



T
674.38
V293
C2



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica

Pruebas para la Determinación de Programas
de Secado en Madera de Balsa, en Cámaras con Vapor



TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de
INGENIERO MECANICO

Presentado por:
MILTON JAVIER VARELA GARCIA



Guayaquil - Ecuador

1994

AGRADECIMIENTO

A **mi madre** que me ha dado el sustento y la fuerza para culminar con éxitos mis estudios.

Al **Ing. Jorge Duque Rivera**, Director de mi Tesis de Grado, por la ayuda brindada para el desarrollo de este trabajo.

Al **Ing. Aldo Sereni**, quién permitió el desarrollo de las pruebas en la industria Madeprón.

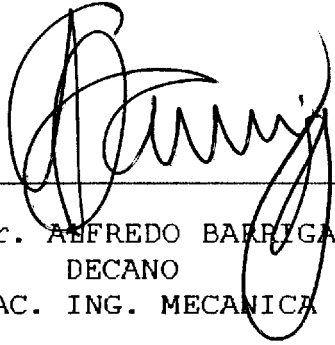
Al **Sr. Michael Krumholz**, gerente de Fadelma.

A todos **mis amigos**, que me han brindado su ayuda durante el transcurso de mi vida estudiantil.

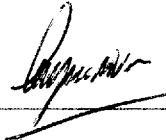
DEDICATORIA

A Dios

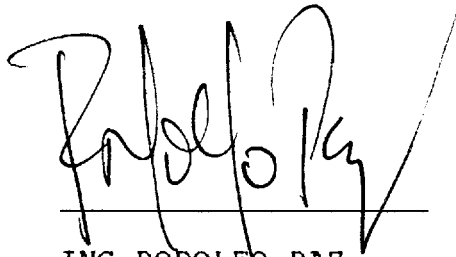
A mi madre



Dr. ALFREDO BARRIGA
DECANO
FAC. ING. MECANICA



ING. JORGE DUQUE
DIRECTOR
TESIS DE GRADO



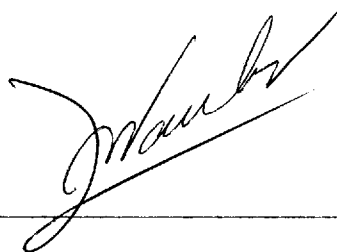
ING. RODOLFO PAZ
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DR. FRANCISCO ROMAY
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral."

(Reglamento de Tesis de Graduación de la Espol)



MILTON VARELA GARCIA

INDICE GENARAL

INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE TABLAS.....	IX
ABREVIATURAS.....	XI
INTRODUCCION.....	XII

CAPITULO I

EL SECADO DE LA MADERA DE BALSA

1.1 Generalidades.....	13
1.2 Comportamiento de la balsa durante el secado.....	16
1.3 Defectos durante el secado.....	20
1.4 La operación de secado en la industria.....	23

CAPITULO II

CAMARAS PARA SECADO DE MADERA CON VAPOR

2.1 Cámaras para secado de madera con vapor.....	26
2.2 Consideraciones para el diseño de una cámara de secado..	28
2.3 Requerimientos energéticos.....	34

CAPITULO III

LOS EQUIPOS DE CONTROL PARA EL PROCESO DE SECADO

3.1 Control manual.....	38
3.1 Control semi- automático.....	39
3.3 Equipo auxiliar en las cámaras secadoras.....	40
3.4 Equipo utilizado durante las pruebas.....	46

CAPITULO IV

PRUEBAS REALIZADAS PARA EL SECADO DE LA Balsa

4.1 Madera presecada en patios.....	47
4.2 Las pruebas en cámaras de secado con vapor	52
4.2.1 Pruebas de secado para madera delgada.....	56
4.2.2 Pruebas de secado para madera delgada.....	59
4.2.3 Pruebas de secado para madera gruesa.....	60
4.3 Análisis de los resultados.....	61
4.4 Determinación de un programa general de secado.....	64
4.5 Conclusiones y recomendaciones.....	67
APENDICE.....	69
ANEXOS	101
BIBLIOGRAFIA.....	106

INDICE DE FIGURAS

Figura # 1

Esquema de una estructura de madera suave

Figura # 2

Defectos de la madera después del secado

Figura # 3

Termómetros

Figura # 4

Balanza

Figura # 5

Hornos de secado para muestras

Figura # 6

Detector de humedad

Figura # 7

Higrómetro

Figura # 8

Equipo para determinación del movimiento del aire

INDICE DE TABLAS

Figura # 1

Madera presecada en patios

Clasificación: delgada

Tabla # 2

Madera presecada en patios

Clasificación: mediana

Tabla # 3

Madera presecada en patios

Clasificación: gruesa

Tabla # 4

Prueba de secado en cámara

madera delgada / grupo 1

Tabla # 5

Prueba de secado en cámara

madera delgada / grupo 2

Tabla # 6

Prueba de secado en cámara

madera delgada / grupo 3

Tabla # 7

Datos de humedad de la madera
tomados con detector de humedad

Tabla # 8

Prueba de secado en cámara
madera mediana / grupo 1

Tabla # 9

Prueba de secado en cámara
madera mediana / grupo 2

Tabla # 10

Prueba de secado en cámara
madera mediana / grupo 3

Tabla # 11

Prueba de secado en cámara
madera gruesa

Tabla # 12

Temperatura seca / Depresión de bulbo húmedo

ABREVIATURAS

B.S. : Base seca

°C. : Grados centígrados

C1C : Una cara cepillada

C2C : Dos caras cepilladas

°F. : Grados Faranheit

g : Gramos

Kg. : Kilogramos

lb. : Libras

m. : Metros

M(i) : Masa inicial de las muestras

M(f) : Masa final de las muestras

oz : Onzas

P(i) : Peso inicial de la madera

P (f).10%: Peso final de la madera con 10% de humedad

pulg.: Pulgadas

PTB : Pie tabla



INTRODUCCION

El presente trabajo fue desarrollado en dos diferentes industrias dedicadas a la exportación de la madera de balsa. La balsa requiere de un proceso de secado antes de ser exportada como materia prima. En la actualidad este proceso es realizado en cámaras con vapor, las que deben ser controladas en su operación a fin de obtener un proceso de secado eficiente y económico, con el menor número de defectos de secado controlables.

Las pruebas se desarrollaron en primer lugar con la madera ubicada en patios de presecado. En este lugar se determinó el contenido inicial de humedad de la madera, para un tiempo de presecado 30 días, antes de ingresar a la cámara de secado.

Luego se realizó el proceso de secado en cámaras con diferente temperatura de operación para obtener el tiempo mínimo de secado en las diferentes clasificaciones de madera de balsa según el grosor de la misma.

CAPITULO I

EL SECADO DE LA MADERA DE BALSA

1.1 Generalidades.-

La madera de balsa, como material orgánico, no es de estructura homogénea en las diferentes partes de un mismo tronco. De la estructura de la madera dependen las propiedades de resistencia mecánica, resistencia a la penetración del agua, la pudrición, dureza, etc.

La balsa tal como existe en el árbol, contiene una cantidad considerable de humedad; en algunos casos alcanza hasta el trescientos por ciento de humedad, referido a base seca. Para el uso y aplicación de la madera de balsa, ésta debe contener entre un 10 al 15 % como máximo de humedad tomado en base seca. Referencia 4.

En las maderas en general el contenido o grado de humedad depende de la humedad del aire para ponerse en equilibrio. Si en la atmósfera que está en contacto con la madera puede retenerse más humedad, se tomará humedad de la madera y empezará lo que se conoce como proceso de

evaporación en la superficie de la pieza. La velocidad de evaporación será función de la capacidad de retener humedad en el medio atmosférico.

Por otro lado el secado no es un problema enteramente de evaporación, sino que se distinguen dos procesos fundamentales que son:

- 1.- La evaporación de la humedad de la superficie exterior.
- 2.- La transferencia y circulación de la humedad desde el interior de la madera.

La circulación interna del agua se produce por diversos mecanismos, según la estructura de la madera. Algunos de los mecanismos posibles son los siguientes :

- a) Circulación por capilaridad a través de las fibras y estructura porosa.
- b) Circulación producida por gradientes de presión.
- c) Circulación causada por la gravedad.
- d) Circulación causada por una sucesión de vaporización y condensación. (Referencia 3)

Las cámaras de secado con vapor, proporcionan una manera de sobreponerse a las limitaciones impuestas por las temperaturas y humedad relativa que ocurren en forma natural debido a las variaciones del clima.

Entre las diversas razones para secar la madera en cámaras con vapor, tenemos las siguientes:

1.- El secado de la madera aserrada reduce sustancialmente su peso y por tanto su costo de embarque . Secar la madera al aire libre no es conveniente para los propósitos de exportación debido a que esta contendría sobre el cincuenta por ciento de humedad en base seca, no cumpliendo con el objetivo de reducir su peso.

2.- Existe una relación inversa entre la resistencia de la madera y el contenido de humedad. La mayoría de las propiedades mejoran al reducirse la humedad, por lo que el objetivo de secar la balsa es mejorar las propiedades mecánicas de la madera .

3.- Los organismos que producen la pudrición y manchas, normalmente no viven en la madera que tiene un contenido de humedad bajo del veinte por ciento. Estos organismos tampoco sobreviven a temperaturas que exceden los 120 °F.

Referencia 2.

1.2 COMPORTAMIENTO DE LA Balsa DURANTE EL SECADO

En experimentos realizados sobre madera de balsa durante un periodo de tres días, bajo condiciones diferentes de temperatura y partiendo de un porcentaje humedad del 100% B.S (base seca), se obtuvo el siguiente resultado: Para la temperatura de 80 °F, las muestras redujeron su humedad al 90 % B.S. Para la temperatura de 160 F, las muestras redujeron su humedad al 71 % B.S. Rererencia 1.

La humedad de la madera para todo el desarrollo de este trabajo estará considerada sobre base seca.

En la madera verde, las paredes celulares se encuentran saturadas de humedad. Las cavidades internas de la madera pueden hallarse total o parcialmente llenas de agua. El agua de las cavidades celulares se llama agua libre o capilar. Las líneas modulares formadas entre fibras paralelas ayudan a la conducción de la humedad hacia el interior o exterior de la madera por efecto de capilaridad. Es necesario evacuar la humedad de las paredes celulares para disminuir los efectos sobre las distintas propiedades de la madera.

La humedad interna atraviesa a lo largo de las paredes celulares en dirección longitudinal de las fibras con mayor velocidad que en la dirección perpendicular.

La madera sometida a temperaturas superiores a 180 °F durante un largo tiempo disminuye su capacidad higroscópica.

La alta temperatura, sobre los 200 °F (93.3 °C), o una cámara demasiado seca, produce un acelerado resecamiento en el interior de la madera. De esta manera, el agua que se evapora dentro de sus células rompe las paredes de la misma, lo cual es observado como rajaduras producidas por el descontrol del secado y la deficiencia de humedad relativa en la cámara. Esta evaporación demasiado rápida y particularmente en las primeras etapas del secado conduce a la presencia de serios defectos adicionales.

Las células que constituyen los elementos estructurales de la madera son de formas y tamaños distintos y crecen íntimamente unidas entre sí. La Fig. #1, muestra el esquema de una estructura de madera suave. Las células de la madera seca pueden estar vaciadas o parcialmente ocupadas por depósitos orgánicos o intrusión de algún tipo de célula en otra. Las células largas y puntiagudas se conocen con el nombre de fibras o traqueidas, éstas varían mucho en longitud dentro de un mismo árbol y son las causantes de la diversidad del comportamiento y propiedades de la madera.

La madera de balsa tiene la propiedad de ser la madera de menor densidad y por lo tanto es considerada en sus aplicaciones por su valor en la relación resistencia peso.

El peso de madera de balsa basados sobre 1000 pies tabla (PTB), (2.36 metros cúbicos) con un contenido de humedad del 10% , es : 982 lb. (445.5 Kg.). Referencia 4.

Donde PTB, es la unidad de medida convencional para madera. Un PTB es un volumen de madera con las siguientes dimensiones:

Largo = 12 pulgadas (0.3048 m.)

Ancho = 12 pulgadas (0.3048 m.)

Espesor = 1 pulgada (0.0254 m.)

Un pie tabla = 144 pulgadas cúbicas

= 0.00236 metros cúbicos

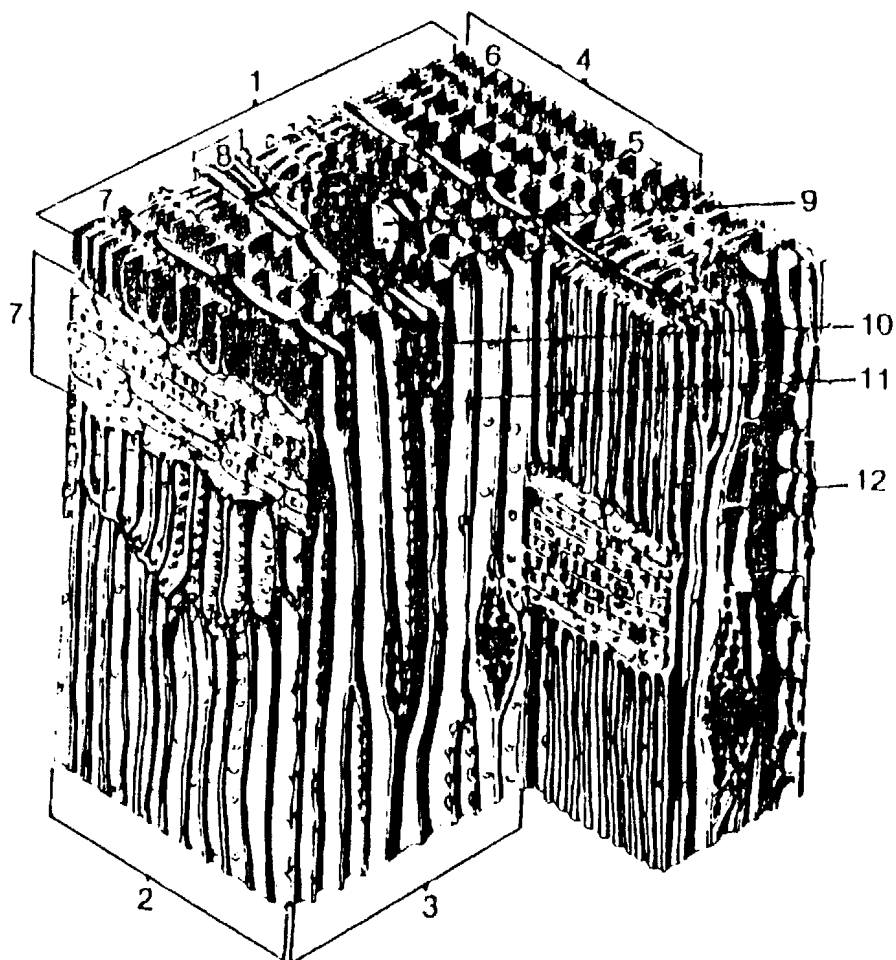


Figura # 1 .- Esquema de una estructura de madera suave

- 1) Sección transversal 2) Cara radial 3) Cara tangencial 4) Conductos
 5) 6) 7) 8) Fibras de madera 9) Ducto Vertical de resina 10) Ducto horizontal de resina 11) 12) Cavidades.

1.3 DEFECTOS DURANTE EL SECADO

Durante las operaciones de secado se tiene como principal objetivo obtener madera secada lo más económicamente posible y con el menor número de defectos permisibles.

Un defecto de secado es una característica o imperfección en un producto de madera que ocurra durante el proceso y reduce el valor económico del producto. El defecto se debe a menudo a la forma de operación de la cámara de secado y control del proceso.

Algunos defectos no son observados en la madera verde y se los encuentra por primera vez después de la operación de secado, aunque tales defectos pudieran tener origen en el árbol, o ser producido por la tensión del aserrado.

Es importante para el operador de la cámara de secado, estar familiarizado con varios de los defectos que se producen durante el secado y conocer cuando y como los defectos pueden ser reducidos y eliminados al actuar con las medidas correctivas adecuadas de la operación .

Las altas temperaturas mediante el secado, sobre los 190 °F, (87,8 °C), reducen la resistencia de la madera en dos formas:
Referencia 4.

1.- Existe un efecto inmediato y reversible: la madera se debilita cuando se calienta desde 75 a 240 °F, pero recupera su resistencia si es enfriada inmediatamente hasta 75 °F. La magnitud de este efecto depende del contenido de humedad de la madera y del tiempo de exposición de alta temperatura.

2.- Cuando la madera es calentada por un periodo largo de tiempo a altas temperaturas la madera se debilita permanentemente.

Una cámara demasiado seca y con alta temperatura produce un acelerado resecamiento en la madera. Este acelerado resecamiento conduce a la presencia de serios defectos observados como torceduras y rajaduras en la madera. La deformación o alabeo de la madera se debe al secado excesivo de las capas superficiales, que se contraen, mientras que el núcleo, todavía húmedo, no puede contraerse en igual medida.

La torsión de la madera en el secado es debida, por lo general, al crecimiento en espiral del árbol. Ver Fig. # 2

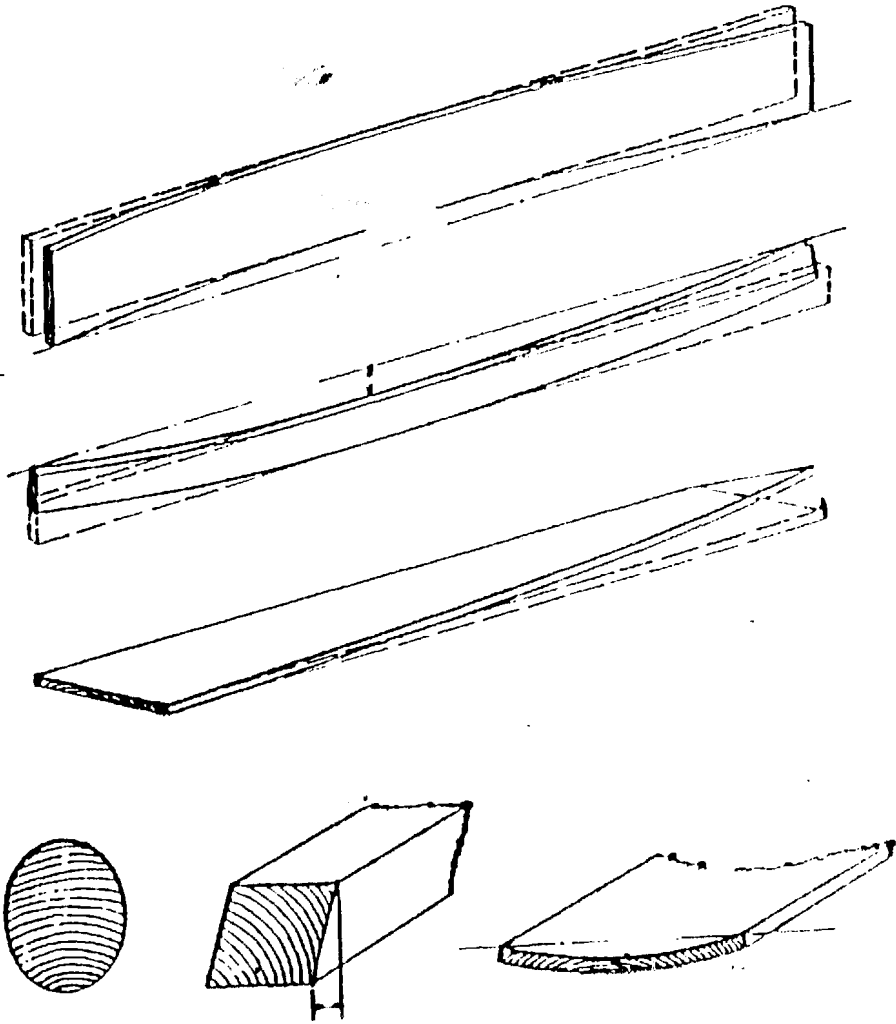


Figura # 2 .- Defectos en la madera después del secado

1.4 LA OPERACION DE SECADO PARA MADERA EN LA INDUSTRIA

Para elevar la temperatura del aire en la cámara, el calor es proporcionado por medio de vapor que ingresa a un grupo de serpentines radiadores de tubos aleteados. Estas superficies radiadoras se encuentran distribuidas a lo largo de la cámara de tal manera que el aire atraviese por medio de ellas por circulación forzada para retirar la humedad de la superficie de las piezas que están en el proceso de secado. El movimiento de aire dentro de la cámara es necesario para extraer el exceso de humedad que existe en el aire, lo cual es de especial importancia, al iniciar el secado de la madera, debido a la gran cantidad de agua que contiene. Igualmente la ventilación facilita mantener la humedad necesaria en todas los compartimientos de la secadora de acuerdo a los tratamientos requeridos para el proceso.

El recurso de energía empleado por las industrias para el secado de madera de balsa, a través de una cámara de secado con uso de vapor, puede ser obtenido de varias formas. Atendiendo al uso del combustible para la caldera se tienen las siguientes alternativas.

1.- Utilización de residuos de madera

2.- Utilización de derivados del petróleo

En la actualidad emplear residuos de madera como combustible para generar vapor en una caldera tiene una gran ventaja económica respecto a otros combustibles para calderos como son el diesel o el bunker. Esta forma barata de proporcionar energía, al mismo tiempo es un medio para eliminar el desperdicio que se genera en los procesos de aserrado de la madera.

La calidad como combustible del residuo de la madera depende de las distintas especies consideradas, el contenido de humedad y el tamaño del sólido que ingresa en el hogar de la caldera a combustionarse.

El desperdicio de madera verde, representa el mayor volumen de combustible que aportan los aserrios, el mismo que tiene un elevado contenido de humedad. Para quemar este desperdicio se reduce a trozos pequeños mediante una sierra astilladora. El combustible astillado se debe mezclar con aserrín y viruta antes de quemarlo.

Puesto que la mayoría del combustible tiene bastante humedad, parte de la combustión sirve para la evaporación de la humedad de la madera. Después que el combustible se ha secado pasa por un estado de destilación y combustión de los componentes volátiles .



La utilización del diesel en la industria del secado de madera actualmente tiene un precio muy elevado en comparación con el citado anteriormente. Sin embargo este sistema es empleado en industrias que tienen montado una gran infraestructura.

Las ventajas del uso de calderos a diesel está representada en el control que se tiene sobre la presión y temperatura durante la operación debido a los sistemas automáticos de control que tienen estos calderos.

CAPITULO II

CAMARA DE SECADO PARA MADERA

2.1 CAMARA DE SECADO PARA MADERA

Las secadoras para madera que emplean solamente circulación de aire forzado o simplemente secado por acción del medio ambiente para extraer la humedad de la madera tienen aplicaciones muy limitadas en lo que respecta al tiempo de secado. Actualmente la creciente demanda que tiene la balsa en el mercado internaciona, exige un secado rápido de la misma, con el mínimo de pérdidas en madera procesada y con el menor costo posible.

En la extracción de la humedad de la madera se identifican los siguientes pasos principales :

- a) La extracción de la humedad desde el centro de la madera hacia el exterior.
- b) La evaporación de la humedad exterior en la madera.

El suministro de calor de una cámara secadora a vapor acelera estos dos efectos, mediante el uso del

aire caliente y una eficiente circulación del mismo. La circulación del aire dentro de la cámara se logra con la introducción de ventiladores, que pueden ser de flujo axial o ventiladores centrífugos, según el diseño establecido para la circulación de aire dentro de la cámara.

Los ventiladores centrífugos pueden vencer una mayor caída de presión que se produce al circular el aire por medio de la pila de maderas dentro de la cámara.

Una cámara de secado debe de facilitar el control sobre las condiciones de humedad y temperatura dentro de la cámara. El control de la Humedad Relativa dentro de la cámara se realiza mediante el uso de ventoleras o chimeneas de desfogue del aire húmedo desde el interior de la cámara.

La cámara debe tener un sistema para introducir vapor dentro de la misma, a fin de acondicionar la madera durante el proceso de secado. Esto es, ingresar vapor a la cámara de manera adicional del vapor que ingresa a los intercambiadores de calor o radiadores de calor.

2.2 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA CAMARA DE SECADO PARA MADERA

Para el diseño de una cámara de secado es necesario considerar la capacidad de carga, como volumen de madera de balsa, que se requiere secar y el tiempo de duración que se estime dar a la estructura.

Las cámaras de secado se las puede construir desde tipo prefabricadas y listas para ensamblar en el lugar de operación, hasta grandes estructuras de concreto para servicio por muchos años en el lugar de operación permanente.

Los requerimientos para la construcción de una cámara de secado son:

1.- La cámara debe resistir las cargas debido al peso de la madera, el equipo de calentamiento, el equipo de circulación de aire etc, sin que haya fallas mecánicas.

2.- La construcción debe ser tal que no se deteriore por la acción de los microorganismos en el caso de usar madera, ni por la acción de la corrosión en el caso de estructuras metálicas.

3.- La cámara debe ser suficientemente aislada termicamente para reducir pérdidas de calor a través de sus paredes , piso, y techos.

4.- Facilidad de acceso para cargar y descargar la madera. La carga se la transporta generalmente en coches que se desplazan sobre rieles de acero.

Una industria para realizar el proceso de secado de madera de balsa a través de una cámara simple a vapor debe tener en consideración los siguientes elementos:

- La estructura del cerramiento
- El sistema de calefacción
- El sistema de ventilación

El volumen de la carga es optimizado ganando altura de apilamiento sobre los coches antes que ampliar el ancho de la carga.

Las cámaras generalmente se construyen sobre cimientos y pisos de concreto.

Las paredes de la cámara deben soportar al techo y tener suficiente poder aislante, para asegurar que ésta

sea eficiente, desde el punto de vista de la utilización del calor. El ladrillo es el material más común para las paredes. Estos ladrillos deben ser del tipo recocido, puesto que el ladrillo crudo se deteriora fácilmente.

Los techos de las cámaras se construyen de madera o concreto reforzado. El techo, así como las paredes deben ser suficientemente fuertes y durables para que la cámara tenga una vida útil prolongada. Si el techo se construye de madera, ésta debe ser tratada contra daños ocasionados por insectos de la madera. Para no tener dificultad en el control de la temperatura y la humedad relativa, el techo debe ser impermeable y debería estar aislado para reducir la transmisión de calor. En el techo se puede producir goteo de la humedad condensada y mantener las paredes de la parte superior con excesiva humedad durante las primeras etapas de secado. Para evitar esto en algunos casos se construye en la cámara un tumbado separado, apartado del techo por un espacio hueco.

Las puertas de la cámara requieren que se encuentren bien aisladas y con un buen ajuste de hermeticidad. Deben ser de peso ligero y que cuelgue de tal manera que sea fácil de abrir y cerrar. Algunas veces están provistas de bisagras, barras de suspensión y en otras abren o cierran rodando sobre un riel colocado arriba de la abertura de la puerta. En las cámaras se deben instalar pequeñas puertas de inspección con

el fin de proporcionar acceso al interior de la cámara, sin interrumpir bruscamente el proceso.

El sistema de calefacción

Para elevar la temperatura del aire en la cámara el calor es proporcionado por medio de un sistema de vapor, que desde la caldera se conduce hasta un colector de suministro, este colector distribuye luego a un grupo de serpentines radiadores de tubos, preferiblemente aleteados. Estas superficies radiadoras se encuentran distribuidas a lo largo de la cámara, de tal manera que el aire atraviese por circulación forzada su superficie. El vapor condensado luego de haber cedido su calor, se elimina de los radiadores por medio de trampas de vapor y se lo regresa a la caldera. La función de la trampa de vapor es cerrar el sistema de vapor y descargarlo en el sistema de retorno de condensado.

Propósito de la ventilación

Los propósitos de la ventilación en una cámara de secado son los siguientes:

- a) Distribuir uniformemente el calor por toda la cámara.

- b) Transportar la humedad evaporada de las superficies de la madera.
- c) Transportar el calor de los serpentines calefactores y aumentar la velocidad de transmisión de calor.
- d) Proporcionar un medio de mezclado y acondicionamiento del aire antes de que ingrese a la carga de madera.

Para una determinada cámara la potencia de demanda para la circulación de aire variará con:

- La velocidad
- El ancho de carga
- La rugosidad de la madera
- El espesor de las plantillas de separación

Las cámaras secadoras de madera según cada diseño o método de planificación, para el ingreso de la carga de madera aserrada para el secado tienen otras clasificaciones. Tomando en cuenta la clasificación según el ingreso de carga estas pueden ser:

Cámaras de tipo progresivo

Cámaras de tipo de compartimiento

En las cámaras de tipo progresivo, los carros de madera se cargan por un extremo, pasan a través de la cámara y se descargan del otro extremo de la misma al completar el periodo de secado. En cualquier tiempo dado, una cámara progresiva puede contener madera en varios estados sucesivos de secado. En las cámaras de compartimiento la madera permanece dentro de la misma hasta el tiempo de descarga final del proceso.

2.3 REQUERIMIENTOS ENERGETICOS

En el secado de materiales, particularmente de la madera, se requiere una gran cantidad de energía para conseguir el resultado esperado de lograr extraer y evaporar el agua desde el interior de la madera. La madera puede ser secada en diferentes tipos de cámaras secadoras, las cuales tendrán diferentes niveles de eficiencia, debido a las características de su diseño físico como a las propiedades inherentes de los materiales de construcción. Dependiendo del equipamiento empleado en las cámaras y utilizando un eficiente nivel de operación se puede requerir de dos a cuatro veces la cantidad de energía que se emplearía en evaporar la misma cantidad de agua. Referencia 2.

El consumo de energía en forma general a considerar en una cámara de secado se puede expresar de la siguiente manera:

- 1.- Calor sensible debido a la madera.
- 2.- Calor sensible para el calentamiento del agua de la madera.
- 3.- Calor latente para la vaporización del agua.
- 4.- Calor debido a renovaciones del aire.
- 5.- Calor asociado a los cambios de aire.

(Ver anexo # 2)

Ventajas del uso de vapor saturado

En el secado natural la circulación del aire depende directamente de la temperatura del ambiente natural, la que es imposible regular; mientras que en las cámaras secadoras a vapor acondicionadas con circulación forzada de aire caliente, se puede mantener la debida circulación del aire y controlar la humedad relativa necesaria para el secado.

La madera secada a temperaturas sobre los 170°F, (76.7°C), como es la atmósfera de secado que proporciona una cámara a vapor, disminuye la afinidad higroscópica. Para ciertas condiciones se produce dilataciones y contracciones, como las que se producen para temperaturas ambientales que originan curvaturas.

Una cámara con vapor saturado para el secado de madera, reduce más rápidamente la humedad contenida en la madera que cualquier otro proceso de secado, tales como: secadores solares, secado por enfriamiento y deshumidificación, secado al vacío, etc.

Las instalaciones que usan vapor saturados están justificadas por la cuidadosa manipulación que se requiere de la materia prima, secado uniforme, corto tiempo de almacenamiento y ahorros de intereses.

CAPITULO III

LOS EQUIPOS DE CONTROL PARA EL PROCESO DE SECADO

El control necesario que se debe tener en un proceso de secado está resumido a los siguientes puntos:

- 1.- Control de las temperaturas de la cámara
- 2.- Control de la humedad relativa
- 3.- Control de la circulación del aire
- 4.- Control de la humedad de la madera

La medición de la temperatura en una cámara de secado se realiza empleando termómetros. De esta manera podremos comprobar los parámetros característicos del aire. Uno de los parámetros principales es la humedad relativa del aire de la cámara de secado.

La humedad relativa es la relación entre la tensión parcial de vapor de agua y la tensión máxima de este vapor si el aire estuviera saturado a esta temperatura. La determinación de la humedad relativa del aire se la conoce utilizando una carta Psicrométrica o diagrama para el aire

Para esto, se requiere de conocer temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo.

La temperatura de bulbo seco es la temperatura que se lee sobre un termómetro ordinario, esta temperatura algunas veces se la denomina temperatura seca.

La temperatura de bulbo húmedo es la temperatura que nos indica un termómetro ordinario cuyo bulbo está recubierto de una gasa o mecha saturada de agua a la temperatura ambiente y ubicada en un flujo de aire fresco que circula a una velocidad de 3 a 4 m/s sobre el bulbo recubierto.

La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua contenida en una masa determinada de aire húmedo y relacionada generalmente con respecto a la masa de aire seco expresada en kg.

El control de la humedad relativa dentro de una cámara de secado se realiza extrayendo el aire húmedo desde el interior por medio de ventanillas o compuertas situadas en el lado superior de la cámara. También se acondiciona la humedad de la cámara ingresando vapor al interior de la misma.

La ventilación y circulación de aire dentro de la cámara se se puede lograr en dos sentidos de la carga, utilizando para el efecto ventiladores axiales de acción

reversible, los cuales presentan la ventaja de mantener un secado más parejo para toda la carga.

La humedad de la madera se mide realizando pruebas en un tipo de hornos portátiles donde ingresan pequeñas muestras para extraerle la humedad. Estos hornos deben ser de temperatura controlada en 215 ± 3 °F. Una temperatura superior quemaría la sección y temperatura por debajo de 212 °F no evaporaría toda el agua de la misma.

3.1 CONTROL MANUAL

Cuando se realiza un control denominado manual, significa que se tiene poco o casi ningún control en los parámetros que intervienen en el secado, y que solo existe inspecciones rudimentarias en la operación. El operador debe estar verificando varias de las muestras testigo hasta que estas alcancen el secado necesario y por tanto tendrá condiciones de secado muy variable. La humedad de la madera puede reconocerse haciendo un corte en el centro de la madera y comparandola con otra seca.

El control manual se encuentra más en sectores artesanales que en el sector industrial, propiamente dicho. Sin embargo con este tipo de control se logra un determinado nivel de aceptación cuando se tiene la suficiente experiencia.

Generalmente se trabaja con condiciones bajas de temperatura, alrededor de 140 °F.

3.2 CONTROL SEMI AUTOMATICO

En cámaras de secado equipadas medidores de la humedad relativa, puede actuar una señal eléctrica para accionar un mecanismo de apertura y cierre de compuertas para sacar el aire húmedo desde el interior de la cámara.

El sistema de humectación puede ser regulado a través de electroválvulas, las cuales acondicionen la humedad relativa de la cámara rociando vapor.

El sistema de circulación de aire en estos casos es alternado de dirección mediante ventiladores reversibles.

Para el control de la humedad de la madera resulta práctico colocar los sensores de humedad de la madera en muestras que estan dentro del proceso de secado sin tener que estar abriendo y tomando la muestra desde el interior de la cámara.

3.3 EQUIPO AUXILIAR EN LAS CAMARAS SECADORAS

Además del equipo para operación de las cámaras secadoras a vapor, como son termómetros de bulbo seco, bulbo húmedo. Ver fig.# 3. manómetros, etc. Se requiere de equipo adicional para mantener un adecuado control del proceso de secado de la madera de balsa . Estos equipos son:

- Balanzas . Ver fig. # 4

- Hornos de secado para muestras . Ver fig. # 5

- Detector de humedad . Ver fig.# 6

- Higrómetro . Ver fig. # 7

- Equipo para determinación del movimiento de aire .Ver fig.# 8

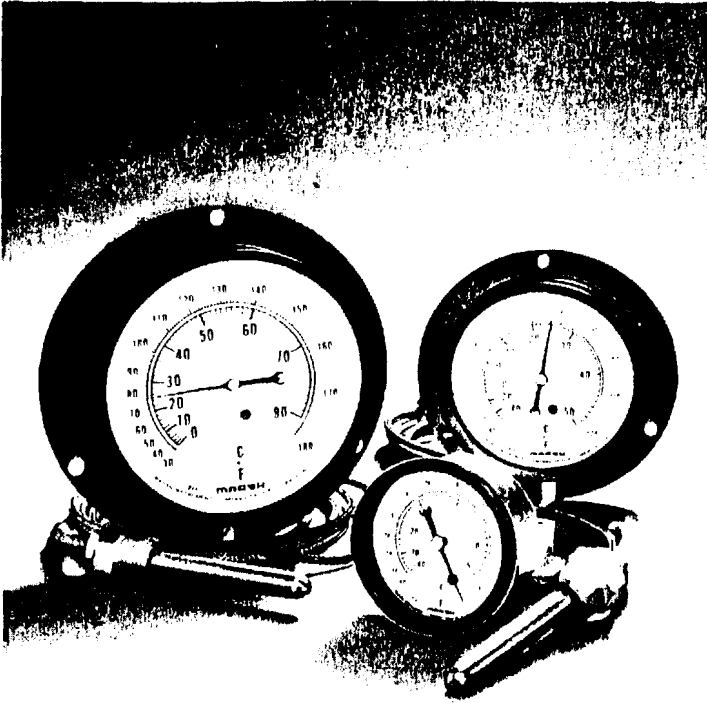


Figura II 3 Termómetros

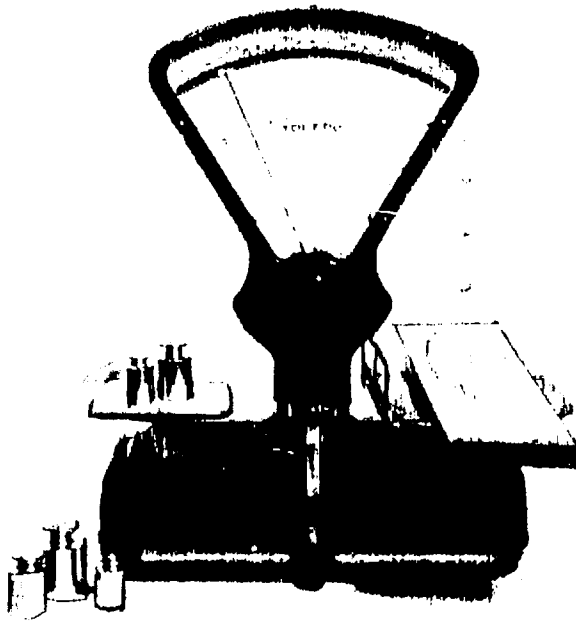


Figura II 4.- Balanza

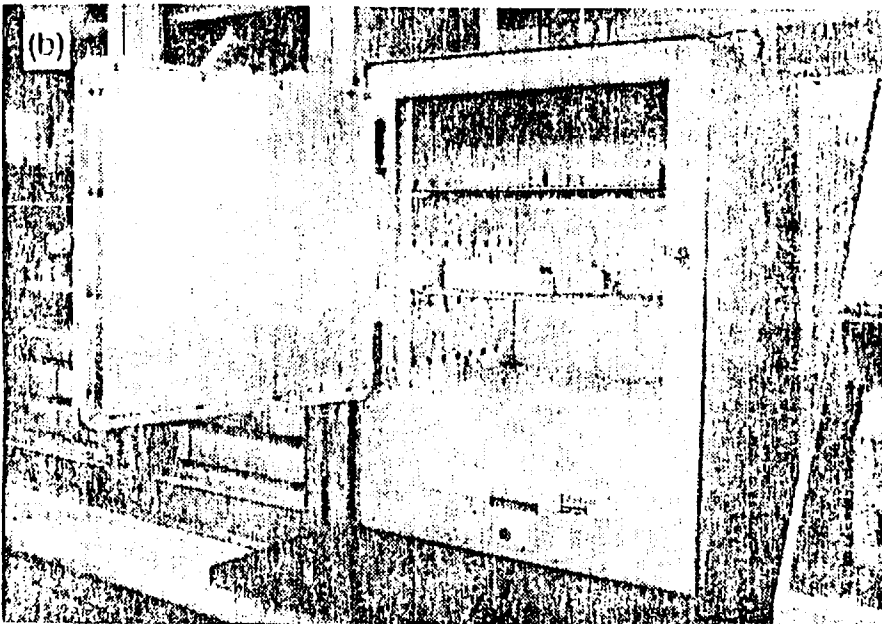


Figura II 5.- Hornos de secado para muestras

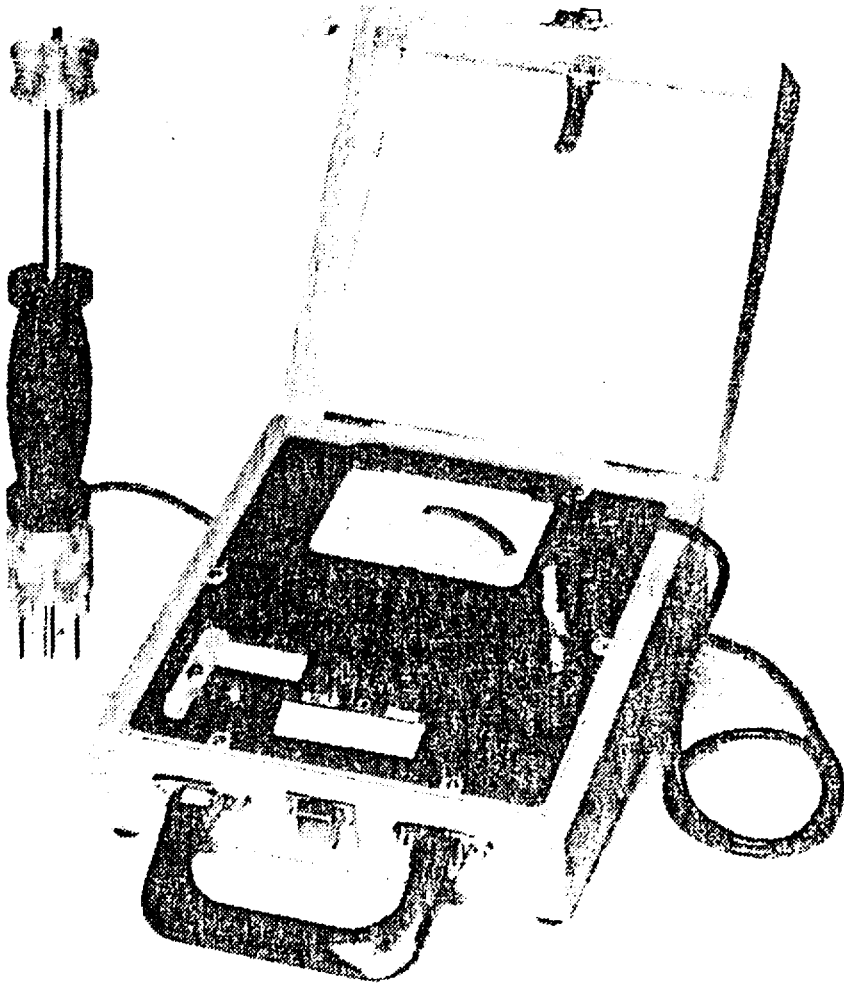


Figura # 6 --- Detector de humedad

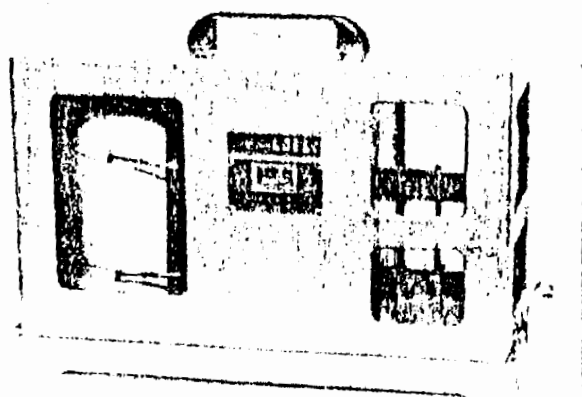


Figura II 7 - - - - - Higrómetro



Figura II B — Equipo para la determinación del movimiento del aire.

3.4 EQUIPOS UTILIZADOS DURANTE LAS PRUEBAS

Durante las pruebas se utilizó los siguientes equipos:

1. Balanza de brazo
Capacidad 30 lb. precisión 1/16 oz.
Uso: Para determinar la masa de las muestras en general.

2. Balanza de brazo
Capacidad 2.5 Kg. precisión + 0.1 g.
Uso: Para muestras pequeñas secadas en horno eléctrico

3. Termómetro digital con termocupla tipo K
Precisión + 0.2 °F
Uso: Para comprobación y calibración de termómetros
de (4)

4. Termómetros de gas : Rango 50 - 200 °F
Precisión + 1 °F
Uso: Para temperatura seca y húmeda de la cámara

5. Horno eléctrico de temperatura controlable 215 °F
Uso: Secado de muestras para extracción total de
la humedad.

CAPITULO IV

PRUEBAS PARA REALIZADAS PARA EL SECADO DE LA Balsa

4.1 MADERA PRESECADA EN PATIOS

En la madera de balsa localizada en los patios para presecado, se realizó las siguientes observaciones:

- a) Observación de las maderas en general en los castillos de presecado, en patios.
- b) Seguimiento de las maderas después del proceso de aserrado.

La madera presecada, comprende aquella que inicialmente se la coloca en posición paçada, después del proceso de aserrado, por un tiempo que puede llegar a tres días o más. Esta madera, luego es clasificada y agrupada por grosor para ser apilada en castillos, donde permanecera durante un tiempo de 30 a 60 días. El secado se realiza al aire libre, antes de ser conducida al proceso de secado en las cámaras de vapor.

Clasificación de la madera

A la madera de balsa presecada se la clasifica en tres grupos, atendiendo al grosor de la sección transversal, estos son:

- 1.- Madera presecada clasificación delgada
- 2.- Madera presecada clasificación mediana
- 3.- Madera presecada clasificación gruesa

Madera delgada.- Se clasifica como madera delgada, atendiendo a la dimensión de la sección transversal, a la madera aserrada que tiene entre 7 - 12 pulg. cuadradas.

Deberá notarse que el uso y aplicación de la madera de balsa que existe en ésta industria, difiere ampliamente al uso que existe para la madera en general, que son tablas, tablones, etc. En la madera de balsa se usa generalmente secciones aserradas rectangulares con relación máxima 2 a 1 entre ancho y altura.

El porcentaje de madera delgada que se extrae al aserrar una troza de madera de balsa, en una aserradora

múltiple, es de alrededor del 20 %. Tomado como referencia el corte de trozas de promedio 18 pulgadas. generalmente esta madera delgada por efectos propios del proceso de aserrado alcanza una una longitud máxima de 6 pies.

Madera mediana.- La madera clasificada como mediana después del proceso de aserrado, esta comprendida con dimensiones en la sección transversal entre 15 y 25 pulgadas cuadradas. La cantidad de madera aserrada con estas dimensiones está entre el 40 y 50 % , del volumen total de maderas que genera un aserrío en estas operaciones. Con estas medidas de sección transversal encontramos piezas de largo de hasta 10 pies.

Madera gruesa .- La madera clasificada como gruesa es toda aquella con dimensiones de sección transversal sobre las 25 pulgadas cuadradas.

Madera verde.- El término madera verde se refiere a una madera inmediatamente después de aserrada, esta inicialmente contiene un gran contenido de agua, sobrepasa en algunos casos el 200 % de humedad (base seca).

PROCEDIMIENTOS

1.- Clasificación de la madera

Este paso incluye la selección las muestras testigo y la ubicación de las mismas dentro del grupo general de maderas que se está observando. Debe tomarse en cuenta la fecha de aserrado del grupo de muestras. Estas muestras son maderas del grupo general de secado.

2.- Seleccionar adicionalmente 30 muestras. para el seguimiento de la prueba, por cada grupo o castillo clasificado, (para maderas delgadas y medianas). 10 muestras para maderas gruesas.

3.- Para un periodo de 30 días de duración de las pruebas y mediciones, tomar datos de los pesos individual y del grupo cada 5 días , de las muestras de (2).

La selección del tamaño de las muestras se escogió lo más cercano del tamaño real que se tiene en la práctica de operaciones de secado en este tipo de industria.

Las dimensiones de las muestras

Medida expresada en pulgadas

	Largo	Ancho	Altura
Madera Delgada	36	3	3
Madera Mediana	48	5	4
Madera Gruesa	48	6	6

Los datos se presentan en el apéndice -A- Tablas # 1,2,3

4.2 LAS PRUEBAS EN CAMARAS DE SECADO

Objetivo.-

- a) Secar las muestras referidas en la sección 4.1, hasta un promedio de humedad final en la madera del 10 %, respecto a base seca.

- b) Determinar el tiempo de secado para diferente clasificación de grosor en maderas de balsa.

Fundamentos para la prueba.

Se necesita tener una referencia común para evaluar el porcentaje de humedad en la madera con respecto a base seca. Para el efecto se conoce que la madera seca, en condición de equilibrio, a temperatura de 22 °C y humedad relativa del 70 % , se mantiene con una humedad promedio entre el 8 al 12 % . Referencia 4 .

Si se conoce el peso de la madera en muestras secas que contienen del 10 % de humedad (Base Seca) y se considera por conveniencia para cálculos este valor como peso final de la madera secada, entonces se puede

calcular el porcentaje de humedad de la madera en base seca para un valor de referencia del 10 % de contenido de humedad. El valor final de la masa de la madera seca al cero por ciento, se puede aproximar restandole el 10 % a la masa de las muestras después del proceso de secado.

Se considera la fórmula (1) para calcular el contenido de humedad respecto a una base seca del 10 %

$$\text{Porcentaje de Humedad en la madera (Base seca)} = \frac{P(i) - P(f).10\%}{P(f).10\%} \times 100$$

(1)

Donde:

$P(i)$ = Peso inicial de la madera.

$P(f)$ = Peso final de la madera - con 10% de humedad.

La madera de balsa que ingresa a una cámara para el secado posee variadas dimensiones respecto de la sección

transversal. Por lo tanto se la clasifica durante la etapa de presecado en las siguientes clases:

Madera delgada

Madera mediana

Madera gruesa

La razón para la clasificación de la madera es para conseguir un mejor ordenamiento del material dentro de la cámara y mejorar la uniformidad del secado.

Por madera presecada se entiende aquella que ha pasado un tiempo al menos de 20 días en apilamiento y secado al aire libre. En la práctica, a la madera, después del secado se la mantiene parada por un periodo de tres y más días, luego se la apila en castillos para su aereación natural.

PROCEDIMIENTO

- 1.- Seleccionar 10 muestras representativas para cada grupo clasificado de madera.
- 2.- Tomar datos de peso inicial de las muestras.

3. Tomar datos de peso cada tres días de secado. Sacando las muestras de la cámara.
4. Tomar datos del peso al final del proceso.
5. Tomar datos de temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo durante el proceso.
6. Calcular el porcentaje de humedad perdida en la madera.
7. Tomar datos humedad de la madera, para muestras tomadas aleatoriamente durante el proceso de secado. Utilizar para el efecto un detector de humedad de resistencia eléctrica.
8. Realizar las gráficas del proceso.

4.2.1 PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA DELGADA

Determinación de la humedad perdida en la madera durante el secado

Para determinar la cantidad de humedad pérdida en la madera se procedió de la siguiente manera:

Secar las muestras seleccionadas de la sección 4.1 hasta una condición de humedad del $(10 \pm 2) \%$, en cualquier cámara de secado para madera.

Para determinar el porcentaje de la condición final de humedad se utilizó un detector de humedad, instrumento descrito en la sección 3.4. De esta manera se obtiene directamente el valor promedio de humedad en las muestras de madera.

Los datos de la humedad final de muestras después del secado, tomados con detector de humedad, se encuentran en la tabla # 7 en el apéndice - B -.

El promedio de humedad de la madera después del secado es de 13% de humedad sobre base seca.

Para verificación de los valores tomados por el detector de humedad, se procedió a secar trozos pequeños de las muestras de la madera, utilizando para el efecto un horno eléctrico de temperatura controlable. Los resultados del secado de las muestras secadas en el horno, para un tiempo de secado de 24 horas a 215°F fueron los siguientes:

Masa inicial de las muestras = 156 g.: M (i)

Masa final después del secado = 135 g. : M (f)

El porcentaje de humedad de la madera, sobre base seca se calcula de la siguiente manera. Formula (2)

$$\text{Porcentaje de humedad de la madera (B.S)} = \frac{M (i) - M (f)}{M (f)} \times 100$$

Remplazando valores tenemos que:

Las muestras contienen el 15.5% de humedad, para este caso.

Durante el tiempo de secado en la cámara se sigue el mismo procedimiento para evaluar las muestras en lo que respecta a la pérdida de humedad. Las muestras se sacan de la cámara cada tres días para su evaluación.

4.2.2 PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA MEDIANA

La madera mediana seleccionada para esta prueba tiene las siguientes dimensiones:

Largo: 36 pulg.

Ancho: 5 pulg.

Altura: 4 pulg.

Esta madera estuvo en apilamiento al aire libre durante 30 días. Las muestras corresponden a las de sección 4.1 para medera mediana.

El tiempo de duración del secado en la cámara fué de 9 días, para cámara con temperatura de operación de 170 °F. Las tablas # 8 y # 9, muestran los resultados de las pruebas realizadas en los grupos # 1 y # 2 respectivamente. Las pruebas fueron realizadas en la industria Fadelma. Las muestras, permanecieron 6 días adicionales en secado para que alcancen el valor mínimo de humedad en condiciones de equilibrio. Se obtuvo para este caso un promedio de humedad final en la madera del 11%.

El grupo # 3 de esta clasificación, fué secada en una cámara con temperatura máxima de operación de 150 °F, la prueba fue realizada en la industria Madepron. Para estas condiciones de operación, a los 9 días las muestras se encontraron sobre el 25 % de humedad. El proceso de secado por tanto debe continuar, con

estas condiciones durante dos días adicionales. Las muestras fueron retiradas después de 11 días. El promedio registrado de humedad para las muestras fué del 16% de humedad en la madera, tomado con detector de humedad.

La humedad promedio para la madera después del secado estuvo sobre el 15%. Para reducir dos puntos a este porcentaje se requiere de un día adicional, en el cual se debe mantener especial atención en lo que respecta al control de la humedad relativa de la cámara, a fin de evitar que el excesivo resecamiento perjudique a toda la carga de madera. Por tanto se recomienda mantener solamente ventilación durante esta última etapa.

4.2.3 PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA GRUESA

Para la madera de clasificación gruesa se realizó una prueba de secado en cámara con temperatura de operación de 150 °F. Los resultados de la prueba se encuentran en la tabla # 11. El tiempo de secado fue de 15 días. El promedio de humedad de esta madera después del secado estuvo sobre el 20 % de contenido de humedad.

4.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Madera presecada en patios

Durante la etapa de presecado de la madera en patios se determinó que para un tiempo de presecado de 30 días, en apilamiento de madera en forma ordenada como castillos, existe una mayor velocidad de pérdida de humedad para las maderas clasificadas como delgadas, éstas maderas pierden el 110% de humedad, refereridad a base seca, la masa de agua perdida por secado al aire libre es 25.2 libras o 11.4 kg. para una cantidad de madera de masa seca de 23.1 libras (10.5 kg.). Luego de 30 días de presecado la madera delgada llega hasta el 40 % de humedad. La humedad de la madera estará siempre referida a base seca.

La madera mediana durante la presente prueba de presecado luego de 30 días tiene una humedad promedio 107 % para las mismas condiciones de secado al aire libre, la condición inicial después de corte es permanecer paradas por un tiempo de 5 días antes de ser clasificadas y apiladas en los castillos. La madera durante los primeros 5 días que permanece parada pierde un promedio de 80% de humedad.

Durante los 30 días la madera mediana perdió 58.7 lb. para una masa promedio de 39.1 lb. .

La madera gruesa después del presecado tiene 155% de humedad. La cantidad de agua perdida en este tiempo es de 20.8 libras, para 81.4 libras de madera seca.

Madera secada en cámara

Para las pruebas realizadas en la industria # 1 Fadelma, se tiene las siguientes condiciones:

Volumen de cámara: 50 metros cúbicos

Temperatura de operación: 170 °F (76.7 °C)

En la industria # 2, Madepron se tiene:

Volumen de cámara: 60 metros cúbicos

Temperatura de operación: 150 °F (65.6 °C)

El tiempo de secado para la cámara con temperatura de operación de 170 °F, es menor en 20%, con respecto al tiempo de secado realizado en cámara con 150°F de temperatura máxima, para secado de madera mediana.

Las condiciones iniciales con que ingresa la madera a una y otra cámara difieren en el porcentaje de contenido de humedad. El tiempo de secado para madera mediana a temperatura de operación de 170 °F, es de 10 días, para maderas que ingresan con un promedio de humedad sobre el 100%. Para una temperatura de operación de 150 °F máx. el tiempo de secado es de 12 días, en maderas que ingresan con promedio de 150% de humedad.

Las maderas clasificadas como gruesas, requieren de 15 días para secarse, si al menos tienen un tiempo de 30 días de presecado. Es recomendable que durante todo el tiempo de presecado esta madera permanezca parada, para que disminuya el contenido de humedad inicial en la madera

4.4 DETERMINACION DE LOS PROGRAMAS DE SECADO

Los programas de secado son las operaciones a seguir durante el proceso de secado de la madera de balsa, a fin de conseguir el objetivo de secar la madera de la manera más económica, en el menor tiempo posible y con menor cantidad de defectos controlables en este proceso.

El presente programa de secado es el resultado de haber obtenido un considerable número de pruebas satisfactorias dentro de la industrias de madera de balsa.

Para la determinación del progarama de secado se tiene las siguientes consideraciones generales.

1. La clasificación de la madera según el grosor de la sección transversal.
2. La humedad inicial de la madera que ingresa al proceso de secado.
3. La temperatura de operación de la cámara.
4. El acondicionamiento de la humedad relativa de la cámara.

Por los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas se tiene que el parámetro temperatura de la cámara es el que tiene mayor incidencia para la duración del tiempo de secado.

La humedad inicial con que ingresa la madera se la puede evaluar de las tablas de apéndice - A -, estos datos corresponden a un tiempo promedio que tienen las muestras en presecado, para un periodo de 30 días.

El acondicionamiento de la humedad relativa de la cámara debe realizarse durante las siguientes etapas:

1. Durante la etapa inicial del secado de la madera en cámara. La madera debe recibir en periodos de dos horas, un baño de vapor por lapso de 15 minutos. El baño de vapor saturado que recibe la madera sirve para acondicionarla a la temperatura de la cámara, y al mismo tiempo esta humedad sirve para evitar el resecamiento de las fibras exteriores de la madera. Durante esta etapa de secado la cámara se mantiene con una humedad relativa del 99 - 98 %. Este procedimiento inicial debe seguirse para cualquier clasificación de madera. Para madera mediana resulta conveniente realizar este procedimiento 5 veces al día durante los dos primeros días de secado. Para madera gruesa es recomendable mantener durante los tres primeros al 100% de humedad relativa.

2. Si la madera ingresa para el secado con humedad sobre el 150%. el proceso de humectación debe realizarse hasta el cuarto día de secado.

3. Las ventoleras o chimeneas de salida del aire deben ser abiertas gradualmente desde el 10 % durante los primeros dos días, para luego abrir al 25, 50, 75 % sucesivamente. Durante la etapa final del secado las ventoleras estarán abiertas al 100%. La etapa final es durante los dos últimos días para un secado general de madera mediana.

4.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Las pruebas y observaciones realizadas para un programa de secado general, en madera mediana, siguiendo el presente procedimiento, se mantiene dentro del promedio mostrados en las gráficas para secado en de maderas en cámaras con vapor.

2.- Las condiciones individuales de operación de cada cámara: temperatura máxima de operación, ventilación, control de la humedad relativa y clasificación de la madera son los factores que determinan el tiempo mínimo para alcanzar el secado de la madera de acuerdo a los objetivos del programa.

3.- Se alcanza un promedio de 10 días para el secado de madera mediana que tiene entre 10 a 30 días en presecado. El duplicar el tiempo de presecado, desde 30 a 60 días, no reduce proporcionalmente el tiempo de secado que se tendría en la cámara con vapor.

4.- La temperatura promedio que se mantenga durante la operación de la cámara, incide directamente para determinar el tiempo de secado en las maderas. Así se tiene que para una

temperatura de operación de 170 °F, el tiempo de secado disminuye en un 20 %, respecto a la temperatura de operación de 150 °F, tomando como referencia el tiempo promedio de 10 días, que dura el secado de las maderas medianas, en una cámara que opera a 170 °F . Las maderas gruesas requieren de un tiempo adicional del 40% más que el requerido para el secado de maderas medianas en una cámara que opera a 170 °F.

APENDICE

Apéndice - A -

Madera presecada en patios: Tablas # 1, 2, 3

Apéndice - B -

Madera secada en cámara: Tabla # 4, 5, 6, 7

Clasificación delgada

Apéndice - C -

Madera secadas en cámara: Tabla # 8, 9, 10, 11

Clasificación mediana y gruesa

Apéndice - D -

Gráficas: Madera presecada en patios

Clasificación delgada

Apéndice - E -

Gráficas: Madera secada en cámaras

Apéndice - F -

Gráficas: Temperatura de cámaras

Industria Fadelma, Industria Madepron

APENDICE A**MADERA PRESECADA EN PATIOS**

* Tabla # 1 .- Madera presecada en patios

Clasificación: delgada

* Tabla # 2 .- Madera presecada en patios

Clasificación: mediana

* Tabla # 3 .- Madera presecada en patios

Clasificación: gruesa

PRUEBA # : 1

LUGAR: Madera presecada en patios

CLASIFICACION DE LA MADERA : Madera delgada

DIMENSIONES : 3 X 3 X 36 pulgadas

NUMERO DE MUESTRAS : 10 por grupo

GRUPO : # 1

DIA	1	5	10	15	20	25	30
PRSO (1b.)	38.4	33.7	32.2	30.0	29.1	27.4	26.1

GRUPO : # 2

DIA	1	5	10	15	20	25	30
PRSO (1b.)	50.7	46.4	43.6	42.7	41.1	37.7	33.0

GRUPO : # 3

DIA	1	5	10	15	20	25	30
PRSO (1b.)	55.8	49.3	47.9	44.5	43.2	41.6	40.7

Tabla # 1 .- Madera presecada en patios
Clasificacion : Delgada

PRUEBA # : 2

LUGAR : Madera presecada en patios

CLASIFICACION DE LA MADERA : Madera mediana

DIMENCIONES : 5 X 4 X 48 pulgadas

NUMERO DE MUESTRAS : 10 por grupo

	GRUPO : # 1 -----	GRUPO : # 2 PESO (lb.) -----	GRUPO : # 3 -----
DIA			
1	97.8	145.8	114.7
5	92.8	134.4	110.3
10	91.4	131.8	109.7
15	88.7	126.2	106.4
20	87.4	124.8	104.2
25	84.6	121.6	103.6
30	80.9	120.5	101.9

Tabla # 2 .- Madera presecada en patios
Clasificación : Mediana

PRUEBA # : 3

LUGAR : Madera presecada en patios

CLASIFICACION DE LA MADERA : Madera gruesa

DIMENSIONES : 6 X 6 X 48 pulgadas

NUMERO DE MUESTRAS : 10

=====

DIA	PESO (lb.)
1	208.1
5	200.9
10	196.4
15	194.0
20	191.8
25	190.1
30	187.3

Tabla # 3 .- Madera presecada en patios
Clasificación

APENDICE B

MADERA SECADA EN CAMARA
PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA DELGADA

- * Tabla # 4 .- Prueba de secado : maderas Grupo 1

- * Tabla # 5 .- Prueba de secado : maderas Grupo 2

- * Tabla # 6 .- Prueba de secado : maderas Grupo 3

- * Tabla # 7 .- Datos de humedad en la madera
tomados con detector de humedad

PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA DELGADA

PRUEBA # 4

GRUPO : 1

LUGAR : Industria Madeprón

Día	Masa lb.	% Humedad de la madera	Temperatura seca (F)	Temperatura húmeda (F)
0	26.1	53	140	138
3	21.6	27	150	146
6	19.2	13	150	145
9	18.7	11	-	-

Masa inicial : 26.1 lb.

Masa final seca : 17.0 lb.

Tabla # 4 .- Prueba de secado : Madera delgada G-1

BIBLIOTECA
CENTRAL

PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA DELGADA

PRUEBA # 5

GRUPO : 2

LUGAR : Industria Madeprón

Día	Masa lb.	% Humedad de la madera	Temperatura seca (F)	Temperatura húmeda (F)
0	33.0	56	140	138
3	24.9	18	150	146
6	23.7	12	150	145
9	23.3	10	-	-

Masa inicial : 33.0 lb.
Masa final seca : 21.1 lb.



Tabla # 5 .- Prueba de secado : Madera delgada G-2

PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA DELGADA

PRUEBA # 7

GRUPO : 3

LUGAR : Industria Madeprón

Día	Masa lb.	% Humedad de la madera	Temperatura seca (F)	Temperatura húmeda (F)
0	40.7	64	140	138
3	32.1	30	150	146
6	28.4	15	150	145
9	27.6	12	-	-

Masa inicial : 40.7 lb.
 Masa final seca : 24.7 lb.

Tabla # 6 .- Prueba de secado : Madera delgada G-3

Prueba de control de la humedad de la madera
despues del proceso de secado: Mad. delgada

muestras	Contenido de humedad (%)	promedio
1	17	
2	14	
3	12	14
4	15	
5	12	
6	14	
7	13	
8	15	13
9	12	
10	12	
11	12	
12	15	
13	14	13
14	13	
15	12	

Tabla # 7 : Datos de humedad en la madera
tomado con Detector de humedad.

APENDICE C

MADERA SECADA EN CAMARA
PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA MEDIANA Y GRUESA

- * Tabla # 8 .- Prueba de secado : maderas Grupo 1

- * Tabla # 9 .- Prueba de secado : maderas Grupo 2

- * Tabla # 10 .- Prueba de secado : maderas Grupo 3

- * Tabla # 11 .- Prueba de secado : madera gruesa

PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA MEDIANA

PRUEBA # 7

GRUPO : 1

LUGAR : Industria Fadelma

Día	Masa lb.	% Humedad de la madera	Temperatura seca (F)	Temperatura húmeda (F)
0	80.9	107	140	139
3	61.4	57	150	147
6	54.2	38	170	164
9	45.6	16	170	164
12	44.7	14.3	-	-
15	43.4	10	-	-

Masa inicial : 80.9 lb.

Masa final seca : 39.1 lb.

Tabla # 8 .- Prueba de secado : Madera mediana G-1

PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA MEDIANA

PRUEBA # 8

GRUPO : 2

LUGAR : Industria Fadelma

Día	Masa lb.	% Humedad de la madera	Temperatura seca (F)	Temperatura húmeda (F)
0	120.4	98	140	138
3	98.6	62	150	147
6	78.2	29	170	163
9	69.2	14	170	164
12	68.8	13	170	164
15	67.4	12	-	-

Masa inicial : 120.4 lb.

Masa final seca : 60.6 lb.

Tabla # 9 .- Prueba de secado : Madera mediana G-2

PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA MEDIANA

PRUEBA # 9

GRUPO : 1

LUGAR : Industria Madeprón

Día	Masa lb.	% Humedad de la madera	Temperatura seca (F)	Temperatura húmeda (F)
0	101.9	116	125	124
3	83.7	77	145	143
6	70.2	49	150	146
9	58.5	24	150	146
12	53.7	14	-	-
15	52.3	13	-	-

Masa inicial : 101.9 lb.
Masa final seca : 48.0 lb.

Tabla # 10 .- Prueba de secado : Madera mediana G-3

PRUEBAS DE SECADO PARA MADERA GRUESA

PRUEBA # 10

GRUPO : 1

LUGAR : Industria Madeprón

Día	Masa lb.	% Humedad de la madera	Temperatura seca (F)	Temperatura húmeda (F)
0	187.3	155	135	134
3	150.6	105	137	135
6	120.3	64	140	134
9	100.5	37	150	145
12	89.8	23	150	145
15	82.8	13	150	145
18	81.4	12	-	-

Masa inicial : 187.3 lb.
 Masa final seca : 73.3 lb.

Tabla # 11 .- Prueba de secado : Madera gruesa

APENDICE

TEMP. SECA	DEPRESION DE BULBO HUMEDO (oF)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
100	96	93	89	86	83	80	77	73	70	68	62	56
105	96	93	90	87	83	80	77	74	71	69	63	58
110	97	93	90	86	84	81	78	75	73	70	65	60
115	97	93	90	88	85	82	79	76	74	71	66	61
120	97	94	91	88	85	82	80	77	74	72	67	62
125	97	94	91	88	86	83	80	77	75	73	68	63
130	97	94	91	89	83	80	77	73	70	68	62	56
140	97	95	92	89	87	84	82	79	77	75	70	66
150	98	95	92	90	87	85	82	80	78	76	72	68
160	98	95	93	90	88	86	83	81	79	77	73	69
170	98	95	93	91	89	86	84	82	80	78	74	76
180	98	96	93	91	89	87	85	83	81	79	75	72
190	98	96	94	92	90	88	85	84	82	80	76	73
200	98	96	94	92	90	88	86	84	82	80	77	74
210	98	96	94	92	90	88	86	85	83	81	78	75

Referencia : Laboratory Forest Products

Tabla # 12 .- Temperatura seca / Depresión de bulbo húmedo

APENDICE D

GRAFICAS

MADERA PRESECADA EN PATIOS

Gráfica # 1 .-- Madera delgada presecada en patios

Gráfica # 2 .-- Madera delgada / Grupo 1

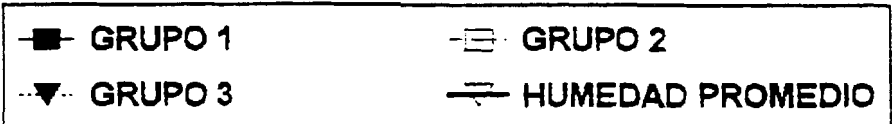
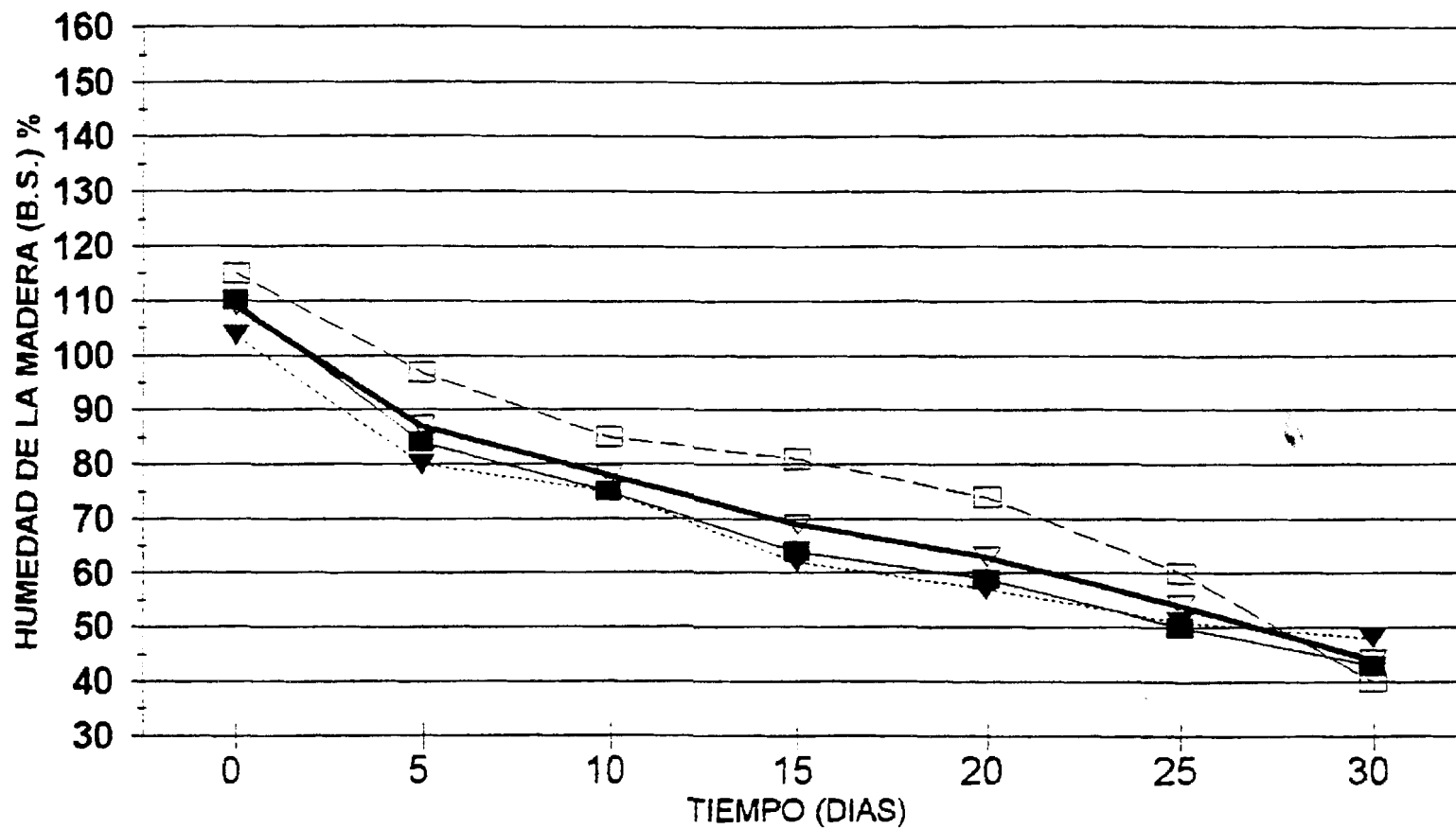
Gráfica # 3 .-- Madera delgada / Grupo 2

Gráfica # 4 .-- Madera delgada / Grupo 3

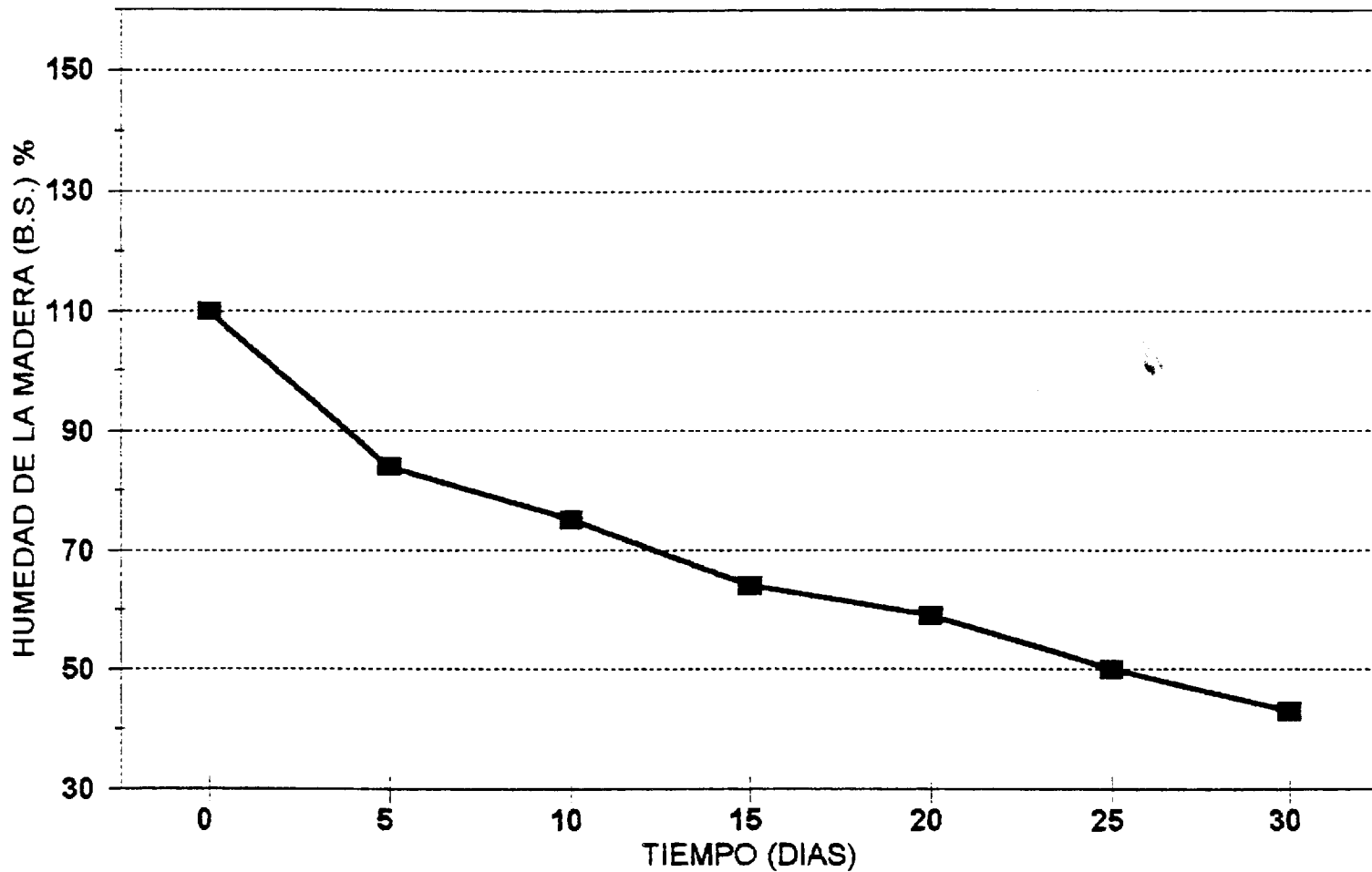
Gráfica # 5 .-- Madera delgada / Promedio

MADERA PRESECADA EN PATIOS

MADERA DELGADA

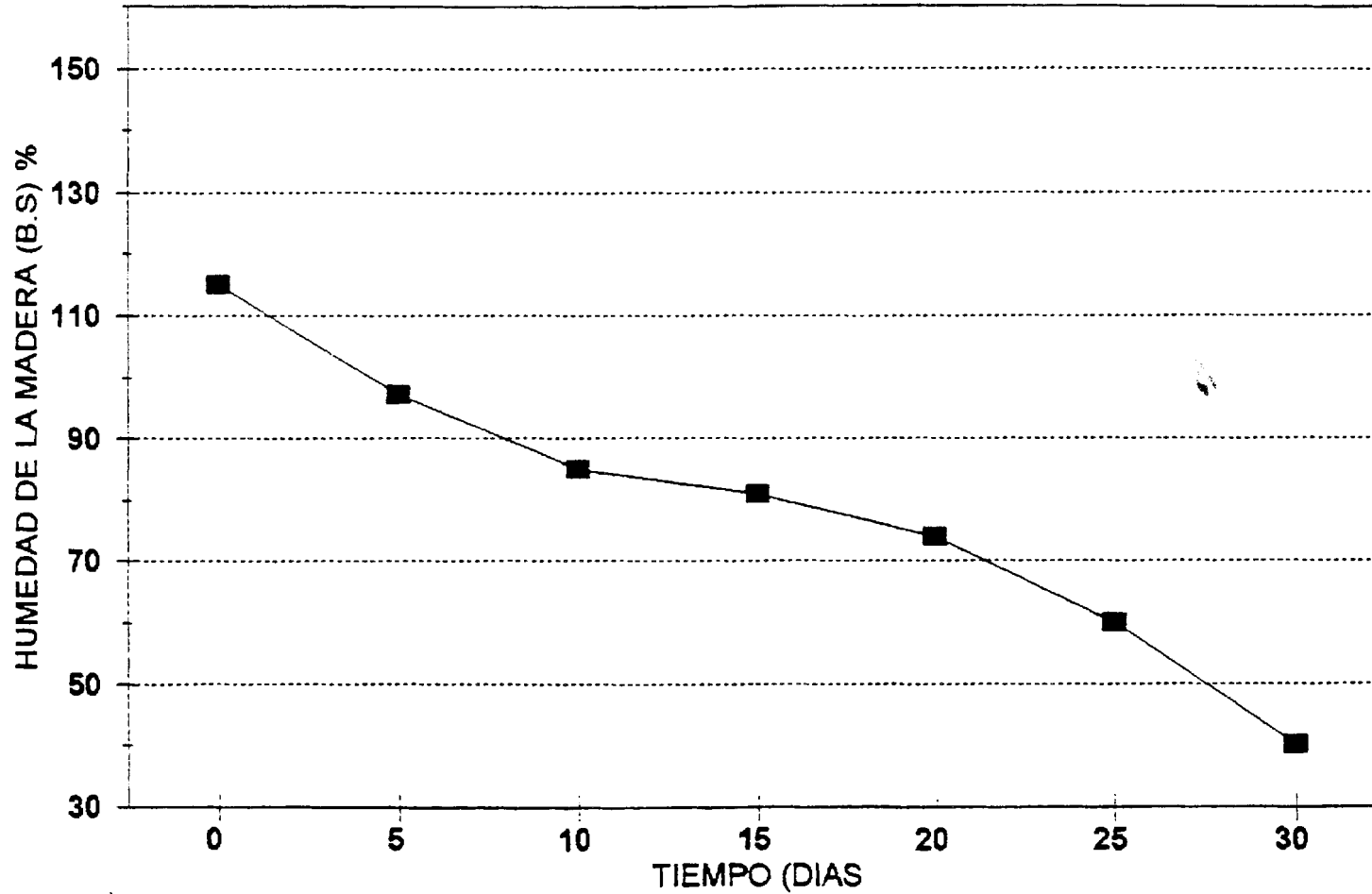


MADERA PRESECADA EN PATIOS GRUPO 1

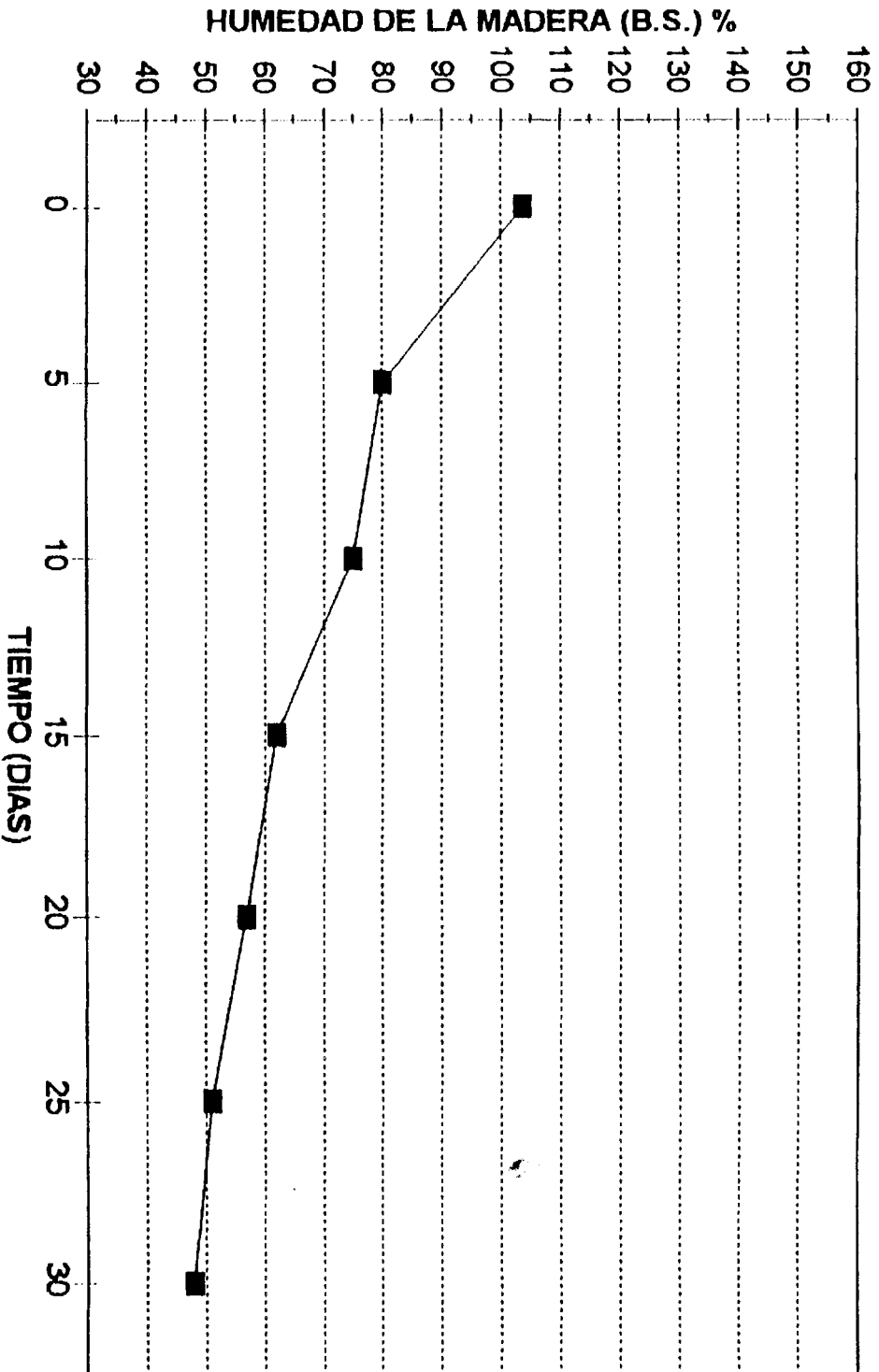


MADERA PRESECADA EN PATIOS

GRUPO 2

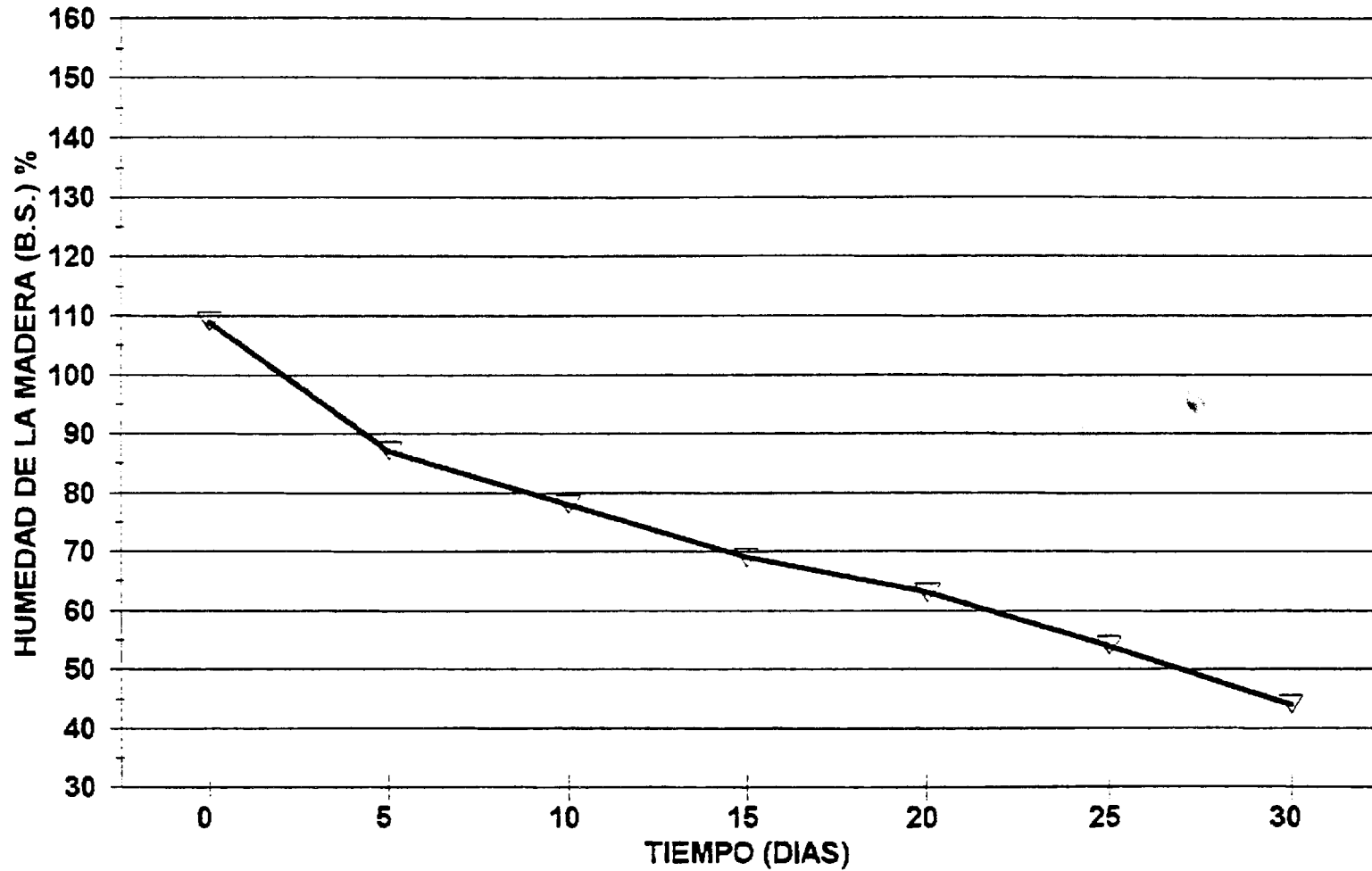


MADERA PRESECADA EN PATIOS GRUPO 3



MADERA PRESECADA EN PATIOS

MADERA DELGADA (VALOR MEDIO)



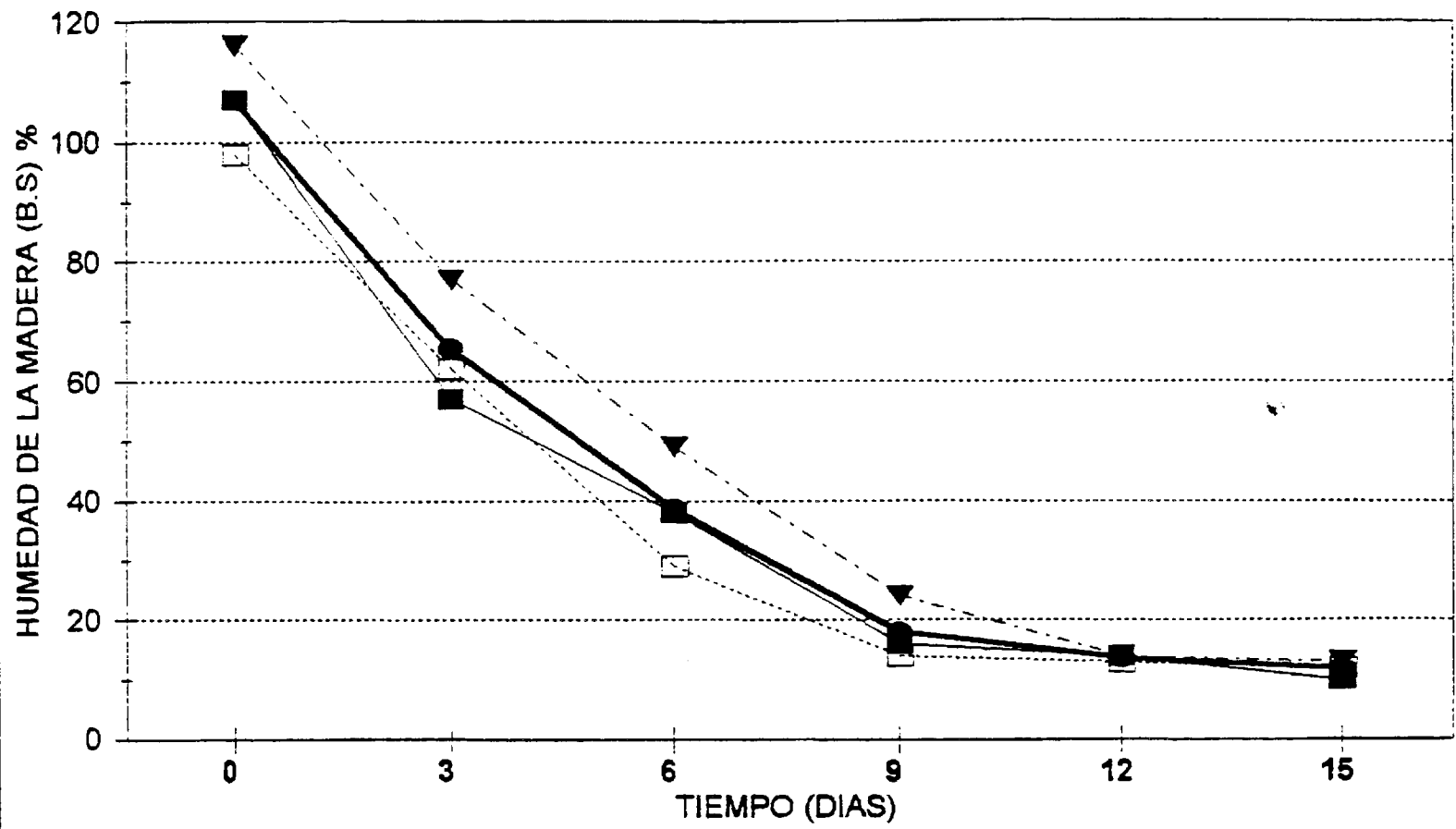
APENDICE E

GRAFICAS

MADERA SECADA EN CAMARAS

- Gráfica # 6 . - Madera mediana
- Gráfica # 7 . - Madera mediana / Grupo 1
- Gráfica # 8 . - Madera mediana / Grupo 2
- Gráfica # 9 . - Madera mediana / Grupo 3
- Gráfica # 10 . - Madera gruesa / promedio
- Gráfica # 11 . - Comparación de secado
Madera mediana/ Madera gruesa

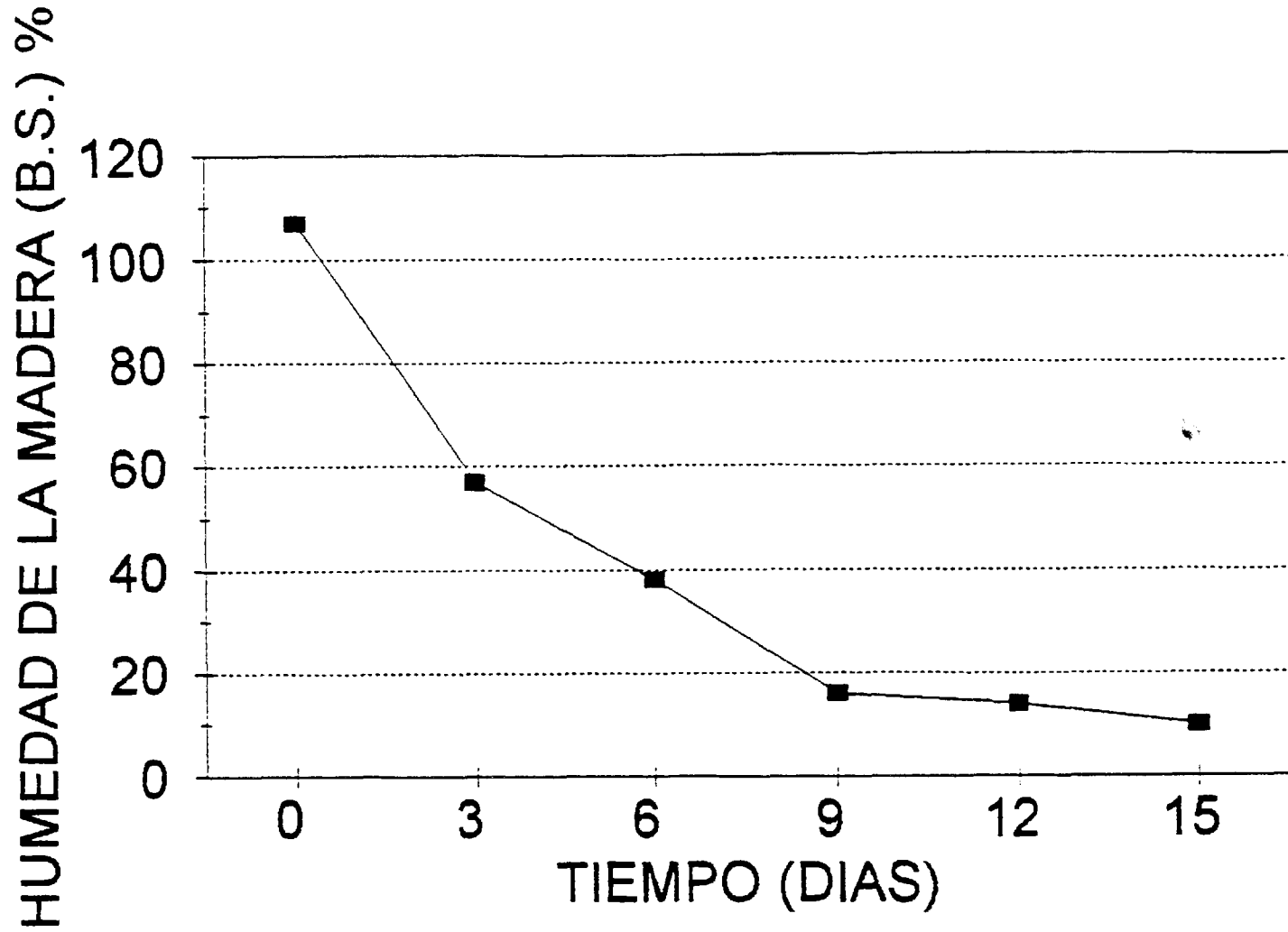
SECADO EN CAMARA MADERA MEDIANA



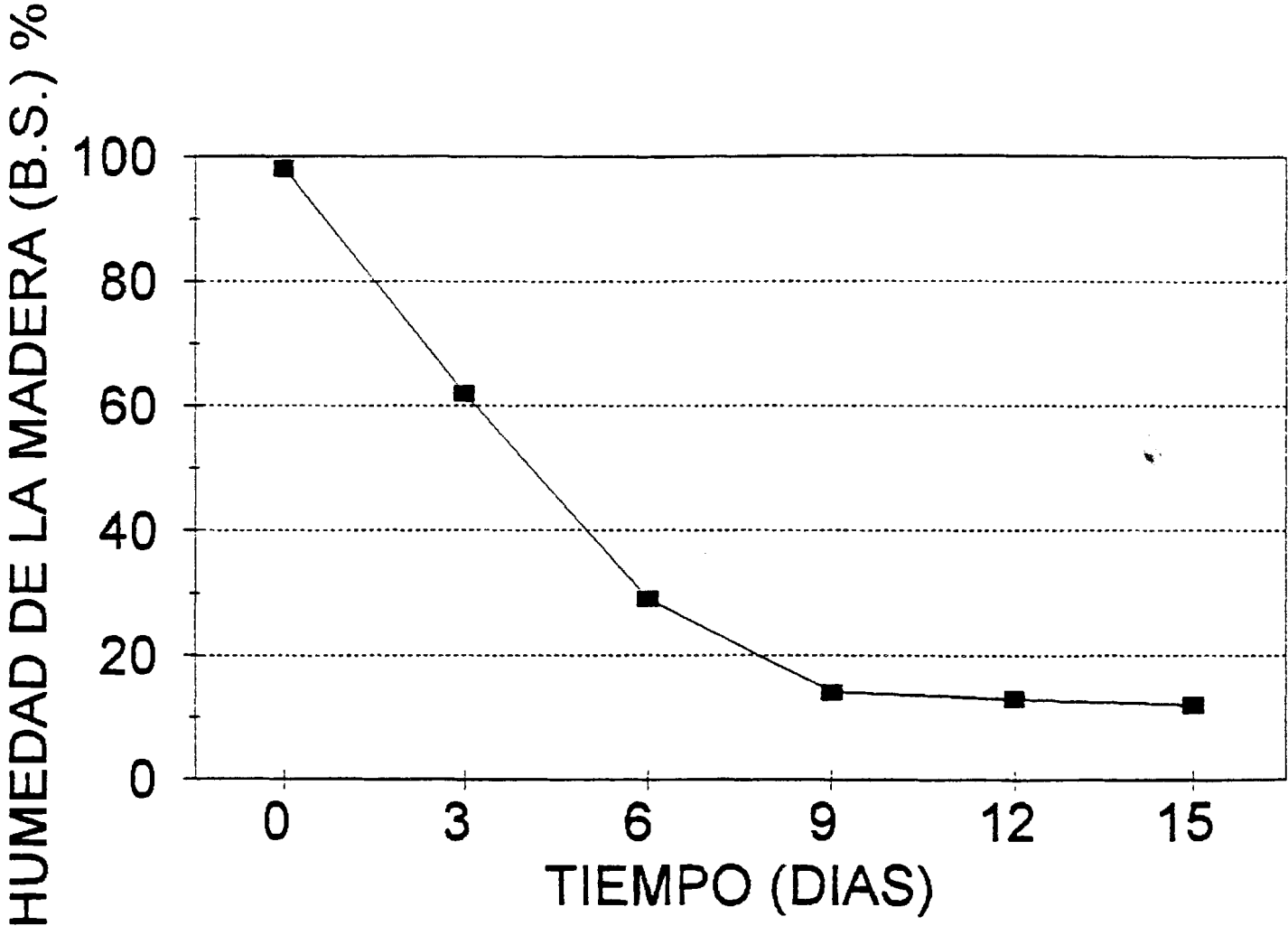
■ GRUPO 1 □ GRUPO 2 ▼ GRUPO 3 ● MEDIA

SECADO EN CAMARAS

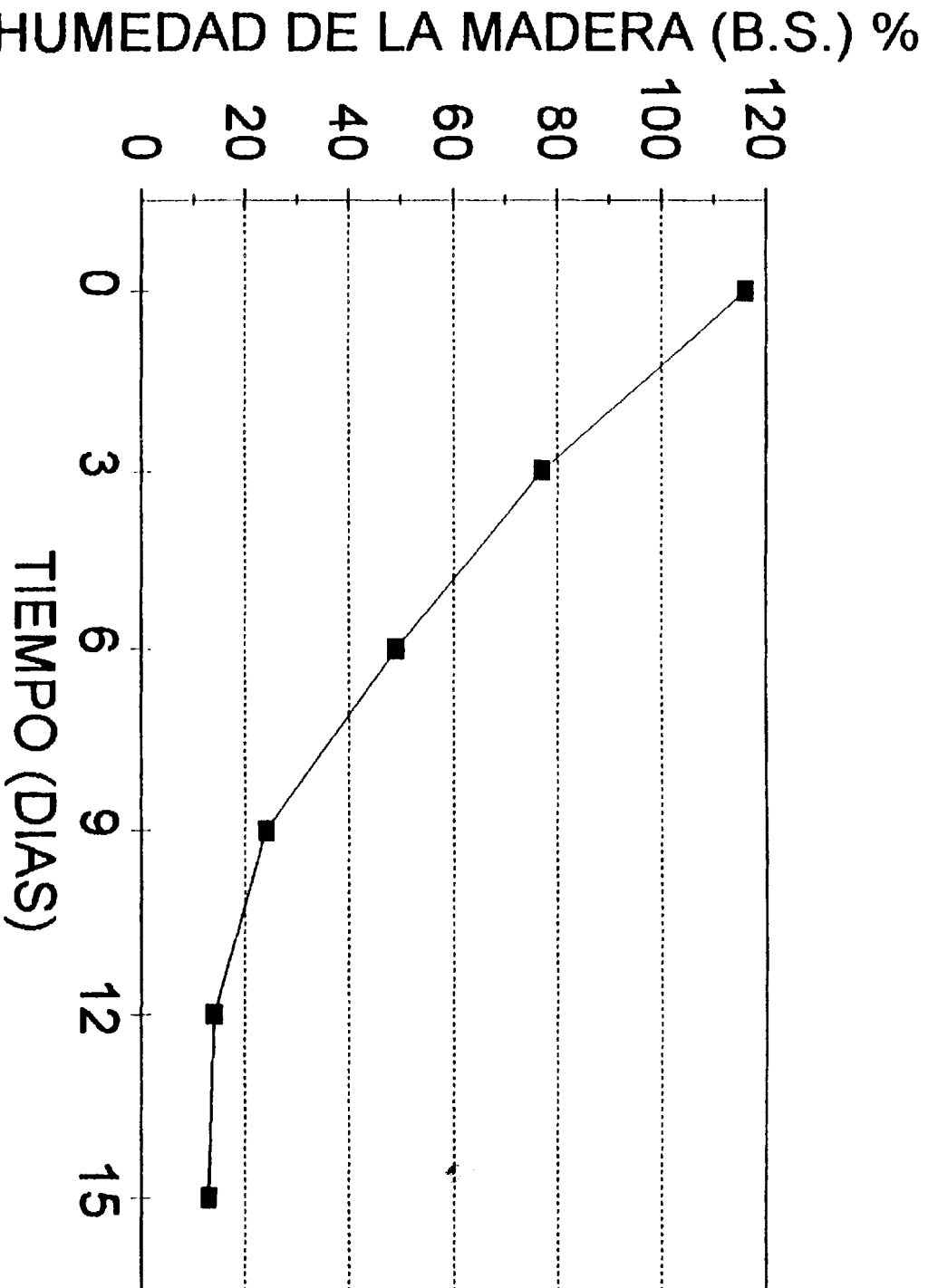
MADERA MEDIANA GRUPO 1



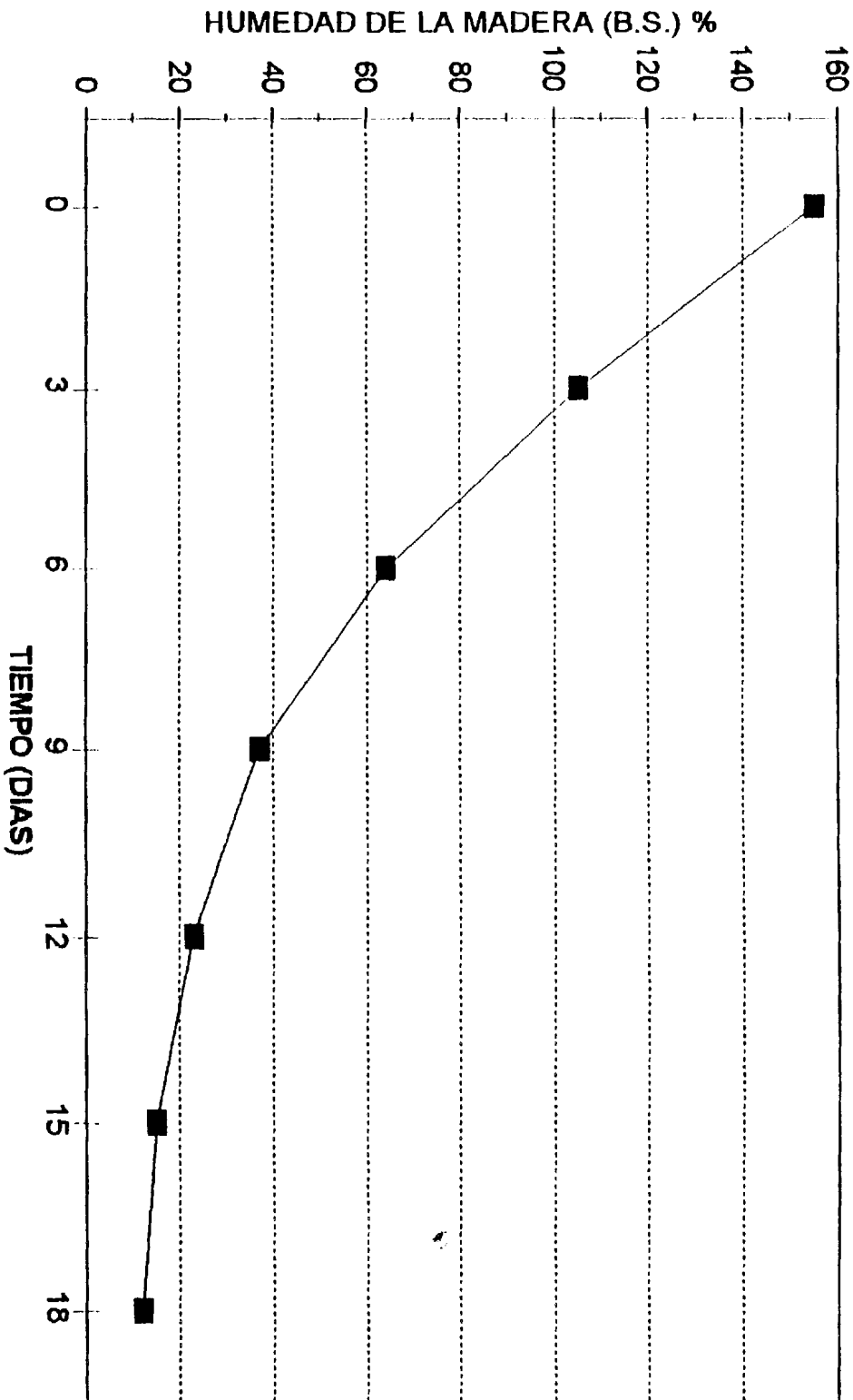
SECADO EN CAMARAS
MADERA MEDIANA GRUPO 2



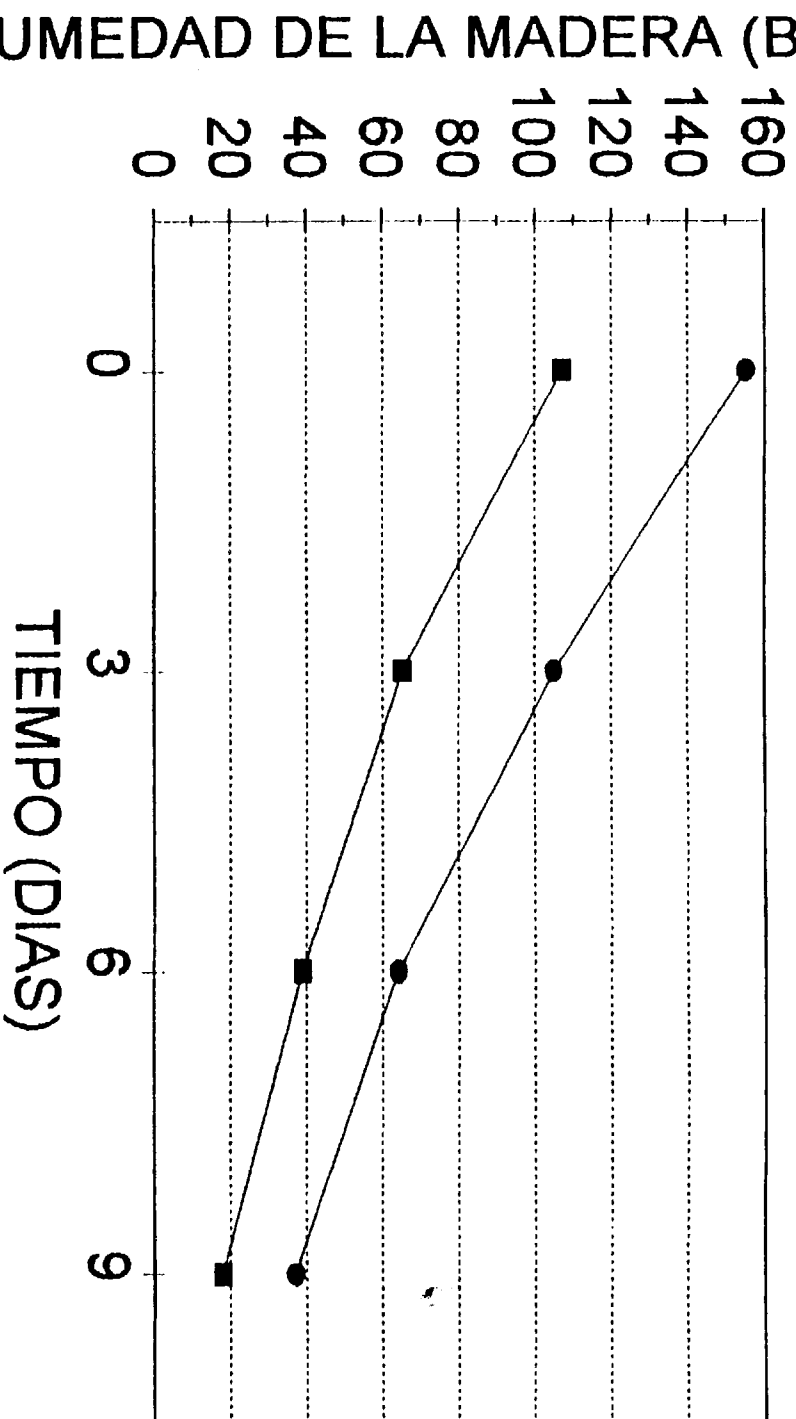
SECADO EN CAMARAS
MADERA MEDIANA GRUPO 3



SECADO EN CAMARA MADERA GRUESA



SECADO EN CAMARA COMPARACION



APENDICE F

GRAFICAS

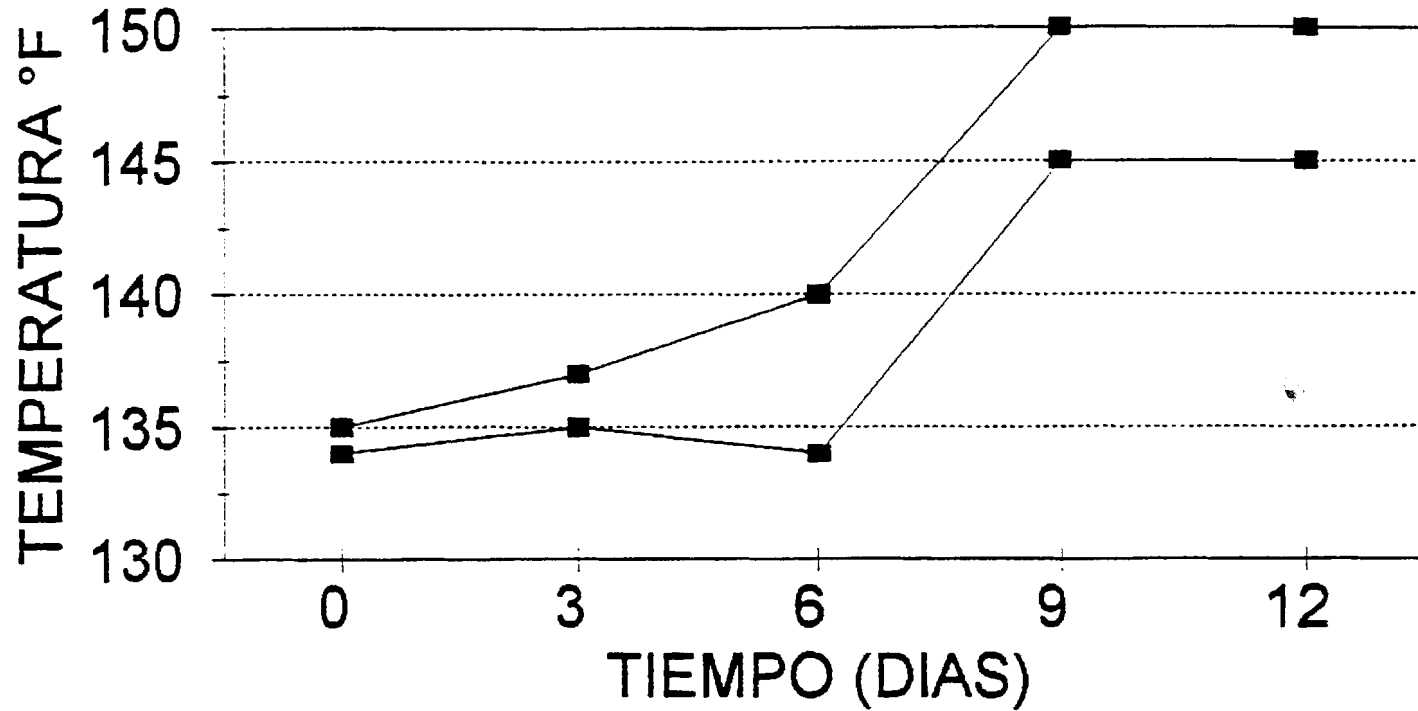
TEMPERATURA DE CAMARAS

Gráfica # 12 -- Industria Madeprón

Gráfica # 13 -- Industria Fadelma

TEMPERATURA CAMARA

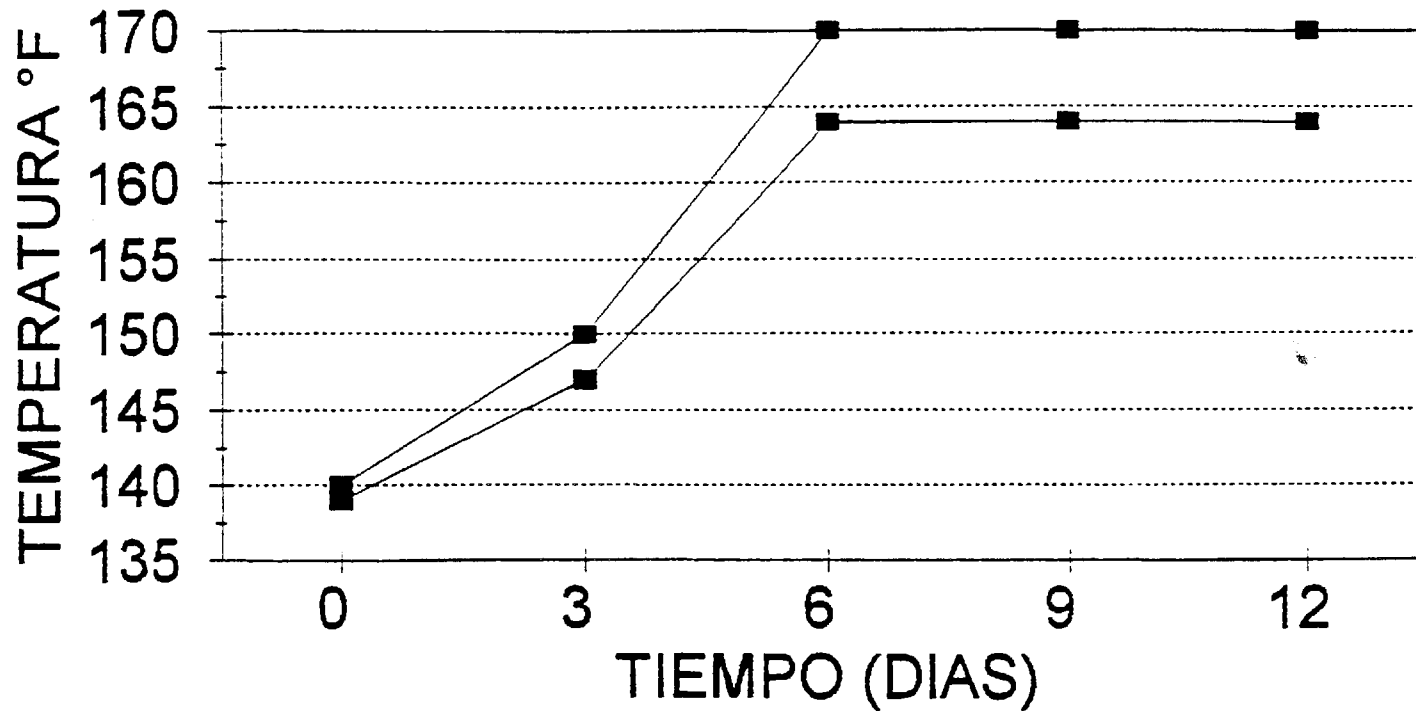
INDUSTRIA MADEPRON



■ TEMPERATURA SECA
■ TEMPERATURA HUMEDA

TEMPERATURA CAMARA

INDUSTRIA FADELMA



■ TEMPERATURA SECA
■ TEMPERATURA HUMEDA

ANEXOS

* Descripción del control de calidad para exportación.

DESCRIPCION DEL CONTROL DE CALIDAD PARA EXPORTACION

La clasificación del material de las maderas de exportación, varían de una industria a otra, debido a los diferentes tipos de pedido que tiene cada una.

La madera de balsa que sale de nuestro país, es exportada como materia prima de las siguientes formas:

- Una cara cepillada (forma C1C)
- Dos caras cepilladas (forma C2C)
- Láminas de diferente espesor
- Bloques engomados

La balsa después del secado en las cámaras, ingresa a la segunda fase del proceso que es el aserrado. Para ingresar al aserrado y cepillado, donde se le da las dimensiones y acabado de forma final para la exportación, la madera debe contener entre el 10 al 15 % de humedad tomado en base seca.

En este proceso de clasificación encontramos las fallas o defectos inherentes a la madera[®] propiamente dicha así como fallas debidas al proceso de secado.

Para tener una clasificación de calidad de las maderas se hacen las siguientes distinciones a cada volumen de maderas para exportación.

Madera clasificada de primera.- Esta es una madera selecta que su presentación después del aserrado esta virtualmente libre de defectos tales como manchas, rajaduras y nudos. A esta madera algunos la denominan de grado A.

Madera clasificada de segunda.- Para esta clasificación se selecciona maderas que se permite algunos defectos como son manchas cafes, algunas fibras rotas. Se denomina a este grupo maderas con el grado B.

Madera clasificada corriente.- La madera corriente no tiene una exigencia mayor de calidad como las anteriores clasificaciones, sin embargo tiene un determinado límite de defectos como nudos, manchas minerales, fibras rotas etc. . Los sitios principales de clasificación en una planta de procesamiento de la balsa son :

1. En las sierras pendulares, donde se realiza el despunte de la madera rajada y los cortes de largo requerido.
2. En el cepillo o sierras canteadoras, en este sitio se selecciona y clasifica el aspecto de coloración de la madera para destinar a los diferentes grados de clasificación.

Para realizar una correcta clasificación y selección del material de exportación, es necesario conocer unas definiciones y características de los defectos que de la madera de balsa. Así tenemos:

Podredumbre

Es el debilitamiento de la fibra, originada por la acción destructora de los hongos. Se caracteriza por:

- a) Adquirir una decoloración el área afectada, rodeada de una zona gris o verdosa.
- b) La resistencia de la fibra del área descolorida se debilita al limite de desintegrarse cuando se le raspa con la uña.

Manchas

Es un cambio de color que se presenta en la superficie o que penetra en la pieza, sin afectar la estructura de la madera. Estas manchas pueden ser:

Azules, causadas por hongos o bacterias

Minerales, causada durante el desarrollo del árbol

Cafes, provienen generalmente de los nudos.

Mengua

Es corteza o falta de madera entre las caras de una pieza de madera

Corazón de agua

Es un defecto por el cual las paredes de las células, en cierta zona del árbol se han deteriorado por el excesivo contenido de agua. Esta zona debilitada al secarse produce una tensión superficial que lleva al colapso de la pieza.

Nudos

Son zonas redondeadas de más de un cuarto de pulgada de diámetro cuya consistencia es dura respecto a las demás fibras vecinas estos representan el área donde antes era una rama del árbol.

Ojos de pájaro

Son remolinos en la fibra de la madera pueden ser identificadas como manchas, no corresponde a las fibras nudosas.

Hendiduras.

Es un debilitamiento de la estructura de la madera causada por contracción en el proceso de secado, que produce separación de las fibras en el sentido radial.

Rajaduras Son roturas de las fibras longitudinalmente.

Corazón.

Es un conducto de alrededor de una pulgada de diámetro y lleno de una sustancia no leñosa (médula) que se presenta a lo largo de todo el árbol.

Corcho

Es una fibra que a perdido su característica leñosa, esta puede ser suave o granulada.

Polilla

Son pequeños orificios originados por insectos de la madera.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Sereni, A. 1968, Diseño y análisis térmico de una secadora de madera de balsa. Tesis de grado, Espol.
- 2.- Rasmussen, E. 1988, Dry kiln operator's manual. Washigton, D C . Departament of agriculture.
- 3.- Brown & Bethel, 1981, La industria maderera. Editorial Limusa, IV edición. México.
- 4.- Knight, E. 1970, Kiln Drying softwoods. Forest products laboratory. Oregon, Portland.
- 5.- Treybal, R. 1976, Operaciones con transferencia de masa. Ed. Hasa.
- 6.- Geankoplis, C. 1982, Procesos de transporte y operaciones unitarias. Ed. Cecsá.