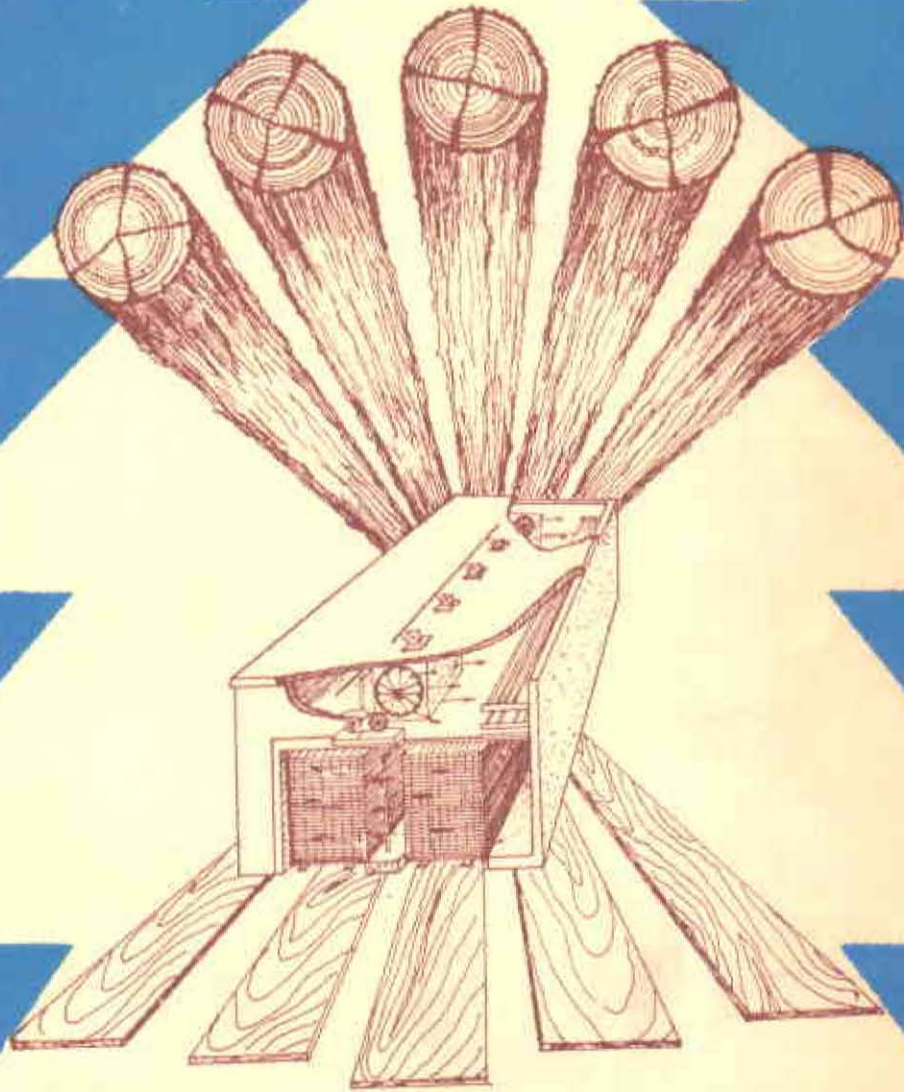


**NORMAS PARA EL SECADO ARTIFICIAL
DE MADERAS Y PROGRAMAS
PARA CINCO ESPECIES COLOMBIANAS**



**POR
JORGE ENRIQUE MARTINEZ S.
INGENIERO FORESTAL**

*NORMAS PARA EL SECADO ARTIFICIAL DE MADERAS
Y PROGRAMAS PARA CINCO ESPECIES COLOMBIANAS
(CARARE-OPON)*

Por

*JORGE ENRIQUE MARTINEZ S.
INGENIERO FORESTAL*

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSE DE CALDAS"

FACULTAD DE INGENIERIA FORESTAL

BOGOTA, D. E. — COLOMBIA

Noviembre de 1973

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su agradecimiento a las siguientes personas y entidades:

Al Ingeniero Héctor Rojas León por su acertada y eficaz dirección.

A los Ingenieros Alvaro Jiménez y Anatolio Lastra por su gran colaboración.

A mi esposa, Beatriz B. de Martínez por su estupenda labor en la producción del presente libro.

A los profesionales Luis Burgos y Jairo Bogotá por su colaboración en los dibujos.

A los profesionales Alvaro Jiménez, Francisco Sánchez, Alvaro Sanjuán e Hilda Martínez por los temas traducidos.

Al profesional Fernando Lancheros por su colaboración con el material fotográfico.

Al señor Jorge Rozo, sin cuya colaboración y empeño no hubiese sido posible la publicación de este volumen.

Al señor Antonio Villarreal, por su ayuda al control de la cámara y revisión de las etapas.

Al Instituto de Investigaciones y Proyectos Forestales y Madereros de la Universidad Distrital por su ayuda técnica.

A los compañeros y profesores de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

CONTENIDO

	Pág.
Indice de Cuadros	VIII
Indice de Gráficos	VIII
Indice de Tablas	IX
Indice de Figuras	X

INTRODUCCION	1
------------------------	---

CAPITULO I

REVISION DE LITERATURA	2
----------------------------------	---

CAPITULO II

MATERIALES Y EQUIPO DEL ESTUDIO

2.1. — MATERIALES	6
2.1.1. — Maderas	6
2.1.2. — Especificación de la Madera	6
2.1.3. — Dimensiones	6
2.1.4. — Volumen por especie	6
2.2. — EQUIPO DEL ESTUDIO	7
2.2.1. — Cámara	7
2.2.2. — Equipo accesorio	7

CAPITULO III

NORMAS Y METODOLOGIA

3.1. — EL AGUA EN LA MADERA	8
3.1.1. — Agua libre y agua fija	9
3.1.2. — Movimiento y migración del agua durante el secado	9
3.1.3. — Humedad de equilibrio	10
3.1.4. — Contenido de humedad en la madera	10
3.1.5. — Determinación del contenido de humedad inicial	11
3.1.6. — Control de contenido de humedad durante el secado	12
3.1.7. — Factores que inciden en la velocidad del secado	12

3.2. — CONCEPTOS QUE DEBEN TENERSE EN CUENTA PARA EL PROCESO DE SECADO	12
3.2.1. — Estructura de la madera	12
3.2.2. — Higroscopicidad y Anisotropía de la madera	16
3.2.3. — Propiedades Físicas.	16
3.3. — DATOS NECESARIOS PARA LA ELABORACION DE UN PROGRAMA DE SECADO.	19
3.3.1. — Distribución del programa en etapas.	20
3.4. — CALCULO DEL HORARIO.	20
3.4.1. — Determinación teórica del tiempo aproximado de secado	20
3.4.2. — Programa de secado.	23
3.4.3. — Horario de secado.	23
3.5. — EQUIPO.	23
3.5.1. — Cámara Secadora	23
3.5.2. — Equipos para el funcionamiento de la Cámara	26
3.5.3. — Aparatos de Control y manejo	27
3.6. — APILADO	28
3.6.1. — Apilado dentro de la cámara	29
3.6.2. — Muestras de control	31
3.7. — REALIZACION DEL PROCESO.	31
3.7.1. — Aplicación de los programas	32
3.7.2. — Control del proceso de secado	32
3.7.3. — Evaluación de la severidad del proceso	32
3.7.4. — Prueba de tenedor	34

3.8. — DETERMINACION DEL PROGRAMA Y HORARIO	
RECOMENDADO	35
3.8.1. — Determinación de horarios de secamiento para espesores comerciales más usuales.....	35
3.9. — DEFECTOS EN EL SECADO	35
3.9.1. — Tensiones.....	35
3.9.2. — Agrietamiento.....	37
3.9.3. — El colapso (contracción anormal)	37
3.9.4. — Torceduras.....	38
3.9.5. — Decoloración	38

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. — MARFIL	40
4.1.1. — Datos para el cálculo de los horarios.....	40
4.1.2. — Carga N° 1.....	40
4.1.3. — Carga N° 2.....	41
4.1.4. — Carga N° 3.....	41
4.1.5. — Programa recomendado	42
4.2. — SAPAN	43
4.2.1. — Datos para el cálculo de horarios.....	43
4.2.2. — Carga N° 1.....	43
4.2.3. — Carga N° 2.....	44
4.2.4. — Carga N° 3.....	45
4.2.5. — Programa recomendado	45
4.3. — CHOCHO	47
4.3.1. — Datos para cálculo de horarios	47
4.3.2. — Carga N° 1.....	47
4.3.3. — Carga N° 2.....	48
4.3.4. — Carga N° 3.....	49
4.3.5. — Programa recomendado	51

	Pág.
4.4. — RAYO	51
4.4.1. — Datos para el cálculo de los horarios	51
4.4.2. — Carga N° 1.	51
4.4.3. — Carga N° 2.	52
4.4.4. — Carga N° 3.	53
4.4.5. — Programa recomendado	53
4.5. — SAINO	55
4.5.1. — Datos para cálculo de horarios	55
4.5.2. — Carga N° 1.	55
4.5.3. — Carga N° 2.	56
4.5.4. — Carga N° 3.	57
4.5.5. — Programa recomendado	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
RESUMEN	66
SUMMARY	68
BIBLIOGRAFIA	70

INDICE DE CUADROS

CUADRO N°	Pág.
1 Algunas características de las maderas a estudiar.	5
2 Horario de secado del Marfil.	42
3 Horario de secado del Sapán.	46
4 Horario de secado del Chocho.	50
5 Horario de secado del Rayo.	54
6 Horario de secado del Saino.	58

INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO N°	Pág.
1 Obtención de temperatura Bulbo húmedo y Humedad de equilibrio a partir de temperatura bulbo seco y humedad relativa del aire	17
2 Horario de secado del Marfil.	42
3. Horario de secado del Sapán.	46
4 Horario de secado del Chocho.	50
5 Horario de secado del Rayo	54
6 Horario de secado del Saino.	58

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	Pág.
1 La humedad de equilibrio de la madera en relación funcional de la temperatura del termómetro seco y la del termómetro húmedo y la de la humedad relativa del aire. Tomado de Hildebrand (13)	18
2 Factores de corrección para hallar el tiempo verdadero entre diferentes contenidos de humedad. Tomado de Lastra (20)	21
3 Programa de secado del Marfil (<i>Elaeodendron</i> sp. (?))	60
4 Programa de secado del Sapán (<i>Clathrotropis brunnea</i>)	60
5 Programa de secado del Chocho (<i>Ormosia paraense</i>)	61
6 Programa de secado del Rayo (<i>Abarema jupumba</i>)	61
7 Programa de secado del Saino (<i>Goupia glabra</i>)	62

FIGURA N°	Pág.
10 Psicrómetro con termómetro húmedo y seco tomado de Hildebrand (13)	28
11 Tablero de control de la cámara de secado del Instituto de Investigaciones forestales y madereras.	28
12 Madera aserrada de un grueso uniforme que ha sido apilada al aire libre para una carga del horno secador. Tomado de A. I. D. (6)	29
13 Apilado dentro de la cámara. Disposición de los listones separadores o rastreles	30
14 Muestras de control debidamente numeradas en los extremos distribuidas en toda la carga	31
15 Probeta estratificada, en forma esquemática. Tomado de Hildebrand (13)	32
16 Modelos de control de la carga y las tablas guías.	33
17 Modelos de prueba de tenedor	34
18 Prueba de tenedor. Formas en que reacciona la madera de acuerdo a la ausencia o presencia de tensiones.	34
19 Sección transversal de una madera al comienzo del secado. —Esfuerzos de tracción. + Esfuerzos de compresión. Tomado de Hildebrand. (13)	36
20 Sección transversal de una madera al acercarse el final del secado. Tomado de Hildebrand. (13)	36
21 Diversas clases de torcimiento. Tomado de A. I. D. (6)	38

I N T R O D U C C I O N

Una de las preocupaciones principales de los gobiernos que rigen en cada uno de los distintos países, bajo sistemas económicos diferentes y condiciones favorables o adversas, ha sido a través de los años, el implantamiento de una política económica forestal que llegue a establecer una estrecha relación entre el intercambio de bienes y la conservación de los mismos.

Su justificación se hace plena si se analiza por un momento la enorme ventaja que ofrecen los productos forestales en cuanto hace referencia a su rendimiento sostenido y permanente actuando como son, recursos renovables, y basados por ende, en un incremento de productividad.

Aquellos países que aún no han tomado conciencia sobre la necesidad de vinculación de sistemas silviculturales adecuados, programación, política económica, planes de ordenación distribución y consumo, son los mismos que actualmente despilfarran sus divisas y permiten su propia inestabilidad y estancamiento económico, teniendo que importar materia prima para satisfacción de sus necesidades y abastecimiento a la creciente demanda.

Pero si bien es difícil tomar los hechos en forma aislada, tanto más sería aplicándolos a todo un orbe. Y si lo es aplicado a una etapa más lo sería a un ciclo.

Así, solo se hará referencia a un país Colombia; a una etapa: Secado Artificial de Maderas.

Siendo el campo forestal una de las partes que más inciden en el desarrollo económico, se toma como base de investigación, enfocando solo una ínfima parte de su ciencia, el secado artificial.

Se hace una secuencia de datos existentes sobre programas de secado, su utilidad, consecuencias en el desarrollo de la industria y beneficio para el Mercadeo Nacional e Internacional.

Se analiza uno a uno, los aspectos que conllevan a la obtención de condiciones óptimas, de secado de la madera, para efectuarlo en un menor tiempo y a un menor porcentaje de daños y se proporciona un manual operacional de secado.

El objetivo primordial de este estudio es proporcionar los horarios de secado artificial para cinco especies maderables provenientes de la región Carare-Opón.

Su realización encuentra plena justificación en los siguientes hechos:

- a) Las ventajas que el secado artificial ofrece sobre el natural.
- b) Las exigencias del mercado Internacional con relación al secamiento de las maderas.
- c) La garantía de calidad que se puede ofrecer con artículos hechos en madera seca.
- d) La iniciación de investigaciones en este campo, en forma detallada.

El estudio se realizó en el Instituto de Investigaciones Forestales y Madereras de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Bogotá, D. E. Colombia, durante los años 1972 - 1973.

CAPITULO I

REVISION DE LITERATURA

INTRODUCCION:

El panorama de lo escrito en Colombia sobre Horarios de Secado presenta una vista incierta y desoladora según se expuso anteriormente. Es por tanto, demasiado reducido el medio de consulta disponible. Se toma en cuenta toda publicación nacional o extranjera que en una u otra forma toque el tema, o de la cual se pueda extraer material considerado de utilidad para la obtención de óptimos resultados y formulación de recomendaciones en la determinación de los programas y horarios de secado de las especies, objeto de este estudio.

Se analizan horarios de secado obtenidos para especies distintas a las aquí incluídas y se toman en cuenta algunos datos existentes de las especies materia de estudio.

Igualmente se puede observar, que se citan publicaciones que en ningún momento tocan la etapa de secamiento artificial de la madera, pero que constituyen la base para la consecución de los resultados más favorables.

1.1—El Manual sobre secado de madera publicación preparada en 1962 para la Agencia para el Desarrollo Internacional (A. I. D.) (6) se presenta como uno de los medios de consulta más completo y sencillo. Hace un análisis del contenido de humedad en la madera, formas en que puede perderse, deformaciones que pueden presentarse, plagas que pueden atacar, diferencia de costos entre cada tipo de secado, etc. Parte desde la estructura de la madera, analizando la relación de humedad, contracciones, gravedad, color, etc. La parte fundamental se refiere a los distintos métodos de secado, haciendo énfasis en el secado al aire libre y el secado en hornos o cámaras. Dedicó una sección al presecado y enuncia define y analiza los distintos tipos de apilado y su influencia sobre el secado. Define también lo que es una cámara secadora y los aparatos de control necesarios. Enumera algunos defectos de secado y la manera de corregirlos. Da ciertas normas de seguridad a observar y presenta una serie de programas de secado en horno.

Se nota en el autor cierto afán de ilustración gráfica para mejor comprensión de los conceptos. Trata igualmente de establecer diferencias y ventajas entre los tipos de secado.

1.2—En el Secado de la Madera Aserrada escrito por Robert Hildebrand (13) y traducido al Español por Comercial Sagrera de España, se presenta en primera instancia conceptos básicos en el secado de madera partiendo de la estructura de la madera, humedad de la misma, determinación, migración y propiedades tales como contracción e hinchamiento. Da las bases fundamentales en el secado de la madera, analizando el clima (temperatura y humedad relativa del aire), humedad de equilibrio de la madera, velocidad del aire y su influencia en el secado, cociente de secado, etc.

Estudia a fondo el secado en sus diversas formas, pero hace énfasis en lo referente al secado artificial. Presenta distintos tipos de apilado para las cámaras, divide las maderas en grupos e indica los tiempos en los cuales deben efectuarse comprobaciones de contenido de humedad en las tablas de control.

Describe el desarrollo de un proceso de secado e indica la manera como debe ajustarse el programa en la mejor forma posible. Presenta gráficas ilustrativas sobre tipos distintos de cámaras de secado y aún sobre cortes de una misma cámara. Describe los aparatos de control e ilustra su literatura con figuras. Da a conocer los defectos que pueden presentarse en la madera y la manera como pueden evitarse o corregirse. Hace resaltar la importancia de la vaporización de la madera en las cámaras de secado. Pre-

venta tablas para obtención de humedad de equilibrio en relación a la temperatura bulbo seco, a la del termómetro húmedo y la humedad relativa del aire.

Es un texto claro que incluye al final un índice de clases de madera, importante en cualquier tipo de secado.

1.3—En el Manual de Agricultura Número 205 de 1961. Puerto Rican Woods their Machinning. Seasoning and Related characteristics, (19) se obtiene un manual de secado descrito en forma clara basado sobre las experiencias obtenidas con maderas de Puerto Rico. Da propiedades de elaboración y procesamiento.

Ofrece explicaciones y ejemplos referentes a las propiedades físico-mecánicas de estas maderas, y da algunas recomendaciones al respecto. Hace hincapié sobre la relación Bt/Br y su influencia en la elaboración de los programas de secado. (19).

1.4—En las conferencias de Tecnología II y Propiedades Físico-Mecánicas del Doctor Adolf W. Barghoorn (2) se encuentra una guía completa sobre todas y cada una de las fases del secado de la madera y de las propiedades que en él influyen. Presenta a consideración la forma de elaboración de los horarios y programas del secado y para lograrlo en la debida forma expone ciertas tablas de corrección para ajustar los tiempos normales a verdaderos. Da ejemplos para el cálculo de horarios y para el cálculo de las tablas de factores de corrección. Es posiblemente una de las personas más versadas en este ramo.

1.5—La Industria Maderera Brown y Bethel (3). El capítulo VI de este libro lo dedican sus autores al secado de la madera. Se inicia la descripción con una diferenciación entre el agua libre y el agua fija y la cavidad y pared celular. Expone el contenido de humedad como la parte conductora de alimentos en la planta o savia. Analiza la estructura en sí, propiedades físico-mecánicas, comportamiento durante el secado y defectos posibles en la madera, acompaña con ilustraciones en que aparecen partes de cámaras de secado tales como serpentines, ventiladores, etc. y cortes generales de cámaras de secado. Anota experiencias y da recomendaciones. (3).

1.6—El Secado de la madera en estufa. Parra A. - Borgo G. y Valdez F. Expone los principales factores que deben tenerse en cuenta cuando se pretende secar la madera artificialmente, describiendo cada una de las etapas de secado y recomendado de acuerdo a la humedad y las propiedades de la madera, la mejor forma para obtener buen resultado. Hace hincapié en la humedad y sus formas. (21).

1.7—El Estufado de la Madera, teoría y práctica de Fernández G., hace un breve recuento sobre el secado artificial de la madera, enfocando sus puntos de vista hacia la relación entre la humedad de la madera y su contenido de pared celular. Ofrece una descripción de las distintas formas de humedad, su influencia en la trabajabilidad de la madera y su forma correcta de evacuación. (9).

1.8—Secamiento Artificial de la Madera. Instituto Forestal, Manual N° 1, Santiago de Chile. Expone en forma sintetizada el secado artificial de la madera dando nuevas normas para su desarrollo, pero siempre sobre los mismos principios básicos. (25).

1.9—Dry Kiln Operator's Manual U. S. Department of Agriculture Forest Products Laboratory. En el aspecto de propiedades físico-mecánicas de la madera es bastante profundo y analiza detenidamente cada una de éstas. De esta manera, ofrece en forma más amplia los conceptos para el secado artificial, desarrollando dicho tema con bastante propiedad y demostrando grandes conocimientos sobre la materia. Puede tomarse como texto clave para el desarrollo normal de programas de secado. (22).

1.10—Drying Hardwoods for Structural Uses. Reportado de Csiro Forest Products Newsletter, por Christensen. Este artículo se refiere a tres aspectos de trabajo común

en el secado de maderas duras para usos estructurales. Primero hace un examen de la forma de secado. En la segunda parte hace un avalúo de los métodos de secado y recomienda el más económico. En la parte final expone la relación y prevención de torceduras en combinación y por acción de otros factores como tiempo esfuerzos de crecimiento y encogidos durante el secado, etc. (7).

1.11—Testing Timber for Moisture Content. Testing By Oven Drying. Se refiere a una cierta experiencia para secado en horno. Describe la determinación del contenido de humedad y el equipo empleado indicando la necesidad de mantenerlo en buen estado y extendiéndose hasta un tiempo de conservación indefinida de las muestras. En seguida viene el procedimiento y las precauciones a tomar. (8).

1.12—Brief Notes on Moisture Gradients, Drying Stresses and Movement on Re-Cutting, por Wright G. W. En esta publicación de Australia el autor hace una descripción del desenvolvimiento de las fuerzas en la madera en la etapa de secado. Primero hace referencia a las fuerzas internas y la manera como se presentan, esto es, fuerzas de tensión y fuerzas de compresión. Continúa refiriéndose a las deformaciones y torceduras diferenciando entre el límite elástico y el límite plástico en la madera. Todo esto lo relaciona a la forma como seca una pieza de madera es decir, primero superficialmente y luego en su interior. A lo expuesto anteriormente agrega y relaciona el llamado punto de saturación de las fibras. (26).

1.13—The Effect of Stack Cover on Drying Degrade in Timber por Finighan, R. y Liversidge. Se basa esta publicación en el efecto de las: cubiertas en el apilado sobre el grado de secado de la madera. Recalca la importancia del cubrimiento de la madera apilada para un correcto secado y una prevención o aminoramiento en las pérdidas. Relaciona a lo anterior la experiencia obtenida en la baja calidad que presentan las capas superiores del apilado y la necesidad de estandarizar especies y grosores. De una parte expone la prevención de los rayos solares incidiendo directamente sobre las cargas y de otra la protección contra la lluvia y la acción excesiva de vientos. A continuación expone la construcción de distintos tipos de cubierta empleando igualmente distintos tipos de materiales. (10).

1.14—Elaboración de Horarios de Secado para Maderas Latifoliadas, por Lastra J. A. Según el propio autor el objetivo principal de dicha publicación es suministrar un método fácil comprensible y rápido para la elaboración de Horarios de Secado de Madera Aserrada de Latifoliadas, que requiere ser secada en cámara de secado artificial. Es un manual práctico para el cálculo de cualquier horario Se ilustra con tablas y gráficas necesarias para el fin expuesto. (20).

1.15—Estudio Orientativo de Algunas Propiedades Anatómicas y Físico-Mecánicas de las Especies Maderables de la Región Carare-Opón. Alvarado, Cabrera Parte I (1). Rojas, Reyes Parte II (24), estudiaron tecnológicamente algunas de las especies aquí expuestas y de ellos se obtuvieron algunos datos considerados claves en el cálculo de los tiempos y elaboración de los programas para el secamiento artificial. Estos datos tomados como comportamiento durante el secado, se relacionan íntimamente con los datos consignados en el cuadro N° 1, sobre peso específico anhidro, contracciones, relación de contracciones, compresión perpendicular y espesor de las paredes de las fibras (1-24).

1.16—El Instituto de Investigaciones y Proyectos Forestales y Madereros de la Universidad Distrital determinó Horarios de Secado para la especie Guayacán Hobo (*Centrolobium Paraense*), a solicitud de la Empresa Fabrex y efectuó su correspondiente ajuste a las cámaras de dicha empresa según informe de vacaciones. (15), (23).

1.17—El Instituto de Investigaciones y Proyectos Forestales y Madereros de la Universidad Distrital, establece en algunos ensayos físico-mecánicos y secado artificial de la madera de Moho y Flor Morado, el horario de secado en las cámaras de Industrias Bierman, tomando dos cargas para Flor Morado y una carga para el Moho.

Además de la determinación de Horarios de Secado si hicieron observaciones con relación al estado de las cámaras secadoras de dicha industria. (14).

1.18—El Instituto de Investigaciones de la Universidad Distrital elaboró Horario de Secado de el Drago y Guaímaro a solicitud de Inco-Hormas. En este informe se establecen ciertas normas de secado con respecto a estas dos maderas para la fabricación de hormas, pero solo se hizo horario para el Drago.

En cuanto a las maderas objeto de este estudio se obtuvo:

1.19—En Estudios Tecnológicos sobre Algunas Maderas Colombianas aparece una especie materia de este estudio: El Marfil. Se dan ciertas normas de secado de la madera, obtenidos en forma superficial y poco confiable, razón por la cual se tienen en cuenta únicamente como guía. (5).

ESPECIE	PESO ESP. ANHIDRO	Contrac de 15 a 0% C.H.			COMPR PER. (Kgr/cm ²)	RELACION St/Br	ESPESOR DE LAS PAREDES DE LAS FIBRAS
		RADIAL	TANG.	VOL.			
CHOCHO	0.726	35	62	9.7	110	Algo desfavorable 1.78	PARED GRUESA
MARFIL	1.000	44	62	10.3	210	Favorable 1.40	PARED GRUESA
RAYO	0.777	31	52	8.6	71	Favorable a desfavorable. 1.70	PARED DELGADA
SAINO	0.850	43	54	10.1	80	Favorable 1.26	PARED GRUESA
SAPAN	1.000	41	60	9.9	215	Favorable 1.45	PARED GRUESA

CUADRO Nº 1.— Algunas características de las maderas a estudiar. (1)(24).

CAPITULO II

MATERIALES Y EQUIPO

2.1—MATERIALES.

2.1.1—Maderas:

Las especies tomadas como base para este estudio de programas y Horarios de Secado fueron los siguientes:

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
Chocho	<i>Ormosia paraense</i>	Fabaceae
Marfil	<i>Elaeodendron sp. (?)</i>	Celastraceae
Rayo	<i>Abarema jupumba</i>	Mimosaceae
Saino	<i>Goupia glabra</i>	Celastraceae
Sapán	<i>Clathrotropis brunnea</i>	Fabaceae

2.1.2—Especificación de la Madera:

Los ensayos se efectuaron con madera procedente de la Región Carare-Opón tratándose en lo posible de obtenerla libre de defectos como rajaduras, ataque de hongos e insectos o daños mecánicos, provenir de árboles maduros y poseer un alto contenido de humedad.

Como por causas involuntarias se obtuvo madera defectuosa, se tuvo la precaución de marcar, antes del apilamiento en la cámara, aquellas tablas que se encontraron afectadas para así al final del secado proceder a una evaluación logrando obtener un dato más o menos preciso, despreciando las piezas que ingresaron en mal estado.

2.1.3—Dimensiones:

Se utilizaron tablas de dimensiones estandar en su longitud, espesor y ancho, tratando por todos los medios de obviar cualquier error conseguido a través de la incorrecta selección de las medidas. Por una parte se pretendía evitar la utilización de grandes volúmenes de madera por especie, y además teniendo en cuenta el aspecto técnico y científico ya que al estandarizar dimensiones se logran datos más ajustados a la realidad pues se están aplicando en forma debida los factores de corrección. De otra parte, haciendo referencia a la longitud es en este caso la cámara quien la limita.

Las dimensiones usadas para todas y cada una de las especies estudiadas fueron:

Longitud	120.0 cm.
Ancho	20.0 cm.
Espesor	2.5 cm.

2.1.4—Volumen por Especie:

El volumen adquirido para análisis por especie se obtuvo de acuerdo a la capacidad de la Cámara Experimental del Instituto, que es aproximadamente 1.5 m³. Efectuando la cubicación y descontando los espacios de aireación interna determinados por los rastreles o listones de separación, nos da un volumen aprovechable de más o menos 0.75 m. por carga, que traducidos al número de tablas equivale a un total de 125, en las dimensiones anteriormente expuestas.

2.2—EQUIPO DEL ESTUDIO:

2.2.1—Cámara:

Las prácticas de secado incluidas en esta investigación fueron desarrolladas en una cámara experimental semiautomática con buenas condiciones de aislamiento y correcto funcionamiento de sus elementos. Consiste de:

a) El recinto propiamente dicho con paredes dobles en ladrillo cocido, construídas sobre una plancha en concreto con ligero desnivel hacia un desagüe. Descansa sobre las paredes una plancha en concreto fundida en forma independiente.

b) Un cielo raso en lámina plana eternit. En el espacio comprendido entre éste y el techo, se encuentra el equipo de calefacción de la cámara.

c) Una puerta en lámina, doble, con empaques de caucho resistentes a fuertes temperaturas.

d) Un carro que se desplaza sobre dos rieles y en el cual se apila la madera a secar.

e) Un vaporizador.

f) Un sistema de serpentines a base de resistencias.

g) Dos válvulas que funcionan manual o automáticamente para la regularización de las condiciones internas.

h) Un ventilador axial. (Ver fig. 8), colocado lateralmente.

i) Un termómetro (Fig. 9) y un Higrómetro.

j) Un tablero de control (Fig. 11).

La capacidad de la cámara es de 1.5 m³ y el largo máximo admisible para tablas es de 1.20 m.

2.2.2—Equipo Accesorio:

Para el desarrollo del proceso se empleó el siguiente equipo accesorio:

a) Balanza de Precisión:

Se usó para pesar las probetas destinadas a la obtención del contenido de humedad inicial y para las de prueba de estratificación.

b) Balanza Corriente:

Se empleó para pesar en cada etapa las tablas de control.

c) Estufa:

Se usó para depositar las probetas a 103°C. con el fin de obtener el peso anhidro de las mismas.

d) Sierra Circular:

En ella se preparó la madera para el control de la carga, sacando probetas para pruebas de tenedor.

e) Sierra Sinfín:

Se usó para hacer las ranuras a las muestras destinadas a prueba de tenedor.

CAPITULO III

NORMAS Y METODOLOGIA

El secado de la madera es el proceso por medio de la cual ésta pierde agua hasta un punto tal que se establece equilibrio entre su contenido de humedad y el clima (humedad relativa del medio ambiente y temperatura), en el cual se encuentra.

La madera se puede secar mediante la acción del clima de una determinada localidad o mediante un clima artificialmente establecido. Cuando son las condiciones climáticas de un lugar, las que producen el secamiento, éste se denomina "secado natural o al aire libre".

Cuando es el clima logrado artificialmente el que seca la madera, el proceso se realiza en un recinto cerrado, equipado con aparatos que están en capacidad de producir cambios climáticos para acelerar el secamiento, que en este caso se denomina "secado artificial".

Se ha concluido que el secado artificial ofrece sobre el secado natural las siguientes ventajas:

- a) Corta duración del proceso.
- b) Se puede controlar y evitar los defectos ocasionados durante el secado.
- c) Las temperaturas altas a que se somete la madera a la vez que disminuyen las propiedades higroscópicas, impiden y detienen el crecimiento de hongos o los destruyen.
- d) Reducción de los riesgos de incendio y ataque de plagas.
- e) La producción de material de desecho se reduce considerablemente.
- f) Disminución en los costos de almacenamiento.
- g) Obtención de mayores beneficios al utilizar más prontamente la madera.
- h) El contenido de humedad final no necesariamente corresponde al del medio ambiente del lugar.
- i) Mayores beneficios obtenidos a través de mayores ingresos.
- j) Más rápida disponibilidad de las maderas al encolado, laqueado y tratamiento con preservativos, etc.

3.1—EL AGUA EN LA MADERA:

Toda vez que se pretende facilitar el conocimiento del proceso del secado de madera, se hace indispensable aclarar las formas en que se encuentra el agua dentro de ella, sus estados y la forma de sus desplazamientos.

La madera proviene del árbol que es un organismo vivo que utiliza el agua como medio de conducción de las sustancias que necesita para cumplir su actividad fisiológica.

La cantidad de agua que se encuentra en un árbol en pie varía de acuerdo a la especie según su peso específico. Cuando se tumba un árbol, se puede observar que la albura contiene más humedad que el durámen (Fig. 5), pero también que éste se seca más lentamente que la albura.

El agua no solamente se puede encontrar en las cavidades de las células de la madera sino también en las paredes de ellas, motivo por el cual se han establecido los conceptos de agua libre y agua fija.

3.1.1—*Agua Libre y Agua Fija:*

Específicamente se denomina agua libre aquella que se encuentra contenida en las cavidades celulares y que puede ser desalojada con relativa facilidad, llegando hasta un límite denominado punto de saturación de las fibras.

Punto de saturación de las fibras es el contenido de humedad a que tiende la madera, cuando se coloca en un clima con una humedad relativa igual al 100% y cualquier temperatura.

Expresado de otra manera el punto de saturación de las fibras, es el estado de la madera en el cual las paredes celulares se encuentran saturadas y las cavidades libres de agua.

El agua fija o higroscópica se encuentra en la pared celular retenida por fuerzas de sorción química, adsorción y condensación capilar, requiriéndose mayor energía y tiempo para su evacuación.

Es de anotar que el porcentaje de agua fija incide considerablemente sobre la utilización que se pretende dar a la madera, ya que hace variar las propiedades de las mismas.

3.1.2—*Movimiento y Migración del Agua Durante el Secado:*

Para un estudio de secado de maderas se considera de vital importancia tanto la velocidad de movimiento, como la forma de desplazamiento del agua.

La humedad en la madera puede desplazarse en los tres sentidos: Longitudinal, radial y tangencial, (Fig. 3-4) e igualmente hacerlo en estado líquido, en forma de vapor o ambos a la vez.

Es decir que para que el agua abandone la madera se deben cumplir 2 etapas:

- 1) Movimiento del agua en el interior y hacia la superficie.
- 2) Evaporación del agua de la superficie.

En el primer caso el movimiento se efectúa dentro de la madera en forma líquida y gaseosa y en el segundo, de la madera hacia el medio ambiente en forma de vapor, siempre regidos por diferencias de presión de vapor de agua.

La disposición de las células de la madera influyen notablemente sobre la salida de la humedad lográndose la mayor velocidad de desplazamiento en sentido longitudinal y la más lenta en el transversal.

A lo anterior deben agregarse ciertas normas que resultan de importancia para una mejor comprensión de los distintos fenómenos observados en una etapa de secado:

a) El movimiento de la humedad en la madera es inversamente proporcional a su peso específico. A mayor peso específico menor velocidad y viceversa.

b) El movimiento de la humedad es directamente proporcional a la temperatura, e inversamente a la humedad relativa.

c) El movimiento de agua es mayor en madera de albura que en duramen.

d) El movimiento se realiza del interior hacia la superficie dependiendo su velocidad, de la estructura de la madera y de la evaporación en la superficie.

3.1.3—*Humedad de Equilibrio:*

Es la humedad a la cual tiende la madera cuando se coloca en un medio ambiente o clima determinado. Ejemplo: Una madera que se encuentra en un clima de 20°C. y 65% de humedad relativa, tiende a adquirir un contenido de humedad del 12%.

Cuando una madera se coloca en un medio ambiente totalmente saturado de vapor de agua, (100% Humedad Relativa del aire) tiende a adquirir un contenido de humedad correspondiente al de la zona de saturación de las fibras y que en la mayoría de las especies se encuentra entre 25 y 30%.

3.1.4—*Contenido de Humedad en la Madera:*

Contenido de humedad es la relación que existe entre el peso de una pieza de madera y el peso de la misma en estado anhidro, expresado en tanto por ciento según la fórmula:

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

Donde:

CH = Contenido de Humedad.

PH = Peso húmedo de la madera.

PS = Peso seco o anhidro de la madera.

Es usual de acuerdo a lo expresado anteriormente, encontrar maderas con un contenido de humedad mayor de 100%.

El contenido de humedad es la base para el cálculo y desarrollo de un programa de secado.

Para su determinación existen varios métodos entre los cuales se encuentra el basado en la conductibilidad de la corriente eléctrica o resistencia al paso de ésta en la madera. Estos aparatos son confiables para maderas que tengan un contenido de humedad entre 7 y 25%, siendo muy poco exacto por encima de este punto y no considerándose desde luego aptos para la medición del contenido de humedad inicial sino únicamente como medio de control.

El método de secado en estufa está catalogado como el más exacto para el establecimiento del contenido de humedad en la madera, (Fig. 1). Primero se toman muestras transversales de distintas tablas de la carga a controlar. Se pesan en la balanza de precisión para determinar el peso húmedo e inmediatamente se colocan en estufas eléctricas a una temperatura máxima de 103°C., hasta obtener peso constante. Para determinar el peso seco se sacan las maderas y se pasan a una campana que contiene un material higroscópico, como el pentóxido de fósforo, dejándolas allí por un tiempo aproximado de 10 a 15 minutos hasta su total enfriamiento evitando de esa manera el peligro de absorción de humedad del aire y por lo tanto de aumento de peso. Una vez frías las probetas se pesan y se calcula el contenido de humedad.



Fig. 1- Estufa u horno para la obtención de contenido de humedad

3.1.5—Determinación del Contenido de Humedad Inicial:

El contenido de humedad determinado por el método descrito anteriormente, corresponde al contenido de humedad inicial.

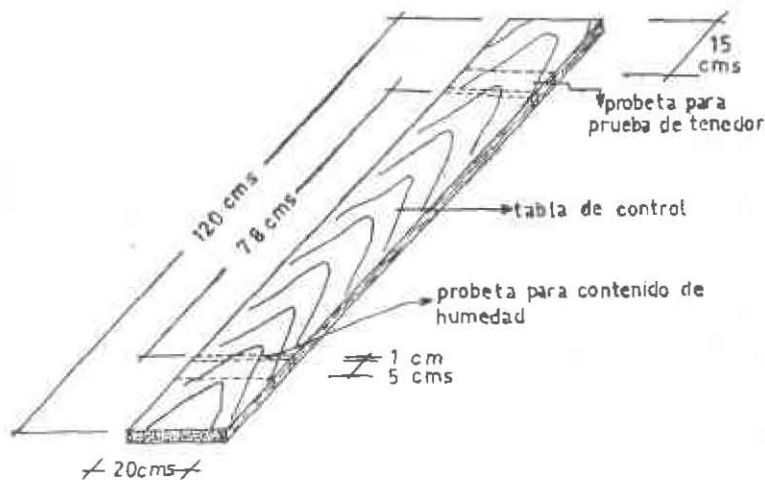


Fig. 2. Obtención de diferentes muestras.

Para el presente estudio se obtuvo el contenido de humedad inicial, tomando al azar 7 tablas de las cuales se consiguieron 14 muestras pequeñas (una de cada extremo de la tabla, como indica la Fig. 2), obteniéndose al promediarlas el contenido de humedad inicial de la carga. Se hace la anotación que de cada extremo de la tabla se desechan 15 a 20 cms.

3.1.6—Control de Contenido de Humedad Durante el Secado:

El contenido de humedad de la madera durante el proceso de secado se determina con las mismas tablas de las cuales se obtuvieron las muestras para determinar el contenido de humedad inicial. El proceso es como sigue:

Con base en la humedad inicial y el peso de la tablas con ese contenido de humedad, se calcula el peso anhidro de la misma, de tal manera que basta solamente pesar la tabla en cualquier momento para determinar el peso húmedo y mediante la fórmula calcular el contenido de humedad en ese momento.

Para el caso concreto de este estudio los contenidos de humedad durante el proceso del secado se calcularon cuando se suponía que la madera llegaba a 30% y después, por debajo del punto de saturación de las fibras, cada tres y cinco por ciento (3 y 5%), hasta lograr el contenido de humedad con el cual salía la madera de la cámara secadora.

3.1.7—Factores que Inciden en la Velocidad del Secado:

a) —Temperatura: A mayor temperatura se consigue una mayor velocidad de secado.

b) —Humedad del Aire: A menor humedad relativa se obtiene una mayor velocidad de secado:

Los dos puntos anteriores se encuentran íntimamente relacionados para lograr la condición *mayor velocidad de secado*.

c) —Velocidad del Aire: Es directamente proporcional con la velocidad de secado bajo condiciones de temperatura y humedad relativa previamente determinadas.

d) —Especie: Se logra una mayor velocidad de secamiento en las coníferas o especies blandas que en las latifoliadas o especies duras. Pero aún dentro de una misma especie, y esto sucede en la mayoría de los casos, la albura seca con mayor rapidez que el duramen.

e) —Grosor: El grosor de la madera es otro de los factores que influye en la velocidad del secado. A mayor espesor mayor tiempo. Debe aclararse que la velocidad de secado no es proporcional al grosor. Si se toma el caso de una pieza de madera de 2 cms. de espesor, ésta requiere para su secado más del doble de tiempo que una tabla de 1 cm. en las mismas condiciones y de la misma especie.

3.2—CONCEPTOS QUE DEBEN TENERSE EN CUENTA PARA EL PROCESO DE SECADO:

3.2.1—Estructura de la Madera:

3.2.1.1—Clases de Madera:

Observando las características de los árboles en las distintas especies, se ha hecho una división en dos grupos principales: Maderas duras o angiospermas (Latifoliadas) y maderas suaves o gimnospermas (coníferas), siendo más compleja la estructura en las primeras. (Ver Figs. 3.4).

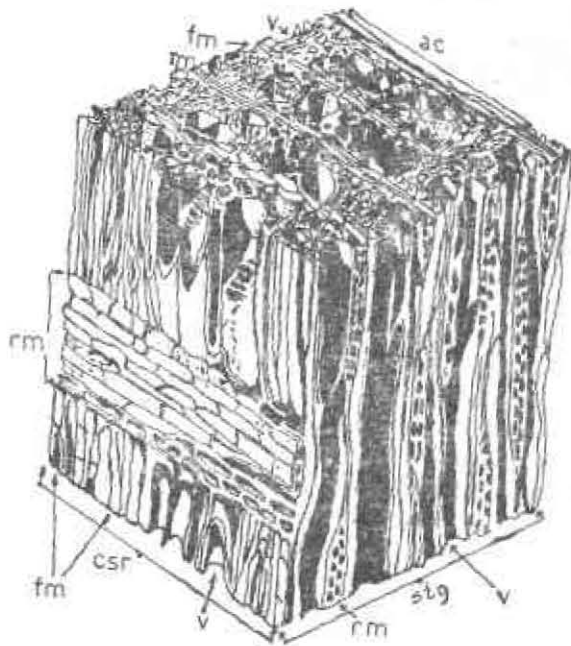


Fig. 3 - Dibujo de una sección de una madera dura aumentada muchas veces: fibras de madera (fm), vasos (v), y células que se muestran en la superficie radial (csr), superficie tangencial (stg), y en los rayos de la madera (rm) también en el anillo de crecimiento (ac). TOMADO DE AID. (6).

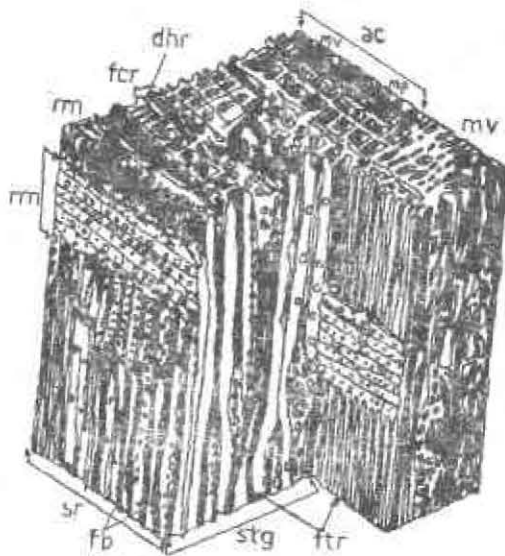


Fig. 4 - Dibujo de una madera suave aumentada muchas veces: fibras o tráqueas (ftr), células de rayos (cr, fer), y ductos horizontales de resina (dhr), que se muestran en la superficie radial (sr), y la superficie tangencial (stg), también el anillo anual (ac), madera de primavera (mp), madera de verano (mv), y fosas con bordes (fb). TOMADO DE AID (6).

3.2.1.2—Partes del Tronco:

Tomando la sección transversal de un tronco de árbol, de la periferia hacia el centro, se encuentran las siguientes partes: Corteza, liber (floema), cambium, albura, duramen y médula, (Fig. 5).

La albura y el liber, son las partes del árbol que sirven para la conducción de sustancias sin elaborar y elaboradas desde las raíces hasta las hojas y de ellas hacia el leño respectivamente, siendo distribuidas a través de los radios leñosos. Por ende estas dos partes del árbol están constituidas por células fisiológicamente activas, casi en su totalidad.

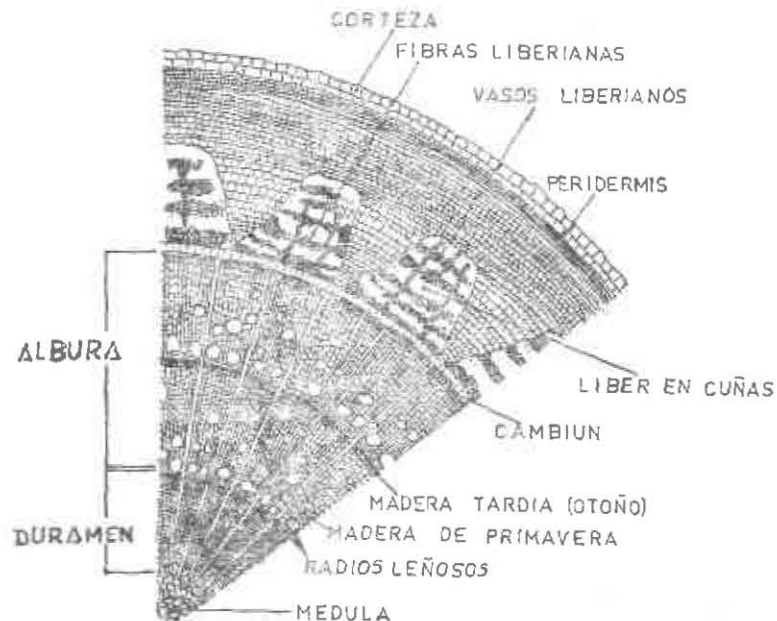


FIG 5.— Sección transversal de un tronco de tres anillos de crecimiento

El cambium es un estrato de células cuya función es incrementar el grosor del árbol. En las zonas templadas este estrato es activo en las estaciones de Primavera y Verano. En las zonas tropicales la actividad del cambium no está bien definida.

La madera producida al comienzo de la actividad cambial, se denomina madera temprana y aquella producida al final de dicha actividad, madera tardía; las células de la madera temprana son de mayor tamaño que las de madera tardía.

El incremento producido en una misma etapa de actividad cambial se denomina anillo de crecimiento.

La corteza externa y el duramen están constituidos por células muertas, cuya función en el caso de la corteza, se limita a la protección del árbol y en el duramen al sostén o consistencia del mismo.

La coloración del duramen se hace más oscura por un taponamiento con resina y acumulación de materias tánicas. Esta acumulación origina también una mayor resistencia al ataque de hongos y plagas, al depositarse materias tóxicas.

La médula es la parte central del tronco, constituida por tejido blando.

3.2.1.3—*Elementos Celulares:*

3.2.1.3.1—*De Conducción:*

En el caso de las maderas blandas la conducción de las sustancias está encomendada a ciertas células denominadas traqueídas y para el caso de las latifoliadas o maderas duras, a los vasos.

Los vasos están constituidos por una serie vertical de células denominada cada una elemento vascular.

Las traqueídas presentan cavidades en sus paredes denominadas punteaduras, cuya función es establecer comunicación intertraqueidal y entre traqueídas y radios leñosos. Las punteaduras también se presentan en los vasos para establecer comunicación transversal con los otros elementos del leño y para la comunicación vertical entre las células constitutivas de un vaso se presentan las perforaciones.

3.2.1.3.2—*Otros Elementos Celulares:*

Además de las células especializadas en la conducción de sustancias se encuentran otras cuya función es el almacenamiento y distribución de sustancias alimenticias y que constituyen el tejido parenquimatoso. Las células de parénquima están dispuestas dentro del leño, siguiendo dos direcciones fundamentales: Paralelo al eje del árbol o parénquima axial y perpendicular a él o parénquima radial, que es el responsable de la distribución de los alimentos de la periferia al interior y su conjunto se conoce como radio leñoso.

Las especializadas en darle resistencia mecánica al árbol son en las coníferas las traqueídas y especialmente las de madera tardía y en las latifoliadas las fibras, así como en algunas especies las fibras y fibrotraqueídas.

Cabe anotar que en ciertas latifoliadas se encuentran traqueídas mientras que en las coníferas no aparecen vasos.

3.2.1.4—*Influencia de la Estructura Celular en el Secamiento:*

Si se considera que los elementos celulares dentro del árbol son casi todos alargados y están en su mayoría dispuestos en sentido paralelo al eje de éste, y que cada uno de ellos está constituido por una pared y una cavidad (donde se encontraba el contenido protoplasmático en la célula viva), comunicada con las células vecinas por punteaduras y perforaciones, se deduce que el movimiento del agua dentro de la madera y de allí a la superficie, se efectúa con mayor facilidad en dirección longitudinal.

Para mayor claridad de este concepto vale la pena mencionar que en la madera se consideran tres diferentes planos, determinados por el eje del árbol, los radios leñosos y los anillos de crecimiento. El plano obtenido perpendicular al eje del árbol se denomina cara o sección transversal. El obtenido paralelo al eje del árbol y a la vez a los radios leñosos, cara longitudinal radial o simplemente sección radial; el resultante de un corte paralelo al eje del árbol y tangencial a un anillo de crecimiento, cara o sección tangencial o longitudinal tangencial, (Figs. 3-4).

Según algunas investigaciones se ha establecido que la madera se seca en sentido longitudinal (paralelo a las fibras) en promedio tres veces más rápido, que en el sentido radial y dos veces más que en tangencial.

Lo anterior es válido cuando la estructura de la madera es normal, pero cuando se presentan algunas anomalías tales como nudos, madera de compresión, madera de

tensión, etc., el comportamiento de ésta sufre alteraciones.

El tamaño de los elementos celulares, la longitud de ellos, los contenidos que posean y la proporción de cada uno de ellos en el leño, tienen también influencia en el secamiento.

3.2.2—*Higroscopicidad y Anisotropía de la Madera:*

Son dos propiedades que caracterizan a la madera.

La higroscopicidad consiste en la característica de ganar o perder humedad de acuerdo al medio ambiente donde se encuentre.

La anisotropía es la característica que entre otras cosas, hace que la madera, al perder o ganar humedad, varíe sus dimensiones en diferente proporción, en cada una de las 3 orientaciones consideradas anteriormente.

3.2.2.1—*Influencia de la Higroscopicidad y Anisotropía en el Secamiento:*

La higroscopicidad es una de las propiedades que más tiene que ver con el secado ya que mediante ella se puede lograr que la madera pierda humedad, cambiando las condiciones del clima donde se encuentra. En un clima cualquiera la madera adquiere un contenido de humedad determinado que se conoce como humedad de equilibrio.

En la gráfica N° 1 y en la tabla N° 1 se puede determinar la humedad de equilibrio para cualquier clima (temperatura y humedad relativa del aire).

La anisotropía tiene que ver ante todo con los defectos que se presentan en la madera una vez sometida a secado, ya que casi todos ellos son producidos por efectos de las contracciones que son diferentes en los tres planos considerados.

3.2.3—*Propiedades Físicas:*

Las propiedades físicas que más tienen que ver con el secado son: Peso específico, las contracciones, la relación entre algunas contracciones y la humedad.

a) —Peso Específico: Es la relación entre el peso de la madera y su volumen.

b) —Contracciones: Se dá este nombre a la disminución de volumen o de dimensión lineal por pérdida de humedad.

La contracción tangencial es mayor que la radial y éstas a su vez mayores que la longitudinal, pudiéndose expresar en la siguiente relación:

Contracción tangencial: Contracción radial: Contracción longitudinal=23: 14: 1.

La disminución de volumen se presenta después que la madera ha perdido el agua libre, es decir cuando empieza a perder el agua fija.

c) —Relación entre contracción tangencial y contracción radial: Como puede observarse en el párrafo anterior, la contracción longitudinal es muy pequeña, mientras que la tangencial y la radial son considerables. Si la contracción tangencial y la radial fuesen iguales o sea que su relación fuera igual a uno, (1), las deformaciones por efectos de secamiento serían casi despreciables. Pero como lo normal es que el valor de esa relación sea aproximadamente igual a 1.5, entonces la disminución desigual de volúmenes tenderá a producir deformaciones que en muchos casos aumentarán la cantidad de

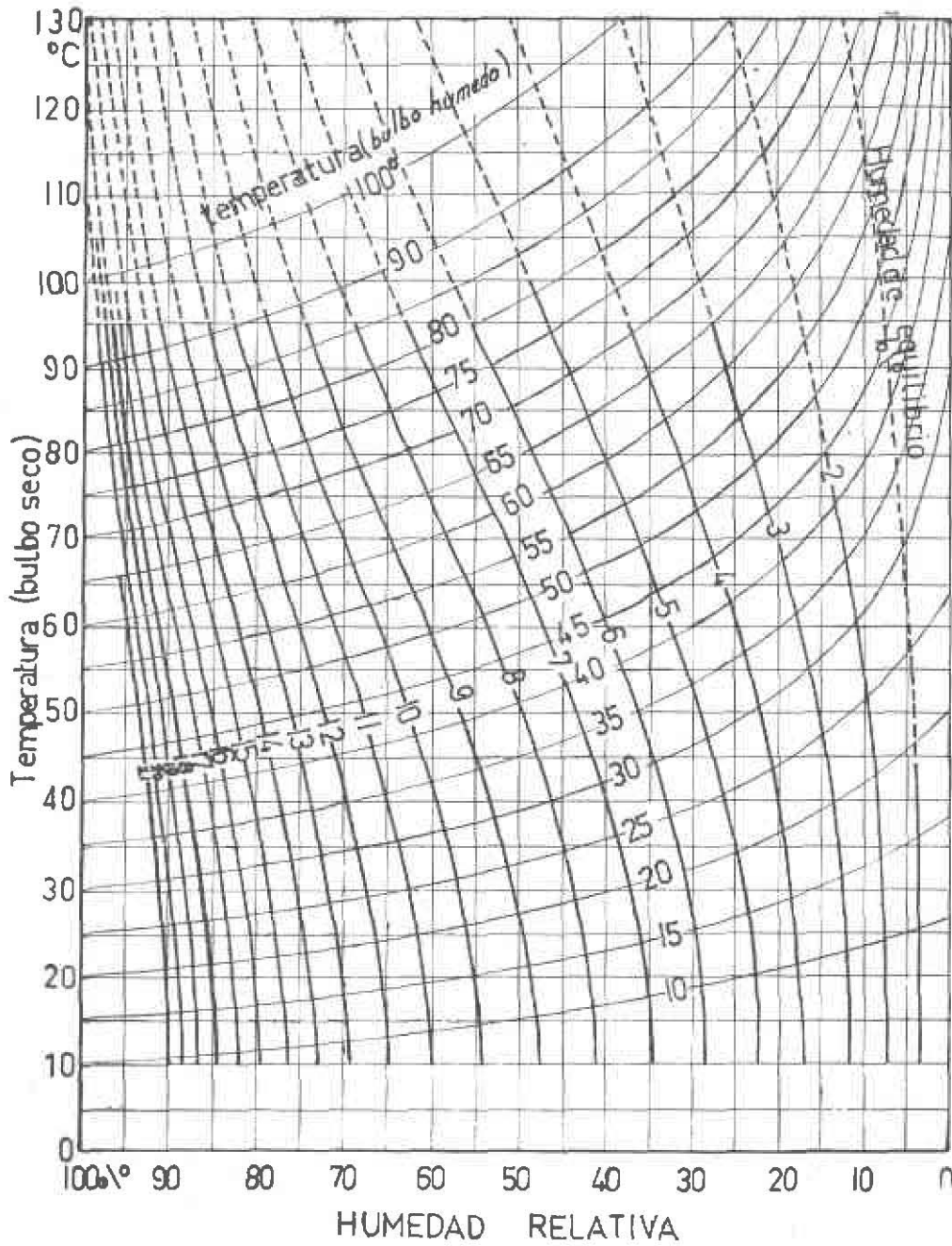


Gráfico No. 1 Tomado de Forest Product Research Society (11)

T SECO

		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
20	1	36,5	43,5	48,5	53,5	58	64	69	74	1a Temp termóm. húmedo, °C			
	2	91,5	82	73	64	55	46	37	28	2a Hum. relat. del aire en %			
19	38	43	48	53,5	58,5	63,5	68,5	73,5	78,5	Ejemplo para la lectura en esta tabla			
18	38	43	48	53	58	63	68	73	78	Temp del termómetro seco = 70 °C			
17	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	63	68	73	78	Hum. de equilibrio = 12%			
16	37	42	47	52	57,5	62,5	67,5	72,5	78	Nos darán 69°C de temp. del termóm. húm. y 78,5% de humedad relat. del aire			
15	36,5	41,5	46,5	51,5	57	62	67	72	77,5	82,5	88	93	94,5
14	36	41	46	51	56,5	61,5	66,5	71,5	77	82	87,5	92,5	95
13	35,5	40,5	45,5	50,5	55,5	60,5	66	71	76	81	86,5	91,5	95
12,5	35	40	45	50	55	60	65,5	70,5	75	81	86	91	95
12	34,5	39,5	44,5	49,5	54,5	59,5	65	70	75,5	80,5	85,5	90,5	95
11,5	34	39	44	49	54	59	64,5	69,5	75	80	85,5	90,5	95
11	33,5	38,5	43,5	48,5	53,5	58,5	64	69	74,5	79,5	85	90	95
10,5	33	38	43	48	53	58	63,5	68,5	74	79	84	89	95
10	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	58	63	68	73,5	78,5	83,5	88,5	95
9,5	32	37	42	47,5	52,5	57,5	62	67	72,5	77,5	82,5	87,5	95
9	31,5	36,5	41,5	46,5	51,5	56,5	61,5	66,5	71,5	76,5	81,5	86,5	95
8,5	31	36	41	46	51	56	61	66	71,5	76,5	81,5	86,5	95
8	30,5	35,5	40,5	45,5	50,5	55,5	60,5	65,5	71	76,5	81,5	86,5	95
7,5	30	35	40	45	50	55	60,5	65,5	71	76,5	81,5	86,5	95
7	29,5	34,5	39,5	44,5	49,5	54,5	59,5	64,5	69,5	74,5	79,5	84,5	95
6,5	29	34	39	44	49	54	59	64	69	74	79	84	95
6	28,5	33,5	38,5	43,5	48,5	53,5	58,5	63,5	68,5	73,5	78,5	83,5	95
5,5	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73	78	83	95
5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5	72,5	77,5	82,5	95
4,5	27	32	37	42	47	52	57	62	67	72	77	82	95
4	26,5	31,5	36,5	41,5	46,5	51,5	56,5	61,5	66,5	71,5	76,5	81,5	95
3,5	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	95
	25,5	30,5	35,5	40,5	45,5	50,5	55,5	60,5	65,5	70,5	75,5	80,5	95
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	95
	24,5	29,5	34,5	39,5	44,5	49,5	54,5	59,5	64,5	69,5	74,5	79,5	95
	24	29	34	39	44	49	54	59	64	69	74	79	95
	23,5	28,5	33,5	38,5	43,5	48,5	53,5	58,5	63,5	68,5	73,5	78,5	95
	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73	78	95
	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5	72,5	77,5	95
	22	27	32	37	42	47	52	57	62	67	72	77	95
	21,5	26,5	31,5	36,5	41,5	46,5	51,5	56,5	61,5	66,5	71,5	76,5	95
	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	95
	20,5	25,5	30,5	35,5	40,5	45,5	50,5	55,5	60,5	65,5	70,5	75,5	95
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	95
	19,5	24,5	29,5	34,5	39,5	44,5	49,5	54,5	59,5	64,5	69,5	74,5	95
	19	24	29	34	39	44	49	54	59	64	69	74	95
	18,5	23,5	28,5	33,5	38,5	43,5	48,5	53,5	58,5	63,5	68,5	73,5	95
	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73	95
	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5	72,5	95
	17	22	27	32	37	42	47	52	57	62	67	72	95

Tabla No. 1 - La humedad de equilibrio de la madera en relación funcional de la temperatura del termómetro seco y la del termómetro húmedo y la de la humedad relativa del aire.

Tomado de Hildebrand (13)

madera inaprovechable, más aún si se tiene en cuenta que hay especies con relación Bt/Br, muy grande.

d)—Humedad: Está constituida por el agua que se encuentra dentro de la madera en un momento dado. El contenido de humedad se expresa en porcentaje (%) y es la relación del peso del agua contenida en la madera y el peso de la madera anhidra.

3.2.3.1—*Influencia de las Propiedades Físicas en el Secado:*

El peso específico tiene una relación directa con la duración del secado. A mayor peso específico mayor tiempo.

Las contracciones también tienen gran influencia, ya que si los esfuerzos desarrollados durante el secamiento por la disminución de volúmenes supera la resistencia de cohesión entre las células, se presentarán rajaduras y deformaciones, si el secamiento es muy fuerte.

La relación Bt/Br: La contracción diferente en el sentido tangencial, con relación al sentido radial incide directamente sobre la duración del secado, ya que no se podrá aplicar un secado forzado a una especie que tenga una alta relación.

La humedad inicial de la carga en relación con la humedad final, establecen el tiempo básico de secado.

3.3—DATOS NECESARIOS PARA LA ELABORACION DE UN PROGRAMA DE SECADO:

a)—Especie: Identificación del tipo de madera a secar suministrando su nombre vernáculo, nombre científico y familia a la cual pertenece, con el fin de asociar de una manera exacta los otros factores que influyen en el secado.

b)—Espesor: Es uno de los factores que contribuye a acelerar o retardar el secado.

c) — Peso Específico: Siendo el peso específico la relación que existe entre el peso de la madera y su volumen, se considera indispensable la obtención de su valor ya que nos está indicando el mayor o menor contenido de pared celular y en su mismo orden el grado de compactación de la misma.

d) — Contenido de Humedad: El conocimiento del valor de la humedad es otro de los factores que priman en la programación.

Podemos dividirlo en dos partes así: Humedad inicial o sea el contenido con el cual la madera inicia su secamiento.

Humedad final o sea el punto hasta el cual se desea llevar el secado.

e) — Relación Bt/Br: Debido a la anisotropía es fundamental el conocimiento de este valor. Se considera una relación favorable cuando su valor es menor de 1.5. Normal cuando oscila entre 1.5 y 1.8. Desfavorable cuando su valor sobrepasa el límite superior normal.

f) — Cámara de Secado: Es otro factor de corrección a incluir en la elaboración de un programa. Su valor prácticamente es estimativo y varía de acuerdo al tipo de corriente de aire y al estado de ella.

g) — Gradiente de Secado: Es la relación que existe entre el contenido de humedad actual y la humedad de equilibrio, forzando o suavizando las condiciones sin variar el tiempo.

h) — Temperatura Máxima: Se hace indispensable el conocimiento de la temperatura máxima admisible cuando el contenido de humedad es mayor del 30% y cuando éste se encuentra por debajo de este punto.

3.3.1—Distribución del Programa en Etapas:

Todo programa se distribuye en dos etapas principales a saber: La primera abarca desde el contenido de humedad inicial hasta más o menos un contenido del 30%, tomado como promedio para el punto de saturación de las fibras. En esta etapa se tendrá en cuenta la mayor temperatura posible a aplicar, considerando las deformaciones que se puedan presentar por las tensiones superficiales de los tabiques celulares que ocasionan los hundimientos.

La segunda parte se inicia desde el 30% hasta el contenido de humedad final.

Se tiene en cuenta igualmente la mayor temperatura posible a aplicar. En esta segunda etapa se hace más delicado el proceso y generalmente se subdivide en etapas de tres a cinco por ciento contenido de humedad, para lograr un mejor control sobre las deformaciones que puedan presentarse y la aplicación en caso necesario, de una vaporización que recupere la madera. La evacuación de la humedad se hace más difícil a medida que su valor disminuye. El control continuado se hace por ende más necesario, consiguiéndose al mismo tiempo el cambio suave y paulatino en las condiciones, factor que ayuda a la obtención de mejores resultados. A mayor número de cambios climáticos, menos cambios bruscos y menor porcentaje de daños.

3.4—CALCULO DEL HORARIO.

3.4.1—Determinación Teórica del Tiempo Aproximado de Secado:

Teniendo en cuenta la estructura anatómica de la madera espesor de las tablas, condiciones de la cámara, humedad inicial, humedad final, peso específico, contracciones y sus relaciones, temperatura máxima admisible por encima y debajo del 30% de contenido de humedad de la madera, y la severidad del proceso se hace un cálculo tentativo del tiempo presumible tanto total como de cada etapa de secado y se fijan las condiciones de clima para cada etapa y para cada especie.

3.4.1.1—Cálculo del Tiempo:

Se hace a partir de la siguiente fórmula:

$$T = \frac{1}{\alpha} (\text{Loge CHI} - \text{Loge CHF})$$

donde:

T = Tiempo normal calculado.

α = 0.0265 (para latifoliadas).

α = 0.0477 (para coníferas).

Loge CHI = Logaritmo neperiano de la humedad inicial.

$\text{Loge CHf} = \text{Logaritmo neperiano de la humedad final.}$

La anterior fórmula sirve para calcular el tiempo de secado de tablas que reúnan las siguientes especificaciones: 25 mm. de espesor, temperatura de 65°C., peso específico anhidro de 0.65 (en latifoliadas), 0.45 (en coníferas) y en una cámara en perfecto estado. Cuando alguna de las condiciones anteriores se altera, se emplean factores de corrección, que según el caso van a aumentar o disminuir el tiempo de secado.

Los factores de corrección citados anteriormente están incluidos en la tabla N° 2 tomada de Lastra (20).

TABLA N° 2 - FACTORES DE CORRECCION PARA HALLAR EL TIEMPO VERDADERO ENTRE DIFERENTES CONTENIDOS DE HUMEDAD Tomado de Lastrá (20)

TIEMPOS NORMALES		FACTORES DE CORRECCION							
CH actual (%)	HORAS	ESPEJOR (mm)	Fe	Peso Esp (gr/cm ³)	Fpe	Temperat. (°C)	Ft	CAMARA	Fc
90 - 30	41,5	15	0.465	0.45	0.576	40	1.63	aire natural	2
80 - 30	37.0	20	0.716	0.50	0.675	45	1.44		
70 - 30	32.0	25	1.000	0.55	0.778	50	1.30	Acelerado artificialmente en camaras normales perfectas	1.2 - 1.5
60 - 30	26.5	30	1.315	0.60	0.887	55	1.18		
55 - 30	22.7	35	1.656	0.65	1.000	60	1.08		
50 - 30	19.7	40	2.023	0.70	1.118	65	1.00		
45 - 30	15.5	50	2.828	0.75	1.240	70	0.93		
40 - 30	11.0	60	3.718	0.80	1.365	75	0.88		
35 - 30	6.0	80	5.720	0.85	1.496	80	0.82		
30 - 25	7.5	100	8.000	0.90	1.630	85	0.76		
25 - 20	8.4	120	10.500	0.95	1.667	90	0.72		
20 - 15	10.9			1.00	1.912	95	0.68		
15 - 9	19.6					100	0.65		

Partiendo de la fórmula anterior se obtiene el tiempo normal de secado.

Para la obtención del tiempo verdadero o real basta multiplicar el tiempo normal por cada uno de los factores de corrección ya mencionados; se acostumbra hacer estas etapas tratando de llevar la madera a un contenido de humedad del 30% y después a intervalos de 5 o 3% hasta obtener una humedad final acorde con el uso que se le vaya a dar a la madera.

De igual manera para cada una de esas etapas se fijan diferentes condiciones climáticas según el gradiente de secado.

3.4.1.2—Gradiente de Secado:

Está íntimamente relacionado con la velocidad que se le quiera dar al proceso de secado y se expresa según la fórmula siguiente:

$$D = \frac{\text{CH. a (\%)}}{\text{CH. eq. (\%)}}$$

donde:

D = Gradiente de secado.

$CH.a$ = Humedad actual de la madera. Es la humedad que tiene la madera en un momento determinado.

$CH.eq.$ = Humedad de equilibrio. Es la humedad a que tiende la madera cuando se halla en un clima determinado. El gradiente de secado por encima del 30% de contenido de humedad no se tiene en cuenta. Se considera cuando el valor del contenido de humedad está por debajo del campo higroscópico. En este segundo caso pueden tomarse como base los siguientes valores:

a) — Para un secado cuidadoso:

Latifoliadas: $D = 1.5 - 1.7$.

Coníferas: $D = 2.0 - 2.5$.

b) — Para un secado forzado:

Latifoliadas: $D = 2.0 - 3.0$.

Coníferas: $D = 3.0 - 4.0$.

3.4.1.3—*Tiempo de Vaporización y Tiempo de Compensación:*

Con base en las características de la especie, la humedad inicial y la humedad final, se determina el tiempo de vaporización y el tiempo de compensación respectivo.

a) — Vaporización:

El tiempo de vaporización que es el mismo de calentamiento de la cámara, es dado no solamente por el contenido de humedad inicial, sino también por el espesor de las tablas y la estructura misma de ellas. Sirve para aumentar la temperatura de la cámara, y para humedecer superficialmente la madera, evitando o disminuyendo tensiones interiores que producen endurecimiento y agrietamiento.

Su duración es variable y fluctúa entre 1 y 12 horas.

b) — Compensación:

Se emplea para tratar de igualar la humedad de todas las tablas y eliminar por lo menos en parte, las tensiones que aún subsisten al final del secado. Siempre se presentan diferencias de contenido de humedad entre la parte interna y la externa de cada una de las tablas. La función de esta etapa es entonces subsanar esta deficiencia.

La duración varía según el siguiente cuadro:

ESPESOR DE LAS TABLAS (mm.)	TIEMPO DE COMPENSACION (horas)
20	Entre 5 y 20 horas
24	Entre 10 y 25 horas
40	Entre 20 y 35 horas
45	Entre 25 y 45 horas

3.4.2—Programa de Secado:

Fuera de la determinación del tiempo de duración de cada etapa, es necesario calcular otros factores para los contenidos de humedad actual de la madera en las mismas etapas.

Estos son:

3.4.2.1—Humedad de Equilibrio:

Está dada por la fórmula:

$$CH_{\text{eq.}} = \frac{CH \text{ actual}}{D}$$

3.4.2.2—Temperatura del Bulbo Seco:

Se determina en forma experimental de acuerdo a ciertos datos como peso específico, relación Bt/Br, especie, etc.

3.4.2.3—Humedad Relativa del Aire:

Se obtiene a partir de la temperatura del bulbo seco y la humedad de equilibrio, según gráfica N° 1 y tabla N° 1.

3.4.2.4—Temperatura del Bulbo Húmedo:

Se determina en la gráfica N° 1 y en la tabla N° 1.

3.4.3—Horario de Secado:

Obtenidos los tiempos reales de secado y elaborado el correspondiente programa, se toman los datos para llevarlos a la elaboración del horario de secado, según cuadros N° 2 a 5 y gráficos N° 2 a 5.

En este horario se incluyen además de las etapas calculadas en el programa, las correspondientes a calentamiento y compensación.

También de acuerdo a los datos tomados como base para los cálculos y el programa, se dan en este formulario ciertas recomendaciones para mejor cumplimiento del horario.

3.5—EQUIPO:

3.5.1—Cámara Secadora:

Una cámara secadora es un recinto en el cual se produce el secado progresivo de la madera, mediante el efecto de climas cada vez más secos y cálidos. Las hay circulantes y estáticas. En las primeras la madera se carga en los carros a un extremo y se recibe al lado opuesto, después de recorrido el trayecto, ajustada su velocidad al tiempo de secado y después de haber sido expuesta a los climas ordenados por el programa. Estos climas se van encontrando a lo largo de la cámara, obteniéndose en la puerta de acceso condiciones totalmente distintas de las existentes en la puerta de salida. Lo mismo puede indicarse, en cuanto a los contenidos de humedad ya que son totalmente distintos.

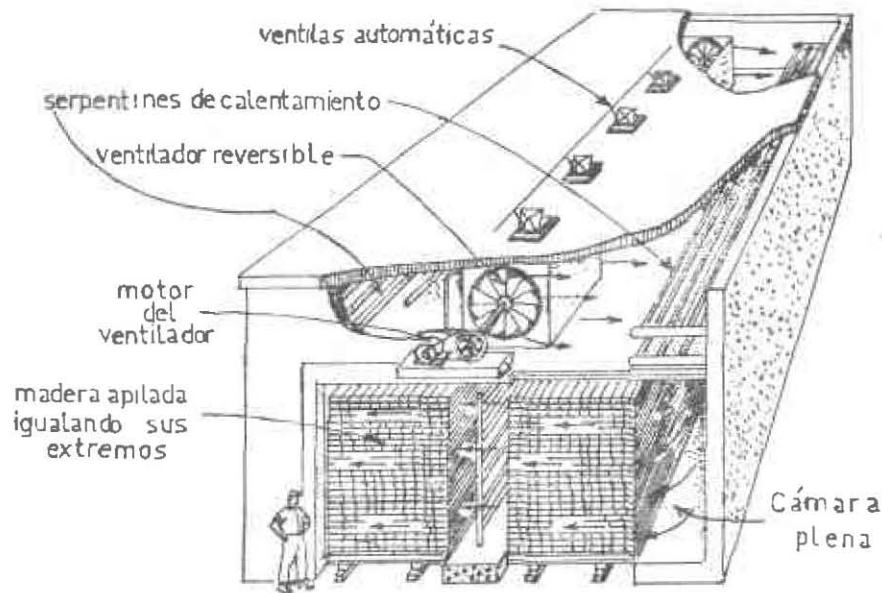


Fig. 6 - Estufa de compartimiento de doble riel, con ventiladores internos en una flecha larga. La carga se apila igualando los extremos. (U. S. Forest Service). (Tomado de la industria maderera Brown, Bethel). (3).

La segunda o sea la estática, ver Fig. 6 es un cuarto hermético en el cual se van sucediendo los programas de acuerdo a los horarios asignados. Después de cargada la cámara, ésta permanece cerrada y únicamente se extraen por compartimientos especiales las tablas de comprobación de contenido de humedad. Así permanece hasta la culminación del horario. Los cambios de temperatura se logran con radiadores o calentadores (serpentines) y el movimiento del aire se hace con ventiladores.

3.5.1.1—Características de Construcción:

La construcción de la cámara puede hacerse en madera, en concreto, en ladrillo cocido o bien en acero o aluminio. En el caso de las metálicas se prefieren las construídas en aluminio puro, por ofrecer mayor resistencia a la corrosión.

En la construcción de cámaras es de suma importancia el factor calidad de los materiales, pues deben tenerse muy en cuenta las altas temperaturas y las fuertes presiones que han de soportar. Los materiales empleados deben recubrirse de una capa anticorrosiva especial para el calor e impermeable. La hermeticidad debe ser total. Todo objeto construído en acero debe recubrirse con anticorrosivo.

a) Piso:

Todas las estufas, no importa el tipo de material en que estén construídas, deben tener una base firme en concreto con una pequeña pendiente hacia un desagüe y un grosor tal, que llegue a soportar a más del peso de la estructura, el peso de los carros con la carga de madera. Se debe instalar sobre terreno seco y firme.

b) —Paredes: En combinación con el techo juegan uno de los papeles más importantes en la cámara; pueden ser metálicas o en ladrillo cocido, hormigón o mampostería. Deben soportar el techo y tener un aislamiento a grandes pruebas. Actualmente se cons-

truyen la mayor parte de las cámaras con pared doble dejando un espacio entre ellas ocupado por un aislante térmico como fibra de vidrio, etc. Las construídas en madera tienen poca aceptación pues se dice que su grado de hermeticidad es menor y por consiguiente aumenta los costos de energía.

c) —Techo: Cuando la cámara ha sido construída en aluminio u otro metal, debe hacerse el techo en el mismo material. Pero en el caso de estar construída en ladrillo cocido, hormigón o mampostería, éste debe hacerse en hormigón observando ciertas precauciones que favorecerán el secado y la integridad misma de la cámara así:

1) Debe ser construída de manera que permita hermeticidad total y hacer que se cumpla el clima (Temperatura y humedad relativa).

2) Debe ser consistente para evitar la acción del medio ambiente exterior y del clima y la presión interior.

3) Debe estar en óptimas condiciones de aislamiento para evitar que el aire cercano al techo y dentro de la estufa pueda condensarse, perjudicando el correcto secado de las tablas superiores.

4) Debe ser resistente a la acción del fuego.

5) Debe construirse de manera que no quede pegado a la estructura de las paredes, sino independiente de ellas.

d) Cielo raso: Suele construirse dentro de la cámara dejando un espacio vacío entre éste y el techo, el cual será ventilado para evitar la acumulación de humedad condensada en el techo. Generalmente en dicho espacio se instalan los serpentines y/o ventiladores. Debe evitarse la utilización de materiales metálicos en la construcción del cielo raso.

e) Puertas: Se exige que sean bien aisladas, que sean fuertes, de buen ajuste, de peso ligero y de fácil maniobrabilidad y resistentes a la corrosión, pueden estar colocadas sobre bisagras o sobre barras de suspensión que se desplazan sobre rieles. Se acostumbra instalar puertas pequeñas en la cámara, para tener acceso al interior durante la operación de secado, y facilitar así el control de la carga. Estas puertas pueden estar incorporadas a la puerta principal.

f) Válvulas: La función principal que desempeñan es el intercambio de aire húmedo por aire seco, proveniente del medio ambiente. Suelen colocarse en el techo y deben cumplir las mismas condiciones de aislamiento, anticorrosión y maniobrabilidad dadas para las puertas.

g) Rieles: La cámara de secado está provista de un enrielado sobre el cual se desplazan los carros que soportan la madera. Su longitud es igual a la parte interior de la cámara y su frecuencia varía con el número de vías.

h) Carros: Se construyen para desplazamiento fácil y ligero de la madera. Las características más usuales de los carros son: 3 metros de largo por 1.3 metros de ancho, bastidores de perfiles dobles de acero y capacidad para aproximadamente 4.500 Kg. de carga.

i) Desagüe: Sobre el piso y al final de un ligero desnivel se debe ubicar un desagüe para conseguir la salida de la humedad condensada y evitar que entorpezca el secado por exceso de humedad.

j) Recubrimiento y Pintura interior: Una vez saturado el ambiente interior de

vapor de agua, ésta trata de salir de la cámara por los puntos más débiles de la misma. Si se tiene en cuenta la porosidad de los materiales, se ve la necesidad de un recubrimiento compacto y liso. Pero aún así, el vapor sigue causando daños en el techo y las paredes, obligando a aplicar pintura asfáltica que es resistente al calor y la corrosión; se puede hacer también de brea, etc. El mantenimiento en buen estado de una cámara exige la aplicación de pinturas resistentes a temperaturas altas, humedad y anticorrosivos periódicamente; también se deberán proteger con pintura el enrielado, los carros y cualquier otro material que esté continua o periódicamente dentro de la cámara.

3.5.2—Equipos para el Funcionamiento de la Cámara:

3.5.2.1—Equipo de Ventilación:

Una de las condiciones del secamiento artificial consiste en que el aire que se encuentra dentro de la cámara esté en permanente circulación con el objeto de que el clima entre en contacto con las superficies de la tabla en forma uniforme. La velocidad misma del aire debe ser de 1.3 m/seg.; para que el secamiento sea uniforme, se requiere que el aire circule con igual intensidad dentro de toda la cámara y que en lo posible lo haga en sentidos opuestos alternativamente; para evitar la formación de turbulencia, se recomienda que las paredes interiores de la cámara presente esquinas y bordes redondeados.

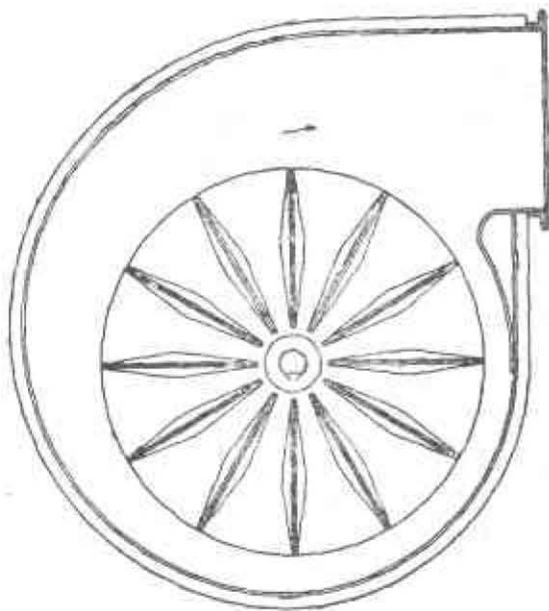


Fig. 7 - Modelo de ventilador radial.

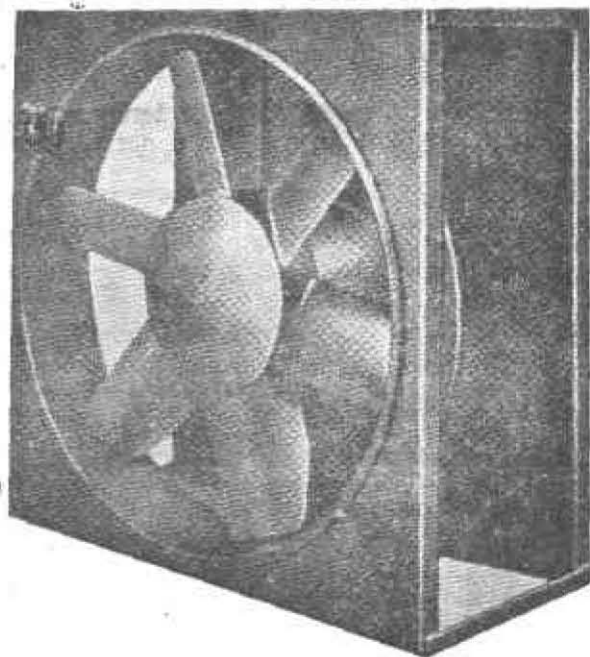


Fig. 8 - Modelo de ventilador axial.

Para establecer el movimiento del aire dentro de la cámara, se utilizan diferentes tipos de ventiladores; los dos principales son: Ventiladores axiales y Ventiladores radiales, según que lancen al aire en dirección al eje o en sentido tangencial a su circunferencia de giro. La utilización de uno u otro tipo depende de la clase de cámara y del grado de eficiencia requerido. (Ver figuras N° 7.8).

Los ventiladores suelen colocarse entre el techo y el cielo raso o en las paredes laterales de la cámara y son movidos por motor individual o mediante transmisión de un motor central.

3.5.2.2—Equipos de Calefacción:

La mayoría de los equipos calefactores en las cámaras de secado, funcionan con base en vapor seco, de 0.5 atmósferas o de presión más elevada; otros fluidos calefactores suelen ser electricidad o agua caliente. En uno u otro caso se utilizan radiadores, que pueden consistir de tubos nervados de acero o aluminio puro. Estos radiadores deben estar distribuidos en la cámara de tal manera que ofrezcan un calentamiento uniforme y además deben ser lo suficientemente capaces para que permitan un calentamiento rápido.

3.5.2.3—Equipo de Humedecimiento:

Como quiera que el clima dentro de la cámara se compone de Temperatura y Humedad Relativa del Aire, se hace indispensable la instalación de equipos que permitan la inyección de vapor húmedo y elementos que comuniquen con el exterior para permitir el intercambio de aire. Generalmente estos vaporizadores consisten de tubos perforados que permiten la pulverización de agua caliente.

3.5.3—Aparatos de Control y Manejo:

Para la fijación y control de los climas (Temperatura y humedad relativa), dentro de la cámara de secado, se requiere un equipo sensible que garantice la veracidad de los datos suministrados; y que sea resistente a la corrosión.

3.5.3.1—Termómetros:

Para la medición de la temperatura media del aire se utilizan termómetros de mercurio o bimetálicos. Deben ser resistentes a la corrosión. (Fig. N° 9).

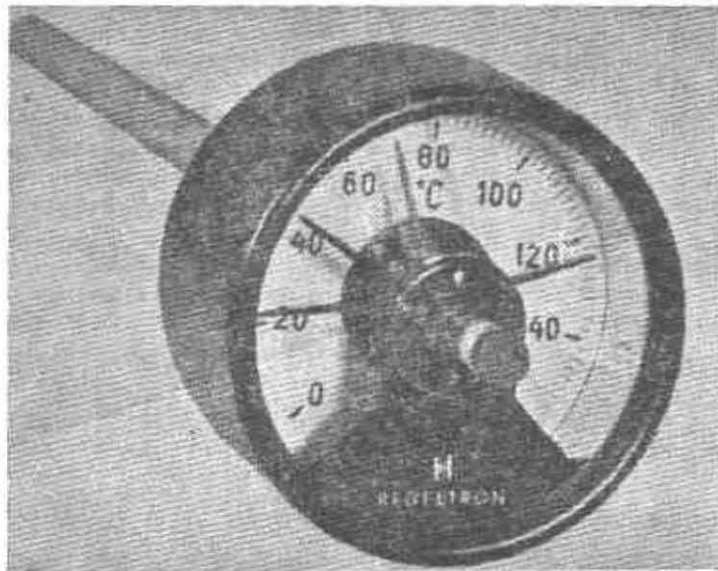


Fig. 9 - Termómetro indicador con contactos para solución de problemas de regulación, (regulador de dos posiciones). Tomado de Hildebrand. (13).

3.5.3.2—Higrómetros:

En la medición de la humedad relativa se emplea el higrómetro; no ofrece la

exactitud debida ya que no es adecuado para soportar temperaturas altas y exige una limpieza continua; trabaja con cabello humano, pero los hay también de materia plástica.

3.5.3.3—Psicrómetros:

El psicrómetro es un aparato que soporta altas temperaturas y trabaja con dos termómetros: El de bulbo seco, y el de bulbo húmedo; (está considerado como el aparato más exacto para el control de climas); es fácil establecer la diferencia entre las temperaturas de los bulbos; con solo observar los valores indicados en el tablero. Para obtener los valores de la humedad relativa, se acude a una tabla psicrométrica. Exige sí, un mantenimiento continuo. (Fig. N° 10).

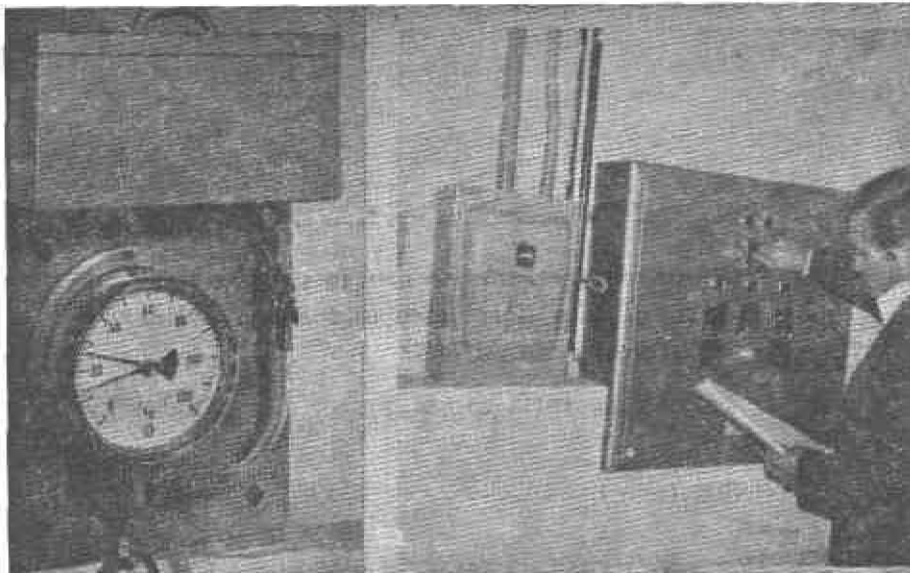


Fig. 10 - Psicrómetro con termómetro húmedo y seco Tomado de Hildebrand

Fig. 11 - Tablero de control de la cámara del instituto de investigaciones forestales y madereras.

3.5.3.4—Tablero de Control:

Se emplea en las cámaras de secado como medio de gobierno de los aparatos. Debe ubicarse contra la cámara cerca a los aparatos o en su defecto en un lugar próximo a ella. Debe estar protegido para evitar que personas ajenas al proceso, puedan mover los controles y ocasionar daños en la madera o en la misma cámara. Según las exigencias, puede manejarse en forma manual o automática. (Fig. N° 11).

3.6—APILADO:

La madera antes de someterse al secamiento artificial debe apilarse al aire libre con el objeto de realizar un presecado. El método más aconsejable de apilado es el que se indica en la figura 12, conocido con el nombre de apilado horizontal. Las características que debe cumplir este sistema de apilado son las siguientes:

- a) Bases de la pila con una altura mínima sobre la superficie del suelo de 50 cm.
- b) Listones de separación de espesor uniforme y dispuestos en hileras verticales dentro de la pila.

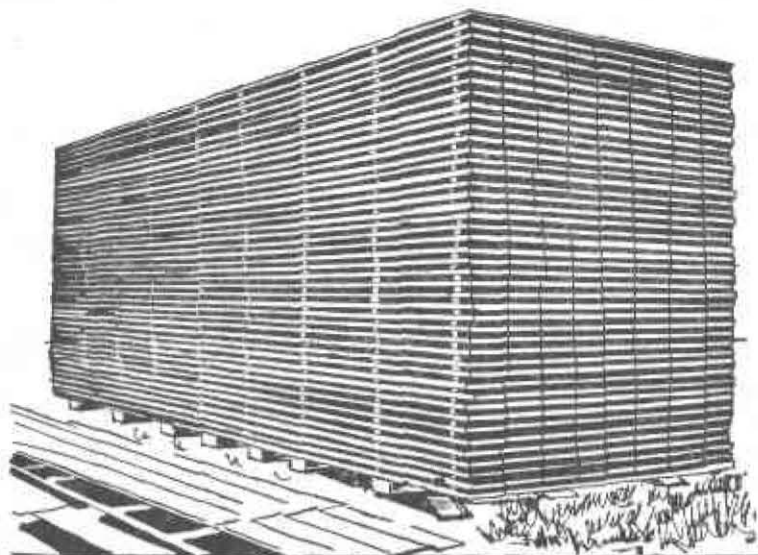


Fig. 12 - Madera aserrada de grueso uniforme que ha sido apilada al aire libre para una carga del horno secador. Tomado de AID (6).

c) El espesor de los listones varía con el espesor de las tablas de la pila según la siguiente relación:

ESPESOR LISTONES (mm.)

15
20
25
30
35

ESPESOR TABLAS (mm.)

Menor de 25
30
40
50
Mayor de 60

d) Las pilas deben tener una longitud igual a la longitud comercial de las tablas (aproximadamente 3 mt.), un ancho entre 1 y 2 mt. y una altura igual o menor a tres veces el ancho.

e) Se acostumbra dejar una inclinación de la parte frontal de la pila hacia la opuesta con el objeto de favorecer el movimiento del agua.

f) En una misma pila se deben colocar tablas del mismo espesor y ancho, al igual que de la misma especie.

g) Entre tabla y tabla del mismo piso deberán dejarse espacios que faciliten la circulación del aire en sentido vertical.

3.6.1—Apilado dentro de la Cámara:

El apilado dentro de la cámara se hace sobre la plataforma del carro, siguiendo el sistema de apilado horizontal. Este apilado debe hacerse muy cuidadosamente especialmente en lo relacionado con la posición de los listones separadores que se utilizan para dividir los pisos de tablas. Además de algunas de las recomendaciones dadas para el presecado de la madera deberán cumplirse las siguientes:



*Fig. 13 - Apilado dentro de la cámara.
Disposición de los listones separadores o
rastreles.*

- a) Los listones deben formar con los extremos de las tablas un solo plano como se observa en la figura 13.
- b) El espesor de los listones debe ser uniforme a través de toda su longitud.
- c) Los listones serán de óptima calidad no solo desde el punto de vista de su conformación sino también de su sanidad.
- d) La altura de la pila debe ser tal que casi toque el cielo raso de la cámara.
- e) El espesor de las tablas y la especie a que pertenecen debe ser igual, procurándose también que el contenido de humedad inicial sea el mismo.
- f) No es conveniente dejar espacios entre tabla y tabla puesto que en el secado artificial no se requiere la circulación vertical del aire y por el contrario se busca aprovechar al máximo la capacidad de la cámara.
- g) La longitud y el ancho de la pila están dados por la plataforma del carro.
- h) Las tablas de control estarán ubicadas dentro de la pila de tal forma que puedan reflejar las condiciones de secamiento de toda la carga.
- i) Para el caso especial de la elaboración del programa de secado para las especies objeto de este estudio se tomaron al azar 7 tablas de control; se enumeraron, se marcaron los defectos y se obtuvieron de ellas muestras para determinar el contenido de humedad inicial.

3.6.2—Muestras de Control:

La muestra de control es una tabla que sirve para verificar el contenido de humedad de la madera que se está secando artificialmente en un momento dado y para detectar las posibles tensiones que se vayan presentando. Como se dijo anteriormente se acostumbra a tomar varias muestras con el propósito de obtener datos más ajustados de toda la pila como se indica en la figura N° 14. Las tablas de control después de to-

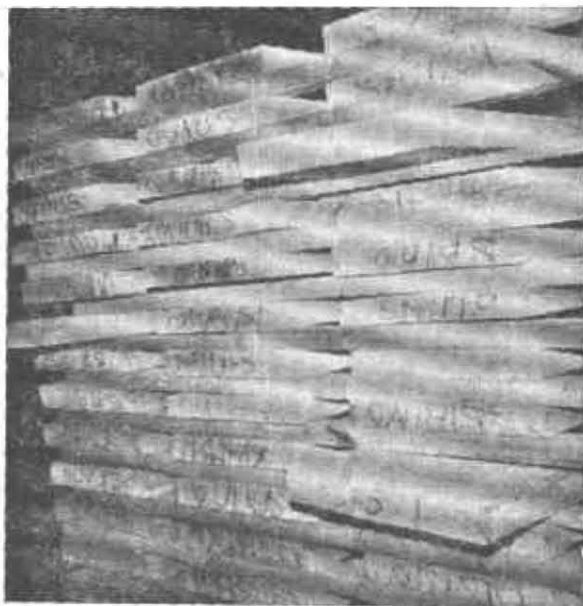


Fig. 14 - Muestras de control debidamente numeradas en los extremos distribuidas en toda la carga.

madas al azar y marcadas adecuadamente sirven en un principio para determinar el contenido de humedad inicial con base en dos probéticas obtenidas por lo menos a 15 cm. de los extremos según figura N° 2. Obtenidas las probéticas se pesa la tabla resultante y se incluye dentro del apilado. Esta tabla mediante pesajes sucesivos a lo largo del proceso de secado nos indicará un contenido de humedad que al promediarlo con el de las otras nos dará un contenido de humedad que se supone sea el de la carga.

3.7—REALIZACION DEL PROCESO:

Elaborado el horario de secado se procede a aplicarlo a la carga, observando detalladamente su desarrollo. Se tienen en cuenta todos y cada una de las normas descritas anteriormente incluyendo además una minuciosa revisión a los aparatos de control, ventiladores, serpentines y válvulas. Comprobado el correcto funcionamiento se prende la cámara iniciándose en este momento la etapa de vaporización o calentamiento. El clima correspondiente a cada etapa se controla dentro de la cámara o bien por el psicrómetro (termómetro de bulbo húmedo y seco) o por el termómetro y el higrómetro. Para establecer y mantener un clima determinado dentro de la cámara se utilizan el pulverizador o vaporizador, los serpentines y las válvulas. La disminución del contenido de humedad de la madera se comprueba por la disminución de peso en las tablas de control, mencionadas anteriormente. Mediante el control de esas tablas y las del resto de la carga se establece el promedio de daños en cada cambio de condiciones. Al final se hace una evaluación sobre el desarrollo del proceso y el tanto por ciento de daños ocurridos. Se toman

pruebas de tenedor (ver párrafo 3.7.4) al comienzo del proceso, en etapas intermedias y al final de él, para detectar las posibles tensiones a que se encuentra sometida la madera; al final se determina la humedad estratificada para saber la forma de distribución de la humedad dentro de las tablas. (Fig. 15).

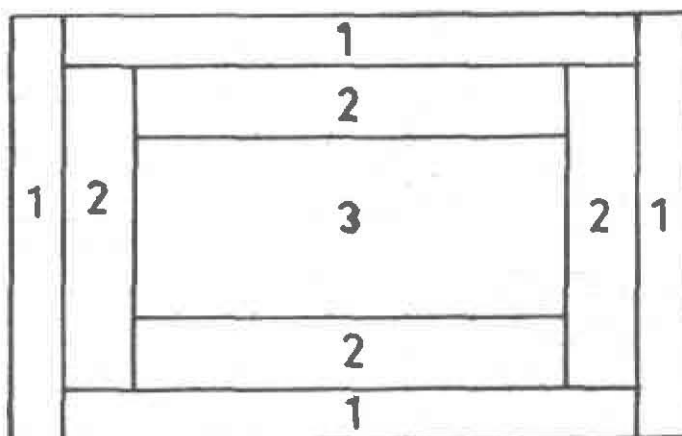


Fig. 15 - Probeta estratificada, en forma esquemática. Tomado de Hildebrand (13).

3.7.1—Aplicación de los Programas:

Para cada especie se elabora inicialmente un programa de secado, teniendo en cuenta, su comportamiento y características. Este se desarrolla de acuerdo a los climas predeterminados y no debe sufrir variaciones, sean cuales fueren los resultados obtenidos. Si se encuentra que en determinada etapa la carga sufrió agrietamientos o deformaciones, se entra a considerar un nuevo programa teniendo en cuenta especialmente aquellas etapas donde aparecieron las fallas. Por todas estas razones, nunca se acostumbra efectuar secados con nuevas especies en cámaras tipo comercial, sin antes haber obtenido el horario apropiado en cámaras tipo experimental, el cual se ajustará a las condiciones de la cámara comercial a emplear. De esta manera, se obtienen mejores resultados tanto en la integridad de la madera como en la rapidez y costo del secado.

3.7.2—Control del Proceso de Secado:

De acuerdo a los tiempos calculados para cada etapa se efectúan los cambios de clima (temperatura y humedad relativa del aire dentro de la cámara) y se registran los contenidos de humedad de cada una de las muestras de control, antes de hacer cada cambio.

Los datos obtenidos se registran en los formularios N° 2 y N° 3, Fig. 16).

3.7.3—Evaluación de la Severidad del Proceso:

Según las pruebas de tenedor realizadas antes de comenzar el secamiento, como al final del proceso y las observaciones que se efectúan cada vez que se sacan las muestras de control de secado y al terminar el secamiento, se hace una evaluación de la severidad y rapidez del proceso, grado de daños causados en la madera por los cambios de clima y tiempos de vaporización y compensación.

De acuerdo a esta evaluación, se hacen las correcciones que se crean convenientes y se confecciona un nuevo programa hasta obtener el que ofrezca mayor rapidez y menor producción de daños.

3.7.4—Prueba de Tenedor:

Se lleva a cabo de la manera siguiente:

De las tablas de control se toman las correspondientes a prueba de tenedor y se corta de cada uno de los extremos una sección de aproximadamente 15 cm. que se desea, con el fin de conseguir datos más representativos. De la tabla resultante se toman secciones de 5 cm., una de cada extremo. A una de estas partes se le hace una ranura y a la otra dos, paralelas a la superficie de la tabla y partiendo de uno de los extremos hasta aproximadamente sus dos terceras partes. (Fig. 17).

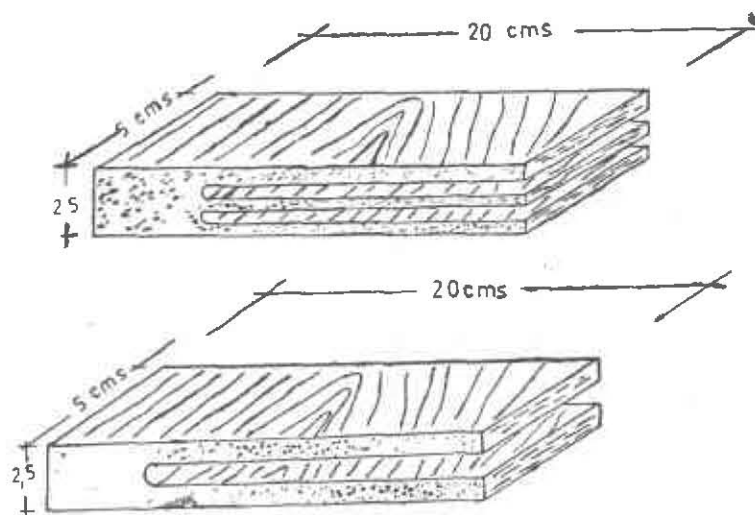


Fig. 17 - Modelos de prueba de tenedor.

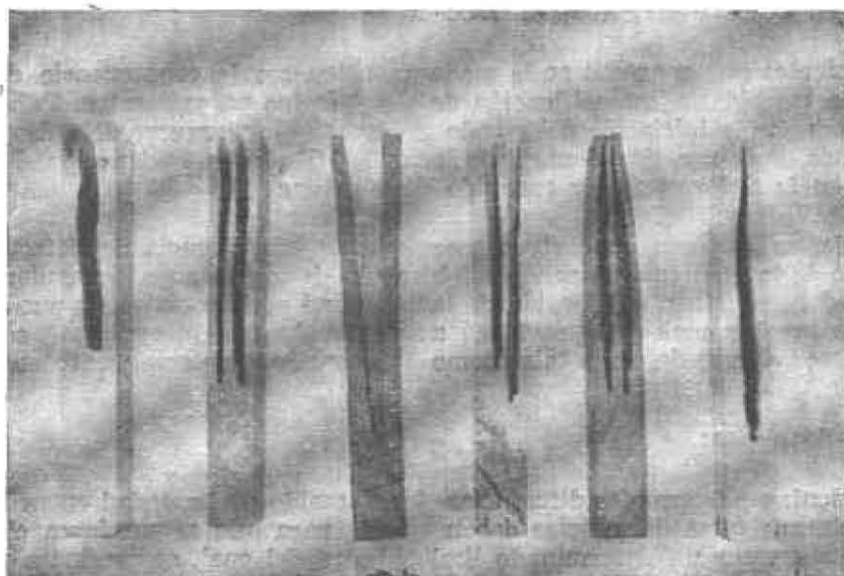


Fig. 18 - Prueba de tenedor. Formas en que reacciona la madera de acuerdo a la ausencia o presencia de tensiones.

En la figura 18, se muestran las distintas formas en que pueden reaccionar las secciones anteriormente descritas de acuerdo a la presencia o ausencia de tensiones.

Partiendo de izquierda a derecha las dos primeras probetas de la figura 18 se encuentran libres de tensiones. En las dos probetas siguientes se pueden observar tensiones que pueden ser ocasionadas por un secado forzado; en este caso se detecta el defecto conocido como endurecimiento superficial invertido que se presenta por sobresecamiento de las partes superficiales de las tablas estableciéndose una gran diferencia de su contenido de humedad con el de la parte interior. Las dos probetas siguientes muestran que posteriormente al endurecimiento superficial invertido no remediado, se presentan tensiones en sentido inverso conocidas como endurecimiento (endurecimiento superficial).

3.8—DETERMINACION DEL PROGRAMA Y HORARIO RECOMENDADO:

Con base en los resultados de los programas elaborados y la manera como estos se cumplen en las distintas cargas de secamiento para una misma especie, se puede llegar finalmente al establecimiento de un horario y programa que permite obtener las garantías de rapidez y seguridad que ofrece el secamiento artificial. Para llegar a este programa se hace necesario considerar por lo menos tres cargas distintas de la misma especie y características. Los horarios para las cargas experimentales se calculan en base a un espesor de las tablas de 25 mm., una humedad inicial igual o mayor a 30% y una humedad final igual a 10%; es decir que el horario recomendado se dará para maderas de las mismas características.

3.8.1—*Determinación de Horarios de Secamiento para Espesores Comerciales más Usuales:*

Conseguido el programa recomendado para cada especie y aplicando los coeficientes de corrección para los espesores de tablas diferentes a 25 mm. tabla N° 2 es posible calcular nuevos horarios para maderas de diferente espesor pero de la misma especie.

3.9—DEFECTOS EN EL SECADO:

Los defectos que aparecen en la madera suelen ser la consecuencia de un secado forzado, como también la intensificación de los defectos ya existentes. Para prevención de estos, se toma en la iniciación del secado y durante el transcurso del mismo toda clase de precauciones. Podemos mencionar la relación Bt/Br, y la contracción de la madera como índice en la deformación y encogido de la misma.

Otro de los factores que evitan enormemente la presencia de defectos es el correcto apilado de la madera y la correcta ubicación de los listones separadores o rastres. También debido a la rápida salida de la humedad por los extremos pueden originarse agrietamientos, los cuales se previenen aplicando barniz bituminoso, cola elástica, brea y productos a base de ceras tales como el conocido comercialmente como Ceracol.

3.9.1—*Tensiones:*

Se presentan por grandes diferencias de contenido de humedad entre la superficie y la parte interna; estas diferencias deben existir para que se produzca el secamiento pero no deben superar un determinado límite, luego del cual, se producen los defectos que se mencionan a continuación:

Cuando la parte superficial de las tablas se seca por debajo de la zona de saturación de las fibras comienza a contraerse, mientras que la parte interna aún no se contrae por su alto contenido de humedad. Este hecho produce esfuerzos de tracción transversal en la superficie y esfuerzos de compresión transversal hacia la parte interna. (Fig. 19).

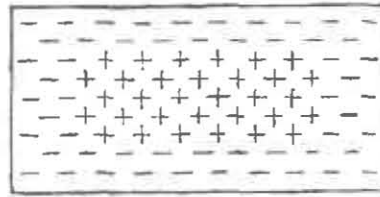


Fig. 19 - Sección transversal de una madera al comienzo del secado -esfuerzos de tracción +esfuerzos de compresión. Tomado de Hildebrand (13).

Debido a altos contenidos de humedad y a las temperaturas propias del secamiento la resistencia de la madera a la tracción transversal se disminuye y se pueden producir hendiduras en las partes exteriores. Cuando se hace una prueba de tenedor en maderas sujetas a los esfuerzos descritos, los dientes de la probeta se curvarán hacia afuera indicando un *endurecimiento superficial invertido*. (Fig. 18).

Si el secamiento continúa, la parte superficial sufre una disminución en la capacidad de hincharse y contraerse, es decir se consolida; cuando la parte interna entra en la zona de saturación de las fibras comienza a contraerse, lo que implica una disminución en su volumen que establece una compensación entre la tracción externa y la tensión interna. A medida que el secamiento avanza, la contracción interna aumenta pero la parte externa por estar consolidada, no logra adaptarse, estableciéndose de esta manera un esfuerzo de tracción transversal de la parte interna a la externa mientras que las partes exteriores sufren esfuerzos de compresión transversal. (Fig. 20).

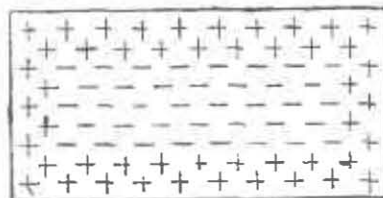


Fig. 20 - Sección transversal de una madera al acercarse el final del secado. Tomado de Hildebrand (13).

Si se hace una prueba de tenedor a maderas en este estado, los dientes tenderán a curvarse hacia adentro como se muestra en la figura 18, que indica lo que se denomina *endurecimiento (endurecimiento superficial de la madera)*.

Cuando las pruebas de tenedor muestren la existencia de *endurecimiento superficial invertido*, se debe inmediatamente proceder a una vaporización hasta que desaparezcan las tensiones. Este tipo de *endurecimiento* es producido por un secamiento forzado y por una disminución brusca de la humedad relativa del aire. Por tal razón se puede prevenir mediante un secamiento lento, evitando la disminución brusca de la humedad en las primeras etapas de secamiento.

En el segundo caso o sea cuando las pruebas muestren *endurecimiento superficial*, la madera puede recuperarse mediante vaporización intensa por largo tiempo para secarla luego cuidadosamente.

Cuando el endurecimiento ha avanzado hasta el punto de producir rajaduras internas conocidas como apanelamiento de la madera, se dificulta su recuperación total.

El endurecimiento superficial es debido a un proceso de secado forzado que ha ocasionado la consolidación; se puede obviar, evitando la consolidación en las primeras etapas de secamiento. Si se utiliza madera endurecida, se corre el riesgo de obtener piezas totalmente deformadas.

3.9.2—*Agrietamiento*:

Puede presentarse en varias formas:

Hacia los extremos (rajaduras), en la superficie y en el interior.

3.9.2.1—*Agrietamiento en los extremos (Rajaduras)*:

Se sucede en los extremos de troncos y madera aserrada. Tienden a ampliarse en sentido radial y longitudinal. Se pueden evitar aplicando brea u otras sustancias que retarden un tanto la evacuación de la humedad por los extremos, pero una vez que aparezcan es prácticamente imposible lograr su total desaparición.

3.9.2.2—*Agrietamiento en la Superficie*:

Es producido por diferencias de tensiones internas y se presenta con mayor intensidad en la cara tangencial. Consiste en un agrietamiento continuo o discontinuo que se acentúa a medida que se hacen más rígidas las condiciones de secado. Se puede recuperar por vaporización pero cuando la madera se utiliza para fabricación de muebles o usos similares, luego de cepillada, aparecen pequeñas fendas capilares que resaltarán con el acabado de la madera.

3.9.2.3—*Agrietamiento Interior (Apanelamiento)*:

Puede apreciarse únicamente cuando la madera es aserrada o cepillada. Son agrietamientos internos que han sido producidos como resultantes de uno de los anteriores o la combinación de ambos. Para todos los casos debe efectuarse una recuperación de la madera por medio de vapor, no queriendo decir con esto, que se vaya a conseguir subsanar los defectos en forma total; las maderas que se encuentren en este estado tendrán limitaciones en su utilización, según lo descrito en el caso anterior.

3.9.3—*El Colapso (Contracción Anormal)*:

Dentro de los defectos sufridos por la madera al comienzo del secado, se encuentra el denominado colapso, en el cual se aprecian ondulaciones en la superficie de la madera causadas por hundimientos celulares debidos a la humedad capilar que dá lugar a tensiones superficiales de los tabiques celulares. El colapso es aquella contracción que se presenta cuando las células se juntan más unas con otras. Se diferencia del otro tipo de contracciones ya que éste es el resultado de la pérdida de agua de la cavidad celular denominándose contracción anormal mientras que en el caso común de contracción normal se sucede por pérdida de agua de la pared celular. Otra diferenciación que puede hacerse es que el colapso se presenta cuando la madera posee un contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras, mientras que en la contracción normal los contenidos de humedad están por debajo de este punto.

Este defecto se presenta cuando el secado se inicia en condiciones extremas o severas y con preferencia en maderas duras y maderas de corazón (duramen). Se puede remediar esta anomalía mediante un vaporizado intenso con aplicación de temperaturas

altas (100% humedad relativa del aire y 80 a 100°C.). Cuando el colapso ha producido agrietamientos internos, la recuperación no es total.

3.9.4—Torceduras:

Son defectos del secado ocasionados por la aplicación de programas forzados o no aptos para determinada especie. Es la causa de una deficiente revisión de las propiedades físico-mecánicas de la madera, sometiéndola posteriormente a climas indebidos. Se presenta en forma de arco, como reviro o abarquillamiento. En estos casos se suceden deflecciones en la madera ocasionadas por una alta relación entre las contracciones, (Relación Bt/Br.). (Fig. 21).

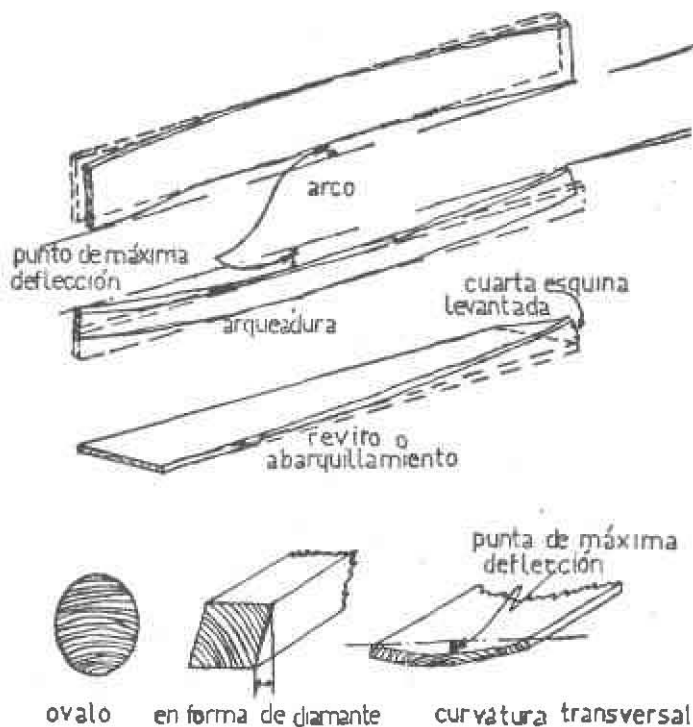


Fig. 21 - Diversas clases de torcimiento.
Tomado de AID (6)

En esta figura pueden igualmente apreciarse otros tipos de torceduras tales como óvalo, en forma de diamante y curvatura transversal, todas como resultante del fuerte desequilibrio en la relación anteriormente mencionada.

Otras causas de las torceduras son las siguientes:

- a) Grano oblicuo o en espiral.
- b) Madera de duramen y albura en la misma pieza.
- c) Madera de reacción.
- d) Mal apilamiento dentro de la cámara.

3.9.5—Decoloración:

Es el cambio de color en la madera, a través de los distintos procesos a que se

somete. Puede ser ocasionado por sustancias de la misma o por efectos del clima de secado. Esta decoloración puede ser superficial y desaparecer al trabajarla. Se dice que la combinación de alta temperatura y elevada humedad ocasiona fuertes cambios de color. Se presenta en maderas duras a temperaturas superiores a los 70°C. y en coníferas a los 90°C. aproximadamente. Es de anotar que las maderas ricas en resina por encima de los 80°C. expulsan fuertes cantidades de la misma ocasionando una fuerte decoloración. De acuerdo a lo anterior se recomienda la iniciación de un secado suave manteniéndolo hasta el final a temperaturas bajas o moderadas y efectuado de manera lenta.

CAPITULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se hace una discusión de los resultados obtenidos de las cargas de secamiento experimental, hecha para cada especie. De esta discusión se deducirá el programa de secado que se recomienda para cada madera.

4.1—MARFIL:

Se hicieron tres cargas con tablas de 25 mm. de espesor y contenidos de humedad inicial entre 23 y 24%. Es importante anotar que la madera para los ensayos se encontraba muy rajada y agrietada y en algunos casos deformada. Por tal razón, hubo necesidad de seleccionar la que se encontró con menor intensidad de defectos, los cuales fueron debidamente señalados antes de hacer el apilado. Otra consideración importante se puede hacer con relación al contenido de humedad inicial que fue en todas las tres cargas más bajo que el correspondiente a la zona de saturación de las fibras, razón por la cual, hubo necesidad de vaporizar intensamente antes de iniciar el proceso en sí. °

4.1.1—Datos para el Cálculo de los Horarios:

Especie = Marfil (*Elaeodendron* sp. (?)).

Peso específico anhidro: 1.00.

Espesor de las tablas: 25 mm.

Humedad inicial: 24% la 1ª y 2ª carga y 23% en la 3ª.

Temperaturas máximas: Por encima de la zona de saturación de las fibras, no hubo. Por debajo de la zona de saturación de las fibras 60°C. en la 1ª y 2ª carga y 50°C. en la 3ª.

Gradientes de secado: De 1.5 a 2.0

Estado de la cámara: Bueno.

Otros Datos:

Contracción volumétrica parcial, 10.3%.

Relación Bt/Br = 1.40.

Compresión perpendicular 210 Kg/cm².

Espesor de las paredes de las fibras: Pared gruesa.

4.1.2—Carga N° 1:

La madera se sometió a un proceso de vaporización inicial de 6 horas a 40°C. En la etapa de 15 a 9% de contenido de humedad se observaron rajaduras y agrietamientos en 23%, abarquillamientos en 2%.

Las pruebas de tenedor hechas al comienzo del proceso (Contenido de humedad 24%), hacia la parte final del proceso (contenido de humedad 15 a 9%), y después de la

etapa de compensación dieron los siguientes resultados:

Contenido de humedad 24%: Tendencia a endurecimientos.

Contenido de humedad 15 a 9%: Endurecimiento superficial no acentuado.

Contenido de humedad de las fibras 10.6%: Prueba de tenedor normal.

El tiempo calculado fue a través de todo el proceso menor que el real, es decir que fue suficiente para secar la madera en 1% menos que lo deseado.

Al final del proceso se aplicaron 25 horas de compensación luego de las cuales la madera salió con el siguiente porcentaje de daños:

Abarquillamiento y curvatura transversal: 3%.

Rajaduras y agrietamientos leves: 12%.

Rajaduras y agrietamientos fuertes: 6%.

4.1.3—Carga N° 2:

El tiempo de vaporización inicial fue de 12 horas a 40°C.

En la etapa de 15 a 9% contenido de humedad se presentaron defectos en un 17%.

Las pruebas de tenedor tuvieron los siguientes resultados: Al comienzo (23% contenido de humedad), indicaron endurecimiento. En la etapa intermedia (contenido de humedad 15 a 9%), endurecimiento superficial y al final del proceso (contenido de humedad 11.8%), indicaron recuperación de tensiones.

El tiempo calculado no correspondió al real, habiendo guardado la misma proporción que en la carga N° 1.

Al final de las 25 horas de compensación la madera salió con el siguiente porcentaje de defectos:

Abarquillamiento: 1%.

Agrietamiento y rajaduras leves: 8%.

Agrietamiento y rajaduras fuertes: 3%.

4.1.4—Carga N° 3:

Para esta carga se aplicaron 16 horas de vaporización inicial a 40°C., luego de las cuales la madera no reflejó tensiones en las pruebas de tenedor.

En la etapa de 15 a 10% de contenido de humedad se observaron agrietamientos en 10% y las pruebas de tenedor mostraron alguna tendencia a endurecimiento superficial. Luego de las 25 horas de compensación se observó recuperación de la madera en lo relacionado a tensiones y disminución de defectos hasta un porcentaje aceptable.

El tiempo calculado no se ajustó al real, más o menos en la misma proporción de las 2 cargas anteriores.

Especie: MARFIL
 Espesor: 25 m.m.
 Peso específico: 1.00 g/cm³

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS
 FORESTALES Y MADEREROS DE LA U.D.

Formulario N° 1

HORARIO DE SECADO

Humedad Inicial: 35 %
 Humedad final: 10 %
 T — CH > 30 = 40 °C
 T — CH < 30 = 60 °C

DURACION EN HORAS		Temperatura		Humedad relativa del aire %	Gradiente Secado	Humedad de equilibrio madera %	Etapa de Secado	INDICACIONES
T. Parcial	T. Acumulada	B. Seco °C	B. Humedo °C					
6.00	6.00	35	35.0	100.0	—	30.0	35	FABRICACION. PRUEBA DE TENEDOR INICIAL
18.70	24.70	40	38.0	87.5	—	18.0	35-30	
20.65	45.35	45	43.0	87.0	1.7	17.6	30-45	
30.88	66.43	50	46.0	79.0	1.8	13.9	25-30	
24.59	90.82	55	47.5	65.0	2.0	10.0	20-15	
40.48	131.30	60	48.0	51.0	2.0	7.5	15-9	
18.00	146.30	55	48.5	62.5	—	11.0	9-10	ETAPA DE COMPENSACION
18.00	156.30	50	43.5	68.0	—	11.0	9-10	PRUEBA DE TENEDOR FINAL.

CUADRO N° 2

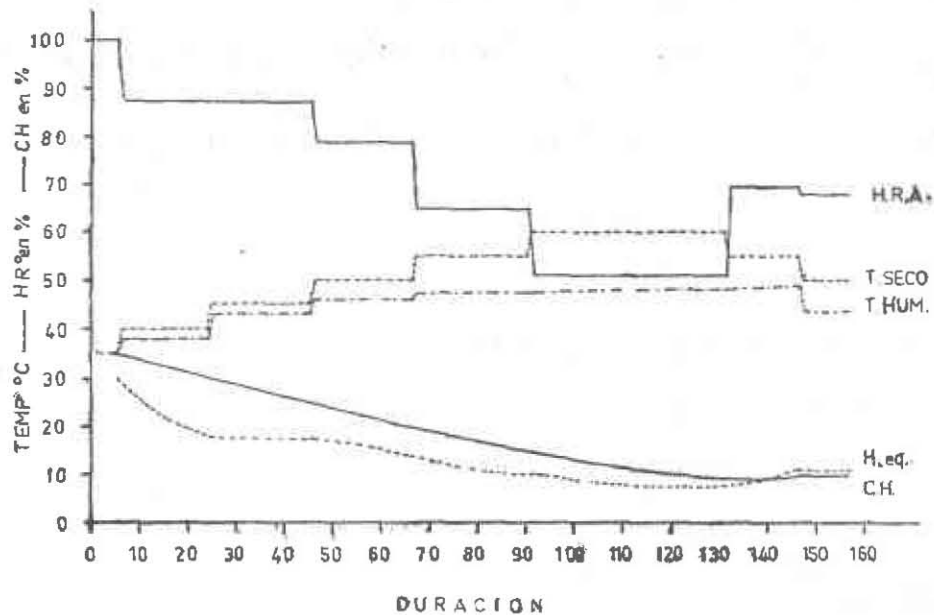


Gráfico No. 2 - Horario de secado del MARFIL.

4.1.5—Programa Recomendado;

Como quiera que no se pudo observar el comportamiento de la madera por encima del 30% de contenido de humedad o zona de saturación de las fibras, sino solamente por debajo de ella (humedad inicial máxima de 24%), se dá un programa de secado, tenta-

tivo a partir de 35% de contenido de humedad inicial, y deducido de las experiencias mencionadas a partir de 25 % de contenido de humedad. (Ver tabla N° 3). Se recomienda cuando el contenido de humedad inicial sea inferior a 35% pero mayor de 30%, vaporizar inicialmente la madera durante 10 horas, tiempo de vaporización que se deberá aumentar hasta 15 horas cuando el contenido de humedad sea inferior a 30%.

El programa recomendado permitió la elaboración de un horario de secado. (Cuadro N° 2 y gráfico N° 2).

4.2—SAPAN:

Para los ensayos de Sapán se hicieron 3 cargas, con tablas de 25 mm. de espesor. El contenido de humedad inicial para todos los casos fue de más o menos 40%. La madera presentaba rajaduras en los extremos y leves torceduras, por lo cual hubo necesidad de marcarla antes del apilado.

4.2.1—Datos para Cálculo de Horarios:

Especie: Sapán (*Clathrotropis brunnea*).

Peso específico anhidro: 1.00 gr./cm³.

Espesor de las tablas: 25 mm.

Humedad inicial: 40% la 1ª y 2ª carga y 37.5% la 3ª.

Temperaturas máximas: Por encima de la zona de saturación de las fibras: 50°C. en la 1ª carga, 60°C. en la 2ª y 65°C. en la 3ª carga.

Por debajo de la zona de saturación de las fibras: 70°C. en la 1ª, 80°C. en la 2ª y 100°C. en la 3ª carga.

Gradientes de secado: 1.8 a 2.0 en la 1ª, de 2.0 a 2.5 en la 2ª, de 2.0 a 3.0 en la 3ª carga.

Estado de la cámara: Bueno.

Otros Datos:

Contracción volumétrica parcial: 9.9%.

Relación Bt/Br: 1.45.

Compresión perpendicular: 215 Kg/cm².

Espesor de las paredes de las fibras: Pared gruesa.

4.2.2—Carga N° 1:

Inicialmente la madera fue sometida a un proceso de vaporización durante 15 horas a una temperatura de 45°C. Según las observaciones anotadas en la etapa de 20-15% de contenido de humedad (70°C. y 55% H. R. A.),* se empezaron a observar rajaduras y agrietamientos en una proporción del 15%.

* H. R. A. = Humedad Relativa del Aire.

Las pruebas de tenedor efectuadas al comienzo del secado (contenido de humedad del 40%), en la mitad del proceso (contenido de humedad 20-15%) y hacia el final (contenido de humedad 15-9%), y posteriormente a la etapa de compensación, arrojaron los siguientes resultados:

Contenido de humedad 40%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 20-15%: Endurecimiento superficial moderado.

Contenido de humedad 15-9%: Endurecimiento superficial un poco más acentuado que el anterior.

Luego de la compensación: Prueba de tenedor normal.

El tiempo calculado no coincidió con el real, llegando en todos los casos hasta un contenido de humedad de más o menos 2.5% por encima del calculado.

Posteriormente, se aplicaron 24 horas de compensación obteniéndose una cierta recuperación en la madera y arrojando el siguiente promedio de daños:

Abarquillamiento: 1%.

Rajaduras y agrietamientos leves: 6%.

Rajaduras y agrietamientos fuertes: 3%.

4.2.3—Carga N° 2:

El tiempo de vaporización en la etapa inicial de esta carga fue de 10 horas a 55°C. A partir de la etapa 20-25% (70°C. y 80% H. R. A.), se observó la aparición de leves rajaduras en un 16%. El agrietamiento aumentó a un 19% en la etapa de 15-9% (80°C. y 49% H. R. A.), con aparición simultánea de reviro a abarquillamiento en un 6%. Con respecto a las pruebas de tenedor, se obtuvieron los siguientes resultados:

En la prueba inicial de tenedor (contenido de humedad de más o menos 40%), no se presentaron tensiones apreciables en la madera; casi al final del proceso (contenido de humedad 15-9%), endurecimiento superficial no acentuado. Después de la etapa de compensación se logró una recuperación casi total de la madera, la que quedó libre de tensiones.

Para este caso habiéndose empleado como gradientes de secado los valores comprendidos entre 2.0 y 2.5 el valor del tiempo calculado se ajustó más al real, y se presentó el caso contrario de la carga N° 1, ya que se obtuvo más o menos un 1.5% de contenido de humedad menor del calculado.

Cumplida la etapa de compensación (24 horas), se hallaron los siguientes porcentajes de daños y defectos:

Abarquillamiento: 2%.

Curvatura transversal: 1%.

Agrietamientos y rajaduras leves: 8%.

Agrietamientos y rajaduras fuertes: 2%.

4.2.4—Carga N° 3:

Para esta tercera carga se emplearon 10 horas en el tiempo de vaporización inicial (a 60°C.).

En la etapa de 30.25% (70°C y 87,52 H. R. A.), se notó la aparición de rajaduras aunque demasiado leves, en una proporción del 12%, los que aumentaron al 20% en la etapa de 25-20 (80°C. y 74.5% H. R. A.), a 46% en la etapa de 20-15% (90°C. y 67% H. R. A.), y finalmente a 52% (100°C. y 48% H. R. A.), a partir de este momento se inició una etapa de recuperación, mediante vaporización, en la cual, las grietas de la madera tendieron a cerrarse.

Al iniciarse el secado de esta carga se hizo la prueba de tenedor (contenido de humedad promedio 37.50%), que mostró madera sin tensiones. En la parte intermedia 25-20% (80°C. y 74.5% H. R. A.), se encontró endurecimiento suave.

Al final de la etapa de compensación se obtuvo madera con tendencia a endurecimiento.

El tiempo calculado guardó con el real la misma proporción de la carga N° 2.

Luego de 6 horas de vaporización y 18 de compensación, el porcentaje de daños y defectos fue el siguiente:

Abarquillamiento: 4%.

Agrietamientos y rajaduras leves: 19%.

Agrietamientos y rajaduras fuertes: 7%.

Este aumento acentuado en el promedio anterior se debió posiblemente al mal estado de la madera cuando ingresó a la cámara.

4.2.5—Programa Recomendado:

Como el contenido de humedad inicial de la madera ensayada fue alrededor de 40%, se presenta el programa de secado recomendado a partir de ese contenido de humedad.

En todas las tres cargas se presentaron defectos en las etapas de 30-25% y 25-20% de contenido de humedad, los que se intensificaron hasta antes de la etapa de compensación y se remediaron parcialmente en esta etapa y casi totalmente mediante la combinación de ésta con vaporización.

La intensificación de los defectos se produjo por no haber remediado el endurecimiento superficial invertido que se presentó en las primeras etapas, por debajo de la zona de saturación de las fibras; a su vez este endurecimiento posiblemente tuvo su causa en las altas temperaturas de secado.

Teniendo en cuenta estas consideraciones y el hecho de que con gradientes de secado entre 2.0 y 2.5 el tiempo calculado correspondió casi exactamente con el real, se propone el programa de secado que aparece en la tabla N° 4.

Se recomienda aumentar el tiempo de vaporización inicial a 10 horas, cuando el contenido de humedad inicial sea inferior al 40%; así mismo será conveniente hacer algunas pruebas de tenedor al llegar a un 25% de contenido de humedad, para saber si se hace necesario una vaporización para suavizar las tensiones que en ese momento se presentan. Esa vaporización se hará con la temperatura correspondiente a la etapa en que

Especie: SAPAN
 Espesora: 25 mm
 Peso específico: 1.00 gr/cm³

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS
 FORESTALES Y MADEREROS DE LA U D
 Formulario Nº 1
 HORARIO DE SECADO

Humedad inicial: 40 %
 Humedad final: 10 %
 T — CH > 30 = 60 °C
 T — CH < 30 = 80 °C

DURACION EN HORAS		Temperatura	Temperatura	Humedad	Gradiente	Humedad de	Etapa de	INDICACIONES
T. Partida	T. Acumulado	B. Seco °C	B. Humedo °C	relativa del aire %	Secado	equilibrio madera %	Secado	
6:00	6:00	40	40.0	100.0	—	30.0	40	ETAPA DE CALENTAMIENTO Y DESHIDRATACION INICIAL
14:07	20:07	50	48.0	82.5	—	18.0	40-45	
18:39	32:46	60	57.5	67.5	—	16.0	35-30	
14:34	16:30	65	62.0	86.0	3.0	15.0	30-25	
14:24	61:24	70	64.5	76.5	2.2	11.4	25-20	
18:34	80:08	75	64.5	61.0	2.5	8.0	20-15	
30:23	110:31	80	69.0	69.5	2.0	7.5	15-9	
8:00	118:31	70	64.0	72.5	—	11.0	9-10	ETAPA DE ESTABILIZACION
8:00	126:31	60	63.5	71.0	—	11.0	9-10	
8:00	134:31	50	43.5	68.0	—	11.0	9-10	ETAPA DE TENDIDO FINAL

CUADRO No. 3

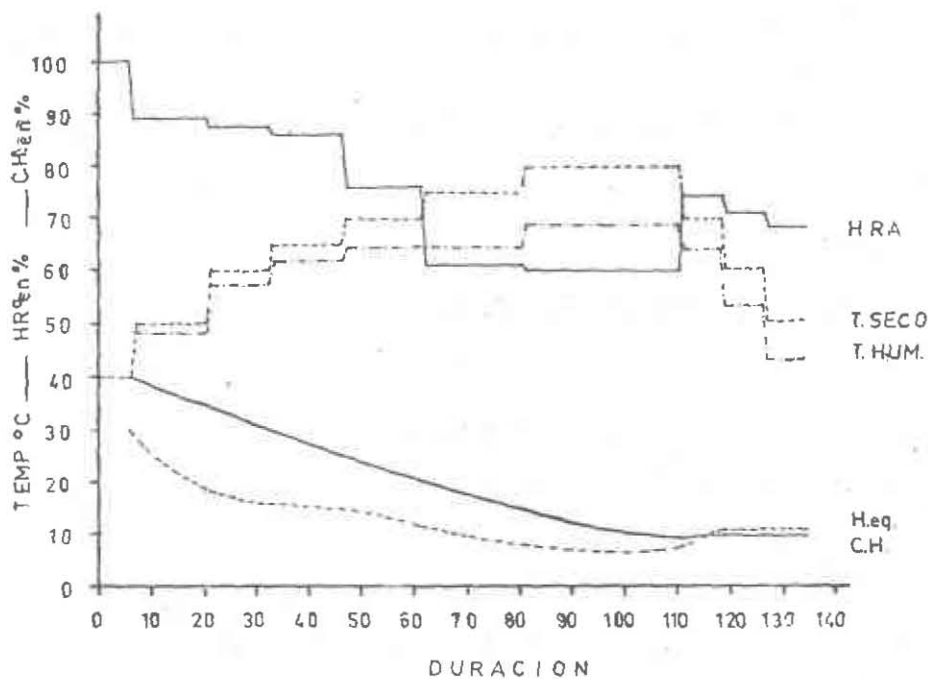


Gráfico No. 3 - Horario de secado del SEPAN.

se aplique y tendrá una duración aproximada de 3 horas. Puede aplicarse el horario que aparece en cuadro Nº 3 y gráfico Nº 3.

4.3—CHOCHO:

Se trabajó con tablas de 25 mm. de espesor y los contenidos de humedad inicial promedio fueron: De 44 a 47%.

Las humedades más altas halladas al iniciar los 3 secados fueron de 52% en algunas tablas; por esta razón, en la 1ª y 2ª carga, el horario se calculó para una humedad inicial de 52% o sea el contenido máximo y no el promedio. Para la tercera carga el cálculo se hizo a partir de 47% de contenido de humedad inicial. La madera al entrar a la cámara se encontró en una tercera parte con agrietamientos y rajaduras, con deformaciones (curvaturas), en un 12%; también se pudo apreciar un alto porcentaje de madera atacada por hongos.

Sin embargo, al final de cada carga se observó recuperación en buena parte de esos defectos.

4.3.1—Datos para Cálculo de Horarios:

Especie: Chocho (*Ormosia paraense*).

Peso específico anhidro: 0.73 g./cm³.

Espesor de las tablas: 25 mm.

Humedad inicial promedio: 45% la 1ª carga, 44% la 2ª y 47% la 3ª.

Temperaturas máximas: Por encima de la zona de saturación de las fibras: 50°C. en las 3 cargas.

Por debajo de la zona de saturación de las fibras: 90°C. en la 1ª carga, 100°C. en la 2ª y 85°C. en la 3ª.

Gradientes de secado: 2.0 a 2.5 en la 1ª carga, 2.0 a 2.2 en la 2ª y 1.8 a 2.0 en la 3ª.

Estado de la cámara: Bueno.

Otros Datos:

Contracción volumétrica parcial: 9.7%.

Relación Bt/Br: 1.78.

Compresión perpendicular: 110 Kg./cm².

Espesor de las paredes de las fibras: pared gruesa.

4.3.2—Carga N° 1:

En la parte inicial se sometió la madera a vaporización durante 10 horas a una temperatura de 30°C, la cual subió varias veces hasta los 45°C.

En la etapa de 30-25% de contenido de humedad, se presentaron leves rajaduras, que se acentuaron hasta la etapa de 15-9%, cuando aparecieron agrietamientos.

Se hicieron pruebas de tenedor cuando la madera tenía los contenidos de humedad que a continuación se indican y se obtuvieron los siguientes resultados:

Contenido de humedad 44.5%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 15-9%: Tendencia a endurecimiento.

Contenido de humedad 8.35%: Recuperación de la madera.

El tiempo calculado fue a lo largo del proceso, inferior al real, es decir que no se alcanzó a producir el secamiento previsto, pero llegó a un 1% por encima de lo esperado.

La etapa de compensación que fue de 24 horas se dividió en tres partes de 8 horas cada una, con descenso de 10°C., entre cada división. Hubo una recuperación notoria y al final se anotaron los siguientes daños y defectos.

Abarquillamiento: 3%.

Curvatura transversal: 2%.

Rajaduras y agrietamientos leves: 2%.

4.3.3—Carga N° 2:

El tiempo de vaporización inicial fue de 10 horas a una temperatura de 35°C., al final de la cual, la temperatura subió hasta 60°C. En la etapa de 21-18% de contenido de humedad se apreció un pequeño incremento de rajaduras leves en un 35% de las tablas y de rajaduras fuertes en un 4%. Se aumentaron las rajaduras a un 40% leves y 7% fuertes en la etapa de 15-12% de contenido de humedad y en la parte final de 12-8% de contenido de humedad se acentuó la curvatura transversal en 5 tablas de las señaladas a la iniciación del secado.

Las pruebas de tenedor realizadas al comienzo del secado (contenido de humedad promedio 44%), en la zona de saturación de las fibras (contenido de humedad 30%), en las 8 primeras horas de compensación (contenido de humedad de 8 a 10%) y al final del proceso (contenido de humedad de 9.94%), mostraron los siguientes resultados:

Contenido de humedad 44%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 30%: Tendencia a endurecimiento superficial invertido.

Contenido de humedad 10%: La prueba de tenedor presentó endurecimiento superficial.

Contenido de humedad 9.94%: La madera no presentó tensiones. Se recuperó en parte.

El tiempo calculado para esta carga no se ajustó en ningún momento al tiempo real, máxime si se tiene en cuenta que el contenido de humedad promedio fue de 44.5% y el horario de secado aplicado se inició con 52% de contenido de humedad.

En las primeras etapas la madera se secó un 7% menos de lo calculado, llegando inclusive hasta un 8.7%, en la etapa de 21-18%. Esta diferencia (7%), se conservó hasta el final del secado y ya en la etapa de compensación empezó a desaparecer hasta la culminación de ésta, en la cual, la diferencia fue insignificante: es decir, que el contenido de humedad final promedio fue de 9.94%.

La etapa de compensación establecida de 24 horas, se hizo en tres periodos de 8 horas cada uno, con disminución entre ellos de 10°C. La recuperación de la madera fue

satisfactoria. Estableciendo una diferencia entre los daños encontrados al ingreso de la carga a la cámara y los contabilizados al final del secado, se obtuvo:

Reviro o abarquillamiento: 4%.

Rajaduras o agrietamientos leves: 5%.

Rajaduras o agrietamientos fuertes: 4%.

Curvatura transversal: 2%.

Se hizo prueba de estratificación arrojando un contenido de humedad central de 11% y superficial de 8.5%.

4.3.4—Carga N° 3:

Se inicia la etapa de vaporización de esta carga con un tiempo de 10 horas y una temperatura de 35°C., la temperatura subió al final a 55°C., por desperfectos en la cámara.

Debido al aumento brusco de temperatura, empezaron a aparecer rajaduras muy tempranamente, de tal manera que al final de la etapa 30-27% de contenido de humedad, se apreció un promedio considerable de defectos. Al efectuar el cambio correspondiente a 21% de contenido de humedad, se hizo una vaporización que influyó notablemente en la recuperación de la madera y por consiguiente en el resultado final.

Se hicieron pruebas de tenedor al iniciar el secado (contenido de humedad 47%), pruebas intermedias en 21% y 15% de contenido de humedad y prueba final 10.4% de contenido de humedad:

Contenido de humedad 47%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 21%: Presenta endurecimiento superficial invertido bastante acentuado.

Contenido de humedad 18%: Se efectuó una vaporización de 6 horas y se continuó el secado.

Contenido de humedad 15%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 10.4%: Prueba de tenedor normal.

El tiempo calculado de secado para esta carga, secó la madera en 1.5% de contenido de humedad menor que el deseado.

La etapa de compensación para la culminación de este proceso fue de 18 horas aplicadas en tres períodos, con disminución de 10°C. entre cada uno.

La madera se recuperó muy bien. El porcentaje de daños fue el siguiente:

Reviro o abarquillamiento: 2%.

Rajaduras y agrietamientos leves: 4%.

Rajaduras y agrietamientos fuertes: 3%.

La etapa en la cual se vaporizó (contenido de humedad 18%), la temperatura se mantuvo de acuerdo a las condiciones fijadas.

Especie= CHOCHO
 Espesor= 85 m.m.
 Peso específico= 0.73 grs./cm³

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS
 FORESTALES Y MADEREROS DE LA U.D.
 Formulario N° 1
 HORARIO DE SECADO

Humedad inicial= 50 %
 Humedad final= 10 %
 T— CH>30= 50 °c
 T— CH<30= 30 °c

DURACION EN HORAS		Temperatura B Seco °c	Temperatura B Humedo °c	Humedad relativa del aire %	Gradiente Secado	Humedad de equilibrio madera %	Etapa de Secado	INDICACIONES
T Parcial	T Acumulado							
6.00	6.00	40	40.0	100.0	—	30.0	30	CALENTAMIENTO Y VAPORIZACION- INICIO DE TEMPER. INICIAL.
13.56	19.56	45	43.0	88.5	—	18.0	50-40	
17.02	36.58	50	48.0	85.5	—	18.0	40-30	
9.64	46.22	60	57.5	88.5	1.8	16.6	30-25	
9.30	55.52	70	66.0	82.5	1.9	13.2	25-10	
10.64	66.16	80	71.5	69.0	2.2	9.7	20-15	
16.99	82.95	90	78.0	60.0	2.2	6.8	15-9	
8.00	90.95	80	74.5	78.0	—	11.0	9-10	
8.00	98.95	70	64.0	74.5	—	11.0	9-10	
8.00	106.95	60	53.5	71.0	—	11.0	9-10	

CUADRO N° 4

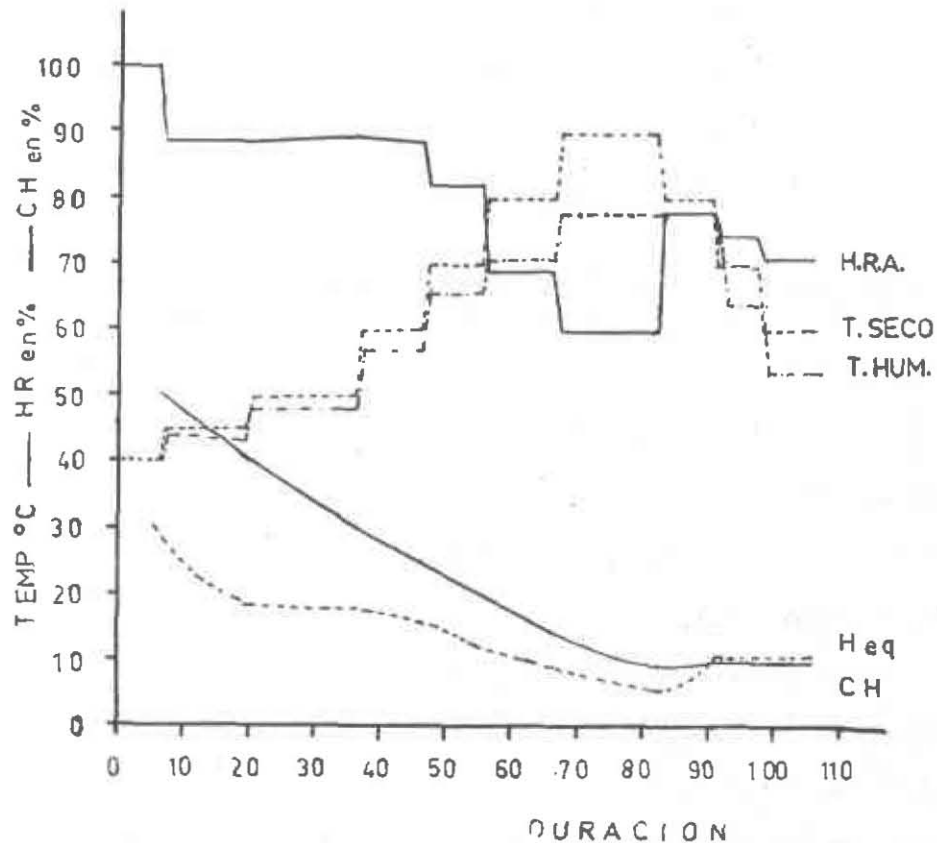


Gráfico No. 4 - Horario de secado del CHOCHO.

4.3.5—Programa Recomendado:

Teniendo en cuenta que la madera para los ensayos presentaba gran cantidad de rajaduras y deformaciones que incidieron en los resultados finales de las pruebas y que en la última carga la cámara tuvo algunas fallas, se recomienda un programa de secado que se pueda no solamente aplicar a madera en buen estado sino también a madera en estado similar a la ensayada.

Según el peso específico, el contenido de humedad que puede tener una tabla de ésta especie una vez elaborada, se encuentra alrededor del 50% que lo consideramos como contenido de humedad inicial. El programa que recomendamos aparece en la tabla N° 5, el cual se obtuvo a partir del horario que aparece en el cuadro N° 4 y gráfico N° 4.

4.4—RAYO:

Se elaboraron y controlaron tres cargas de tablas de 25 mm., para esta especie, con horarios distintos y ajustados a las experiencias obtenidas. Para cada carga, se obtuvieron los correspondientes contenidos de humedad inicial, siendo para todas el promedio de 50%, pero se elaboraron los horarios con base a la tabla más húmeda que fue igual para todos los casos del 54%. El estado de sanidad de la madera no fue bueno pero se procedió como en todos los casos, a marcarla antes del apilado y posterior ingreso a la cámara. En todas las cargas la madera estaba por encima del punto de saturación de las fibras. Se observó que esta madera tiene la tendencia al abarquillamiento o reviro, al igual que el agrietamiento durante el secado.

4.4.1—Datos para el Cálculo de los Horarios:

Especie: Rayo (*Abarema jupumba*).

Peso específico anhidro: 0.80 g./cm³.

Espesor de las tablas: 25 mm.

Humedad inicial: 50% en las tres cargas.

Temperaturas máximas: Por encima de la zona de saturación de las fibras: 50°C. en la 1ª carga, 45°C. en la 2ª y 3ª. Por debajo de la zona de saturación de las fibras: 95°C. en la 1ª carga, 85°C. en la 2ª y 90°C. en la 3ª.

Gradientes de secado: 2.0 a 3.0 en la 1ª carga, 1.8 a 2.2 en la 2ª y 3ª.

Estado de la cámara: Bueno.

Otros Datos:

Contracción volumétrica parcial: 8.6%.

Relación Bt/Br: 1.7.

Compresión perpendicular: 71 Kg./cm².

Espesor de las paredes de las fibras: Pared delgada.

4.4.2—Carga N° 1:

La madera se sometió a un proceso de vaporización inicial de 6 horas con temperatura de 35°C., al cabo de las cuales, ésta subió hasta 50°C.

En la etapa de 30.27% de contenido de humedad, se presentaron rajaduras pero en forma leve, las que se incrementaron en forma gradual hasta 15% de contenido de humedad (75°C. y 55% H. R. A.), en donde ya aparecieron en un 29% de las tablas. En el último descenso de humedad, de 12-9% de contenido de humedad, los defectos sobrepasaron el 34%.

Las pruebas de tenedor se hicieron al iniciar el proceso (contenido de humedad 50.10%), al llegar al punto de saturación de las fibras (contenido de humedad 30%), y al final del secamiento (contenido de humedad 14.72%).

Contenido de humedad 50.10%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 30.00%: Tendencia a endurecimiento.

Contenido de humedad 14.72%: Recuperación parcial.

El tiempo calculado fue durante el proceso menor que el real, esto es, se obtuvo un secamiento de la madera menor que lo deseado; es decir que el contenido de humedad final promedio fue de 14.7%. Se estima que esta diferencia se debió a cierto desajuste de la cámara, pues en determinadas ocasiones los manómetros no correspondieron a las condiciones fijadas.

La etapa de compensación fue de 20 horas, tomadas en 3 partes así: Las dos primeras con duración de 6 horas cada una y disminución de temperaturas de 5°C., entre sí. La tercera con duración de 8 horas e igual descenso de temperatura. Se recuperó en parte la madera, arrojando los porcentajes siguientes:

Abarquillamiento: 5%.

Curvatura transversal: 3%.

Rajaduras y agrietamientos leves: 12%.

Rajaduras y agrietamientos fuertes: 8%.

4.4.3—Carga N° 2:

El tiempo de vaporización fue de 6 horas a 35°C., la temperatura subió a 52°C. al final.

Se apreciaron agrietamientos leves durante la etapa correspondiente a 27-24% de contenido de humedad, los que se acentuaron en la etapa de 15-12% de contenido de humedad, al final de la cual se encontraron rajaduras fuertes en varias tablas. En la última etapa el porcentaje de defectos fue de 28%.

Las pruebas de tenedor se hicieron al iniciar el secado (contenido de humedad 48%), intermedias (27% y 24% y 15% de contenido de humedad), posterior a la prueba de compensación así:

Contenido de humedad 48%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 27%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 24%: Endurecimiento superficial.

Contenido de humedad 24%: Vaporización 6 horas.

Contenido de humedad 15%: Ausencia de tensiones.

Contenido de humedad 12.55%: Prueba de tenedor normal.

El tiempo calculado no correspondió al real, pues al final del proceso se encontró un contenido de humedad de 16.43%, que solo vino a disminuirse en la etapa de compensación, que fue de 24 horas y sirvió además para disminuir los daños en la madera.

Al final se contabilizó:

Abarquillamiento: 2%.

Rajaduras y agrietamientos leves: 2%.

Rajaduras y agrietamientos fuertes: 4%.

4.4.4—Carga N° 3:

Se vaporizó durante 6 horas a 40°C., subió hasta 54°C. Empiezan a aparecer rajaduras leves en las etapas 21-18% de contenido de humedad. En la siguiente se acentuaron, y empezó a aparecer abarquillamiento, el cual se acentuó en la última etapa. Se hicieron pruebas de tenedor al comienzo del secado (contenido de humedad 49%), en 21% contenido de humedad y al final 16.00% contenido de humedad así:

Contenido de humedad 49%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 21%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 16%: Prueba de tenedor normal.

El tiempo calculado para esta carga no se ajustó en ningún momento al tiempo real, y solo fue suficiente para secar la madera en un 7% menos de lo deseado.

La etapa de compensación fijada en 24 horas, se dividió en tres partes de 8 horas cada una, existiendo una disminución de temperatura de 10°C. entre la primera y la segunda y de 5°C. la segunda y la tercera.

La madera no salió con un índice de defectos elevado, siendo sus datos:

Abarquillamiento: 3%.

Rajaduras y agrietamientos leves: 2%.

Rajaduras y agrietamientos fuertes: 3%.

4.4.5—Programa Recomendado:

Según los resultados de las 3 cargas realizadas en las cuales se observa que el tiempo calculado no correspondió con el real, y que los defectos producidos por el secamiento fueron más que todo rajaduras y torceduras, que se recuperaron en gran parte durante la compensación, se recomienda un programa de secado que evite endurecimiento superficial invertido y que permita utilizar gradientes de secado un poco más altos, para que el tiempo real corresponda con el calculado. (Ver tabla N° 6).

Se recomienda hacer una prueba de tenedor cuando el contenido de humedad llegue a 30% y cuando llegue a 20% para detectar posibles tensiones que en caso de presentarse requerirán tiempos de vaporización entre 3 a 5 horas. Cuando el contenido

especie = RAYO
 Espesor = 25 mm
 Peso específico = 0.800 g³/cm³

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS
 FORESTALES Y MADEREROS DE LA U.D.

Formulario No 7

HORARIO DE SECADO

Humedad inicial = 50 %

Humedad final = 10 %

T CH > 30 = 45 °C

T CH < 30 = 60 °C

DURACION EN HORAS		Temperatura		Humedad relativa del aire %	Gradiente Secado	Humedad de equilibrio madera %	Etapa de Secado	INDICACIONES
Particular	Acumulado	B. Seco °C	B. Humedo °C					
6.00	6.00	36	38.0	100.0	---	20.0	50	VAPORIZACION - PRUEBA DE TEMPERATURA INICIAL
17.62	23.62	40	38.0	87.5	---	18.0	60-40	
21.43	45.24	45	42.0	84.0	---	16.0	40-30	
13.31	68.85	50	46.0	78.0	2.2	13.6	30-25	
18.37	70.34	60	52.8	66.5	2.5	10.0	25-20	
13.85	84.79	70	56.0	48.5	3.0	6.6	20-15	
21.34	106.73	80	65.0	49.0	2.8	6.0	15-9	
8.00	118.73	70	64.0	74.5	---	11.0	9-10	ETAPA DE COMPENSACION
8.00	122.73	60	53.5	71.0	---	11.0	9-10	
8.00	130.73	50	43.6	68.0	---	11.0	9-10	PRUEBA DE TEMPERATURA FINAL

CUADRO No. 5

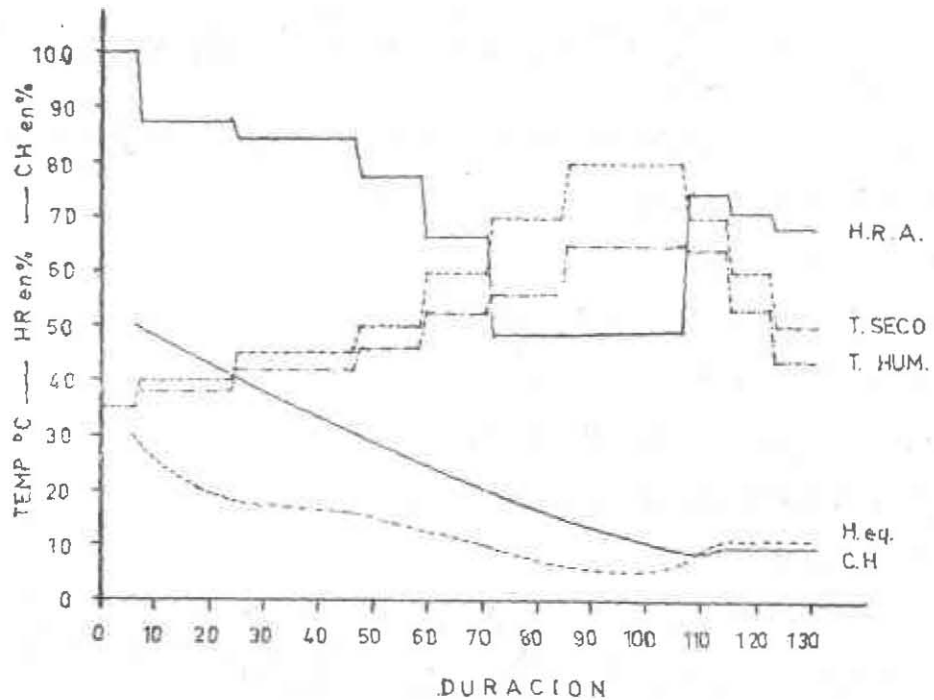


Gráfico No. 5 - Horario de secado del RAYO.

de humedad inicial sea menor de 50% pero mayor de 40% se debe vaporizar 8 horas;

cuando sea menor de 40% y mayor de 30% de 10 a 12 horas y cuando sea menor de 30% más de 12 horas.

El horario recomendado es producto del estudio y se dá en el cuadro N° 5 y gráfico N° 5.

4.5—SAINO:

Para los ensayos de Saino se elaboraron y controlaron tres cargas con tablas de 25 mm. de espesor, siendo los contenidos de humedad inicial promedio de 30 a 32%. Se hizo igualmente la anotación del estado deficiente en que ingresó la madera a la cámara secadora. Se efectuó el mismo proceso de todos los ensayos, procediendo a seleccionar aquella que se encontró defectuosa, marcándola para la contabilización final de daños y defectos. En lo referente al contenido de humedad inicial, puede observarse que escasamente sobrepasó la zona de saturación de las fibras; por esta razón hubo necesidad de vaporizar intensamente antes de la iniciación del proceso, a excepción de la carga N° 1, en la cual se desarrolló el proceso sin vaporización inicial.

4.5.1—Datos para Cálculo de Horarios:

Especie: Saino (*Goupia glabra*).

Peso específico anhidro: 0.85 g./cm³.

Espesor de las tablas: 25 mm.

Humedad inicial promedio: 28.15% la 1ª carga, 34.44 la 2ª y 32% la 3ª:

Temperaturas máximas: Por encima de la zona de saturación de las fibras: 30°C. en las 3 cargas. Por debajo de la zona de saturación de las fibras: 85°C. en la 1ª carga, 90°C. en la 2ª y 80° C. en la 3ª.

Gradientes de secado: 1.8 a 2.2 en la 1ª carga, 1.8 a 2.5 en la 2ª y 1.8 a 2.2 en la 3ª

Estado de la cámara: Bueno.

Otros Datos:

Contracción volumétrica parcial: 10.1%.

Relación Bt/Br: 1.26.

Compresión perpendicular: 80 Kg./cm².

Espesor de las paredes de las fibras: Pared gruesa.

4.5.2—Carga N° 1:

Para esta primera carga no se hizo etapa de vaporización inicial, razón por la cual, la madera sufrió demasiado, aunque en la parte final los resultados obtenidos fueron satisfactorios, debido a la vaporización intermedia que se realizó.

En la etapa de 27-24% de contenido de humedad (50°C. y 82% H. R. A.), se notó la presencia de agrietamientos acentuados. En la etapa 24-21% contenido de humedad (60°C. y 75.5% H. R. A.), aumentó el porcentaje de daños, iniciándose a partir de este punto la etapa 21-18% contenido de humedad (70°C. y 72.5% H. R. A.) la cual hubo de

suspenderse después de 5 horas por intensificación en los agrietamientos y deformación de la madera. Se vaporizó la carga por un tiempo de 20 horas observándose poca recuperación en la madera. Esta vaporización se hizo a 75°C. El secado continuó ciñéndose al programa fijado pero se observó que después de la vaporización el porcentaje de daños no aumentó y por el contrario, cuando entró a compensación hubo recuperación.

Se hicieron pruebas de tenedor en la parte inicial (contenido de humedad 28-15%), en la etapa que se observó el agrietamiento en la madera y en el cual se vaporizó (contenido de humedad 18-15%), y al final del proceso (contenido de humedad 8.23%, según:

Contenido de humedad 28.15%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 18-15%: La madera presenta endurecimiento superficial invertido acentuado.

Después de la compensación: Prueba de tenedor normal.

El tiempo calculado fue a lo largo del proceso menor que el real, siendo suficiente para secar la madera en 1.5% menos que lo deseado, pero obteniéndose en la compensación una correspondencia entre estos dos tiempos.

Se aplicaron 24 horas de compensación obteniéndose una cierta recuperación en la madera, se disminuyó la temperatura en 5°C. durante cada período de 8 horas. El promedio de daños obtenidos fue el siguiente:

Abarquillamiento: 12%.

Rajaduras y agrietamientos leves: 6%.

Rajaduras y agrietamientos fuertes: 6%.

4.5.3—Carga N° 2:

El tiempo de vaporización en la etapa inicial fue de 15 horas, habiéndose efectuado a una temperatura de 30°C. Esta temperatura subió al final a 48°C.

En la etapa de 21-18% contenido de humedad (70°C. y 72.5% H. R. A.), empezaron a aparecer agrietamientos leves, acentuándose un poco más en la etapa de 15-12% de contenido de humedad (85°C. y 57% H. R. A.), e intensificándose en la etapa 12-9% de contenido de humedad (90°C. y 42.5% H. R. A.).

Se hicieron pruebas de tenedor al comienzo del proceso (contenido de humedad 30.44%), en la etapa intermedia (contenido de humedad 24-21%), y al final del proceso (contenido de humedad 7.65%), y se obtuvieron los siguientes resultados:

Contenido de humedad 30.44%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 24-21%: Prueba de tenedor con leve tendencia a endurecimiento superficial invertido.

Al final del proceso: Prueba de tenedor normal.

El secado de esta carga se efectuó en forma más o menos normal siendo el tiempo calculado bastante cercano al real, lográndose un secamiento ajustado al calculado.

La etapa de compensación fue de 24 horas divididas en 3 periodos de 8 horas cada uno, con disminución de 5°C. entre las 2 primeras y 10°C. entre la segunda y tercera. Esta etapa fue muy benéfica para la carga ya que aunque en el transcurso de ella no se presentaron daños en grandes proporciones, sirvió para subsanar los menores. La relación de daños y defectos fue la siguiente:

Abarquillamiento: 6%.

Rajaduras y agrietamientos leves: 4%.

Rajaduras y agrietamientos fuertes: 3%.

4.5.4—Carga N° 3:

Se efectuó inicialmente una vaporización de 15 horas a una temperatura de 30°C., la cual subió hasta 49.5°C. Las primeras etapas se suceden normalmente sin la más leve aparición de rajaduras, las cuales, se empezaron a manifestar en la etapa de 18-15% de contenido de humedad (70°C. y 65% H. R. A.), aumentando en forma lenta hasta la etapa 15-12% de contenido de humedad, (75°C. y 52% H. R. A.), y en forma más acentuada en la etapa 12-9% de contenido de humedad (80°C. y 43% H. R. A.).

Las pruebas de tenedor fueron realizadas antes de la etapa de vaporización (contenido de humedad 32%), en la etapa intermedia (contenido de humedad 18%), y al final de la etapa de compensación (contenido de humedad 13.57%).

Contenido de humedad 32%: Prueba de tenedor normal.

Contenido de humedad 18%: Prueba de tenedor con muy leve tendencia a endurecimiento superficial invertido.

Contenido de humedad 13.57%: Prueba de tenedor normal.

El tiempo calculado para esta carga fue menor que el real, efectuándose el secado en más o menos 3% por encima del calculado.

Finalmente se hizo la etapa de compensación con una duración de 24 horas divididas en periodos de 8 horas cada uno y con descenso de temperaturas de 5°C entre cada periodo.

El promedio de defectos fue el siguiente:

Abarquillamiento: 5%.

Rajaduras y agrietamientos leves: 4%.

Rajaduras y agrietamientos fuertes: 2%.

4.5.5—Programa Recomendado:

En la primera carga no se efectuó etapa de vaporización inicial, por tal razón, se presentó una fuerte producción de defectos y hubo necesidad de vaporizar intensamente hacia la mitad del secamiento para poder recuperar por lo menos en parte la madera. En las etapas segunda y tercera se hizo vaporización inicial de 15 horas y no se presentaron tensiones fuertes en el desarrollo del proceso, pero el tiempo calculado solo correspondió con el real en la segunda carga, por lo cual se deduce que los gradientes aplicados en ella son los más apropiados. El contenido de humedad inicial fue en todas las car-

Especie SAINO
 Espesor 25 mm
 Pesa específica 0.85 g/cm³

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS
 FORESTALES Y MADEREROS DE LA U.D.

Formulario Nº 1

HORARIO DE SECADO

Humedad inicial 40 %
 Humedad final 10 %
 T — CH > 30 50 %
 T — CH < 30 80 %

DURACION EN HORAS		Temperatura B. Seco °C	Temperatura B. Humedo °C	Humedad relativa del aire %	Gradiente Secado	Humedad de equilibrio madera %	Etapa de Secado	INDICACIONES
T. Parcial	T. Acumulado							
6.00	6.00	30	30.0	100.0	—	30.0	10	VAPORIZACION - PRUEBA DE TENEDOR INICIAL.
12.88	18.88	40	38.0	84.5	—	18.0	20-25	
11.67	30.55	50	47.0	85.0	—	16.0	25-30	
15.24	43.79	55	51.0	79.5	2.2	13.6	30-25	
13.58	57.37	60	52.5	66.5	2.5	10.0	25-20	
15.17	72.54	70	60.0	59.0	2.5	8.0	20-15	
24.04	96.58	80	66.0	56.5	2.2	6.5	15-9	
8.00	104.58	70	66.0	76.5	—	11.0	9-10	ETAPA DE COMPENSACION
8.00	112.58	60	59.5	71.0	—	11.0	9-10	
8.00	120.58	50	48.5	69.5	—	11.0	9-10	PRUEBA DE TENEDOR FINAL

CUADRO No. 6

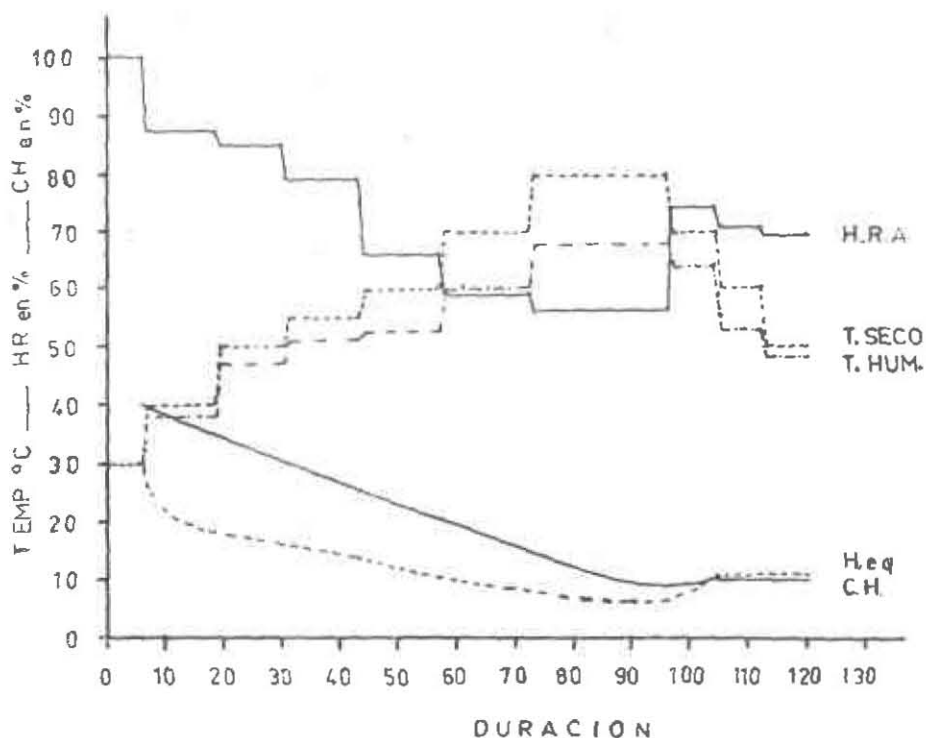


Gráfico No. 6 - Horario de secado del SAINO.

gas muy cercano o inferior a la zona de saturación de las fibras, por el largo tiempo que permaneció la madera al aire libre antes de someterla al secamiento artificial; por tal

razón, no se pudo determinar temperatura máxima para contenidos de humedad inicial superior a la zona de saturación de las fibras, sin embargo, se puede proponer una temperatura máxima de 50°C. que fue la alcanzada en las etapas de vaporización. El programa propuesto aparece en la tabla N° 7.

Se recomienda que cuando el contenido de humedad inicial sea mayor del 35% y menor del 40%, se vaporice durante 8 a 10 horas y cuando el contenido de humedad sea menor del 35% se vaporice de 10 a 15 horas.

El horario recomendado para esta especie aparece en cuadro N° 6 y gráfico N° 6.

PROGRAMAS DE SECADO DE LAS 5 ESPECIES ESTUDIADAS

TABLA N° 3—Programa de Secado del Marfil (*Elaeodendron* sp. (?).

Etapa de secado	Temperatura de Bulbo seco	Temperatura de Bulbo húmedo	Humedad Relativa del aire
%	°C.	°C.	%
Verde	35	35.0	100.0
35-30	40	38.0	87.5
30-25	45	43.0	87.0
25-20	50	46.0	79.0
20-15	55	47.5	65.0
15-9	60	48.0	51.0
9-10	55	48.5	69.5
9-10	50	43.5	68.0

TABLA N° 4—Programa de secado del Sapán (*Clathrotropis brunnea*).

Verde	40	40.0	100.0
40-35	50	48.0	89.5
35-30	60	57.5	87.5
30-25	65	62.0	86.0
25-20	70	64.5	76.5
20-15	75	64.5	61.0
15-9	80	69.0	59.5
9-10	70	64.0	74.5
9-10	60	53.5	71.0
9-10	50	43.5	68.0

PROGRAMAS DE SECADO DE LAS 5 ESPECIES ESTUDIADAS

TABLA N° 5—Programa de secado del Chocho (*Ormosia paraense*).

Etapa de secado	Temperatura de Bulbo seco	Temperatura de Bulbo húmedo	Humedad Relativa del aire
%	°C.	°C.	%
Verde	40	40.0	100.0
50-40	45	43.0	88.5
40-30	50	48.0	89.5
30-25	60	57.5	88.5
25-20	70	66.0	82.5
20-15	80	71.5	69.0
15-9	90	78.0	60.0
9-10	80	74.5	78.0
9-10	70	64.0	74.5
9-10	60	53.5	71.0

TABLA N° 6—Programa de secado del Rayo (*Abarema jupumba*).

Verde	35	35.0	100.0
50-40	40	38.0	87.5
40-30	45	42.0	84.0
30-25	50	46.0	78.0
25-20	60	52.5	66.5
20-15	70	56.0	48.5
15-9	80	68.0	56.5
9-10	70	64.0	74.5
9-10	60	53.5	71.0
9-10	50	48.5	69.5

PROGRAMAS DE SECADO DE LAS 5 ESPECIES ESTUDIADAS

TABLA N° 7—Programa de secado del Saino (*Goupia glabra*).

Etapa de secado	Temperatura de Bulbo seco	Temperatura de Bulbo húmedo	Humedad Relativa del aire
%	°C.	°C.	%
Verde	30	30.0	100.0
40-35	40	38.0	87.5
35-30	50	47.0	85.0
30-25	55	51.0	79.5
25-20	60	52.5	66.5
20-15	70	60.0	59.0
15-9	80	68.0	56.5
9-10	70	64.0	74.5
9-10	60	53.5	71.0
9-10	50	48.5	69.5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) Los programas recomendados para las cinco maderas, y deducidos de ensayos hechos en una cámara secadora tipo experimental de funcionamiento ideal y con base en 3 cargas de madera por especie y con espesor de 25 mm., pueden producir variaciones en los horarios de acuerdo a las condiciones de cada cámara, y se deben hacer los ajustes a las cámaras comerciales.

2) Para cada madera se logró obtener un horario que se recomienda para tablas de 25 mm. de espesor y contenidos de humedad Inicial de 35% a 50%.

Para contenidos de humedad inicial y espesores de las tablas diferentes, se deben calcular nuevos tiempos con base en los factores de corrección.

3) Se presentan en las tablas Nos. 3 a 7 los programas de secamiento recomendados para las cinco especies, a partir de madera verde y hasta un contenido de humedad del 10%, que se considera apropiado, para usos *industriales* de la madera.

4) De acuerdo a los ensayos efectuados, se pudo observar que todo programa de secamiento artificial debe iniciarse con temperaturas no mayores de 35°C. y que dicha temperatura debe aumentarse paulatinamente y sin cambios bruscos por lo menos hasta antes de llegar a un contenido de humedad del 25%.

5) Las cinco especies ensayadas presentaron tendencia a sufrir rajaduras en los extremos y deformaciones, (más que todo abarquillamiento), por tal razón, se recomienda evitar la presencia de endurecimientos y si se llegasen a presentar deberán remediarse inmediatamente mediante vaporización intensa (3 a 5 horas). Un apilado correcto ayudará a evitar rajaduras y deformaciones.

6) Para detectar los endurecimientos se recomienda efectuar pruebas de tenedor cuando la madera tenga contenidos de humedad alrededor de: 30-25%, 15-9% y después de compensación.

7) Para poder llevar un control adecuado del contenido de humedad de la madera que se está secando, es indispensable incluir dentro de la carga, tablas de control, distribuidas en tal forma que reflejen el desenvolvimiento del secado, de todas las partes de la pila de tablas.

8) Para evitar la producción de defectos en cámara por deficiencias en el funcionamiento de la cámara se recomienda hacer revisión de los aparatos de control por lo menos cada mes y además, hacer mantenimiento de la cámara (pintura, limpieza, cambio de empaques de caucho, y revisión general de las diferentes partes de ella), por lo menos cada tres meses.

9) Cuando la humedad inicial no sea uniforme se debe guiar el proceso de secado por la muestra de control más húmeda.

10) Como quiera que, el espesor de las tablas tiene diferencia en el tiempo de secado y la uniformidad de los listones tiene que ver con los resultados del secamiento, se recomienda, secar tablas del mismo espesor en cada carga y tratar de que los listones separadores sean uniformes y no presenten deformaciones.

11) Aunque podría pensarse en la posibilidad de aplicar programas de secado iguales a maderas de características similares, se pudo establecer en este estudio que no siempre es posible, ya que el Marfil y el Sapán aunque con características físicas muy semejantes no se pudieron secar, siquiera con programas parecidos.

R E S U M E N

En el presente estudio: se hace una revisión de literatura sobre el secado de la madera, se presenta una descripción de los materiales y equipos, a la vez que se indica una Metodología para la elaboración de programas de secamiento y la realización de procesos de secado artificial.

Con relación a las maderas ensayadas: Chocho (*Ormosia paraense*); Marfil (*Elaeodendron sp. (?)*); Rayo (*Abarema jupumba*); Saino (*Goupia glabra*); y Sapán (*Clathrotropis brunnea*); se dan los datos indispensables para la programación de Horarios de Secado, se discuten los resultados obtenidos de las tres cargas experimentales y se propone un programa de secamiento, acompañado por un horario modelo.

Finalmente se incluyen algunas conclusiones y recomendaciones que tienen que ver con la cámara experimental donde se hicieron los ensayos y con las cámaras comerciales donde se irán a aplicar los programas propuestos, con algunas sugerencias para prevenir y remediar los posibles defectos que se vayan a presentar en la madera, por efecto del clima de secamiento y con la manera diferente de comportamiento de cada una de las especies maderables estudiadas en relación al secamiento artificial.

Las investigaciones se realizaron en el Instituto de Investigaciones y Proyectos Forestales de la Universidad Distrital, con madera proveniente del Proyecto Forestal Carare-Opón.

S U M M A R Y

The present study, entitled "Kiln-drying Standards and Schedules for Five Colombian woods", (species from the Carare-Opón region), includes a literature review on wood seasoning and drying, a description of the materials and equipment and a methodology for the preparation of drying Schedules and the processes involved.

The five wood species were identified as to: Chocho (*Ormosia paraense*); Marfil (*Elaeodendron* sp. ?); Rayo (*Abarema jupumba*); Saino (*Goupia glabra*). and Sapan (*Clathrotropis brunnea*). The basic information for the kiln-drying of these species is furnished, an analysis of the results is made, based on three experimental loads, a drying program is suggested and a typical schedule is presented.

As a final point, some conclusions and recomendations are reached, regarding the experimental kiln used for this research, and the commercial kilns where the developped programs will be adopted, including some suggestions in order to prevent and correct possible defects presented during the wood drying, due to the climatic conditions and their effect on each one of the five species, as wellas their behavior during the kiln drying.

The research was conducted at the Forestry and wood Projects Research Institute, Universidad Distrital, and the wood samples were collected from the Carare-Opón forest region, Santander, Colombia.

BIBLIOGRAFIA

- 1—ALVARADO, J. - CABRERA, H. Estudio Orientativo de Algunas Propiedades Anatómicas y Físico-Mecánicas de las Especies Maderables de la Región Carare-Opón. Parte I. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Bogotá. Tesis de grado. 1967. 133 pp.
- 2—BARGHOORN, A. - Conferencias de Tecnología de Maderas II. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Bogotá, Colombia. 1963. 131 pp.
- 3—BROWN, N. - BETHEL, J. La Industria Maderera. Editorial Limusa - Wiley S. A., México, D. F. 1965. 397 pp.
- 4—BROWN, H. P. - PANSHIN, A. J. - FORSAITH, C. C. Textbook of Wood Technology. Vol. I New York 1949. 652 pp.
- 5—CACERES ROJAS, H. Estudios Tecnológicos sobre algunas Maderas Colombianas. Ponencia al III Congreso Nacional de Ingenieros Agrónomos. Manizales, Colombia. 1965. 51 pp.
- 6—CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA. A. I. D., Agencia para el Desarrollo Internacional. Secado de Madera. Manual de Operaciones para el programa de cooperación. México. 1962. 158 pp.
- 7—CHRISTENSEN, F. J. - Drying Hardwoods for Structural Uses. Reportado de Csiro Forest Products Newsletter, Australia. Número 371. 1970. 4 pp.
- 8—DIVISION OF FOREST PRODUCTS. Testing Timber for Moisture Content. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia. Melbourne 1962. 23 pp.
- 9—FERNANDEZ, G. El Estufado de la Madera, teoría y práctica. México, D. F. 136 pp.
- 10—FINIGHAN, R. - LIVERSIDGE, R. M. The Effect of Stack Covers on Drying Degrade in Timber. Reportado de Csiro Forest Products Newsletter, Australia. Número 312. 1964. 2 pp.
- 11—FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY. Glossary of terms used in the drying of wood. Publicación Número 836. Madison. 1968. 53 pp.
- 12—GALANTE, J. J. Tecnología de las Maderas. Editorial Nigar. S. R. L. Buenos Aires, 1953. 479 pp.
- 13—HILDEBRAND, R. El Secado de la Madera Aserrada. Maschinenbau GMBH. Oberboihingen/Wurt (Alemania). Traducción al Español. Comercial Sagrera, S. A. Sabadell (España) 1962. 159 pp.
- 14—INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS FORESTALES Y MADEREROS. Algunos Ensayos físico-mecánicos y secado artificial de la madera de Moho y Flor Morado. Informe Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Bogotá, Colombia. 1970. 28 pp.
- 15—INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS FORESTALES Y MADEREROS. Determinación de Horarios de Secado del Guayacán Hobo (*Centrolobium Paraense*). Informe Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Bogotá, Colombia. 1965. 20 pp.
- 16—INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS FORESTALES Y MADEREROS. Horario de Secado de El Drago y Guaimaro. Informe Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Bogotá, Colombia. 1965. 15 pp.

- 17—KARL, W. Introducción en la Conferencia de Tecnología de Madera. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Bogotá, 1965. 24 pp.
- 18—KOLLMANN, F. Tecnología de las Maderas y sus aplicaciones. Tomo I. Traducción de la segunda Edición Alemana por el Instituto de Investigaciones y Experiencias de Madrid (EFIE). 1960. 694 pp.
- 19—LANGWOOD, F. Puerto Rican Woods their Machinning. Seasoning and Related characteristics. Manual de Agricultura. Número 205. 1961. 434 pp.
- 20—LASTRA, J. A. Elaboración de horarios de Secado para maderas latifoliadas. Instituto de Investigaciones y Proyectos Forestales y Madereros. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Bogotá. 1972. 12 pp.
- 21—PARRA, A. - BORGIO, G. - VALDEZ, F. El Secado de la Madera en estufa. Asociación Mexicana de Profesionales Forestales A. C. México, D. F. 1953. 120 pp.
- 22—RASMUSSEN, E. Dry Kiln. Operators. Manual. U. S. Department of Agriculture Forest Products Laboratory. Forest Service. Agriculture Handbook. Número 186. Madison Wisconsin. 1961. 197 pp.
- 23—ROJAS LEON, H. Informe sobre práctica de vacaciones y ajuste del horario para el Guayacán Hobo (*Centrolobium Paraense*). 1966. 40 pp.
- 24—ROJAS, H. - REYES, E. Estudio Orientativo de Algunas Propiedades Anatómicas y Físico-Mecánicas de las Especies Maderables de la Región Carare-Opón. Parte II. Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Bogotá. Tesis de grado. 1967. 138 pp.
- 25—SHALMAN, E. J. - HAN, M. Secamiento artificial de la madera. Instituto Forestal. Manual Número I. Santiago de Chile. 1963. 64 pp.
- 26—WRIGHT, G. W. Brief Notes on Moisture Gradients, Drying Stresses and Movement on Re-Cutting. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. División of Forest Products. Australia. 1961. 6 pp.

Prohibida su reproducción total
o parcial. Derechos reservados.
Este libro fué impreso en los
Talleres Gráficos de Tipografía
San Jairo Ltda.
Bogotá - Colombia - Febrero 1974