de H_2S , 3 millones de toneladas, entra en la atmósfera como resultado de las operaciones industriales, lo que eleva el total de emisiones mundiales a los 103 millones de toneladas por año.

Las emisiones antropogénicas de óxidos de azufre (146 millones de toneladas/año) proceden primariamente de la combustión del carbón. La combustión del fuel oil y la fundición de minerales sulfurados también contribuyen de manera significativa, aunque reducida, al SO_2 de la atmósfera. Las fuentes naturales de SO_2 (procedentes posiblemente de la actividad volcánica) no suponen un aporte importante.

EFFECTOS DE LOS SO_2 SOBRE MATERIALES:

La mayor parte de los daños a los materiales debidos a la contaminación por SO_2 , son ocasionados por el vapor de ácido sulfúrico altamente reactivo que se produce cuando el SO_2 se oxida catalíticamente en las gotas de agua.

El secado y tiempo de endurecimiento de algunas pinturas aumenta con una exposición al SO_2 . La exposición de las capas de pintura al óleo a una concentración de SO_2 comprendida entre 1 y 2 ppm, aumenta los tiempos de secado del 50 al 100 por cien. Algunas capas de pintura se hacen más suaves, mientras que otras resultan más quebradizas al secarse en presencia de SO_2 . Estos cambios en las capas pictóricas condicionarán su duración.

Las tasas de corrosión de la mayoría de metales y en especial hierro, acero y cinc, se ven aceleradas en ambientes contaminados con SO_2 . Las partículas, una humedad elevada y la temperatura, también desempeñan importantes papeles en esta corrosión. De hecho se han realizado distintos ensayos que han corroborado la acción corrosiva de los óxidos de azufre respecto a la corrosión de los metales:

1. Las tasas de corrosión creciente se dan en áreas industriales.
2. Las tasas de corrosión son superiores en otoño e invierno, cuando los contaminantes particulados y los de óxidos de azufre están más concentrados, debido a la combustión de los carburantes usados en la calefacción.
3. Estudios efectuados con paneles de acero templado expuestos a la intemperie en diversos puntos de Chicago, pusieron de manifiesto un

paralelismo alto entre tasa de corrosión (medida por la pérdida de peso) y las concentraciones atmosféricas de SO_2 .

Las concentraciones elevadas de ácido sulfúrico procedente de la contaminación atmosférica son capaces de atacar a una amplia gama de materiales para la construcción. Son especialmente susceptibles las sustancias que contienen carbonatos, como mármol, caliza, pizarra de techar y argamasa, además de la madera. El material llega a debilitarse mecánicamente, a medida que reaccionan estos ácidos.

El sulfato cálcico formado en la superficie de la albañilería es unas dos veces más voluminoso que el carbonato de la piedra de la cual se ha formado. La piedra en cuestión aparece "escamosa" o "enferma".

El cuero absorbe fácilmente el SO_2 y, en consecuencia, pierde resistencia y finalmente se desintegra. Se ha sugerido que cantidades reducidas de hierro en el cuero funcionan como catalizador oxidativo, convirtiendo el SO_2 en ácido sulfúrico. El papel y la madera también absorben SO_2 , el cual, oxidándose hasta H_2SO_4 , hace que pierdan el color y se vuelvan frágiles y débiles. En apariencia, al igual que en el caso del cuero, pequeñas impurezas metálicas catalizan la oxidación del SO_2 .

II.2.4. LA LLUVIA ACIDA.

Se inició hace veinte años, con los primeros síntomas localizados en la península escandinava: la mayoría de los lagos adoptaron un color azulino, sus aguas se volvieron límpidas, pero de su seno desapareció prácticamente la vida, tanto animal como vegetal. Más tarde se produjeron decoloraciones en los árboles de la Selva Negra alemana: las hojas, cada vez más amarillentas y frágiles, comenzaron a desprenderse. Después, le tocó el turno a Canadá: el 20% de sus lagos se volvieron letalmente «limpios», como sus hermanos escandinavos. Ahora el extraño mal ha hecho brote en Estados Unidos: hectáreas enteras de bosques, empiezan a palidecer, hasta volverse amarillas, como en Alemania. Pero también empieza a observarse el mismo fenómeno en Polonia, Checoslovaquia, Suiza y Francia.

Evidentemente la contaminación atmosférica es la causa principal de este mal. Los factores esenciales de este peligro son dos: el óxido de azufre y el de nitrógeno. Estos gases, que impregnan la atmósfera terrestre arrastrados por los vientos y que las lluvias devuelven a la tierra, se encargan de alterar numerosos ecosistemas.

Los gases que polucionan la atmósfera, llevados por las corrientes de aire, suelen desplazarse a

grandes distancias, siendo por lo general más peligrosos en su lugar de «deposición», como dicen los científicos, que en su lugar de origen. Durante su desplazamiento, los óxidos de azufre y de nitrógeno sufren determinadas reacciones químicas que los convierten en ácidos. Incorporados a las masas de nubes, vuelven a la tierra junto con la lluvia. En el llamado «Plan Captex», que une a Estados Unidos y Canadá en un mismo esfuerzo contra la lluvia ácida, se han hecho pruebas con lanzamiento de globos unidos de aparatos sensibles a los gases sulfúrico y nítrico de la atmósfera, y han registrado desplazamientos increíblemente largos de los mismos. De esta forma se pudo detectar, por ejemplo, que gran parte de los ácidos que «llueven» sobre los lagos y bosques canadienses proviene de los estados norteamericanos de Indiana y Ohio. Lo que inicialmente llega a la atmósfera como óxidos de azufre y de nitrógeno, se termina de procesar en el aire durante su larga y destructiva marcha y, bajo los efectos de la radiación solar, absorbe la humedad aérea, culminando así su acidulación. De esta forma lo que termina «lloviendo» sobre Canadá es más peligroso que lo que se origina en Estados Unidos, del mismo modo que, tal como se comprobó, la lluvia ácida que se precipita sobre Alemania se origina en Inglaterra, y en este caso también vuelve a la tierra con una mayor carga de

peligrosidad que al alcanzar la atmósfera. También está visto que los lagos donde la lluvia ácida provoca mayores estragos son aquellos que poseen muy poca roca calcárea en su fondo, de esta forma no pueden neutralizar la acción ácida de la lluvia.

Otro factor que se une negativamente al efecto de los ácidos es la presencia de metales como el aluminio. Este, en combinación con el sulfúrico y el nítrico, produce la muerte de la flora y la fauna acuáticas.

UNA AMENAZA REAL.

La República Federal Alemana es el país europeo más afectado. En 1982, según la administración germana, un 8% de los bosques del país eran perjudicados por la lluvia ácida. Un año después, un tercio de los bosques alemanes ya estaban en iguales condiciones. Ciertos científicos piensan que la lluvia ácida provoca una acidulación constante de la tierra, de todas formas el efecto más tangible es sobre la flora.

Sin embargo, no es la naturaleza la única que sufre los efectos de la lluvia ácida; colabora en el deterioro de puentes, estructuras metálicas en

general, y también en el de fachadas de edificios, monumentos públicos, estatuas y madera.

La Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos ha elaborado un informe sobre este problema que es más que preocupante. En principio, el mismo establece que los precipitados electrostáticos, colocados en las chimeneas de la industria norteamericana para reducir la polución atmosférica, resultan contraproducentes en relación con la lluvia ácida. En efecto, un precipitador electrostático reduce la cantidad de ceniza resultante del trabajo, colaborando así con la limpieza atmosférica. Pero al mismo tiempo, le abre las puertas al «nuevo diluvio», que se ha dado en llamar, puesto que la ceniza al ser alcalina reduciría la efectividad de este peligro.

COMO SE PRODUCE.

El óxido de azufre y el óxido de nitrógeno emitidos a la atmósfera, tras reaccionar químicamente con el aire atmosférico se transforman en ácido sulfúrico y nítrico. Algunas de las partículas ácidas abandonan la atmósfera por gravedad o por impacto contra edificios u otros elementos, y se produce la precipitación seca de ácidos, el resto de las partículas permanecen en la atmósfera durante más



Fig. 1. Dirección que siguen las emisiones de óxidos de azufre de cada país.

tiempo, más tarde se oxidan y dan lugar a moléculas de ácidos fuertes, estas moléculas ácidas se disuelven en gotas de lluvia y abandonan la atmósfera en forma de nieve, granizo, etc.

A pesar de que la lluvia en sí es ácida (PH = 5'6) es a partir de esta cifra hasta 2'5 ó 1'5, que la consideramos lluvia ácida.

INVESTIGAR SOLUCIONES.

Supone la Academia de Ciencias norteamericana en el informe que una solución sería el lavado del carbón antes de ser usado en la industria. Esto serviría para remover entre el 10 y el 40% de sus componentes de sulfato solubles. Pero además se plantea otro problema que no es de fácil solución: ¿qué hacer o, mejor dicho, cómo deshacerse de los residuos sulfatados? La academia estadounidense sugiere la utilización de carbón de baja sulfatación, pero sus yacimientos se encuentran por lo general muy lejos de las zonas industriales y escasean en todo el mundo, por lo que supondría un desembolso económico. Hasta ahora los empresarios norteamericanos no se deciden a tomar medidas. Hasta la actualidad, las presiones de la Environmental Protection Administration (EPA) sólo han conseguido que la administración aumente ligeramente

el presupuesto para estudiar algún paliativo a dichos efectos.

Entretanto, los bosques del hemisferio norte parecen estar destinados a una trágica agonía. Sus enemigos tradicionales (los incendios, las tormentas o las sequías) se han convertido en males menores, ante un peligro muchísimo mayor: la odiosa combinación de ácido sulfúrico y ácido nítrico. Por ahora, España parece haberse salvado de estos niveles, aunque en 1986 ya se empezaron a notar sus efectos en las zonas limítrofes de la ciudad de Barcelona, no obstante su destino está por ver. Al otro lado de los Pirineos, la lluvia ácida ya está haciendo estragos. Cada año, los residuos de óxidos de azufre suman millones y millones de toneladas.

El caso de la lluvia ácida «made in USA» enfrenta a Canadá con Estados Unidos. En Europa, las naciones escandinavas se sienten agredidas por la lluvia ácida que les viene desde Inglaterra; Alemania Occidental, por la que le viene de Francia; Suiza y Polonia, a su vez, por la lluvia ácida que, según ellos, es de origen germano-occidental. Pero no es sólo la lluvia ácida lo que está desarticulando ecosistemas. Los óxidos de azufre y de nitrógeno también caen en forma de «deposiciones secas» (en contraposición con las «húmedas» de la lluvia ácida), a modo de fino polvillo. Estas partículas se mezclan con la tierra y

allí permanecen, al producirse las lluvias los óxidos se humedecen y se convierten en ácidos.

Según las investigaciones efectuadas por ingenieros de montes durante el año de 1981 todos los abetos de la Europa Central se encontraban enfermos, más de la mitad de las coníferas presentaban síntomas de muerte prematura. Estudios llevados a cabo en 1982 por el Instituto Experimental de Hessa (República Federal Alemana), confirman que al sur del país más de la mitad de los montes se encuentran dañados, en el norte supone el 50% de las coníferas. En este mismo año se confirmaba por otras estadísticas que un 27% del bosque del país estaba afectado.

Diariamente, en Alemania Occidental mueren 80.000 árboles a consecuencia de las voluminosas proporciones de dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) que se emiten a la atmósfera.

En Suecia, de sus 85.000 lagos, 18.000 están acidulados, y 2.500, totalmente muertos. En Noruega, de los 5.000 lagos que se encuentran en el sur del país, 1.750 han visto morir toda su fauna y su flora, y 900 más están «en vías de extinción». Pero está claro que la lluvia ácida no piensa detenerse, a menos que se modifiquen formas profundas de nuestra sociedad, y cambien esencialmente los modelos de producción.

ACTUACIÓN SOBRE LOS ARBOLES.

Las células de las hojas que controlan los orificios por donde entra aire a las mismas (estomas) se ven bloqueados por el SO_2 , de esta forma, al verse expuestas a una mayor evaporación, las hojas se secan y caen. Además la acidez, también se lleva la capa de protección cerosa de las hojas. Esta agua ácida además invade todo el árbol desde las hojas a las ramas y tronco, al llegar a la tierra rompe la unión de los metales pesados (cádmio, plomo, aluminio) que se encuentran adheridos a la arcilla.

El azufre se va introduciendo poco a poco en la planta y termina envenenándola. Esto hace que el árbol enferme y se debilite, y los agentes naturales, viento, helada, junto con los hongos e insectos terminan apoderándose de la madera.

Los árboles de hoja perenne tardan de cuatro a catorce años en renovar sus hojas (acículas) por lo que se ven orientados al desastre, los árboles de hoja caduca por el contrario aguantan un poco mejor la lluvia ácida al regenerar cada año hojas nuevas, aunque tienen el mismo final.

Las reuniones internacionales por otra parte no son nada alentadoras, ya que a pesar de los datos señalados anteriormente, se sigue sin "admitir" la realidad de los mismos: por ejemplo de la Conferencia

Ministerial sobre la Acidificación del Entorno (9) se concluye por parte de Estados Unidos e Inglaterra, que "no había bastantes pruebas".

II.2.5. El filtro catalizador.

Se sabe que a la gasolina se añaden compuestos químicos de los que forma parte el plomo, con la finalidad de elevar la compresión, un octanaje alto, de 96 ó 98 (gasolina super) sinónimo de fuerte contenido en compuestos de plomo, este añadido de plomo a la gasolina es un procedimiento bastante barato, y no reviste problemas técnicos.

A principios de 1984 en Alemania se empieza a propiciar en la opinión pública, la necesidad de una reducción en la contaminación ambiental, la observación de otros países tales como Japón o EE.UU. resulta ser la clave de la cuestión, ya que se comprueba que en estos países, la emisión de elementos contaminantes por parte de automóviles y vehículos pesados, se halla regulada y reducida por disponer los mismos de filtros catalizadores.

La industria alemana del automóvil ha aceptado la introducción por etapas del filtro, aunque a sus colegas europeos de la C.E.E., no les ha resultado brillante dicha idea, y se encuentran reticentes pues

suponen unas pérdidas económicas.

Un inconveniente para la instalación de dicho catalizador en los vehículos rotados, es que el carburante habrá de estar exento de plomo, por lo que habrá que buscar otros métodos para subirlos de octanaje, de todas formas los ejemplos mencionados anteriormente afianzan la viabilidad de dicho proceso.

El filtro catalizador consiste básicamente en una sonda encargada de medir la cantidad de oxígeno en los gases, y un cilindro en cuyo interior se encuentran unos paneles alveolados cerámicos sobre los que se han depositado platino, rodio, y paladio, metales catalizadores(10), de una reacción química en la cual la mayoría del monóxido de carbono y los hidrocarburos sin quemar se transforman en dióxido de carbono y agua, y los óxidos de nitrógeno en gas de nitrógeno. El plomo no puede aparecer en la gasolina, ya que en pocas semanas recubriría inutilizando los metales responsables de la descontaminación.

La introducción de dichos catalizadores supondría en todo el mundo un descenso considerable de la contaminación atmosférica, la reducción de contaminación mediante este filtro catalítico, debiera ser causa obligada de aceptación, ya que supone una impresionante disminución del 80 al 90% de la contaminación total que produce el automóvil, en un plazo máximo de tres años.

PARTÍCULAS.

II.2.6. Partículas.

No todos los contaminantes atmosféricos se encuentran en el estado gaseoso que hemos descrito. Diminutas partículas sólidas y pequeñas gotas de líquido, denominadas en conjunto partículas, también se hallan presentes en el aire en gran número, y en ocasiones constituyen un grave problema de contaminación. El agua pura, en forma de gotas, será el único líquido que podremos excluir.

Los términos aerosol y partícula se utilizan a veces indistintamente pues los aerosoles se definen como dispersiones de sólidos o líquidos en un medio gaseoso. Las palabras neblina, humo, emanación, polvo, etc, se usan para indicar orígenes de estas partículas. Las neblinas están compuestas por gotas de líquidos, en suspensión; los humos usualmente consisten en partículas de hollín producidas por combustión; las emanaciones son vapores condensadas de sustancias tanto orgánicas como metálicas; y los polvos resultan de la rotura mecánica de la materia sólida.

Las partículas se clasifican a veces como viables (capaces de vivir) o inviables. Como casos de partículas viables se pueden citar: bacterias, hongos, mohos y esporas. Las partículas inviables incluyen

sustancias tales como compuestos orgánicos, metales, polvos y sal marina.

La fuente de contaminación antropogénica por partículas más importante es la producción de aerosoles secundarios a partir de contaminantes gaseosos primarios. De estas conversiones resulta un total estimado en 204 millones de toneladas de partículas. Ello constituye aproximadamente el 20 por ciento de las partículas naturales producidas mediante el mismo proceso. La introducción directa de partículas (primarias) en la atmósfera a partir de fuentes antropogénicas representa 92 millones de toneladas al año.

La composición química de los contaminantes en partículas varía mucho. Podemos decir que cualquier elemento o compuesto inorgánico, así como muchas sustancias orgánicas, pueden hallarse en forma de partículas si se analizan volúmenes de aire lo bastante grandes y se utilizan métodos analíticos suficientemente sensibles. Las partículas de polvo y de suelo contienen primariamente compuestos de calcio, aluminio y silicio, comunes en suelos y minerales, por lo que su composición está en función del origen de las partículas. El humo procedente de la combustión del carbón, petróleo, madera y basuras contiene muchos compuestos orgánicos. Estos últimos también se hallan en los polvos insecticidas, así como en algunos

productos liberados a partir de la fabricación de alimentos y la industria química. Las sales inorgánicas de amoniaco, sulfatos o nitratos, que se forman en la atmósfera, son partículas secundarias producidas a partir de constituyentes inorgánicos.

Cuando se quema carbón a granel, la mayor parte de la materia mineral se deposita después de la combustión en forma de cenizas. Estas se hallan compuestas primariamente por silicato aluminico, constituyente común de la arcilla. Sin embargo, las modernas centrales de energía son alimentadas con carbón finalmente pulverizado, y no en trozos. En tales condiciones, hasta el 80 por ciento de la ceniza es transportada por los gases de escape, finalmente dividida. Parte de las cenizas suspendidas en el aire escapan a la atmósfera.

Además de sus componentes principales, el carbón contiene muchos elementos en forma de trazas(11). Durante la formación del carbón los elementos tienden a concentrarse en éste en cierto grado. En la combustión, los elementos traza se liberan y entran a formar parte de la materia en partículas resultante del escape. En general, los elementos traza se convierten en sus óxidos y se distribuyen en cenizas suspendidas y de fondo, en una proporción que depende de sus propiedades físicas y químicas. A pesar de las bajas concentraciones de metales traza en el carbon,

se ha prestado mucha atención a sus partículas.

SUS EFECTOS.

Las partículas transportadas por el viento (hollín, polvo, humos y neblinas), pueden causar una amplia gama de daños a los materiales. La extensión y tipo de los mismos dependen de la composición química y del estado físico del contaminante. Los daños pasivos se deben a la caída de estas partículas sobre los materiales, que obligan a la necesaria y frecuente limpieza; los procesos de limpieza continuados, debilitan los materiales. Se producen daños químicos cuando las partículas son corrosivas, o cuando transportan sustancias corrosivas absorbidas, en su proceso de oxidación destruirán la celulosa en contacto.

Los metales, en general, son resistentes a la corrosión en aire seco, e incluso en aire limpio que contenga sólo pequeñas cantidades de agua, pero las partículas aceleran la corrosión especialmente en presencia de compuestos que contengan azufre. Parte del papel de las partículas en la aceleración de los ritmos de corrosión se debe a que actúan como núcleos sobre los que puede condensarse la humedad. Los gases fijados a las partículas se disuelven en las gotas de agua formadas, por lo que en los estudios de

laboratorio realizados las tasas de corrosión aumentaron de forma significativa en presencia de humedad, por lo que podemos concluir que las partículas asociadas a la humedad son un agente doblemente corrosivo para la madera. Aunque nos hemos dedicado a exponer lo que son los efectos con partículas inviábiles, podemos imaginar la acción de ésta inmersa con partículas viábiles (hongos, bacterias, etc), y fácilmente podemos predecir el efecto a largo plazo sobre la madera.

En experimentos de campo se demuestra que las tasas de corrosión de diversos metales son mayores en atmósferas urbanas e industriales. Muestras de hierro procedentes de hornos de hogar abierto normalizados, exhibieron tasas de corrosión sorprendentemente diferentes al ser expuestas a atmósferas de diversas localidades en todo el mundo: las muestras expuestas a atmósferas industriales muy contaminadas fueron las que más se afectaron.

Las superficies pintadas son muy susceptibles a los daños por partículas antes de que la pintura se haya secado. Los contaminantes se unen a la pintura húmeda o pegajosa, y forman puntos focales para la fijación gaseosa y ataques ulteriores. Además, algunos humos y vapores reaccionan directamente con las superficies pintadas secas, causando importantes daños.

II.2.7. Tipos de clima, efectos de deterioro.

En el clima coinciden muchos elementos y factores de diversa naturaleza. Los principales que deben tomarse en consideración son la temperatura y la humedad (precipitación, condensación y evaporación), influidos por factores tales como la latitud, la altitud, la distribución de las tierras y las aguas, las barreras montañosas, las corrientes oceánicas, los vientos predominantes y, en los continentes, la topografía local y la cubierta superficial (ausencia o presencia de vegetación, naturaleza de ésta, humedad o sequedad, color, etc.).

Se reconoce universalmente que la mejor manera de preservar la madera consiste en acondicionar el aire de los lugares donde se encuentra, manteniendo así alrededor de aquéllas condiciones constantes de temperatura y humedad con un grado aceptable de pureza atmosférica.

Todo esto pone de relieve la importancia del clima, que debe considerarse como uno de los principales factores que incide en la descomposición de los materiales leñosos.

Es un apartado muy a tener en cuenta el que se refiere a la influencia general de la temperatura, de la humedad y de las impurezas del aire como agentes climáticos destructores, por separado o reunidos.

antes de estudiar esa influencia en las condiciones más localizadas (microclimas) de algunos lugares.

Alta temperatura y abundante humedad.

Estos factores favorecen la desintegración química y el ataque biológico: la mayoría de las reacciones se sustentan en la presencia de humedad y suelen ser aceleradas por el aumento de la temperatura, las condiciones óptimas para la proliferación de las criptógamas (hongos, algas, musgos y líquenes) son con temperaturas de 25 a 30 grados C y humedades relativas del 70% o más. Estas condiciones son también ideales para el desarrollo de las bacterias y de los insectos, en particular las termitas.

Baja temperatura y abundante humedad.

Puesto que muchos materiales son higroscópicos toman la humedad ambiente incorporándola a la estructura física de la molécula o absorbiéndola y liberándola mecánicamente como una esponja.

Se puede establecer una disminución media de 1 grado C. por cada 200 m de altitud, de esta forma las

temperaturas pueden descender hasta la congelación. Al helarse, la humedad contenida en los materiales antiguos aumenta apreciablemente de volumen haciendo que éstos se agrieten y desmoronen. Este fenómeno, llamado acción del hielo, es, junto con la sulfatación, uno de los grandes inconvenientes para la conservación de la madera.

Alta temperatura y escasa humedad.

Esta asociación es característica de las tierras secas, también comporta riesgos. En las noches baja la temperatura y la variación diurna lleva en consecuencia, una dilatación y una contracción de la capa exterior de la madera que acaba rompiéndola, y fraccionándola.

II.2.8. Otros agentes meteorológicos.

Aquí podemos abarcar todas las formas de precipitación, condensación y evaporación (lluvia, niebla, granizo, nieve y vapor).

El cambio constante de húmedo a seco y de frío a caliente, combinado con el efecto mecánico de la

lluvia sobre los materiales leñosos produce una degradación considerable.

Además de este efecto esencialmente mecánico de la lluvia, debe recordarse que el agua tiene un poder disolvente apreciable sobre muchos edificios y materiales antiguos en general. El agua de lluvia contiene siempre dióxido de carbono y otras impurezas. Si el desagüe no es rápido aumenta la acción disolvente.

Existen algunos métodos para eliminar o paliar los efectos destructores de los elementos mencionados, éstos pueden ser entre otros:

-Además del acondicionamiento del aire, pueden ser una solución las paredes y los techos protectores de gran espesor, las dobles paredes conteniendo una cámara de aire, o un pasillo exterior paralelo a las salas donde se encuentra este material.

- Cuando la humedad relativa es constantemente elevada, deben tomarse precauciones especiales contra las proliferaciones de microorganismos y los insectos. Una circulación del aire y una ventilación convenientes, combinadas con el empleo de aparatos de refrigeración, constituyen medidas sencillas contra la condensación.

-Cuando la humedad varía a lo largo del año como en los climas tropicales subhúmedos, esta sucesión alternativa de humedad y sequedad es precisamente lo que deteriora los materiales antiguos. El exceso de humedad en las vitrinas que puedan contener algún elemento de madera puede absorberse con gel de sílice.

-La excesiva sequedad de la atmósfera durante todo el año constituye la principal preocupación, especialmente con los materiales orgánicos higroscópicos cuya estructura celular pueda desintegrarse en tales condiciones. La impregnación de esos materiales con sustancias protectoras o la pulverización de agua en las salas de exposición pueden aportar algún remedio, pero debe tenerse en cuenta que la humedad así difundida debe estar en forma de vapor y no caerá sobre los objetos ya que traería problemas.

Se controlara por tanto periódicamente el contenido de humedad y temperatura del aire circundante a los objetos de madera para de esta forma estabilizar y controlar estas condiciones a fin de velar por su buena conservación.

II.2.9. Efectos de la humedad relativa.

Si bien el vapor de agua o la humedad condensada desempeñan un importante papel en la mayoría de los procesos químicos de deterioro, su efecto sobre la estabilidad dimensional y las propiedades físicas de materias tales como la madera es todavía más decisiva. La madera, así como el papel y otros componentes celulósicos, son materiales higroscópicos que se dilatan o contraen con las variaciones en la humedad relativa de la atmósfera, lo que puede modificar sus características mecánicas.

La madera puede ladearse y rajarse si la humedad relativa aumenta o disminuye de forma brusca. Generalmente la madera se deja secar a fin de que su contenido de humedad esté en equilibrio con un determinado intervalo de humedad ambiental. Los grandes cambios por debajo o por encima de ese intervalo (en particular los primeros) engendran fuertes tensiones que producen deformaciones y agrietamiento. Cuando hay capas compuestas, como en la marquetería o en los muebles veteados, la desigualdad de las tensiones origina un abarquillamiento y unas distorsiones en las distintas capas. Sucede igual cuando se trata de pinturas sobre tabla y con las lacas y la escayola de los muebles, debido a que las capas aplicadas no pueden seguir la dilatación.

contracción y la deformación de la madera al cambiar la humedad relativa y se producen hendiduras. Un riesgo suplementario es la amplia variación diurna de la humedad relativa debida a cambios de temperatura que pueden oscilar entre 55 grados C durante el día y 10 grados C durante la noche, en algunos climas.

La madera es especialmente frágil si se transporta a otro lugar en el que se cambian drásticamente los factores de humedad y temperatura a que estaba adaptada, produciéndose en estos casos situaciones lamentables respecto a su conservación.

Los valores recomendables de la humedad relativa, suponiendo que ésta pueda regularse por un sistema de acondicionamiento de aire, influyen considerablemente sobre la madera. Los valores recomendados en los climas templados, suelen ser en promedios del 50-60% con una variación de $\pm 3\%$ aproximadamente. Niveles superiores al 65% pueden ocasionar el crecimiento de los mohos, pero no existe ningún límite inferior fijo natural. Consideramos razonable un porcentaje inferior al 40% en el que difícilmente mantendremos peligros del tipo de los mohos.

La temperatura es un factor relacionado con la humedad. juntos influyen sobre el estado de conservación de esta materia.

La madera conservada en interiores puede protegerse si adaptamos el aire circundante. La mejor

manera de resolver los problemas señalados anteriormente es regular por algún procedimiento la temperatura, la humedad y la pureza del aire. Como este procedimiento es costoso debe hacerse un cuidadoso planeamiento para reducir el gasto pero al mismo tiempo estableciendo las condiciones óptimas para el objeto. El establecimiento de estos sistemas de aire se compensa enormemente al eliminar posteriores gastos de restauración.

La eliminación de los gases sulfúreos, cuando es necesaria en las zonas industriales, puede conseguirse incorporando una cámara de aspersion con agua, de preferencia ligeramente alcalina, o empleando un filtro de carbón activo. Conviene comprobar periódicamente el contenido de dióxido de azufre.

II.3.0. AGENTES DESTRUCTORES BIÓTICOS.

Como materia orgánica que es, representa para muchos organismos vivos (hongos e insectos), un alimento fundamental de subsistencia, que cuando encuentran condiciones favorables a su acción y desarrollo pueden llegar incluso a destruirla absolutamente. Su principal característica de adaptación a esta materia, se basa en la especial facultad que poseen de triturar en pequeños fragmentos la materia leñosa para de esta forma hacerla asimilable, así como en la posibilidad de utilizar los componentes químicos de la misma, de los que más de la mitad son hidratos de carbono, fundamentalmente celulosa químicamente muy resistente, y un tercio lignina que supone más problemas aún de desdoblamiento.

II.3.1. Hongos.

Son vegetales inferiores, cuyo cuerpo vegetativo esta formado por filamentos microscópicos llamados hifas, no posee ni tallo, ni raíz, ni hojas. También

están desprovistos de clorofila, por lo que no son capaces de elaborar sustancias orgánicas a partir del anhídrido carbónico de la atmósfera, el agua y la energía solar, por lo que se alimentan de compuestos orgánicos ya existentes, a los que transforman en sustancias más elementales con la ayuda de enzimas producidas por ellos. Los hongos xilófagos atacan a la madera, ya que tienen la facultad de fabricar enzimas capaces de degradar algunos o todos sus componentes. Plinio ya los cita en su Historia Natural (Libro XVI, Capítulo LXXVIII) como causantes de graves enfermedades en concreto para el Cedro y el Ciprés.

La temperatura óptima de desarrollo estará comprendida entre los 20 y 25 grados C.

Los hongos cromógenos son por sí mismos incapaces de degradar la pared celular, o lo hacen en muy pequeña medida, ya que se alimentan de las sustancias de reserva presentes en las células de la albura, por lo que limitan su ataque a la madera no duraminizada, que normalmente posee mayor atracción por mantener más sustancias de reserva. La coloración más frecuente que producen en las coníferas es la conocida como azulado, este aspecto general de la madera no afecta a sus propiedades físico-mecánicas, en cambio sí supone normalmente una depreciación económica acusada por las reticencias que conlleva en el posible comprador.

Los hongos de pudrición constituyen el grupo de los hongos xilófagos propiamente dichos, que por su dotación de enzimas son capaces de destruir la mayor parte de esqueleto leñoso de la madera. La pudrición afecta generalmente a las propiedades mecánicas, en particular la resistencia estática y dinámica, encontrándose pérdidas importantes de las mismas incluso en ataques aparentemente ligeros.

II.3.2. Hongos Cromógenos.

El micelio de los hongos, que producen el azulado de la madera se desarrolla, según las investigaciones llevadas a cabo por José Benito Martínez(12), sobre todo, en las células que integran los radios medulares, a causa de lo cual las paredes transversales llegan a veces a desaparecer por completo y las paredes exteriores de los radios medulares aparecen muy adelgazadas y a veces rotas. Los radios medulares quedan frecuentemente reducidos a su esqueleto.

El azulado de la madera es síntoma de que las condiciones de temperatura y humedad son favorables para el desarrollo de hongos xilófagos.

Aunque los hongos causantes del azulado no destruyen la madera de un modo apreciable, sin embargo influyen sobre la penetración del antiséptico.

La madera azulada presenta pues una predisposición al ataque de hongos de pudrición y la dificultad que presenta su impregnación, estriba especialmente, en el relleno de micelio que se observa en las células de los radios medulares, esto ocasiona la aparición de espacios capilares, que, reteniendo una cierta cantidad de agua, proporcionan a los hongos de pudrición la humedad necesaria para su desarrollo y, a la vez, oponen gran resistencia a que penetren en la madera los líquidos antisépticos.

II.3.3. Hongos xilófagos.

CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA.

Al establecer unos fundamentos de clasificación de la pudrición de los hongos, habremos de conocer a fondo las características de la pared celular, ya que ésta es la pieza fundamental condicionante y motivo de los diversos grados de pudrición de la madera.

Composición química. Existen dos sustancias vitales y nutritivas que utilizan los hongos para su desarrollo.

estas son: materias que componen la pared celular y el propio contenido celular.

En el contenido celular encontramos materias de reserva (sustancias albuminoideas, azúcares, grasas, almidón, etc.), productos de secreción y materias incrustantes y extractivas (aceites esenciales, resinas, ceras, gomas, materias colorantes, taninos, sales minerales en solución acuosa, etc.). Las frondosas contienen grasas y sustancias ceras, mientras que las resinosas o coníferas poseen resina.

Las paredes celulares están compuestas principalmente por: celulosa, lignina pura, y hemicelulosas. El mayor volumen de la madera está formado por celulosa y por lignina.

Estructura microscópica. Tras el análisis al microscopio por algunos investigadores del tema, podemos deducir una serie de resultados.

Las paredes celulares de las fibras leñosas contiguas están separadas entre sí por una sustancia intercelular, intensamente lignificada, llamada lámina primaria, compuesta por tres capas.

Reacción de la oxidasa de cultivos en hongos xilófagos. Investigaciones llevadas a cabo han demostrado que la descomposición de la lignina por los hongos es un proceso de oxidación(13), mientras que la disolución de la celulosa es un fenómeno de hidrólisis

(14). Por tanto podemos definir la pudrición de la madera como un complejo de procesos oxidantes e hidrolíticos. Por esto hay que admitir, en los hongos destructores de la madera, por lo menos en los que descomponen lignina, la presencia de una enzima oxidante, llamada oxidasa.

II.3.4. Pudriciones.

Aparte de las alteraciones de color, los hongos xilófagos producen grandes cambios en sus propiedades físico-mecánicas. Existen clasificaciones primarias de las pudriciones que aluden a las alteraciones que se observan en su aspecto general, basandose en el color, y se denominaban pardas, blancas o de otro tipo, pero esta división es errónea ya que:

En las pudriciones blancas, se observa generalmente que los hongos causantes tienden a destruir más lignina que celulosa, y el resultado final es un complejo de celulosa más o menos blanquecino. Sin embargo hay hongos que concentran su ataque sobre la celulosa y blanquean los compuestos residuales de lignina, sin destruir esta apenas, por lo cual la madera tiene el aspecto de estar atacada

por una pudrición blanca típica, y en realidad, no es así.

En las pudriciones pardas, los hongos centran el ataque sobre la celulosa y pentosanas asociadas, dejando un residuo carbonaceo, formado por lignina más o menos indemne, que puede fácilmente disgregarse al menor roce.

La clasificación de las pudriciones, por sus caracteres químicos, considera pudrición de corrosión, a las pudriciones blancas típicas, y pudrición de destrucción, a las pudriciones pardas.

Otros investigadores proponen además distintas divisiones, Campbell, dividió las pudriciones blancas en tres categorías:

1ª, pudriciones causadas por hongos que, en las primeras fases atacan solamente a la lignina, y sólo en los estados avanzados, a la celulosa.

2ª, pudriciones ocasionadas por hongos que atacan en principio a la celulosa y pentosanas asociadas, y sólo al final atacan a la lignina.

3ª, pudriciones causadas por hongos que desde el principio atacan simultáneamente a la lignina y a la celulosa.

Existen otros puntos de vista para distinguir las pudriciones:

a/ Por su localización:

Pudrición de la albura, que puede aparecer en el

árbol en vegetación, o en el árbol seco o apeado.

Pudrición del duramen circunscrita en la zona basal del tronco, o en la zona terminal del tronco.

Pudrición mixta de la albura y del duramen.

b/ Por su aspecto macroscópico:

Pudrición veteada.

" moteada.

" acebollada.

" laminar.

" prismática.

" filamentosa.

" pulverulenta.

" cavernosa o alveolar.

PUDRICIONES ESPECIALES.

Pudrición seca. Aunque al hablar de los antisépticos, se aborda el tema de las pudriciones, asignándoles el nombre de pudriciones secas y pudriciones húmedas, esta división carece de todo fundamento, ya que los hongos causales de ambas sólo atacan a la madera cuando se encuentra realmente húmeda (15). Si bien el ataque de algunos hongos hace que la madera adopte las características de una masa seca y deleznable, para su ataque requieren humedad y no pueden atacar directamente la madera seca.

II.3.5. Condiciones para la vegetación de hongos de madera.

Para hacer asimilables las sustancias del contenido celular y las paredes de las células leñosas, los hongos lignícolas segregan fermentos (encimas) que actúan sobre el contenido celular, éstos son los llamados crómógenos, aunque si intervienen en las paredes de las células, son los de pudrición.

La humedad resulta indispensable para la actividad vital de los hongos xilófagos. Esta humedad puede aparecer de dos formas: o bien en la materia leñosa o en el aire ambiental. La que aparece en el substrato leñoso es la más importante para los hongos parásitos, aunque no podemos determinar con exactitud la cantidad de humedad necesaria para su desarrollo, pues por su metabolismo producen agua que eleva el porcentaje de humedad en el substrato leñoso, en general un contenido de humedad del 35-50% es el más favorable para la vegetación de los hongos lignívoros.

La condición más favorable para el crecimiento de los hongos xilófagos resulta cuando las paredes leñosas, además de encontrarse completamente saturadas de humedad, están rodeadas por una película de agua líquida.

La humedad del aire es importante para los hongos saprófitos en general porque es absorbida por la madera por higroscopicidad, y puede, en ciertos casos, llegar a saturar las paredes celulares.

Si se disminuye la humedad de la madera, se paraliza el desarrollo del hongo: el micelio aéreo se reduce de volumen al principio, se arruga después y más tarde se seca. Las hifas que se encuentran en el interior de la madera resisten más tiempo, pero también terminan perdiendo su vitalidad, hay casos en que algunas especies aguantan años enteros de sequedad sin perder su vigor.

Podemos establecer que la humedad mínima de la madera, necesaria para el desarrollo de la mayor parte de los hongos xilófagos es de 22-24%, y que la madera que contiene menos del 20% de humedad se puede considerar inmune al desarrollo de los hongos de pudrición.

En cuanto a su respiración, se admiten dos tipos aerobia o anaerobia. La aerobia, se produce cuando existe oxígeno atmosférico, mientras que la anaerobia o intramolecular, se realiza a base del oxígeno combinado que se encuentra en el medio, en el cual se verifica este fenómeno.

Algunos hongos tienen la facultad de producir agua por respiración, lo que varía con los distintos hongos y depende de las demás condiciones biológicas, de esta forma se pueden propagar del foco de origen a madera seca, para que esto se produzca es necesario que no existan corrientes excesivas de aire, ya que si existieran producirían una gran evaporación y por tanto la humedad resultaría insuficiente para la vegetación, éste puede ser un recurso para impedir su crecimiento utilizando una ventilación adecuada.

La temperatura es otro factor que determina el crecimiento de los hongos, su micelio se reproduce a una temperatura mínima de 3 grados centígrados, a medida que se eleva ésta aumentará también la velocidad de desarrollo hasta su nivel óptimo que está entre 20 y 30 grados centígrados, si seguimos aumentando esta temperatura disminuirá el crecimiento y cesa por completo a una cierta temperatura máxima.

El punto letal máximo está situado entre 45 y 70 grados centígrados para el micelio, y de unos 100 para las esporas.

El punto letal mínimo correspondiente es muy bajo, -15 y -40 grados centígrados.

Cualquier sustrato en el que actúan los hongos xilofagos aparece con un carácter ácido imprimido por

ellos mismos, ya que estas especies se desarrollan bien en un medio ácido.

La presencia de antisépticos en la madera, influye sobre la vegetación del hongo. Todo depende de la concentración de los antisépticos, pues si ésta es suficiente puede llegar a producir la muerte del hongo, y esto es algo a tener muy en cuenta en lo que a la conservación de la madera se refiere.

La acción que producen las radiaciones en los hongos es un elemento de estudio(16). Las investigaciones realizadas a lo largo de este siglo, se refieren principalmente, a la acción fungicida de las radiaciones y a las alteraciones que causan en la reproducción. Si tenemos en cuenta que las experiencias efectuadas con rayos luminosos visibles se llevaron a cabo sin anotar los factores de:

- cantidad o intensidad de luz.
- cualidad de la luz o longitud de onda de las radiaciones.
- duración de la exposición o radiación total.

Concluiremos pues que los resultados que se exponen a continuación, se pueden tener en cuenta aunque con sus reservas.

Rayos luminosos.

Podemos entender en general, que la luz tiende a retraer el crecimiento de los hongos aunque con distinta intensidad según la especie a que se aplique.

Comparaciones entre cultivos de varias especies de hongos xilófagos, mantenidos en la oscuridad, expuestos a la luz difusa y a la acción de la radiación solar directa, durante tres horas, concluyeron que los cultivos expuestos a los rayos solares directos presentaban un crecimiento muy retrasado en todas las especies, la luz difusa causó un efecto notable en la vegetación de algunas especies, y produjo en la mayoría de ellas una disminución del crecimiento así como grandes cambios de coloración en los cultivos aplicados.

Rayos ultravioleta.

Los rayos ultravioleta atacan especialmente al micelio de los hongos xilófagos aunque no contamos con datos precisos respecto a la intensidad de irradiación necesaria para producir un efecto letal.

Rayos infrarrojos.

Aunque no es muy conocida la influencia que ejercen las radiaciones infrarrojas en los hongos xilófagos, experiencias llevadas a cabo, nos demuestran que en breves exposiciones de los cultivos

a estos rayos se eleva rápidamente su temperatura por encima del punto letal, además de las propiedades caloríficas de estos rayos, la acción electromagnética específica de la radiación, también afecta en su crecimiento, pero la acción de estos rayos no se produce con su intensidad si el grosor de la madera es amplio, en cuyo caso no se introducirían con la suficiente profundidad como para actuar adecuadamente.

Rayos X.

Los hongos resultan bastante insensibles ante la aplicación de rayos X, si éstos son aplicados en dosis moderadas, sin embargo cuando se exponen a grandes dosis, resultan letales.

Corriente eléctrica.

La utilización de la electricidad para combatir los hongos es un recurso que de ser válido supondría una gran eficacia y economía, la corriente eléctrica tiende a pasar por las zonas de madera de máximo contenido de humedad, en las cuales el crecimiento de los hongos xilófagos es más activo. Aunque contamos con pocos ensayos al respecto, los japoneses Hattori y Tamura, en 1939, expusieron cultivos a la acción de la corriente continua, alterna y de alta frecuencia, comprobando que la corriente continua y la alterna impedían el desarrollo de algunos tipos de hongos, e

incluso los destruían, en las zonas en donde la intensidad de corriente era máxima. La corriente continua resultó más eficaz que la alterna, y la de alta frecuencia no ejerció unos efectos notables. La acción producida por la corriente eléctrica, en general, puede ser atribuida al calor, y al movimiento de sustancias cargadas eléctricamente.

II.3.6. Tratamientos.

Es necesario como hemos dicho, cierto grado de humedad para que los hongos puedan desarrollarse, en los materiales que les suministran los necesarios elementos nutritivos.

Son las maderas de construcción las más propensas a este tipo de ataques, porque se humedecen fácilmente al carecer de una protección adecuada.

Los siguientes fungicidas son incoloros e inodoros y no manchan las maderas, el ladrillo ni el enlucido y esto es algo a tener muy en cuenta:

A) 20 a 40 grs. de fluoruro sódico comercial disueltos en un litro de agua, y aplicando en frío con un pincel (dos manos), o

B) 50 grs. de fluoruro de magnesio ácido comercial, disuelto en un litro de agua (17).

Si los hongos se encuentran en objetos de arte su alimentación se concentra fundamentalmente en aceites, grasas o materias aglutinantes contenidas en las preparaciones, más que en la misma madera, y su crecimiento se podrá detener mediante una limpieza y la aplicación de un fungicida, pero además es igualmente importante tomar medidas para evitar la repetición de la infección, mejorando la ventilación, e instalando si es necesario equipos que estabilicen la temperatura.

II.3.7. Bacterias y actinomicetos.

La destrucción de la madera a través de las bacterias no tiene mucha importancia si la comparamos con la que ejercen los hongos, las que más nos interesan en este caso son las que descomponen la celulosa.

Este grupo está formado por bacterias anaerobias, que podemos dividir en dos tipos distintos:

1º Bacterias de la fermentación hidrogenada o butírica, que desprenden hidrógeno, como producto de descomposición característico, y además anhídrido carbónico y ácidos grasos.

2º Bacterias de la fermentación metánica, que producen anhídrido carbónico y ácidos grasos, además de metano.

La acción de las bacterias que descomponen la celulosa, se lleva a cabo por la actividad enzimática. Investigaciones llevadas a cabo demuestran que la acción de las bacterias de fermentación metánica sobre la madera de varias frondosas, coincide a grandes rasgos con la duración natural de estas maderas en la práctica.

Actinomycetos.

Los Actinomycetos comprenden un grupo de microorganismos que figuran, ocupando una posición intermedia entre los hongos filamentosos y las bacterias, también se representan como los prototipos originales, de los cuales se han derivado ambas clases de seres.

II.3.8. Conejos.

Los que ocasionan mayores daños en esta materia pertenecen al orden Rodentia. Resultan de suma peligrosidad puesto que se alimentan de arboles

jóvenes, procuran normalmente atacar la corteza pero continúan penetrando en el interior de la madera, esto evidentemente retarda el crecimiento de los árboles, estas aberturas producidas por roedura posibilitan el ataque posterior de hongos xilófagos dado que estas heridas tardan en cerrar aproximadamente unos 10 años.

II.3.9. Aves.

Los Picidae, utilizando su resistente pico, consiguen desprender corteza de los árboles de vegetación débil, cuando perciben por medio de percusión, la existencia de oquedades debajo de la corteza, y después, ayudándose de su lengua, extraen las larvas de los Escolítidos, Cerambícidos, arañas y moscas que allí se encuentran.

El pico carpintero, que es como vulgarmente se denomina al *Dendrocopus major*, ataca también la madera seca de castaño y pino.

II.4.0. INSECTOS XILÓFAGOS.

Al igual que otros materiales, la madera presenta unas limitaciones, tal vez menos de las que se creen, por ejemplo permanece bastante bien al paso del tiempo, la fotodegradación le afecta sólo de forma superficial, aunque puede ser destruida prácticamente, por el ataque de algunos organismos entre los que cabe destacar a los insectos xilófagos.

Tanto en la literatura griega como en la romana se encuentran referencias respecto a la utilización de aceites y otras materias bituminosas, resina de cedro, Plinio el Viejo las menciona(18).

En la Edad Media se usa mucho el petróleo y la brea, así como las sales de mercurio y de arsénico, para la protección de la madera contra insectos xilófagos.

Podemos entender que no es sino en el siglo XIX cuando aparece una verdadera protección científica de la madera, entendiéndola como tal, aquella que se ocupa de transformarla, mediante un tratamiento, en una materia inatacable por los agentes destructores, sin que por ello se perjudiquen sus características físico-mecánicas. La necesidad además de conservar las

traviesas de ferrocarril y postes de telégrafos supone un mayor acercamiento al problema.

Si pretendemos resolver adecuadamente la protección de una madera nueva, debemos plantearnos seriamente lo que supone un exhaustivo conocimiento de los posibles agentes destructores, basándonos además en la determinación de la especie de madera ideal de acuerdo con el clima que va a rodear a ésta, especie o especies posibles que la atacarán así como otros riesgos, y en cada caso en concreto utilizar un protector adecuado para su tratamiento.

El concepto de duración natural de una madera tiene suma importancia, ya que supone la calidad de su conservación para un uso definido, cuando ningún tratamiento de protección le ha sido aplicado.

Sin embargo cuando hablamos de la duración natural de una madera la definiremos en función de un agente o riesgo de destrucción concreto.

La albura de una madera tendrá una duración natural muy inferior a la del duramen.

La dureza entendida como característica mecánica de una madera, no tiene relación alguna con la duración natural de la misma(19).

La madera es uno de los materiales mas duraderos que conoce el hombre. Por citar un ejemplo, en Noruega, aún se conservan en uso iglesias de madera construidas hace unos 1.000 años.

Conviene tener en cuenta, que es un proceso perfectamente natural el que los árboles derrumbados (por el hombre o bien por finalizar un ciclo vital) se acumulen y sean descompuestos por otros organismos, que además contribuyen a limpiar el bosque y de esta forma a mantener latente el largo ecosistema. Solamente cuando el hombre quiere conservar la madera es cuando consideramos este proceso normal como algo perjudicial.

De hecho la madera es muy pobre en elementos nutritivos, y existen solamente unos pocos organismos que han llegado a adaptarse a digerir sus principales constituyentes (lignina y celulosa). En el caso de las bacterias y los hongos que se alimentan de la madera, producen enzimas digestivos que la descomponen (lignina y celulosa) en sustancias tales como azúcares, que son su alimento.

Algunos insectos, segregan también el mismo tipo de enzimas digestivos en su intestino, aunque la mayoría subsisten a base de endosimbiosis con microorganismos que colaboran con ellos en esta tarea de descomposición de la madera.

Otros coleópteros dependen de la presencia de almidón o azúcar en la madera.

Algunos animales atacan solamente a los árboles vivos y sanos, otros por el contrario se especializan en arboles enfermos o muertos. Ciertas especies viven

únicamente en la capa de crecimiento que se encuentra debajo de la corteza, otras penetran hacia el interior de la albura y del duramen.

Aunque algunas especies de insectos se dedican exclusivamente al ataque de la madera seca, existe una gran proporción de ellos que conviven con hongos y por tanto necesitan una fuente de humedad(20) en la misma o aparición de pudriciones.

Cuando el hombre inició la utilización de la madera del bosque para materiales y casa, algunos de estos insectos debieron entrar en su hogar. Las especies con mayor probabilidad de supervivencia y que han llegado a ser graves plagas de la madera(21), son las que podían desarrollarse en madera seca, ya que es ésta la utilizada en las casas.

Aunque las larvas son las que con más virulencia atacan la madera, son difíciles de encontrar, e incluso si se consigue extraer una, es difícil de identificar.

Los insectos adultos aparecen solamente durante un breve período de tiempo, y por tanto en la mayoría de los casos el culpable tiene que ser identificado a partir de las huellas y señales que deja en la madera. La especie arbórea también nos posibilita en ocasiones atribuir esos deterioros a un determinado tipo de insecto, si conocemos previamente sus predilecciones de éstos.

Hechas estas aclaraciones, podemos concluir que la humedad supone un alto riesgo para la estabilidad de esta materia. También hay que tener en cuenta los tratamientos preventivos para la protección de posibles ataques, así como los tratamientos curativos (en madera atacada); si nos referimos a tratamientos químicos, éstos suponen graves riesgos, ya que si bien podemos controlar el destino de esta materia, también existen peligros por el uso de estos insecticidas altamente tóxicos y que como explico en el apartado dedicado a ellos, aparecen mezclados en la atmósfera causando graves problemas incluso en los humanos.

A pesar de describir detalladamente una amplia gama de elementos químicos utilizados hasta la actualidad, considero a los mismos altamente peligrosos y además invito desde este momento a que los avances científicos se inclinen más hacia una investigación que tenga por objetivos a los medios biológicos, ya que en otros países, entre los que destacan EE.UU., esta línea investigadora está iniciada pues claramente aparece como la más recomendable a largo plazo.

También es de desear la pronta sustitución o eliminación de algunos insecticidas entre los que destaca el D.D.T. por comprobar los efectos secundarios y la persistencia que suponen muchos de ellos.

ATAQUE POR INSECTOS

Representan una amenaza más grave para la madera que los hongos, ya que las condiciones para una infección están siempre presentes. La especie que aparezca posibilitará un tipo específico de daño. Si encontramos orificios en una madera, no quiere decir necesariamente que los insectos estén en actividad, en algunas ocasiones los ataques se localizan en algunas zonas (las más ricas en elementos nutritivos) y se marchan sin destruirla completamente, pero no resulta fácil determinar si ha cesado su actividad. El polvo de madera limpio que cae de un orificio antiguo, podría indicar una actividad que, en realidad, no existe, pero será más certero nuestro juicio, si después de limpiar estos restos de polvo de madera se vuelve a repetir la aparición de más polvo de madera, indicio seguro de que persisten los insectos en actividad.

Dentro de los organismos que ocasionan daño a la madera a excepción de los hongos xilófagos, el resto pertenecen al reino animal, formado por dos grandes grupos: los protozoos y los metazoos.

En los metazoos se diferencian distintos grupos, interesando desde el punto de vista del ataque a la madera únicamente dos de éstos: los moluscos y los artrópodos.

Entre los artrópodos presentan importancia como organismos xilófagos, en primer lugar los insectos y también algunas escasas especies de crustáceos.

Dentro de los insectos se incluyen cinco órdenes que contienen elementos xilófagos, que son, considerados de mayor a menor importancia: coleopteros, isópteros, himenópteros, lepidópteros y aunque con mucha menos importancia desde nuestro punto de vista, los dipteros.

LEPIDOPTEROS (mariposas y polillas).

Algunas especies de estos insectos producen orificios en la madera en estado de larva, preferentemente cuando ésta se encuentra reblandecida por alguna pudrición causada por hongos o por otras causas. Estos orificios, además de utilizarlos como alimento les valen también para su metamorfosis. En España sus efectos son desastrosos.

ISOPTEROS (termitas).

Estos insectos presentan individuos alados y ápteros, y son muy sociables. En ocasiones se les denomina incorrectamente "hormigas blancas". Ocasionan grandes daños en las maderas de las zonas tropicales y subtropicales. También son considerables sus daños en España.