

# ANÁLISIS DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO DE TROCERÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE CHAPA

Zavala Zavala David \*  
Trujillo Arriaga Gabriel \*\*

## RESUMEN.

El proceso de ablandamiento de la trocería, previo al torneado o rebanado, se considera esencial para optimizar la calidad de la chapa generada, por la facilidad de corte que se obtiene al plastificar la madera mediante calor.

La optimización del proceso de acondicionamiento de la madera está relacionada con las características de las especies procesadas, las temperaturas del medio termoconductor y los periodos de calentamiento empleados.

Este trabajo se realizó con la finalidad de definir la interrelación más adecuada de los parámetros señalados, en la madera de guapinol (*Hymenea courbaril*); encino americano (*Quercus* spp.); granadillo (*Platymiscium yucatanum*); pino (*Pinus* spp.); cedrillo (*Guarea* spp.) y guanacastle (*Enterolobium cyclocarpum*).

Los ensayos de calentamiento se realizaron en un contenedor metálico, utilizando agua como medio termoconductor; las temperaturas en el interior de los cuadrados se midieron con un termómetro eléctrico con termopares. El tiempo óptimo de calentamiento varió directamente con la densidad, e inversamente con el contenido de humedad de la madera.

Las temperaturas en las que se generó chapa de buena calidad, determinadas al momento de efectuar el corte de los cuadrados, fueron: para guapinol de 46 °C a 53 °C; encino de 45 °C a 49 °C; granadillo de 43 °C a 46 °C; pino de 40 °C a 47 °C; cedrillo de 43 °C a 44 °C y, para guanacastle de 23 °C a 31 °C.

Palabras clave: Industria maderera, Chapa.

\* Ingeniero Agrónomo Forestal. Doctor. Investigador Titular CENID-COMEF. INIFAP-SARH.

\*\* Ex-alumno de la Universidad Autónoma Chapingo.

## ABSTRACT.

The softening of wood prior to peeling or slicing, is considered essential for the optimization of veneer quality, due to the cutting facility that is achieved when the wood is plastized through the application of heat.

The optimization of the wood conditioning process is associated with the characteristics of the species, with the temperature and with the heating periods.

The present study was carried out in order to define the most appropriate interrelationship of these parameters, through the utilization of wood of the following species: guapinol (*Hymenea courbaril*); encino americano (*Quercus* spp.); granadillo (*Platymiscium yucatanum*); pino (*Pinus* spp.); cedrillo (*Guarea* spp.) and guanacastle (*Enterolobium cyclocarpum*).

The heating tests were performed in a metallic container, using water as the thermoconducting medium; the temperatures inside the flitches were determined with an electrical thermometer with thermocouples. The optimum heating period varied directly with the density and inversely with the moisture content of wood.

The temperatures for the production of high quality veneer, measured at the moment of cutting the wood were: for guapinol from 46 °C to 53 °C, for oak from 45 °C to 49 °C, for granadillo from 43 °C to 46 °C, for pine from 40 °C to 47 °C, for cedrillo from 43 °C to 44 °C and for guanacastle from 23 °C to 31 °C.

Key words: Wood industry, veneer.

## INTRODUCCIÓN.

Para la producción de chapa, la madera generalmente se somete a un proceso de corte periférico en un torno, haciendo girar la troza en sentido tangencial a su perímetro contra una cuchilla que permanece fija, obteniéndose una lámina continua de chapa.

Otro procedimiento consiste en someter la troza previamente escuadrada a cortes ortogonales paralelos, con una cuchilla que se desplaza horizontalmente sobre el cuadro (flitch) que permanece fijo; o bien, moviendo el cuadrado verticalmente hacia la cuchilla fija, obteniendo en ambos casos, láminas independientes de chapa rebanada.

Para facilitar el corte y optimizar la calidad de la chapa, normalmente se somete la madera a un proceso de ablandamiento mediante calor, utilizando agua caliente en fosas de acondicionamiento o vapor en cámaras cerradas.

El proceso de calentamiento además de mejorar las características de la chapa por su mayor facilidad de corte, reflejado en la textura de la superficie de la chapa, también se manifiesta en un mayor coeficiente de aprovechamiento.

No obstante estas ventajas, algunas empresas que procesan coníferas consideran que no requieren calentar la trocería antes del torneado. Otras, aún cuando calientan la madera previamente a su corte, regularmente no lo hacen en forma óptima, con relación a las temperaturas aplicadas en función de las características de las trozas procesadas.

Con frecuencia estos procesos varían de una fábrica a otra, aún cuando se utilicen equipos similares y procesen las mismas especies, lo que refleja un desconocimiento del manejo de los factores que determinan el calentamiento de las trozas<sup>1</sup> (*cf.* Revista Ciencia Forestal en México, N° 68).

El tiempo de calentamiento requerido para lograr la temperatura óptima de corte de la madera, depende de los siguientes factores.

1. La interacción del sistema de calentamiento empleado:

- Cámara de vapor
- Pila de agua caliente.

2. Las características de las trozas procesadas:

- Densidad de la madera
- Diámetro de las trozas
- Dimensiones de los cuadrados
- Contenido de humedad de la madera.

## OBJETIVO.

El trabajo se realizó con la finalidad de:

- Generar información que contribuya a la definición de las temperaturas de corte

---

<sup>1</sup> Zavala, Z. D. 1990. "Diagnóstico de la industria de tableros contrachapados en el área metropolitana del D F". pp. 61-83.

de la madera para chapa de algunas especies utilizadas en la industria del triplay, considerando los diferentes factores que intervienen en el proceso de transferencia de calor, sobre todo la temperatura del medio termoconductor y las características de las trozas o cuadrados procesados.

## ANTECEDENTES.

En el proceso de corte de las trozas o cuadrados influyen varios factores determinantes de la calidad de la chapa, destacando la temperatura y el contenido de humedad de la madera al momento del torneado o rebanado.

La temperatura de corte de la madera generalmente se logra al someterla a un proceso de calentamiento, cuya eficiencia depende del medio termoconductor empleado y de las características de las especies procesadas, destacando el diámetro o dimensiones de las trozas, la densidad y el contenido de humedad de la madera<sup>2,3,4</sup>.

### Ventajas del calentamiento.

El proceso de ablandamiento o calentamiento de la madera previo a su corte para la producción de chapa, se considera necesario para especies duras o de alta densidad, de grano irregular o con veteado pronunciado, en maderas resinosas donde puede interferir la resina con otras fases de preparación de la chapa y producción del tablero, y cuando se desea producir chapa con espesores mayores de 1/8", ya que de no estar calentadas se generarían grietas pronunciadas y pérdida excesiva de material<sup>5,6</sup>.

Diversos autores como Lutz<sup>7,8</sup> *op. cit*; Palka<sup>9</sup>, Kollmann y Kuenzi<sup>10</sup> han señalado que, con el acondicionamiento de la madera mediante calor, antes del corte para la producción

<sup>2</sup> Lutz, J. F. *et al.* 1967. Effect of moisture content and speed of cut on quality of rotary-cut veneer.

<sup>3</sup> Lutz, J. F. and Patzer, R. A. 1976. Spin-out of veneer blocks during rotary cutting of veneer.

<sup>4</sup> Walser, D. C. 1974. "Steam-injection knife improves veneer quality". pp. 70-79.

<sup>5</sup> Fleischer, H. O. 1959. Heating rates for logs, bolts and flitches to be cut into veneer.

<sup>6</sup> Lutz, J. F. 1974. Techniques for peeling, slicing and drying veneer.

<sup>7</sup> Lutz, J. F. 1960. Heating veneer bolts to improve quality of Douglas-fir plywood.

<sup>8</sup> Lutz, J. F. 1978. Wood veneer: log selection, cutting and drying.

<sup>9</sup> Palka, L. C. 1974. Veneer cutting review. Factors affecting and models describing the process.

<sup>10</sup> Kollmann, F. F. and Kuenzi, E. W. 1975. Principles of wood science and technology II.

de chapa, se logran plastificar las fibras y los componentes que las unen, obteniéndose varias ventajas, entre las que destacan:

a) La producción de chapa compacta, con mayor resistencia a la tensión perpendicular al grano; lo que facilita su manejo y reduce las pérdidas por rajaduras, sobretodo por las maniobras en la "mesa verde".

b) La reducción de la profundidad de las grietas durante el torneado de chapa gruesa y una mayor posibilidad de producción de chapa delgada.

c) El ablandamiento de los nudos y de la madera de verano de coníferas, que se manifiesta en un menor desgaste del filo de la cuchilla; mayor facilidad de corte y como consecuencia se obtiene chapa más tersa.

d) La reducción del consumo de energía motriz del torno o la rebanadora por la mayor facilidad de corte de la madera.

e) La reducción de la cantidad de pegamento en la elaboración de tableros contrachapados por una mayor tersura de la chapa o grietas menos profundas, sobre todo en chapa torneada y gruesa.

f) Un menor desperdicio de madera en chapa tersa por efecto del lijado.

Otras ventajas del proceso de calentamiento de las trozas o cuadrados para la producción de chapa, se manifiestan en su impacto en la producción. Palka *op. cit.*, Mortesen<sup>11</sup> y Baldwin<sup>12</sup>, reportan que con el calentamiento de la madera se obtiene un mayor coeficiente de aprovechamiento de chapa, mismo que varía de 3% a 5%.

Este incremento se debe en parte a la mayor facilidad de manejo de la chapa, con lo cual se reduce la pérdida de material por el desarrollo de rajaduras. En la chapa que se produce de trozas sin calentar se desarrollan grietas de torno más profundas, lo que ocasiona que se rompa más fácilmente por tensión, con efecto directo en los volúmenes recuperables.

Debido a que el calentamiento mejora la tersura de la chapa y reduce las grietas alrededor de los nudos u otros defectos naturales de la madera, se obtiene un porcentaje mayor de chapa de calidad. Baldwin (*op. cit.*) indica que una troza N° 2 para triplay, produce 25% más de hojas completas de calidad A, que una troza de la misma calidad que no se calienta.

<sup>11</sup> Mortesen, A. W. 1974. "Block conditioning methods for improve panel yield. Modern plywood techniques". pp. 27-46.

<sup>12</sup> Baldwin, F. R. 1975. Plywood manufacturing practices.

Las fábricas que aplican el calentamiento de la madera aumentan en promedio de 4% a 7% el volumen de chapa de calidad B y aún mejor.

Al incrementar el porcentaje de chapa de hojas completas que se genera de madera calentada, se reduce el costo de mano de obra, por la facilidad de manejo del material y la rapidez del proceso de piezas completas. Baldwin (*op. cit.*) señala un aumento de hojas completas de 55% a 70%, que implica una reducción de personal en las secadoras, un menor requerimiento de canteado y ensamblado, así como una mayor producción en la engomadora.

En resumen, con el calentamiento se logra obtener más chapa de cada troza, con aumento de calidad, reducción de costos de producción por ahorro de mano de obra y una chapa más tersa.

### **Temperatura de la madera durante el corte o rebanado de la chapa.**

La temperatura de la madera al momento del corte determina la calidad de la chapa con respecto a su tersura, rajaduras, grietas y vellosidades, además de la facilidad o dificultad del corte. Estos factores reflejan la importancia de precisar el rango óptimo de temperatura de la madera, previo a su procesamiento.

Diferentes autores como Palka *op. cit.*; Peters<sup>13</sup>; Feihl y Godin<sup>14</sup> y Lutz *op. cit.*, consideran que, en general las maderas suaves con un peso específico menor de 0.40 g/cm<sup>3</sup>, no requieren de calentamiento para obtener chapa de buena calidad.

Fleischer *op. cit.*, señala que en el caso de hojosas, la temperatura de corte está muy ligada con la densidad de la madera y, establece que para especies de 0.46 a 0.55 g/cm<sup>3</sup>, la temperatura de corte es de 140 °F (59 °C), para las de 0.55 a 0.59 g/cm<sup>3</sup> de 160 °F (70 °C) y para las de 0.60 a 0.64 g/cm<sup>3</sup> de 200 °F (92 °C).

Asimismo, indica que estas temperaturas se aplican en maderas de hilo recto y en corte rotatorio y que, para chapa rebanada, las temperaturas requeridas son de 10 °F a 20 °F (6 °C a 11 °C), más altas.

Adicionalmente, establece que las temperaturas de calentamiento requeridas para coníferas son más altas que para las hojosas de densidades similares. Esta diferencia se debe a la presencia de madera de verano en los anillos de crecimiento que es más densa que la madera de primavera.

---

<sup>13</sup> Peters, C. W. 1974. Peeler block preconditioning.

<sup>14</sup> Feihl, O. and Godin, V. 1975. Heating veneer logs. A practical guide.

Al analizar la información generada por Lutz<sup>15</sup> sobre especies similares a las del presente trabajo, dicho autor indica que la mayoría de los encinos se tornean a una temperatura de 140 °F a 160 °F y se rebanan de 180 °F a 200 °F. El nogal se calienta hasta 180 °F y se deja enfriar a 150 °F para poder procesarlo; *Pinus ponderosa* se torne a 60 °F a 140 °F y se rebana de 140 °F a 180 °F; *P. strobus* se calienta de 70 °F a 120 °F para chapa torneada, y de 120 °F a 140 °F para chapa rebanada.

Entre otros estudios que proporcionan información sobre las temperaturas de corte de la madera, se tiene el de Palka *op. cit.*, que señala que para la mayoría de las especies, las temperaturas requeridas en la madera al momento del corte de la chapa, varían de 38 °C a 71 °C.

Moreno y Espejel<sup>16</sup> indican que el rango de temperaturas observado en las trozas al momento del corte en torno, ha sido de 43 °C a 52 °C en el centro y de 65 °C a 70 °C en la periferia.

Zavala *op. cit.*, señala que en la industria del triplay de la zona metropolitana de la ciudad de México, las temperaturas en las trozas al momento del corte varían entre industrias, aún cuando se trate de la misma especie, presentándose un rango de 25 °C a 65 °C.

No obstante que el objetivo principal del calentamiento de la madera es mejorar las características de corte de la chapa, cuando el proceso no está bien aplicado se pueden presentar ciertas desventajas en el mismo.

Lutz *op. cit.*, establece que la mayoría de los inconvenientes en el calentamiento de las trozas se debe al uso de temperaturas muy altas o a tiempos de calentamiento muy prolongados. Señala que en el caso de las trozas de encino, el sobrecalentamiento puede provocar rajaduras en la cabeza de la troza, por su parte, en las coníferas se pueden presentar superficies vellosas en la madera de primavera.

También se pueden presentar acebolladuras o separación de la madera de primavera y de verano durante el corte, oscurecimiento no deseado de la chapa, así como un aumento en el desgarramiento de las cabezas de las trozas por las mordazas del torno.

### **Efecto de la densidad de la madera en el tiempo de acondicionamiento.**

La densidad de la madera es uno de los factores determinantes en cuanto al tiempo de calentamiento para su acondicionamiento y posterior rebanado o desenrollado. Distintos

<sup>15</sup> Lutz, J. F. 1972. Veneer species that grow in the United States.

<sup>16</sup> Moreno, Z, C. y Espejel, E, A. L. 1983. Rendimiento y proceso de fabricación de tableros contrachapados.

autores como Feihl<sup>17</sup> y Feihl y Godin *op. cit.*, indican que se requiere más tiempo para calentar una troza de alta densidad que una de baja densidad, estableciendo que entre la madera de diferentes especies con densidad anhidra similar, pero con densidad verde diferente, las de mayor densidad verde requieren de mayores tiempos de calentamiento.

En sus experimentos encontraron que las trozas de alta densidad requieren 25% más tiempo de calentamiento que las de densidad media, en tanto que las de densidad baja requieren 25% menos tiempo de calentamiento, en relación a las de densidad media.

Fleischer *op. cit.*, establece que la velocidad de calentamiento varía inversamente con el peso específico y que la diferencia de especies, indistintamente del peso específico, es insignificante.

Adicionalmente presenta gráficas para determinar la temperatura de corte en función de la densidad de la madera, y establece la relación entre estos dos factores con base en la difusibilidad térmica que cambia con la densidad.

Zavala *op. cit.*, presenta los tiempos de calentamiento de especies con diferentes densidades, utilizados en las industrias de triplay de la zona metropolitana de la ciudad de México, los cuales no tienen relación aparente con las densidades de las especies.

También señala que dicha discrepancia se debe en parte, al desconocimiento por parte de los industriales acerca de los procesos óptimos de calentamiento, acordes a las características de las maderas y a la calidad de la chapas.

### **Efecto del diámetro de las trozas en el tiempo de acondicionamiento.**

En el proceso de calentamiento de la madera mediante inmersión en agua, las temperaturas y los tiempos requeridos varían en función de las dimensiones de las trozas o de los cuadrados.

Feihl *op. cit.*, indica que el tiempo de calentamiento aumenta aproximadamente con el cuadrado del diámetro, y establece que si una troza de diámetro D1 requiere T1 horas para calentarse, el tiempo de calentamiento T2 de una troza de diámetro D2 será de:

$$T1 \times (D2/D1)^2$$

Posteriormente, Feihl y Godin *op. cit.*, establecen como regla general que el tiempo de

---

<sup>17</sup> Feihl, O. 1971. Heating frozen and nonfrozen veneer logs.



calentamiento aumenta 4 veces, cuando el diámetro de las trozas se duplica ( $2 \times 2 = 4$ ) y nueve veces cuando el diámetro se triplica ( $3 \times 3 = 9$ ), y así sucesivamente; *i e*, si una troza de 12" requiere 10 hs, una de 18" requerirá  $22\frac{1}{2}$  hs.; una de 24" necesitará de 40 hs y una de 30" de 62 hs.

Debido a esta diferencia en los requerimientos de tiempo de calentamiento, los autores sugieren que las trozas se segregen en dos o tres grupos, en función de su diámetro.

En general Baldwin *op. cit.*, Peters *Ibidem*, Lutz *idem*, y los coautores Moreno y Devlieger<sup>18</sup>, establecen una relación directa de los diámetros de las trozas con los tiempos de calentamiento, basados en experimentos con diferentes especies, sin llegar a establecer una regla tan específica como en los dos casos anteriores (Feihl *op. cit.* Feihl y Godin *Ibidem*).

## **MATERIALES.**

Este trabajo se realizó con el apoyo y colaboración de la fábrica de chapas Los Reyes, S A, que proporcionó prácticamente todo el equipo y materiales utilizados, los cuales se describen a continuación.

### **Tanque de acondicionamiento.**

El proceso de calentamiento de la madera de las especies seleccionadas se realizó en un tanque metálico, construido con láminas de fierro de 0.7 cm de espesor, con dimensiones de 3.05 m x 1.85 m y una altura de 1.40 m; como cubierta del tanque se utilizaron tablonces de madera y una lona.

Para el sistema de calentamiento del agua, se instaló en el fondo del tanque un serpentín radiador de calor, constituido por tubo metálico de 4.0 cm de diámetro, colocado en líneas paralelas a lo largo y ancho del fondo del tanque. Como medio termoconductor del serpentín se utilizó aceite térmico, calentado por la caldera general de la fábrica (*vid. infra*, figura 1). Para proteger el serpentín se instaló una parrilla metálica, sobre la cual se colocaron tres cuadrados de madera, que sirvieron de apoyo a los fitches de ensayo.

---

<sup>18</sup> Moreno, M, R. y Devlieger, S, F. S/F. Influencia de los factores de la madera y de las condiciones del macerado en el tiempo de calentamiento de las trozas.

### Especies estudiadas.

La selección de las especies estudiadas estuvo relacionada con las especies maderables que normalmente procesa la empresa donde se realizó el estudio, considerando el objetivo establecido de incluir especies con densidades alta, media y baja. Se estudiaron las maderas de seis especies, utilizando tres trozas por especie.

E S P E C I E		DENSIDAD*	CATEGORÍA**
Nombre común	Nombre científico	g/cm <sup>3</sup>	
Guapinol	<i>Hymenea courbaril</i>	0.89	Extremadamente pesada
Encino americano	<i>Quercus</i>	0.86	Excesivamente pesada
Granadillo	<i>Platymiscium yucatanum</i>	0.67	Muy pesada
Pino	<i>Pinus</i>	0.59	Pesada
Cedrillo	<i>Guarea</i>	0.48	Moderadamente pesada
Guanacastle	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.46	Moderadamente pesada

\* Densidades base peso y volumen anhidro, determinada en el presente estudio.

\*\*Clasificación de densidad con base en Robles<sup>19</sup> (cfr. Revista Ciencia Forestal N° 16).

### Cuadro 1. Especies maderables utilizadas.

### Termómetro eléctrico.

Para el registro de las temperaturas del agua y de la madera durante el desarrollo del

<sup>19</sup> Robles, G. F. 1978. Propiedades y uso de 14 especies de maderas tropicales de rápido crecimiento del Campo Experimental Forestal El Tormento.

calentamiento de los fitches, se utilizó un termómetro eléctrico con siete canales para la instalación de termopares.

Un termopar (sensor térmico), consta de dos alambres flexibles de diferentes metales (cobre y hierro), que se unen en sus extremos (polos + y -), formando el punto sensor térmico, por el que se capta una corriente eléctrica generada por el calor que activa el sensor térmico.

La corriente eléctrica se convierte (de analógica a digital) para interpretarse en forma numérica, en unidades de temperatura a través del termómetro.

### **Taladro eléctrico, pasta impermeabilizadora y agua de acondicionamiento.**

Se utilizó un taladro eléctrico y un barreno o broca de 1.0 cm de diámetro para perforar los cuadrados e insertar los sensores térmicos de los termopares en dichas perforaciones; con la finalidad de medir los cambios de temperatura de la madera, precisamente en el interior de los cuadrados.

Para impermeabilizar los sensores térmicos de los termopares del posible contacto con el agua, se selló con plastilina epóxica la periferia de los orificios en los que se insertaron dichos sensores.

Con esta impermeabilización se evitó la interferencia del agua de calentamiento en la determinación correcta de la temperatura de la madera.

Como elemento termoconductor de calor a la madera de las especies seleccionadas, se utilizó agua captada de la red general de distribución, con un pH de 7,75 (neutro).

## **METODOLOGÍA.**

El proceso de calentamiento de la madera fue similar al que se sigue en la fábrica donde se realizó el estudio, pero con variantes en cuanto a tiempos de acondicionamiento y temperaturas del agua utilizada, con base en los objetivos del trabajo.

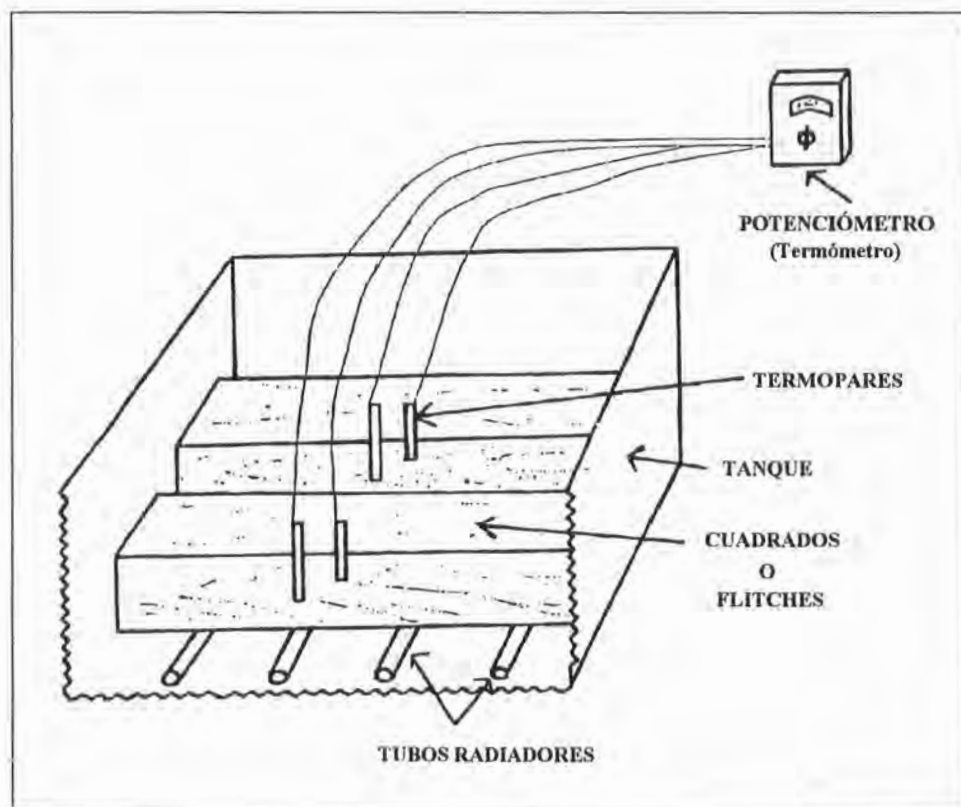
### **Preparación de los cuadrados e instalación de termopares.**

Para cada prueba de acondicionamiento se seleccionaron tres trozas por especie, con longitud promedio de 2.65 m, las cuales se prepararon en el aserradero para generar

prismas cuadrangulares, denominados flitches o cuadrados.

Para la instalación de los termopares en los cuadrados, se realizaron dos perforaciones perpendiculares a la longitud de las trozas, a dos diferentes profundidades en la sección central para ubicar un termopar en el centro del cuadrado y el otro en el punto medio entre dicho centro y la superficie del cuadrado, con separación de 15.0 cm. entre las dos perforaciones.

En cada orificio se insertó un termopar, colocando el extremo sensor en contacto directo con la madera en el fondo del orificio, y posteriormente se cubrió la periferia de cada orificio con plastilina epóxica para impermeabilizar al termopar y evitar que el posible contacto con el agua alterara la temperatura real de la madera.



**Figura N° 1.** Proceso de acondicionamiento de los cuadrados.

### **Determinación de la transferencia de calor en los cuadrados.**

Los tres cuadrados en estudio, correspondientes a una determinada especie, se colocaron sobre bloques de madera para evitar el calor directo, emanado del serpentín de calentamiento instalado en el fondo del tanque y para ubicarlos en la región media de la masa de agua.

El termopar destinado a medir la temperatura del agua se colocó en la región central de la masa de agua.

El tiempo de calentamiento de cada cuadrado se determinó por la temperatura del interior de la madera, previamente definida con base en la densidad de la especie, considerando un rango de 25 °C a 45 °C para las maderas de densidad baja; de 45 °C a 60 °C para las de densidad media y de 60 °C a 75 °C para las maderas de densidad alta.

Se registraron las temperaturas del agua y del interior de la madera a intervalos regulares de tiempo, excepto en los períodos nocturnos (10 pm-6 am), mediante el termómetro eléctrico antes descrito.

El registro de las temperaturas indicadas por el termómetro, se realizó en forma manual a intervalos de 30, 60, 90 minutos o más, dependiendo de la fase de las secuelas, realizándose con mayor frecuencia al inicio del acondicionamiento.

### **Determinación de la temperatura y calidad de la chapa.**

Los cuadrados acondicionados se rebanaron para generar las chapas correspondientes, a las cuales se les determinó inmediatamente su temperatura con un termómetro de mercurio que se colocó entre las chapas que se iban acumulando de cada cuadrado, en la sección central y en tres niveles del paquete de chapas, por un tiempo aproximado de 30 segundos; posteriormente se determinó su contenido de humedad.

Se evaluó en forma visual la chapa generada de cada una de las trozas procesadas, con base en su textura, rajaduras y vellosidades. Las calidades de las chapas se clasificaron en tres categorías:

- A Buena - B Regular - C Mala.

Con aplicación exclusiva al presente estudio, correspondiendo la categoría "A", a la chapa libre de defectos; la categoría "B" a la chapa con asperezas, vellosidades y rajaduras hasta en 20% de la superficie y la categoría "C", a la chapa con los defectos ya mencionados en una superficie mayor de 20%.

## **Determinación del contenido de humedad y densidad de la madera.**

El contenido de humedad de los cuadrados se determinó previo a su calentamiento a través del aserrín resultante de las perforaciones practicadas en cada troza para la instalación de los termopares, por medio de la siguiente relación<sup>20</sup>:

$$\% \text{ C H} = \frac{\text{P H} - \text{P S}}{\text{P S}} \times 100$$

donde:

- C H = Contenido de humedad
- P H = Peso húmedo de la muestra
- P S = Peso seco de la muestra

La densidad anhidra de la madera se determinó utilizando muestras secadas en un horno a peso constante, verificado con una balanza de precisión.

El volumen de cada muestra se determinó por desplazamiento de agua, utilizando una probeta graduada de 1 000 ml de capacidad. Las muestras se impermeabilizaron previamente con vaselina sólida en sus caras transversales.

Para la determinación de la densidad de la madera, se aplicó la siguiente fórmula<sup>21</sup>:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{\text{peso seco muestra (g.)}}{\text{volumen de agua desplazada (cm}^3\text{)}}$$

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

La información recopilada de los flitches procesados de cada una de las especies

---

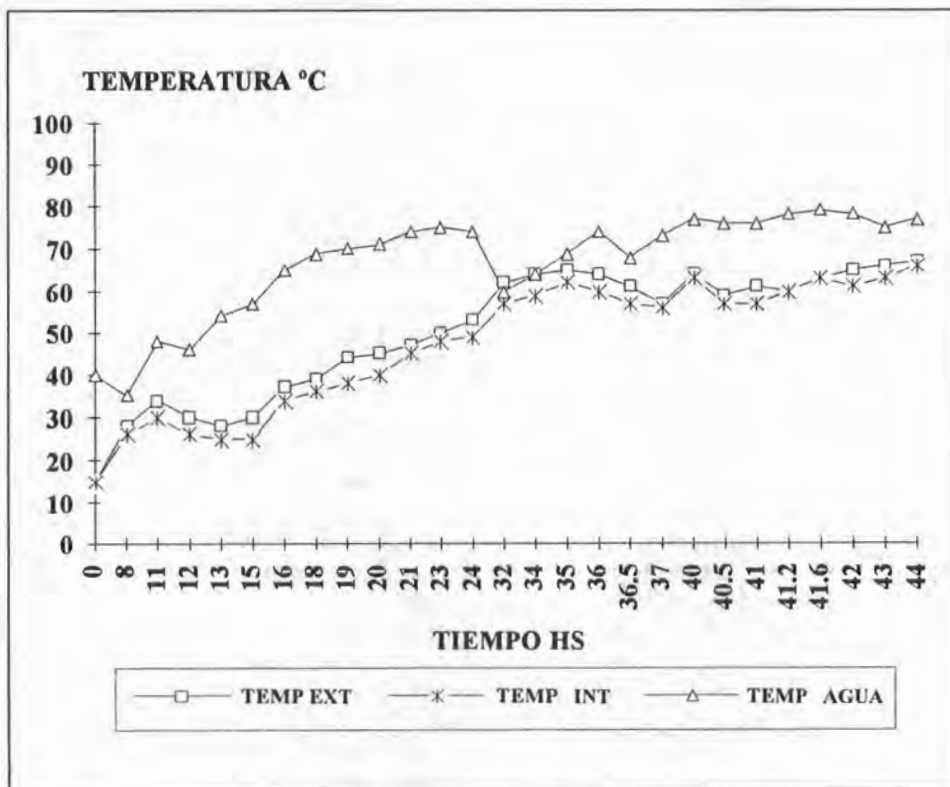
<sup>20</sup> A S T M. 1977<sup>a</sup>. "Standard test methods for moisture content of wood". pp. 596-611.

<sup>21</sup> A S T M. 1977<sup>b</sup>. "Standard test methods for specific gravity of wood". pp. 696-706.

estudiadas se graficó, relacionando el desarrollo de las temperaturas del agua y de las dos partes internas de los cuadrados, con el tiempo de calentamiento.

Las temperaturas representan los promedios de lecturas internas y externas de los tres cuadrados por especie en cada ensayo y la temperatura del agua durante el proceso de calentamiento. En forma similar se procedió con la información del calentamiento de los flices de las demás especies.

La fluctuación de las temperaturas en la figura 2, se debe a la forma como se desarrolló el proceso de calentamiento de los cuadrados. El funcionamiento de la caldera general de la fábrica se suspende al término de la jornada laboral (10 pm-6 am), presentándose períodos de tiempo prolongados con descenso continuo en la temperatura del agua.



**Figura N° 2.** Distribución de temperaturas de acondicionamiento del granadillo.

## Integración de la información del proceso de calentamiento.

Para analizar la información de las especies estudiadas, los datos de calentamiento de la madera se resumieron e integraron en el cuadro 2, *vid., infra*.

En este cuadro el **tiempo de calentamiento** del agua se refiere a la suma de los períodos de tiempo en los que el aceite térmico circuló por el serpentín del tanque para calentar el agua; el **tiempo de acondicionamiento** es el tiempo total de permanencia del cuadrado en el agua del tanque; la **temperatura de corte** se refiere a la temperatura de la madera al momento de rebanar el cuadrado.

ESPECIE	FLITCH O CUADR	DIMENS TRANSV CUADR	HUMED INIC MADERA	TIEMPO CALENT AGUA	TIEMPO DE ACOND	TEMP MÁXIMA INTER MADERA	TEMP FINAL PROM MADERA	TEMP DE CORTE	CALIDAD DE LA CHAPA
		em	%	hs	hs	°C	°C	°C	categoría
Grand	1.2 a	45 x 25	57.00	24.84	41.80	64.00	64.00	45.00	buena
Grand	4.5 b	45 x 23	57.86	24.84	43.85	66.00	69.00	46.00	buena
Grand	6.7 c	43 x 20	57.00	19.84	36.66	66.00	57.50	43.50	buena
Encino	1.2 a	44 x 24	47.51	32.02	56.14	83.00	67.50	45.00	buena
Encino	4.5 b	43 x 22	55.04	25.08	50.20	81.00	68.50	49.00	buena
Encino	6.7 c	62 x 31	57.44	19.88	32.43	68.00	64.50	49.00	buena
Guapinol	1.2 a	58 x 54	19.00	26.12	69.00	87.00	78.50	---	mala
Guapinol	1.2 aa	58 x 44	19.00	64.07	212.90	91.00	78.00	49.50	buena
Guapinol	4.5 b	60 x 45	19.00	68.17	236.90	89.00	68.50	46.00	buena
Guapinol	6.7 c	61 x 45	19.00	92.97	264.10	82.00	76.50	53.00	buena
Pino 1	1.2 a	39 x 37	---	15.01	46.09	63.00	62.00	47.30	---
Pino 1	4.5 b	42 x 37	54.27	13.16	42.19	54.00	52.50	44.60	buena
Pino 1	6.7 c	37 x 36	---	15.01	46.00	63.00	60.50	47.00	resinosa
Pino 2	1.2 a	54 x 28	69.28	11.95	21.10	37.00	37.50	41.30	buena
Pino 2	4.5 b	54 x 31	43.89	11.95	22.81	41.00	45.50	40.50	buena
Pino 2	6.7 c	54 x 27	49.65	11.95	21.90	46.00	45.00	41.50	buena
Guanac 1	1.2 a	34 x 28	95	17.80	116.15	64.35	28.50	28.00	buena
Guanac 1	4.5 b	34 x 29	95	17.80	94.20	63.25	46.45	43.00	mala
Guanac 1	6.7 c	36 x 30	95	17.80	163.30	61.60	24.00	23.00	buena
Guanac 2	1.2 a	35 x 26	95	6.21	22.26	35.20	33.50	31.00	buena
Guanac 2	4.7 b	36 x 27	95	8.81	30.26	39.60	36.50	34.80	regular
Guanac 2	5.6 c	37 x 29	95	14.69	53.76	47.30	42.50	39.00	mala
Guanac 2	5.6 cc	37 x 29	95	14.69	53.76	47.30	42.50	29.00	regular
Cedrillo	1.2 a	54 x 32	87	18.10	26.15	47.00	50.00	44.00	buena
Cedrillo	4.5 b	53 x 24	85	15.53	23.90	48.00	47.35	43.00	buena
Cedrillo	6.7 c	53 x 26	88	17.60	25.65	47.00	44.50	44.60	buena

**Cuadro N° 2.** Integración de la información de especies estudiadas.



En el cuadro 2 se incluye una repetición del proceso de calentamiento para pino y para guanacastle. Para el caso del pino, la primera prueba (pino 1) se realizó con periodos de calentamiento y temperaturas de corte mayores a los de pino 2, obteniéndose chapa de buena calidad en ambos casos, pero con mayor dificultad de corte en este último.

En el guanacastle la primera prueba se realizó en forma similar a como procesa esta especie la fábrica donde se efectuó el trabajo, obteniéndose chapa de mala calidad en la troza que se procesó a una mayor temperatura. La segunda prueba se realizó con menores tiempos de procesamiento y temperaturas más bajas, obteniéndose chapa de mejor calidad.

En el caso del guapinol, es conveniente resaltar el efecto del bajo contenido de humedad (CH), de 19%, además de la densidad de la madera, en el tiempo de acondicionamiento de los flitches. Se intentó obtener chapa a las 69 horas de procesamiento, siendo bastante difícil cortar la madera, por lo que se continuó con el calentamiento de los tres flitches por periodos mayores a 200 hs.

### **Tiempo de acondicionamiento de la madera en función de su densidad y contenido de humedad.**

Los tiempos óptimos de calentamiento de la madera para su ablandamiento previo a la etapa de rebanado, se analizan considerando la relación de la densidad y del contenido de humedad de la madera para obtener chapa de alta calidad.

En el cuadro 3, se observa que los mayores tiempos de acondicionamiento se aplicaron a las maderas de densidad alta (guapinol, encino y granadillo), los cuales fueron de 224 hs, 53 hs y 40 hs, respectivamente.

El tiempo indicado para guapinol corresponde a trozas de contenido de humedad muy bajo (19.0%). En la madera de densidad media (pino), el tiempo óptimo que se determinó fue de 32 horas y en las especies de densidad baja los requerimientos de tiempo de acondicionamiento fueron de 22 hs para guanacastle y de 25 hs para cedrillo.

Estos tiempos de calentamiento presentan semejanza con lo reportado por Fleischer *op. cit.*, Feihl *Ibidem*, Feihl y Godin *idem* y por Moreno y Devlieger *id.*, en el sentido de que las especies de mayor densidad requieren más tiempo de calentamiento.

Se aprecia también el tiempo de acondicionamiento en función del contenido de humedad inicial de la madera, se observa que a menor humedad se requiere de mayores tiempos de acondicionamiento, como se reportó en encino, guapinol y granadillo con un CH de 53%, 19% y 57% con tiempos de 53 hs, 224 hs y 40 hs, respectivamente.

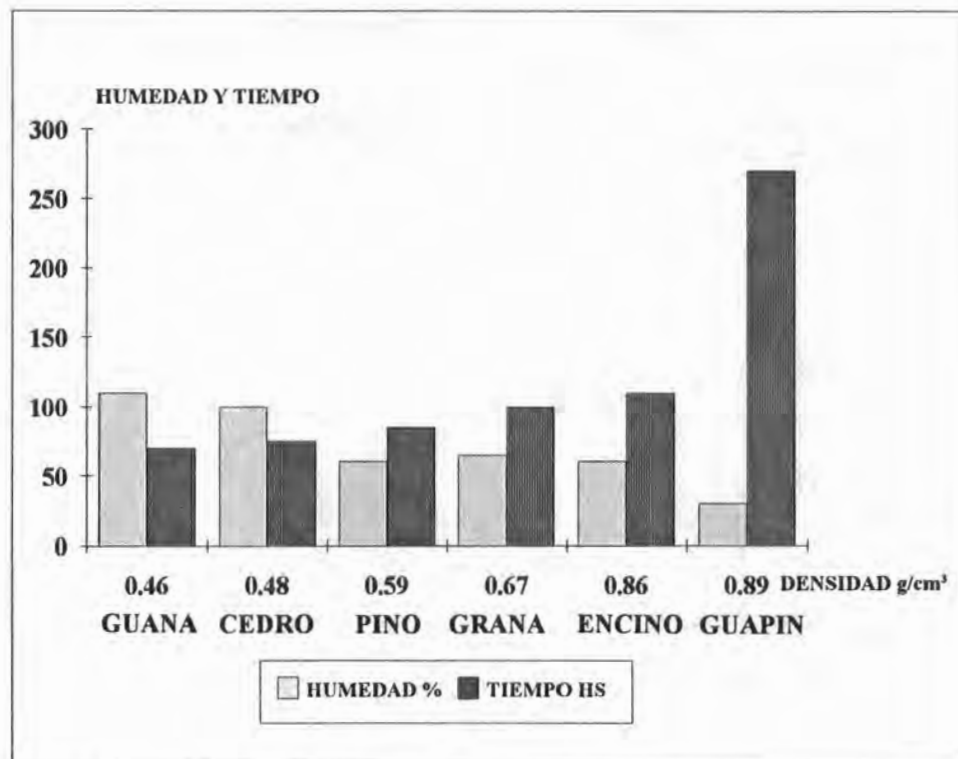
ESPECIE	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup> BS	HUMEDAD INICIAL %	TIEMPO DE CALENTAMIENTO (hs)	TIEMPO ÓPTIMO DE CALENTAMIENTO (hs)
Guapinol	0.89	19	212 a 264	224
Encino	0.86	53	33 a 56	53
Granadillo	0.67	58	37 a 44	40
Pino	0.59	54	23 a 42	33
Cedrillo	0.48	87	24 a 26	25
Guanacastle	0.46	95	22 a 163	22

B S = Base peso seco.

**Cuadro 3.** Relación entre la densidad y la humedad de la madera con el tiempo de acondicionamiento.

En contraste, las especies de mayor C H del grupo (guanacastle, y cedrillo), con 95% y 87%, requieren de menores tiempos de acondicionamiento; 22 hs y 25 hrs. En el mismo cuadro, se observa que para la madera de pino, con un C H de 54%, se determinó un tiempo óptimo de acondicionamiento de 32 hs.

Estos períodos de calentamiento relacionados con el contenido de humedad inicial en la madera presentan semejanzas con lo reportado por Fleischer *op. cit.*, y por Lutz *Ibidem*, quienes señalan menores tiempos de acondicionamiento conforme aumenta el C H de la madera y diferencias con lo reportado por Feihl *op. cit.*, quien señala mayores tiempos de calentamiento conforme se incrementa el contenido de humedad de la madera.



**Figura N° 3.** Tiempo de acondicionamiento en función de la densidad y contenido de humedad de la madera.

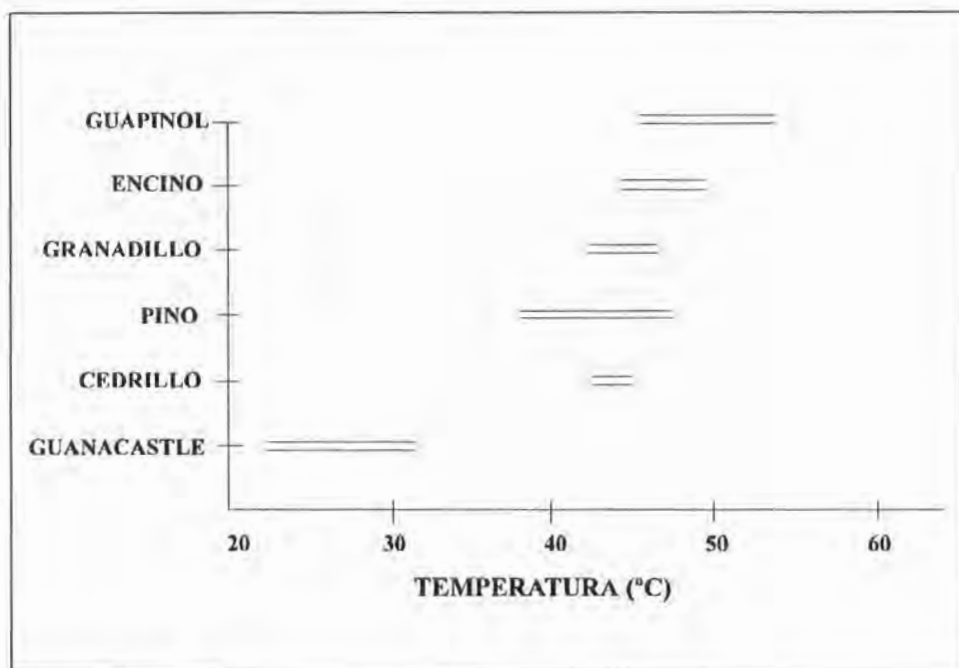
En la figura 3 se ilustra la interrelación del tiempo de acondicionamiento en función de la densidad y contenido de humedad de la madera de las especies estudiadas. Se observa que los mayores tiempos correspondieron a la madera de mayor densidad y a su vez a las maderas con menor contenido de humedad.

### Temperatura de la madera al momento del corte.

En lo que respecta a las temperaturas requeridas en la madera para obtener chapa de buena calidad, se determinó un rango de 43 °C a 46 °C para la especie de granadillo; de 45 °C a 49 °C para el encino; para el guapinol un rango de 46 °C a 53 °C; para el pino de

40 °C a 47 °C; para el guanacastle de 23 °C a 31 °C; y para el cedrillo de 43 °C a 44 °C (vid., figura 4).

Estas temperaturas de corte se obtuvieron mediante la determinación de la temperatura de la chapa al momento del rebanado.



**Figura N° 4.** Rangos de temperatura de la madera en los que se obtuvo chapa de buena calidad.

Las temperaturas de corte indicadas se encuentran dentro de los rangos reportados por Fleischer *op. cit.*, Palka *Ibidem*, por los coautores Feihl y Godin *idem*, Lutz *ibid*, Moreno y Espejel *id*, y por Zavala *ib.*

Es conveniente enfatizar que los tiempos de acondicionamiento señalados en el cuadro 3 y en la figura 3, se determinaron para la forma de trabajo de la fábrica donde se desarrolló el estudio, operando la caldera para abastecer de calor a los tanques de calentamiento únicamente de las 6 hs a las 22 hs. y con las temperaturas del agua indicadas en la figura 2.

Cualquier variación, tanto en tiempo efectivo de calentamiento del agua, como en su temperatura, seguramente modificará los tiempos de acondicionamiento requeridos para lograr la temperatura de corte deseada.

Bajo esta consideración se sugiere tomar como referencia las temperaturas óptimas de corte de las especies analizadas para obtener chapa de buena calidad (*vid*, figura 4), y el efecto de la temperatura y del tiempo de calentamiento utilizarlos como recomendación.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Del análisis de los resultados obtenidos en el acondicionamiento de los 24 cuadrados de las 6 especies estudiadas, se derivan las siguientes conclusiones:

1 La velocidad de transferencia de calor (V T C) en maderas de densidad semejante, es mayor en las de contenido de humedad más alto, requiriendo de menores tiempos de acondicionamiento.

2 Las maderas de alta densidad requirieron de mayores tiempos de acondicionamiento (40.25 hs a 53.17 hs) respecto a las maderas de menor densidad (22.26 hs a 25.02 hs).

3 Los tiempos óptimos de acondicionamiento determinados, fueron:

- Guanacastle	22.26 hs
- Cedrillo	25.02 hs
- Pino	32.50 hs
- Granadillo	40.25 hs
- Encino	53.17 hs
- Guapinol	224.54 hs (esta última con CH = 19.0%).

4 Las temperaturas óptimas de corte para obtener chapa de buena calidad fueron las siguientes:

- Guanacastle	27.00 °C
- Cedrillo	43.86 °C
- Pino	43.04 °C
- Granadillo	44.83 °C
- Encino	47.66 °C
- Guapinol	47.75 °C.

5 Se recomienda que para procesos de ablandamiento de trocería donde cambien las condiciones de trabajo de las fábricas en cuanto a horas efectivas de trabajo de la caldera y temperaturas de calentamiento del agua, se utilicen como referencia las temperaturas de corte señaladas en el inciso anterior, para obtener chapa de buena calidad.

Para futuros trabajos experimentales complementarios del presente estudio se sugiere:

1 Instalar un sistema automático de control de la temperatura del agua de acondicionamiento, mediante válvulas reguladoras del flujo de aceite térmico o de vapor a los tanques de calentamiento, conectadas a un termostato electrónico digital programable.

2 Implementar el registro continuo de las temperaturas de la madera y del agua, mediante la automatización del equipo, utilizando sistemas de cómputo o un graficador de tinta

3 Utilizar un termómetro eléctrico con termopares de tipo aguja para la determinación de la temperatura de corte, tomando la lectura directamente de la troza o cuadrado durante el torneado o rebanado.

## BIBLIOGRAFÍA.

American Society for Testing and Materials. 1977<sup>a</sup>. "Standard test methods for moisture content of wood". D. 2016-74. (Annual Book of A S T M Standars). Madison U S A. pp. 596 - 611.

American Society for Testing and Materials. 1977<sup>b</sup>. "Standard test methods for specific gravity of wood-base materiales". D. 2395-69. (Annual Book of A S T M Standars). Madison U S A. pp. 696-706.

Baldwin, F. R. 1975. Plywood manufacturing practices. Miller Freeman Publications, Inc. U S A. 260 p.

Feihl, O. 1971. Heating frozen and nonfrozen veneer logs. Dep Env. Can For Serv. East. For Prod Lab. Canada. 50 p.

Feihl, O. and Godin, V. 1975. Heating veneer logs. A practical guide. Can For Serv. Technical Report N° 9, Ottawa, Ontario. Canada. 20 p.

- Fleischer, H. O. 1959. Heating rates for logs, bolts and flitches to be cut into veneer. U S D A. For Prod Lab. For Serv. Div Tim Proc. Report. N° 2149. Wisconsin. U S A. 18 p.
- Kollmann, F. F. and Kuenzi, E. W. 1975. Principles of wood science and technology II. Springer Verlag. New York. 703 p.
- Lutz, J. F. 1960. Heating veneer bolts to improve quality of Douglas-fir plywood. U S D A. Forest Service. Forest Products Lab. Madison, Wisconsin. U S A. Report N° 2182. 20 p.
- Lutz, J. F.; Mergen, A. and Pazner, H. 1967. Effect of moisture content and speed of cut on quality of rotary-cut veneer. U S D A. Forest Service. Forest Products Lab. Madison Wisconsin. Research Paper FPL-0176. 13 p.
- Lutz, J. F. 1971. Wood and log characteristics affecting veneer production. U S D A. Forest Service. Forest Products Lab. Madison Wisconsin. Research Paper FPL 255. 31 p.
- Lutz, J. F. 1972. Veneer species that grow in the United States. U S D A. Forest Service. FPL 167. 127 p.
- Lutz, J. F. 1974. Techniques for peeling, slicing, and drying veneer. U S D A. Forest Service. Forest Products Lab. Madison Wisconsin. Research Paper FPL 228. 64 p.
- Lutz, J. F. and Patzer, R. A. 1976. Spin-out of veneer blocks during rotary cutting of veneer. U S D A. Forest Service. Forest Products Lab. Madison Wisconsin. Research Paper FPL 276. 23 p.
- Lutz, J. F. 1978. Wood veneer: log selection, cutting, and drying. U S D A. Forest Service. Technical Bulletin. N° 1 577. 137 p.
- Moreno, M. R. y Devlieger, S. F. S/F Influencia de los factores de la madera y de las condiciones del macerado en el tiempo de calentamiento de las trozas. Universidad Austral de Chile. Facultad Ciencias Forestales y Facultad de Ciencias Ingenieriles. Valdivia, Chile.
- Moreno, Z. C. y Espejel, E. A. L. 1983. Rendimiento y proceso de fabricación de tableros contrachapados. Compañía Forestal de Chiapas S A. Tesis Profesional. Departamento de Bosques, Universidad Autónoma Chapingo. México. 97 p.

- Mortensen, A. W. 1974. "Block conditioning methods for improve panel yield. Modern plywood techniques". *In: Proceedings of the Second Plywood Clinic. Vol 2. New Orleans, Lousiana. U S A. pp. 27-46.*
- Palka, L. C. 1974. Veneer cutting review-factors affecting and models describing the process. Report. VP-X-135 Dep Env Can. For Serv. West For Prod Lab. Canada. 54 p.
- Peters, C. W. 1974. Peeler block preconditioning. *In: Proceeding of the modern plywood techniques. Vol 1. Ed Humbert G Lambert. Portland. U S A. 160 p.*
- Robles, G, F. 1978. Propiedades y uso de 14 especies de maderas tropicales de rápido crecimiento del Campo Experimental Forestal El Tormento. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. S A R H. México. Revista Ciencia Forestal. Vol 3. N° 16.
- Walser, D. F. 1974. "Steam-injection knife improves veneer quality". *For Prod Journal. Vol 24. N° 9. pp. 70-79.*
- Zavala, Z, D. 1991. "Diagnóstico de la industria de tableros contrachapados en el área metropolitana del D F". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. S A R H. México. Revista Ciencia Forestal en México. Vol 15. N° 68. pp. 61-83.