

**CUADERNOS DE DASONOMÍA**  
**Serie didáctica N° 13**

**“SECADO DE LA  
MADERA”**

**Prof. Ing. Agr. Alberto D. Calderón**  
**Cátedra de Dasonomía**  
**Departamento de Producción Agropecuaria**  
**Facultad de Ciencias Agrarias**  
**Universidad Nacional de Cuyo**

# **SECADO DE LA MADERA**

Por el Ing. Agr. Alberto D. Calderón<sup>1</sup>

La madera, por provenir de organismos vegetales vivos, posee un elevado porcentaje de humedad, cuya presencia provoca reacciones y cambios que, en determinadas circunstancias, puede llegar a desvalorizar económicamente a las maderas afectadas.

El medio para asegurarse que la madera proveniente del aserrado de rollizos o troncos verdes (madera verde), no sufrirá tales desperfectos y se convertirá en un material apto para industrializar, es el del **secado**.

Por **secado de la madera**, se entiende “**la práctica y técnica desarrollada para eliminar agua de la madera, sin que ésta se perjudique, hasta un punto tal, en que la misma se encuentre en equilibrio higroscópico con el medio ambiente en el cual será utilizada**”.

El **secado de la madera** puede efectuarse por dos medios:

- a) Por pérdida natural de la humedad, mediante la evaporación natural del agua, merced a la temperatura, humedad y circulación del aire del ambiente: ***secado natural o estacionamiento***.
- b) Por la eliminación del agua de la madera, mediante el empleo de temperaturas, humedad y ventilación, diferentes a las naturales, obtenidas mediante aparatos e instalaciones especiales: ***secado artificial***.

Las **ventajas del secado de la madera** son las siguientes:

- a) Disminuye el peligro de la aparición de grietas y rajaduras.
- b) Impide el ataque de ciertos insectos xilófagos.
- c) Disminuye el ataque de hongos.
- d) Disminuye el peso de las maderas.
- e) Aumenta los valores de resistencia mecánica.
- f) Facilita muchos procesos en la industrialización de la madera.
- g) Favorece la aplicación de colas, pinturas, lustres, etc.

Las **desventajas del secado** son las siguientes:

- a) Mayor fragilidad.
- b) Ataque de otros tipos de xilófagos.
- c) Mayor inflamabilidad.

La importancia del secado se deduce de las ventajas que proporciona y que se manifiestan en el plano económico (menores fletes, posibilidad de almacenamiento, menor riesgo de pérdidas por ataque de hongos e insectos y disminución o eliminación de rajaduras)

---

<sup>1</sup> Profesor Titular – Cátedra de Dasonomía – Facultad de Ciencias Agrarias - UNCUYO

## HUMEDAD DE LA MADERA

El estudio tecnológico de las relaciones entre el agua y la madera, es seguramente, el más importante de todos los que dependen de este material, dado que, afecta a la mayoría de los procesos de transformación de la madera; y aún más las características de comportamiento de la madera están muy influenciados por el contenido de humedad de la misma.

El agua puede encontrarse en la madera en tres formas diferentes:

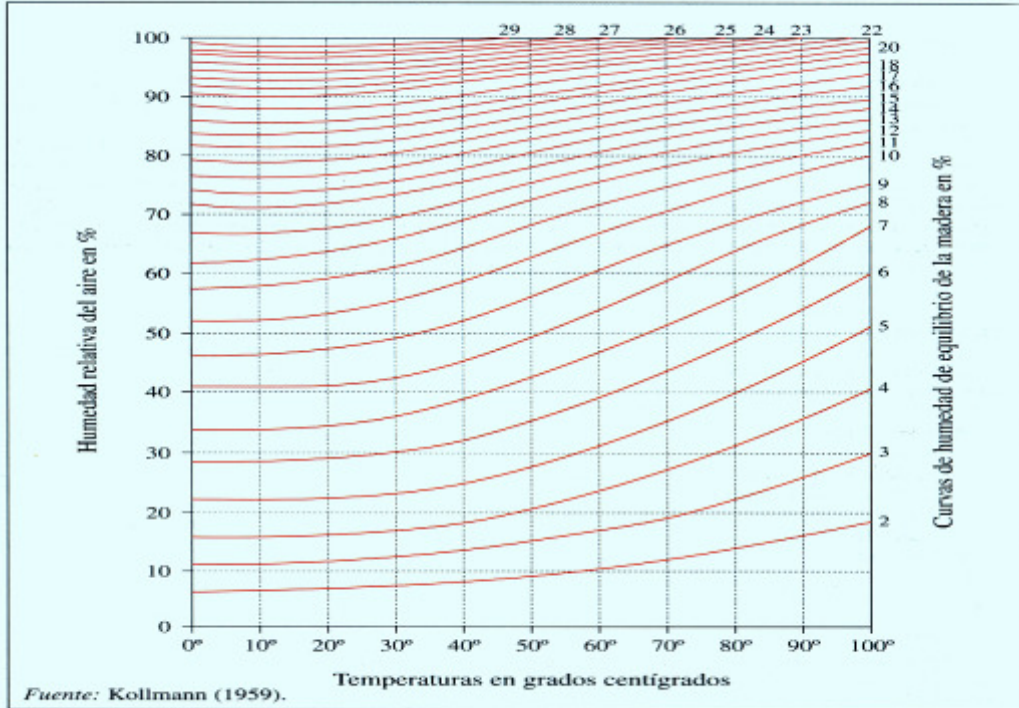
- **agua libre** (llenando las cavidades celulares)
- **agua higroscópica** (impregnando las paredes celulares)
- **agua de constitución** (integrante de la pared celular en combinaciones químicas)

Aparte se debe tener en cuenta el significado del concepto de saturación de las fibras, por su importancia en lo que se refiere a los fenómenos de contracción e hinchamiento; y otro de los conceptos que también se debe tener en cuenta como elemento básico para entender y realizar el proceso de secado, es el **equilibrio higroscópico**.

El **equilibrio higroscópico** es el grado de humedad que tiene la madera en equilibrio con condiciones determinadas de temperatura y humedad del aire (ver ábaco n° 1). El tipo de madera tiene poca influencia sobre los valores de equilibrio higroscópico. Cuando una madera ha logrado este equilibrio en el lugar geográfico en que ha sido secado al aire, se dice que es **madera estacionada**. Como las condiciones ambientales de cualquier lugar varían constantemente, la humedad sigue las fluctuaciones del medio ambiente, es por ello que el valor de equilibrio higroscópico de una madera, debe ser referido al lugar y época del año. Por ejemplo en Mendoza, en el mes de junio, la madera en equilibrio tendrá un contenido de humedad del 12,7%, y en diciembre del 8,9%, mientras que en El dorado, en junio será del 19% y en diciembre del 13,2%.

Abaco n.º 1

CURVAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCOPICO DE LA MADERA

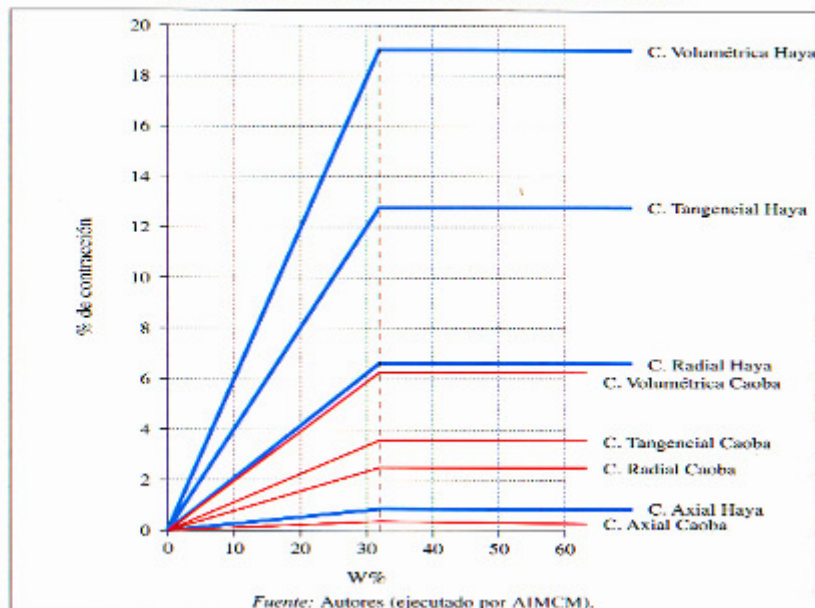


110

El **punto de saturación de las fibras**, es el porcentaje de agua en el cual se ha desalojado toda el agua libre y comienza a evaporarse el agua que satura las paredes celulares. Según la especie forestal considerada, este valor oscila entre el 25 y el 40%. Su determinación presenta gran interés, pues a partir de ese instante comienzan las contracciones de la madera, e indica condiciones especiales de la madera en lo relativo a la resistencia mecánica.

Gráfico n.º 4

CONTRACCIONES EN EL HAYA Y EN LA CAOBA



Cuando una pieza de madera verde comienza a perder humedad, varios mecanismos se ponen en marcha a fin de lograr que el agua se mueva de la superficie de la pieza hacia la atmósfera y desde las zonas internas hacia la periferia de la pieza, en respuesta al gradiente de humedad.

Los mecanismos mencionados son los de capilaridad y difusión, mecanismos que varían de acuerdo a las diferentes especies y a los estados de humedad de la madera.

El movimiento del agua en la madera conviene dividirlo en dos etapas, antes de llegar al punto de saturación de fibras y después de sobrepasarlo.

Cuando el contenido de humedad de la madera es superior al punto de saturación de las fibras, se mueve de dos formas: el agua líquida, por capilaridad debido a las fuerzas de tensión superficial y el vapor de agua, por difusión dentro y a lo largo del tejido vegetal.

Cuando el contenido de humedad de la madera está por debajo del punto de saturación de las fibras, se mueve: en forma de vapor de agua por difusión y como agua líquida que ha permanecido ligado a las fibrillas de las paredes celulares y que se traslada hacia otras zonas con distinto contenido de humedad.

La energía que se requiere para este movimiento es mucho mayor que la necesaria para mover el mismo volumen de agua libre.

**La humedad en la madera se puede definir como: “la cantidad de agua y sustancias volátiles, susceptibles de estar contenidas en la madera, y se expresa en porcentaje de peso seco en estufa desde 98 a 103 ° C”.**

### **Concepto de sorción de la madera**

Una madera completamente seca, puesta en contacto con vapor de agua, lo admitirá hasta que se produzca entre ambos un estado de equilibrio. Este fenómeno generalmente extendido a todos los cuerpos porosos, se denomina sorción.

Dentro de la sorción debemos distinguir dos procesos: la Adsorción se refiere generalmente a la toma de humedad por la madera (hinchamiento de la madera); y la Desorción, que es la pérdida de humedad en la madera (contracción de la madera).

Lo más característico de la sorción son las Isotermas de Sorción, donde se grafica la humedad de la madera en función de la humedad relativa del aire con el que se halla en equilibrio, y referido siempre a determinada temperatura.

Para un material de estructura capilar como la madera, estas isotermas tienen una forma sigmoidea, si se usa vapor de agua como líquido humectante. La curva corresponde a los valores de la humedad de la madera en equilibrio con la humedad relativa del aire hasta el punto de saturación, o sea dentro del rango higroscópico. A continuación se puede ver el gráfico con las isotermas de sorción en la madera.

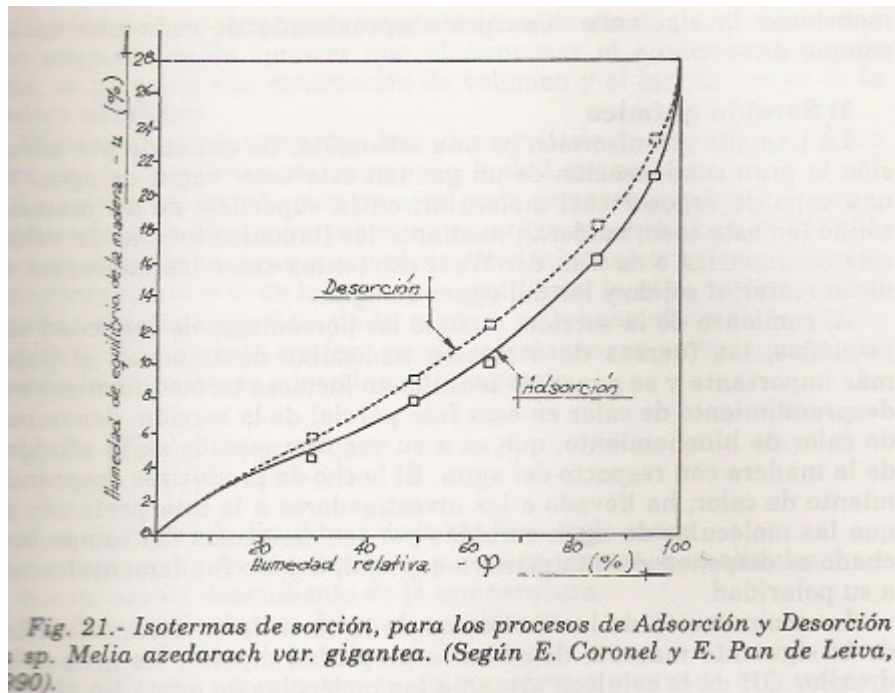


Fig. 21.- Isotermas de sorción, para los procesos de Adsorción y Desorción sp. *Melia azedarach* var. *gigantea*. (Según E. Coronel y E. Pan de Leiva, 1990).

La curva superior corresponde a una madera cuando pierde humedad desde el punto de saturación de las fibras, y se la denomina **Curva de desorción**. La inferior es la **Curva de Adsorción**, que inversamente, se refiere al equilibrio cuando una madera seca toma humedad del medio ambiente en el que se encuentra. Estas dos curvas generan lo que se denomina el **“ojal de histéresis”**.

### Determinación de humedad

El procedimiento más exacto y el único científicamente satisfactorio para determinar el agua contenida en la madera, es el de conseguir su evaporación, calculando luego la diferencia de pesos.

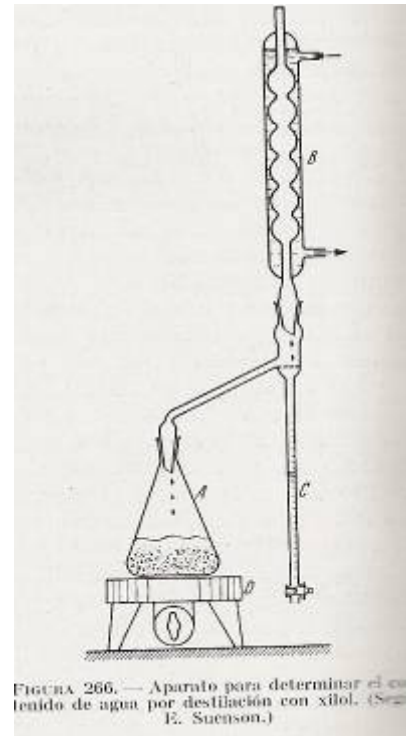
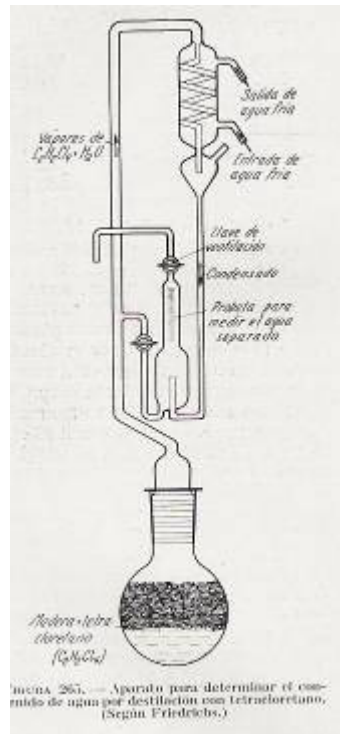
#### **Métodos:**

- **Por desecación en estufa** a  $98 \pm 03$  C (norma IRAM 9532, ASTM D-143). Se toma una muestra de madera de 2 x 2 x2 cm., se pesa (P.i.:peso inicial o humedad) se lleva a estufa a  $\pm 100^\circ$  C hasta que se registre peso constante, se retira y enfría en un desecador que contenga Cloruro de Calcio y se pesa ( P.f.: peso final o peso seco).

Se calcula según: 
$$H\% : \frac{Pf - Pi}{Pf} \times 100:$$

Se define como el porcentaje de humedad en relación al peso seco.

- **Por destilación:** se aplica en los casos de maderas que contienen ceras, aceites esenciales o han sido impregnadas con sustancias oleosas. Es el caso de las maderas de Palo santo, guayacán, retamo o maderas creosotadas.



- **Métodos eléctricos**, con xilohigrómetros, es un método rápido pero menos exacto. Este método es el más utilizado a escala industrial y se basa en la variación de la resistencia eléctrica de la madera de acuerdo con el contenido de humedad de la misma: a mayor contenido de humedad menor resistencia eléctrica. Este método es más exacto para contenidos de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras, por encima de este valor, los errores son superiores al 10% y por debajo del P. S. F. el error es cercano al 2%.



Xilohigrómetro eléctrico

## LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA CON RELACIÓN AL SECADO

Para interpretar los fenómenos que se producen en el secado, debemos partir de la base que las maderas presentan características diferentes entre sí. Ello hace que tengan un comportamiento diferente.

Las coníferas tienen una estructura más simple en general que las latifoliadas, por eso su secado es más rápido y más uniforme.

Las latifoliadas son más heterogéneas en su estructura y por ello su comportamiento es más variado. Las obstrucciones que a veces presentan en los vasos no parecen tener mayor influencia en el proceso (tíldes).

En general se ha comprobado que la albura tiene siempre más agua que el duramen, aunque hay algunas excepciones como el “timbó”.

La madera pierde agua más rápidamente en el sentido longitudinal que en el transversal (10 a 15 veces más rápido), y dentro del sentido transversal, las caras tangenciales se secan más rápidamente que las radiales.

La aparición de algunos defectos estructurales también es causa de variaciones. La presencia de madera de reacción (compresión y tensión) provoca una contracción longitudinal de 10 a 20 veces mayor que lo normal, mientras que las contracciones radial y tangencial son menores que en las maderas normales.

## **INFLUENCIA DE LA HUMEDAD SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA**

El contenido de humedad en la madera tiene significativa importancia sobre sus diversas características y propiedades tecnológicas.

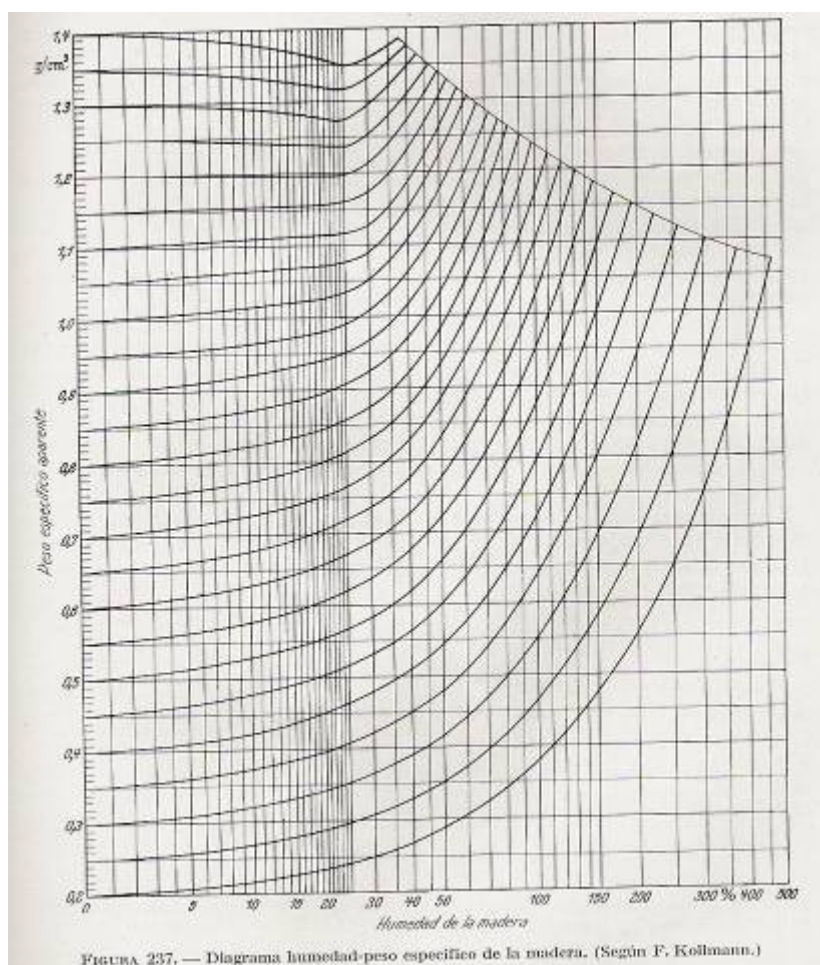
### **1- PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS**

- 1.1) Peso específico: el contenido de agua en la madera tiene una influencia notable sobre la densidad de la misma. Puede afirmarse que, a partir del peso específico de la madera anhidra, todo aumento en agua acusa un aumento en densidad (tabla N ° 1).

**Tabla N° 1: Peso de un metro cúbico de madera en función de la humedad**

ESPECIE	Contenido de humedad (%)			
	0	10	50	80
Caldén	600	660	900	1080
Cedro misionero	510	560	765	920
Lapacho negro	900	990	1350	-----
Acacia blanca	700	770	1050	1260
Álamo A.M.	400	440	600	720
Casuarina	820	900	1230	-----
Eucalipto rostrata	790	870	1185	-----
Eucalipto saligna	630	690	945	1130
Paraíso	460	505	690	830
Roble europeo	580	640	870	1045
Sauce álamo	435	475	650	780





1.2) Valores de resistencia mecánica: en general todos los valores de resistencia mecánica aumentan a medida que disminuye la humedad, hasta que este alcanza el punto de equilibrio higroscópico. La dureza, rigidez, tenacidad, tracción, corte, compresión, son mayores en maderas secas que húmedas. Hace excepción a esto, el valor correspondiente al módulo de elasticidad (tabla N° 2)

**Tabla N° 2: Influencia del contenido de humedad sobre los valores de resistencia mecánica**

<b>Especies forestales</b>	<b>Estado de las maderas</b>	<b>Flexión por impactos</b>	<b>Compresión normal</b>	<b>Dureza normal</b>
Alerce	Madera húmeda	525	21	200
	Madera 12%	740	46	254
Ciprés	Madera húmeda	547	30	220
	Madera 12%	785	51	280
Araucaria	Madera húmeda	680	42	280
	Madera 12%	920	68	382
Coihue	Madera húmeda	750	51	380
	Madera 12%	1100	95	450
Raulí	Madera húmeda	700	44	290
	Madera 12%	1960	85	415

- 1.3) Conductibilidad térmica y eléctrica: la madera húmeda es mejor conductora del calor y de la electricidad que la madera seca.
- 1.4) Inflamabilidad: la madera seca quema con mayor facilidad que la húmeda. Al arder la madera húmeda, parte del calor se gasta en convertir en vapor al agua contenida en el leño y a su vez, el vapor producido dificulta la combustión. Algunas maderas contienen resinas, aceites esenciales, u otras sustancias que favorecen la combustión, permiten que se quemen al estado húmedo (palo santo, pino resinoso).
- 1.5) Permeabilidad a los líquidos y a los gases: dentro de la misma especie el pasaje de los líquidos y gases es mayor en las maderas secas que en las húmedas. Esto tiene importancia en los procesos de impregnación de la madera.

## **2- TRABAJABILIDAD**

En general las maderas se trabajan mejor al estado húmedo, sobretodo en las operaciones de aserradero. Cuando los rollizos están secos, los elementos cortantes se desgastan más rápidamente, y se requiere mayor esfuerzo de las máquinas. Sin embargo existen algunas especies, como el sauce, que deben ser aserradas secas ya que húmedas empastan las sierras.

Con respecto a otras operaciones y trabajos se observa lo siguiente:

- a) La terminación de las superficies de las maderas con barnices, lacas, pinturas, colas, tintes, etc., requiere que las mismas se encuentren secas para que se puedan extender y fijar mejor, la humedad óptima es la de equilibrio higroscópico.
- b) Para realizar trabajos de curvado en maderas, el material puede estar algo húmedo, para facilitar la aplicación de las temperaturas altas que hacen más plástica la madera.
- c) En el caso de fabricación de envases toneleros, se suele aplicar vapor en la etapa de curvado de la duelas, y posteriormente se usa el calor directo para disminuir el contenido de humedad de la madera (etapa del armado), a fin de que posteriormente se ajusten las duelas por absorción de la humedad ambiente.

Según el uso al que se destina la madera, debe tener un grado de humedad que responda a las exigencias del proceso de elaboración y a las condiciones ambientales a que estará sometido su uso. Ver tabla N ° 3.

**Tabla N° 3: Contenido final de humedad de las maderas de acuerdo al destino o empleo**

Envases para frutas _____	20%
Muebles en general _____	10%
Parquet- pisos _____	10%
Cabos y mangos de herramientas _____	9%
Instrumentos musicales _____	8%
Reglas – escuadras _____	7%
Construcciones navales _____	12%
Tornería _____	12%
Madera compensada _____	6%

Madera para curvar_____	18%
Construcción en general_____	15%
Ventanas y puertas exteriores_____	12%
Puertas y marcos interiores_____	10%
Carpintería común_____	15%
Varillas para alambrar_____	20%

### **3- DURABILIDAD**

El contenido de agua en la madera afecta el grado de conservación, haciéndola susceptible al ataque de diversos agentes destructores. Los factores que facilitan o limitan el ataque de insectos u hongos son: humedad, aire, temperatura y alimento.

La madera constituye el alimento para los agentes destructores, notándose que ciertas maderas no pueden ser destruidas en razón de la presencia de sustancias repelentes o tóxicas para insectos y hongos. De los tres factores restantes, la humedad de la madera es la más fácil de controlar, aplicando métodos o prácticas de secado. La adecuada eliminación o disminución de la humedad en la madera adquiere un valor considerable, ya que su aumento puede ser la causa de que actúen los agentes destructores, en especial los hongos, que generalmente requieren un mínimo del 20 % para poder desarrollarse en el tejido leñoso y destruirlo.

### **4- IMPREGNACIÓN**

Esta práctica, cuya finalidad es aumentar la duración biológica de las maderas, utiliza material seco y material verde. El tratamiento con sales hidrosolubles, requiere que la madera se encuentre al estado verde y con productos oleosos la madera debe estar seca. (Ver apunte de preservación de la madera)

### **5- TRANSPORTE**

La relación directa entre el contenido de agua y el peso de la madera incide sobre los problemas de transporte, ya que la mayoría de los fletes se aplican por tonelada. La diferencia de peso de la madera en función de la humedad puede verse en la tabla N ° 1. Como puede verse en esta tabla, puede reducirse el peso de la madera en el transporte entre un 30 y un 50 % mediante el secado.

## **SECADO NATURAL O ESTACIONAMIENTO**

### **SISTEMAS DE APILADO - TIEMPOS**

Secado natural o Estacionamiento: “Es la pérdida natural de la humedad, mediante la evaporación del agua, merced a la temperatura, humedad y circulación del aire del medio ambiente.”

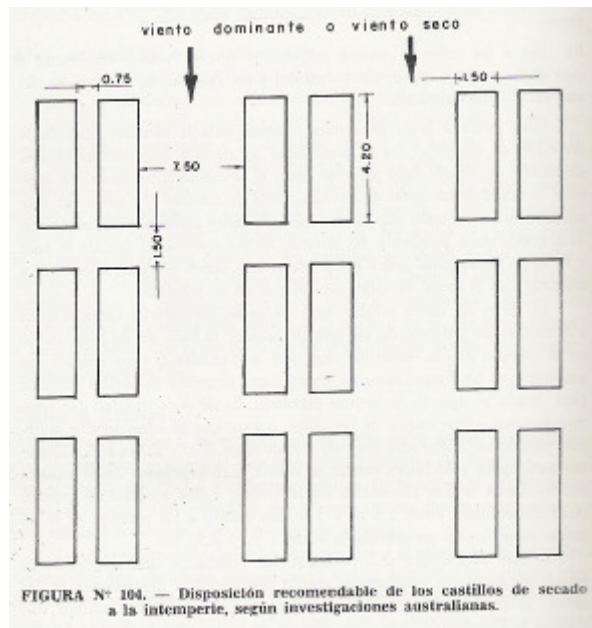
Presenta, comparado con el secado artificial, las siguientes ventajas e inconvenientes:

- Reducido monto de inversión
- Escasos gastos de mantenimiento y funcionamiento.
- No requiere personal capacitado.
- Plazos de secado prolongados (aproximadamente 3 meses por pulgada de espesor, según zona del país; aunque en la Facultad de Ciencias Agrarias de Cuyo se ha secado en verano en 1 mes, con 1 pulgada de espesor).
- Mayores costos financieros por capital inmovilizado.
- No se puede secar madera por debajo del equilibrio higroscópico correspondiente al lugar.
- No se pueden corregir defectos que aparecen durante el secado.

### **Playa de estacionamiento**

Es el lugar en donde se depositará la madera para su secado natural y que deberá responder a las siguientes indicaciones básicas:

Ubicación: se localizará en concordancia con las vías de acceso (rutas, calles), separada de arboledas, muros, edificios y otros obstáculos que impidan la libre circulación del aire.



Terreno: deberá ser parejo, fácil de transitar con los equipos para el movimiento de las maderas. El suelo será permeable, con buen escurrimiento y desagües para evitar la acumulación del agua de lluvia. Se mantendrá limpio de malezas, desechos y cualquier otro tipo de residuos que limite la libre circulación del aire.

Declives y drenajes: resultan indispensables pues el agua acumulada en el terreno retarda el secado de la madera al aumentar la humedad relativa del aire, especialmente cuando la acumulación se produce debajo de las estibas. Una pendiente del 2 al 5 %, según el tipo de suelo, puede ser suficiente para lograr un buen escurrimiento del agua.

## **Apilado horizontal de la madera aserrada**

Dentro de los sistemas para acondicionar la madera aserrada que se expondrá al estacionamiento, el más conveniente y común es el denominado “apilado horizontal”, cuyas mayores ventajas son la facilidad de instalación, estabilidad de la estructura y menor proporción de aparición de defectos.

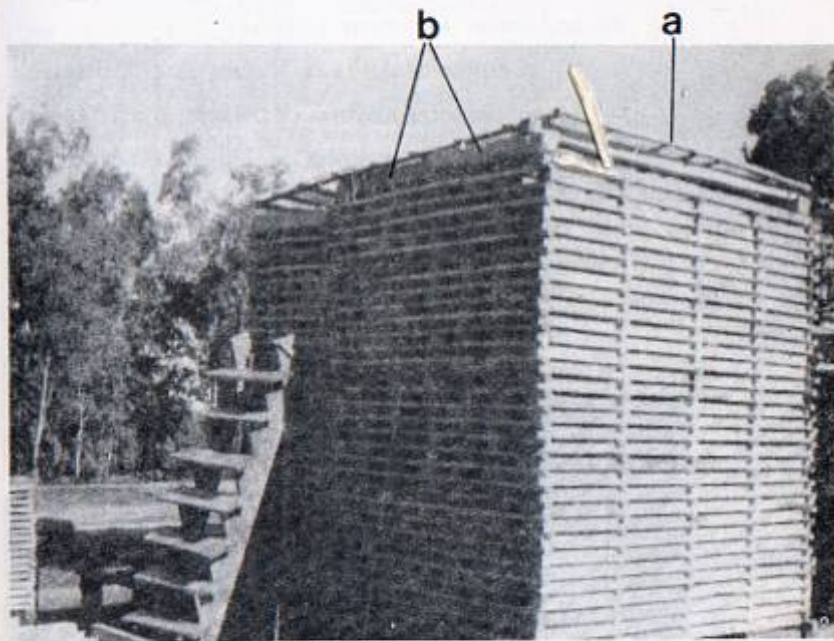
Recibe el nombre de “estiba” el conjunto de maderas (tablas, tirantes, listones, etc.) que reunidos según normas técnicas, está en condiciones de sufrir un proceso de secado con el mínimo de desperfectos. La forma de la estiba depende del tipo de pieza que se estaciona: en el caso de tablas, tablones, tirantes largos, presentará la forma de un paralelepípedo con la medida mayor (largo de la estiba) perpendicular a la vía de acceso. Para obtener un mejor secado de la madera, se aconseja que las estibas se preparen con material:

- de la misma especie forestal
- del mismo espesor
- con similar grado de humedad
- de igual longitud

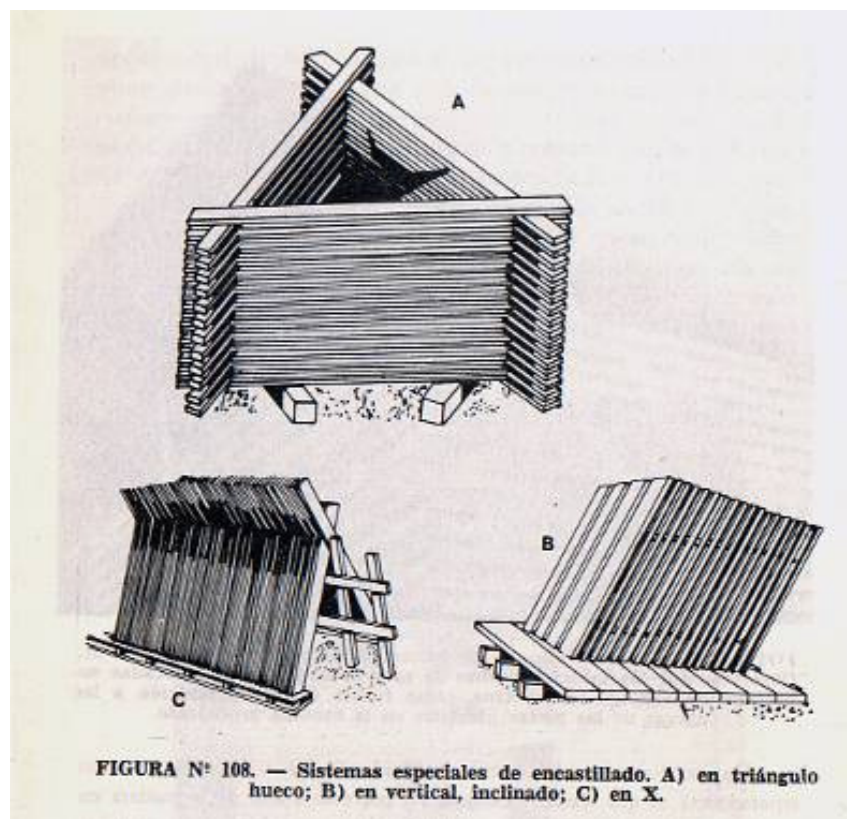
El *largo* de las estibas dependerá de la longitud de las piezas a secar. Pueden aplicarse a maderas con distintos largos, siempre que los extremos de todas las piezas, tengan sus correspondientes apoyos.

En la *altura* se recomienda que esta medida sea uniforme en todas las estibas que conforman la playa de estacionamiento y que no exceda los 5 mts. Alturas mayores provocan un secado irregular dentro de la estiba, pues el aire húmedo encontrará mayores dificultades para descender.

En cuanto al *ancho* se debe aceptar como principio general que: “cuanto más ancha sea la estiba, menor será la velocidad de secado”. Las medidas pueden oscilar entre 1,20m. y 4,00m., siendo lo más aconsejable que no superen los 2,00m. como norma general.



**FOTO N° 33** — Castillo de secado rectangular. Se observa una cuidadosa colocación de los separadores. En a se señala un techo armado con película de polietileno; en b se indican vigas de hormigón preparadas para suministrar peso sobre las cabezas de las piezas.



**FIGURA N° 108.** — Sistemas especiales de encastillado. A) en triángulo hueco; B) en vertical, inclinado; C) en X.



## Las estibas están conformadas por tres elementos básicos:

*Fundaciones:* son los soportes sobre los cuales descansan las piezas a secar. La altura de las mismas depende del grado de ventilación que debe dársele a la madera. Generalmente se adopta una altura media de 0,50m. en zonas húmedas y 0,20m. en zonas secas.

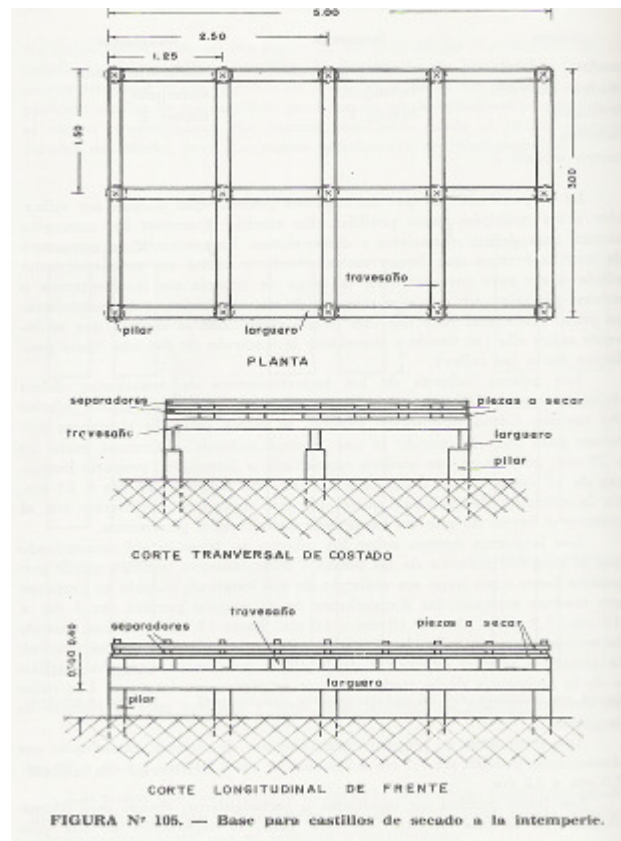


FIGURA N° 105. — Base para castillos de secado a la intemperie.

*Tablillas de separación:* son elementos de separación, en sentido vertical, de las piezas estibadas. Su ancho y espesor influyen sobre la marcha del secado, pues modificarán el grado de ventilación dentro de la estiba. En algunos casos las mismas piezas actúan como elementos separadores (el ej. más conocido de esto son las estibas que tradicionalmente se hace en nuestra provincia).

*Techos o cubiertas:* la madera expuesta a la intemperie sufre las alternativas de humedad y sequedad producidas por las lluvias y la acción directa de los rayos solares. Los techos pueden prepararse con materiales económicos, empleándose costaneras, tablas de descarte, chapas de cartón alquitranado, etc.

*Chimeneas:* algunas veces es necesario aumentar la circulación vertical del aire dentro de la estiba para lograr un secado más rápido, para lo cual se dejan conductos verticales más anchos que la simple separación lateral de las tablas dentro de cada camada. Estos conductos reciben el nombre de "chimeneas" y generalmente se preparan dejando una separación de 20 a 30 cm. entre dos hileras verticales del centro de la estiba.

## **OTROS SISTEMAS DE SECADO**

### **Desaviado:**

La eliminación de sustancias minerales, amiláceas y albuminoides incorporadas a la madera por la corriente ascendente y descendente de la savia del árbol, recibe el nombre de “desaviado”. La madera expuesta a un proceso de lavado, ya sea en agua corriente, o estancada y periódicamente renovada, recibe el nombre de “madera desaviada”. Ejemplos de este proceso son algunas maderas del norte argentino (cedro paraguayo, lapacho, etc.) transportadas por el agua por medio de las “jangadas”, también se suele utilizar para tablas de eucaliptos.

El desaviado en agua puede recomendarse siempre que su aplicación no signifique un aumento apreciable de los costos, sobre todo cuando deben construirse piletas o depósitos especiales, y cuando la madera, por su precio, tolere el tratamiento.

La eliminación de sustancias extractivas de la madera prácticamente no tiene influencia sobre la estabilidad o la higroscopicidad, pero parece tenerla sobre la velocidad del secado y sobre la disminución de las tensiones que provocan la aparición de rajaduras y deformaciones.

### **Secado en árbol:**

*Madera de árboles muertos en pié:* la experiencia ha demostrado que la calidad de la madera no depende del estado vital del árbol que le dio origen, sino de los defectos y alteraciones que se producen posteriormente a la muerte del árbol en pié o del tronco de un árbol vivo. Salvo el caso de muerte del árbol por pudrición del tronco o excesivo ataque de insectos xilófagos, la calidad de la madera de árboles muertos en pié (incendio, enfermedades foliares, sequía), es similar a la de los árboles en actividad fisiológica. Las causas del deterioro se deben a factores adversos que actúan posteriormente (insectos, hongos, insolación). Ensayos físico-mecánicos realizados, indicaron que no existen diferencias cualitativas.

### **Secado de árboles en pié:**

Es una muerte provocada, que simultáneamente produce el secado de la madera en pié. Se practica mediante el “descortezamiento anular” que consiste en eliminar una faja de corteza en forma de anillo de 15 a 20 cm. de alto, alrededor del tronco, hasta llegar al duramen. Se interrumpe de este modo el circuito de circulación de la savia, en la etapa en que ésta desciende de las hojas para alimentar las raíces. El árbol vive un tiempo a expensas de sus sustancias de reserva, luego muere. Se observa que la albura experimenta un proceso de duraminización en beneficio de la calidad final.

Normalmente este proceso dura un año o más (en el caso de la “teca” en Asia es de tres años).

Desde el punto de vista comercial no tiene importancia para el común de las maderas ya que es un sistema engorroso y que no reporta mayores beneficios



## **SECADO ARTIFICIAL**

Es aquel en el que se controlan las condiciones, fundamentalmente temperatura, humedad y circulación del aire.

Tiene las siguientes **ventajas**:

- Permite alcanzar un contenido de humedad inferior al que correspondería por las condiciones del lugar en el secado natural.
- La madera puede secarse al contenido de humedad requerido por el uso , independientemente de sus problemas tecnológicos.
- Acorta sustancialmente el tiempo de secado.
- Disminuye los riesgos de grietas, rajaduras, manchas y pudriciones.
- Permite corregir ciertos defectos que se producen en diversas maderas, como es el caso de tensiones de secado y colapso (eucaliptos, casuarinas, quebracho blanco).
- Pueden esterilizarse las piezas que presentan signos de ataque de insectos xilófagos.

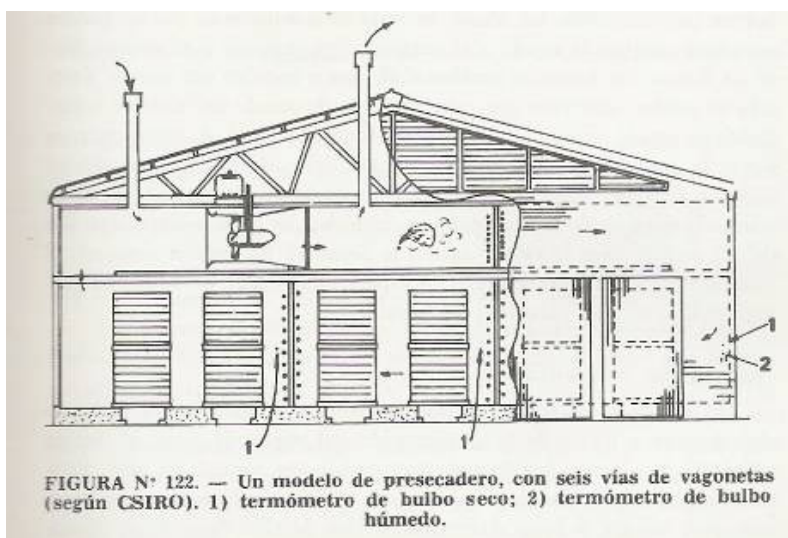
Entre las **limitaciones** que puede presentar esta tecnología, se anotan:

- La necesidad de hacer importantes inversiones en equipos y elementos.
- La disponibilidad de personal idóneo par el manejo del horno secadero.

### **Presecado acelerado:**

Es la técnica aplicada al secado de la madera, mediante el uso de temperaturas relativamente bajas ( 35-45 C), ventiladores de grandes caudales y tamaño (1,50 – 2,00m de diámetro) y cámaras de elevada capacidad de carga ( 100 a 400 m<sup>3</sup> de madera aserrada), construidos con diseños y materiales económicos. Permite llevar el contenido de humedad de la madera verde (50-90%) hasta un valor de 25-30%, en plazos relativamente cortos, muy inferiores a los requeridos para el estacionamiento.

Un **presecadero** puede ser descrito como un secadero muy grande que tiene un costo de instalación de solamente una tercera parte del de hornos de secado más complejos y tradicionales, con capacidad total similar.



Es posible utilizar el sistema de pre-secado acelerado, sin empleo de calefacción, aprovechando las elevadas temperaturas medias y empleando en la construcción de la cámara, materiales con capacidad para absorber los rayos solares.

Cuando no se usan calefactores, la época del año tiene sensible incidencia en la duración del proceso, ya que la temperatura y humedad relativa del aire serán más favorables en primavera y verano.

### **Hornos secaderos:**

Un horno secadero está constituido por los siguientes elementos o componentes básicos:

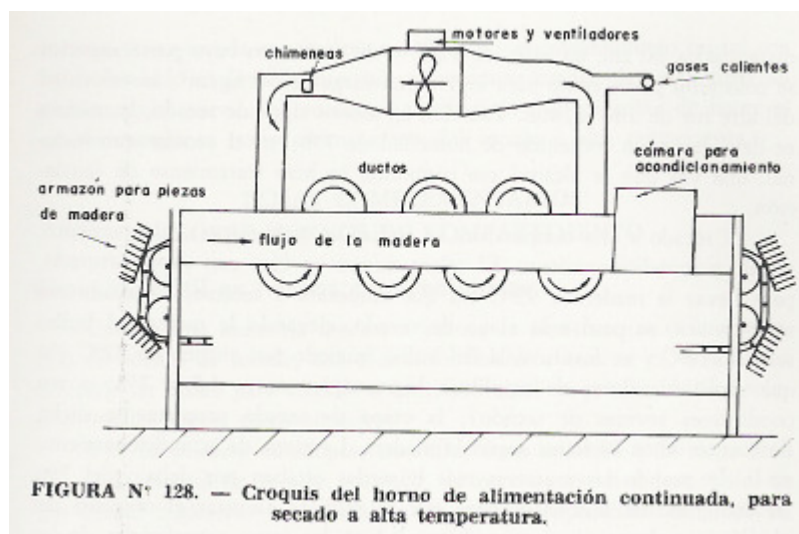
- Cámara o celda.
- Sistema para calentamiento de aire
- Sistema de humidificación
- Equipo para circulación de aire
- Instrumentos para regulación y control de las condiciones ambientales

*De acuerdo al tipo, distribución y funcionamiento de estos elementos, los hornos se clasifican en :*

- Hornos tipo “túnel” o “progresivos” y
- Hornos tipo “compartimiento” o “estáticos”.

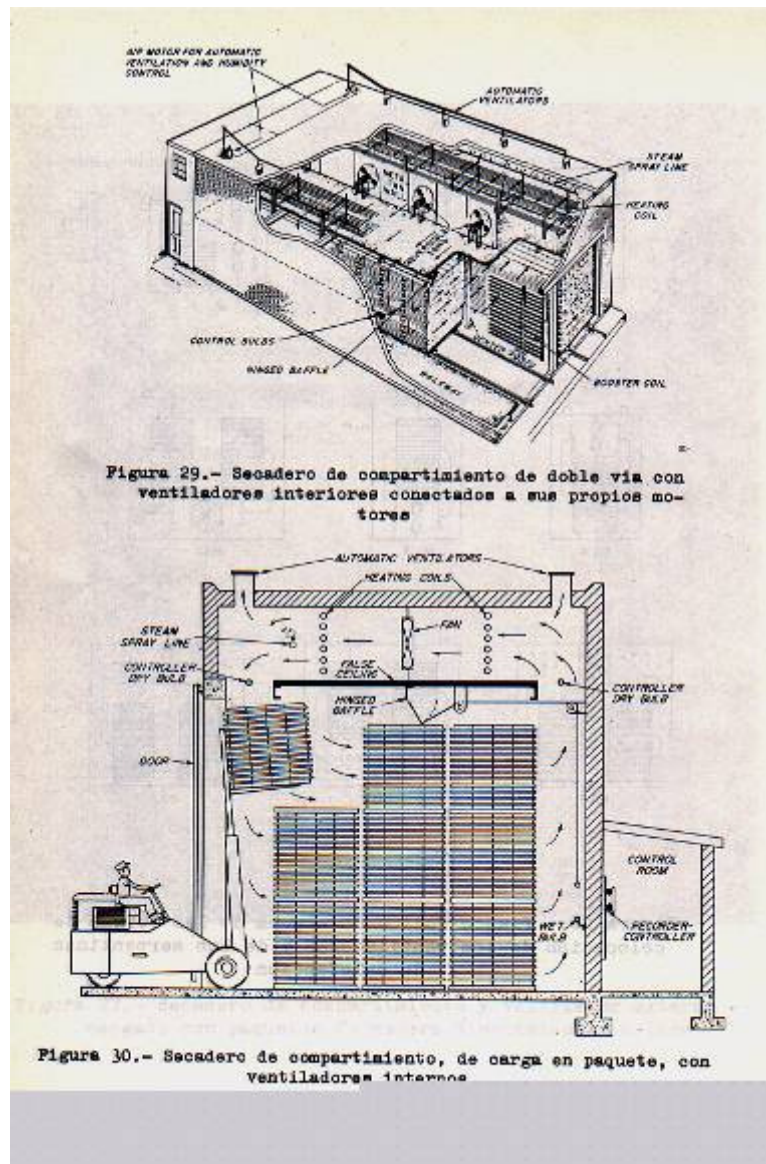
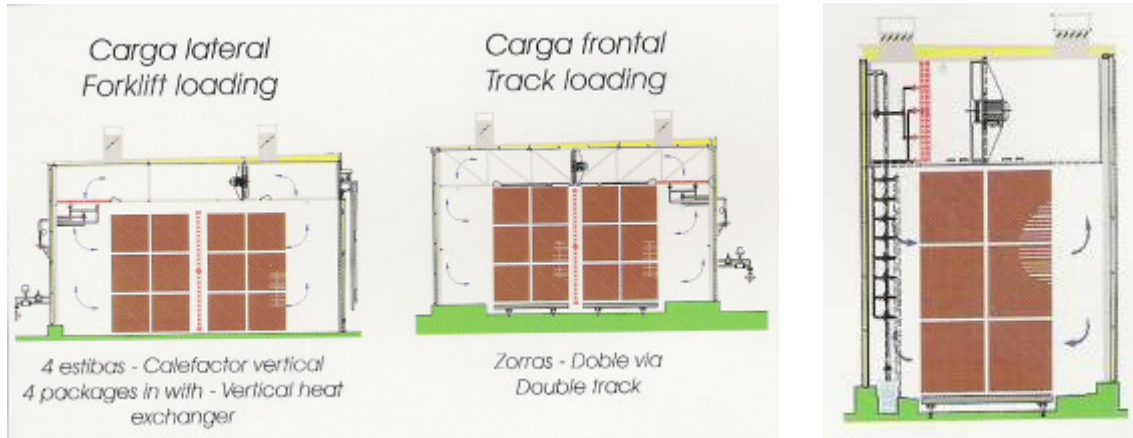
### **Horno túnel o progresivo:**

Está constituido por una cámara des-proporcionalmente larga, en la que la carga se descarga progresivamente en dirección axial, y en sentido contrario al desplazamiento del aire. Este tipo de horno resulta difícil de controlar en sus factores ambientales y se recomiendan para piezas de madera relativamente cortas. El aire es más seco y caliente a la salida de la madera y más frío y húmedo en el extremo por el que introduce la carga.



## Horno compartimiento o estático:

Recibe este nombre la construcción destinada a recibir la madera que permanecerá inmóvil en su interior, mientras las condiciones ambientales varían con el tiempo. Son los más utilizados en nuestro medio.



## **Horno de sistema de aire caliente – húmedo:**

El proceso se divide en tres etapas que presentan características propias y que responden a las distintas exigencias técnicas de la difusión y evaporación del agua contenida en la madera. Estas tres son:

Período preparatorio: Su misión es lograr que toda la masa de madera, el agua contenida, la cámara de secado y sus implementos alcancen un temperatura ligeramente superior a la fijada para comenzar el secado efectivo.

Período de secado efectivo: Es el período más importante y su duración depende de numerosos factores que se han agrupado en la siguiente forma:

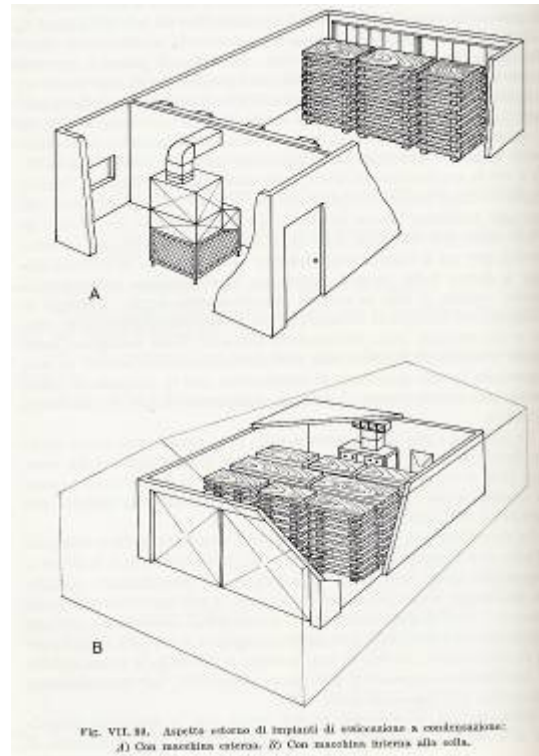
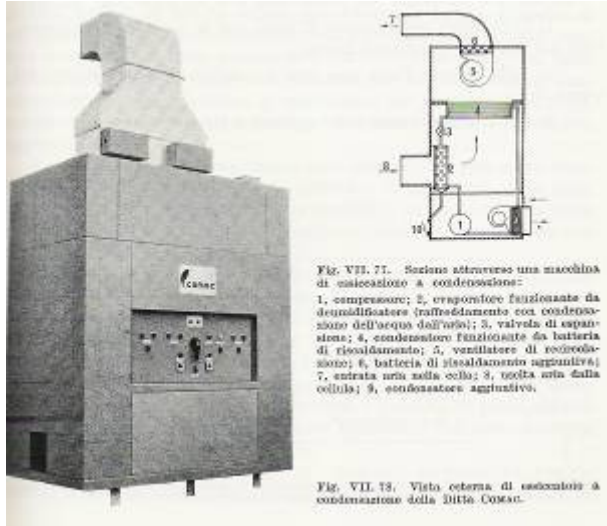
- 1) Factores inherentes a la madera
  - influencia de la especie (contracciones, densidad)
  - influencia del contenido inicial de humedad
  - influencia de las formas y dimensiones de espesor
  - tipo de corte (las tablas tangenciales secan más rápido)
- 2) Factores inherentes a las condiciones del secado:
  - temperatura del aire
  - humedad relativa del aire
  - velocidad del aire
- 3) Factores diversos:
  - sistema y forma de apilado
  - marcha continua o discontinua del secadero
  - eficiencia del horno secadero
  - contenido final a lograr y destino de la madera

Período de equilibrio: esta etapa corresponde a la etapa final del secado artificial, siendo relativamente corto, con respecto a la etapa anterior, y se realiza en el interior de la cámara; debe comenzar cuando la humedad promedio de la carga de la madera ha alcanzado el grado de humedad final.

## **Secado por deshidratación – Hornos de condensación:**

Se basa en la extracción de agua de la madera, mediante aire a temperaturas y humedades relativas, significativamente bajas, y en su condensación por enfriamiento del aire (condensación del vapor presente en el aire de la celda). Es un procedimiento sencillo, de rápida carga y que permite secar simultáneamente especies y espesores variados, tiene un costo inicial menor en equipos y además menor riesgo en pérdidas de cargamentos al trabajar con temperaturas menores. Las limitaciones son: el costo operativo mayor, ligado al uso de energía eléctrica y el mayor tiempo de secado, que puede llegar al doble.

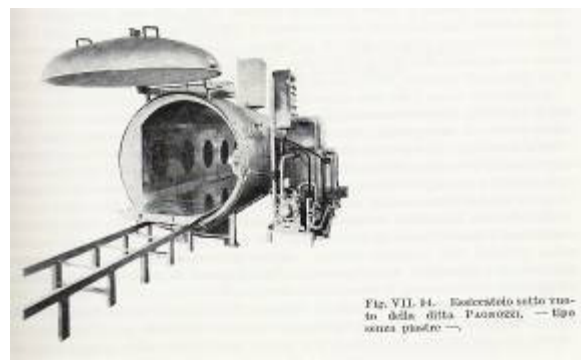
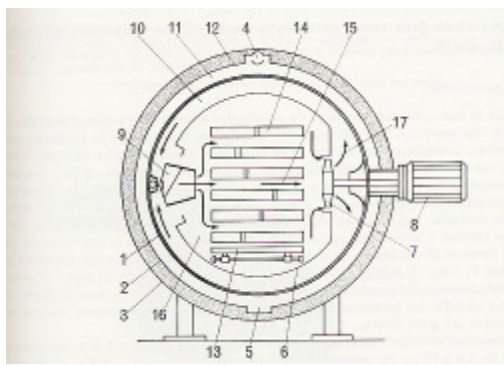




## Secado por vacío:

Al exponer la madera húmeda en un ambiente con presión inferior a la normal, se incrementa el coeficiente de circulación del agua en su interior. Al mismo tiempo, la menor presión hace que el punto de ebullición del agua contenida en la madera sea más bajo. Estos dos principios, mas el calentamiento de la madera, son los aplicados en la técnica de secado al vacío. El proceso es el siguiente:

- introducción de la madera en un autoclave
- calentamiento progresivo del aire en el interior del autoclave, hasta obtener una temperatura uniforme en toda la masa de madera
- aplicación de vacío mediante bomba hasta depresión de 62 mm. de Hg
- medición del agua eliminada, por condensación del vapor extraído



## **Secado químico:**

Es la técnica, en que empleando diversas sustancias químicas, se consigue acelerar o mejorar el proceso.

### **Sustancias empleadas:**

- a) **Vaporizadores del agua de la madera:** consiste en la eliminación del agua de la madera, transformándola en vapor, por inmersión en líquido caliente con punto de ebullición superior al agua. Puede ser a presión atmosférica o al vacío (en gral. sustancias aceitosas).
- b) **Sustancias gaseosas:** se basa en la acción oxidante de ciertos gases, que combinada con el empleo de aire caliente, permite acelerar y mejorar el secado artificial (se ha ensayado ozono).
- c) **Sustancias higroscópicas:** es en realidad complementario o mejorador. Se basa en que la presencia de sales en el agua libre reduce la presión de vapor, generando un gradiente de circulación mayor hacia la superficie (ej.: cloruro de sodio, azúcar invertido y sacarosa, urea.)
- d) **Vapores orgánicos:** se basa en la acción desecante de los vapores calentados a altas temperaturas de diversas sustancias y que al estar en contacto con la madera, obligan a evaporar el agua de la misma y la arrastran en forma de vapor o condensada, fuera de la cámara de tratamiento:

*Hay dos grupos:*

- sustancias miscibles en agua: ácido acético, formol
- sustancias no miscibles: bencina, querosén, petróleo

## BIBLIOGRAFÍA

- Calderón A.D.: Somoza A.R.; Arreghini R.I. – 1988- **“Humedad en madera de álamos”** – VI Congreso Forestal Argentino – Santiago del Estero.
- Calderón A.D. – 1993 – **“Horno secadero solar para maderas”** – Actas del Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano – Paraná – Entre Ríos.
- Calderón, A.D. – 1992 – **“Secado de la madera”** – 1992 – Cuadernos de dasonomía – Serie Didáctica N° 11.
- CITEMA – 1991 – **“Curso sobre secado artificial de maderas”** Bs.As.
- Coronel, Eduardo O. – 1994 – **“Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas”** – **“1° Parte: Fundamentos de las propiedades físicas de las maderas”** – Fac. de Ciencias Forestales – UNSE – Santiago del Estero.
- Fiske, Leon M. – **“Manual de secado de la madera”** – Publicación AITIM.
- Giordano, G. **“Tecnología del Legno”** – **“Le lavorazioni industriali 2”** – 1983 – Unione Tipografico – Editrice Torinese – Torino – Italia.
- Kollmann, Franz – 1959 – **“Tecnología de la madera y sus aplicaciones”** – Tomo 1
- Rasmussen, Edmund F. – 1961 – **“Dry kiln, operator’s manual”** – Agriculture Handbook n188 – FPL For. Ser. USA.
- Tinto, José C. – 1963 – **“Manual para el estacionamiento de la Madera”** – Folleto técnico 17 IFONA.
- Tuset R. y Duran F. – 1978 – **“Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización”** – Editorial Hemisferio Sur – Uruguay.
- Vignote Peña, Santiago y Jiménez Peris, Francisco Javier – 1996 – **“Tecnología de la madera”** – Editorial Mundi-Prensa – Madrid – España.
- Villiere A. – 1953 – **“Séchage des bois”** – Paris – Francia.
- Walker, J.C.F. – 1993 – **“Primary Wood Processing – Principles and practice”**