

# **SECADO DE LA MADERA**

**MANUAL**

**Alberto Arango Jhonson**

**CENTRO COLOMBO CANADIENSE  
DE LA MADERA**

**REGIONAL  
ANTIOQUIA CHOCO**



Esta obra está bajo una  
[Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



# **SECADO DE LA MADERA**

## **SECADO DE LA MADERA**

Derechos reservados de autor.  
Prohibida su reproducción total o  
parcial, sin autorización escrita del  
autor.

ALBERTO ARANGO JOHNSON  
Centro Colombo Canadiense de  
la Madera.

Publicación del Servicio Nacional  
de Aprendizaje "SENA".

Primera Edición 1990

**REGIONAL  
ANTIOQUIA CHOCO**

*En efecto, no puede hacerse con el roble lo que se hace con el abeto; ni con el ciprés lo que se efectúa con el olmo; cada uno tiene sus propiedades naturales y se acomoda cada cual a su uso a causa de los principios de que están compuestos, principios que no producen los mismos efectos.*

**VITRUVIO**

*Arquitecto romano, Siglo VIII*

---

# Contenido

**PRESENTACION**

**CAPITULO 1**

Página

<b>CARACTERISTICAS GENERALES, FAMILIAS Y CORTES DE LA MADERA</b> .....	<b>1</b>
CARACTERISTICAS GENERALES DE LA MADERA .....	3
Familias de Maderas .....	3
Cortes de la Madera .....	4
Corte radial .....	4
Corté tangencial .....	4
Corte transversal .....	4
CONCLUSIONES .....	5
FIGURAS:	
1. Conformación del tronco de un árbol .....	7
2. Las dos grandes familias de madera .....	8
3. Tipos de corte de la madera .....	9- 10

**CAPÍTULO 2**

<b>SECADO DE LA MADERA</b> .....	<b>11</b>
DEFINICIÓN .....	13

VENTAJAS TECNICAS DEL SECADO DE MADERA .....	13
Resistencia a la pudrición .....	13
Resistencia mecánica .....	13
Conservación de formas y dimensiones .....	13
Reducción de peso .....	14
Inmunización .....	14
Conservación del color .....	14
Mejor soporte para acabados .....	14
Mejor calidad del maquinado .....	14
PRINCIPIOS DEL SECADO TERMICO DE LA MADERA .....	14
El elemento primordial: el aire .....	15
<i>Humedad relativa HR del aire</i> .....	15
<i>Temperatura del aire</i> .....	15
<i>Velocidad del aire</i> .....	16
<i>Presión del aire</i> .....	16
El material a secar: la madera .....	16
<i>Contenido de humedad CH de la madera</i> .....	16
Medida del contenido de humedad CH mediante el método de doble pesada .....	18
Medida del contenido de humedad CH mediante métodos eléctricos .....	20
<i>Densidad</i> .....	21
CONCLUSIONES .....	22
FIGURAS:	
4. Dispositivos para medir la humedad relativa HR del aire .....	24
5. Variación del contenido de humedad CH de la madera en función del tiempo .....	25
6. Contenido de humedad CH según el uso de la madera .....	26
7. Obtención de las muestras y probetas para controlar el secado de la madera y aparatos para su manipulación .....	27
8. Medidor eléctrico del contenido de humedad CH .....	28

**TABLAS:**

1. <i>Humedad relativa HR y contenido de humedad de equilibrio CHE en función de la depresión sicrométrica</i> .....	29
2. <i>Temperatura, humedad relativa HR y contenido de humedad de equilibrio CHE promedios para algunas ciudades de Colombia</i> .....	31
3. <i>Formato 1 - Contenido de humedad CH de las muestras y probetas</i> .....	32 33
4. <i>Formato 2 - Variación del contenido de humedad CH de las muestras</i> .....	34 35

**CAPITULO 3**

**SISTEMAS DE SECADO DE LA MADERA . . . . . 37**

<b>SECADO NATURAL DE LA MADERA . . . . .</b>	<b>39</b>
Secado Natural de la madera rolliza .....	39
<i>Apilado de la madera rolliza</i> .....	40
Secado natural de la madera aserrada .....	40
<i>Sistemas de apilado de la madera aserrada</i> .....	41
Apilado horizontal .....	41
Apilado en caballete .....	42
Apilado por los extremos .....	42
Apilado en triángulo .....	42
<i>Calidad del aire de secado natural</i> .....	42
<i>Duración del secado natural</i> .....	42
<i>Mejoras al secado natural</i> .....	43
<i>ventajas e inconvenientes del secado natural</i> .....	43
Conclusiones sobre el Secado Artificial de la Madera .....	43
<b>SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA . . . . .</b>	<b>44</b>
Ventajas .....	44

Control del proceso de secado artificial .....	44
Los programas de secado .....	45
Acondicionamiento de la madera .....	47
Defectos originados por el secado de la madera .....	47
Durabilidad natural de la madera .....	48
Preservación de la madera .....	48
CONCLUSIONES .....	48
FIGURAS:	
9. Apilado de madera rolliza .....	50
10. Disposición de las pilas de madera en el patio de secado .....	51
11. Cuatro Sistemas principales de apilado de madera .....	52 - 53
12. Interpretación de las probetas tenedor .....	54
13. Defectos originados por el secado de la madera .....	55 - 56
TABLAS:	
5. Duración del secado natural .....	57
6. Programas básicos para el secado de madera .....	58
7. Algunas maderas comerciales colombianas y sus principales características .....	59 - 60 - 61
8. Defectos originados por el Secado de la madera, causas corrientes y posibles soluciones .....	62 - 63 - 64
9. Durabilidad natural de la madera .....	65
10. Grado de dificultad para someter la madera a un tratamiento de preservación .....	66

## CAPÍTULO 4

<b>CAMARAS PARA SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA .....</b>	<b>67</b>
--	-----------

CARACTERISTICAS Y COMPONENTES DE UNA CAMARA DE SECADO .....	69
Dimensiones .....	70
Materiales de construcción .....	70
Aislamiento térmico .....	71
Hermetismo .....	71
Ventilación controlada .....	71
Circulación del aire de secado .....	72
Sistemas de aporte de calor .....	73
ACPM y otros combustibles líquidos derivados del petróleo .....	73
Gas .....	74
Carbón y leña .....	74
Energía eléctrica .....	74
Energía solar .....	75
Sistemas mixtos .....	75
Control y operación del secador .....	76
Conducción manual .....	77
Conducción semi-automática .....	78
Conducción automática .....	78
Clasificación de las cámaras de secado .....	79
Presecadores .....	79
<i>Presecador bajo techo con ventiladores y costados cubiertos</i> .....	80
<i>Presecador con calefacción</i> .....	80
<i>Presecador con calefacción y recirculación de aire</i> .....	80
Secadores .....	81
<i>Secadores convencionales</i> .....	81
<i>Secadores continuos o túneles</i> .....	82
<i>Deshumidificadores</i> .....	83
<i>Secadores solares</i> .....	85

Sistemas especiales para secado de madera .....	86
Secadores de alta temperatura .....	86
Secadores de vacío .....	86
Otros métodos de secado .....	86
CONCLUSIONES .....	87
FIGURAS:	
14. Proporciones de una cámara de secado .....	89
15. Sistemas de puerta para una cámara de secado .....	90 - 91 - 92
16. Dos tipos de ventiladores utilizados en cámaras de secado .....	93 - 94 - 95
17. Cámaras de secado con caldera como fuente energética .....	96
18. Estufa de leña o carbón con intercambiador para calentar el aire de secado .....	97
19. Colectores solares de aire .....	98 - 99
20. Solución a malos recorridos del aire y a tamaño insuficiente de pilas dentro de una cámara de secado .....	100
21. Distribución de muestras testigo dentro de la cámara de secado .....	101
22. Diagrama de un secado controlado por sicrómetro .....	102
23. Modelos de presecadores .....	103 - 104
24. Secadores con ventiladores de flujo reversible .....	105 - 106
25. Secador con ventilador centrífugo .....	107
26. Secadores con ventiladores en los costados laterales .....	108 - 109
27. Túnel de secado continuo .....	110
28. Circuito frigorífico de un deshumidificador .....	111
29. Modelos de deshumidificadores .....	112 - 113 - 114
30. Secador solar con colector integrado .....	115
31. Secadores solares de paso directo y con recirculación de aire .....	116
32. Secador solar con tres circuitos independientes de circulación de aire .....	117
TABLAS: 11.	
<i>Funciones y efectos de los órganos básicos que pueden encontrarse en     un secador</i> .....	118

**ANEXOS:**

1. USOS POSIBLES SEGUN EL TIPO DE MADERA .....121

2.MADERA ADECUADA SEGÚN USO ..... 129

3. PRINCIPIOS FISICOS BASICOS QUE RIGEN EL PROCESO DE  
SECADO DE LA MADERA..... 141

**BIBLIOGRAFIA .....147**

---

# **Presentación**

**E**sta publicación se propone orientar a quienes se sirvan de la madera como materia prima, para que logren obtener de ella los mejores productos posibles. El mejor producto terminado sólo puede obtenerse de una madera bien procesada. Es decir: bien escogida, bien cortada y bien secada. En este manual se enseñan algunos conceptos básicos que ilustran el proceso de aprovechamiento adecuado de la madera para la fabricación de muebles y para su empleo en la edificación.

El contenido de este manual consta de cuatro capítulos que presentan en su orden: las características de la madera, el proceso de secado, los sistemas de secado y las cámaras o secadores para madera.

El capítulo primero describe las características de la madera, presenta los dos grupos básicos de madera y los tres tipos de corte de madera que tienen mercado en el comercio. Estos conceptos nos permitirán seleccionar la madera que mejor se adapte a nuestros objetivos.

El segundo capítulo está dedicado al secado. Se explica en él en qué consiste el proceso de secado y cuáles son las ventajas que aporta a la madera. Además, se estudian los conceptos físicos básicos que conforman el proceso de secado de la madera, los cuales suministran información técnica necesaria para evaluar las características de los secadores de madera.

El tercer capítulo presenta los dos sistemas básicos para secar madera, con el fin de que pueda escogerse el que mejor responda a las necesidades y posibilidades propias de cada utilizador.

El cuarto capítulo presenta los tipos de cámaras para el secado de la madera, haciendo énfasis en los modelos que son de utilidad inmediata en nuestro país. Esta información es una guía para escoger una cámara para secado artificial de madera, apropiada a la producción de cualquier industria, desde la pequeña empresa hasta las fábricas más tecnificadas.

En los tres anexos finales que completan este manual, se presentan los usos posibles de cada madera, la madera adecuada según el uso y los principios físicos básicos que rigen el proceso de secado de la madera. En las págs. 33 y 35 están los formatos que se utilizan para controlar el proceso de secado.

---

CAPITULO **1**

**Características generales, familias  
y cortes de la madera**

## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MADERA

**L**a madera es la materia prima de origen vegetal que se extrae de los árboles leñosos.

La madera es fibrosa, compacta y más o menos dura debido a los tejidos vegetales que la conforman. Estos tejidos se componen de pequeñísimos elementos de diferente tipo llamados células, tan diminutos que el ojo humano es incapaz de distinguirlos.

A medida que el árbol crece, el tronco aumenta su grosor. Como lo ilustra *la figura 1 (pág. 7)* el tronco del árbol se forma desde el centro o médula hacia afuera y está conformado por capas sucesivas que terminan en la corteza exterior o parte visible del tronco, la cual sirve de protección.

La corteza exterior es un tejido vegetal muerto que protege una zona de células vivas llamada corteza interna, por medio de la cual se realizan las funciones de alimentación entre las raíces y las hojas. La cara interior de la corteza interna, llamada cambium, es la capa viva generadora de la madera que da grosor al tronco y a las ramas, y mantiene la corteza exterior.

El resto del tronco está compuesto por la parte leñosa que constituye la madera, la

cual asegura la estabilidad del árbol.

## FAMILIAS DE MADERAS

Debe escogerse una madera adecuada al producto que con ella se vaya a fabricar.

Existen dos grandes grupos o familias de madera comercial: las maderas blandas y las maderas duras, ilustradas en *la figura 2 (pág. 8)*.

Las maderas blandas son llamadas coníferas debido a sus frutos en forma de conos. Son propias de países cuyo clima presenta variaciones extremas debido a las estaciones. En los países tropicales como Colombia, las coníferas han sido adaptadas a los climas templados y son maderas de crecimiento rápido. Las coníferas corrientes en nuestro país son los diferentes tipos de

pinos y cipreses.

Las maderas duras son llamadas latifoliadas debido a las hojas anchas que caracterizan y hacen frondosos a los árboles de este tipo.

Las maderas latifoliadas son propias de países tropicales, los cuales tienen un clima más uniforme durante todo el año. Pertenecen a este grupo casi la totalidad de las maderas nativas de nuestro país así como otras procedentes de diferentes países tropicales. Entre las maderas duras o latifoliadas más corrientes se encuentran el abarco, el anime, el guayacán y el balso, en climas cálidos. En climas más templados, se encuentran especies como el roble, el laurel y el eucalipto.

## CORTES DE LA MADERA

La fibra que conforma una pieza de madera lleva una orientación que cambia según el tipo de corte con el que se aserre el árbol. Esta es la razón por la cual las propiedades de una pieza de madera varían en función del tipo de corte. La variación de propiedades se manifiesta sobre todo en la magnitud de las contracciones y dilataciones que experimenta la madera durante el secado, y en su capacidad de soporte para recibir cargas.

El comportamiento es también diferente según se trate de madera que proviene del

interior del tronco, llamado duramen, o del exterior, llamado albura. Esto es cierto sobre todo en el caso de troncos gruesos cuyo interior se compone de capas de materia más antiguas y por lo tanto de mayor dureza.

Como se muestra en la *figura 3 (pág. 9)* el tronco de árbol puede cortarse en el sentido de su eje de crecimiento de tres maneras distintas, que se describen a continuación.

### CORTE RADIAL

Este tipo de corte lleva la dirección de los radios del tronco, o sea que el corte atraviesa de un lado a otro pasando por el centro del tronco.

### CORTE TANGENCIAL

El corte tangencial es perpendicular a la dirección de los radios del tronco: es decir, "a escuadra", o sea formando un ángulo recto con respecto a los radios.

### CORTE TRANSVERSAL

Cualquier otro corte que no sea ni radial ni tangencial es un corte oblicuo o transversal.

Como lo corriente es que el corte se realice a partir de una troza de sección cuadrada o rectangular, los tipos de corte más difundidos son el tangencial y el transversal, debido a que son más simples de realizar y generan menos desperdicio de madera. Para elementos estructurales utilizados en construcción, el corte radial es más adecuado porque las piezas presentan menos deformaciones.

La información aquí presentada se complementa con parte del contenido de la *tabla 7 (pág.59)* del capítulo 3, concerniente a los porcentajes de variación radial, tangencial y volumétrica de las principales maderas comerciales colombianas. Los *anexos 1 y 2*, que relacionan los diferentes tipos de maderas con los usos corrientes que de ellas se hace, completan los conceptos desarrollados en este capítulo.

## CONCLUSIONES

Este capítulo resume algunos conceptos básicos sobre los tipos de madera y la forma de cortarla, que constituyen un primer acercamiento al proceso de secado de madera. En efecto, para realizar un buen secado es necesario, entre otras condiciones, tener claridad sobre conceptos como la porosidad y el peso de la madera, las dimensiones de las piezas a secar y la orientación en ellas de las fibras constituyentes.

Estas generalidades son entonces una introducción a los conceptos físicos, a los sistemas de secado y a los tipos de secadores de madera que se estudiarán más adelante, los cuales conforman un panorama que permite comprender el proceso de secado de la madera y escoger un tipo de secador que se adapte a las condiciones propias de cada utilizador.

# Figuras

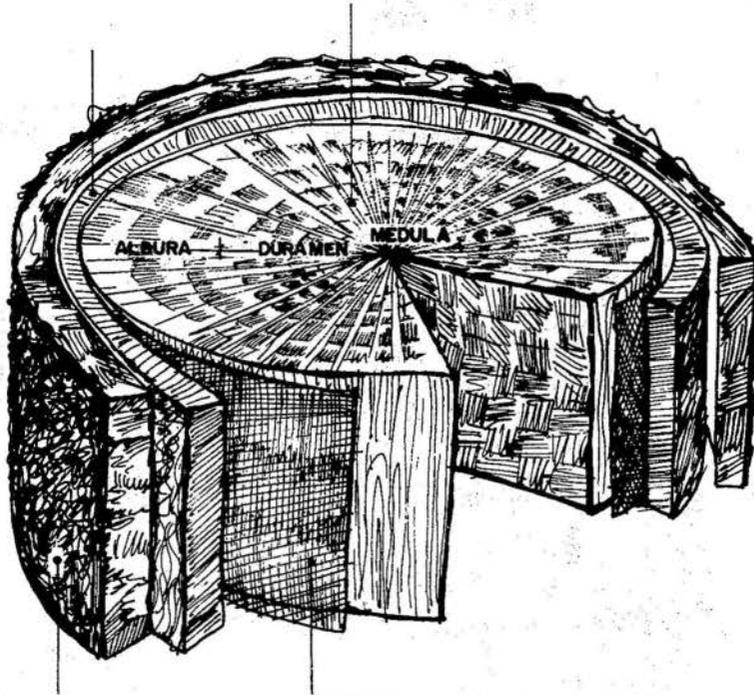
## CAPITULO 1

**CORTEZA INTERNA**

Capa viva llamada también liber que conduce el alimento elaborado en las hojas.

**MADERA**

Parte leñosa del tronco. Se compone de la albura, que es la parte exterior, el duramen o parte interior, y la médula o parte central del tronco.



**CORTEZA EXTERNA**

Capa de protección del tronco. Puede ser delgada como en el eucalipto o gruesa como en el mango

**CAMBIUM**

Capa muy delgada que genera hacia el interior la madera y hacia el exterior el liber

**Fig. 1. CONFORMACION DEL TRONCO DE UN ARBOL**

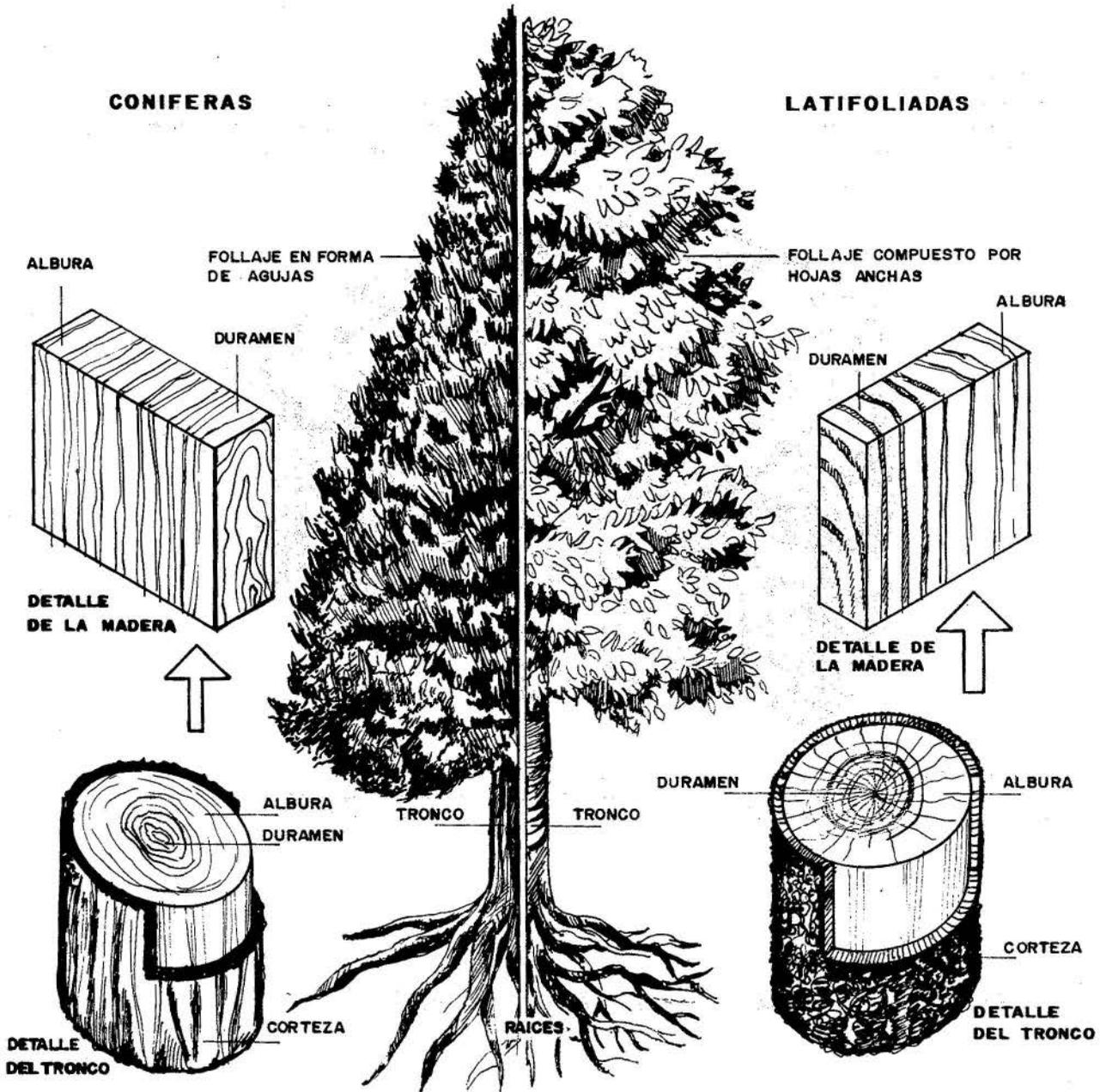
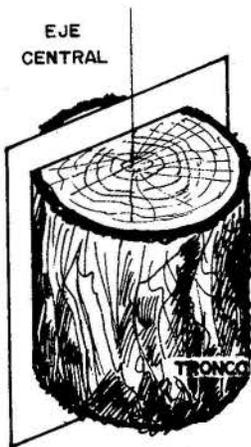
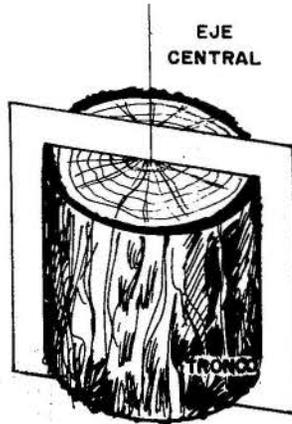


Fig 2. LAS DOS GRANDES FAMILIAS DE LA MADERA



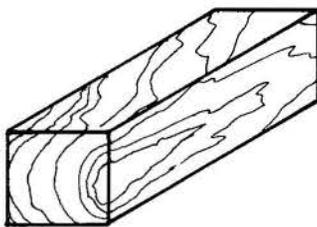
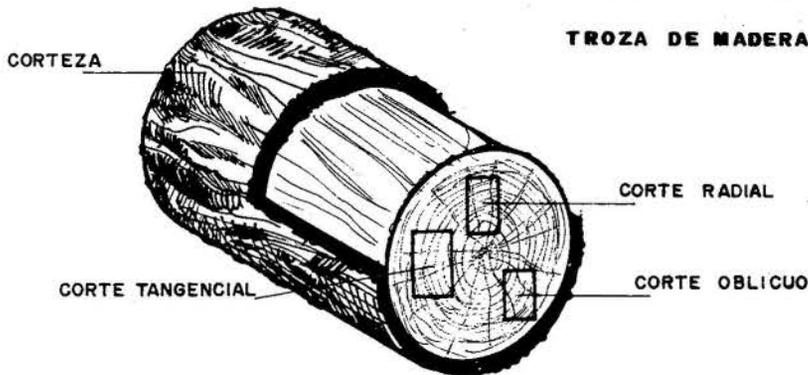
**CORTE TANGENCIAL**  
Perpendicular a un radio del tronco



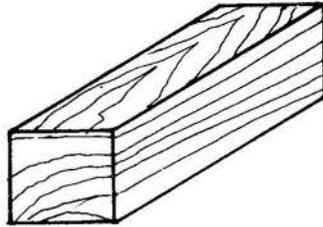
**CORTE RADIAL**  
Lleva la dirección de un radio



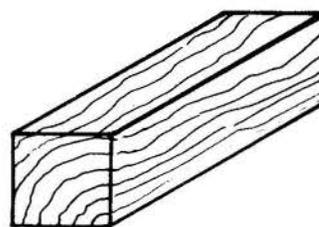
**CORTE OBLICUO**  
Lleva cualquiera otra dirección



**MADERA DE CORTE TANGENCIAL**



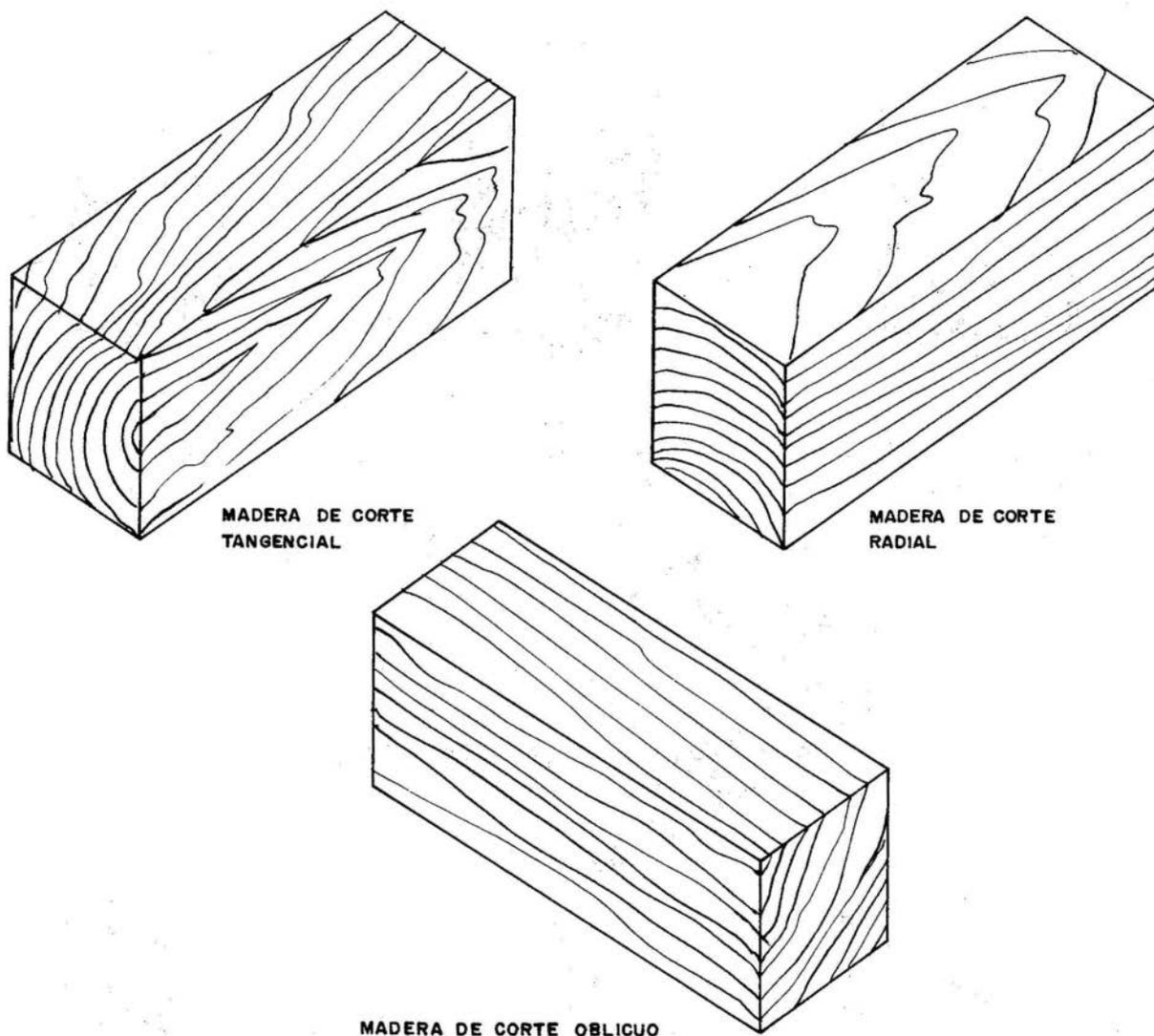
**MADERA DE CORTE RADIAL**



**MADERA DE CORTE OBLICUO**

**Fig 3. TIPOS DE CORTE DE LA MADERA.**

*Sigue en la página 10*



**Fig 3. TIPOS DE CORTE DE LA MADERA**

---

CAPITULO **2**

**Secado de la madera**

## DEFINICION

**E**l secado consiste en evacuar el exceso de agua que contiene la madera, en el menor tiempo, al menor costo y obteniendo la mejor calidad posible.

La madera es un producto orgánico natural que contiene bastante agua, gran parte de la cual debe ser evacuada para obtener un contenido de humedad **CH** que depende de la utilización que de ella vaya a hacerse y de la humedad relativa **HR** del aire ambiente.

## VENTAJAS TECNICAS DEL SECADO DE MADERA

El secado proporciona una materia prima de mejor calidad. Las principales ventajas técnicas que se obtienen con un correcto secado de la madera son:

### RESISTENCIA A LA PUDRICION

Aumenta, al evitarse el ataque de hongos e insectos.

### RESISTENCIA MECANICA

Aumenta, con lo cual la madera soporta mayores cargas de esfuerzos.

### CONSERVACION DE FORMAS Y DIMENSIONES

Las piezas del producto elaborado con madera seca son más fáciles de ensamblar.

## REDUCCION DE PESO

Se facilita el transporte, y la madera estructural es más resistente.

## INMUNIZACION

La madera adquiere mayor resistencia a la intemperie y a otras condiciones climáticas difíciles.

## CONSERVACION DEL COLOR

El color igual en todas las piezas permite una calidad uniforme al fabricar elementos en serie con acabado natural.

## MEJOR SOPORTE PARA ACABADOS

Como pegas, pinturas y capas de acabado en general.

## MEJOR CALIDAD DE MAQUINADO

Al maquinar la madera húmeda, sus fibras se rompen de manera prematura y desigual, propiciando un acabado irregular y desastillados en la superficie. La viruta húmeda que se adhiere a la herramienta disminuye el rendimiento del corte y entorpece el desplazamiento de las piezas en las máquinas de banco. Procesando la madera húmeda se compromete el afilado de las cuchillas y la vida útil de partes componentes de las herramientas que están diseñadas para trabajar madera seca.

## PRINCIPIOS DEL SECADO TERMICO DE LA MADERA

En el proceso de secado térmico el aire calienta la madera y evacúa la humedad que se encuentra en ella. Es necesario conocer una serie de características y propiedades físicas del aire y de la madera para comprender este proceso.

## EL ELEMENTO PRIMORDIAL: EL AIRE

El aire debe tener unas condiciones particulares de humedad, temperatura, velocidad y presión para poder realizar un buen secado. Estudiemos estas características.

### Humedad relativa **HR** del aire

El aire ambiente contiene agua en forma de vapor. La humedad relativa **HR** indica cuál es el contenido de vapor de agua, es decir, de humedad del aire. Cuando la humedad relativa **HR** alcanza su valor máximo del ciento por ciento (100%) se dice que el aire está saturado de humedad y no puede contener más vapor de agua, así que el exceso de agua se condensa para convertirse en líquido.

La humedad relativa **HR** del aire depende de la presión atmosférica y de la temperatura del lugar, las cuales varían dentro de ciertos límites para un lugar determinado. Por esta razón se calcula una humedad relativa **HR** promedio.

En el proceso de secado el aire se comporta como una esponja: mientras más seco, mayor es su capacidad para absorber vapor de agua, hasta llegar a un tope máximo de contenido de agua.

La medición de la humedad relativa **HR** puede hacerse por medio de un higrómetro o, en forma más accesible, por medio de un aparato elemental llamado sicrómetro. La

*figura 4 (pág. 24) ilustra ambos aparatos.*

El higrómetro es un aparato calibrado para medir la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y entregar una lectura de humedad relativa **HR** en porcentaje (%).

El sicrómetro consta de un par de termómetros. Uno de ellos tiene cubierto el bulbo de mercurio con una gasa humedecida en permanencia con agua destilada y registra la temperatura de bulbo húmedo. El segundo termómetro no presenta ningún aditamento especial y mide la temperatura de bulbo seco. La diferencia entre las temperaturas de ambos termómetros se llama depresión sicrométrica y permite calcular la humedad relativa **HR** y presentar los resultados en una tabla donde cada depresión sicrométrica tiene una humedad relativa **HR** correspondiente (*Ver tabla 1, pág. 29*)

### Temperatura del aire

A medida que aumenta la temperatura del aire, también aumenta su capacidad para secar o absorber humedad. Para aumentar la temperatura del aire es necesario suministrar energía. Las fuentes corrientes de energía son la electricidad, el ACPM, el gas, el carbón, la leña y la energía solar utilizada directamente sobre la madera o captada por medio de colectores solares que calientan el aire suministrado a una cámara de secado. La temperatura del aire dentro de la cámara se mide por medio de un termómetro corriente, como el termómetro de bulbo seco del sicrómetro.

## Velocidad del aire

El aire caliente debe circular a través de las pilas a una velocidad tal que garantice la evacuación del agua contenida en la madera. El aire es en general propulsado por ventiladores eléctricos, que consumen menos de una cuarta parte de la energía eléctrica requerida para calentar el aire. La velocidad del aire se calcula a partir del caudal de los ventiladores y de la distribución de la madera dentro de la cámara. Se mide por medio de un anemómetro.

## Presión del aire

Debe ser suficiente para que el aire circule de manera uniforme a través de toda la madera distribuida dentro de la cámara. Es una característica de los ventiladores que se calcula a partir de las restricciones impuestas al recorrido del aire. Se mide por medio un manómetro.

# 16

## EL MATERIAL A SECAR: LA MADERA

Para escoger un proceso de secado adecuado a cada tipo de madera, es necesario controlar su cantidad de agua o contenido de humedad **CH** y conocer su densidad.

## Contenido de humedad **CH** de la madera

La madera es un material poroso que contiene agua bajo tres formas:

**Agua libre.** Es el agua que llena las cavidades entre las células. Es fácil de evacuar con poco consumo de energía.

**Agua higroscópica.** Es el agua contenida en las paredes de las células. Para evacuarla es necesario suministrar a la madera mayor cantidad de energía.

**Agua de constitución.** Forma parte integral de la estructura molecular que compone la fibra o cuerpo leñoso de la madera. Sólo puede evacuarse mediante la combustión de la madera.

El árbol recién talado está compuesto de madera verde que contiene agua de las tres formas. La madera expuesta al medio ambiente inicia su proceso de secado perdiendo agua libre. Cuando ha perdido toda el agua libre, el contenido de humedad de la madera se conoce como "punto de saturación de las fibras **PSF**", punto importante a partir del cual se requiere mayor energía para continuar el secado, lo que se manifiesta en general por una disminución de la velocidad del secado.

Se considera seca la madera, cuando ha perdido toda el agua libre y parte del agua higroscópica, hasta llegar a un "contenido de humedad de equilibrio **CHE**" con la humedad relativa **HR** del aire ambiente.

Para un lugar con temperatura y humedad relativa **HR** determinadas, existe entonces un contenido de humedad de equilibrio

CHE de la madera que es el valor mínimo al cual puede mantenerse, en ese lugar, el contenido de humedad CH de una madera. La figura 5 (pág. 25) muestra el gráfico característico de la variación del contenido de humedad CH en función del tiempo de secado. La tabla 2 (pág. 31) indica: La temperatura promedio, la humedad relativa HR promedio y el contenido de humedad de equilibrio CHE, para algunas ciudades de Colombia.

La diferencia entre la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo, llamada depresión sicométrica permite conocer la humedad relativa HR y el contenido de humedad de equilibrio CHE correspondiente. La tabla 1, (Pág. 29) presenta esta información. Ver manejo de la tabla 1 en la Pág. 30.

La madera que ha perdido toda el agua higroscópica se conoce como madera anhidra y su contenido de humedad CH es nulo. La madera anhidra sólo puede obtenerse mediante un secado al horno con aire completamente seco que permita rebajar la madera desde su contenido de humedad de equilibrio hasta un contenido de humedad CH nulo.

La madera cuyo contenido de humedad CH se encuentra por debajo del contenido de humedad de equilibrio CHE se humedece de nuevo en forma progresiva hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio CHE del lugar donde se encuentra. Según la utilización que vaya a hacerse de ella, la madera debe llevarse hasta un contenido de humedad CH determinado. La figura 6 (pág. 26) ilustra los contenidos de humedad que se requieren en la madera para diferentes usos.

El contenido de humedad CH se define como la relación, medida en porcentaje (%), entre el peso del agua contenida y el

peso de la madera anhidra o sin agua.

$$CH = \frac{(PH) - (PA)}{(PA)} \times 100 (\%)$$

PH: Peso húmedo

PA: Peso anhidro

La diferencia entre el peso húmedo y el peso anhidro es el peso de agua que contiene la madera.

El contenido de humedad CH de las maderas verdes puede ser del 200% al 400% para las maderas blandas como el balsa y la ceiba bonga que tienen paredes celulares delgadas y cavidades grandes, es decir, baja densidad.

Las maderas duras o de alta densidad, como el guayacán y el algarrobo, presentan paredes gruesas y pequeñas cavidades celulares, y su contenido de humedad CH verde o inicial es menor que el 100%.

El punto de saturación de las fibras PSF, que es el estado en que toda el agua libre ha sido evaporada, corresponde a un contenido de humedad del orden del 30%.

El contenido de humedad de equilibrio CHE, que depende de la humedad relativa HR del aire ambiente, varía de un lugar a otro. En Colombia se encuentran valores desde el 12% en Cúcuta hasta el 16% en Bogotá.

Cuando la madera pierde o gana agua en sus paredes celulares, o sea por debajo del punto de saturación de las fibras PSF, se contrae o se hincha. Este cambio de volumen se lleva a cabo en las tres dimensiones básicas:

En el sentido longitudinal o sentido de las fibras es pequeña, del orden de una décima (0.1%) de la dimensión verde; en el sentido radial la variación puede ser del 3 al 10% de la dimensión verde; en el sentido tangencial la variación es del 1.5 a 2.3 veces mayor que en la dirección radial.

La *tabla 7* (pág. 59) presenta, además de otra información importante que se estudiará más adelante, los porcentajes de contracción tangencial, radial y volumétrica para las especies de madera comerciales en Colombia, calculadas para una variación de verde a anhidro en el contenido de humedad CH. La contracción longitudinal, que como se dijo es de menor importancia porcentual, se deduce dividiendo la contracción volumétrica por el producto de las contracciones tangencial y radial.

**Medida del contenido de humedad CH mediante el método de doble pesada.** La "doble pesada", a pesar de requerir el sacrificio de algunas tablas, es el más exacto de los métodos para determinar el contenido de humedad CH de la madera.

Para medir el contenido de humedad CH se requieren una pesa de precisión con una exactitud de 0.1 gramos en 100 gramos o más y un horno eléctrico de secado llamado mufla, con temperatura controlada de 102°C a 105°C y ventilación para evacuar la humedad resultante del secado de las probetas de madera.

Para controlar el proceso de secado deben utilizarse dos tipos diferentes de piezas testigos: las muestras o tablas de control que se distribuyen dentro de la cámara para vigilar el proceso de secado, y las probetas para determinar el contenido de humedad

CH de la madera.

Los pasos a seguir para determinar el contenido de humedad CH en la madera y controlar su evolución durante el secado son los siguientes (*Ver figura 7* pág. 27):

**Obtención de muestras y probetas:**

cortar una longitud de 65 cm en la zona central de una tabla de madera húmeda. De la tabla obtenida se corta en cada extremo una pequeña pieza de 2 cm de longitud. La muestra de 60 cm se identifica con el número 1 y se inscribe en la columna 6 del "Formato 1. Contenido de humedad CH de las muestras y probetas" (*tabla 3*, pág. 32). Las dos probetas correspondientes se identifican 1A y 1B y se inscriben en la columna 1 del mismo formato.

Se requieren al menos una muestra y sus dos probetas correspondientes por cada metro cúbico de madera a secar (unas 33 tablas de 3 m x 20 cm x 3 cm.).

Existe otro tipo de probeta llamada "de tenedor", destinada a detectar las tensiones existentes en la madera. (*Ver acondicionamiento de la madera*, pág. 47).

**Pesaje de muestras y probetas:** el pesaje debe efectuarse de inmediato. Tanto el húmedo o inicial, recién se obtienen las piezas testigos, como los pesajes realizados a medida que avanza el secado en la mufla. Las probetas y muestras pueden perder o ganar humedad del ambiente si se demora el pesaje, y los datos obtenidos son entonces inexactos.

Los pesos húmedos o iniciales de las probetas y muestras se registran respectivamente en la segunda y penúltima columnas del formato 1, *tabla 3* (pág. 32).

**Determinación de peso anhidro de las probetas:** el peso anhidro es el peso de la probeta que no contiene agua. Es decir, con un CH igual al cero por ciento. Se obtiene después de someter la probeta a un secado en la mufla durante el tiempo suficiente para que no se detecte variación alguna en su peso, lo cual se logra después de 20 a 48 horas de secado continuo. Los pesos anhidros o secos de las probetas se registran en la columna 3 del formato 1, *tabla 3 (pág. 32)*.

**Cálculo del contenido de humedad CH:** para cada probeta se conoce el peso húmedo y el peso anhidro o peso de la madera seca. La diferencia entre ambos pesos corresponde al peso del agua contenido en la probeta húmeda inicial. El contenido de humedad CH se define como la relación en porcentaje entre el peso del agua y el peso de la madera y se calcula mediante la siguiente ecuación, ya conocida:

$$CH = \frac{(PH) - (PA)}{(PA)} \times 100 (\%)$$

PH: Peso húmedo  
PA: Peso anhidro

Los contenidos de humedad CH de cada probeta se escriben en la columna 4 del formato 1, *tabla 3 (pág. 32)*. Se calcula luego el contenido de humedad CH promedio de las dos probetas de una misma tabla mediante la relación:

$$CH = \frac{(CH \text{ probeta 1A}) + (CH \text{ probeta 1B})}{2}$$

Los resultados se anotan en la columna 5 del formato 1, *tabla 3 (pág. 32)*.

**Cálculo del peso anhidro o seco de las muestras:** con base en el contenido de humedad CH promedio, se calcula el peso seco o peso final de la muestra correspondiente mediante la relación:

$$PFM = \frac{(PIM) \times 100}{(CH \text{ promedio}) + 100}$$

PFM: Peso final muestra  
PIM: Peso inicial muestra

Los resultados se anotan en la última columna del formato 1, *tabla 3 (pág. 32)*.

Ejemplo de cálculo de los contenidos de humedad CH de las muestras y probetas, calculados a partir de los datos de la *tabla 3*.

Contenido de humedad CH promedio de las probetas 1A y 1B

$$\text{Probeta 1A: } CH = \frac{201 - 161}{161} \times 100 = 25.84\%$$

$$\text{Probeta 1B: } CH = \frac{193.5 - 154.4}{154.4} = 25.32\%$$

$$CH \text{ promedio} = \frac{25.84 + 25.32}{2} = 25.08\%$$

Peso final de la muestra 1:

$$\frac{1.915 \times 100}{25.08 + 100} = 1.531, 02 \text{ g}$$

Contenido de humedad CH de la muestra 1

$$CH = \frac{1.915 - 1.531,02}{1.531,02} \times 100 = 25.08\%$$

**Cálculo del contenido de humedad de la muestra:** las muestras que han sido distribuidas en sitios adecuados de la cámara, para controlar el proceso de secado, se pesan cada cierto tiempo, según lo requiera la intensidad del avance del secado. En general, es suficiente con realizar un pesaje por día. En el "Formato 2. Variación del contenido de humedad CH de las muestras", que ilustra la tabla 4 (pág. 34) se consigna, en la fila correspondiente, la fecha, el peso de la muestra y el contenido de humedad CH calculado a partir de la relación conocida:

$$CH = \frac{(PM) - (\text{Peso Anhidro M})}{(P.\text{Anhidro M})} \times 100$$

PM: Peso muestra

P. Anhidro M: Peso anhidro de la muestra

En la última columna de este mismo formato 2, tabla 4 (pág. 34), se escriben los pesos finales de las muestras que ya han sido calculados como se indica en el paso anterior y que figuran en la última columna del formato 1, tabla 3 (pág. 32). Esta serie de datos corresponde al peso de la fibra de madera o sea un CH del 0%.

Este formato 2 nos indica en todo momento el contenido de humedad CH de la madera: para cada fecha, se obtiene el peso de la muestra que permite calcular el contenido

de humedad CH correspondiente. El proceso de secado termina cuando se ha llegado al CH requerido según el uso que vaya a hacerse de la madera (ver figura 5 pág. 25) o cuando se llegue al contenido de humedad de equilibrio CHE del lugar.

Ejemplo del cálculo del contenido de humedad CH de las muestras a partir de los datos de la tabla 4.

Muestra 1, en septiembre 6:

Peso de la muestra: 1.830 g

Contenido de humedad

$$CH = \frac{1.830 - 1.531,02}{1.531,02} \times 100 = 19.52\%$$

Contenido de humedad CH promedio

$$CH \text{ promedio} = \frac{19.52 + 18.24 + 24.73 + 19.06}{4}$$

$$= 20.38\%$$

Es igual a la suma de los contenidos de humedad CH de todas las muestras, dividido por el número de muestras.

**Medida del contenido de humedad CH mediante métodos eléctricos:** los métodos eléctricos de medición del contenido de humedad CH se basan en las diferencias de las propiedades eléctricas entre la madera húmeda y la

madera seca. Estos medidores suelen ser aparatos del tamaño de un radio transistor pequeño, que funciona con pilas, a los cuales, mediante un cable, se conectan dos electrodos en forma de clavos, que se hacen penetrar en la madera a la cual se le desea medir el contenido de humedad CH (Ver figura 8 pág: 28).

Las mediciones obtenidas con estos aparatos son bastante precisas para contenidos de humedad entre el 4% y el 25%, a condición de que se efectúen las correcciones del caso según las instrucciones del fabricante. Para contenidos de humedad por encima o por debajo de estos valores, las lecturas efectuadas con los medidores eléctricos son menos precisas.

## Densidad

Según su especie, las maderas varían de duras y pesadas a blandas y de poco peso. El secado de las maderas pesadas es más lento, y tiene mayor tendencia a presentar defectos que el secado de las livianas.

La densidad es la relación entre la masa y el volumen de una pieza de madera. Se acostumbra tomar la masa como el peso del cuerpo, y la densidad se mide entonces en unidades de peso (gramos) sobre unidades de volumen (centímetros cúbicos).

Á medida que avanza el secado y la madera pierde agua, varía su peso. Aunque de manera imperceptible, por debajo del punto de saturación de las fibras PSF disminuye también el volumen de la madera. La

densidad de una pieza de madera es entonces diferente según se pese y se calcule su volumen estando húmeda, a medio secar, o del todo seca. Existen pues varios tipos diferentes de densidad, entre los cuales se distinguen:

**Densidad anhidra o seca al horno:** es la relación entre el peso y el volumen anhidros. Es decir, para un CH = 0%

**La densidad seca al aire:** es la relación entre el peso y el volumen correspondientes a un CH = 12%

**La densidad verde:** es la relación entre el peso y el volumen verdes, o sea correspondientes a un CH mayor del 30%.

**La densidad básica:** es la relación entre el peso anhidro o seco y el volumen verde, o sea para un CH mayor de 30%. La densidad básica es la menor de las cuatro densidades definidas aquí, y es la que se usa en la práctica pues las condiciones en las cuales se basa permanecen estables para una especie de madera determinada.

El valor de la densidad anhidra puede variar desde 0.1 g/cm<sup>3</sup> para el balso, hasta 1.4 g/cm<sup>3</sup> para el guayacán de bola. La densidad de la parte sólida de la madera es más o menos constante para todas las especies y su valor es 1.56 g/cm<sup>3</sup>.

La tabla 7 (pág.59) muestra las densidades básicas de las principales especies de madera que se encuentran en el comercio colombiano.

## CONCLUSIONES

Los elementos estudiados en este capítulo permiten controlar en forma correcta el proceso de secado y formarse un criterio válido sobre cómo escoger el sistema de secado de madera que mejor se adapte a las condiciones de cada utilizador.

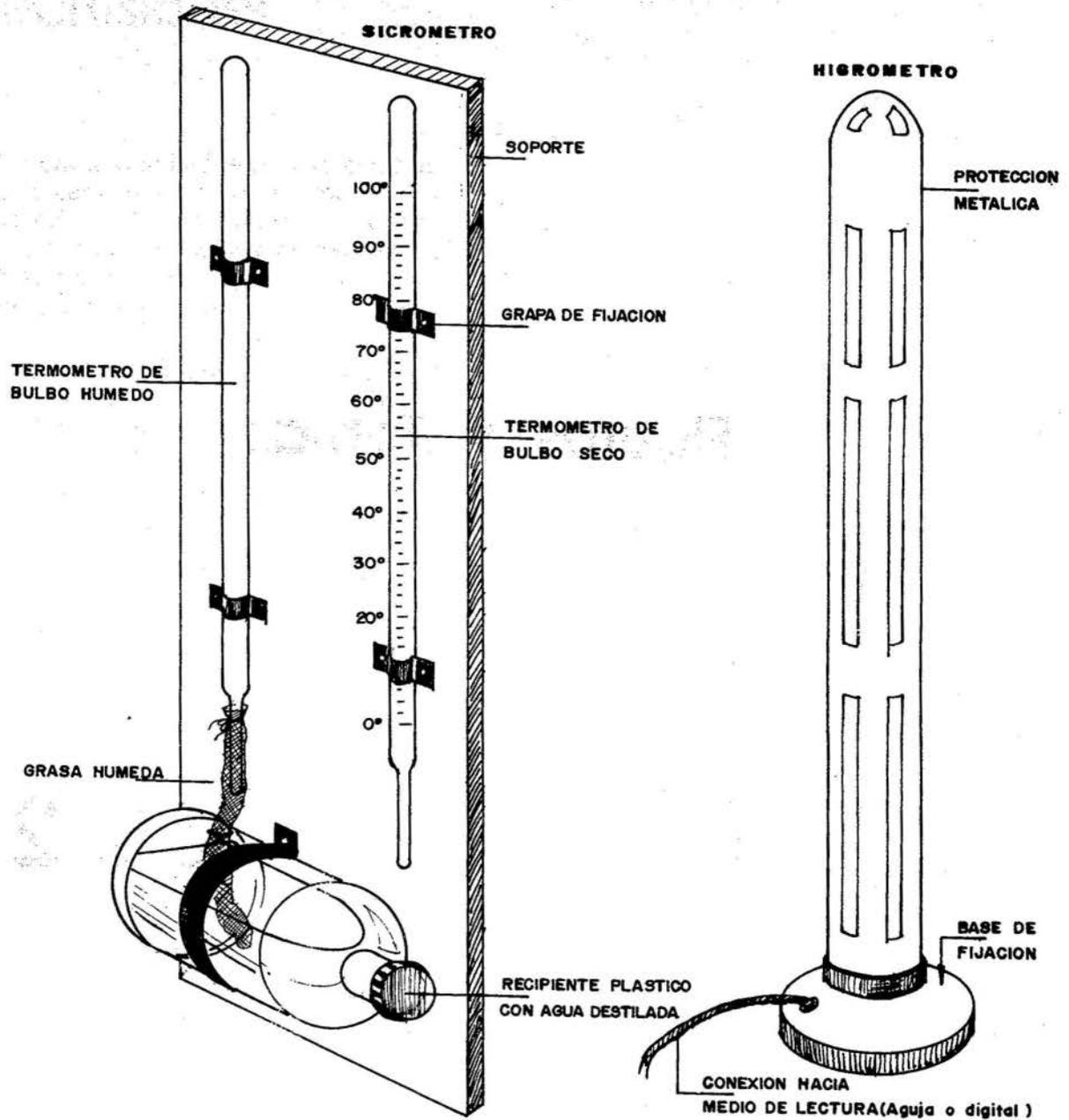
En resumen, se requiere controlar la temperatura, la humedad relativa HR, la velocidad y la presión del aire de secado. En cuanto a la madera, debe controlarse su contenido de humedad CH y debe conocerse su densidad, característica esencial en la acertada escogencia de las condiciones adecuadas de secado, en las cuales se basan los horarios o programas de secado que se estudian en los *programas de secado*, pág. 45

# Figuras y Tablas

CAPITULO **2**

# Figuras y Tablas

CAPITULO **2**



24

**Fig 4. DISPOSITIVOS PARA MEDIR LA HUMEDAD RELATIVA HR DEL AIRE.**

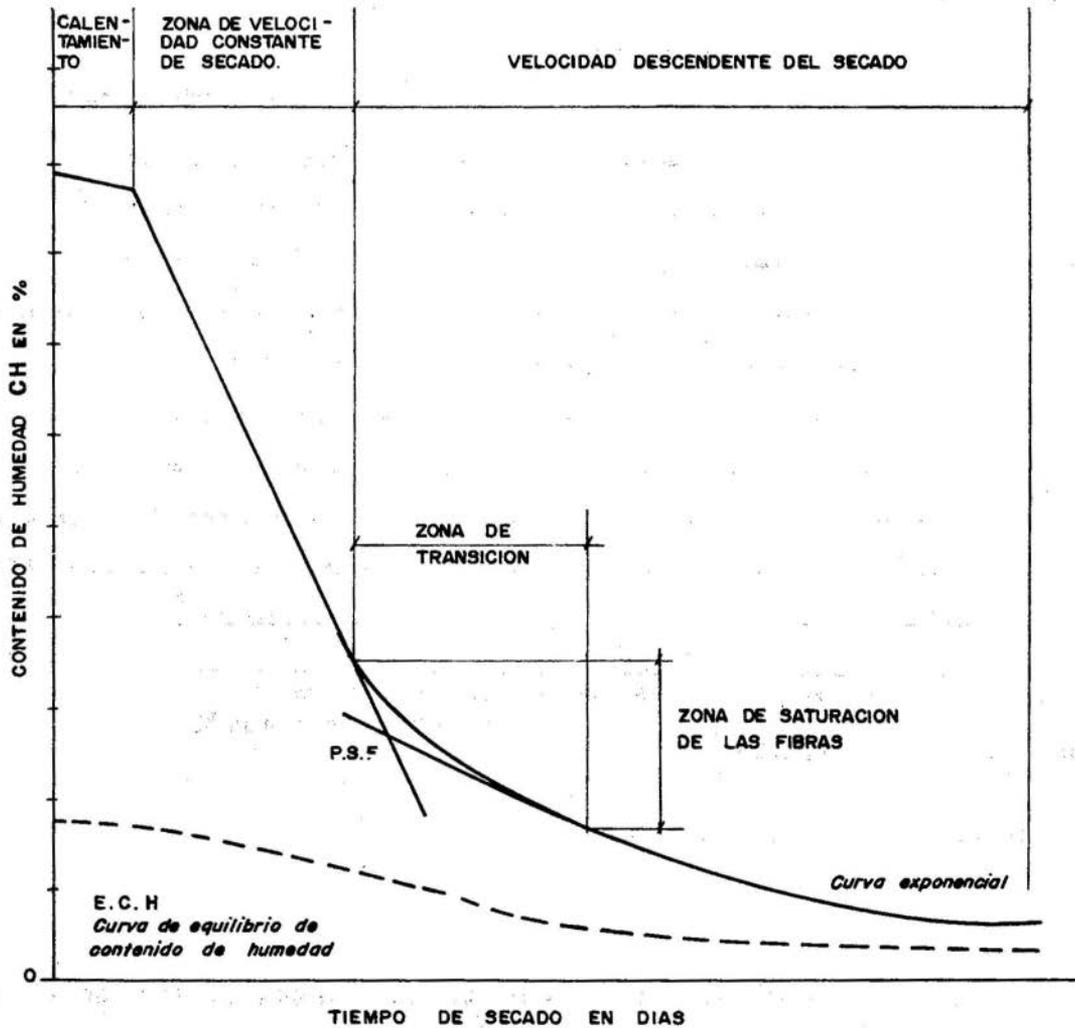
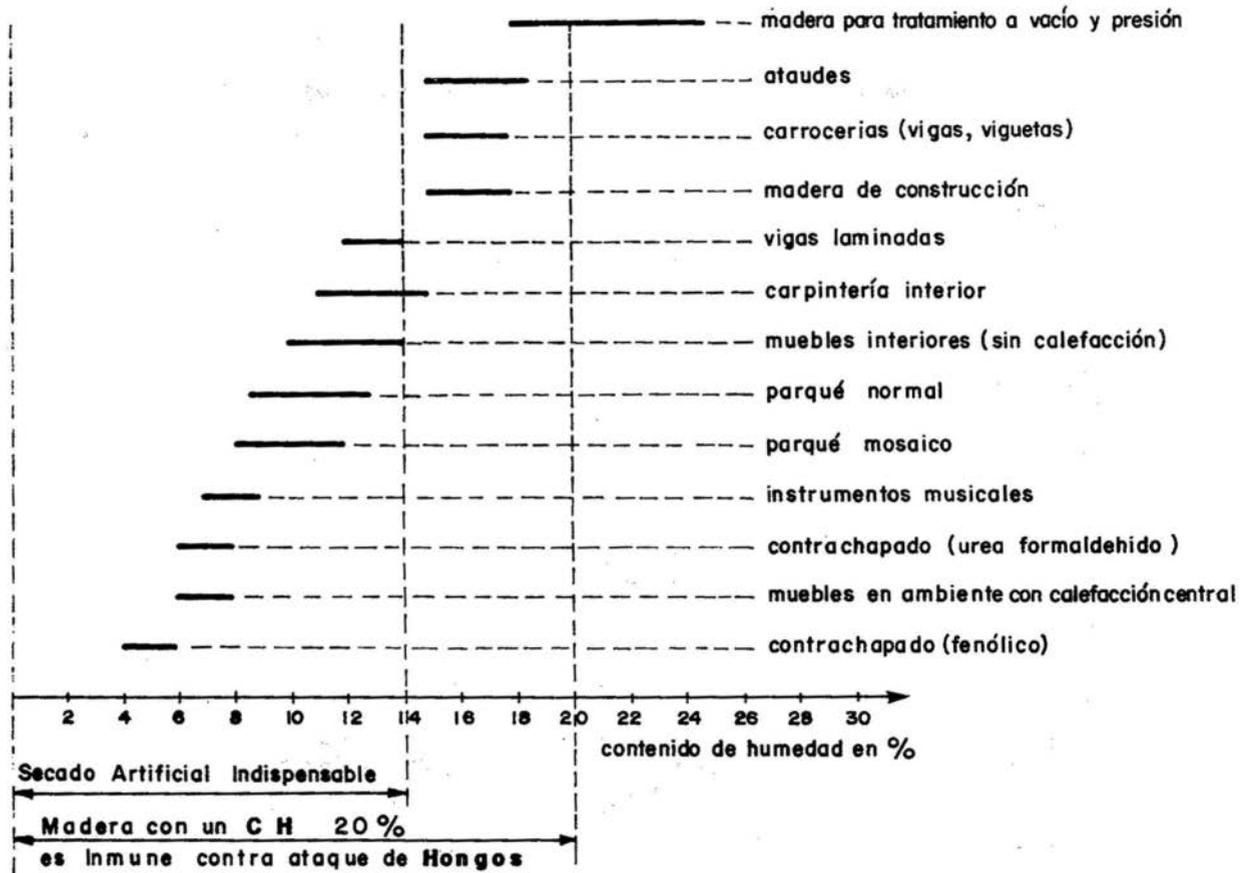
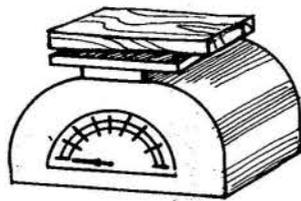
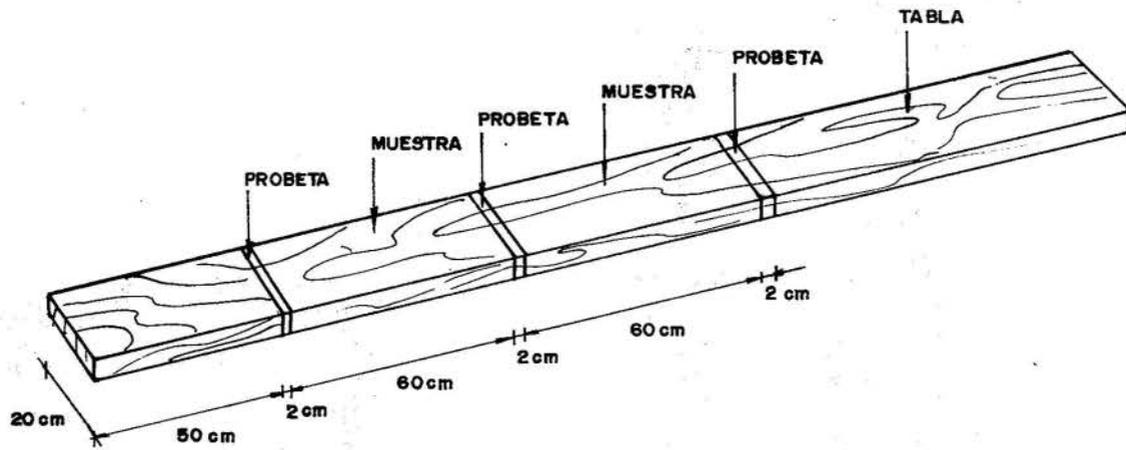


Fig 5. VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CH DE LA MADERA EN FUNCION DEL TIEMPO

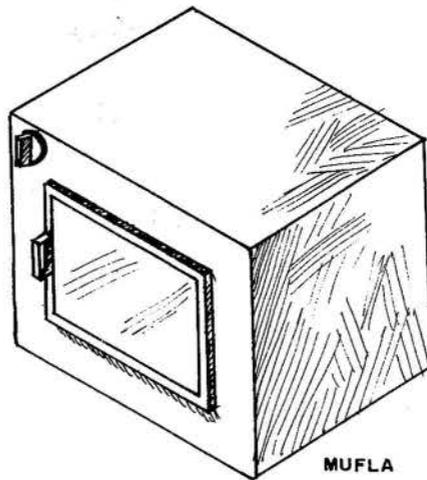


26

Fig 6. CONTENIDO DE HUMEDAD CH SEGUN EL USO DE LA MADERA



BALANZA DE PRECISION



MUFLA

**Fig 7. OBTENCION DE LAS MUESTRAS Y PROBETAS PARA CONTROLAR EL SECADO DE LA MADERA Y APARATOS PARA SU MANIPULACION.**

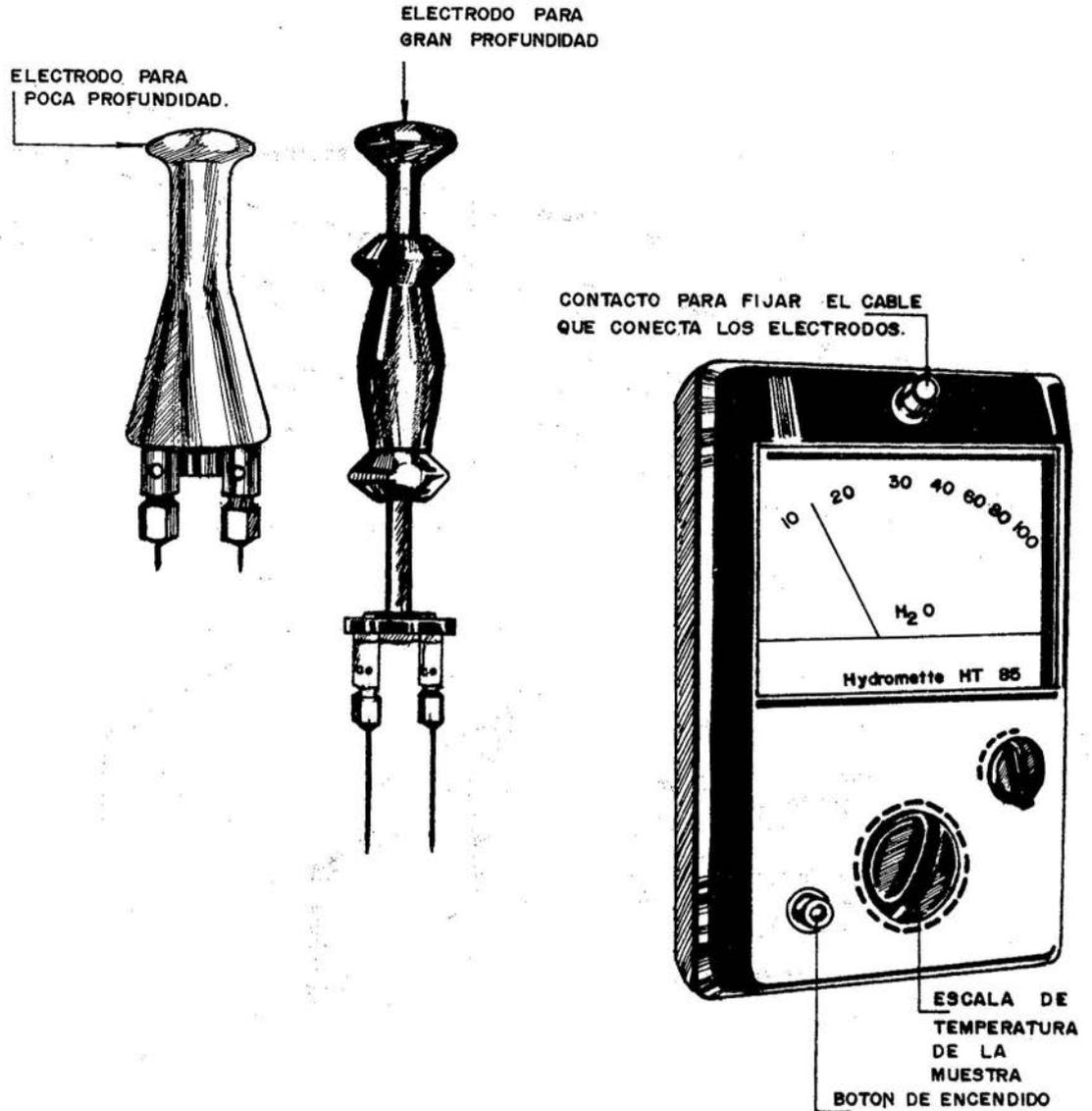


Fig 8. MEDIDOR ELECTRICO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CH.



## COMO UTILIZAR LA TABLA 1

### DESCRIPCION

Columna extrema izquierda.

Temperatura de bulbo seco en grados farenheit (°F).

Columna extrema derecha.

Temperatura del bulbo seco en grados centígrados (°C).

**Fila superior:**

Depresión sicrométrica (temperatura de bulbo seco menos temperatura de bulbo húmedo) en grados farenheit (°F).

**Fila inferior:**

Depresión sicrométrica en grados centígrados (°C).

Pares de cifras al interior de la tabla.

**Cifra superior:** humedad relativa (HR) (ver *humedad relativa del aire*, pág. 15)

**Cifra inferior:** contenido de humedad de equilibrio CHE de la madera (ver *contenido de humedad CH de la madera*, pág. 16).

### MODO DE EMPLEO

Se leen en el sicrómetro las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo. Se calcula la depresión sicrométrica = (temperatura de bulbo seco) - (temperatura de bulbo húmedo).

En la intersección de la fila correspondiente a la temperatura de bulbo seco y a la columna correspondiente a la depresión sicrométrica, se leen la humedad relativa **HR** del aire (*cifra superior*) y el contenido de humedad de equilibrio **CHE** de la madera (*cifra inferior*).

### Ejemplo

Para una temperatura de bulbo seco de 90°F (32°C) y una temperatura de bulbo húmedo de 86°F (30°C), la depresión sicrométrica correspondiente es 4°F (2°C). En la intersección de la fila correspondiente a la temperatura de bulbo seco de 90°F y la columna correspondiente a la depresión sicrométrica de 4°F, se lee 85% de humedad relativa **HR** (*cifra superior*) y 18.5% de contenido de humedad de equilibrio **CHE** (*cifra inferior*).

Ciudad	H.R.Prom (%)	T.Prom(°C)	CHE.(%)
Armenia	77	22	15
Barranquilla	76	28	14
Bogotá	80	11	16
Bucaramanga	75	22	14
Cali	75	24	14
Cartagena	79	28	15
Cúcuta	66	27	12
Ibagué	80	21	16
Manizales	78	18	16
Medellín	69	21	13
Montería	82	27	16
Neiva	67	26	12
Pasto	79	17	16
Popayán	79	18	16
Riohacha	74	27	14
Santa Marta	74	27	14
Sincelejo	77	28	15
Tunja	80	13	16
Valledupar	70	28	13
Villavicencio	75	25	14

**Tabla 2** Punto de equilibrio higróscopico para ciudades de Colombia,  
o sea CHE

FORMATO 1. CONTENIDO DE HUMEDAD CH DE LAS MUESTRAS Y PROBETAS							HOJA 1 DE 2	
OBSERVACIONES					ESPECIE	ESPELOR	FECHA	
secador solar - tiempo de secado 37 días, ventilación apagada en la noche						nogal cafetero	4 cm	Sept. 5-89
						VOLUMEN	UNIDAD DE MEDIDA	
						2'997.347 cm <sup>3</sup>	Gramos	
PROBETA		PESO HUMEDO	PESO ANHIDRO	CH %	CH PROMEDIO %	MUESTRA	PESO HUMEDO	PESO ANHIDRO
1	A	201	161	25.84	25.08	1	1915	1531.02
	B	193.5	154.4	25.32				
2	A	196.7	159.6	23.24	23.13	2	1760	1429.38
	B	186.5	151.6	23.02				
3	A	244.1	179.3	36.14	34.69	3	2435	1807.85
	B	234	175.6	33.25				
4	A	243.6	189.4	28.61	26.85	4	2200	1734.33
	B	207.4	165.8	25.09				
5	A							
	B							
6	A							
	B							
7	A							
	B							
8	A							
	B							
9	A							
	B							
0	A							
	B							

32

Tabla 3

FORMATO 1. CONTENIDO DE HUMEDAD CH DE LAS MUESTRAS Y PROBETAS							HOJA
OBSERVACIONES					ESPECIE	ESPEJOR 4 cm	FECHA
						VOLUMEN	UNIDAD DE MEDIDA
PROBETA	PESO HUMEDO	PESO ANHIDRO	CH %	CH PROMEDIO %	MUESTRA	PESO HUMEDO	PESO ANHIDRO
1	A						
	B						
2	A						
	B						
3	A						
	B						
4	A						
	B						
5	A						
	B						
6	A						
	B						
7	A						
	B						
8	A						
	B						
9	A						
	B						
0	A						
	B						

Tabla 3

Viene de la página anterior

FORMATO 2. VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CH DE LAS MUESTRAS									HOJA 2 DE 2
OBSERVACIONES ver hoja 1 de 2						ESPECIE		ESPEJOR 4 cm	FECHA Sept. 5-89
						nogal cafetero		VOLUMEN 2'997.347 cm <sup>3</sup>	UNIDAD DE MEDIDA gramos
MUESTRA	FECHA	Sept. 6	7	8	9	10	11	12	PESO FINAL
1	PESO	1.830	1.805	1.790	1.770	1.760	1.760		1.531,02
	CONTENIDO DE HUMEDAD %	19,52	17,89	16,91	16,70	14,95	14,95		
2	PESO	1.685	1.665	1.655	1.635	1.625	1.625		1.429,38
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %	18,24	16,84	16,14	15,35	14,03	14,03		
3	PESO	2.255	2.215	2.195	2.160	2.150	2.145		1.807,85
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %	24,73	22,52	21,41	20,60	18,92	18,64		
4	PESO	2.065	2.045	2.030	2.005	1.995	1.995		1.734,33
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %	19,06	17,91	17,04	15,60	15,03	15,03		
5	PESO								
	CONTENIDO DE HUMEDAD %								
6	PESO								
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %								
7	PESO								
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %								
8	PESO								
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %								
9	PESO								
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %								
0	PESO								
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %								
CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %		20,38	18,79	17,87	17,06	15,73	15,66		
HORAS DE SECADO		24	48	72	96	120	144		

34

Tabla 4

FORMATO 2. VARIACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CH DE LAS MUESTRAS										HOJA
OBSERVACIONES					ESPECIE		ESPESOR		FECHA	
							VOLUMEN		UNIDAD DE MEDIDA	
MUESTRA	FECHA	Sept. 6	7	8	9	10	11	12	PESO FINAL	
1	PESO									
	CONTENIDO DE HUMEDAD %									
2	PESO									
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %									
3	PESO									
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %									
4	PESO									
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %									
5	PESO									
	CONTENIDO DE HUMEDAD %									
6	PESO									
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %									
7	PESO									
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %									
8	PESO									
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %									
9	PESO									
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %									
0	PESO									
	CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %									
CONTENIDO DE HUMEDAD CH PROMEDIO %										
HORAS DE SECADO										

Tabla 4

Viene de la página anterior

---

CAPITULO **3**

**Sistemas de secado  
de la  
madera**

## SISTEMAS DE SECADO DE LA MADERA

La madera puede secarse de dos maneras: natural y artificial. En este capítulo estudiaremos ambas formas de secado, con el fin de establecer criterios claros para la escogencia del sistema de secado que mejor se adapte a las condiciones y necesidades de cada utilizador. Además de conocer los principios, ventajas y limitaciones de cada sistema de secado, quien requiera secar madera debe tener en cuenta condiciones referentes a la madera (especie, dimensiones, cantidades, contenidos de humedad CH y calidad de secado), con el lugar (temperatura, vientos, humedad relativa HR) y con las condiciones económicas disponibles (tiempo y espacio disponibles para realizar el secado). No existe entonces la solución única para secar madera, sino una serie de soluciones posibles para unas condiciones dadas.

### SECADO NATURAL DE LA MADERA

Es la forma más simple de secar la madera. Consiste en la exposición directa de la madera al medio ambiente. La temperatura, la humedad relativa HR, la velocidad y la presión del aire ambiente llevan a cabo el secado hasta el contenido de humedad de equilibrio CHE del lugar.

### SECADO NATURAL DE MADERA ROLLIZA

Se llama rolliza la madera de sección circular que no ha sido aserrada. Cuando el árbol se tala y se apea, o coloca en tierra, se obtiene madera rolliza.

Desde el momento mismo de la tala, inicia la madera su proceso de secado. Si la cadencia del proceso de tala lo permite, las ramas y raíces del árbol en tierra deben conservarse durante una o dos semanas con el fin de acelerar la salida de los líquidos que

contiene la madera. El árbol descortezado presenta una mayor superficie de madera al aire libre, lo cual acelera el secado. Como la salida de humedad es más rápida en el sentido de la fibra, es decir en el sentido del eje de crecimiento del árbol, el tiempo de secado disminuye partiendo el tronco en longitudes tan cortas como lo permitan las dimensiones de la madera que se busca obtener. El corte del tronco en varios pedazos debe realizarse con precaución, puesto que aumenta la tendencia de la madera a rajarse. Ciertas maderas rollizas que han sido sometidas a flotación en agua alcanzan una distribución más pareja de la humedad en su interior, y su comportamiento mejora durante el secado.

### Apilado de la madera rolliza

La manera corriente de apilar la madera rolliza consiste en armar pilas conformadas por planos horizontales, de superficie determinada por la longitud de las trozas: el primer tendido se aísla de la humedad del suelo por medio de separadores; los siguientes se cruzan, cada vez a ángulo recto con el anterior, hasta una altura que permita transportar sin tropiezos las trozas que suelen ser largas y pesadas. Entre las trozas de un mismo tendido horizontal se dejan separaciones de unos cinco centímetros para facilitar la formación de corrientes ascendentes de aire que contribuyen al secado (*figura 9, pág. 50*).

Otra modalidad, en general de uso en las plantas de secado e inmunizado de madera rolliza, emplea separadores reutilizables entre los tendidos horizontales de trozas.

Las pilas se arman sobre vagonetas que se desplazan sobre rieles hasta el interior de las cámaras de tratamiento de la madera.

## SECADO NATURAL DE LA MADERA ASERRADA

El secado natural de la madera aserrada se realiza en patios de secado. Los patios de secado son terrenos planos, de piso duro y compactado, situados en lugares no inundables, que posean un buen drenaje, libres de obstáculos y de vegetación que impidan la libre circulación del viento.

En el patio de secado se dispone la madera formando pilas. Un apilado correcto es fundamental para obtener un buen resultado en el secado. Entre las pilas se dejan pasadizos de al menos 60 centímetros y corredores suficientes para permitir la circulación de los medios que transportan la madera. Si el medio de transporte lo permite, por ejemplo cuando se utilizan montacargas, es posible disponer de dos pilas una sobre otra conformando volúmenes de unos 4 metros de alto, por 3 metros de ancho, por el largo de las piezas que es en general de unos 3 metros. Cuando las pilas son altas, debe prevenirse el volcamiento disponiendo riostras o diagonales que amarren las pilas unas con otras. Aunque existen varias maneras de disponer las pilas de madera en el patio de secado, la disposición mostrada en la *figura 10 (pág. 51)* es la más utilizada, porque parece ajustarse mejor a las condiciones de secado de madera al aire libre.

Cuando va a secarse en patio madera bien aserrada de alto contenido de humedad CH, es aconsejable no exponerla al sol directo para evitar grietas y decoloración. La madera muy húmeda puede cubrirse con una capa de pentaclorofetano de sodio al 2% que la preserve contra el ataque de hongos e insectos. Para equilibrar la salida del agua que puede ser hasta 25 veces mayor en el sentido de las fibras, las testas o topes de las tablas se cubren con una capa de pintura de aluminio o a base de aceite, o con algún derivado del petróleo. Sellar las testas evita rajaduras en los extremos y secados dispares en las piezas de madera.

La pila debe separarse del suelo unos 60 centímetros por medio de fundaciones de concreto o de madera inmunizada para evitar que suba la humedad de terreno y para crear corrientes ascendentes de aire que contribuyen al secado cuando no hay viento; para este efecto, las piezas de madera deben separarse entre sí unos 2 centímetros.

Las pilas deben conformarse con madera de la misma especie, del mismo espesor, del mismo contenido de humedad CH, y separar las maderas de albura y las maderas de duramen.

## Los sistemas de apilado de la madera aserrada

Existen cuatro sistemas principales de apilado de la madera en el patio de secado: el apilado horizontal, el apilado en caballete, el apilado por los extremos y el apilado en triángulo. La figura 11 (pág.52) ilustra estos cuatro sistemas de

conformación de las pilas de madera.

**Apilado horizontal:** es el sistema más común, puesto que se presta al secado de todos los tipos corrientes de piezas de madera. Es simple, eficiente y ocupa poco espacio. Las pilas ocupan una superficie de unos 3 por 3 metros y su altura se limita a 2 metros cuando la madera se manipula a mano, o a unos 4 metros si se utilizan montacargas. Las pilas se cubren con un techo que protege la madera de la lluvia y de los efectos nocivos del sol directo. El techo puede ser una estructura liviana con cubierta metálica o en asbesto-cemento que sobrepase los costados de la pila unos 30 centímetros, una cubierta plástica, un par de capas de madera de desecho, o cualquier material que permita proteger la pila; el techo se amarra a la parte baja de la pila, para evitar que los vientos fuertes lo separen y lo lleven a otro lugar. Entre dos tendidos consecutivos de piezas de madera se disponen separadores. Los separadores se fabrican de madera seca y recta de especies tiernas, de poco valor comercial; se colocan a escuadra o a ángulo recto con respecto a la fibra de la madera y alineados en el sentido vertical (uno encima de otro) para que transmitan directo al suelo el peso de la pila.

Se deben colocar separadores en los extremos de las piezas de madera para reducir las rajaduras y las deformaciones en las testas. Las dimensiones de los separadores y la distancia entre ellos debe ser consecuente con el espesor y la cantidad de piezas que soportan. Por ejemplo, para tablas de 3 centímetros de espesor en una pila de 2 metros de altura, pueden utilizarse separadores de 3 por 3 centímetros colocados a 50 centímetros de distancia. Las pilas horizontales deben disponerse en el

patio en forma tal que el viento les llegue en el sentido longitudinal de los separadores. Es decir, dos separadores contiguos en el mismo plano horizontal conforman una especie de túnel o ducto por el cual atraviesa el aire que al pasar extrae la humedad de la madera.

**Apilado en caballete:** las tablas se colocan de canto, en posición casi vertical, de modo que se apoyen abajo en la base de la pila y arriba descansen en una viga horizontal situada a una altura consecuente con la longitud de las piezas. Debe colocarse una tabla a un lado y la siguiente al lado contrario, de manera que los extremos de las tablas se crucen por encima del travesaño formando una X (equis). Debido a los grandes espacios libres entre las tablas, el apilado en caballete puede reducir hasta a la mitad el tiempo de secado de coníferas por encima del punto de saturación de las fibras PSF, respecto al tiempo de secado del apilado horizontal. Por debajo del punto de saturación de las fibras PSF, las coníferas secadas en caballete tienden a deformarse. Este sistema de apilado no es adecuado para maderas propensas a deformarse después del aserrado.

El apilado de caballete es poco estable, ocupa un espacio grande y proporciona un secado que no es uniforme sobre la longitud de la tabla, la cual seca menos en la base y en la parte superior, donde se cruza con la pieza vecina para formar la X (equis).

**Apilado por los extremos:** llamado también "apilado de pie". Las tablas descansan recostadas sobre un apoyo alto en posición casi vertical y separadas del suelo por una plataforma.

**Apilado en triángulo:** se utiliza sobre todo para secar tablones. Tres piezas de madera se cruzan una sobre otra en posición horizontal de manera que conformen un triángulo. Este sistema de apilado ocupa mucho espacio e impide el secado completo de las zonas de apoyo de las piezas, que hacen las veces de separadores.

## Calidad del aire de secado natural

La madera que se seca al aire nunca logra estabilizarse puesto que su contenido de humedad CH varía según la humedad relativa HR del aire ambiente. Si el aire ambiente es muy húmedo se pueden producir hongos y coloraciones inconvenientes en la madera, fisuras superficiales, deformaciones, y grietas en las testas no tratadas con una capa protectora adecuada. Cuando el viento es demasiado fuerte produce en la superficie de la madera una costra o cimentación que desmejora su calidad.

## Duración del secado natural

No existen registros fiables para estimar el tiempo que toma la madera para sacarse al aire libre. La duración del secado natural depende de las variaciones climáticas del lugar y del contenido de humedad CH inicial de la madera. En términos generales, se encuentran variaciones bastante

importantes en la duración del secado al aire libre: con tiempo seco y cálido puede secarse madera de un contenido de humedad CH inicial del 50% en más o menos un mes; si las condiciones climáticas son desfavorables, el secado puede prolongarse de seis meses a un año. En la *tabla 7 (pág.59)* se indica cuál es el grado de dificultad para el secado natural de las maderas comerciales colombianas; esta clasificación se basa en experiencias realizadas con el patrocinio de la "Junta del Acuerdo de Cartagena, JUNAC", que corresponden a las condiciones descritas en la *tabla 5*.

### Mejoras al secado natural

Además de las cubiertas de protección que se colocan sobre las pilas horizontales, en los lugares con viento demasiado fuerte éste puede controlarse anteponiendo a las pilas de madera mamparas con persianas regulables. Cuando estos sistemas elementales de secado poseen ventiladores y elementos de calefacción de aire, reciben el nombre de presecadores y constituyen los más simples de los sistemas de secado artificial que se estudian en el *Secado Artificial de la Madera, pág. 44*

### Ventajas e inconvenientes del secado natural

Entre las ventajas del secado natural

pueden nombrarse su bajo costo de implementación y consumo nulo o muy bajo de energía. Debido a la lentitud del proceso y a las diferencias de temperatura entre el día y la noche, el secado es uniforme, la madera presenta pocos defectos y casi ninguna variación en su coloración si se toman las precauciones adecuadas.

Los mayores inconvenientes del secado natural son su dependencia de las variaciones climáticas del lugar, su lentitud, y el requerir una superficie importante en patio de madera. Puesto que la madera es propensa al ataque de hongos e insectos, pueden ocasionarse grandes pérdidas, de no tomarse las debidas precauciones. En el mejor de los casos, el secado natural permite llevar la madera sólo hasta el contenido de humedad de equilibrio CHE.

## CONCLUSIONES SOBRE EL SECADO NATURAL DE MADERA

El secado natural es siempre necesario, sea como sistema único de secado o como preámbulo a algún sistema de secado artificial. Aunque es un sistema simple, requiere una buena técnica y el cumplimiento de una serie de precauciones para obtener de él buenos resultados. Debe tenerse en cuenta que su costo total puede ser alto si se considera la variación y el posible alto valor en el contenido de humedad CH final de la madera, los costos de inventario, del terreno ocupado y de las posibles mejoras que posea el sistema.

## SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA

El conocimiento de factores que gobiernan el proceso de secado, junto con las necesidades de fabricación y utilización de productos de madera, y las condiciones financieras creadas por la economía de la industria maderera, han conducido al desarrollo de los sistemas de secado artificial.

El secado artificial es el proceso por el cual se elimina el agua contenida en la madera mediante el empleo de temperatura, presión, velocidad y humedad relativa HR del aire, diferentes a las proporcionadas por el medio ambiente natural. Los secadores artificiales pueden controlarse para ser adaptados a las características particulares de cada madera sin que dependan de las condiciones climáticas del lugar donde funcionen.

### VENTAJAS DEL SECADO ARTIFICIAL

44

Además de las ventajas técnicas que proporciona el secado de madera (ver pág. 13) el secado artificial en particular permite llevar la madera a valores inferiores del contenido de humedad de equilibrio CHE del lugar donde se está secando, y hace entonces posible secar y procesar maderas destinadas a sitios donde el contenido de humedad de equilibrio CHE requerido en

la madera es más bajo, caso corriente en los mercados de exportación.

Desde el punto de vista económico, el secado artificial es un proceso rápido que reduce el tiempo de secado y el inventario de madera requerido, lo cual permite mayor elasticidad en la compra de materia prima y agiliza la rotación del capital invertido. Además, su rapidez hace posible mantener lotes pequeños de madera seca en espesores particulares de uso restringido. El secado artificial bien controlado es un proceso tecnificado que proporciona un producto de mejor calidad que el obtenido mediante el secado natural y reduce al máximo las pérdidas de madera.

### CONTROL DEL PROCESO DE SECADO ARTIFICIAL

Para controlar el proceso de secado artificial de la madera se requieren conocer las siguientes cuatro condiciones:

1. Los principios físicos básicos de las leyes del secado de la madera (*capítulo 2*), para determinar el contenido de humedad CH final o el contenido de humedad de equilibrio CHE, y las tensiones internas admisibles en la madera seca.
2. Las características de la madera a secar: esencia, espesores, tipo de corte.
3. La calidad: madera sana, con defectos propios (nudos) o adquiridos (rajaduras o pudrición), bien o mal cortada.

4. Las condiciones de producción: medios disponibles y tiempo requerido para realizar el secado.

Dentro de la cámara de secado debe crearse un ambiente que corresponda bien a estas cuatro condiciones impuestas por la madera, mediante el correcto manejo de cuatro factores físicos que se refieren al aire de secado (*capítulo 2*): temperatura, humedad relativa **HR**, presión y velocidad.

Este ambiente propicio de secado constituye un horario o programa de secado, en cuya determinación deben también tenerse en cuenta las tres particularidades que se enuncian enseguida:

**A** - La buena calidad de la madera seca y la rapidez de secado son a menudo contradictorias.

**B** - Puede existir cierta dispersión en los valores de los datos que controlan el secado, puesto que se toman por medio de instrumentos que pueden generar errores de medidas y de lectura; o se toman sólo en muestras y probetas ante la imposibilidad práctica de tomarlos sobre la totalidad de la carga de madera.

**C** - La opinión sobre la buena o mala calidad de la madera seca puede variar de un utilizador a otro.

horarios de secado, consisten en una serie de instrucciones que, por medio de las muestras o tablas de control, permiten supervisar el avance del proceso dentro de la cámara.

Las instrucciones del programa de secado controlan dentro de la cámara las condiciones básicas que rigen el proceso de secado: El contenido de humedad **CH** de la madera, la temperatura máxima permisible y la humedad relativa **HR** del aire.

Los sistemas corrientes de secado artificial son procesos térmicos basados en un aumento de temperatura dentro de la cámara donde se aloja la madera, lo cual hace que las piezas comiencen a secar del exterior hacia el interior. En una primera etapa del secado se crean tensiones o tracciones en la superficie de las piezas de madera, mientras que el interior más húmedo se encuentra comprimido. Esta situación requiere un aire bastante húmedo y poco caliente para lograr un adecuado control de las tensiones externas. En una segunda etapa, cuando el secado ha avanzado hasta las cercanías del centro de las piezas de madera, se invierten los esfuerzos: el exterior se encuentra en compresión y el interior en tracción. Esta distribución de esfuerzos hace posible disminuir la humedad relativa **HR** del aire y aumentar la temperatura, acortando el tiempo total de secado sin estropear la madera.

El programa de secado varía según el tipo de madera, el espesor de las piezas a secar y su contenido de humedad **CH** inicial. En términos generales, existen tres tipos básicos de programas de secado diseñados para las maderas latifoliadas, y a los cuales se pueden adaptar las especies de coníferas que se aprovechan en nuestro país. Estos

## LOS PROGRAMAS DE SECADO

Los programas de secado, llamados también

programas de secado corresponden a las características siguientes:

**Tipo A: programa fuerte.**

Permite temperaturas altas y humedades relativas HR bajas, con cambios fuertes y frecuentes. Se utiliza para las maderas latifoliadas de secado fácil, o sea maderas tiernas de baja densidad, como el caracolí, el carbonero y la ceiba bonga.

**Tipo B: programa moderado.**

Es un programa intermedio para maderas latifoliadas propensas a sufrir ciertas deformaciones o agrietaduras, como el güino, el sajo y el sangre de toro.

**Tipo C: programa suave.**

Requiere temperaturas bajas, humedades relativas HR altas y mayores tiempos en cada paso del programa. Se utilizan para maderas latifoliadas duras, de alta densidad, que son más difíciles de secar, como el tangare, el dormilón y el pantano.

En la *tabla 6* (pág.58) se describen los tres tipos básicos de programas de secado para maderas latifoliadas de 2.5 centímetros de espesor y contenido de humedad CH inicial del orden del 60%. En términos generales, estos programas son válidos para espesores hasta de 3.8 centímetros. Para espesores entre 3.8 y 7.6 centímetros debe aumentarse la humedad relativa HR un 5 por ciento en cada paso. Para espesores mayores de 7.5 centímetros, el aumento de la humedad relativa HR debe ser de un 10 por ciento en cada paso.

La *tabla 7* (pág.59) consta de once columnas que presentan la siguiente información:

**Columna 1.** Nombre vulgar de las principales maderas que se comercializan en Colombia.

**Columna 2.** Nombre botánico de las mismas maderas. Se presentan nombres botánicos con el fin de identificar con certeza las maderas, puesto que sus nombres vulgares varían de un lugar a otro del país.

**Columna 3.** Porcentaje de variación dimensional en el sentido radial de la fibra de madera (*ver Corte Radial*, pág. 4).

**Columna 4.** Porcentaje de variación tangencial (*ver Corte Tangencial*, pág. 4).

**Columna 5.** Porcentaje de variación volumétrica. La variación de dimensión longitudinal, que es casi despreciable, puede calcularse dividiendo la variación volumétrica por el producto de las variaciones tangencial y radial.

**Columna 6.** La densidad básica. Este concepto es un indicador de grado de dificultad para secar la madera (*ver Densidad*, pág.21).

**Columna 7.** Tiempo de secado natural Según la clasificación presentada en la *tabla 5* (pág.57).

**Columna 8.** Tipo de programa de secado artificial. Según la clasificación de la *tabla 6* (pág.58).

**Columna 9.** Durabilidad natural de la madera. Según la clasificación de la *tabla 9* (pág.65).

**Columna 10.** Grado de dificultad para someter la madera a un tratamiento de preservación. Según la clasificación de la *tabla 10* (pág.66).

**Columna 11.** Defectos característicos que se pueden presentar durante el secado,

los cuales se estudian en detalle en *Defectos originados por el secado de la madera*, (pág.47).

cómo debe interpretarse la información obtenida de las probetas tenedor.

## ACONDICIONAMIENTO DE LA MADERA

El acondicionamiento consiste en introducir un cambio en las condiciones de humedad relativa HR y de temperatura del aire, con el fin de suprimir las tensiones que pueden desarrollarse en la madera durante el proceso de secado.

El acondicionamiento puede realizarse como etapas intermedias del secado total, o al final de éste. En ambos casos el procedimiento consiste en someter las maderas a una corriente de aire bastante húmedo y más o menos caliente, según sean las características de la madera.

Cuando se trata de etapas intermedias, el acondicionamiento requiere períodos de dos a tres horas para maderas propensas a rajarse, y de una a una y media horas para maderas poco propensas a rajarse. Si se realiza al final del secado, como en los deshumidificadores que se estudian en el capítulo 4, las maderas se acondicionan durante 24 a 48 horas a temperaturas y humedades relativas HR del orden de 50°C y HR 90%.

El resultado del acondicionamiento se controla mediante probetas en forma de tenedor (ver medida del contenido de humedad mediante el método de doble pesada, pág.18, y figura 7, pág.27) distribuidas dentro de la cámara en lugares representativos de las pilas de madera. La figura 12 (pág.54) indica

## DEFECTOS ORIGINADOS POR EL SECADO DE LA MADERA

La mayoría de los defectos de secado resultan cuando la madera ha llegado a contenidos de humedad CH inferiores al punto de saturación de las fibras PSF y comienzan a presentarse contracciones que originan cambios en las dimensiones de las piezas de madera. En general, estos defectos pueden evitarse apilando bien la madera y siguiendo un adecuado programa de secado.

El tipo de corte influye en la magnitud de las contracciones debido a que su valor varía bastante, según que el sentido de la fibra sea longitudinal, radial o tangencial (ver Cortes de la madera, pág.4).

La figura 13 (pág.55) muestra la influencia del sentido de las fibras en las dimensiones de la sección de las piezas de madera y la forma como estas piezas son afectadas por los defectos más comunes. La tabla 8 (pág.62) describe los principales defectos originados por el secado de la madera, sus causas y la forma de evitarlos y corregirlos.

En el tratamiento de los defectos originados por el secado debe tenerse en cuenta que algunos remedios a ciertos defectos tienden a producir otros defectos diferentes. Se precisa entonces aplicar los correctivos con cautela, después de analizar bien las características de la madera defectuosa.

## DURABILIDAD DE LA MADERA

Según el "Manual del Grupo Andino para la Preservación de la Madera" (Ver *bibliografía*), la durabilidad natural de la madera, basada en el porcentaje de pérdida de peso por la acción de hongos (son block) y su duración para uso exterior, se clasifica en las cinco categorías que describe la *tabla 9*, *pág. 65*

## PRESERVACION DE LA MADERA

El manual citado en el numeral anterior, clasifica las maderas según las características de tratabilidad, en los cuatro grupos que describe la *tabla 10* (*pág. 66*). Los preservantes son compuestos químicos que deben ser absorbidos por la madera, estos cuatro grupos están constituidos en función de la capacidad que presenta la madera para dejarse penetrar por los preservantes y para retenerlos en forma permanente.

## CONCLUSIONES

El proceso de secado se compone de dos partes: el secado natural y el secado artificial. El conocimiento y correcto manejo de ambas partes permite tomar la decisión adecuada sobre la solución de secado que debe adoptarse para atender una demanda determinada con madera seca y de primera calidad.

El secado natural como sistema único es adecuado para pequeñas producciones de madera seca, del orden de diez metros cúbicos por mes. Para medianas producciones es posible tener un flujo correcto de materia prima secando en hornos la madera que llega directo del proveedor; sin embargo, aún en estos casos es aconsejable disponer de un mínimo de madera para atender posibles imprevistos en el suministro de madera húmeda. Para las grandes instalaciones, el secado natural es la introducción obligatoria al secado artificial: la madera en espera se seca al aire y el resultado de esta parte del secado es fundamental en el valor del costo total del secado y en la calidad de la madera procesada.

# Figuras y Tablas

## CAPITULO 3

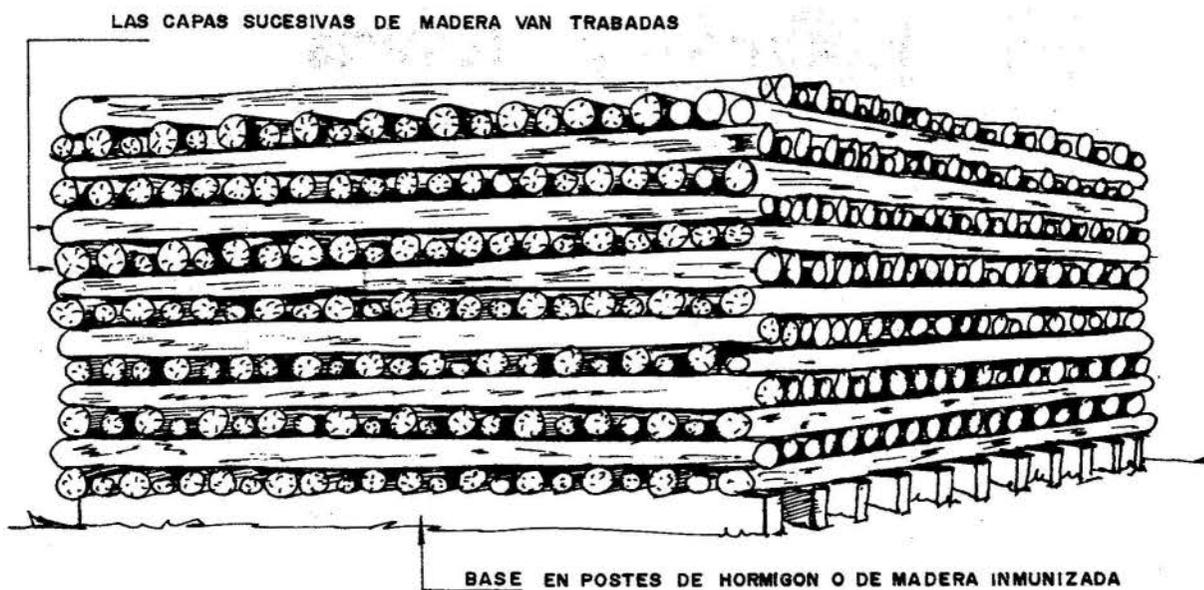
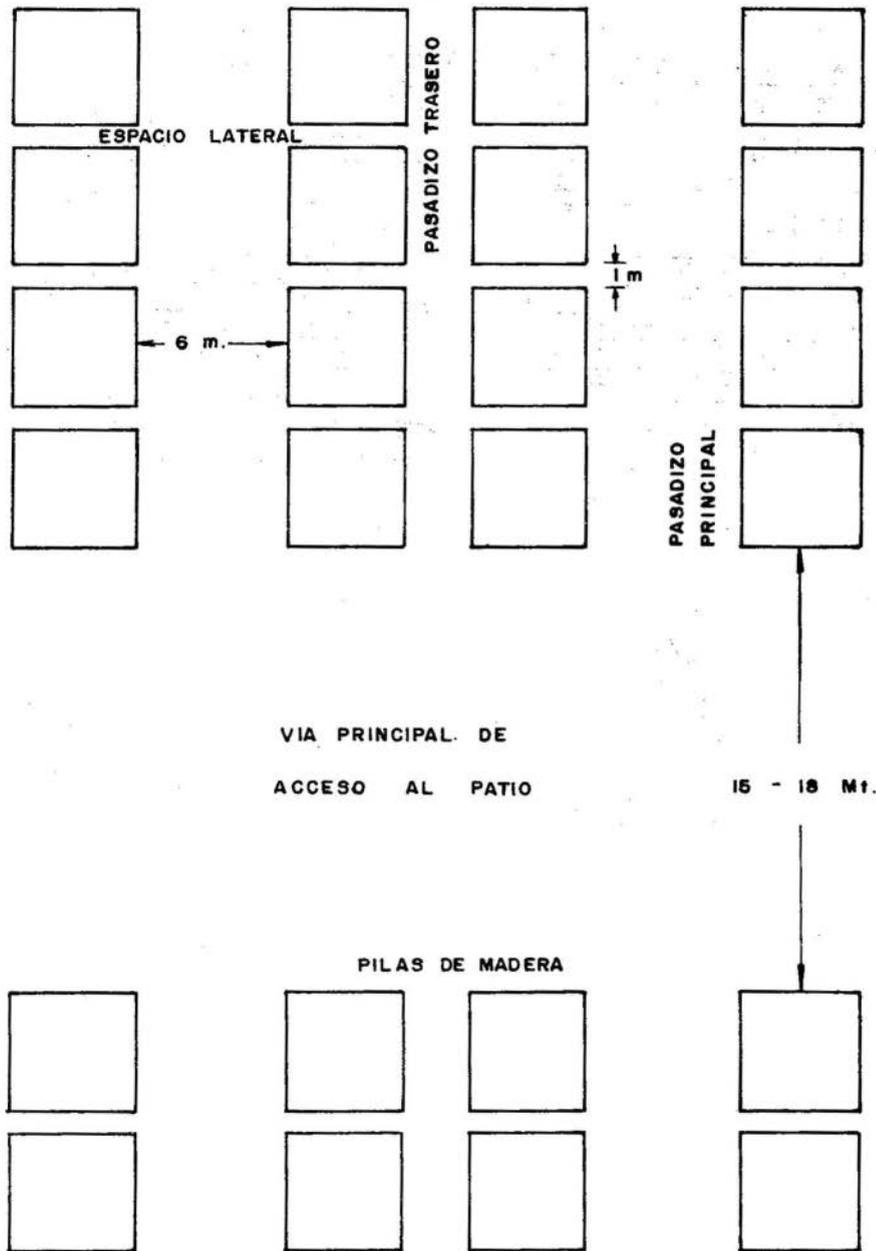
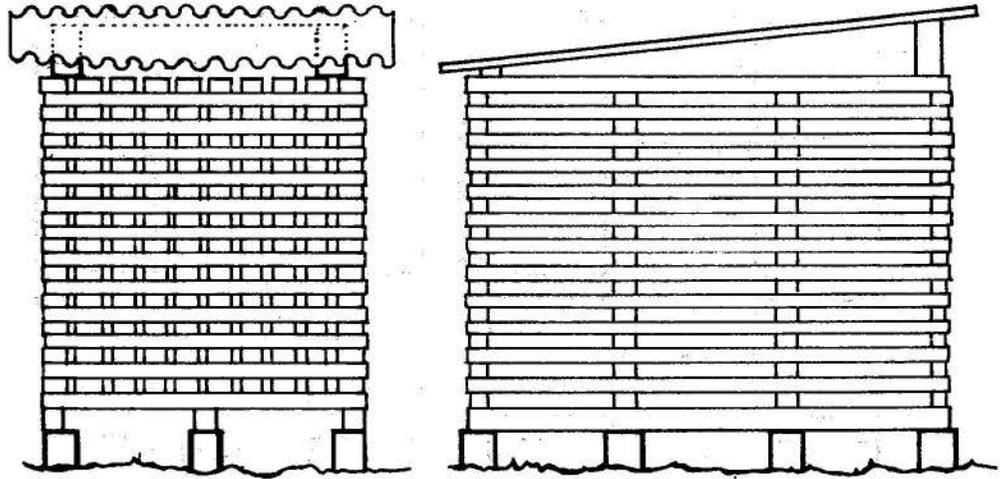


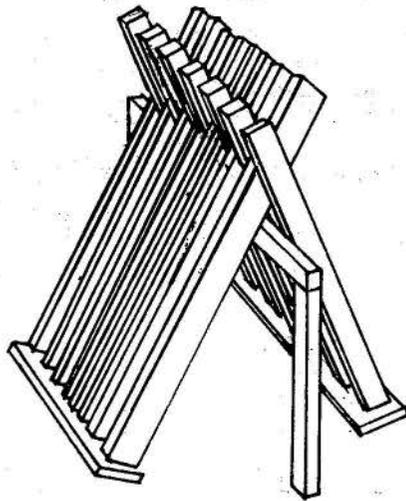
Fig 9. APILADO DE MADERA ROLLIZA



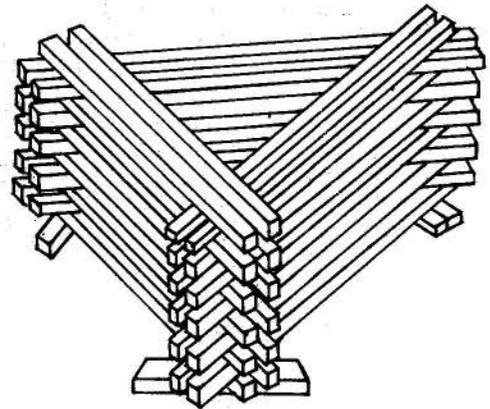
**Fig 10.** DISPOSICION DE LAS PILAS DE MADERA EN EL PATIO DE SECADO.



APILADO HORIZONTAL



APILADO EN CABALLETE

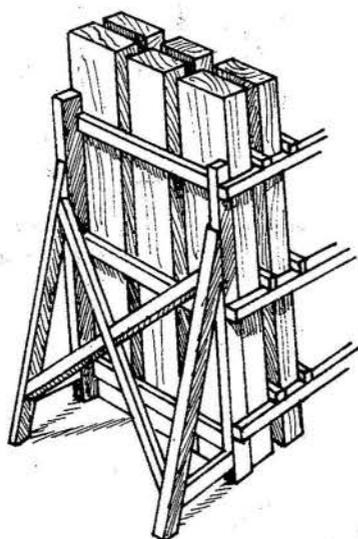


APILADO EN TRIANGULO

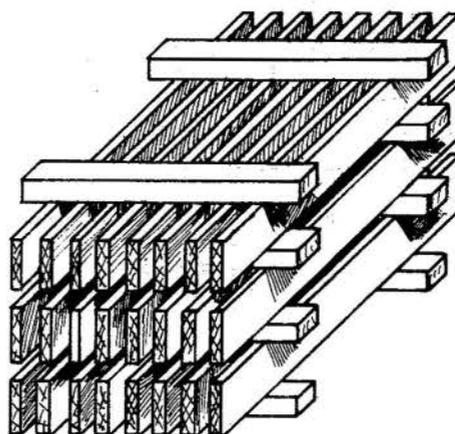
52

Fig 11. LOS CUATRO SISTEMAS PRINCIPALES DE APILADO DE LA MADERA.

Segue en la página 53

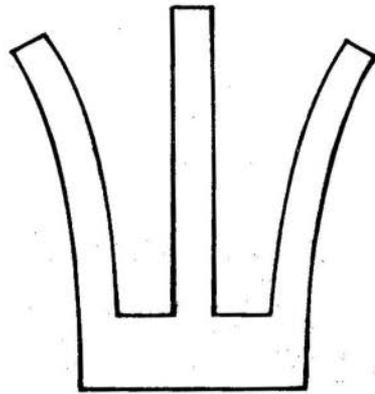


APILADO DE PIE O POR LOS EXTREMOS

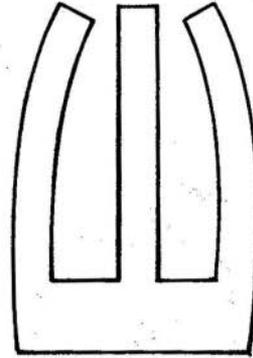


APILADO HORIZONTAL PARA TABLONES DE PISO

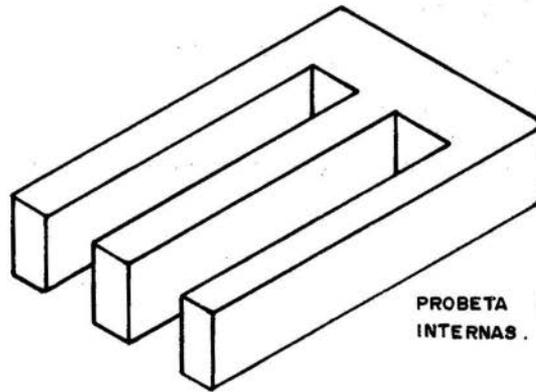
**Fig II. CUATRO SISTEMAS PRINCIPALES DE APILADO DE MADERA.**



PROBETA ABIERTA : TENSION INTERIOR  
Y COMPRESION  
EXTERIOR

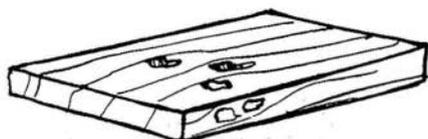


PROBETA CERRADA: TENSION EXTERIOR  
Y COMPRESION  
INTERIOR.



PROBETA SIN TENSIONES  
INTERNAS.

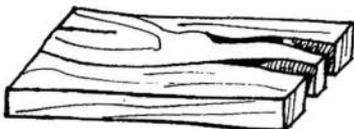
Fig 12. INTERPRETACION DE LAS PROBETAS TENEDOR



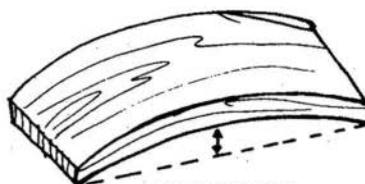
PERFORACIONES



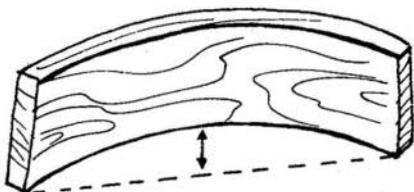
GRIETAS



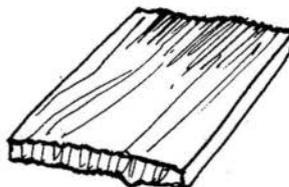
RAJADURAS



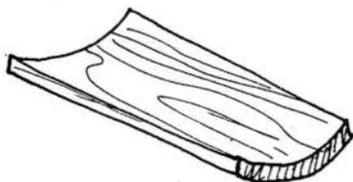
ARQUEADURA



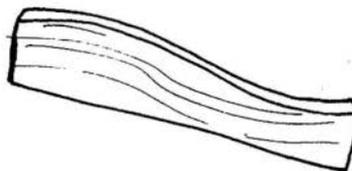
ENCORVADURA



COLAPSO

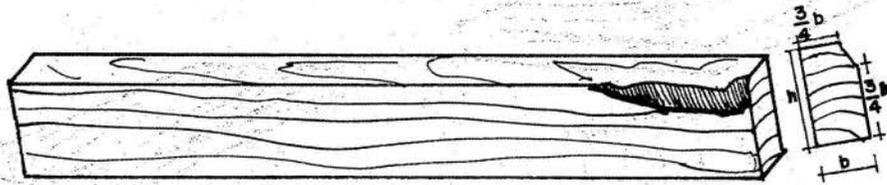


ABARQUILLADO

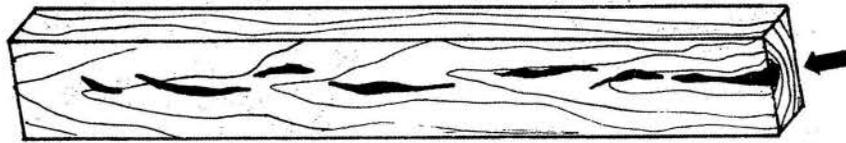


TORCEDURA

Fig 13. DEFECTOS ORIGINADOS POR EL SECADO DE LA MADERA



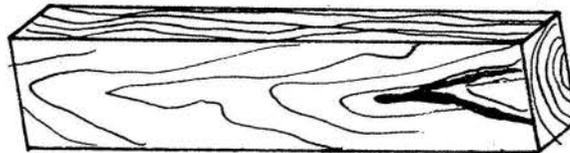
ARISTA FALTANTE



DURAMEN QUEBRADIZO



NUDOS ARRACIMADOS



ESCAMADURA O ACEBOLLADURA

Fig 13. DEFECTOS ORIGINADOS POR EL SECADO DE LA MADERA

VELOCIDAD DE SECADO	BOGOTA(aire libre)	MEDELLIN(aire libre)
MR:muy rápida	menos de 33 días	menos de 6 días
R: rápida	33 a 70	6 a 12
M: moderada	71 a 140	13 a 25
L: lenta	más de 140 días	más de 25 días
Densidad Básica (D.B.) promedio en gr/cm <sup>3</sup>	0.58	0.42

**Tabla 5** Tiempo aproximado de secado (días) para maderas con contenido de humedad CH inicial entre el 60% y 70% y densidad básica (d.b) promedio dada

CH de la madera (%)	Temperatura (°C)		Humedad relativa aproximada (%)
	Termómetro seco	Termómetro húmedo	
Programa Fuerte para maderas latifoliadas de secado fácil, A			
Verde	60	56	80
60	65	58	70
50	70	60	60
40	75	61	50
30	80	62	40
20	80	60	35
Programa Moderado para maderas latifoliadas de secado lento o que son propensas a sufrir ciertas deformaciones o agrietaduras, B			
Verde	50	47	80
60	55	49	70
40	60	51	60
30	65	52	50
25	70	54	40
20	70	50	35
Programa Suave para maderas latifoliadas de secado difícil, C			
Verde	40	37	80
40	40	35	70
30	45	37	60
25	50	40	50
20	55	42	40
15	55	37	30

Tabla 6

Programas básicos para el secado de la madera. para espesores hasta 3.81 cms (1.5 pulgadas). Para espesores entre 3.81 cms x 7.62 cms. (1.5 a 3.0 pulgadas), aumentar HR un 5% en cada paso. Para espesores mayores de 7,62 cms. (3 pulgadas), aumentar HR un 10% en cada paso

ALGUNAS MADERAS COMERCIALES COLOMBIANAS Y SUS PRINCIPALES CARACTERISTICAS

NOMBRE VULGAR	NOMBRE BOTANICO	VARIACION RADIAL (%)	VAR. TANGENCIAL (%)	VAR. VOLUMÉTRICA (%) <sup>1</sup>	DENSIDAD BÁSICA (G/CM <sup>3</sup> )	TIEMPO DE SECADO NATURAL (VER TABLA 5)	PROGRAMA DE SECADO (VER TABLA 6)	DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA (VER TABLA 9)	DIFICULTAD PARA TRATAMIENTO DE PRESERVACION (VER TABLA 10)	DEFECTOS DE SECADO (VER TABLA 8)
ABARCO	Carinana pyriformis				0.678			MR.	IV	
ACEITE MARÍA	Calophyllum marie	6.6	10.9	16.8	0.562		C	N.R.	III	Torcedura-Encorvadura
ACEITUNO	Humiriastrum colombianum				0.870			M.R.	III	
ALGARROBO	Hymenaea courbaril	3.1	6.5	8.4	0.810	M.R.	A	M.R.	IV	Torcedura
ANIME	Dacryodes canalensis				0.658			M.P.R.		
ARENILLO	Catostemna alstoni				0.581			N.R.	II	
BALATA	Manilkara bidentata				1.092			N.R.	IV	
BALSO	Ochroma lagopus				0.130			R.	I	
BILIBIL	Guarea courbaril				0.739			M.R.	II	
CAFETERO	Didymopanax morototoni	5.9	9.2	14.8	0.510	R	A	N.R.	I	Grietas
CAGUI	Caryocar costarricense				0.771			M.R.	III	
CAMARUCHO	Sterculia apelata				0.400			N.R.	II	
CANALETE	Cordia alliodora				0.520			M.R.	II	
CAOBA	Swietenia macrophylla				0.520			M.R.	IV	
CARACOLÍ	Anacardium excelsum	2.7	4.4	7.0	0.440	M	A	M.P.R.	I	Encorvadura-Arqueadura
CARBONERO	Abarema jupuma	6.1	9.5	15.0	0.770	M	A	M.P.R.	I	Torcedura-Encorvadura
CARGAMANTO	Hyeronima alchornoides				0.611			M.R.		
CARRA	Huberodentron patinoi	5.7	8.7	13.9	0.592	MR	A	M.P.R.	I	Torcedura-Abarquillado
CARRETO	Aspidosperma dugandii				0.770			R	IV	
CATIVO	Prioria copaifera				0.500			N.R.	I	
CEDRO	Cedrela odorata				0.500			M.P.R.	III	
CEDRO MACHO	Topiria Miriantha				0.419			N.R.	I	

Tabla 7

## ALGUNAS MADERAS COMERCIALES COLOMBIANAS Y SUS PRINCIPALES CARACTERISTICAS

NOMBRE VULGAR	NOMBRE BOTÁNICO	VAR. TANGENCIAL (%)	VAR. VOLUMÉTRICA (%)	DENSIDAD BÁSICA (G/CM <sup>3</sup> )	TIEMPO DE SECADO NATURAL (VER TABLA 5)	PROGRAMA DE SECADO (VER TABLA 6)	DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA (VER TABLA 9)	DIFICULTAD PARA TRATAMIENTO DE PRESERVACIÓN (VER TABLA 10)	DEFECTOS DE SECADO (VER TABLA 8)	
CEIBA BONGA	Ceiba pendantara			0.270	M	A	N.R.	I	Torcedura-Abarquillado	
CEIBA AMARILLA	Hura crepitans	3.5	5.8	9.1	0.410	M	A	M.P.R.	Grietas	
CEIBA TOLÚA	Bombacopsis quinatum	3.6	5.9	8.8	0.449	L	A	M.R.	II	
CHANUL	Humiriastrum procera	7.4	11.1	17.7	0.841	R	C	M.R.	IV	Torcedura-Arqueadura
CHAPARRO	Hieronyma laxiflora	6.2	11.3	16.9	0.630	L	C	M.P.R.	Colapso-Torcedura	
CHAQUIRO	Goupia glabra	5.4	8.5	13.5	0.810	M	B	M.R.	II	Abarquillado-Torcedura
CHINGALE	Jacaranda copaia			0.390			N.R.	I		
COCÓ MUERTO	Gustavia speciosa	3.6	4.9	8.4	0.809	M	A	M.P.R.	I	Arqueadura-Encorvadura
COSTILLO	Aspidosperma album			0.740			M.P.R.			
CUANGARE	Dialyanthera gracilipes	4.3	9.7	13.6	0.380		A	N.R.	II	Torcedura-Abarquillado
DINDE	Cholophora tinctoria	2.3	3.9	6.1	0.772	L	A	R	IV	Encorvadura-Torcedura
DORMILÓN	Pentaclethra macroloba	3.9	9.8	13.3	0.507	M	C	M.R.	III	Torcedura-Arqueadura
ESCOBO	Casearia Sylvestris			0.671			M.R.			
FONO	Eschweleira corrugata			0.564			N.R.			
FRESNO	Matayba trianae			0.569			M.R.	IV		
GUAYABO	Calycophyllum candidissimum			0.780			M.P.R.			
GUAYACÁN	Platymiscium pinnatum			1.026			M.R.	IV		
GUAYACÁN HOBO	Centrolobium paraense			0.740			M.R.	IV		
GUAYACÁN POLVILLO	Tabebuia serratifolia			1.060			M.R.	IV		
GUINO	Carapa guianensis	4.9	8.2	12.1	0.614	M	B	M.R.	Abarquillado-Torcedura	
GUSANERO	Astronium graveolens			0.871			R.			
LAUREL	Aniba perutilis			0.553			R.			

Tabla 7

ALGUNAS MADERAS COMERCIALES COLOMBIANAS Y SUS PRINCIPALES CARACTERISTICAS

NOMBRE VULGAR	NOMBRE BOTÁNICO	VAR. TANGENCIAL (%)	VAR. VOLUMÉTRICA (%)	DENSIDAD BÁSICA (G/CM <sup>3</sup> )	TEMPO DE SECADO NATURAL (VER TABLA 5)	PROGRAMA DE SECADO (VER TABLA 6)	DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA (VER TABLA 9)	DIFICULTAD PARA TRATAMIENTO DE PRESERVACIÓN (VER TABLA 10)	DEFECTOS DE SECADO (VER TABLA 8)	
LECHE PERRA	Helicostyis tomentosa			0.910			M.P.R.	I		
MACHARE	Symphonija globulifera	5.3	11.3	0.692	MR		R.	IV		
NATO	Mora magistosperma	5.0	9.3	0.739	M		M.P.R.	III		
NAZARENO	Peltogyne purpurea			0.984			R.			
NÍSPERO	Manilkara bidendata			1.086			M.R.	IV		
OLOROSO	Humiria balsamifera	8.0	13.1	20.2	0.871	R	M.R.	I		
PANTANO	Hyronina chocoensis	5.6	10.8	15.9	0.752	R	C	P.	II	Torcedura-Encorvadura
PERILLO BLANCO	Himatantus articulata			0.625			N.R.			
PERILLO NEGRO	Couma macrocarpa			0.581			N.R.	II		
PINO CHAQUIRO	Podocarpus cariacesi			0.520			N.R.	II		
PUNTECANDADO	Minguartia guianensis	4.2	8.2	12.1	0.935	L	C	R	III	Torcedura-Arqueadura
ROBLE	Quercus humboldtii			0.950			M.R.			
SAJO	Camposperma panamensis	5.6	8.8	13.9	0.443		B	N.R.	I	Torcedura-Abarquillado
SANDE	Brosium utile	4.1	7.3	11.1	0.477	MR	A	N.R.	I	Torcedura-Encorvadura
SANGRE DE TORO	Virola sebifera	4.9	9.5	13.9	0.516	MR	B	N.R.	I	Torcedura
SANGREGAO	Pterocarpus sp.	4.2	7.9	11.2	0.710	M	A-B	N.R.	I	Torcedura
SAPÁN	Clathrotropis brachipetala			0.959			R.	III		
SOROGA	Vochysia ferruginea	4.0	10.3	13.9	0.370		A	N.R.	I	Torcedura-Abarquillado
TAMARINDO	Dialium guianensis			1.009			R.			
TANGARE	Carapa guianensis	4.7	8.6	12.9		M	C	M.P.R.	III	Torcedura-Arqueadura
ZAPOTE	Sterculia colombiana			0.461			N.R.	I		

Tabla 7

## DEFECTOS ORIGINADOS POR EL SECADO DE LA MADERA, CAUSAS Y SOLUCIONES

DEFECTO Y DESCRIPCION	CAUSAS CORRIENTES	SOLUCIONES POSIBLES
<b>1</b> Secado desigual Valores diferentes del contenido de humedad CH en distintos puntos de la pieza.	Mala circulación del aire a través de la madera. Secado demasiado rápido	Calibrar el proceso de secado: Controles de la cámara y programa de secado.
<b>2</b> Secado desigual bajo separadores	Separadores demasiado gruesos	Separador delgado: poco punto de contacto con la madera.( ver tabla .6)
<b>3</b> Rajaduras superficiales y externas. Evitar esta madera para acabados delicados.	Espaciadores de ancho mayor que 4 cm. Aire demasiado seco y veloz. Demasiado sol directo. Fugas de aire y calor en la cámara.	Espaciadores delgados. Aumentar HR del aire. Disminuir temperatura y velocidad del aire. No humedecer la madera dentro de la cámara. Cepillar la madera. Controlar el programa de secado, sobre todo al principio.
<b>4</b> Rajaduras en los extremos	Deficiencia en el secado al aire. El agua sale demasiado rápido por las testas.	Sellar testas. Colocar separador en el extremo de la pila.
<b>5</b> Rajaduras internas. No siempre visibles del exterior	Fuerzas contrarias al interior y al exterior de las piezas	Programa de secado suave al comienzo. Bajar temperatura

Tabla 8.

DEFECTO Y DESCRIPCION	CAUSAS CORRIENTES	SOLUCIONES POSIBLES
<p><b>6 Cimentación.</b> Endurecimiento en la superficie de la madera, por conformarse en ella una costra o escama.</p>	<p>Tensiones ocasionadas durante el secado crean la costra que impide la migración del agua. Acondicionamientos finales excesivos crean endurecimiento irreversible (por ejemplo HR mayor que el 90% y temperatura de 80°C.durante 6 horas)</p>	<p>Aumentar HR. Disminuir velocidad del aire. Disminuir temperatura al final. Controlar el acondicionamiento.</p>
<p><b>7 Colapso.</b> Disminución del espesor debido a superficies irregulares y fibra de madera retorcida. Se presenta en madera muy húmeda al comienzo del secado.</p>	<p>Cavidades celulares del duramen sin aire. Grietas internas, a menudo ovaladas.</p>	<p>Temperatura inicial menor que 50°C. Acondicionamiento: Vapor a 85°C. o ebullición 4 a 6 horas después del secado. Secar de nuevo con HR alta y con baja temperatura.</p>
<p><b>8 Alabeos.</b> Curvaturas del eje longitudinal de la pieza de madera.</p>	<p>Tensiones internas del árbol. Aserrado y apilado deficiente.</p>	
<p><b>8.1 Abarquillado.</b> Madera encocada. Curvatura según el eje transversal de la pieza (en el sentido del ancho)</p>	<p>Madera de duramen. Corte tangencial.</p>	<p>Presecado al aire libre. Programa suave. Buen apilado. Acondicionamiento.</p>
<p><b>8.2 Arqueadura.</b> Forma de puente. Curvatura sobre la cava a lo largo del eje longitudinal.</p>	<p>Madera joven. Árboles torcidos que crecen en pendientes.</p>	<p>Se controla como el abarquillado.</p>
<p><b>8.3 Encorvadura.</b> Curvatura sobre un canto, a lo largo del eje longitudinal.</p>	<p>Las mismas que la arqueadura.</p>	<p>Se controla como el abarquillado, pero con más rigidez.</p>

Tabla 8.

<p><b>8.4 Torcedura.</b> Las esquinas de la pieza no se encuentran en un mismo plano.</p>	<p>Nudos. Granos espiralados y distorsionados.</p>	<p>Buen apilado. Crear restricciones mecánicas durante el secado.</p>
<p><b>8.5 Adiamantado.</b> No hay "escuadra" entre las caras. Las secciones de las piezas no conservan sus ángulos rectos.</p>	<p>Diferencias entre contracciones radial y tangencial en maderas con anillos de crecimiento diagonales.</p>	<p>Corte oblicuo.</p>
<p><b>9. Cambios de color.</b> Coloración o decoloración.</p>	<p>Reacciones químicas de componentes de la madera, solubles en agua.</p>	<p>Separadores delgados. Secar al aire protegido. Secar a temperatura.</p>
<p><b>10. Acebolladuras o escamaduras.</b> Separación de los anillos de crecimiento del árbol.</p>	<p>Arbol defectuoso. Cimentado o endurecimiento superficial.</p>	<p>Evitar cimentación. Al inicio del secado, HR alta y temperatura baja.</p>
<p><b>11. Nudos sueltos y agrietados.</b> Nudos no integrados al tejido leñoso. Madera de poca calidad. A evitar</p>	<p>Arboles defectuosos.</p>	<p>Se tratan como las rajaduras superficiales.</p>
<p><b>12. Apanalamiento y grietas en forma de botella.</b> Grandes grietas en el sentido radial y caras aplastadas.</p>	<p>Cimentación.</p>	<p>Evitar cimentación. Se tratan como colapso y grietas internas. Bajar temperatura al final.</p>
<p><b>13. Hongos.</b> Para CH menor que el 20%. Mancha azul muy común. El moho no mancha. Los hongos pudridores son de efecto lento.</p>	<p>Demora en iniciar el secado. Poca circulación de aire.</p>	<p>Tratar con fungicida. Temperatura mayor que 45°C. durante 24 horas.</p>
<p><b>14. Insectos.</b></p>	<p>Clima malsano.</p>	<p>Tratar con insecticida por inmersión o aspersion. Vapor saturado a temperatura mayor que 55°C. Baja HR y temperatura mayor que 85°C.</p>

Tabla 8.

Categoría	AR Altamente Resistentes	R Resistente	MR Moderadamente Resistente	MPR Muy Poco Resistente	NR No Resistente
Tiempo	25 años	15 - 25 años	10 - 15 años	5 - 10 años	5 años
Pérdida de peso en ensayos de laboratorio	0% - 1%	1 - 5%	5 - 10%	10 - 30%	30%
Maderas Coníferas	REDWOOD <i>Sequoia sempervirens</i>  EIBE <i>Taxus baccata</i>  ALERCE <i>Fritzroya impressoides</i>	WESTERN RED CEDAR <i>Thuja plicata</i>  PITH PINE <i>Pinus palustris</i>	LARCH <i>Larix laricina</i>		PINO <i>Pinus patula</i>

**- Categoría AR (Altamente Resistentes)**

Pérdida de peso entre 0 y 1%, con una duración en uso exterior de más de 15 años. Son, en general, maderas de alta densidad y de duramen que no es posible tratar.

**- Categoría R (Resistentes)**

Pérdida de peso entre el 1 y 5%, con una duración en uso exterior de 10 a 15 años. Son maderas de alta densidad y tratabilidad variable para el duramen.

**- Categoría MR (Moderadamente Resistentes)**

Pérdida de peso entre 5 y 10%, con una duración en uso exterior de 5 a 10 años. Son, generalmente, maderas de alta densidad y con posibilidades de recibir tratamiento.

**- Categoría MPR (Muy Poco Resistentes)**

Pérdida de peso entre 10 y 30%, con una duración en uso exterior de 1 a 5 años. Son maderas de densidad media y buena tratabilidad.

**- Categoría NR (No Resistentes)**

Pérdida de peso mayor del 30% y una duración en uso exterior menor que un año. Son, en general, maderas de muy baja densidad y muy buena tratabilidad.

Tabla 9

Clasificación de las maderas según su durabilidad natural en contacto directo con el suelo (según W.P.K. Findlay 1962).

<p><b>- Grupo I (Muy Fáciles de Tratar)</b> Maderas cuya albura y duramen tratadas por presión o inmersión, obtienen retenciones de más de 200 kg/m<sup>3</sup> y penetración total.</p>
<p><b>- Grupo II (Fáciles de Tratar)</b> Maderas que tratadas por presión o inmersión obtienen para la albura una retención de 150 a 200kg/m<sup>3</sup> y para el duramen una retención de 100 a 150 kg/m<sup>3</sup> y penetración parcial periférica.</p>
<p><b>- Grupo III (Moderadamente Difíciles de Tratar)</b> Maderas que tratadas por presión o inmersión tienen una retención de 100 a 150 kg/m<sup>3</sup> para la albura y de 50 a 100 kg/m<sup>3</sup> para el duramen.</p>
<p><b>- Grupo IV (Difíciles de Tratar)</b> Maderas cuya albura tratada por presión o inmersión tiene penetración incompleta y retención de 50 a 100 kg/m<sup>3</sup> y cuyo duramen es imposible de tratar cualquiera sea el método que se utilice.</p>

Tabla 10

*Grado de dificultad para someter la madera a un tratamiento de preservación.*

---

CAPITULO **4**

**Cámaras para secado artificial  
de la madera**

## CAMARAS PARA SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA

**L**a cámara de secado es el recinto en el cual se coloca la madera que se va a secar. Dentro de la cámara deben controlarse ciertas condiciones del aire que circula a través de las pilas, con el fin de variarlas de acuerdo a un programa de secado adecuado a la madera.

Los sistemas artificiales son aquellos que se sirven de medios diferentes a los naturales para secar la madera. De los sistemas artificiales, los de secado térmico son los más comunes y a este tipo pertenecen los secadores de madera que operan en Colombia. En este capítulo estudiaremos los principales secadores térmicos de madera de uso corriente y factible en nuestro país, los cuales funcionan con base en los cuatro factores que condicionan el aire en el secado térmico: la humedad relativa HR, la temperatura, la velocidad y la presión (*ver capítulo 2*). Para completar el panorama de los secadores artificiales para madera, describiremos algunos sistemas de secado, de uso restringido, basados en otros procesos físicos y químicos.

## CARACTERISTICAS Y COMPONENTES DE UNA CAMARA DE SECADO

Las condiciones de trabajo del secador pueden ser extremas: temperaturas de aire cercanas a 100°C y humedad relativa HR del 100%; paredes de la cámara atacadas por los componentes químicos que libera la madera (ácido acético, ácido fórmico, taninos). La cámara debe entonces poseer ciertas características de construcción que le permitan resistir a estas condiciones difíciles de trabajo. Además, para lograr un control de los cuatro factores que condicionan el proceso, el secador debe contar con los siguientes cuatro elementos básicos: la cámara propiamente dicha, el sistema de circulación del aire de secado, el dispositivo de calentamiento del aire y los medios de control de las condiciones de secado.

En este aparte estudiaremos las características y los cuatro elementos básicos que debe poseer una cámara para secado de madera.

## DIMENSIONES

Las dimensiones de la cámara de secado dependen de la cantidad y de las dimensiones de las piezas de madera a secar, de las condiciones de ocupación del espacio impuestas por el tipo particular de secador de que se trate, de la forma como debe manipularse la madera en el interior de la cámara y de los medios de acceso a las muestras que deben distribuirse en lugares estratégicos de las pilas de madera, para que sean representativas de la evolución del secado.

Para obtener una mayor eficiencia del secado, el volumen de la cámara debe ser tan cercano como sea posible a un cubo. Una forma de medir esta eficiencia es por medio del valor de la relación llamada "coeficiente de llenado", el cual es igual al cociente entre el volumen de madera  $V_m$  y el volumen de la cámara  $V_c$ :

$$\frac{V_m}{V_c} = \frac{\text{Volumen de madera}}{\text{Volumen de la cámara}}, \text{ varía entre } 0.35 \text{ y } 0.5$$

La eficiencia del secado se considera buena cuando el valor del coeficiente de llenado varía entre 0.35 y 0.5, lo cual equivale a decir que el volumen de la cámara es de 2 a 3 veces mayor que el volumen de la madera colocada en su interior.

La figura 14 (pág.89) muestra las proporciones ideales de una cámara de secado.

## MATERIALES DE CONSTRUCCION

Las cámaras de secado deben construirse con materiales capaces de soportar los choques que pueden ocurrir durante los procesos de cargue y descargue de madera, además de asegurar que se cumplan las otras características requeridas para un correcto secado (aislamiento térmico, hermeticidad a las fugas de aire, resistencia a la corrosión).

Los materiales más utilizados son la mampostería de ladrillo o de bloque de cemento (para la cual no deben utilizarse morteros de cemento con cal adicionada), los perfiles y láminas metálicas (que deben cubrirse con pintura anticorrosiva en caso de que puedan ser atacados por la corrosión), y la madera. El piso debe resistir a las pesadas cargas de la madera y facilitar el drenaje del agua. La junta entre el techo y los muros debe impedir el paso del aire y del calor.

Las puertas deben llevar empaques elásticos para impedir el paso del aire y del calor, y permitir la facilidad de maniobra durante el cargue y descargue de la madera. Los sistemas más utilizados son las puertas de batiente (simples, se requiere un gran espacio exterior para abrirlas), las puertas deslizantes hacia un costado (ocupan menos espacio al abrirlas pero es más difícil lograr en ellas una buena hermeticidad), las cortinas metálicas (fáciles de conseguir en el comercio pero son malas aislantes térmicas), y las puertas deslizantes hacia arriba (requieren rieles y una estructura sólida para soportar la puerta abierta y resistir el posible efecto del viento). La figura 15 (pág.90) ilustra los principales

sistemas de puertas que se utilizan en las cámaras de secado de madera.

## AISLAMIENTO TERMICO

El aislamiento térmico de las cámaras de secado tiene por objeto evitar que el calor del aire de secado se fugue hacia el ambiente exterior más frío. Para efectos de aislamiento térmico e impermeabilización, la cámara de secado debe considerarse como una edificación y resolverse conforme a principios de arquitectura y construcción. Si la cámara está situada al exterior, deben tenerse en cuenta los efectos de la intemperie y de los vientos dominantes; estas condiciones son más benignas en las cámaras de secado situadas al interior de un edificio.

En términos generales, para nuestras latitudes, cámaras de secado que trabajen a temperaturas del orden de 60°C requieren una resistencia térmica de unos 0.5 M<sup>2</sup>C/Watio, lo que en la práctica equivale por ejemplo a construir muros de ladrillo hueco de 20 cm de espesor.

Cuando el aire húmedo de secado produce condensación de agua sobre las caras internas de los muros, es necesario mejorar el aislamiento de la cámara por medio de un espesor aislante térmico. Cuando el aislante térmico es propenso a estropearse a causa de la humedad de condensación del aire de secado, debe protegerse su cara interna por medio de una barrera impermeable a la humedad (papel de aluminio, polietileno, etc.).

## HERMETISMO

Las fugas de aire deben evitarse para lograr un mejor control de la circulación del mismo dentro de la cámara a través de la madera. En las paredes, el techo y los puntos de contacto entre ambos, no deben existir lugares donde el aire circule libremente entre el interior y el exterior. Las puertas de acceso, los postigos de ventilación controlada y los puntos de paso de las tuberías, cables y ductos de aire, deben llevar empaques elásticos adecuados que permitan el movimiento relativo de las partes cuando éste debe existir, pero impidan el libre paso del aire de secado hacia el exterior.

## VENTILACION CONTROLADA

Las cámaras de secado están provistas de postigos o ventilas que permiten la salida del aire húmedo ya servido y su reemplazo por aire ambiente más seco. Según sea el grado de tecnificación de la cámara de secado, los postigos funcionan en forma manual o por medio de un mecanismo accionado automáticamente; algunas cámaras tienen ventiladores destinados a la evacuación del aire húmedo. Las únicas cámaras de secado de madera que no requieren postigos de evacuación de aire húmedo son los deshumidificadores (ver *deshumidificadores*, pág85), los cuales reciclan en permanencia el mismo aire, puesto que poseen un sistema que permite extraer el agua del aire húmedo a medida que se

desarrolla el proceso de secado.

## CIRCULACION DEL AIRE DE SECADO

El aire es el vehículo que transporta la humedad al exterior de la madera. Para que el aire efectúe su trabajo en forma adecuada dentro de la cámara, debe poseer una presión suficiente que lo haga circular a cierta velocidad y le permita vencer los obstáculos que encuentra en su recorrido. Este efecto se logra por medio del viento en el secado natural y, de manera más efectiva y controlable, por medio de ventiladores en el secado artificial.

Las características que más nos interesa determinar en un ventilador son su caudal y su presión estática. El caudal es el volumen del aire que el ventilador trasega o mueve por unidad de tiempo, se mide en unidades de volumen (metro cúbico,  $M^3$ ; pie cúbico,  $pie^3$ ) por unidades de tiempo (segundo, seg; minuto, min); el caudal implica que el aire circule a través de la madera con suficiente velocidad. La presión estática es la ejercida por el aire sobre las paredes de la cámara de secado y es un indicativo de la fuerza que el aire debe aplicar sobre las superficies que se oponen a su libre circulación para vencer el obstáculo

que ellas representan. La unidad más común para medir la presión estática de un ventilador es la "longitud de columna de agua" (milímetros de columna de agua, mm. H<sub>2</sub>O; pulgadas de columna de agua, pulg. H<sub>2</sub>O). En el "anexo 3" se estudian, entre otros, estos conceptos físicos de caudal y presión estática.

Existen dos tipos de ventiladores que pueden utilizarse en las cámaras de secado de madera (*figura 16 pág.93*): los ventiladores centrífugos y los ventiladores axiales. Los ventiladores centrífugos se componen de una carcasa metálica en forma de voluta o caracol, al interior de la cual gira una rueda compuesta de palas o aspas. Los ventiladores axiales tienen la forma de una hélice compuesta por varias aspas curvas que giran alrededor de un eje, la hélice se encuentra al interior de una carcasa en forma de cilindro.

Los ventiladores centrífugos proporcionan bajos caudales a presiones estáticas altas. Por el contrario, los ventiladores axiales suministran altos caudales a presiones estáticas bajas. El secado de madera necesita en general altos caudales y presiones estáticas bajas; por esta razón, y porque en principio son menos costosos que los ventiladores centrífugos, es más corriente que se utilicen ventiladores axiales para trasegar el aire dentro de las cámaras de secado de madera. Los ventiladores centrífugos se usan, en general, donde, por razones de ahorro de espacio, el diseño de la cámara así lo requiere.

## SISTEMAS DE APORTE DE CALOR

El secado térmico de la madera requiere el aporte de energía en forma de calor. El calor suministrado debe ser suficiente para elevar la temperatura del aire dentro de la cámara, romper los enlaces químicos entre las moléculas de agua y de madera, y luego evaporar el agua; además de compensar las pérdidas de calor por las paredes, piso y techos, y por las chimeneas y otros dispositivos de la cámara que estén en contacto con el exterior. La forma corriente de aportar el calor necesario consiste en calentar directamente el aire de secado, o calentarlo de manera indirecta poniéndolo en contacto con superficies calientes llamadas "intercambiadores de calor"; como se verá enseguida, éstas dos formas de calentar el aire dependen de la fuente de producción de energía que se utilice para realizar el secado.

### ACPM Y OTROS COMBUSTIBLES LIQUIDOS DERIVADOS DEL PETROLEO

Existen dos maneras de utilizar estos combustibles para calentar el aire de secado. La más simple consiste en producir la combustión por medio de un quemador que calienta superficies metálicas de intercambio, las cuales a su vez calientan el

aire de secado cuando éste entra en contacto con ellas; se trata de un método indirecto de calentamiento, puesto que los gases de combustión de estos combustibles son tóxicos y no pueden ser dirigidos directamente a la madera para realizar el secado. Este sistema es de bajo rendimiento térmico y presenta riesgos de incendio.

La otra forma de utilizar estos combustibles consiste en alimentar calderas. Las calderas trabajan por medio de una combustión a presión mayor que la de la atmósfera, que permite un mejor rendimiento térmico de la combustión: los gases de combustión entran en contacto con una serie de tuberías de intercambio por las que circula un fluido (en general, agua o aceite) a presión más o menos alta según el tipo de caldera; estas tuberías llegan hasta lugares estratégicos de la cámara de secado, donde por medio de superficies de intercambio calientan el aire de secado; el fluido frío regresa a la caldera donde reinicia el ciclo de calentamiento.

Los intercambiadores se componen de tubos y aletas fabricados en metales resistentes a la corrosión, su forma está determinada por el tipo de fluido que circula en su interior, y las superficies calientes que realizan el intercambio de calor se reparten de manera adecuada con relación a las corrientes de aire que circulan dentro de la cámara.

Las calderas son aparatos costosos y complejos compuestos por una serie de equipos como motobombas eléctricas de circulación, válvulas de seguridad, trampas de vapor, tanques de almacenamiento del fluido de circulación y de combustible, controles eléctricos, etc. A pesar de su costo y de la necesidad de mano de obra calificada para operar y dar mantenimiento al sistema, los secadores de madera con base en

calderas son bastante comunes debido a su rendimiento y a la seguridad de funcionamiento, que son relativamente buenos. Los humos que resultan de la combustión son una fuente de polución. La *figura 17 (pág.96)* ilustra un tipo corriente de cámara de secado que funciona con base en una caldera como fuente energética.

## GAS

Al igual que los combustibles líquidos derivados del petróleo, el gas puede ser utilizado como fuente de energía directa o para alimentar calderas. Utilizado de manera directa tiene la ventaja de que, al no ser tóxicos sus gases de combustión, no es necesario utilizar sistemas de intercambio de calor y pueden entonces ser dirigidos a la cámara de secado. En cuanto a las calderas a gas, son más escasas en nuestro medio que las descritas en el numeral anterior, debido a que el gas es un combustible de aprovisionamiento limitado y por lo tanto es difícil depender de él cuando el consumo de combustible no permite cortes en el suministro. Debido a los riesgos de explosión, en las instalaciones que funcionan con gas deben tenerse precauciones especiales.

poco común en Colombia. Estas calderas requieren gran cuidado en su fabricación y mantenimiento; por estas razones su utilización es limitada. La aplicación corriente del carbón y la leña como fuentes energéticas es por medio de estufas más o menos simples que permiten una combustión directa del combustible y poseen un sistema de intercambio para calentar aire limpio de secado. Aunque estas estufas son sistemas de menor rendimiento térmico, debido a la combustión directa y al sistema de intercambio, son aparatos simples y fáciles de implementar; siendo el carbón un combustible corriente y barato, y la leña o el retal de madera un sobrante común y a menudo embarazoso para los procesadores de madera, es razonable utilizarlos como fuentes energéticas para el secado. La combustión directa acarrea riesgos de incendio que deben considerarse al posicionar estas estufas en la planta de producción. La combustión del carbón y de la leña produce gases que constituyen una fuente de polución. La *figura 18 (pág.97)* muestra un modelo de estufa para leña o carbón con intercambiador para calentar el aire de secado a partir de los gases de combustión.

## ENERGIA ELECTRICA

La manera más eficiente de utilizar la energía eléctrica para calentar el aire de secado consiste en energizar un aparato llamado "bomba de calor", que es en esencia un circuito frigorífico similar al de las neveras corrientes; las cámaras de secado de

## CARBON Y LEÑA

El carbón y la leña utilizados como combustibles de calderas son una solución

madera basadas en este principio se conocen con el nombre de "deshumidificadores" (ver *deshumidificadores* pág.85). Los deshumidificadores, como los circuitos frigoríficos en general, desde el punto de vista eléctrico trabajan con un buen rendimiento. Son aparatos cómodos para ser utilizados, que ocupan relativamente poco espacio, no presentan riesgos de incendio ni generan polución ambiental. Los deshumidificadores tienen la singular característica de poder recircular el mismo aire durante todo el proceso de secado (al aire caliente y húmedo se le extrae el agua, se recalienta y se hace circular de nuevo); esta particularidad los convierte, comparados con los otros sistemas de secado de madera que funcionan por medio de reemplazos del aire de secado saturada por aire ambiente tomado del exterior, en una opción de secado adecuada sobre todo en lugares donde el aire ambiente es bastante húmedo. En adición al sistema frigorífico que calienta el aire y extrae su humedad, los deshumidificadores poseen un sistema de resistencias eléctricas que trabajan automáticamente cuando se requiere un mayor calentamiento del aire de secado que el apartado por el circuito frigorífico; este sistema alterno de resistencias es el principal consumidor de energía eléctrica del deshumidificador.

La energía eléctrica puede también, en forma más simple e inmediata, calentar el aire de secado al ponerlo en contacto con una serie de resistencias eléctricas. Esta es una solución cómoda y fácil de instalar si se dispone de un buen suministro de electricidad, pero costosa, tanto en la instalación que requiere un transformador de gran potencia, como en la operación que genera un gran consumo de energía.

## ENERGIA SOLAR

Por medio de colectores solares es posible calentar aire, que se conduce directamente a la cámara de secado. Un colector solar de aire es un aparato diseñado para atrapar el calor del sol y utilizarlo en el calentamiento del aire; su principio básico consiste en lograr el calentamiento de una superficie buena conductora del calor, que a su vez transfiere ese calor al aire. Existen varios diseños de colectores solares de aire que varían en costo y en la efectividad para lograr el calentamiento del aire: un colector de aire simple puede lograrse adaptando el techo de una edificación; un colector de mayor eficiencia consta por ejemplo de una buena superficie de intercambio de calor colocada en una caja aislada térmicamente del exterior, cuya superficie superior es un vidrio. La figura 19 (pág.98) ilustra algunos tipos de colectores solares de aire. El colector solar puede ser parte integral de la cámara de secado o estar construido aparte y unido a la cámara por medio de túneles o ductos que conducen el aire; existen pues, también, varios modelos de cámaras de secado solares, dependiendo de la colocación de los componentes y de la forma como circula el aire de secado. En *Secadores Solares* (pág. 85) se estudian los modelos más conocidos de cámaras solares para el secado de la madera.

75

## SISTEMAS MIXTOS

Es posible combinar varias fuentes de calor para obtener un sistema mixto de aporte de

calor. Por ejemplo: la energía solar puede calentar el aire en el día, y una estufa de carbón o de leña, una caldera, un quemador o un sistema eléctrico, pueden suplir el calor necesario durante la noche. A pesar de que los sistemas mixtos introducen complejidad en el diseño y aumento en los costos de construcción del secador solar, son soluciones adecuadas para adaptarse a las facilidades energéticas de un lugar, o de un utilizador determinado. Esta concepción de un secador mixto se adapta también a los cambios progresivos de una producción creciente de madera seca que debe ir aumentando de manera escalonada su capacidad de secado.

## CONTROL Y OPERACION DEL SECADOR

76

En el procedimiento de secado es necesario controlar condiciones relacionadas con la cámara de secado, los medios disponibles para llevar a cabo el proceso, la madera y la operación del secador.

La velocidad y la presión del aire dentro del secador se fijan al escoger los ventiladores; por razones de simplificación del diseño y economía, estas características no son variables. La temperatura se mide por medio

de termómetros (de mercurio, alcohol, tensión de vapor, resistencia eléctrica); su lectura puede ser directa o a distancia, por medio de aguja indicadora o digital. Para medir la humedad relativa **HR** del aire se utiliza un sicrómetro o un higrómetro.

Los medios que deben tenerse en cuenta para realizar el secado son: el tiempo disponible, la humedad relativa **HR** del aire ambiente utilizado, la cantidad y continuidad de la energía disponible, la uniformidad en el recorrido del aire al interior de la cámara y la precisión de las medidas que controlan el proceso. La *tabla 11* (pág. 118) presenta los tres órganos básicos que pueden encontrarse en un secador, cuál es su función y cómo afectan el proceso de secado.

El cuarto de control del secado, anexo a la cámara o tan cerca de esta como sea posible, debe contener: una mesa de trabajo, la mufla, la balanza, serrucho y otras herramientas manuales para fabricar las muestras; la documentación necesaria (los formatos de control de secado, los programas de secado, las tablas de depresión sicrométrica, humedad relativa **HB** del aire y contenido de humedad de equilibrio **CHE** de la madera, un diagrama del aire húmedo), y un archivo para la información ya procesada.

Respecto a la madera, debe conocerse bien su esencia, espesor, tipo de aserrado (rolliza o en cuadro), su calidad (cantidad de nudos y rajaduras) y la calidad que debe tener la madera seca: si se aceptan o no tensiones internas, qué dispersión se tolera en el contenido de humedad **CH** final del lote de madera y en la variación del contenido de humedad **CH** entre el interior y el exterior de una pieza de madera y también, cuál es el porcentaje de defectos (rajaduras,

torceduras, coloraciones, etc.) que puede presentar la madera.

Cualquiera sea el método empleado, el secado térmico de la madera presenta cuatro fases o etapas características. La primera fase es la de precalentamiento, que comprende: el aumento de la temperatura del aire dentro de la cámara, el calentamiento de la madera hasta el propio centro de las piezas, y la estabilización del contenido de humedad CH de la madera; durante el precalentamiento la madera aún no seca y, en cambio, puede llegar a humedecerse durante la estabilización. La segunda fase es el secado, que comprende tres períodos: desde verde hasta el punto de saturación de las fibras PSF, el paso por la zona de PSF, y el secado hasta contenidos de humedad CH inferiores al punto de saturación de las fibras PSF (ver figura 5 pág. 25). En la tercera fase, llamada de equilibrio, se iguala el contenido de humedad CH entre el interior y el exterior de las piezas de madera. La cuarta fase se llama de enfriamiento y en ella se logra la estabilización de la madera mejorando el equilibrio en el contenido de humedad CH; en climas fríos, esta última fase se hace más necesaria, para evitar los choques térmicos que se producen al sacar de la cámara la madera caliente y ponerla en contacto con el aire exterior frío.

La conducción correcta del secado requiere un buen apilado: los separadores gruesos, por ejemplo, facilitan la circulación del aire pero disminuyen su velocidad y reducen la carga de madera en el secador; la distancia entre los separadores debe aumentarse hasta donde lo permita el peso de la madera sin que se produzcan deflexiones o arqueaduras de las piezas. Las dimensiones de las pilas dependen del volumen disponible dentro del secador, de las dimensiones de la

madera, de la altura permisible sin comprometer la estabilidad de la pila, de la forma como debe realizarse la manipulación de cargue y descargue del secador, y de la búsqueda de una circulación uniforme del aire a través de la pila. Finalmente debe tenerse en cuenta el acceso a las muestras testigos para controlar el programa de secado. La figura 20 (pág.100) presenta dos esquemas que ilustran cómo deben cortarse los recorridos inconvenientes del aire y la forma de llenar la cámara de secado cuando el espacio disponible en esta es bastante mayor que la longitud de las pilas de madera.

## CONDUCCION MANUAL

La conducción manual de un secador de madera se resume en los cinco pasos siguientes:

**Paso 1.** Posicionar las pilas de madera en la cámara y escoger un programa de secado adecuado a la especie y a las dimensiones de la madera.

**Paso 2.** Medida del contenido de humedad CH de la madera por el método de doble pesada o por medio de un medidor eléctrico.

**Paso 3.** Distribuir las muestras testigos en la pila de madera. Deben pesarse periódicamente; en principio, una o dos veces por día (ver figura 2, pág. 8)

**Paso 4.** Cerrar la cámara y operar los controles según lo requiera el programa de secado.

**Paso 5.** A medida que avanza el secado, el control del programa requiere la vigilancia del contenido de humedad CH de las muestras testigos, utilizando para ello los formatos adecuados (ver tablas 3 y 4 págs. 32 y 34). Debe también vigilarse la posible aparición de defectos por medio de la observación de la madera y, en particular, de las probetas tenedor (ver figura 12, pág. 54) para controlar estos problemas cuando aún es tiempo de hacerlo.

## CONDUCCION SEMI-AUTOMATICA

Se trata de una conducción manual asistida, en la cual se controlan los órganos de calentamiento, humidificación y ventilación por medio de sistemas motorizados como válvulas magnéticas, neumáticas, o eléctricas. El operario escoge los valores de temperatura y humedad relativa HR correspondientes al programa de secado y la automatización se encarga de mantener invariables estos valores; cuando el chequeo de las muestras testigo indique un cambio en los valores de temperatura y humedad relativa, el operario realiza el ajuste. Se procede entonces por pasos sucesivos según el programa de secado. En general, el control del proceso se logra por medio de lecturas sicrométricas: se leen las temperaturas de bulbo seco y húmedo, y su diferencia permite conocer la humedad relativa HR y el contenido de humedad CH correspondientes. La figura 23 (pág. 103) muestra el diagrama de un secado controlado con sicrómetro. Muchas de las válvulas de control utilizadas en la

conducción semi-automática de un secador, son aparatos simples que trabajan sólo en dos posiciones límites (abiertas o cerradas), lo cual resta exactitud al control de secado. La evolución de las muestras de control debe seguirse en permanencia desde el exterior, por medio de sondas eléctricas similares a las utilizadas para medir el contenido de humedad CH.

## CONDUCCION AUTOMATICA

En la conducción automática el secado se lleva a cabo sin necesidad de operarios. En sus orígenes, la conducción automática, basada en un programa de secado establecido en forma experimental, controlaba la temperatura y la humedad relativa HR del aire mediante la aplicación de uno de los dos criterios siguientes: el primero, establecer escalas de variación cada cierto tiempo; el segundo, establecer escalas de variación cada que el gradiente de secado alcance ciertos valores determinados (el gradiente o velocidad de secado es la variación del contenido de humedad CH de la madera en función del tiempo). Aunque el segundo criterio es más exacto que el primero, ambos logran resultados irregulares en el control de secado.

Los primeros medios utilizados para estos controles automáticos fueron discos de cartón graduados que se montan en un mecanismo giratorio; sobre las escalas graduadas de los discos se grafican continuamente los valores de la

temperatura seca y de la depresión sicrométrica. Una forma corriente de lograr el control automático basado en cambios escalonados cada cierto tiempo, consiste en calibrar el disco a razón de una vuelta completa cada hora y, con cada giro, aumentar la temperatura del aire (por ejemplo, aumentar  $0.25^{\circ}\text{C}$  cada hora). Este procedimiento propicia una diferencia de temperaturas entre el aire y la madera que es conveniente para el proceso de secado y para prevenir tensiones en la madera; pero, como se dijo antes, los resultados obtenidos son irregulares y además, se requiere disponer de una potencia alta para lograr el calentamiento escalonado del aire.

En la actualidad, los computadores permiten establecer un extraordinario intercambio de información para adaptar el proceso al tipo de secador, al tipo de madera y a sus características particulares; además, por medio de sondas que vigilan en todo momento el aire de secado y la madera, el computador puede adaptar el proceso según las variaciones que se presenten a medida que el secado avanza. Así mismo, por medio de un mismo computador es posible controlar simultáneamente varias cámaras de secado.

## CLASIFICACION DE LAS CAMARAS DE SECADO

La clasificación de las cámaras de secado puede hacerse en función de las posibilidades de lograr dentro de ellas un efectivo control de las condiciones del aire. Convengamos en llamar presecadores a las cámaras simples de control de aire poco estricto o inexistente; los secadores, en cambio, son cámaras en las cuales las condiciones del aire pueden ser controladas completamente para garantizar el correcto seguimiento de un programa de secado.

### PRESECADORES

Son cámaras simples y económicas, a menudo transportables, en las cuales es corriente encontrar fugas de aire y pérdidas de calor. En las más elementales, el aire no circula sino que atraviesa las pilas de madera y sale luego al exterior. Otros modelos de presecadores recirculan el aire y poseen ventilas que son accionadas periódicamente para evacuar el aire húmedo y reemplazarlo por aire ambiente; a menudo la recirculación del aire es dispereja y el control de temperatura y humedad relativa HR es apenas parcial. Para pequeñas producciones de madera seca los presecadores pueden ser suficientes; para producciones mayores, los presecadores son un paso anterior al secado propiamente

dicho. Los presecadores pueden entonces considerarse como aparatos que realizan un secado al aire libre acelerado, en el cual la temperatura del aire puede llegar hasta los 50°C. A continuación se describen las variantes más corrientes de presecadores.

### Presecador bajo techo con ventiladores y costados cubiertos

Uno de los cuatro costados de la cámara es un bastidor en el que se instalan los ventiladores, el costado opuesto es libre para permitir el paso directo del aire; los dos costados laterales van cubiertos para evitar distorsiones en el recorrido del aire. Existen variantes constructivas que van desde cerramientos en lona o plástico hasta tabiques en madera; en el costado frontal abierto puede acondicionarse un tabique de madera con persianas regulables. El secado se realiza por medio del aire ambiente que los ventiladores envían a través de las pilas de madera, el cual atraviesa la cámara y va luego al exterior. Debido a su simplicidad, este tipo de presecadores puede ser portátil, lo cual lo hace más práctico y adaptable a condiciones variables de secado.

eficiente implementando una fuente de calor que aumente la temperatura del aire propulsado por los ventiladores. El calor puede obtenerse por diferentes medios; el más corriente debido a su simplicidad, aunque tal vez el más desfavorable en términos de costo y consumo energético, consiste en colocar resistencias eléctricas próximas a los ventiladores. El presecador con calefacción reduce el tiempo de secado pero genera también mayores costos, sobre todo si se tiene en cuenta que en estos aparatos el sistema de calefacción trabaja con bajos rendimientos debido a las pérdidas de calor.

Un caso particular de presecador con calefacción es el túnel de secado, en el cual el aire caliente penetra por uno de los extremos, y a medida que recorre el túnel en el sentido de la longitud pasando a través de pilas sucesivas de madera dispuesta en vagonetas sobre rieles, se va humedeciendo paulatinamente hasta abandonar el secador por el extremo opuesto, con una humedad relativa HR cercana a la saturación. Las vagonetas se desplazan en sentido opuesto al flujo de aire y presentan un grado de sequedad escalonado desde madera seca, a la salida, hasta madera húmeda a la entrada al túnel del tren de vagonetas.

80

### Presecador con calefacción

Cualquiera de los sistemas descritos en el aparte anterior puede hacerse más

### Presecador con calefacción y recirculación de aire

Si a los presecadores con calefacción se les implementa un sistema de recirculación del aire dentro de la cámara, se obtiene un secador en el cual es posible lograr un mejor

control de las condiciones de secado y por consiguiente someter a la madera a un programa de secado. En la medida en que este tipo de cámara permita una calidad aceptable de secado, prácticamente se convierte en un secador, aparato en el cual puede garantizarse el control completo de un programa de secado. La *figura 23* pág.103, ilustra varios modelos corrientes de presecadores.

rendimiento del proceso. La segunda forma de controlar el aire en el proceso de secado térmico consiste en condensar el vapor de agua contenido en el aire de secado para convertirlo en líquido, que se saca entonces del secador; el aire así purgado de su humedad se recircula indefinidamente hasta el final del proceso de secado; con base en este principio funcionan los secadores de madera llamados deshumidificadores que se estudian en *secadores convencionales* .(pág.81)

## SECADORES

Los secadores son cámaras en las cuales puede lograrse un control efectivo, un rendimiento considerable y una buena calidad de la madera seca. Un secador debe cumplir con los siguientes principios de diseño: la cámara es estanca (no permite fugas de aire) y aislada térmicamente; la circulación del aire es pareja y regular; posee un control estricto de la humedad relativa HR y de la temperatura del aire.

En el secado térmico existen dos maneras de controlar las condiciones del aire. La primera, más simple, barata y común, consiste en evacuar el aire saturado o casi saturado y reemplazarlo por aire menos húmedo a temperatura ambiente; la principal desventaja de este procedimiento consiste en que el aire húmedo evacuado es caliente, o sea que hay forzosamente una fuga de calor que debe ser recuperada por el calentamiento del aire ambiente de reemplazo; cuando el aire ambiente es muy frío o muy húmedo se requiere mayor cantidad de energía para lograr las condiciones estipuladas por el programa de secado, y disminuye en consecuencia el

### Secadores convencionales

Los secadores convencionales operan a temperaturas del orden de 40°C a 80°C al inicio del secado y de 70°C a 93°C al final del secado. La velocidad del aire va de 1.5 metros por segundo a 2.5 m/seg. El proceso de secado toma de 6 a 10 días para obtener madera entre el 18% y el 20% CH.

La cámara de secado debe responder a las características ya estudiadas en *características y componentes de una cámara de secado*(pág.69) y, en particular, debe soportar las máximas temperaturas de operación cercanas de 100°C. Los ventiladores pueden colocarse en la parte superior de la cámara o en los costados laterales y, como se ha dicho, pueden ser axiales o centrífugos. La opción más común consiste en colocar ventiladores axiales en la parte superior y separarlos de las pilas de madera por medio de un cielo raso; cuando la cámara tiene un ancho mayor de 2.5 metros, es aconsejable utilizar ventiladores reversibles que inviertan el sentido del flujo del aire a través de la pila de madera. La *figura 24* (pág.105) ilustra un

secador de este tipo. La figura 25 (pág.107) muestra una cámara que funciona con base en un ventilador centrífugo y la figura 26 (pág.108) esquematiza dos secadores cuyos ventiladores están colocados en los costados laterales.

El sistema de calentamiento corriente en los secadores convencionales consiste en producir vapor de agua por medio de una caldera y circular este vapor por una serie de tuberías de intercambio de calor que están situadas al interior de la cámara de secado, de manera tal que al ser atravesadas por el aire que propulsan los ventiladores, éste se calienta con el calor cedido por el vapor de agua, el cual se condensa y regresa a la caldera para reiniciar el ciclo de calentamiento. Las calderas funcionan por medio de ACPM, crudo de castilla, carbón o leña, a presiones de trabajo de unas 80 libras por pulgada cuadrada y el fluido transportador de calor que utilizan es el agua; aunque poco frecuentes, existen calderas que funcionan a presiones mucho más bajas o con aceites calientes como fluidos transportadores de calor. Otros medios menos corrientes de producir el calor necesario para el secado, consisten en utilizar resistencias de secado eléctricas o quemadores que calientan el aire deseado directamente (quemadores de gas) o indirectamente (quemadores de ACPM).

Los secadores tradicionales poseen un sistema de humidificación del aire de secado para evitar que las temperaturas relativamente altas que pueden alcanzarse deterioren la madera al propiciar en ella una pérdida de humedad demasiado rápida. Los medios de humidificación empleados son el mismo vapor producido por la caldera, que se inyecta directamente a la cámara de secado, o la inyección de agua fría pulverizada por medio de un aspersor. En

general, el sistema de humidificación del aire se encuentra después del sistema de calentamiento, en el sentido del flujo del aire.

Finalmente, la variación de la humedad relativa HR del aire dentro del secador se logra mediante el control de postigos o chimeneas. Las chimeneas de evacuación del aire se sitúan en la zona de presión de los ventiladores. Las chimeneas de admisión de aire se colocan en la zona de succión de los ventiladores.

Las ventajas de los secadores convencionales consisten en el empleo de fuentes de energía baratas y fáciles de obtener, la posibilidad de acondicionamiento de la madera y el tiempo razonable que emplea el proceso de secado. Las desventajas de estos secadores son: el mantenimiento de la caldera y el tratamiento necesario del agua; cierta dificultad para controlar la humedad relativa HR del aire, que depende de las condiciones del aire ambiente; la posibilidad de generar defectos en la madera debido a las altas temperaturas; y la necesidad de renovar el aire, proceso en el cual hay pérdidas de calor hasta de un 75% por concepto de calentamiento del aire ambiente de reemplazo.

## Secadores continuos o túneles

Como se explicó en *presecaador con calefacción*, referente a los presecaadores, un túnel de secado permite un proceso continuo en el cual periódicamente una vagoneta con madera sale del túnel y es reemplazada por una vagoneta con madera húmeda que

entra por el costado opuesto de la cámara de secado; el aire circula en el sentido opuesto al desplazamiento de las vagonetas. Los secadores continuos son túneles de hasta 40 metros de longitud en los cuales se disponen, a lo largo, los elementos de calefacción y los ventiladores encima de un cielo raso; la evacuación y el reemplazo del aire se efectúan por medio de chimeneas. En túneles de menor longitud es frecuente encontrar un solo ventilador en el extremo por el cual entra el aire. Debido a sus condiciones de trabajo, en las cuales el aire atraviesa y no recircula, es difícil lograr un control homogéneo de la temperatura y la humedad relativa HR sobre toda la longitud del túnel; en efecto, sólo las condiciones del aire a la entrada son controlables con exactitud. Para lograr un mejor control de las condiciones del aire en los túneles largos, se han ideado compartimientos sucesivos separando la longitud total por medio de cortinas metálicas; así mismo, para remediar en parte las limitaciones del sistema, se agregan secciones iniciales que precalientan la madera por medio del aire húmedo y caliente que evacúan las chimeneas del túnel y, al final, una sección de acondicionamiento con sus condiciones independientes de circulación del aire y temperatura. Los túneles de secado continuo son una solución adecuada cuando se dispone de gran cantidad de madera de la misma especie y características, puesto que se trata de un sistema de secado con limitaciones de control que no se adapta a una producción compuesta por maderas de tipo diferente. La *figura 27 (pág.110)* muestra la configuración de un túnel de secado continuo.

## Deshumidificadores

Los deshumidificadores son secadores de madera que trabajan con base en un circuito frigorífico llamado bomba de calor, similar al de un refrigerador o un aire acondicionado. Básicamente, un circuito frigorífico se compone de cuatro elementos entre los cuales circula un fluido frigorífico como el freón 12 o el freón 22. Los cuatro componentes del circuito frigorífico son: el compresor (que es la fuente de potencia del sistema), el condensador (o batería caliente), la válvula reductora de presión y el evaporador (o batería fría). El circuito se inicia en el compresor, que aumenta la presión del fluido frigorífico gaseoso; el fluido pasa luego al condensador, donde se convierte en líquido a presión y libera calor; el fluido líquido a presión se dirige a la válvula reductora de presión, allí disminuye su presión y se convierte en líquido a baja presión; el fluido pasa después al evaporador, allí se evapora tomando calor del medio ambiente; por último, el circuito se cierra con el regreso del gas a baja presión al compresor, desde donde inicia un nuevo ciclo.

En un deshumidificador este circuito se presenta como lo ilustra la *figura 28 (pág.111)*. El aire de secado húmedo llega a la bomba de calor por la parte inferior y entra en contacto con el evaporador frío; el aire de secado pierde en esta operación el agua que contiene. Luego, el aire seco entra en contacto con el condensador y se calienta; antes de regresar a la cámara de secado por la parte superior de la bomba de calor, el aire puede calentarse más utilizando resistencias eléctricas que se sitúan después del ventilador que succiona el aire a través de la bomba de calor.

En resumen, el aire servido de la cámara pasa por la bomba de calor donde se le purga el agua, la cual se recoge en un recipiente y se lleva al exterior por medio de una manguera; el aire se calienta luego y regresará a la cámara para realizar un nuevo ciclo a través de la madera. El deshumidificador recicla entonces el mismo aire de secado y no precisa ventilas para intercambio de aire con el exterior; no obstante, algunos de estos secadores tienen forma de intercambiar aire con el exterior, lo cual permite utilizarlos en forma similar a un secador convencional.

Aparte de la singularidad que representa el no intercambio de aire con el exterior, la construcción de la cámara de un deshumidificador debe poseer las características y los componentes que se enuncian en *características y componentes de una cámara de secado* (pág.69). La ventilación suele realizarse por medio de ventiladores axiales situados en la parte superior de la cámara de secado; algunos modelos de deshumidificadores funcionan con un ventilador único, se trata del ventilador de la bomba de calor que cumple además la función de propulsar el aire de secado a través de la madera. En cuanto a la bomba de calor, es corriente que se encuentre al interior de la cámara de secado, con la desventaja de que está entonces en contacto directo con el aire de secado cargado de agentes químicos; en modelos más elaborados, la bomba de calor está separada de la cámara por medio de una pared y la circulación del aire se realiza por medio de ductos que conectan la cámara con la entrada y la salida del aire al sistema frigorífico. La figura 29 (pág.112) muestra algunos modelos corrientes de deshumidificadores.

Los deshumidificadores funcionan a

temperaturas relativamente bajas: comienzan con un período de precalentamiento hasta unos 25°C durante 3 ó 4 horas; enseguida, el secado de la madera verde hasta un 25% ó 30% de contenido de humedad CH se realiza a temperaturas entre 25°C y 50°C. Puesto que la temperatura y la humedad relativa HR del aire son controlables, en los deshumidificadores se cuantifica la eficiencia en términos de una capacidad precisa de evacuación del agua de la madera, es decir, de una velocidad o rata de secado propia del aparato, que suele ser entre el 2% y el 3% de reducción diaria del contenido de humedad CH de la madera; en estas condiciones, un lote de madera verde al 60% de contenido de humedad CH tomará entre 15 y 22 días para secar hasta un contenido de humedad CH del 15%.

Respecto a la potencia del compresor, se pueden hacer las siguientes aproximaciones: para un promedio de 45 litros de agua evacuados diariamente, se requiere un compresor de 1 HP (HP=caballo de potencia); para secar un volumen de 2.4 M<sup>3</sup> de madera, se precisa un compresor de 0.6 HP si el secado es lento y las piezas de madera tienen un espesor menor de 5 centímetros; si la madera es más gruesa se requiere alrededor de 1 HP, si el secado es rápido se necesita una potencia de compresor de 2 HP para secar los 2.4 M<sup>3</sup> de madera delgada. En algunos deshumidificadores se lleva a cabo un acondicionamiento final del orden de 24 horas a 70°C, para el cual se requiere una pequeña caldera que suministre vapor; en otros aparatos se efectúa un acondicionamiento menos fuerte, por medio de aspersores que pulverizan agua a temperatura ambiente.

Si no es necesario utilizar a menudo las

resistencias eléctricas adicionales, el deshumidificador consume sólo la energía eléctrica que requieren el compresor y los ventiladores; de ahí su consumo razonable de energía eléctrica que lo convierte en una solución de secado interesante y práctica. En Colombia, los sistemas frigoríficos de los deshumidificadores son equipos importados que tienen precios asequibles para producciones medianas de madera seca.

## Secadores Solares

Existen tres tipos básicos de secadores solares para madera. Los dos primeros son aparatos simples y limitados que deben clasificarse más bien como presecadores; el tercer tipo, más complejo, es el único que puede clasificarse como un secador propiamente dicho, según la clasificación establecida al comienzo de *la clasificación de las cámaras de secado* (pág. 79). Los secadores solares son una solución interesante para producción de madera hasta de unos 20 M<sup>3</sup> por mes. El primer tipo de secador solar, el más simple de todos, tiene el colector solar integrado a la cámara de secado y un circuito único de ventilación que propulsa el aire a través de la madera. Cuando las condiciones de humedad o temperatura del aire son inaceptables, éste se cambia por aire ambiente accionando un sistema de ventilas. La *figura 30* (pág. 115) ilustra un secador de este tipo que funciona en el Centro Colombo Canadiense de la Madera del SENA en Itagüí, Antioquia desde 1986.

Con respecto al secado al aire libre, este secador ha reducido el tiempo de secado a la mitad en verano (quince días en lugar de un mes) y a una tercera parte en invierno (un mes en lugar de tres).

El segundo tipo de secador solar consiste en una cámara separada del colector solar (el cual puede implementarse, por ejemplo, adaptando un techo cercano). Un sistema único de ventilación lleva el aire caliente del colector a la cámara y lo propulsa a través de la cámara una sola vez (túnel) o lo recircula regresándolo al colector para calentarlo de nuevo (en este último caso es necesario purgar la humedad del aire de secado). Estos presecadores llegan a rendimientos del 20% al 30% mejores que; los de los secadores simples del modelo anterior; es posible acoplar el colector solar con otra fuente energética diferente para poder obtener un secador mixto. La *figura 31* (pág. 116) muestra un secador de paso directo y un modelo con circulación de aire y purga de agua.

El tercer tipo de secador solar permite un control completo de las condiciones de secado y puede también convertirse en un secador mixto, acoplándole otra fuente energética adicional. Este secador posee tres circuitos independientes de circulación del aire: el circuito interno que circula el aire en la cámara a través de la madera, el circuito solar que trasega el aire a través del colector solar, y el circuito de intercambio de aire con el exterior, que permite extraer de la cámara el aire cargado de humedad y reemplazarlo por aire ambiente. Por medio de un proceso automático, un control que regula las condiciones del secado arranca o para los circuitos de ventilación. Este tipo de secador acoplado a una fuente de calor que permita continuar el secado durante la noche, puede ser tan efectivo como los

deshumidificadores y los secadores convencionales. La figura 32 (pág.117) muestra un secador con tres circuitos independientes de ventilación.

convencionales.

## SISTEMAS ESPECIALES PARA SECAR MADERA

Para completar el panorama de los sistemas que existen para secar madera, se adjunta una breve descripción de los sistemas especiales que son prácticamente inexistentes en nuestro medio.

### SECADORES DE ALTA TEMPERATURA

**86**

Son cámaras similares a las convencionales pero que responden a condiciones más rígidas de funcionamiento, puesto que la madera se expone a una mezcla de aire y vapor a temperaturas de 120°C y velocidades de 5 a 7 metros por segundo. Son aparatos costosos y de control delicado que reducen a una tercera parte el tiempo de secado empleado en los secadores

## SECADORES DE VACIO

El secado al vacío logra mayor rapidez en la evacuación del agua de la madera, así como su ebullición a temperaturas relativamente bajas. Se realiza en cámaras cilíndricas de acero, con tapas esféricas, que resisten a la presión atmosférica cuando se hace el vacío al interior; disponen de un medio de aporte de calor (resistencias o intercambiadores), de un dispositivo para eliminar el agua y de los controles para regular el proceso de secado.

Existen secadores de vacío hasta de unos 20 M<sup>3</sup> de capacidad, a los cuales se introduce la madera por medio de rieles que soportan vagonetas. Este sistema sofisticado puede reducir el tiempo de secado a una quinta parte, respecto al tiempo empleado en los secadores convencionales.

## OTROS METODOS DE SECADO

El secado por medio de micro-ondas se lleva a cabo en aparatos que funcionan en forma similar a los hornos micro-ondas que se utilizan en las cocinas, con base en ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia.

El secado se comporta de manera similar al secado clásico con aire caliente y húmedo,

pero el tiempo de secado se reduce de manera significativa.

El secado químico presenta sobre todo un interés técnico de poca utilidad práctica. Se basa en la utilización de productos hidrófilos (que absorben el agua) como ciertas soluciones de cloruro de sodio; al contacto con la madera aceleran la salida del agua.

El secado a alta presión consiste en lograr la evacuación del agua prensando la madera. Es un procedimiento poco práctico que tiene, como el secado químico, un interés ante todo técnico.

El secado a alta frecuencia se efectúa colocando un cuerpo resistente al paso de la corriente (como la madera) entre dos electrodos conectados a un generador de alta frecuencia; el cuerpo se constituye en un condensador dieléctrico que se calienta desde el centro hacia afuera por efecto de una fuerte agitación molecular. Estos secadores se utilizan para secado de hormas de madera, cachas de armas y otras piezas especiales.

El secado por radiación infrarroja y por radiación electromagnética consiste en el calentamiento de la madera sometida al efecto de estas radiaciones, que no son visibles. Son procedimientos poco desarrollados que pueden reducir a algunas horas el proceso de secado.

Finalmente, el secado por efecto Joule consiste en hacer pasar una corriente eléctrica a través de la madera húmeda, entre dos electrodos llamados ánodo y cátodo. El resultado es variable según la humedad contenida en la madera y la proximidad al ánodo o electrodo positivo. Es aún el método experimental de reducida utilización.

## CONCLUSIONES

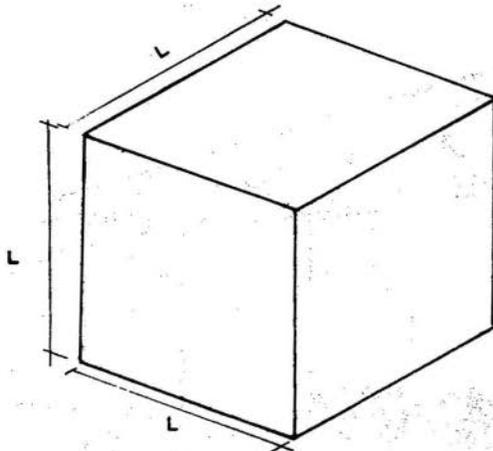
Las cámaras para secar madera deben poseer ciertas características mínimas para lograr su cometido. Esta es una condición constante para todos los secadores térmicos de madera, cualesquiera sean el tipo de secador y su sistema de producción del calor.

Los secadores sólo funcionan de manera correcta si son bien operados sus controles (que pueden reducirse a un sicrómetro) y se conduce el proceso de manera consecuente, según un programa de secado que tiene en cuenta la especie y las dimensiones de la madera.

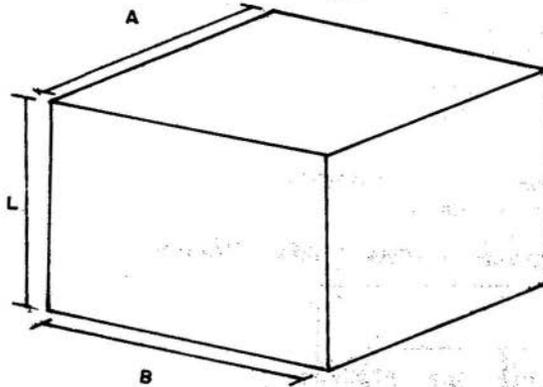
Existe una amplia gama de aparatos para secar madera; varían en precio, tiempo de secado y calidad de la madera obtenida. Entre las cámaras de secado presentadas en este capítulo, es posible escoger algún modelo que se adapte a las condiciones particulares de cada utilizador.

# Figuras y Tablas

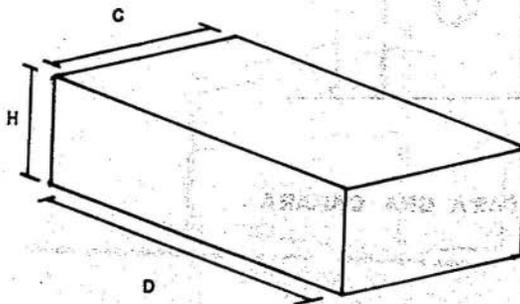
## CAPITULO 4



CUBO - Volumen teórico ideal.



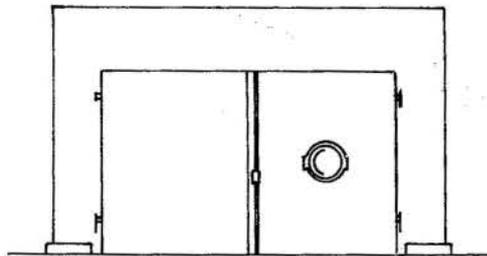
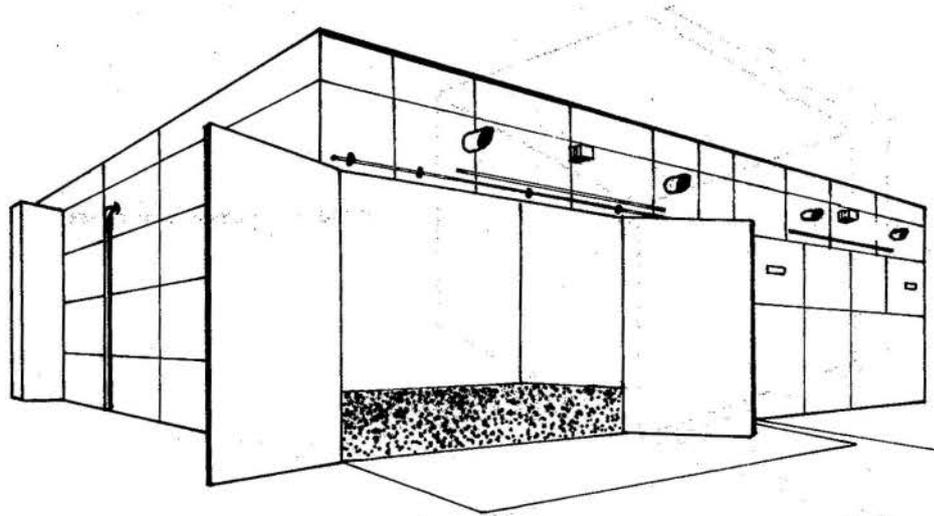
Volumen corriente dictado por la práctica del secado.



TUNEL.- Otro volumen corriente y práctico.

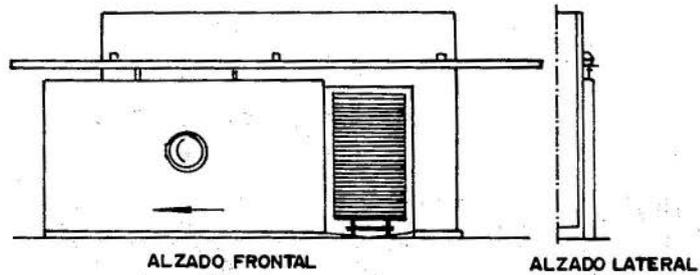
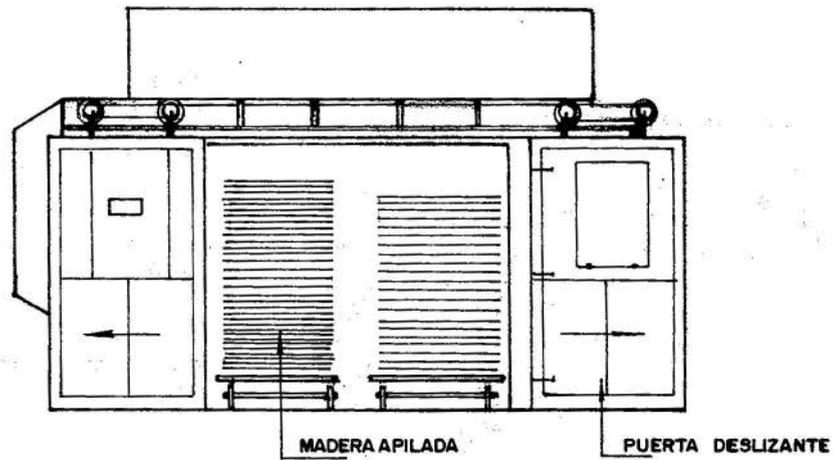
**Fig 14. PROPORCIONES DE UNA CAMARA DE SECADO.**

PUERTA DE BATIENTES



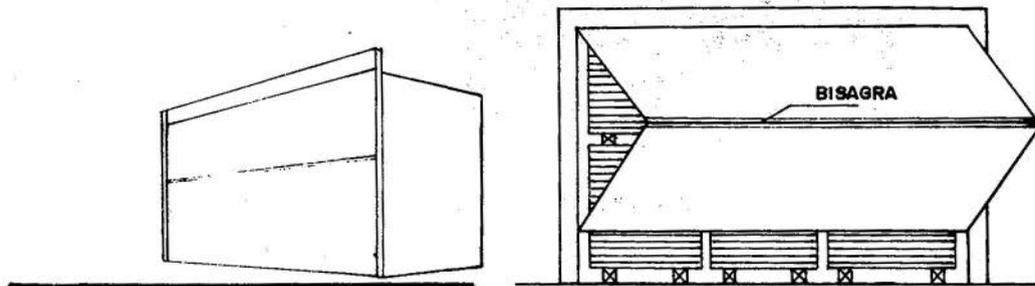
90

Fig 15 SISTEMAS DE PUERTA PARA UNA CAMARA DE SECADO

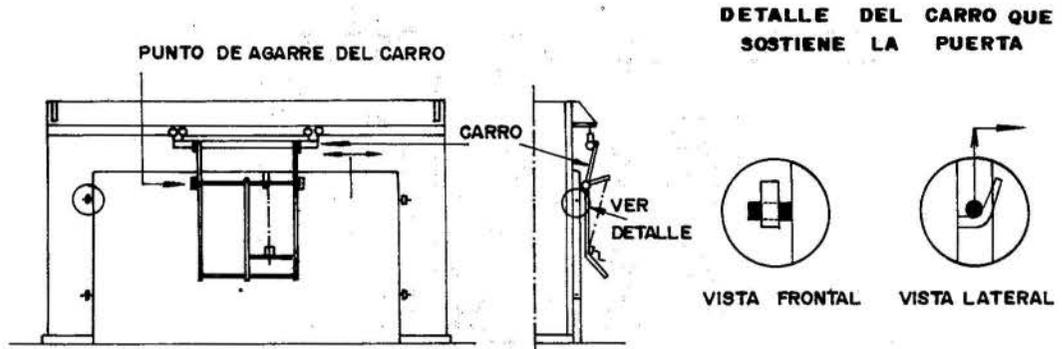


**PUERTAS DESLIZANTES HACIA LOS COSTADOS**

**PUERTA DE BISAGRA HORIZONTAL**



**Fig 15 SISTEMAS DE PUERTA PARA UNA CAMARA DE SECADO**



PUERTA DESLIZANTE DESPEGABLE

PUERTA DE GUILLOTINA

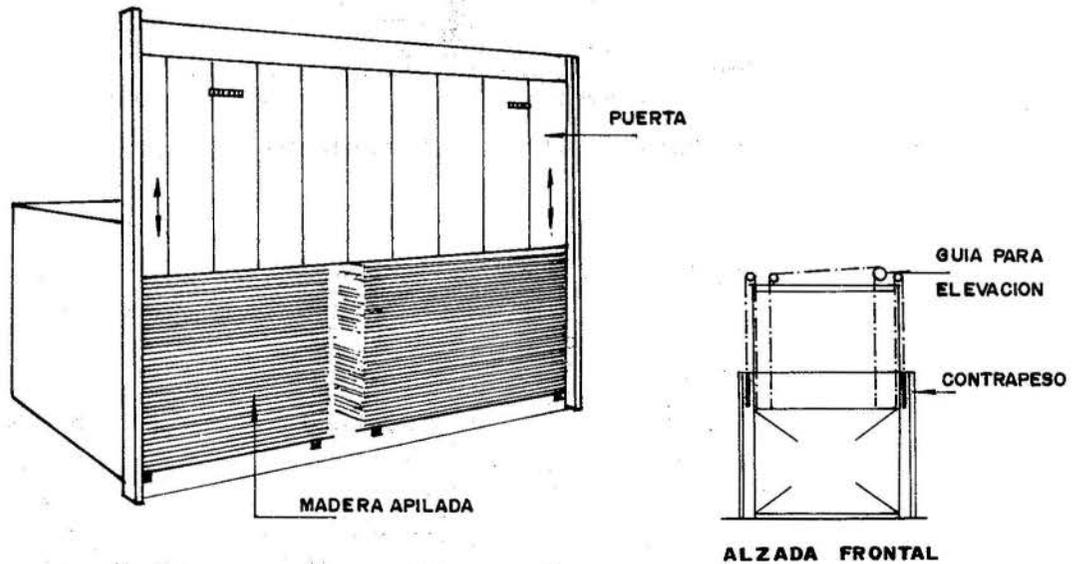
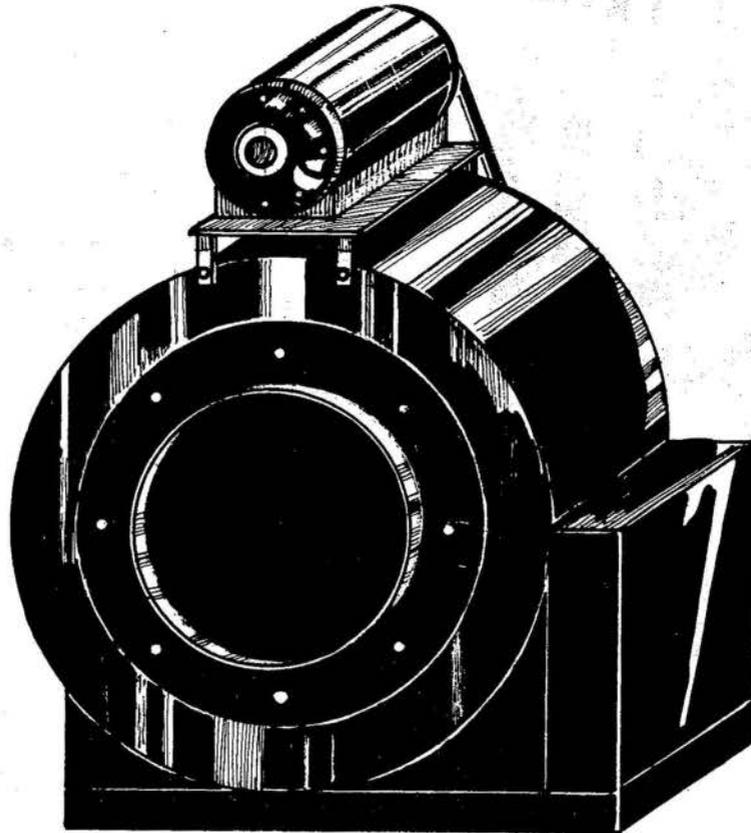
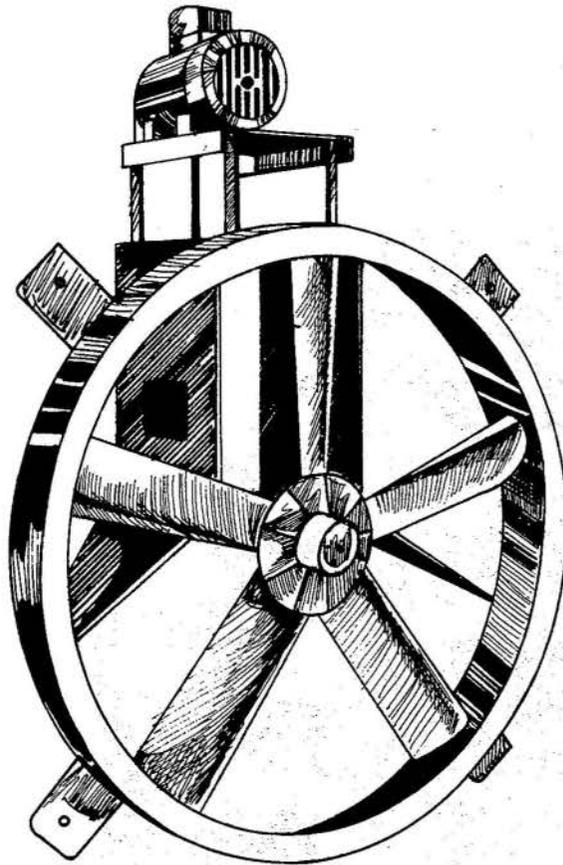


Fig 15. SISTEMAS DE PUERTA PARA UNA CAMARA DE SECADO.

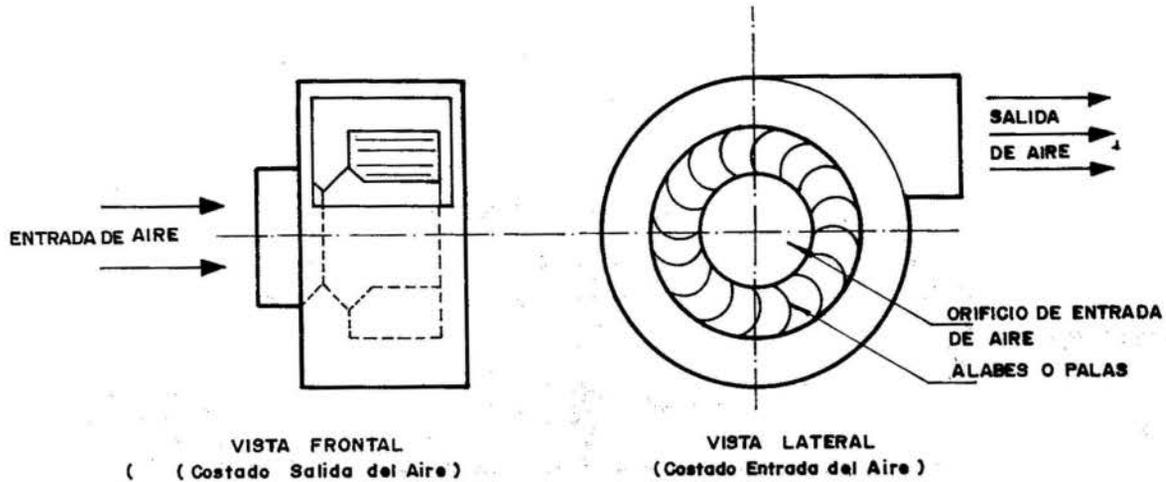
VENTILADOR CENTRIFUGO



**Fig 16.** DOS TIPOS DE VENTILADORES UTILIZADOS EN CAMARAS DE SECADO.

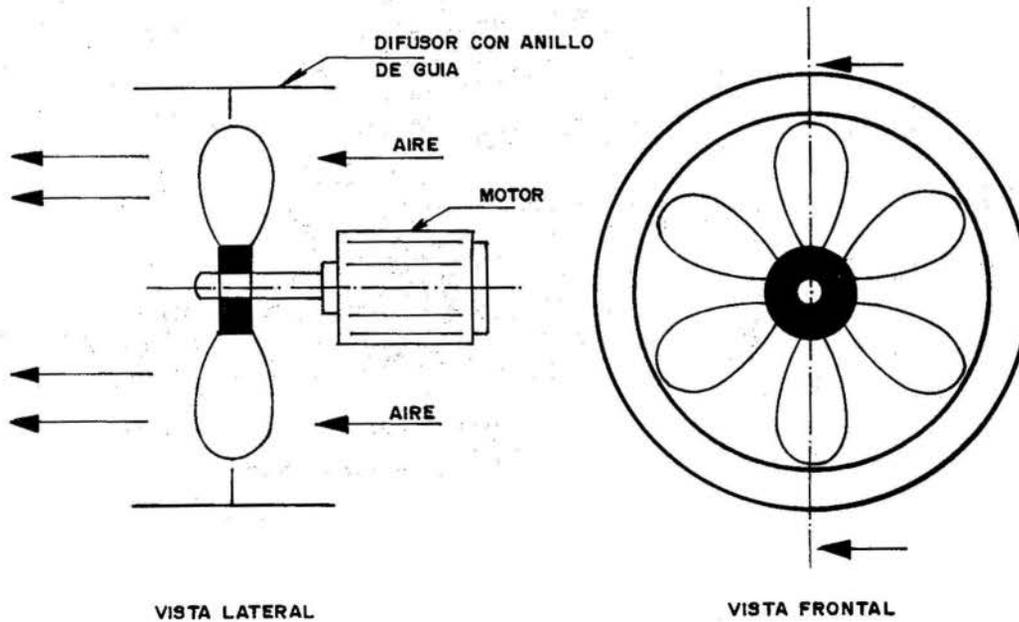


VENTILADOR AXIAL  
CON MOTOR ENCIMA

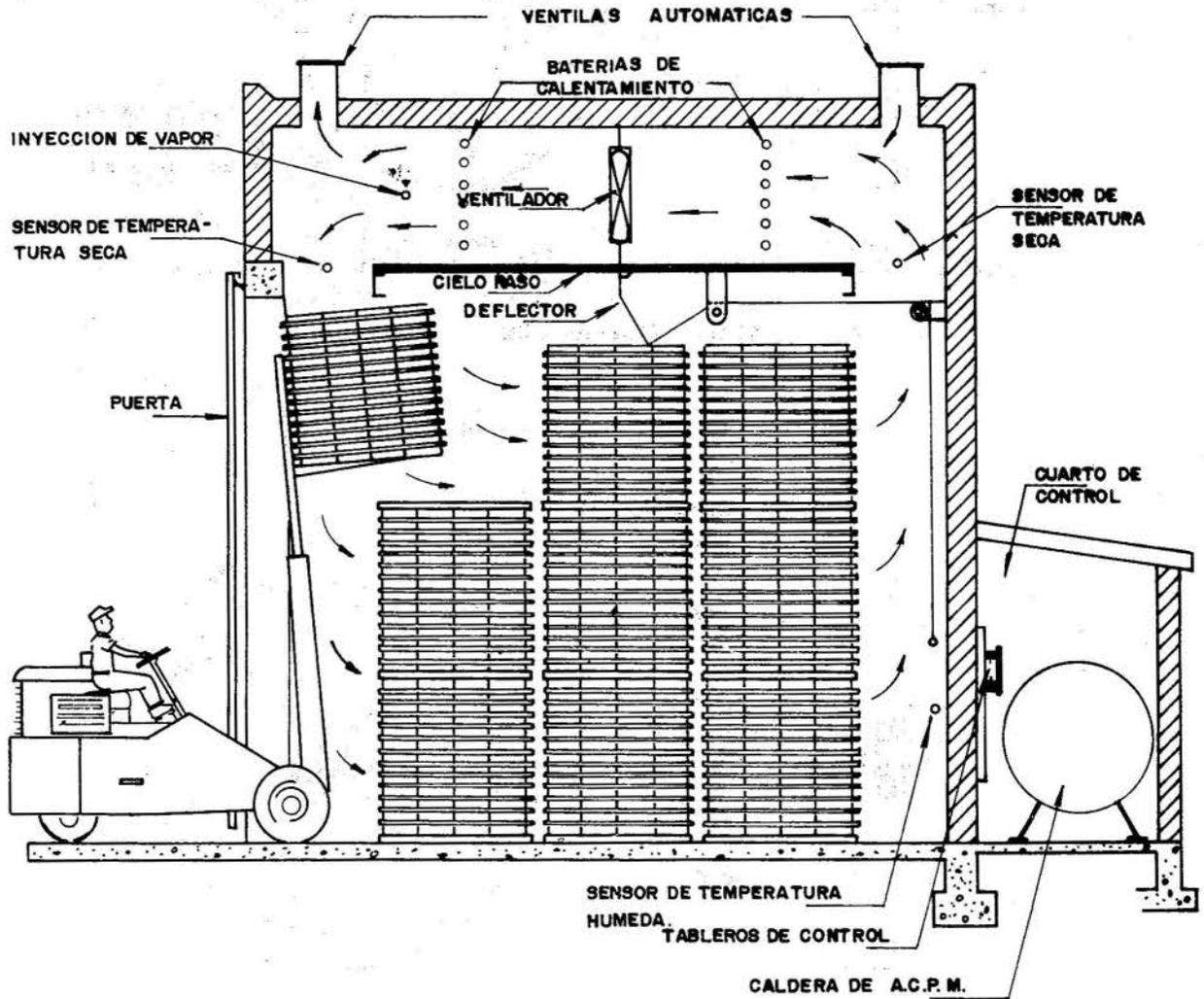


**VENTILADOR CENTRIFUGO (RADIAL)**

**VENTILADOR AXIAL (HELICOIDAL)**

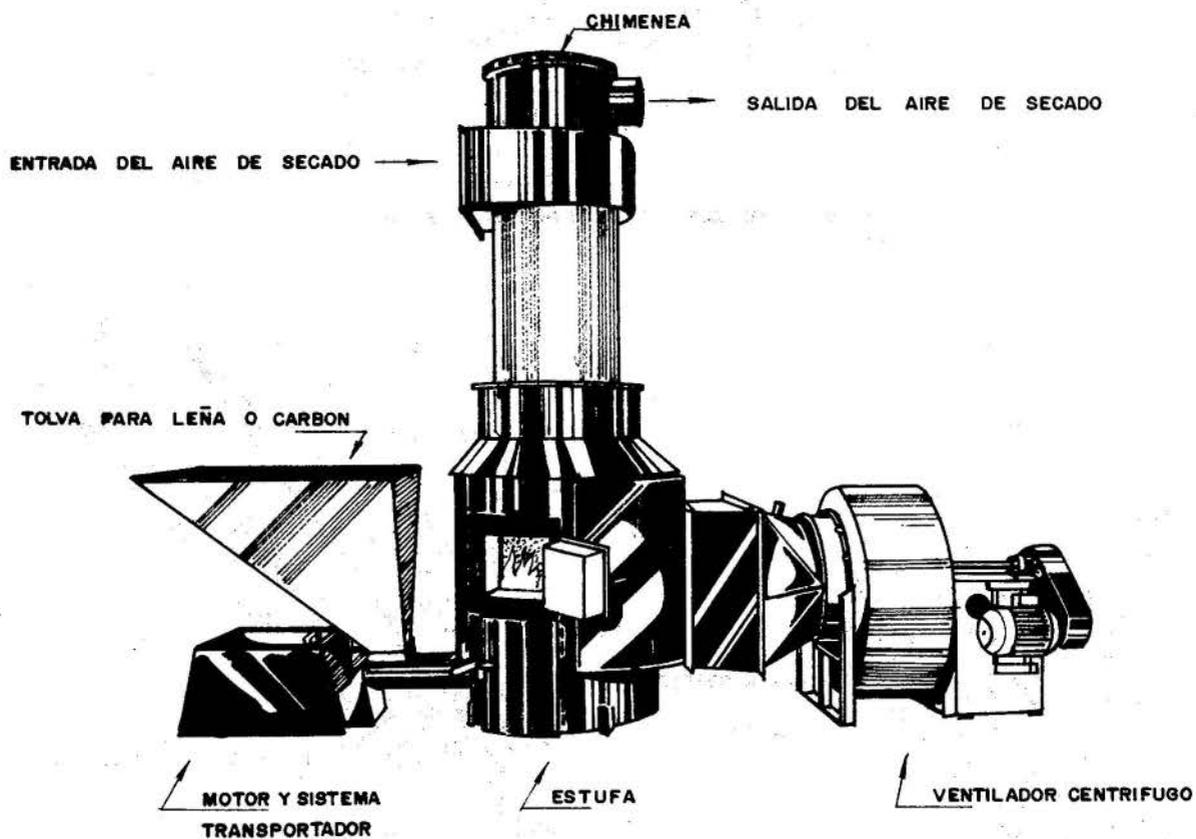


**Fig 16 DOS TIPOS DE VENTILADORES UTILIZADOS EN CAMARAS DE SECADO.**

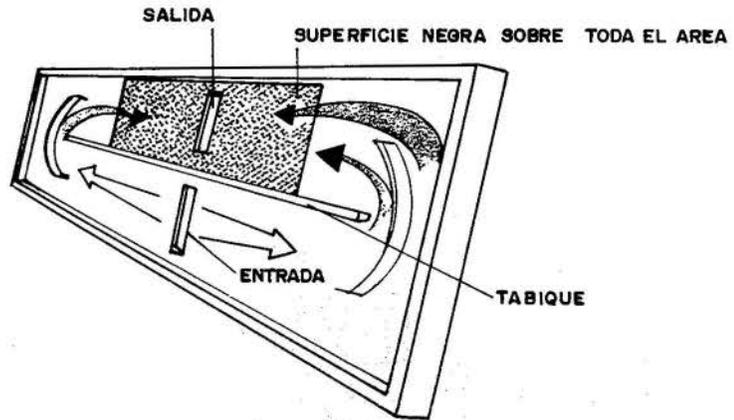


96

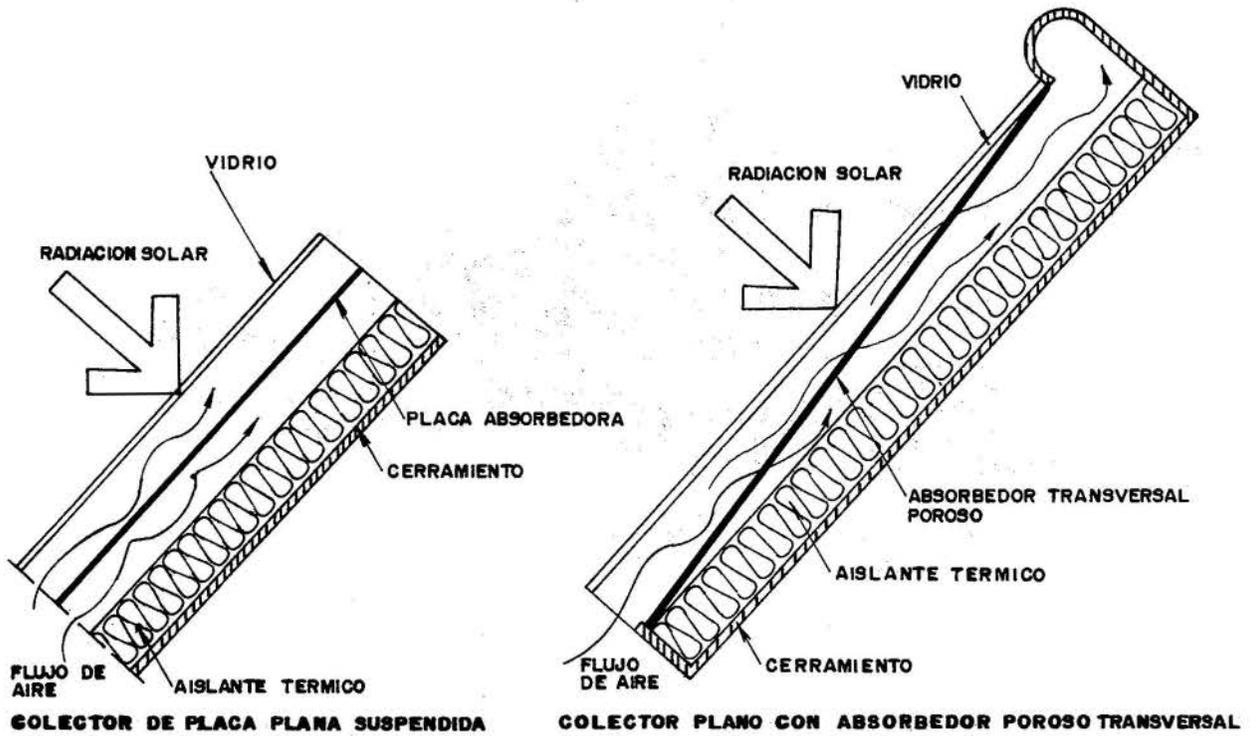
Fig 17 CAMARAS DE SECADO CON CALDERA COMO FUENTE ENERGETICA



**Fig 18.** ESTUFA DE LEÑA O CARBON CON INTERCAMBIADOR PARA CALENTAR EL AIRE SECADO (Tomado del folleto de PREMAC)

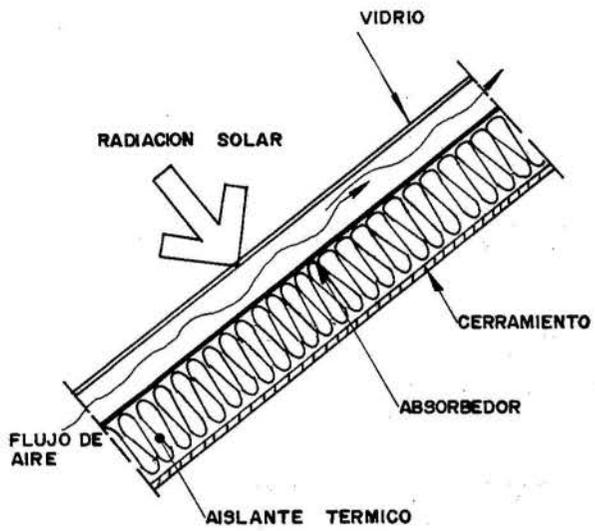


FLUJO DE AIRE EN UN COLECTOR SOLAR

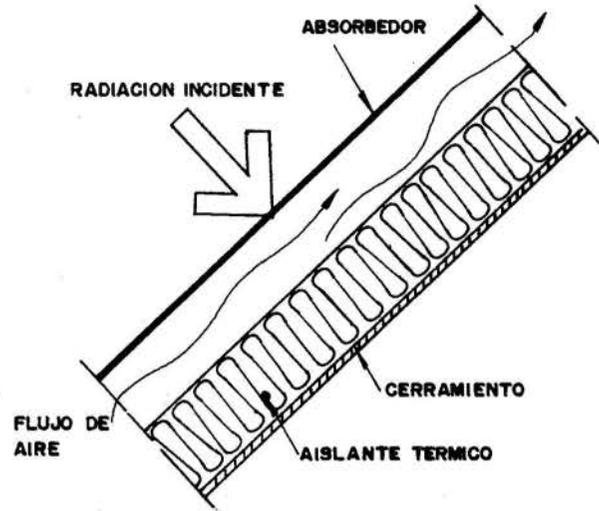


98

Fig 19. COLECTORES SOLARES DE AIRE



COLECTOR PLANO CON ABSORBEDOR RECUBIERTO



COLECTOR PLANO CON ABSORBEDOR EXPUESTO

COLECTOR DE PLACA ONDULADA

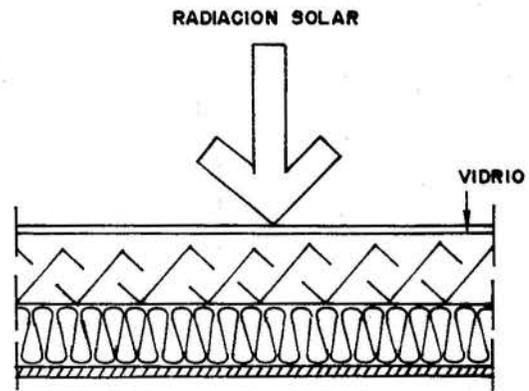
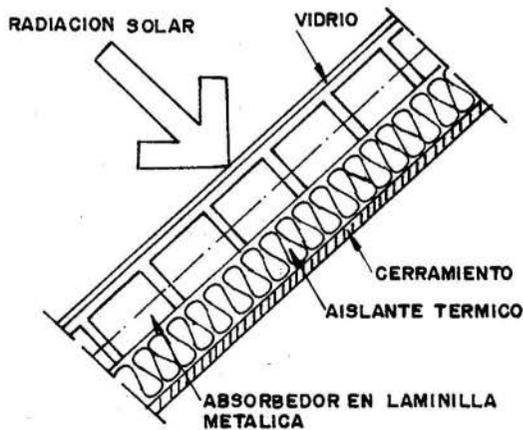
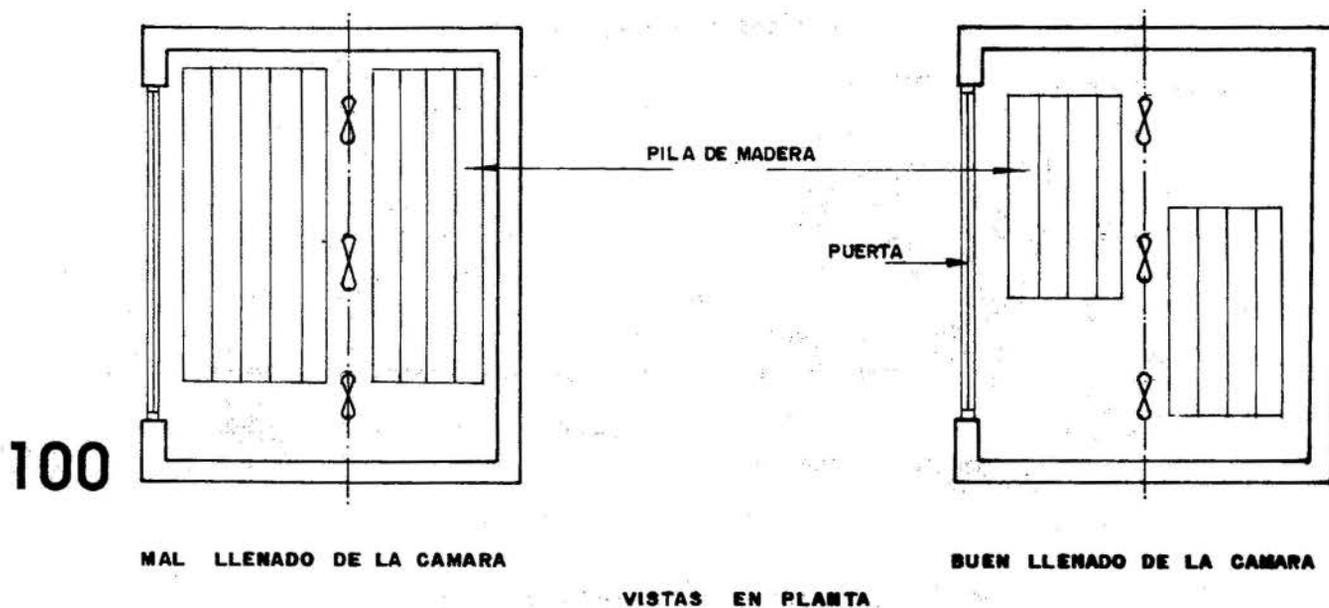
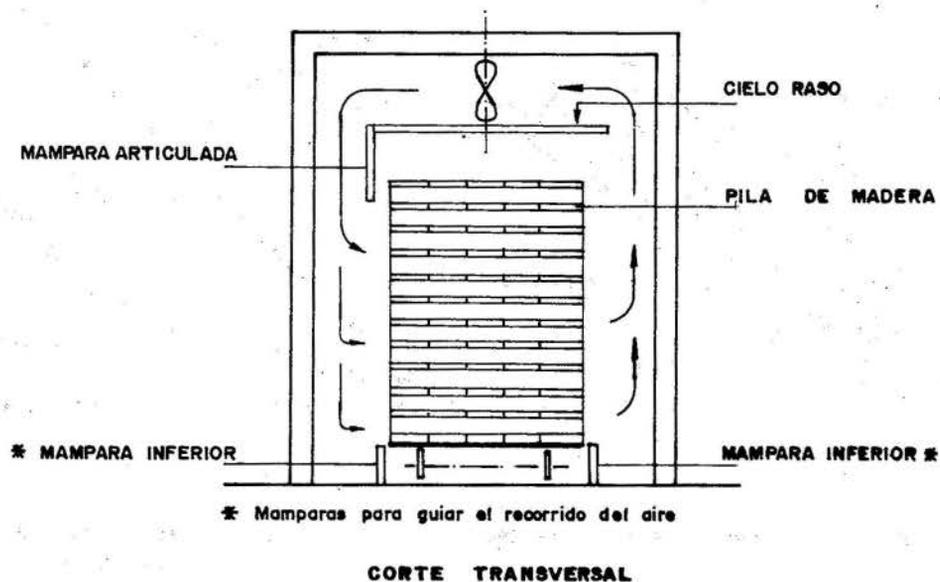
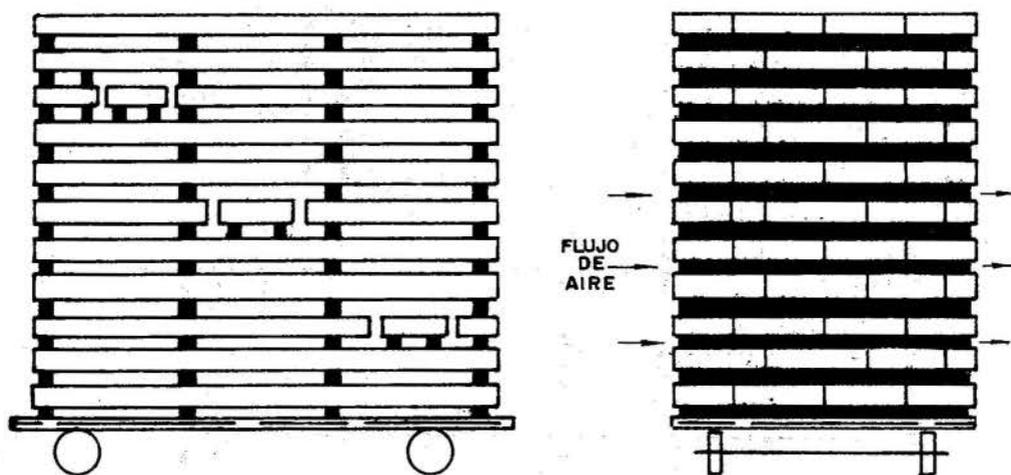


Fig 19. COLECTORES SOLARES DE AIRE



**Fig 20.** SOLUCION A MALOS RECORRIDOS DEL AIRE Y A TAMAÑO INSUFICIENTE DE PILAS DENTRO DE UNA CAMARA DE SECADO.



**Fig 21. DISTRIBUCION DE MUESTRAS DENTRO DE UNA CAMARA DE SECADO**

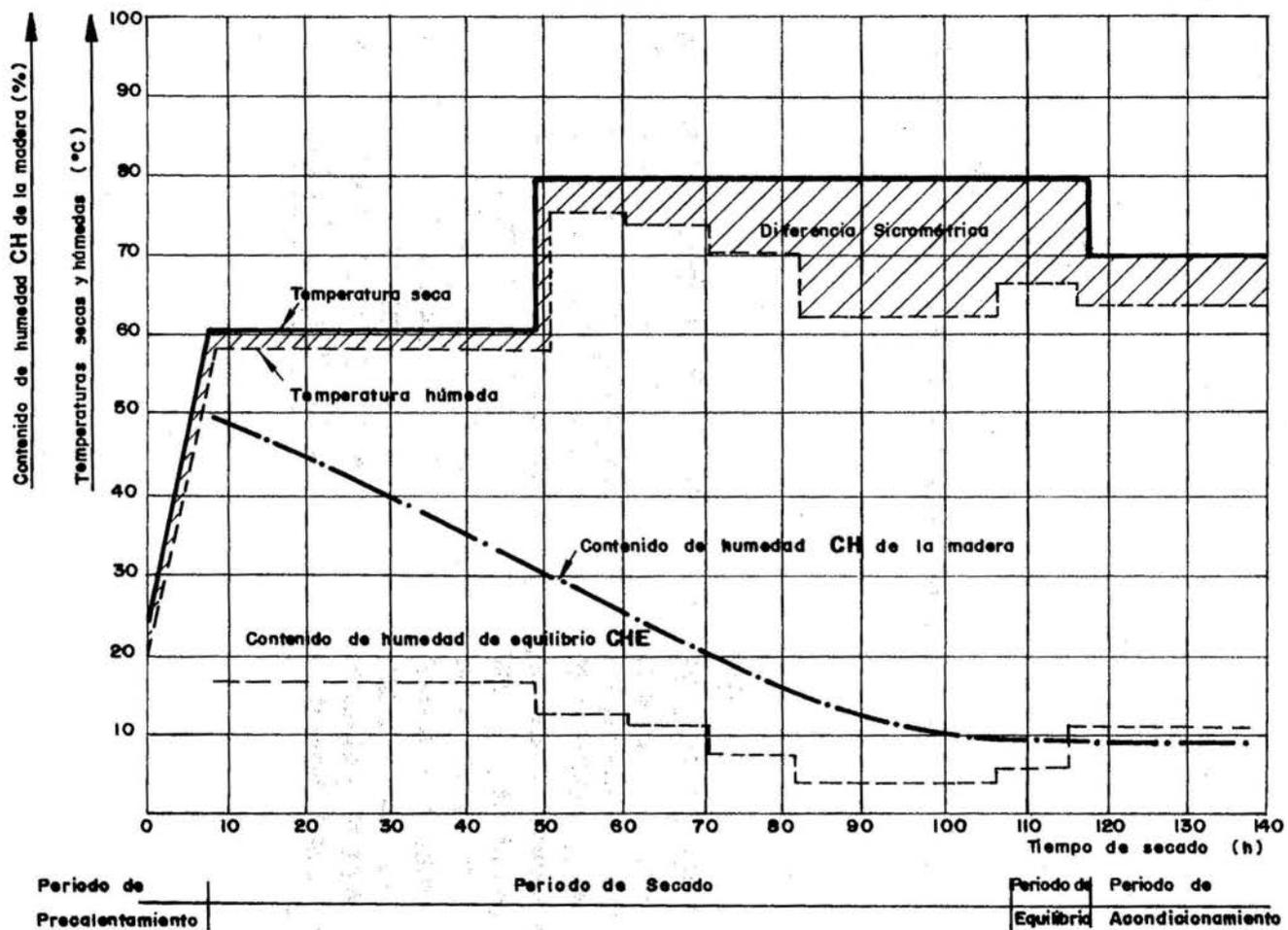
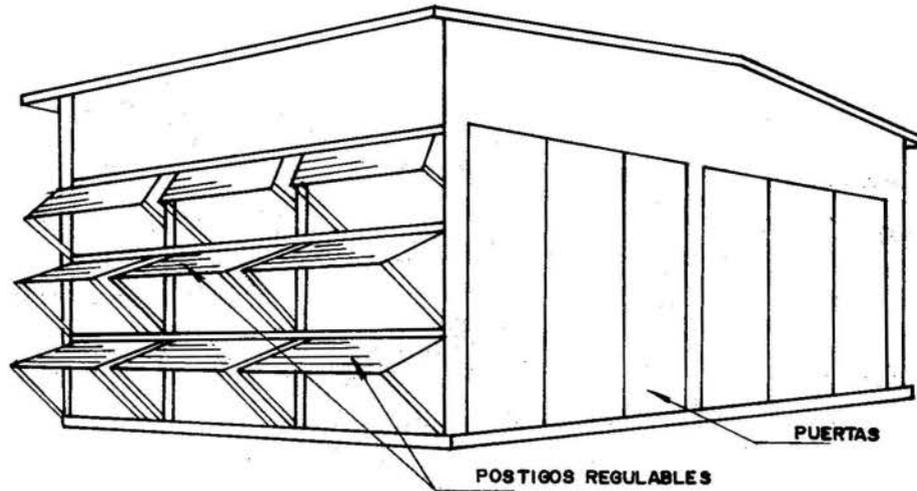
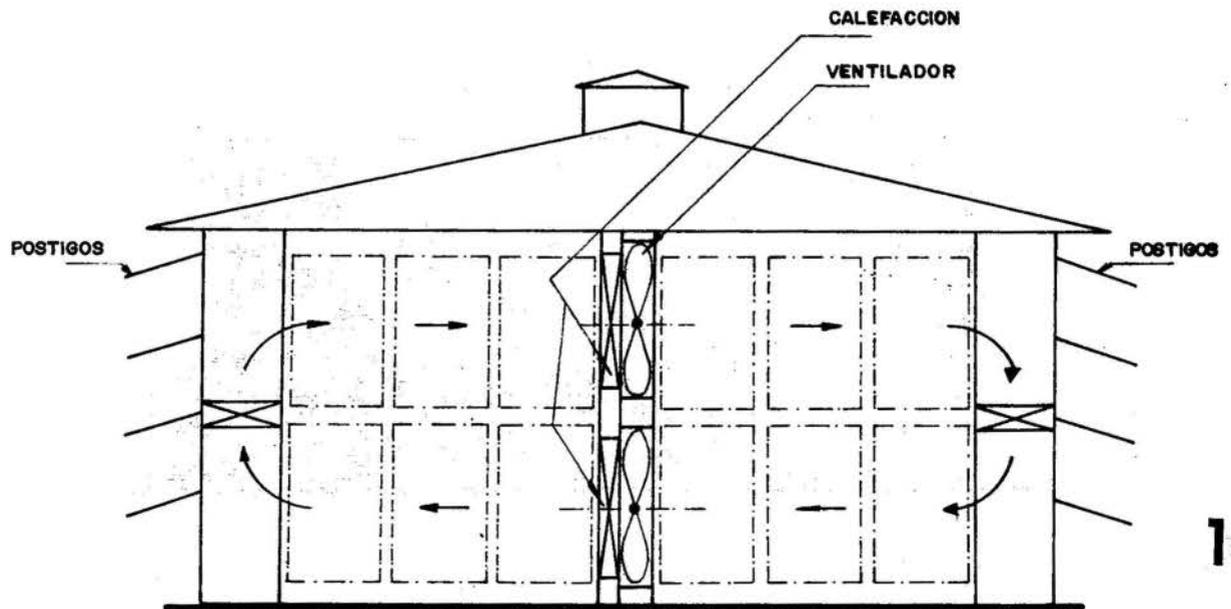


Fig 22.

DIAGRAMA DE UN SECADO CONTROLADO POR SICROMETRO

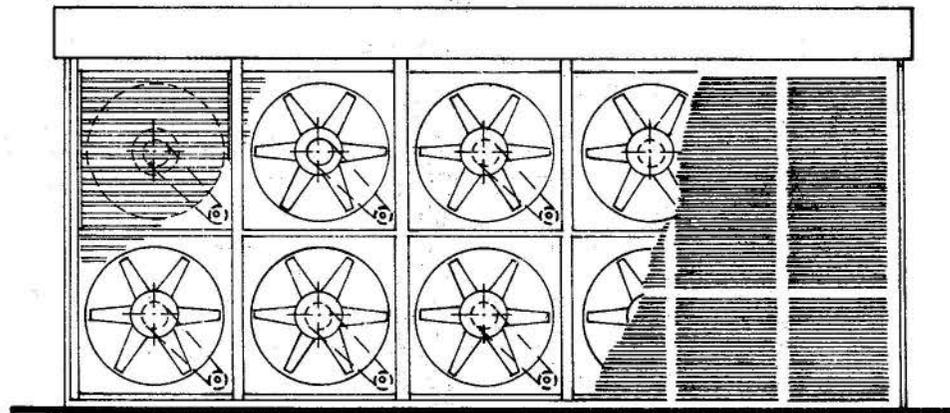
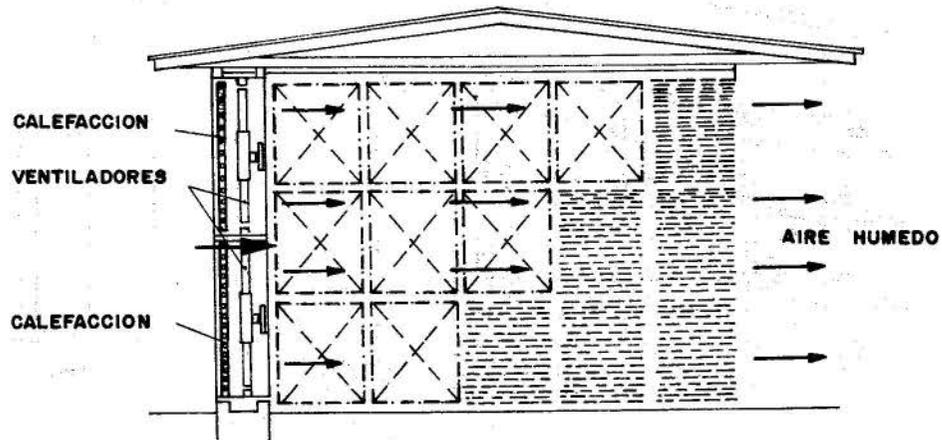


PRESECADOR BAJO TECHO CON CIRCULACION NATURAL DEL AIRE



PRESECADOR CON CALEFACCION Y POSIBLE RECIRCULACION DEL AIRE ( POSTIGOS CERRADOS ).

Fig 23. MODELOS DE PRESECADORES.



104

PRESECADOR CON CALEFACCION

Fig 23. MODELOS DE PRESECADORES

Viene de la página anterior

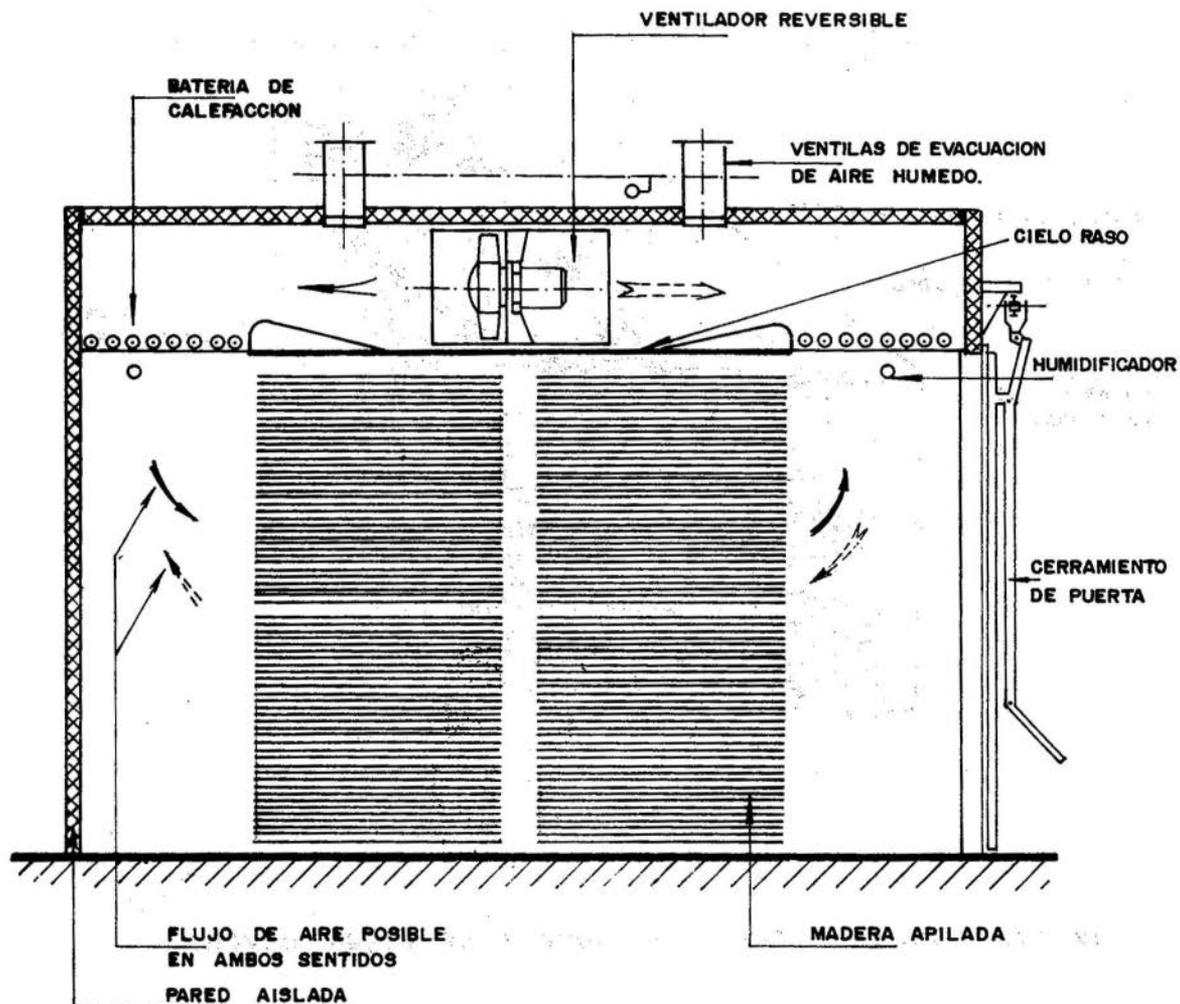


Fig 24. SECADOR CON VENTILADORES DE FLUJO REVERSIBLE.

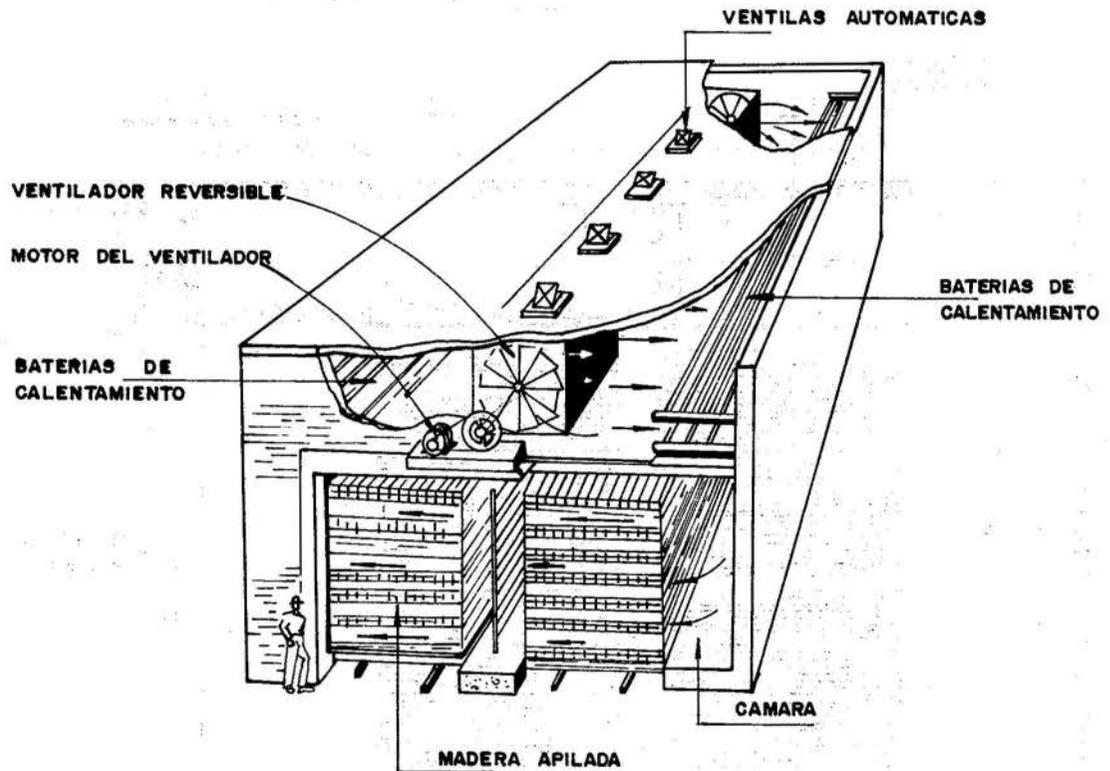


Fig 24. SECADOR CON VENTILADORES DE FLUJO REVERSIBLE.

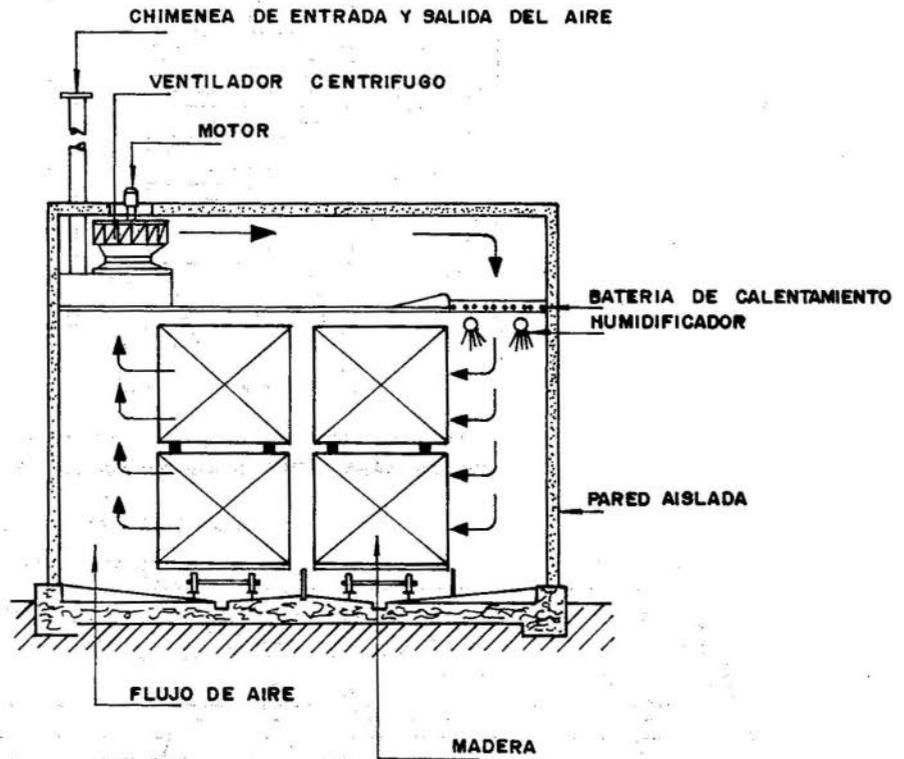
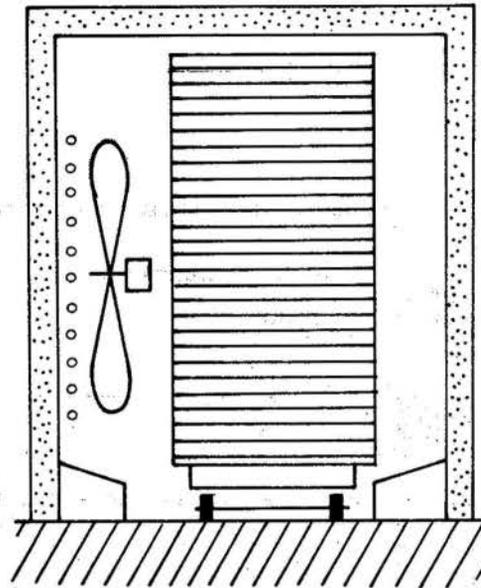
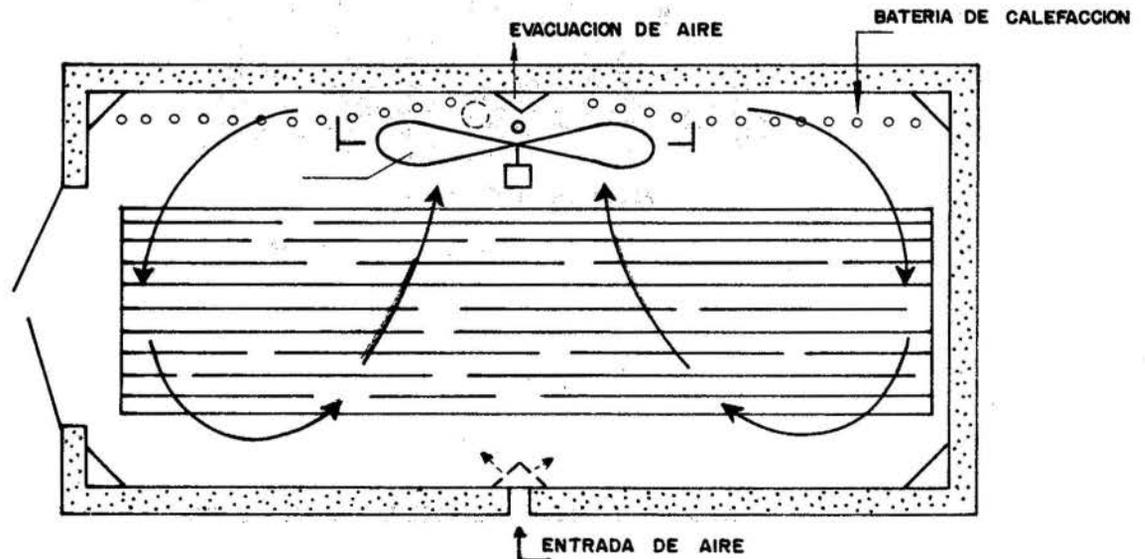


Fig 25.

SECADOR CON VENTILADOR CENTRIFUGO



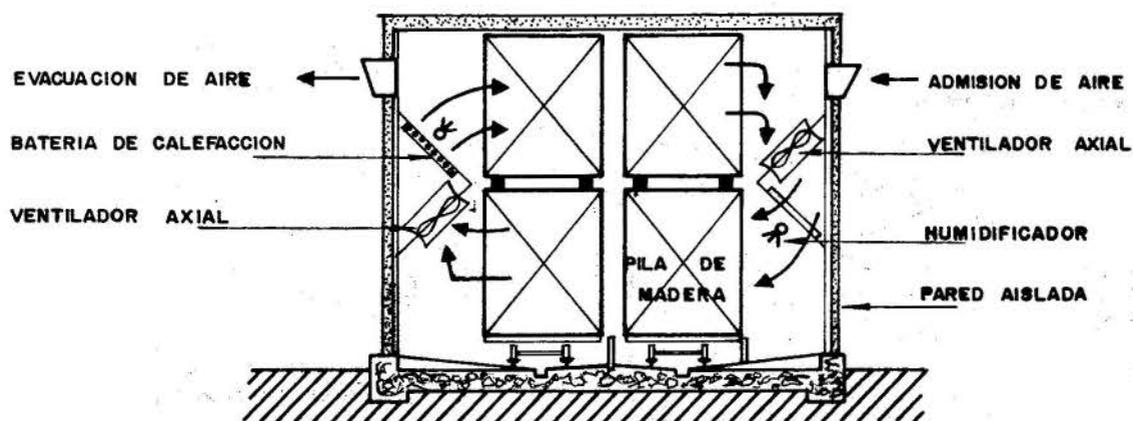
**CORTE TRANSVERSAL DE UN SECADOR  
CON UN GRAN VENTILADOR EN UN COSTADO**



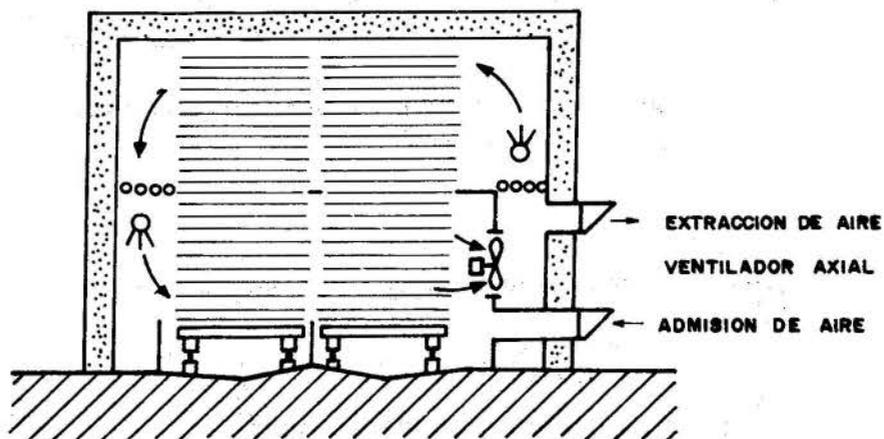
**VISTA EN PLANTA**

108

**Fig 26. SECADORES CON VENTILADORES EN LOS COSTADOS LATERALES**



CORTE TRANSVERSAL DE UN SECADOR CON VENTILACION LATERAL INCLINADA



CORTE TRANSVERSAL DE UN SECADOR TRADICIONAL CON VENTILACION LATERAL VERTICAL

Fig 26. SECADORES CON VENTILADORES EN LOS COSTADOS LATERALES

Viene de la página anterior

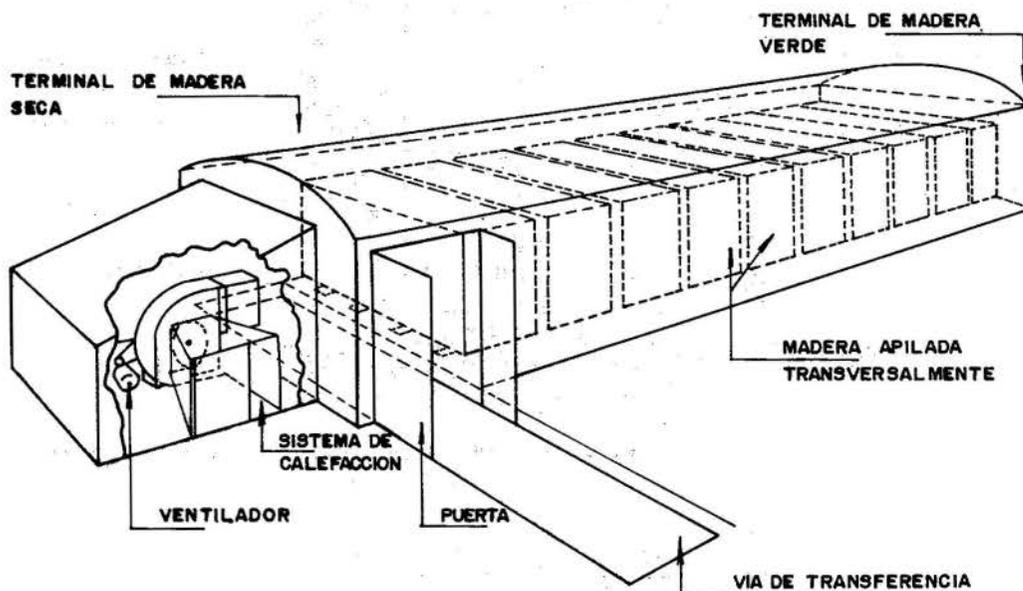


FIG 27 TUNEL DE SECADO CONTINUO

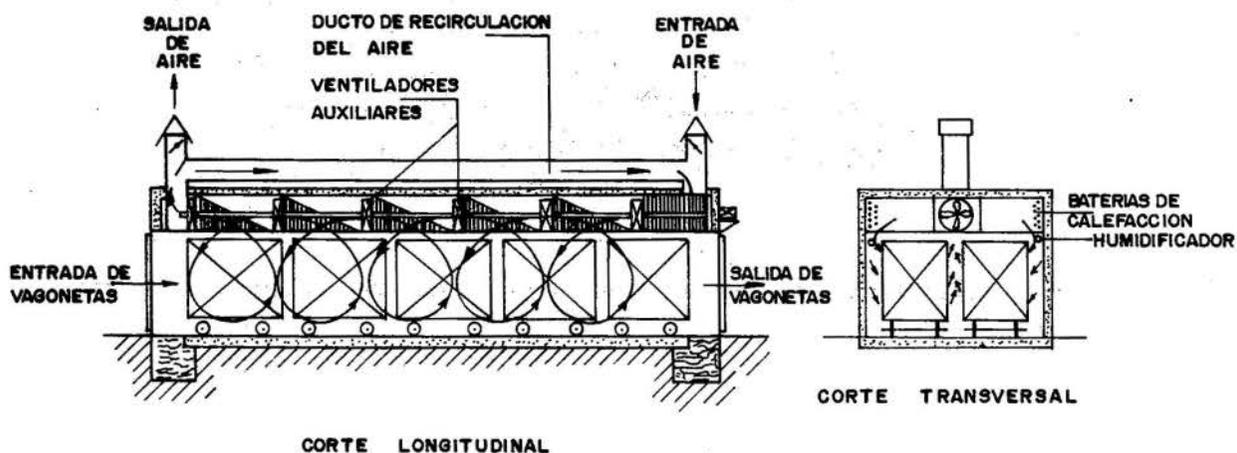


Fig 27. TUNEL DE SECADO CON VENTILADORES MULTIPLES

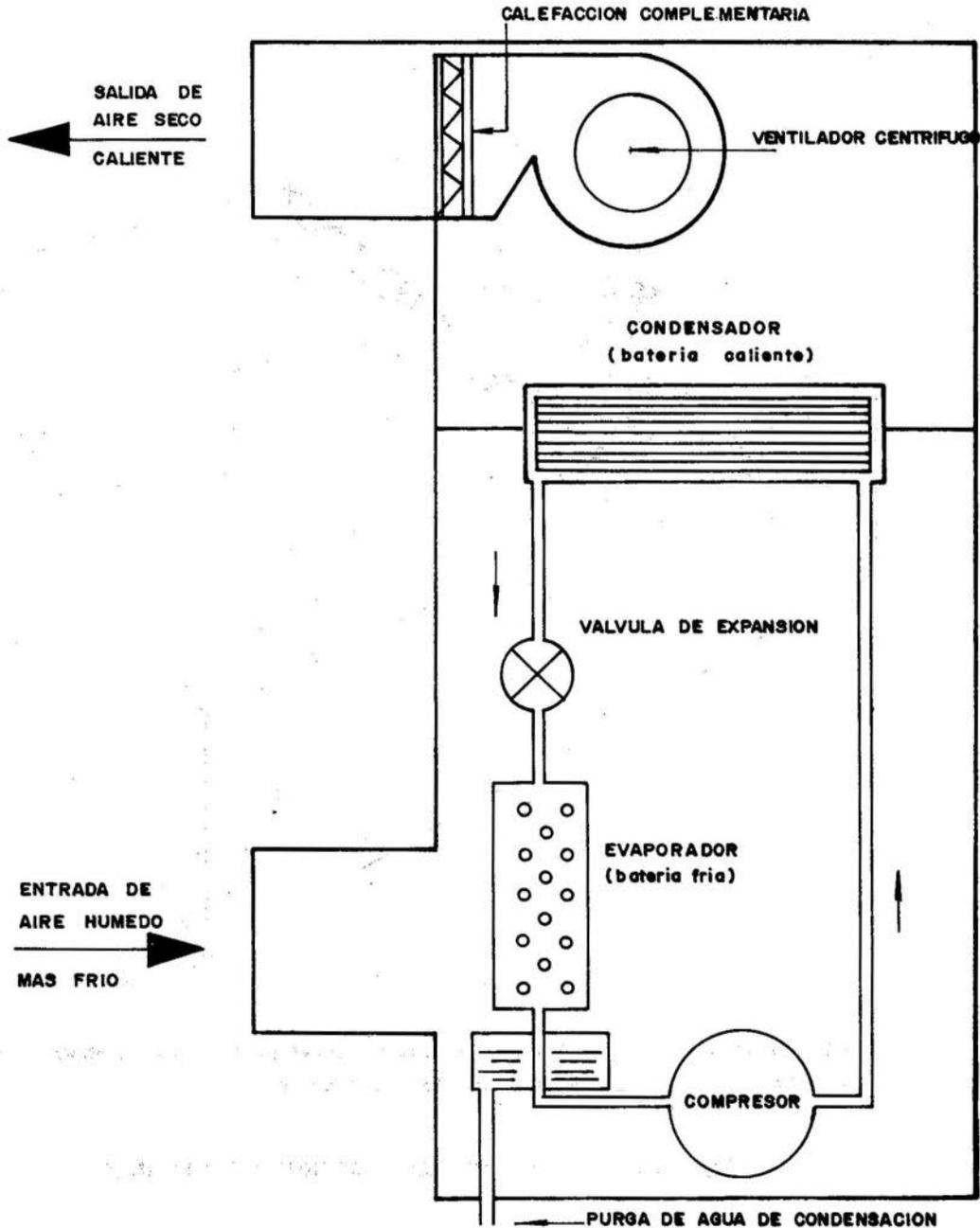
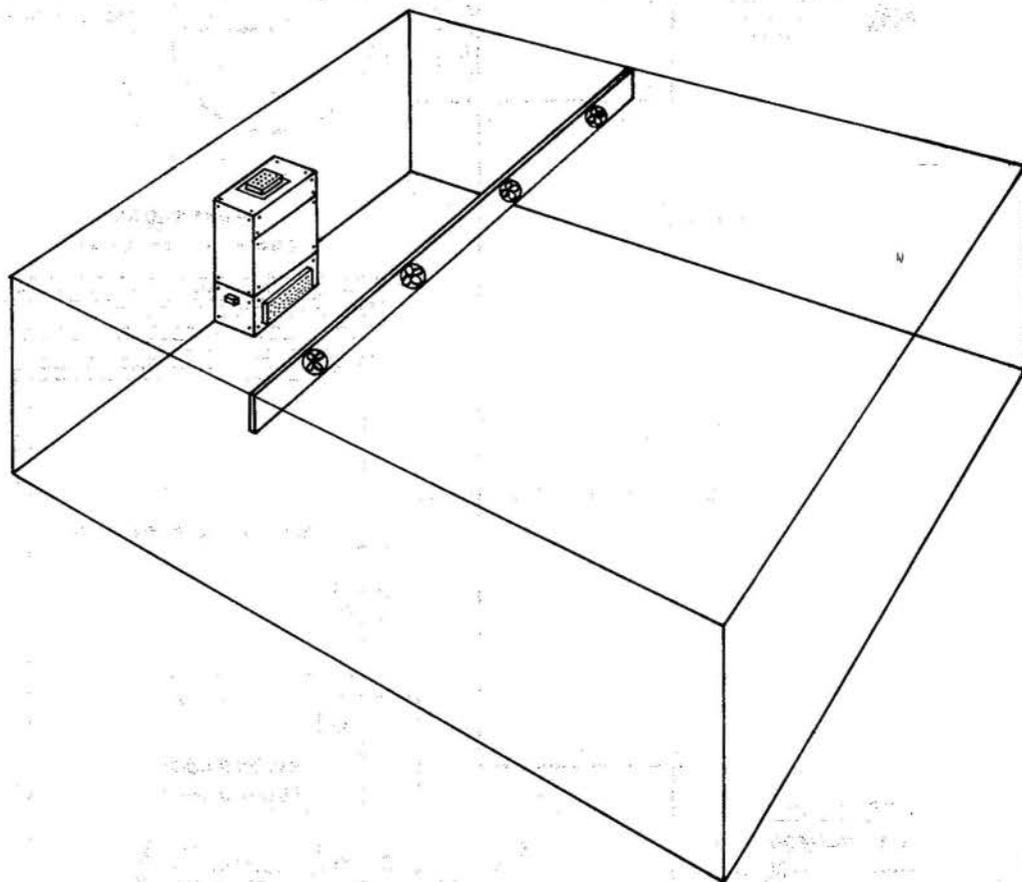


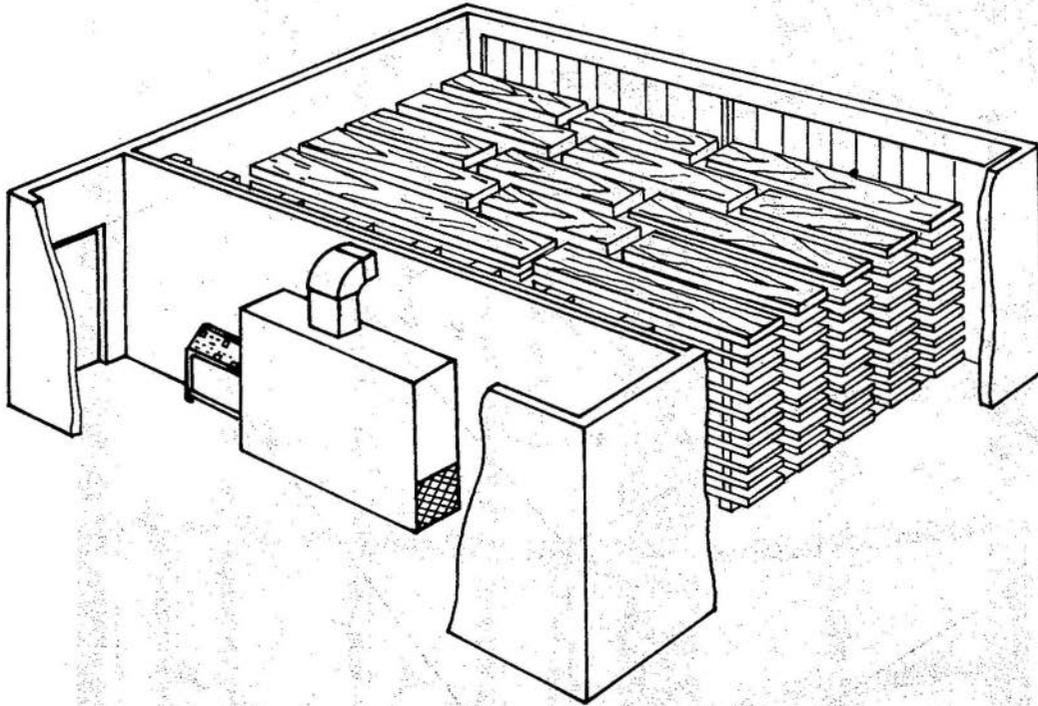
Fig 28. CIRCUITO FRIGORIFICO DE UN DESHUMIDIFICADOR



112

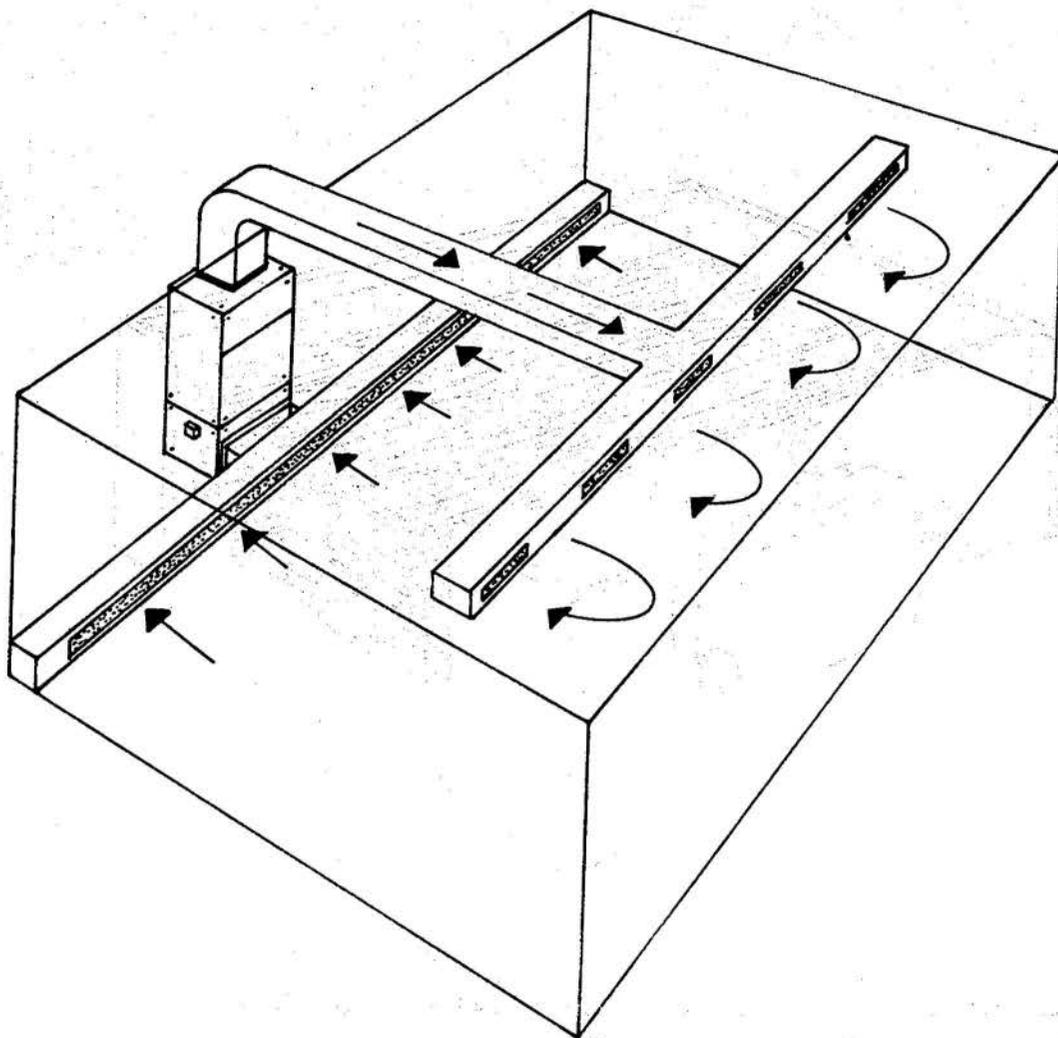
DESHUMIDIFICADOR CON BOMBA DE CALOR INTEGRADA A LA CAMARA DE SECADO Y VENTILADORES AXIALES SUPERIORES.

*Fig 29.* MODELOS DE DESHUMIDIFICADORES.



DESHUMIDIFICADOR CON BOMBA DE CALOR SEPARADA DE LA CAMARA DE SECADO Y DUCTOS PARA DISTRIBUCION DEL AIRE.

Fig 29. MODELOS DE DESHUMIDIFICADORES.

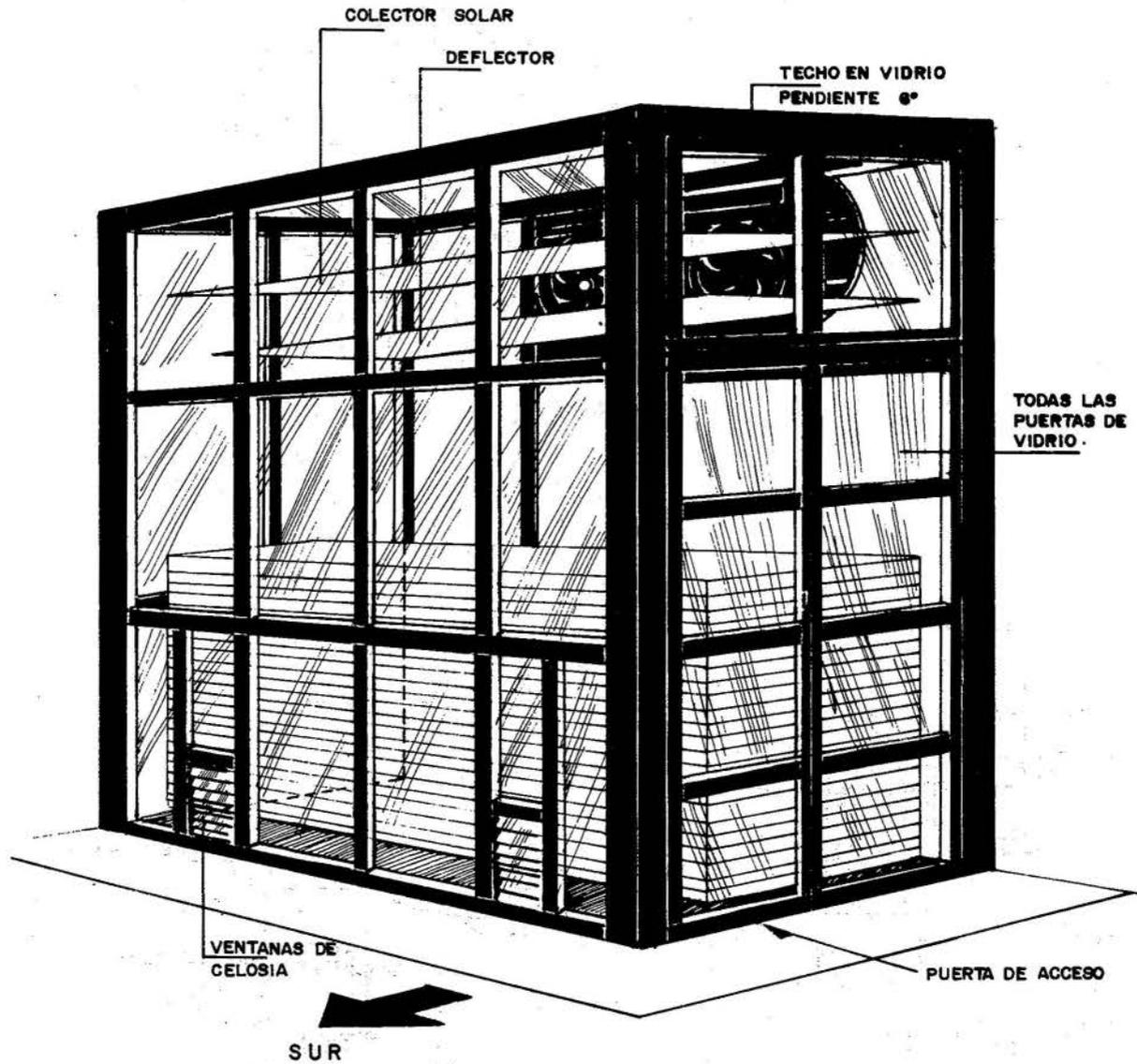


DESHUMIDIFICADOR CON BOMBA DE CALOR SEPARADA DE LA CAMARA DE SECADO Y DUCTOS PARA DISTRIBUCION DEL AIRE.

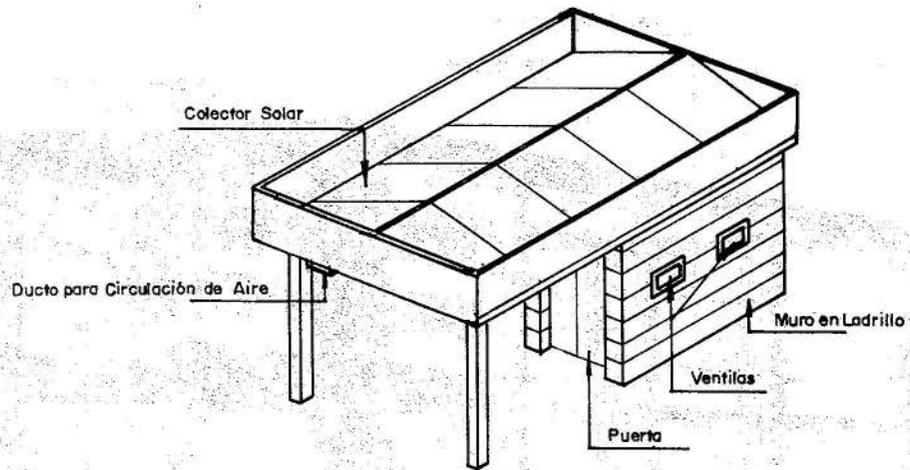
114

**Fig 29. MODELOS DE DESHUMIDIFICADORES**

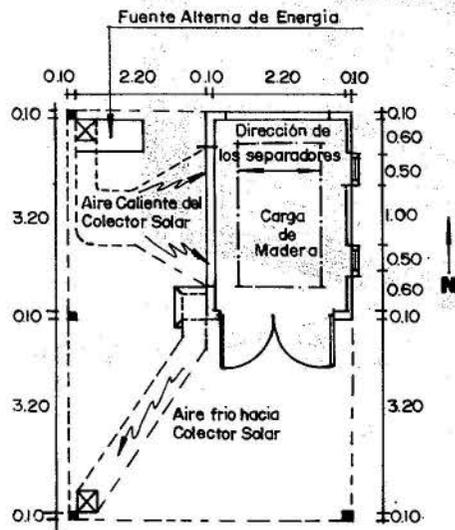
*Viene de la página anterior*



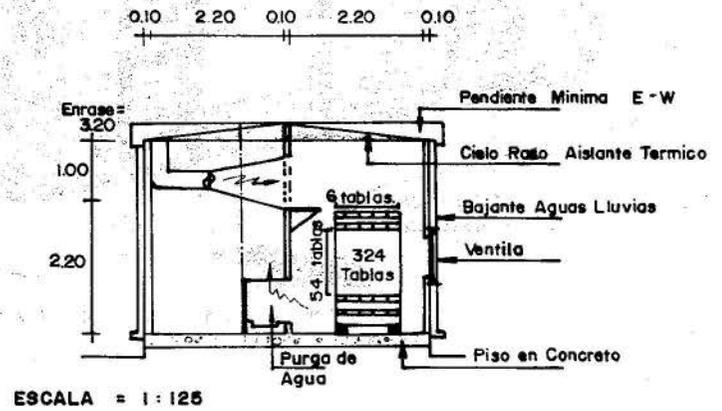
**Fig 30. SECADOR SOLAR CON COLECTOR INTEGRADO**



**Vista en Planta**



**Corte Transversal**



116

**Fig. 31. SECADOR SOLAR DE PASO DIRECTO Y CON RECIRCULACION DE AIRE.**

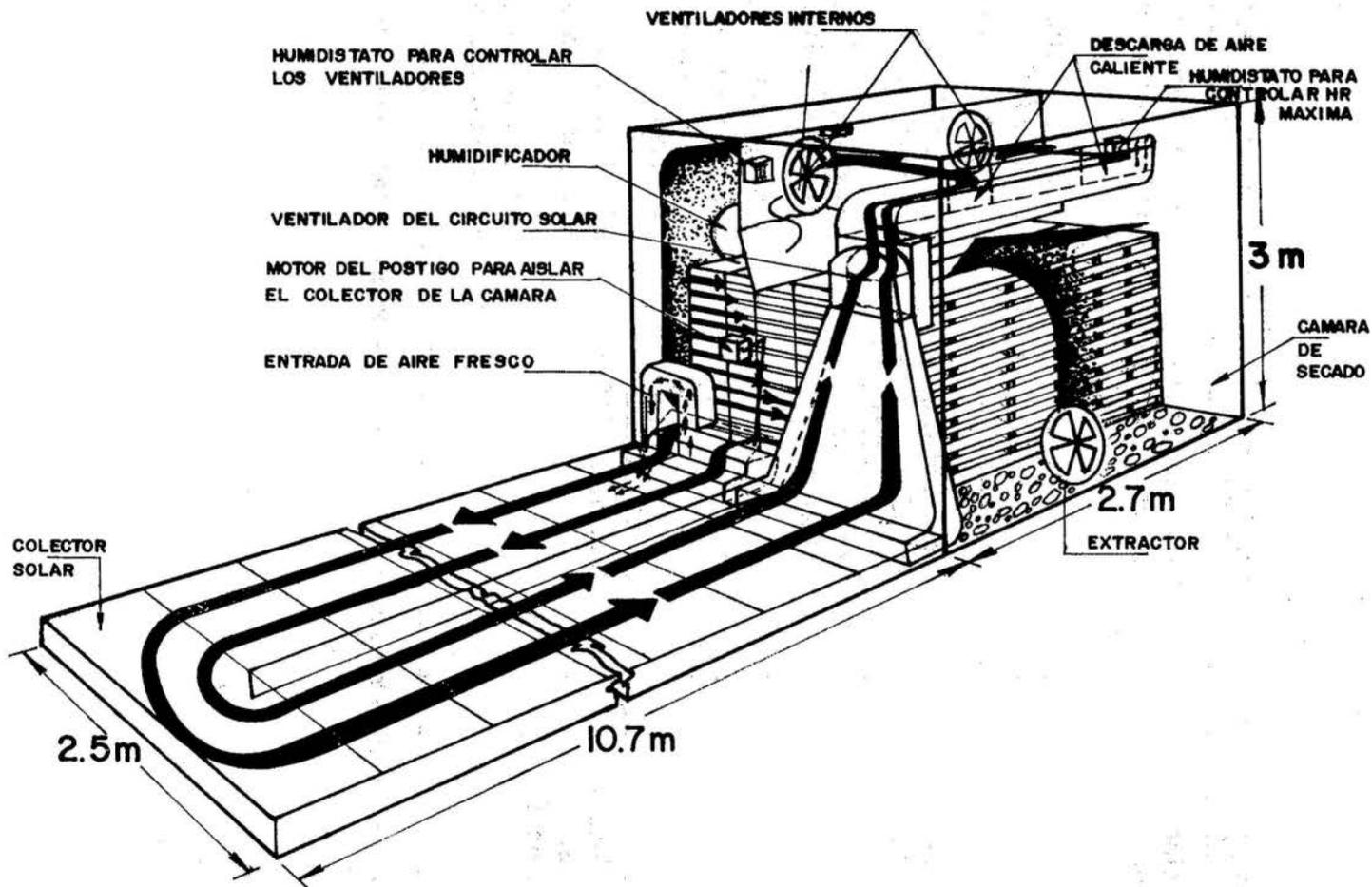


Fig 32 SECADOR SOLAR CON TRES CIRCUITOS INDEPENDIENTES DE CIRCULACION DE AIRE.

ORGANO	FUNCION	EFECTO
Regulación del calor	Controlar la temperatura	Si la temperatura aumenta, la HR disminuye  Si la temperatura disminuye, la HR aumenta
Véntilas y medios de evacuación del aire	Evacuar el aire húmedo  Admitir aire ambiente	Al admitir aire ambiente, la temperatura disminuye.  Si el aire ambiente está húmedo, la HR aumenta  Hay pérdida importante de calor por las ventilas y medios de evacuación del aire.
Humidificador con vapor húmedo	Aumenta la HR	Si el vapor es caliente, la temperatura aumenta.  Si el vapor es frío, la temperatura disminuye.

*Tabla 11 Funciones y efectos de los órganos básicos que pueden encontrarse en un secador.*

---

# Anexos

## ANEXO 1

## USOS POSIBLES SEGUN EL TIPO DE MADERA

(Adaptado de Maderas Colombianas, Proexpo, Bogotá)

### 1. Artículos atléticos y deportivos

Botes deportivos, remos, palos de golf, tacos de billar, bates para béisbol, esquís, gimnasios y similares.

Algarrobo  
Balata  
Dinde  
Guayabo  
Guayacán Polv.  
Gusanero

Nazareno  
Punte Cand.  
Roble F. Morado.  
Sande  
Tamarindo  
Yaya Blanca

### 2. Chapas

#### a) Decorativas:

Obtenidas generalmente por cuchillado; para chapas exteriores de triplex y múltiplex, tableros de revestimientos, enchapado de muebles, etc.

Abarco  
Aceite Maria  
Anime  
Canelo  
Caoba  
Cargamanto  
Carreto  
Cedro  
Chocho  
Cobre  
Coco Cristal.  
Coco Muerto  
Comino Real  
Guamo Rdo.  
Guay. Hobo

Guayacán Pol.  
Guayacán Tréb.  
Gusanero  
Laurel Comino  
Machare  
Marfil  
Maqui  
Mazábalo  
Nazareno  
Pino Chaquiro  
Roble F. Morado.  
Saíno  
Sapán  
Tamarindo  
Zapatero

**b) Corrientes (para tríplex)**

Obtenidas por desenrollado de maderas corrientes y relativamente blandas; para chapas exteriores e interiores de tríplex y múltiplex corriente y para chapas interiores (almas) para tríplex y múltiplex decorativas.

Abarco	C. cabuyo
Anime inc.	Cuángare
Arenillo	Dormilón
Cagui	Fresno
Canalete	Garrapato
Canelo	Guamo churimo
Caraño	Machare
Carbonero	Marupa
Cargamanto	Mazábalo
Cativo	Perillo blanco
Ceiba	Perillo negro
Ceiba am.	Sajo
Ceiba tolúa	Sande
Chingalé	Sande (utile)
Cirpo	Sangre de toro

**3. Cajas**

**a) Empaque y transporte:**

Para empaque y transporte de alimentos, cervezas, etc. Se incluyen también formaletas no muy cargadas para féretros.

Anime Inc.	Ceiba tolúa
Arenillo	Chingalé
Canelo	Cirpo
Caracolí	Cuángare
Caraño	Dormilón
Cativo	Garrapato
Ceiba	Marupa
Ceiba ama.	Perillo negro.

**b) Estuches o empaques finos:**

Maderas decorativas y de buen acabado, para empaques de lujo.

Caoba	Sajo
Carreto	Sande (utile)
Cedro	Sangre de toro
Pino chaquiro	Zapatero
Sajino blanco	

**4. Carpintería**

Madera no siempre fina, como en el caso de la ebanistería, sino más bien corriente, para obtener casi siempre productos sencillos y de consumo popular.

Anime inc.	Guay. hobo
Arenillo	Guay. polv.
Caracolí	Gusanero
Caraño	Laurel com.
Cativo	Machare
Ceiba ama.	Marupa
Chingalé	Mazábalo
Chocho	Perillo blanco
Cobre	Perillo negro
Coco Mono	Saíno
Comino real	Sajino blanco
Dormilón	Sajo
Fresno	Sande
Garrapato	Sande (utile)
Guayabo	

## 5. Carretería

Construcción de carrocerías para camiones y vagones de ferrocarril; pisos para los mismos productos. Se incluyen también estibas, escaleras laterales y similares.

Abarco	Guay. habo
Aceituno	Guay. polv.
Aceite maría	Guay. tréb.
Algarrobo	Gusanero
Anime	Leche perra
Balata	Marfil
Cagui.	Maqui
Carbonero	Mazábalo
Chanul	Nazareno
Coco cabuyo	Punte candado
Coco cristal	Saíno
Coco mono	Sajino blanco
Coco muerto	Sapán
Dinde	Tamarindo
Garrapato	Yaya blanca
Guamo rosado	

## 6. Construcciones

### a) Normales:

Armazones, vigas, cerchas, durmientes y otros elementos estructurales, en construcción de casas para vivienda y similares. Cuando estas piezas estructurales se encuentran en un medio favorable para su pudrición o ataque de insectos se debe tener en cuenta la durabilidad natural; si ésta no es suficiente, se recomienda inmunizarlas antes de ponerlas en uso. Se incluyen formaletas, andamios y similares.

Abarco	Comino real
Aceite maría	Cuángare
Algarrobo	Dormilón
Anime	Fresno
Anime inc.	Garrapato
Arenillo	Guamo churimo
Cagui	Guayabo
Canalete	Guayacán hobo
Canelo	Laurel comino
Caoba	Machare
Caracolí	Maqui
Caraño	Marupa
Carbonero	Mazábalo
Cargamanto	Perillo blanco
Casaco	Perillo negro
Ceiba	Pino chaquiro
Cedro	Roble f. morado
Ceiba tolúa	Saíno
Chocho	Sande
Cobre	Sande (utile)
Coco cabuyo	Sangre de toro
Coco muerto	

**b) Pesadas:**

Piezas constructivas de madera, que deben tener altas resistencias mecánicas y se usarán en contacto con agua y con tierra, tales como: puentes, esclusas, muelles de puerta, elementos estructurales que no exijan uniones perfectas, quillas, ataguías, duques de alba y similares.

En algunos casos se debe inmunizar la madera. Así mismo, hay que distinguir las construcciones en contacto con agua dulce o de mar no infestada por teredo navalis, y las navales infestadas por perforadores marinos.

Aceituno  
Aceite maría  
Balata  
Chanul  
Coco cristal  
Coco mono  
Dinde  
Guam. rosado  
Guayabo  
Guayacán polv.  
Guayacán tréb.

Gusanero  
Leche perra  
Marfil  
Maqui  
Nazareno  
Punte candado  
Roble  
Saíno  
Sapán  
Tamarindo  
Yaya blanca

**7. Ebanistería**

Maderas generalmente finas y para partes interiores maderas corrientes, fabricación de productos finos como: muebles (fuera de serie y tallados), puertas, ventanas, trabajos de gabinete y similares.

Algarrobo  
Canalete  
Caoba  
Carreto  
Cativo  
Cedro  
Ceiba tolúa  
Chingalé  
Comino real

Guayabo  
Guayacán hobo  
Guayacán polv.  
Gusanero  
Laurel com.  
Mazábalo  
Nazareno  
Roble f. morado  
Sande

**8. Implementos agrícolas**

Cabos y mangos para herramientas y usos similares. Ha existido cierta tendencia a exigir para estos usos colores claros.

Abarco  
Algarrobo  
Coco cristal  
Coco mono  
Coco muerto  
Dinde  
Guayabo  
Guayacán polv.

Guayacán tréb.  
Leche perra  
Machare (?)  
Nazareno  
Roble f. morado  
Roble  
Sande  
Yaya blanca

## 9. Instrumentos

### a) Musicales:

Fabricación de triples y guitarras, marimbas, teclas para pianos y similares.

Balata	Marupa
Canalete	Mazábalo
Caoba	Pino chaquiro
Cedro	Zapatero

### b) Científicos:

Como reglas, escalas y similares.

Caoba	Zapatero
Guayabo	

## 10. Lápices

Para uso corriente generalmente.

Ceiba tolúa	Pino chaquiro
Chingalé	Sangre de toro (?)

## 11. Moldes

Modelos de moldes de fundición, patrones, hormas, etc.

Canalete	Chingalé
Canelo	Cuángare
Cativo	

## 12. Muebles

### a) Sencillos:

Escaparates, armarios, alacenas, marcos de puertas, guardaescobas, molduras y otros productos moldurados no expuestos a desgastes excesivos.

Anime incienso	Cuángare
Arenillo	Dormilón
Cagui	Fresno
Canelo	Garrapato
Caracolí	Guamo churimo
Caraño	Maqui
Cativo	Marupa
Cedro	Perillo blanco
Ceiba ama.	Sajo
Ceiba tolúa	Sande
Chingalé	Sande (utile)
Cirpo	Sangre de toro
Coco cabuyo	

### b) Finos decorativos:

Para residencias, oficinas, productos de revestimiento interior, pasamanos y similares. Cuando se recomiendan maderas para muebles pesados, se utilizan éstas en pasamanos, partes de muebles, etc.

Abarco	Guayacán hobo
Aceite maría	Guayacán trébol
Algarrobo	Gusanero
Balata	Laurel comino
Canalete	Machare
Canelo	Marfil
Caoba	Perillo negro
Cargamanto	Pino chaquiro
Carreto	Punte candado
Cobre	Roble f. morado
Coco cristal	Saíno
Comino real	Sapán
Dinde	Tamarindo
Guamo rosado	

**13. Palillos**

Para dientes y para la fabricación de fósforos, productos como bajalenguas y similares.

Chingalé  
Cirpo

Marupo  
Perillo negro

**14. Pisos****a) Normales:**

Listón machihembrado, parquet, escaleras y similares que deban resistir tráfico permanente de personas y carga.

Abarco  
Aceite maría  
Algarrobo  
Anime  
Anime inc.  
Balata  
Cagui  
Carreto  
Casaco  
Chanul  
Chocho  
Coco cabuyo  
Coco muerto  
Comino real  
Dinde  
Guamo churimo

Guamo rosado  
Guayabo  
Guayacán hobo  
Gusanero  
Laurel comino  
Machare  
Marfil  
Maqui  
Mazábalo  
Pino chaquiro  
Roble f. morado  
Saíno  
Sajino blanco  
Sande  
Sapán  
Yaya blanca  
Zapatero

**b) Industriales:**

Pisos de madera con alta resistencia, que deban soportar cargas altas y tráfico permanente.

Aceituno  
Balata  
Cagui  
Chanul  
Coco mono  
Dinde  
Guamo rosado  
Guayacán tréb.  
Guayacán polv.  
Gusanero

Leche perra  
Marfil  
Nazareno  
Punte candado  
Roble  
Saíno  
Sapán  
Tamarindo.  
Yaya blanca

**15. Postes**

Para conducción de redes eléctricas y telefónicas, postes para cercas, etc. Maderas generalmente rollizas o astilladas de alta durabilidad natural o de excelentes cualidades de inmunización.

Abarco  
Anime Inc.  
Cabelo  
Carbonero  
Cargamanto  
Casaco  
Chanul  
Chocho  
Coco cabuyo  
Coco crist.  
Coco mono  
Coco muerto

Fresno  
Garrapato  
Guamo churimo  
Guayacán polv.  
Maqui  
Mazábalo  
Perillo blanco  
Perillo negro  
Pino chaquiro  
Punte candado  
Sajino blanco  
Sande.

## 16. Pulpa y papel

Arenillo	Dormilón
Canelo	Fresno
Caracolí	Guamo churimo
Caraño	Marupa
Cativo	Perillo blanco
Ceiba	Perillo negro
Ceiba ama.	Pino chaquiro
Ceiba tolúa	Sajo
Chingalé	Sande
Cirpo	Sande (utile)
Coco cabuyo	Sangre de toro

## 17. Tableros aglomerados

### a) Fibra

Arenillo	Guángare
Canelo	Dormilón
Caracolí	Fresno
Caraño	Marupa
Ceiba	Perillo blanco
Ceiba ama.	Perillo negro
Ceiba tolúa	Pino chaquiro
Chingalé	Sajo
Cirpo	Sande (utile)
Cobre	Sande
Coco cabuyo	Sangre de toro

### b) Viruta

Canelo	Dormilón
Caracolí	Fresno
Caraño	Marupa
Ceiba	Perillo negro
Ceiba ama.	Pino chaquiro
Ceiba tolúa	Sajo
Chingalé	Sande
Cirpo	Sande (utile)
Coco cabuyo	Sangre de toro
Cuángare	

## 18. Tornería

Artículos torneados, espaldares de cepillos y similares.

Algarrobo	Guayacán polv.
Anime	Guayacán tréb.
Balata	Gusanero
Canalete	Leche perra (?)
Cargamanto	Machare
Carreto	Marfil
Chanul	Nazareno
Coco muerto	Punte candado
Dinde	Saíno
Guamo rosado	Tamarindo
Guayabo	Yaya blanca
Guayacán hobo	Zapatero

**19. Traviesas**

Abarco  
 Aceituno  
 Anime  
 Anime Inc.  
 Balata  
 Carbonero  
 Cargamanto  
 Carreto  
 Casaco  
 Chanul  
 Chocho  
 Coco cabuyo  
 Coco cristal  
 Coco mono  
 Coco muerto  
 Comino real  
 Dinde  
 Guamo churimo  
 Guamo rosado  
 Guayacán polv.

Guayacán tréb.  
 Gusanero  
 Leche perra  
 Laurel comino  
 Machare  
 Marfil  
 Maqui  
 Mazábalo (?)  
 Nazareno  
 Perillo blanco  
 Perillo negro  
 Pino chaquiro  
 Punte candado  
 Roble  
 Saíno  
 Sajino blanco  
 Sapán  
 Tamarindo  
 Yaya blanca.

**20. Usos especiales**

Elementos para la industria textil (lanzaderas, navetas, etc.), arcos (violines y para flechas), cañas de pescar, bastones, partes curvadas, ruedas de carretas, timones, entalladuras (esculturas, estatuas y similares, tallados a mano), chumaceras, látex (bolos de golf, gutapercha, chicle, etc.) juguetería, mástiles, barriles, etc.

Abarco  
 Algarrobo  
 Balata  
 Balso  
 Canaleta  
 Caoba  
 Caracolí  
 Carreto  
 Cativo  
 Cedro  
 Ceiba amarilla  
 Dinde  
 Guayabo

Guayacán hobo  
 Guayacán polv.  
 Gusanero  
 Laurel comino  
 Mazábalo  
 Nazareno  
 Perillo negro  
 Pino chaquiro  
 Punte candado  
 Roble  
 Sajo  
 Sande  
 Zapatero

## ANEXO 2

### MADERA ADECUADA SEGUN EL USO

*(Tomado de Maderas Colombianas,  
Proexpo, Bogotá)*

#### ABARCO

Chapas decorativas  
Carretería  
Construcciones normales  
Implementos agrícolas  
Muebles finos decorativos  
Pisos normales  
Postes  
Traviesas  
Usos especiales

#### ACEITUNO

Carretería  
Construcciones pesadas  
Pisos industriales  
Traviesas

#### ACEITE MARIA

Chapas decorativas  
Carretería  
Construcciones normales  
Muebles finos decorativos  
Pisos normales.

#### ALGARROBO

Artículos atléticos y deportivos  
Carretería  
Construcciones normales  
Ebanistería  
Implementos agrícolas  
Muebles finos decorativos  
Pisos normales  
Tornería  
Usos especiales

#### ANIME

Chapas decorativas  
Carretería  
Construcciones normales  
Pisos normales  
Tornería  
Traviesas

### **ANIME INCIENSO**

Chapas corrientes  
Cajas de empaque y transporte  
Carpintería  
Construcciones normales  
Muebles sencillos  
Pisos normales  
Postes  
Traviesas.

### **ARENILLO**

Chapas corrientes  
Cajas para empaque y transporte  
Carpintería  
Construcciones normales  
Muebles sencillos  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra.

### **BALATA**

Artículos atléticos y deportivos  
Carretería  
Construcciones pesadas  
Instrumentos musicales  
Muebles finos y decorativos  
Pisos normales  
Tornería  
Traviesas  
Usos especiales.

### **BALSO**

Usos especiales

### **CAGUI**

Chapas corrientes  
Carretería  
Construcciones normales  
Muebles sencillos  
Pisos normales e industriales.

### **CANALETE**

Chapas corrientes  
Construcciones normales  
Ebanistería  
Instrumentos musicales  
Moldes  
Muebles finos y decorativos  
Tornería  
Usos especiales.

### **CANELO**

Chapas decorativas y corrientes  
Cajas para empaque y transporte  
Construcciones normales  
Moldes  
Muebles sencillos y finos decorativos  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

### CATIVO

Chapas corrientes  
Cajas para empaque y transporte  
Carpintería  
Ebanistería  
Moldes  
Muebles y sencillos  
Pulpa y papel  
Usos especiales.

### CEDRO

Chapas decorativas  
Estuches o empaques finos  
Construcciones normales  
Ebanistería  
Instrumentos musicales  
Muebles sencillos  
Usos especiales.

### CEIBA

Chapas corrientes  
Cajas para empaque y transporte  
Construcciones normales  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

### CEIBA AMARILLA

Chapas corrientes  
Cajas para empaque y transporte  
Carpintería  
Muebles sencillos  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.  
Usos especiales.

### CEIBA TOLUA

Chapas corrientes  
Cajas para empaque y transporte  
Construcciones normales  
Ebanistería  
Lápices  
Muebles sencillos  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

### CIRPO

Chapas corrientes  
Cajas para empaque y transporte  
Muebles sencillos  
Palillos  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

## COBRE

Chapas decorativas  
Carpintería  
Construcciones normales  
Muebles finos decorativos  
Tableros aglomerados de fibra.

## COCO CABUYO

Chapas corrientes  
Carretería  
Construcciones normales  
Muebles sencillos  
Pisos normales  
Postes  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta  
Traviesas.

## COCO CRISTAL

Chapas decorativas  
Carretería  
Construcciones pesadas  
Implementos agrícolas  
Muebles finos decorativos  
Postes  
Traviesas.

## COCO MONO

Carretería  
Construcciones pesadas  
Implementos agrícolas  
Pisos industriales  
Postes  
Traviesas.

## COCO MUERTO

Chapas decorativas  
Carretería  
Pisos normales  
Postes  
Tornería  
Traviesas  
Construcciones normales  
Implementos agrícolas.

## COMINO REAL

Chapas decorativas  
Carpintería  
Construcciones normales  
Ebanistería  
Muebles finos decorativos  
Pisos normales  
Traviesas.

## CUANGARE

Chapas corrientes  
Cajas para empaque y transporte  
Construcciones normales  
Moldes  
Muebles sencillos  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

## CHANUL

Postes  
Traviesas.

## CHINGALE

Ebanistería  
Lápices  
Moldes  
Muebles sencillos  
Palillos  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

**134**

## CHOCHO

Carpintería  
Construcciones normales  
Pisos normales  
Postes  
Traviesas.

## DINDE

Artículos atléticos y deportivos  
Carretería  
Construcciones pesadas  
Implementos agrícolas  
Muebles finos decorativos  
Pisos normales e industriales  
Tornería  
Traviesas  
Usos especiales.

## DORMILON

Chapas corrientes  
Cajas para empaque y transporte  
Carpintería  
Construcciones normales  
Muebles sencillos  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

## FRESNO

Chapas corrientes  
Carpintería  
Construcciones normales  
Muebles sencillos  
Postes  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

## GARRAPATO

Chapas corrientes  
Cajas para empaque y transporte  
Carpintería  
Carretería  
Construcciones normales  
Muebles sencillos  
Postes.

## GUAMO CHURIMO

Chapas corrientes  
Construcciones normales  
Muebles sencillos  
Pisos normales  
Postes  
Pulpa y papel  
Traviesas.

## GUAMO ROSADO

Chapas decorativas  
Carretería  
Construcciones pesadas  
Muebles finos y decorativos  
Pisos normales e industriales  
Tornería  
Traviesas.

## GUAYABO

Artículos atléticos y deportivos  
Carpintería  
Construcciones normales y pesadas  
Ebanistería  
Implementos agrícolas  
Instrumentos científicos  
Pisos normales  
Tornería  
Usos especiales.

## GUAYACAN HOBO

Chapas decorativas  
Carpintería  
Carretería  
Construcciones normales  
Ebanistería  
Muebles finos y decorativos  
Pisos normales  
Tornería  
Usos especiales.

## GUAYACAN POLVILLO

Artículos atléticos y deportivos  
Chapas decorativas  
Carpintería  
Carretería  
Construcciones pesadas  
Ebanistería  
Implementos agrícolas  
Pisos industriales  
Postes

## GUAYACÁN POLVILLO

Tornería  
Traviesas  
Usos especiales.

## GUAYACAN TREBOL

Chapas decorativas  
Carretería  
Construcciones pesadas  
Implementos agrícolas  
Muebles finos decorativos  
Pisos industriales  
Tornería  
Traviesas.

## GUSANERO

Artículos atléticos y deportivos  
Chapas decorativas  
Carpintería  
Carretería  
Construcciones pesadas  
Ebanistería  
Muebles finos decorativos  
Pisos normales e industriales  
Tornería  
Traviesas  
Usos especiales.

## LAUREL COMINO

Chapas decorativas  
Carpintería  
Construcciones normales  
Ebanistería  
Muebles finos decorativos  
Pisos normales  
Traviesas  
Usos especiales.

## LECHE PERRA

Carretería  
Construcciones pesadas  
Implementos agrícolas  
Pisos industriales  
Tornería  
Traviesas.

## MACHARE

Chapas decorativas y corrientes  
Carpintería  
Construcciones normales  
Implementos agrícolas  
Muebles finos decorativos  
Pisos normales  
Tornería  
Traviesas.

**MAQUI**

Chapas decorativas  
 Carretería  
 Construcciones normales y pesadas  
 Muebles sencillos  
 Pisos normales  
 Postes  
 Traviesas.

**MARFIL**

Chapas decorativas  
 Carretería  
 Construcciones pesadas  
 Muebles finos decorativos  
 Pisos normales e industriales  
 Tornería  
 Traviesas.

**MARUPA**

Chapas corrientes  
 Cajas para empaque y transporte  
 Carpintería  
 Construcciones normales  
 Instrumentos musicales  
 Muebles sencillos  
 Palillos  
 Pulpa y papel  
 Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

**MAZABALO**

Chapas decorativas y corrientes  
 Carpintería  
 Carretería  
 Construcciones normales  
 Ebanistería  
 Instrumentos musicales  
 Pisos normales  
 Postes  
 Traviesas.

**NAZARENO**

Artículos atléticos y deportivos  
 Chapas decorativas  
 Carretería  
 Construcciones pesadas  
 Ebanistería  
 Implementos agrícolas  
 Pisos industriales  
 Tornería  
 Traviesas  
 Usos especiales.

**PERILLO BLANCO**

Chapas corrientes  
 Carpintería  
 Construcciones normales  
 Muebles sencillos  
 Postes  
 Pulpa y papel  
 Tableros aglomerados de fibra  
 Traviesas.

### PERILLO NEGRO

Chapas corrientes  
 Cajas para empaque y transporte  
 Carpintería  
 Construcciones normales  
 Muebles finos y decorativos  
 Palillos  
 Postes  
 Pulpa y papel  
 Tableros aglomerados de fibra o de viruta  
 Traviesas  
 Usos especiales.

### PINO CHAQUIRO

Chapas decorativas  
 Estuches o empaques finos  
 Construcciones normales  
 Instrumentos musicales  
 Lápices  
 Muebles finos decorativos  
 Pisos normales  
 Postes  
 Pulpa y papel  
 Tableros aglomerados de fibra o de viruta  
 Traviesas  
 Usos especiales.

### PUNTE CANDADO

Artículos atléticos y deportivos  
 Carretería  
 Construcciones pesadas  
 Muebles finos decorativos  
 Pisos industriales  
 Postes  
 Tornería  
 Traviesas  
 Usos especiales.

### ROBLE

Construcciones pesadas  
 Implementos agrícolas  
 Pisos industriales  
 Traviesas  
 Usos especiales.

### ROBLEDO FLOR MORADO

Artículos atléticos y deportivos  
 Chapas decorativas  
 Construcciones normales  
 Ebanistería  
 Implementos agrícolas  
 Muebles finos decorativos  
 Pisos normales.

## SAINO

Chapas decorativas  
Carpintería  
Carretería  
Construcciones normales y pesadas  
Muebles finos decorativos  
Pisos normales e industrias  
Tornería  
Traviesas.

## SAJINO BLANCO

Estuches o empaques finos  
Carpintería  
Carretería  
Pisos normales  
Postes  
Traviesas.

## SAJO

Chapas corrientes  
Estuches o empaques finos  
Carpintería  
Muebles sencillos  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.  
Usos especiales.

## SANDE

Artículos atléticos y deportivos  
Chapas corrientes  
Carpintería  
Construcciones normales  
Ebanistería  
Implementos agrícolas  
Muebles sencillos  
Pisos normales  
Postes  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta  
Usos especiales.

## SANDE (GRUPO UTILE)

Chapas corrientes  
Estuches o empaques finos  
Carpintería  
Construcciones normales  
Muebles sencillos  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

## SANGRE DE TORO

Chapas corrientes  
Estuches o empaques finos  
Construcciones normales  
Lápices  
Muebles sencillos  
Pulpa y papel  
Tableros aglomerados de fibra o de viruta.

## SAPAN

Chapas decorativas  
Carretería  
Construcciones pesadas  
Muebles finos decorativos  
Pisos normales e industriales  
Traviesas.

## ZAPATERO

Chapas decorativas  
Estuches o empaques finos  
Instrumentos musicales y científicos  
Pisos normales  
Tornería  
Usos especiales.

## TAMARINDO

Artículos atléticos y deportivos  
Chapas decorativas  
Carretería  
Construcciones pesadas  
Muebles finos decorativos  
Pisos industriales  
Tornería  
Traviesas.

## YAYA BLANCA

Artículos atléticos y deportivos  
Carretería  
Construcciones pesadas  
Implementos agrícolas  
Pisos normales e industriales  
Tornería  
Traviesas.

## ANEXO 3

## PRINCIPIOS FISICOS BASICOS QUE RIGEN EL PROCESO DE SECADO DE LA MADERA

En el proceso de secado térmico de la madera es necesario considerar y relacionar tres tipos de conceptos básicos, referentes a: la madera (el material a secar), el aire (el medio de secado) y los controles (que relacionan la madera y el aire en el proceso de secado).

### LA MADERA

Porcentaje de contenido de  
humedad **CH** de la madera

$$CH = \frac{PH - PA}{PA} \times 100 (\%)$$

PH= Peso húmedo  
PA= Peso anhidro

### Punto de saturación de las fibras PSF

Es el contenido de humedad **CH** que posee la madera cuando ha perdido toda el agua libre intercelular. Corresponde a un **CH** del orden del 30%.

### Punto de equilibrio higroscópico o contenido de humedad de equilibrio **CHE**

Es el contenido de humedad de equilibrio **CHE** de la madera con la humedad relativa **HR** del aire ambiente. Depende de las condiciones climáticas del lugar. En Colombia varía desde un **CH** promedio del 13% al 16%.

### Densidad.

**142**

Es el peso de la unidad de volumen de madera. Se mide, por ejemplo, en  $\text{kg/m}^3$  o en  $\text{g/cm}^3$ . Es un índice importante en la medida de la dificultad para secar la madera. Las densidades básicas (relación entre el peso de la madera secada al horno y el volumen de la madera verde) varían desde valores del orden de 0.4 a 0.9  $\text{g/cm}^3$ .

## EL AIRE

### Contenido de humedad o humedad relativa **HR** del aire

Es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, comparada con la cantidad máxima de vapor de agua (saturación) que puede contener. Se mide en porcentaje (%). Varía según el lugar geográfico y las condiciones climáticas. Es normal encontrar humedades relativas **HR** con valores entre el 65% y el 85%.

### Temperatura

Es una medida del nivel de energía contenida en el aire. A mayor temperatura, mayor energía acumulada en el aire. Se mide en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ). Las cámaras de secado convencionales operan a temperaturas del orden de  $60^{\circ}\text{C}$ .

### Calor específico

Es la cantidad de calor que debe suministrarse a una unidad de masa de aire para aumentar su temperatura un grado centígrado. A mayor cantidad de energía almacenada en el aire, mayor es su

temperatura y por consiguiente su capacidad de secado. El calor específico del aire es 0.24 kcal/kg°C.

### Caudal

Es el volumen de aire que atraviesa una sección determinada, por unidad de tiempo. Se mide en m<sup>3</sup>/h o en pie<sup>3</sup>/minuto (CFM). El caudal es igual al área de la sección que atraviesa el aire multiplicada por su velocidad, por ejemplo:  
 Caudal (m<sup>3</sup>/h) = velocidad (m/h) x área (m<sup>2</sup>)

### Presión estática

Es la resistencia que debe vencer el aire debido a los obstáculos que encuentra en su recorrido. La presión es una fuerza ejercida sobre un área (kgf/m<sup>2</sup>), pero para efectos prácticos, en ventilación, la presión estática se mide como una altura (longitud) de columna de un fluido (agua, por ejemplo); una presión estática se expresará entonces como centímetros de columna de agua: cm. columna H<sub>2</sub>O.

## LOS CONTROLES

En el proceso de secado térmico de la madera deben efectuarse los siguientes controles mínimos:

Contenido de humedad **CH** de la madera.

Por medio del método de doble pesada, o de un medidor de humedad eléctrico.

Temperatura del Aire de Secado

Por medio de un termómetro corriente, como el termómetro de bulbo seco del sicrómetro.

La humedad relativa **HR** del aire.

Por medio de un higrómetro que proporciona una lectura directa en porcentaje de humedad, o por medio de un sicrómetro que permite calcular la depresión sicrométrica, la cual, mediando una tabla adecuada, suministra la humedad relativa **HR** del aire.

---

## Bibliografía

1. Manual del Grupo Andino para la Preservación de la Madera JUNAC. *Junta del Acuerdo de Cartagena - Lima, Perú, 1988.*
2. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. JUNAC. *Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú, 1984.*
3. Cartilla de construcción con madera. JUNAC. *Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú 1980.*
4. Maderas Colombianas. Proexpo. *Bogotá, Colombia.*
5. Aspectos generales sobre la estructura anatómica, propiedades físico - mecánicas y secado de la madera - José Anatolio Lastra R. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia, 1987. Distrital.*
6. Secado de la madera al aire libre. José Anatolio Lastra R. y Phillip Johnston. *Inderena. Bogotá, Colombia.*
7. Seminario sobre secado de la madera. Andi, *Universidad Nacional de Medellín, SENA, JUNAC. Medellín, Colombia 1987.*
8. Theorie, pratique et économie du séchage des bois. P. Joly et F. More-Chevalier. *Editions H. Vial, Dourdan, Francia, 1980.*
9. Los árboles. H. Jonhson. *Editorial Blume. Barcelona, España, 1973.*
10. Generalidades sobre anatomía y secado de la madera. Ovidio E. Solano C. *SENA, Centro Colombo Canadiense de la Madera. Itagüí, Antioquia, Colombia, 1987.*
11. World Wood. *Revista. Varios números. San Francisco, California, U.S.A.*
12. Informaderas. *Revista. Varios números. SENA, Centro Colombo Canadiense de la Madera, Itagüí, Antioquia, Colombia.*
13. Madera. *Revista. Varios números. Universidad Nacional, Medellín Colombia.*
14. Tecnología para aprovechar la energía solar. *ONU. New York, U.S.A, 1979.*
15. Diseño de una secadora de madera. *Tesis de grado. R.F. García y G. E. Robledo. Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Mecánica. Medellín, Colombia, 1988.*
16. Le Séchage Solaire du café. *Tesis de grado. Jorge Alberto Arango Johnson. Université de Perpignan, Laboratoire de Thermodynamique et Energetique. Perpignan, Francia, 1982.*

17. **Introduction á la Thermodynamique Apliquee.** *J. Danze et G. Burnay. Université de Liège, Belgique, 1973.*

18. **Mass transfer operations.** *R.E. Treybal. Mc Graw Hill Tokio, Japon, 1955.*

19. **Thermodynamics.** *Lee, Sears. Addison - Wesley. Reading, Massachusetts, U.S.A., 1963*

Impreso en los talleres  
de Publicaciones SENA  
Dirección General

Abril de 1991



**El Centro Colombo Canadiense de la Madera** es un Centro de Desarrollo Tecnológico situado en Itagüí, Antioquia, por medio del cual el SENA presta sus servicios relacionados con el subsector de la madera. Este Centro de Desarrollo Tecnológico cuenta con experimentados recursos humanos capacitados con la colaboración del Gobierno Canadiense en las diferentes partes del proceso de aprovechamiento de la madera, además de una completa infraestructura física consistente en maquinaria, equipo, material didáctico, proyectos de investigación y un Centro de Documentación especializado en la madera y sus aplicaciones. El SENA tiene a disposición de quienes trabajan en el subsector de madera este Centro de Desarrollo Tecnológico, cuya finalidad es contribuir en todo sentido a un mejor desarrollo de Colombia.

**El Centro Colombo Canadiense de la Madera**, confía en que esta publicación permita a los empresarios y a todas las personas que deben servirse de la madera como materia prima, utilizar de la manera mas conveniente este extraordinario recurso natural con tantas posibilidades de desarrollo para la economía de nuestro país. Así mismo, agradece los comentarios y sugerencias que los utilizadores de este manual puedan aportar, con el ánimo de completar y mejorar sus contenido en futuras ediciones. Pueden dirigir su correspondencia al Centro Colombo Canadiense de la Madera, SENA, Apartado aéreo 1188, Medellín.