



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Efecto del vaporizado final  
en las tensiones de la madera aserrada, en *Pinus  
radiata***

Profesor Patrocinante: Sr. Roberto Juacida P.

Trabajo de Titulación presentado  
como parte de los requisitos para optar  
al Título de **Ingeniero en Maderas**.

**Derico Alejandro Cofre Barrientos**

Valdivia Chile 2003

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Roberto Juacida P.	6,0
Informante:	Sr. Alfredo Aguilera L.	5,2
Informante:	Sr. Héctor Cuevas D.	5,5

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

---

Sr. Roberto Juacida P.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por su apoyo constante y confianza en todo.

Por todos los consejos y ayuda entregada doy las gracias a mi profesor guía Sr. Roberto Juacida, a los profesores informantes Sr. Alfredo Aguilera y Sr Héctor Cuevas, profesores el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile.

Por último quiero agradecer a Aserraderos Arauco S.A. por darme la oportunidad de desarrollar el presente trabajo, en especial a los operadores de secado: Aldo, Dagoberto, Jaime, Rurik, Saúl, y también a los Jefes de secado Cristian Smith y Saúl Espinoza.

## INDICE DE MATERIAS

	<b>Página</b>
1. INTRODUCCION	1
2. MARCO TEORICO	2
2.1 Secado artificial de la madera	2
2.2 Factores que influyen en el secado de la madera	2
2.3 Calidad del secado	3
2.4 Fallas del secado	4
2.5 Tensiones de la madera	5
2.6 Vaporizado final o acondicionamiento	6
3. DISEÑO DE INVESTIGACION	7
3.1 Material	7
3.1.1 Madera	7
3.1.2 Equipo e instrumental	7
3.2 Método	8
3.2.1 Programa de secado	8
3.2.2 Variables de vaporizado	9
3.2.3 Medición del contenido de humedad	11
3.2.4 Preparación de los tenedores y piezas de ensayo	12
3.2.5 Análisis de los resultados	15
4. RESULTADOS Y DISCUSION	17
4.1 Resultados y análisis	17
5. CONCLUSIONES	23
BIBLIOGRAFIA	25
ANEXOS	
Anexo 1: Abstract	
Anexo 2: Resultado del vaporizado final de 5 horas	
Anexo 3: Análisis de los resultados	

## RESUMEN EJECUTIVO

Se estudia el efecto del vaporizado aplicado en la etapa final del secado artificial de madera aserrada de *Pinus radiata* y su implicancia sobre las tensiones internas.

Se sometió la madera a 16 distintos tratamientos donde se analizaron los factores: ventilación, temperatura, tiempo de vaporizado, y período de enfriamiento intermedio en cuatro niveles cada uno.

La metodología consistió en someter la madera aserrada a un proceso de secado artificial estandar y común y posteriormente a una condición especial de vaporizado de acuerdo a las variables consideradas. Después de un período de enfriamiento que varió entre 8 y 10 horas se midieron las tensiones transversales, longitudinales a  $T = 0$  y después de 48 horas ( $T = 48$ ).

Las tensiones fueron medidas según procedimiento establecido por Aserraderos Arauco S.A. El análisis de los resultados de determinó con un diseño factorial Taguchi.

En el análisis de los resultados la temperatura fue el factor más determinante en el grado de tensión, tanto transversal como longitudinal.

Los tratamientos 12 y 4 del estudio, fueron los mejores para la obtención de madera menos tensionada.

Las mejores combinaciones que aminoran las tensiones transversal y longitudinal fueron: Sin ventilación y el primer paso, con ventilación en el segundo paso; Temperaturas de bulbo húmedo y seco de 90/90 para el primer paso; Duración primer paso de 2 horas; Sin enfriamiento intermedio; Temperaturas de bulbo húmedo y seco de 95/95 para el segundo paso. Sin ventilación en el primer paso, con ventilación en el segundo paso; Temperaturas de bulbo húmedo y seco de 95/95 para el primer paso; Duración primer paso de 2,5 horas; Enfriamiento intermedio de 1,5 horas; Temperaturas de bulbo húmedo y seco de 95/95 para el segundo paso.

Palabras Claves: Enfriamiento, *Pinus radiata*, Tensión, Vaporizado.

## 1. INTRODUCCION

La calidad final de la madera aserrada seca para la confección de distintos productos, está condicionada por la calidad propia de la madera, proveniente de los bosques y por la del proceso de secado.

La calidad de los trozos tiene una gran dependencia de la silvicultura y manejo aplicados durante la generación y crecimiento del bosque, y la calidad del secado depende del acertado manejo de las variables de los procesos.

La madera aserrada y secada artificialmente, mejora sus propiedades físico-mecánicas y su estabilidad dimensional, facilitando todos los procesos posteriores de transformación, hasta llegar a generar en el producto, alto valor agregado.

El control de calidad de la madera aserrada debe realizarse antes, durante y después del proceso de secado.

Una de las fases importantes durante el proceso de secado artificial corresponde a los períodos de vaporización, que otorgan homogenización en el contenido de humedad de la madera. La vaporización se aplica al inicio y al final del proceso. Al inicio para lograr una distribución uniforme del contenido de humedad y al final para estabilizar la madera y liberar sus tensiones en el rango de humedad de uso.

El presente estudio surge por la necesidad de mejorar la calidad de la madera aserrada seca obtenida a partir del proceso de secado artificial, específicamente la calidad ligada a las tensiones generadas al término del proceso, las cuales son perjudiciales para los posteriores procesos de transformación.

Teniendo presente la necesidad de obtención de una madera libre de tensiones y, para contribuir en el logro de la meta fijada, es que se han propuesto una serie de objetivos, los cuales son base esencial para la obtención de los resultados esperados.

Por lo anterior, el objetivo general del estudio es evaluar la tensión remanente de la madera aserrada de *Pinus radiata*, correspondiente al producto "Shop 5/4" (madera aserrada ancho variable y de 38-40 mm de espesor).

Por último, como objetivos específicos del presente trabajo se ha fijado medir y comparar el grado de tensiones transversales y longitudinales en un número de 16 tratamientos de vaporizado final, cuyo tiempo será constante, con diferentes condiciones de ventilación, enfriamiento intermedio, y temperaturas de bulbo seco – bulbo húmedo y, determinar las mejores condiciones de vaporizado final en función de los resultados obtenidos relacionados con las tensiones obtenidas.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1 Secado artificial de la madera**

El secado artificial de la madera es un proceso que permite disminuir el contenido de humedad de la madera aserrada a un contenido final deseado, en donde participan simultáneamente mecanismos de transferencia de calor y de materia, produciendo la evaporación de humedad del interior de la madera (INFOR, 1999).

El secado en cámara ofrece una serie de ventajas para la utilización final de las maderas, estos beneficios se traduce en lo siguiente: se disminuyen los costos de transporte al llevar un menor peso para un mismo volumen; mejora de la resistencias, salvo la resistencia al impacto o choque; mejora la capacidad para resistir el ataque de hongos y algunas especies de insectos; después de haber sido secada hasta los niveles deseados, la madera es más estable respecto a los cambios de dimensiones que puede sufrir por modificación de la humedad en el aire que la rodea; un adecuado contenido de humedad final y una buena estabilidad dimensional, garantizan otros procesos, por ejemplo para recibir la aplicación de adhesivos o productos de terminación como pinturas y barnices (Tuset y Durán, 1979).

### **2.2 Factores que influyen en el secado de la madera**

Existen una serie de factores que influyen en el proceso de secado, ya sea en la velocidad del proceso y en la calidad del producto final.

Los factores del proceso son los siguientes:

- **Temperatura:** es un factor que influye en la velocidad de la evaporación. Cuando mas elevada es la temperatura más intensa es la evaporación, y estimula la difusión del agua (Juacida *et al.*, 1992).
- **Humedad relativa:** cuando menos es la humedad relativa del aire mayor capacidad de absorción tendrá, viéndose favorecida la velocidad de evaporación. Por esto, al disminuir la humedad relativa del aire se acelera el secado de la madera, (Juacida *et al.*, 1992).
- **Velocidad del aire:** la velocidad del aire tiene una gran influencia en las primeras etapas de secado. En la segunda etapa de secado, conforme el frente de evaporación se interioriza en la madera la influencia de la velocidad del aire disminuye (Álvarez y Fernández-Golfín, 1992).

Los factores de la medara son los siguientes:

- Especie: hay maderas que por una serie de características específicas (densidad, contracciones, médula) pueden ser colocadas en condiciones de secado rápido sin que aparezcan defectos; otros en cambio, requieren de un secado lento para evitar la aparición de defectos (Tuset y Durán, 1979).
- La densidad: tiene una gran influencia en el ritmo de secado de la madera aserrada, ya que al tratarse de una madera de alta densidad se tendrá que atravesar una mayor cantidad de masa celular, es decir, los tabiques celulares son más gruesos (Álvarez y Fernández-Golfín, 1992).
- Tipo de corte: en una misma especie y suponiendo iguales dimensiones, las piezas aserradas radiales secan mas lentamente que las aserradas con caras tangenciales (Tuset y Durán, 1979).
- Espesor: en una misma especie, las piezas de poco espesor secarán más rápidamente que los de mucho espesor (Tuset y Durán, 1979).

### **2.3 Calidad del secado**

Cada vez el mercado requiere de una mejor calidad en los productos derivados de la industria maderera, por lo cual es necesario gestionar eficientemente y eficazmente los recursos y los procesos productivos.

El secado de la madera forma parte de una serie de procesos que participan en la transformación de la madera, y como todo proceso, es determinante en la calidad del producto final. Por lo anterior, Álvarez y Fernández-Golfín (1992) definen la calidad del secado como las propiedades y los posibles defectos presentes en la madera seca como consecuencia del proceso de secado. También explican que esta calidad está influenciada por las características de calidad de la madera que se va a secar.

De igual manera Juacida e Inzunza (1990), mencionan que la calidad final de la madera esta determinada por las deformaciones y defectos que se puedan originar por la elección de un tratamiento de secado.

La calidad del secado esta influenciada por los atributos propios de la madera y por las características del secado como: contenido de humedad final; Variación del contenido de humedad tanto dentro de cada tabla como dentro de la pila; Tensiones de secado; Grietas superficiales, internas y de testa; Colapso; Diferentes tipos de deformaciones y cambios de color o Manchas (Fuentes, 1994).

## 2.4 Fallas de secado

Los defectos del secado se deben a un variado número de factores que pueden ser atribuidos a la calidad de la madera o a las variables que son manejadas en el proceso, las cuales influyen directamente en la calidad final de la madera seca.

Las principales consecuencias que se producen al desarrollar un mal proceso de secado son las que a continuación se verá:

- Grietas y rajaduras: estos defectos de secado son atribuidos a diferencias de contracción producidas en las capas internas y externas de la madera aserrada; entre madera normal y madera de reacción y/o entre los distintos planos de la pieza de madera.

Durante el secado las capas externas son las que más rápido se secan y por ende, son las que primero alcanzan el punto de saturación de las fibras (PSF), por lo que comienzan a contraerse primero que las capas internas, que aún se encuentran húmedas. Las capas internas al permanecer más húmedas, todavía no muestran alteraciones dimensionales, estas capas se opondrán a la contracción de las capas superiores, produciendo tensiones perpendiculares o transversales a la dirección de las fibras; de tracción en la superficie y de compresión en la zona interior de la pieza de madera (Barría, 2000).

- Endurecimiento superficial: se produce como consecuencia de fuertes gradientes de humedad entre las capas externas e internas, al secarse en forma brusca la capa superior se está interrumpiendo el flujo de agua. Este efecto es producido en las primeras etapas de secado a consecuencia de una elevada temperatura o baja humedad relativa (Barría, 2000).
- Alabeos: se pueden dar por la diferencia de contracción en la madera causada por el tipo de corte. Por otro lado, existen otras causas atribuibles a la dirección del grano de la madera si es madera juvenil, de reacción y encastillamientos defectuosos (Barría, 2000).
- Colapso: es originado por la tensión capilar ejercida sobre las paredes celulares al desaparecer el agua libre en las cavidades, teniendo lugar en las primeras etapas de secado cuando la madera está todavía muy húmeda. Este defecto se genera cuando la temperatura es demasiado elevada, lo que provoca la plastificación de las paredes celulares. La solución consiste en mantener una temperatura baja antes de llegar al PSF (Álvarez y Fernández-Golfín, 1992).

Nutsch (2000) define colapso como una contracción celular irregular y de magnitud no deseada, sobre todo de las maderas que contienen mucha agua. Por la temperatura de secado demasiado elevada y un proceso demasiado

rápido pueden aparecer además fuertes roturas celulares. El defecto se puede disminuir mediante la aplicación de vaporizado adicional.

## 2.5 Tensiones de la madera

La expresión madera tensionada comprende todos los síntomas que son causados por gradientes de humedad que se crean en el interior de la madera durante el proceso de secado. Incluye la disminución aparente de la permeabilidad (al flujo de salida) debida al secado de la capa superficial y muy especialmente al desarrollo de tensiones de secado que pueden permanecer en la madera aún después que el secado ha finalizado (Álvarez y Fernández-Golfín, 1992)

El secado demasiado rápido producirá defectos (principalmente colapso en maderas densas y gruesas) que no siempre es posible eliminarlos. Cuando la superficie alcanza el punto de saturación de la fibra (PSF) y el interior aún está sobre él, comienza a desarrollarse una condición de esfuerzo debido a que el exterior disminuye su dimensión (contracción), pero no lo puede hacer al máximo debido a que el interior se lo impide. Se dice aquí, que las capas secas del exterior están forzadas y en estado de tensión o tracción (Peredo *et al.*, 1985).

Las tensiones de secado pueden producir deformaciones de la madera cuando ésta se elabora para su aplicación final. Estas tensiones pueden comprobarse aserrando una delgada lámina de madera en franjas angostas mediante una sierra huincha. Mientras mayores sean las tensiones, mayor será el arqueamiento de estas franjas.

Ratificando lo anterior, Torres (1991), con respecto al uso, confirma que si el uso final significa partir la madera en su espesor o ancho, producir molduras o efectuar algún tipo de desbaste, se rompe el equilibrio de tensiones internas, y la madera, inevitablemente, sufre deformaciones que la desclasifican para el destino final programado.

En relación a la evaluación de las tensiones de la madera, existe una forma sencilla de determinar o visualizar el grado de tensión que pueda tener determinada carga de madera a controlar a través de la elaboración de tenedores de tensión, los cuales son extraídos de zonas de una pieza de madera especificada por norma, y pueden ser elaborados con dos o cuatro pinzas.

En la evaluación de la tensión de la madera, si al momento del corte, las pinzas externas del tenedor se curvan hacia adentro esto es una indicación de que la madera tiene esfuerzos de compresión en la superficie de la pieza y de tracción en el interior. El tratamiento de acondicionamiento debe continuar.

Si las pinzas se mantienen rectas o muy ligeramente curvadas hacia afuera, la madera está prácticamente libre de esfuerzos y el secado se da por concluido.

Finalmente, si las pinzas del tenedor se curvan visiblemente hacia afuera, los esfuerzos se han invertido, la superficie de la pieza está bajo tracción y el interior en compresión. Esto indica un exceso de humedad de la madera durante el acondicionamiento (BOLFOR, 1998).

## **2.6 Vaporizado final o acondicionamiento**

Las tensiones de la madera secada en cámara influyen negativamente en la elaboración o mecanización posterior a las piezas de madera, si no se ha realizado la operación de acondicionamiento o si esta se ha realizado de forma incorrecta.

El vaporizado se entiende como la aplicación de vapor saturado a presión reducida a la cámara de secado, y según el trabajo de Barría (2000), dice que el vaporizado es el más simple de los métodos empleados y el de mayor potencial de uso industrial.

Según Torres (1991), para reducir la condición de tensión, es conveniente realizar un proceso de acondicionamiento al final del ciclo de secado, con el objeto de generar en la periferia de la madera una contracción permanente que neutralice su estado de compresión.

De igual forma, Álvarez y Fernández-Golfín (1992), concluyen que las tensiones de la madera generadas en el proceso de secado pueden ser eliminadas mediante el acondicionamiento. Este consiste en la aplicación de elevadas temperaturas y humedades relativas, de forma que al rehumidificarse las capas superficiales se plastifica la madera en cierto grado, con lo que se liberan las tensiones generadas.

Guerrero (1997) en su estudio sobre el secado de la madera juvenil de Pino radiata dice que el condicionamiento se logra por la adición rápida de humedad a las tablas mientras la madera está tibia. Esta humectación debe hacerse rápidamente, o el beneficio será pequeño y el efecto final será un aumento no deseado del contenido de humedad y no un alivio de las tensiones. Mientras más caliente esté la madera, el alivio de las tensiones será mayor.

Según el mismo autor, cuenta que en la práctica existen dos caminos para aliviar las tensiones: uno – aumentando la temperatura en 5 a 10 °C sobre la máxima temperatura del programa de secado y aumentando la H.R. a un 95 % por un plazo definido de tiempo, dependiendo del grado de alivio de tensión deseado, del espesor de las tablas – otro – aumentando la temperatura en 5 a 10 °C y aumentando la humedad relativa (H.R.) del clima a un valor tal que el contenido de humedad (C.H.) sea de 3 % sobre el C.H. de la superficie de las tablas, este proceso a lo menos toma 3 veces el tiempo necesario para el proceso anterior.

### **3. DISEÑO DE INVESTIGACION**

En el presente capítulo se describirá el material empleado, el equipamiento y los procedimientos para la realización del trabajo.

#### **3.1 Material**

En primer lugar se dará a conocer el tipo de productos con los cuales se realizaron los ensayos de tensiones, los cuales fueron sometidos a un secado convencional acelerado y un vaporizado final, y se describirá el equipo e instrumentos utilizados para efectuar dichos ensayos.

##### *3.1.1 Madera*

Se trabajó con 192 piezas de madera aserrada de pino insigne. Esta madera corresponde al producto "Shop 5/4", que es una madera lateral, de ancho variable, y espesor de 38-40 mm.

##### *3.1.2 Equipo e instrumental*

El equipo que se utilizó es el que se encuentra disponible en el área de secado de Aserraderos Arauco, planta Valdivia.

La madera fue tratada en cámara convencional acelerada marca Hildebrand, con una capacidad de 100 m<sup>3</sup>, con un espacio interior de 21 m de largo, por 4,4 m de ancho y 6,6 m de alto (4,9 m son utilizables). Una tina lateral que tiene un nivel de agua constante, con capacidad de 4.200 lt., que sirve para las etapas de calentamiento y acondicionamiento de la madera, la cual es calentada mediante vapor saturado que pasa por un serpentín sumergido en el agua. Posee 8 radiadores o intercambiadores de calor que calientan la cámara por electro ventiladores. También 8 ventiladores que generan una velocidad del aire de 5 m/s. Estos ventiladores cambian el sentido de giro cada 12 h (cuando se seca una madera lateral). Para evitar pérdidas de energía 4 deflectores horizontales y 2 deflectores verticales. También 8 ventilas ubicadas en el techo de la cámara.

Para realizar las mediciones y preparación de muestras se utilizó el siguiente equipo: pie de metro digital con precisión de 0,1 mm; xilohigrómetro digital Wagner L612; sierra circular (selectiva) y sierra huincha.

### 3.2 Método

Básicamente consistió en someter a ensayos de tensión, mediante los procedimientos de medición de contenido de humedad, y tensiones transversal y longitudinal establecidos por las plantas de secado de Aserraderos Arauco a madera aserrada de pino insigne del producto Shop 5/4 secado en cámara convencional acelerada mediante un proceso constante y posteriormente sometido distintas condiciones de vaporizado final, realizando una primera medición (T = 0) después de un tiempo de 10 horas de enfriamiento de la carga, para después de un tiempo de 48 horas (T = 48) volver a hacer la misma medición .

El número de muestras que se decidió seleccionar, fue en función del tiempo requerido para realizar el trabajo, su característica destructiva, y un único ejecutante.

#### 3.2.1 Programa de secado

El programa de secado al que se sometieron las 16 cargas del producto shop 5/4 de 38-40 milímetros fue el de 90/60 (bulbo seco – bulbo húmedo respectivamente). Este programa se resume en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Programa de secado 90/60.

	Tiempo (hrs.)	BS (C°)	BH (C°)
Calentamiento	2	85	85
Secado	41	90	60
Acondicionado	5	85	85

### 3.2.2 Variables de vaporizado

Cada una de las cargas fueron sometidas a diferentes condiciones de vaporizado, estas condiciones de vaporizado estuvieron dadas por una serie de combinaciones previamente establecidas, las cuales se resumen en los siguientes cuadros:

Cuadro 2. Factores y niveles de acondicionado.

Factores		Niveles			
		1	2	3	4
1	Ventilación (m/s)	CON	SIN	SIN/CON	CON/SIN
2	Primer paso (C°, BS/BH)	85/85	90/90	95/95	98/98
3	Tiempo primer paso (Horas)	1	1,5	2,0	2,5
4	Tiempo de enfriamiento intermedio (Horas)	0	0,5	1	1,5
5	Segundo paso (C°, BS/BH)	85/85	90/90	95/95	98/98

Tiempo de acondicionado: 5 h

Velocidad de ventilación: 5 m/s.

Enfriamiento intermedio, 0 minuto significa continuo

**CON:** Con ventiladores durante todo el vaporizado.

**SIN:** Sin ventiladores durante todo el vaporizado.

**SIN/CON:** Sin ventiladores en el primer paso y con ventiladores en el segundo paso.

**CON/SIN:** Con ventiladores en el primer paso y sin ventiladores en el segundo paso.

**BS** = Bulbo seco

**BH** = Bulbo húmedo

**BS/BH** = Bulbo seco / Bulbo húmedo.

El siguiente cuadro, es una matriz experimental que muestra un total de 16 tratamientos de vaporizado o acondicionamiento final. En cada uno de ellos se combinan los factores y niveles del ensayo (descritos en cuadro 2).

Cuadro 3. Matriz experimental: diferentes tratamientos.

Tratamiento	Ventilación	1° Vaporizado		Enfriamiento	2° Vaporizado	
	(m/s.)	BS/BH (C°)	(Horas)	(Horas)	BS/BH (C°)	(Horas)
1	CON	85/85	1	0	85/85	4
2	CON	90/90	1,5	0,5	90/90	3
3	CON	95/95	2,0	1	95/95	2
4	CON	98/98	2,5	1,5	98/98	1
5	SIN	85/85	1,5	1	98/98	2,5
6	SIN	90/90	1	1,5	95/95	2,5
7	SIN	95/95	2,5	0	90/90	2,5
8	SIN	98/98	2,0	0,5	85/85	2,5
9	SIN/CON	85/85	2,0	1,5	90/90	1,5
10	SIN/CON	90/90	2,5	1	85/85	1,5
11	SIN/CON	95/95	1	0,5	98/98	3,5
12	SIN/CON	98/98	1,5	0	95/95	3,5
13	CON/SIN	85/85	2,5	0,5	95/95	2
14	CON/SIN	90/90	2,0	0	98/98	3
15	CON/SIN	95/95	1,5	1,5	85/85	2
16	CON/SIN	98/98	1	1	90/90	3

Una vez aplicados dichos tratamientos se procedió a medir las tensiones transversales y tensiones longitudinales, para lo cual se obtuvo de 16 cargas de secado (ya sometidas a las condiciones descritas anteriormente) un total de 192 piezas de madera, y de cada una de las cargas se eligieron 12 piezas al azar de madera ubicadas en los contornos y centro de la carga, procurando que ellas estuvieran libres de nudos y de otras anomalías. De las 12 piezas de madera se destinaron 6 para realizar los ensayos de tensión transversal y longitudinal respectivamente.

Una vez sacadas las 12 piezas de cada carga, se les identificó con una letra “C<sub>i</sub>” que representará el número de carga; una letra “N<sub>j</sub>” representará el número de la probeta o pieza.

Después de ser identificadas las piezas se midió el contenido de humedad final, después se prepararon las piezas de ensayo para determinar las correspondientes tensiones.

### 3.2.3 Medición del contenido de humedad

Una vez seleccionadas las piezas de madera, se procedió a medir el contenido de humedad final de acuerdo a las normas de Aserraderos Arauco.

En primer lugar se procederá a medir el contenido de humedad en tres puntos de cada una de las piezas de madera seleccionadas (figura 1). Dos puntos en los extremos y un punto en el centro, los primeros ubicados a más de 30 cm de los extremos, luego se promediaron los tres valores (Cuadro 4) para obtener el contenido de humedad promedio de la pieza (A.A.S.A., 2002).

Al realizar las mediciones, se tuvo presente que no se debe medir contenido de humedad de una pieza sobre otra, ya que las ondas de lectura del instrumento traspasan más de 2 pulg., lo que hubiera afectado la lectura de la medición, por lo cual se midió sobre separadores y además se evitó medir sobre nudos, bolsas de resina, partículas, etc.

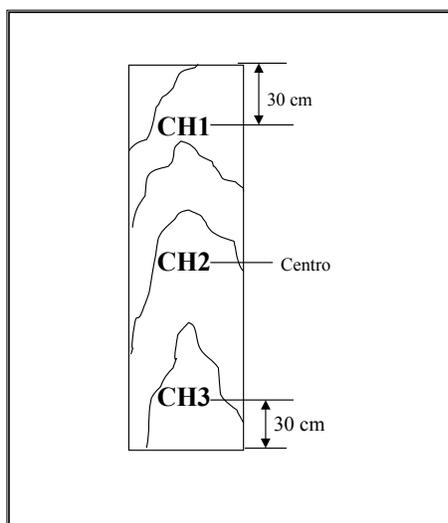


Figura 1. Puntos de medición del contenido de humedad.

Cuadro 4. Determinación del contenido de humedad.

$$CH = \frac{CH1+CH2+CH3}{3}$$

### 3.2.4 Preparación de los tenedores y piezas de ensayo

A partir de cada una de las piezas seleccionadas para este ensayo, se procedió a elaborar los tenedores y piezas que sirvieron para medir las tensiones transversales y longitudinales respectivamente.

Para la medición de la tensión transversal se hizo una probeta tipo tenedor de 2 dientes (figura 3). Este tenedor se obtendrá a 30 cm de un extremo de la pieza, cuyo ancho fue proporcional a la pieza de madera, en este caso se fijó un ancho de 4 centímetros (figura 2).

Los tenedores serán numerados de N1 a N6.

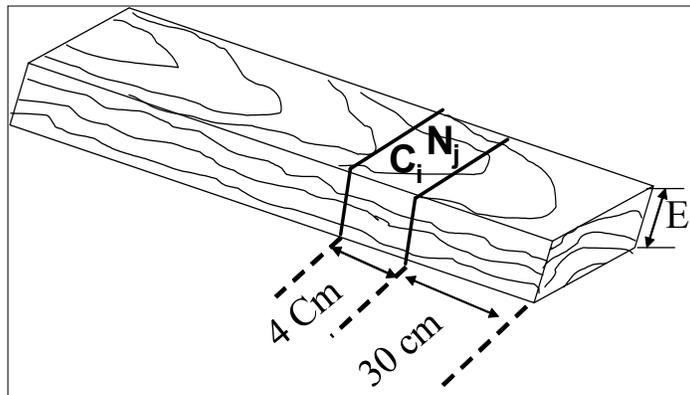


Figura 2. Identificación y marcación de zona de obtención del tenedor de tensión.

Las dimensiones del tenedor de tensión transversal están dadas básicamente en función del ancho y espesor de cada una de las piezas de madera (figura 3).

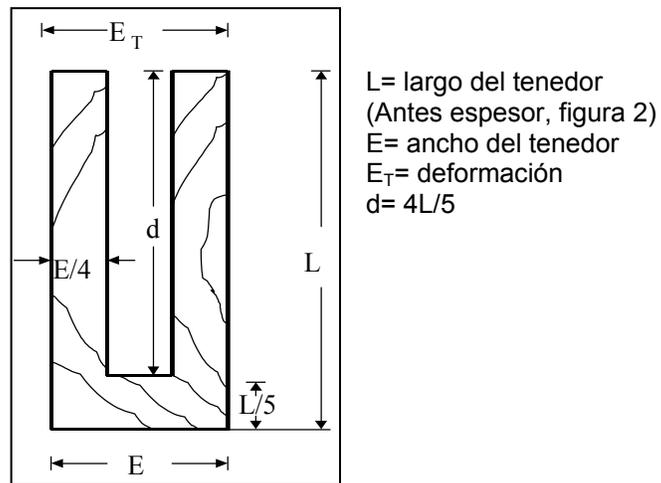


Figura 3. Tenedor de tensión transversal

El cuadro 5, muestra la fórmula que entregará el índice de tensión transversal, y está dada en función del ancho del tenedor ( $E$ ), la deformación ( $E_T$ ), y el largo del tenedor ( $d = L/5$ ).

Cuadro 5. Fórmula para determinación del índice de tensión transversal.

$$T = \left| \frac{E - E_T}{d^2} \right| \times 10000$$

$E, E_T, d$  en milímetros (mm).

Para la medición de la tensión longitudinal, lo primero que se hizo fue identificar cada una de las 6 piezas de madera.

En este caso no se elaboró una probeta tipo tenedor, sino que se hizo un corte por la mitad a cada una de las tablas (A.A.S.A., 2002). Hecho esto, se procedió a medir la tensión.

Las piezas se numerarán de N7 a N12.

La figura 4, muestra la forma en que se cortaron todas las piezas que se sometieron a la medición de la tensión longitudinal, las que se cortaron en la máquina selectiva del área de remanufactura de esta empresa.

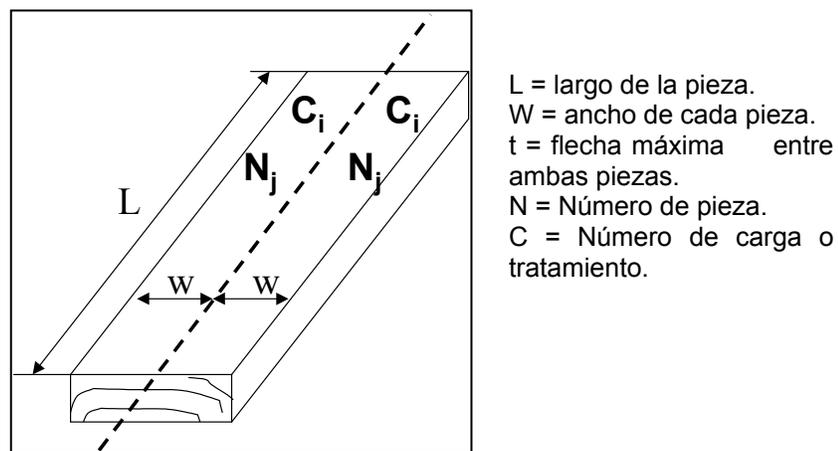


Figura 4. Identificación y marcación de la pieza de madera a medir.

La figura 5, muestra la forma en que se midió la tensión longitudinal, indicando las zonas donde se tomó lectura.

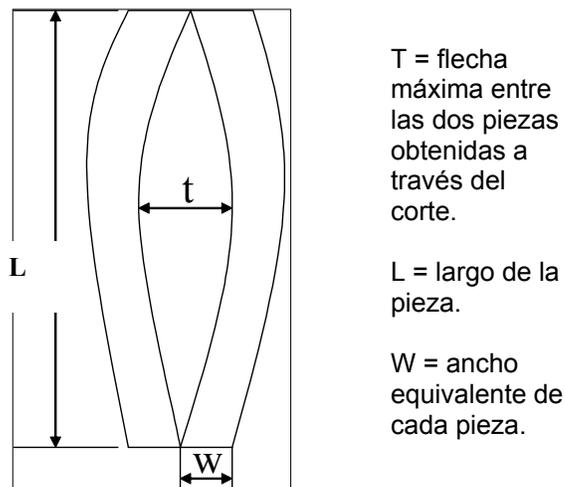


Figura 5. Medición de tensión longitudinal

El cuadro 6, presenta la fórmula empleada para determinar el índice de tensión longitudinal, el que está en función del ancho de las piezas cortadas (W), la flecha máxima entre las piezas obtenidas a través del corte (t), y el largo de la pieza (L).

Cuadro 6. Fórmula para determinación del índice de tensión longitudinal.

$$T = 0,1 \frac{W t}{L^2}$$

W en milímetros (mm)  
L en metros (m)  
T en milímetros (mm)

### 3.2.5 Análisis de los resultados

Cada uno de los tratamientos fue evaluado a través del índice de tensión obtenido mediante las fórmulas mostradas en los cuadros 5 y 6 respectivamente. El valor del índice estará dado en función de las dimensiones de los tenedores (E = Ancho del tenedor;  $E_T$  = Deformación; d = Largo de las pinzas) y piezas de madera cortadas (L = Largo de la tabla; W = Ancho de cada pieza cortada; f = Flecha máxima entre ambas piezas cortadas).

Una vez obtenidos todos los índices de tensión nombrados, se procedió a desarrollar el análisis del caso.

En primer lugar se procedió a comparar los promedios de índices de tensión de cada una de las cargas tratadas a través de los cambios producidos entre la medición en  $T = 0$  y  $T = 48$ , para lo cual se señalarán las variaciones más significativas que se visualicen en cada ensayo, es decir, las menores y mayores diferencias expresando de esta forma cual ha sido el tratamiento que da un mejor resultado.

Para poder obtener la mejor combinación de factores y determinar cual de estos influye más en la obtención de tensiones, se aplicó el método de análisis factorial de Taguchi, que consiste en la utilización de los promedios de los índices de tensión de cada tratamiento y su desviación estándar, los que serán la base para el cálculo de la llamada señal de ruido la que para este análisis será:  $S/R = -10 \log (X^2 + S^2)$  (X = Promedio del índice de tensión de cada tratamiento; S = Desviación estándar de cada uno de los tratamientos). Esta fórmula se emplea cuando la característica de calidad es mejor, si el valor del índice de tensión es menor (Walpole *et al.*, 1998).

Para obtener las mejores combinaciones de factores, es decir, la combinación de variables que pueda otorgar el mejor programa de vaporizado final en función de los resultados obtenidos se elegirá la menor señal de ruido calculada (de los cuadros 8 y 9, para tensión transversal y longitudinal respectivamente), este valor elegido

representará un factor en un nivel específico (ver cuadro 3; anexo 3 cuadros 6 y 11 para tensiones transversal y longitudinal respectivamente).

Finalmente, para elegir el factor que según los resultados del estudio, tiene un mayor efecto sobre las tensiones de la madera, se elegirá la mayor diferencia entre las señales de ruido calculadas para cada factor y a su vez el factor que más se repita dentro de estas variaciones significativas (ver cuadro 10).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Resultados y análisis

A continuación se presentan los resultados obtenidos y análisis de los 16 tratamientos de vaporizado final ensayados.

Los índices de tensión promedio de tensión transversal y longitudinal obtenidos en función de las dimensiones de cada uno de los tenedores y tablas, en los tiempos T = 0 y T = 48 se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Índices de tensión transversal y longitudinal promedio para los 16 tratamientos.

Tratamientos.	T. Transversal		Variación	T. Longitudinal		Variación
	T = 0	T = 48		T = 0	T = 48	
1	2,774	4,354	1,580	4,333	4,672	0,339
2	2,481	3,147	0,666	6,936	6,425	-0,511
3	0,897	1,457	0,560	5,949	3,589	-2,360
4	3,420	1,972	-1,448	2,888	2,113	-0,775
5	1,875	3,315	1,440	11,464	12,782	1,318
6	2,766	4,282	1,516	3,710	4,390	0,680
7	1,858	3,043	1,185	0,843	2,608	1,765
8	2,660	4,830	2,170	7,027	8,408	1,381
9	1,187	2,318	1,131	3,153	3,525	0,372
10	0,935	2,114	1,179	2,955	4,115	1,160
11	2,290	3,457	1,167	2,636	3,178	0,542
12	1,727	0,907	-0,820	6,081	3,714	-2,367
13	3,850	3,767	-0,398	3,643	2,595	-1,048
14	1,696	1,907	0,211	11,602	13,282	1,680
15	1,943	4,635	2,692	4,817	5,627	0,810
16	4,200	7,760	3,560	1,933	4,458	2,525

Teniendo en consideración que el óptimo índice de tensión es 0, se puede decir lo siguiente:

Con respecto a la tensión transversal (cuadro 7), los valores máximos de los índices de tensión lo presentan los tratamientos 4, 11, 13, 16, siendo este último de 4,2 en  $T = 0$ ; En cambio los máximos valores de los índices de tensión en  $T = 48$  lo presentaron los tratamientos 1, 15, 16, siendo este último de 7,760. Los mínimos índices en la primera medición resultaron ser los tratamientos 3, 9,10, este último con un valor de 0,935; En la segunda medición los tratamientos 3, 12,14 dieron los menores índices, con un valor de 0,907 para el tratamiento 12. La máxima variación entre la primera y segunda medición se dio en el tratamiento 16 con una variación de 3,56, es decir, se muestra un aumento del índice de tensión lo que significa que en la segunda medición nos encontramos con una madera más tensionada; La menor variación índice entre los dos tiempos de medición se dio en el tratamiento 13 con un valor de -0,083 (Negativo significa que hubo una disminución).

La figura 6, muestra la tendencia al aumento del grado de tensión en la segunda medición ( $T = 48$ ), y los tratamientos que entregan mejores resultados.

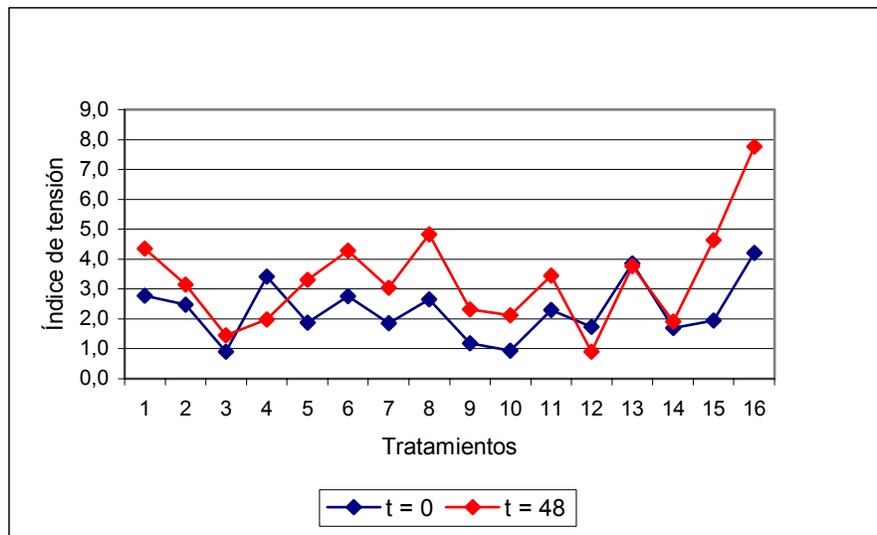


Figura 6. Distribución de la tensión transversal.

Este aumento de tensión se debe a que los tenedores se torcieron más hacia dentro después de realizada primera medición, lo que explica una disminución de la variable  $E_T$  (deformación), provocando de esta forma un aumento del índice de tensión entregado por fórmula (cuadro 5), es decir, la madera en  $T = 48$  está más tensionada debido a la distribución irregular de la humedad.

La figura 7, muestra la distribución del contenido de humedad final y las tensiones transversales de la madera tratada en  $T = 0$ .

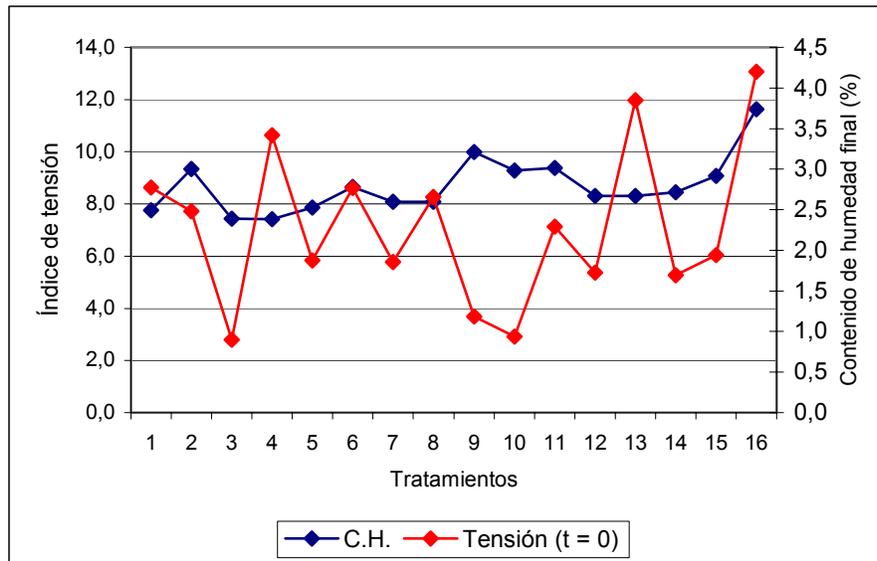


Figura 7. Distribución de contenido de humedad final y tensión transversal.

A partir de la figura 7, se puede apreciar que no existe una relación muy clara entre los contenidos de humedad y los grados de tensión transversal, pero se puede decir que el valor más alto del índice de tensión coincide con el máximo contenido de humedad final determinado. Por otro lado se aprecia que el contenido de humedad final no presentó variaciones significativas a diferencia de los índices promedios de tensión de entre cada uno de los tratamientos observados.

Con respecto a la tensión longitudinal (cuadro 7), los valores máximos de índices de tensión lo presentan los tratamientos 5, 8, 14, siendo el primero de 11,464 en  $T = 0$ ; En cambio los máximos valores de los índices de tensión en  $T = 48$  lo presentaron los tratamientos 5, 8, 14, siendo este último de 13,282. Los mínimos índices en la primera medición resultaron ser los tratamientos 7, 11, 16, el primero con un valor de 0,843; En la segunda medición los tratamientos 4, 7, 13 dieron los menores índices, con un valor de 2,113 para el tratamiento 4. La máxima variación entre la primera y segunda medición se dio en el tratamiento 16 con una variación de 2,525, es decir, se muestra un aumento del índice de tensión lo que significa que en la segunda medición nos encontramos con una madera más tensionada; La menor variación índice entre los dos tiempos de medición se dio en el tratamiento 1 con un valor de -0,339.

La figura 8, también muestra la tendencia al aumento del grado de tensión en la segunda medición (T = 48), y los tratamientos que entregan mejores resultados.

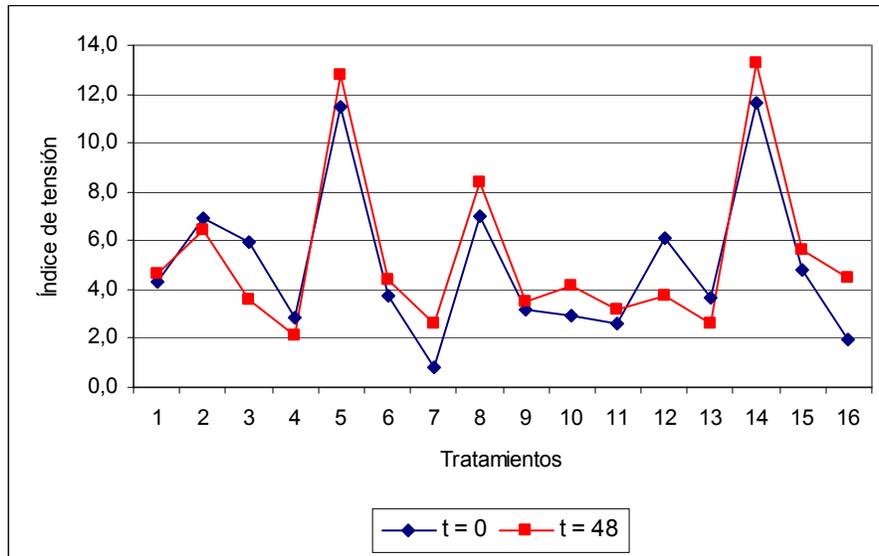


Figura 8. Distribución de la tensión longitudinal.

Este aumento se dio debió a que la flecha máxima  $f$  (figura 5) entre ambas piezas cortadas se incrementó en  $T = 48$ , lo que explica el aumento del índice de tensión para la mayoría de los tratamientos debido a una distribución irregular de la humedad en las piezas de madera.

En la figura 9, se aprecia la distribución del contenido de humedad final y la tensión longitudinal de la madera tratada en  $T = 0$ .

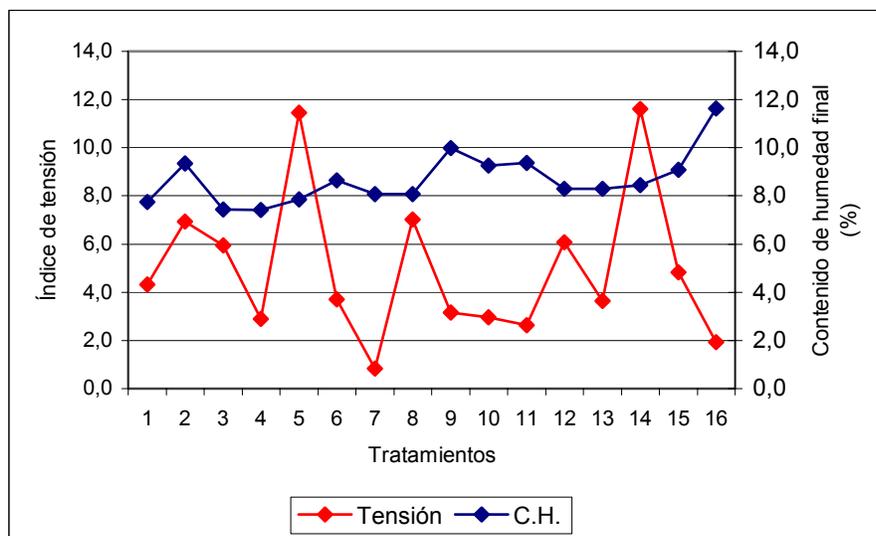


Figura 9. Distribución del contenido de humedad final y tensión longitudinal.

A partir de este gráfico, se aprecia que el contenido de humedad final más alto coincide con el índice promedio de tensión más bajo en el tratamiento 16. Se puede ver que el contenido de humedad final no sufrió grandes cambios a diferencia de las tensiones longitudinales.

El cuadro 8, se muestra la suma de señales de ruido que se obtuvieron en base a la sumatoria de cada señal de ruido de un tratamiento de un mismo nivel en un factor específico (anexo 3: cuadro 2 y 3), para la tensión transversal en T = 48.

Cuadro 8. Suma de las señales de ruido de los niveles de cada uno de los factores, correspondiente a la tensión transversal en T = 48.

F	N1	N2	N3	N4
1	40,481	52,229	32,929	55,770
2	51,540	41,984	45,137	42,748
3	56,431	44,090	38,310	42,578
4	34,477	53,430	44,578	48,923
5	55,030	53,147	33,827	39,404

(F = Factor; N = Nivel)

Del cuadro se puede apreciar la suma de las señales de ruido correspondientes a cada uno de los factores expuestos (ventilación, temperaturas del primer paso, tiempo del primer paso, tiempo de enfriamiento intermedio, y temperaturas del segundo paso).

Como se desea encontrar la mejor combinación de variables, que disminuyan la tensión, es que se eligieron los valores correspondientes a las menores sumatorias de cada uno de los niveles.

Por lo visto en el cuadro 8, los niveles N3-N2-N3-N1-N3 dan como resultado la menor suma de señales de ruido de cada factor F, formando de esta manera la mejor combinación, en relación con los resultados obtenidos relacionados con las tensiones transversales de la madera, es decir, relacionando cada uno de estos niveles con cada uno de sus correspondientes factores, se determinó cual será el mejor valor de la variable (anexo 3: cuadro 6).

El cuadro 9, se muestra la suma de señales de ruido que se obtuvieron en base a la sumatoria de cada señal de ruido de un tratamiento de un mismo nivel en un factor específico (anexo 3: cuadro 7 y 8), para la tensión longitudinal en T = 48.

Cuadro 9. Suma de las señales de ruido de los niveles de cada uno de los factores, correspondiente a la tensión longitudinal en T = 48.

F	N1	N2	N3	N4
1	58,380	68,421	50,309	66,263
2	63,349	69,959	54,291	55,774
3	53,071	70,087	69,630	50,585
4	59,220	60,858	65,709	57,585
5	65,980	54,717	54,363	68,312

(F = Factor; N = Nivel)

Por lo visto en el cuadro 9, y de la misma forma que el cuadro 8, los niveles N3-N3-N4-N4-N3 dan como resultado la menor suma para cada respectivo factor F, formando de esta manera la mejor combinación, en relación con los resultados obtenidos relacionados con las tensiones longitudinales de la madera (anexo 3: cuadro 11).

El cuadro 10, muestra las diferencias más significativas al efectuar un cambio de nivel en cada uno de los factores (Cálculos en base a cuadros 10 y 11).

Cuadro 10. Magnitud porcentual del efecto del cambio de cada factor en tensión transversal y longitudinal en T = 48.

Tensión	N1_N2	N1_N3	N1_N4	N2_N3	N2_N4	N3_N4
Transversal	34,798	33,455	22,978	34,253	57,103	57,943
Factor	4	5	5	5	5	1
Longitudinal	36,54	31,972	35,976	45,921	36,996	32,525
Factor	3	3	1	1	3	3

En las tensiones transversales, una variación en el factor 5 (temperatura del segundo paso), produce un mayor efecto en las tensiones de la madera.

En las tensiones longitudinales, una variación en el factor 3 (tiempo del primer paso o primer vaporizado, descrito en el cuadro 3), produce un mayor efecto en las tensiones obtenidas.

Del cuadro 10, se puede apreciar que el factor ventilación tiene una importante influencia sobre los resultados obtenidos.

## 5. CONCLUSIONES

A continuación, después de haber realizado los 16 tratamientos de vaporizado final al producto shop 5/4, y hecho el análisis de los resultados que se obtuvieron a partir las tensiones transversales y longitudinales de este producto, se puede concluir lo siguiente:

Los índices de tensión, en la mayoría de los casos se ven incrementados después de realizada la segunda medición, es decir, después de 48 horas de haber hecho la primera medición la madera está más tensionada, lo que puede deberse al temprano levantamiento de los contrapesos de las cargas (entre 8 y 10 horas).

El tratamiento 12 de vaporizado final, resultó ser el mejor para la obtención del menor índice de tensión transversal, el cual fue de 0,907. En cambio el tratamiento número 4 de vaporizado final, resultó ser el mejor para la obtención del menor índice de tensión longitudinal, el cual fue 2,113. Estas cifras corresponden a los menores promedios de índices de tensión de cada tratamiento, es decir, se obtuvo una madera menos tensionada en relación a los demás tratamientos efectuados.

Según los resultados, para el caso de la tensión transversal, el tratamiento que entregó una peor respuesta fue el tratamiento número 16, a su vez este muestra la mayor variación al realizar la segunda medición, la cual fue de 3,56. Esta respuesta desfavorable se debe a que la carga tratada entregó un promedio de contenido de humedad final de 11,6%, siendo el mayor de los 16 ensayos realizados. La misma situación se dio en el caso de la tensión longitudinal, que si bien, no entrega los mayores índices de tensión, presenta la mayor variación de dicho índice, dando como resultado una variación del índice de 2,525. Debido a lo anterior, esta madera al mostrar un mayor grado de tensión, presentará mayores problemas al momento de ser procesada.

Un cambio del factor temperatura del segundo paso (factor 5), tiene un mayor efecto sobre las tensiones transversales de la madera, es decir, cualquier variación en este factor provocará un cambio más significativo en el índice de tensión de la madera en estudio.

El factor tiempo del primer paso (factor 3) es la que incide mayormente en la obtención de tensiones longitudinales de la madera, por lo que cualquier cambio de este factor influirá directamente en las respuestas entregadas.

De acuerdo al análisis de los resultados se pudo determinar que la mejor combinación de niveles cada uno de los factores que se obtuvo para disminuir la tensión transversal es: SIN/CON (sin ventilación en el primer paso, con ventilación en el segundo paso); Una temperatura de BS/BH de 90/90 para el primer paso (bulbo seco y bulbo húmedo) por un tiempo de 2 horas; Sin enfriamiento intermedio; Una temperatura de BS/BH de 95/95 para el segundo paso y una duración de 3 horas.

La mejor combinación de niveles de cada uno de los factores que se obtuvo para disminuir la tensión longitudinal es: SIN/CON (sin ventilación en el primer paso, con ventilación en el segundo paso); Una temperatura de BS/BH de 95/95 (bulbo seco y bulbo húmedo) por un tiempo de 2,5 horas para el primer paso; Con un enfriamiento intermedio de 1,5 horas; Una temperatura de BS/BH de 95/95 para el segundo paso por una hora.

## BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, H.; Fernández-Golfín, J. 1992. Fundamentos teóricos del secado de la madera. Madrid. 193 p. (Colección Monografías INIA, Núm. 82).
- Aserraderos Arauco. 2002. Control de procesos área secado: tensiones transversales y longitudinales. 25 p.
- Aserraderos Arauco. 2002. Nociones de diseño robusto y método Taguchi: curso de capacitación para operadores de secado. 18 p.
- Barría C. 2000. Efecto del vaporizado inicial en el secado artificial de la madera de coigüe de magallanes (*Nothofagus betuloides* (Mirb:) Oerst). Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 80 P
- BOLFOR. 1998. Guía para el secado de la madera en hornos: Documento Técnico N° 69. INTERNET: <http://bolfor.chemonics.net/DOCUMENT/dt69.pdf> (Mayo 13, 2002).
- Fuentes M. 1994. Secado de madera aserrada de *Pinus radiata* D. Don, impregnado con sales hidrosolubles CCA. Tesis de Magíster en Ciencias y Tecnología de la Madera. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 185 p
- Guerrero, G. 1997. Secado de madera juvenil de Pino radiata. In: IV Taller de aserraderos y remanufacturas. Concepción, Noviembre 13-14 de 1997. Concepción, CORMA. pp. 10-13.
- Instituto Forestal. 1999. Secado artificial de madera aserrada en la región del Bío Bío. Concepción, INFOR.142 p. (Documento Técnico, 145).
- Juacida R.; Inzunza L. 1990. Pautas del Control de Calidad para Secada Artificialmente. Universidad Austral de Chile. (Publicación Docente 21). 27 p.
- Juacida R.; Quintanar J.; Berterreche A. 1992. Secado de la Madera: I Secado Natural al Aire Libre. Universidad Austral de Chile. (Publicación Docente 35). 32 p.
- Nutsch W. 2000. Tecnología de la Madera y del Mueble. Barcelona. Editorial Reverté. 509 p.
- Peredo, M.; Juacida, R.; Inzunza, L. 1985. Curso de capacitación en secado de maderas. Valdivia, Universidad Austral de Chile. 56 p. (Informe de convenio 88. Serie Técnica)
- Torres, H.1991. Tensiones de la Madera Provocadas por el Secado. Lignum N 2: 27-28.

Tuset R., Durán F. 1979. Manual de Maderas Comerciales, equipos y procesos de utilización. Ed. Hemisferio Sur. 668 p.

Walpole R., Myers R., Myers S. 1998. Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Trad. por Ricardo Cruz. 6 ed. México. Prentice Hall. 739 p.

## **ANEXOS**

**Anexo 1**  
**Abstract**

## ABSTRACT

This work will study the effect of the vaporized that is applied in the final stage of the artificial drying to the sawed wood of *Pinus radiata*, on the tensions.

The wood was put under 16 different treatments where it analyzed the following factors: ventilation, temperature, vaporized time, and intermediate period of cooling in four levels respectively.

The methodology consisted of putting under the wood sawed to a process of artificial to standar later and common drying and to a vaporized special condition of according to the considered variables. After a period of cooling that varied between 8 and 10 hours one was moderate the cross-sectional, longitudinal tensions to  $T = 0$  and after 48 hours ( $T = 48$ ).

The tensions were measured according to procedure established by Aserraderos Arauco S.A. The analysis of the results of determined with a factorial design Taguchi.

In the analysis of the results the temperature was the most determining factor in the degree of tension, cross-sectional as longitudinal.

Treatments 12 and 4 of the study, were the best ones for the tensionada wood obtaining less.

The best combinations of for the tensions cross-sectional and longitudinal were: Without ventilation and the first step, with ventilation in the second step; Temperatures of humid and dry bulb of 90/90 for the first step; Duration first passage of 2 hours; Without intermediate cooling; Temperatures of humid and dry bulb of 95/95 for the second step. Without ventilation and the first step, with ventilation in the second step; Temperatures of humid and dry bulb of 95/95 for the first step; Duration first passage of 2.5 hours; Intermediate cooling of 1.5 hours; Temperatures of humid and dry bulb of 95/95 for the second step.

Key words: Cooling, *Pinus radiata*, Tension, Vaporized.

**Anexo 2**  
**Resultado de vaporizado final de 5 horas**

Cuadro 1. Resumen de datos.

TN°	Humedad Final		Índice de Tensión Transversal				Índice de Tensión Longitudinal			
	(T = 0)		(T= 0)		(T=48)		(T=0)		(T=48)	
	Promedio	Desv. St	Promedio	Desv. St	Promedio	Desv. St	Promedio	Desv. St	Promedio	Desv. St
T1	7,756	1,251	2,774	1,633	4,354	2,640	4,333	4,116	4,672	2,053
T2	9,350	1,424	2,481	1,637	3,147	3,120	6,936	4,342	6,425	4,126
T3	7,431	0,745	0,897	0,855	1,457	1,101	5,949	5,377	3,589	4,120
T4	7,425	0,827	3,420	0,739	1,972	1,640	2,888	3,473	2,113	3,275
T5	7,858	0,844	1,875	1,282	3,315	2,691	11,464	7,225	12,782	6,483
T6	8,647	1,328	2,766	0,566	4,282	1,265	3,710	3,333	4,390	3,521
T7	8,078	0,667	1,858	1,178	3,043	2,235	0,843	1,353	2,608	2,385
T8	8,078	0,812	2,660	1,459	4,830	2,986	7,027	2,399	8,408	3,855
T9	9,983	0,928	1,187	1,035	2,318	2,611	3,153	1,999	3,525	2,789
T10	9,269	0,805	0,935	0,558	2,114	1,826	2,955	3,271	4,115	3,635
T11	9,381	0,926	2,290	0,429	3,457	1,453	2,636	0,429	3,178	1,453
T12	8,300	0,674	1,727	0,725	0,907	0,803	6,081	0,725	3,714	0,803
T13	8,303	1,145	3,850	1,294	3,767	3,248	3,643	1,294	2,595	3,248
T14	8,450	0,480	1,696	0,579	1,907	1,238	11,602	0,579	13,282	1,238
T15	9,081	0,908	1,943	1,485	4,635	5,228	4,817	1,485	5,627	5,228
T16	11,633	0,842	4,200	1,576	7,760	0,515	1,933	1,576	4,458	0,515

**Anexo 3**  
**Análisis de los resultados**

Cuadro 1. Señales de ruido ( $S/R = -10 \log (X^2 + S^2)$ )

Tensión Transversal (T= 48)		S/R	Tensión Longitudinal (T= 48)		S/R
X	S		X	S	
4,354	2,640	14,138	4,672	2,053	14,157
3,147	3,120	12,931	6,425	4,126	17,657
0,903	1,668	5,560	3,589	4,120	14,750
1,840	1,816	8,250	2,113	3,275	11,816
3,315	2,691	12,608	12,782	6,483	23,126
4,282	1,265	12,996	4,390	3,521	15,006
2,982	2,333	11,564	2,608	2,385	10,966
4,830	2,986	15,085	8,408	3,855	19,322
0,888	3,510	11,176	3,525	2,789	13,054
0,956	2,757	9,302	4,115	3,635	14,792
3,457	1,453	11,480	3,178	1,453	10,867
0,907	0,803	1,666	3,714	0,803	11,595
3,452	3,643	14,012	2,595	3,643	13,011
1,907	1,238	7,134	13,282	1,238	22,503
4,635	5,228	16,886	5,627	5,228	17,708
7,760	0,515	17,816	4,458	0,515	13,040

Cuadro 2. Estudio de acondicionamiento (Tensión transversal).  
(5 Factores en 4 niveles)

Carga	Factores					T=48
	1	2	3	4	5	S/R
1	1	1	1	1	1	14,138
2	1	2	2	2	2	12,931
3	1	3	3	3	3	5,231
4	1	4	4	4	4	8,181
5	2	1	2	3	4	12,608
6	2	2	1	4	3	12,996
7	2	3	4	1	2	11,540
8	2	4	3	2	1	15,085
9	3	1	3	4	2	10,860
10	3	2	4	3	1	8,923
11	3	3	1	2	4	11,480
12	3	4	2	1	3	1,666
13	4	1	4	2	3	13,934
14	4	2	3	1	4	7,134
15	4	3	2	4	1	16,886
16	4	4	1	3	2	17,816

Cuadro 3. Análisis de los resultados

F	N1	N2	N3	N4
1	40,481	52,229	32,929	55,770
2	51,540	41,984	45,137	42,748
3	56,431	44,090	38,310	42,578
4	34,477	53,430	44,578	48,923
5	55,030	53,147	33,827	39,404

Cuadro 4 . Magnitud del efecto del cambio de cada factor

F	1_2	%	1_3	%	1_4	%	2_3	%
1	11,748	21,564	7,552	11,915	15,289	22,482	19,300	34,217
2	9,555	17,539	6,403	10,103	8,792	12,928	3,152	5,589
3	12,340	22,651	18,120	28,590	13,853	20,370	5,780	10,248
4	18,953	34,789	10,101	15,937	14,446	21,242	8,852	15,694
5	1,883	3,457	21,203	33,455	15,626	22,978	19,320	34,253
Total	54,480	100,000	63,379	100,000	68,007	100,000	56,404	100,000

F	2_4	%	3_4	%
1	3,541	14,715	22,841	57,943
2	0,763	3,172	2,389	6,060
3	1,513	6,285	4,267	10,826
4	4,507	18,726	4,345	11,023
5	13,743	57,103	5,577	14,148
Total	24,067	100,000	39,420	100,000

Cuadro 5. Variaciones significativas

N1_N2	N1_N3	N1_N4	N2_N3	N2_N4	N3_N4
34,789	33,455	22,978	34,253	57,103	57,943
F4	F5	F5	F5	F5	F1

Cuadro 6. Mejor combinación

32,929	F1N3	SIN/CON
41,984	F2N2	90/90
38,310	F3N3	2 HORAS
34,477	F4N4	0
33,827	F5N3	95/95

Cuadro 7. Estudio de acondicionamiento (Tensión longitudinal).

(5 Factores en 4 niveles)

Carga	Factores					T=48
	1	2	3	4	5	S/R
1	1	1	1	1	1	14,157
2	1	2	2	2	2	17,657
3	1	3	3	3	3	14,750
4	1	4	4	4	4	11,816
5	2	1	2	3	4	23,126
6	2	2	1	4	3	15,006
7	2	3	4	1	2	10,966
8	2	4	3	2	1	19,322
9	3	1	3	4	2	13,054
10	3	2	4	3	1	14,792
11	3	3	1	2	4	10,867
12	3	4	2	1	3	11,595
13	4	1	4	2	3	13,011
14	4	2	3	1	4	22,503
15	4	3	2	4	1	17,708
16	4	4	1	3	2	13,040

Cuadro 8. Análisis de los resultados

F	N1	N2	N3	N4
1	58,380	68,421	50,309	66,263
2	63,349	69,959	54,291	55,774
3	53,071	70,087	69,630	50,585
4	59,220	60,858	65,709	57,585
5	65,980	54,717	54,363	68,312

Cuadro 9. Magnitud del efecto del cambio de cada factor

F	1_2	%	1_3	%	1_4	%	2_3	%
1	10,041	21,563	8,070	15,582	7,883	35,976	18,111	45,921
2	6,610	14,194	9,057	17,488	7,575	34,570	15,667	39,724
3	17,016	36,540	16,559	31,972	2,486	11,345	0,457	1,158
4	1,638	3,517	6,489	12,528	1,636	7,465	4,851	12,299
5	11,262	24,186	11,616	22,429	2,332	10,644	0,354	0,898
Total	46,567	100,000	51,792	100,000	21,912	100,000	39,440	100,000

F	2_4	%	3_4	%
1	2,158	4,094	15,953	27,246
2	14,185	26,910	1,482	2,532
3	19,501	36,996	19,045	32,525
4	3,274	6,211	8,124	13,875
5	13,595	25,790	13,949	23,822
Total	52,713	100,000	58,554	100,000

Cuadro 10. Variaciones significativas

N1_N2	N1_N3	N1_N4	N2_N3	N2_N4	N3_N4
36,540	31,972	35,976	45,921	36,996	32,525
F3	F3	F1	F1	F3	F3

Cuadro 11. Mejor combinación

50,309	F1N3	SIN/CON
54,291	F2N3	95/95
50,585	F3N4	2,5 HORAS
57,585	F4N4	1,5 HORAS
54,363	F5N3	95/95