

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente



EFFECTOS DEL CALENTAMIENTO EN AGUA SOBRE LA ELASTICIDAD Y  
TRABAJO EN TRACCION Y COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA  
EN MADERA VERDE DE Eucalyptus globulus

Por

MARIO EDUARDO ZAPATA QUIROGA


MEMORIA DE TITULO  
PRESENTADA A LA FACULTAD DE  
CIENCIAS FORESTALES DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO FORESTAL.

CONCEPCION - CHILE

1997

EFECTO DEL CALENTAMIENTO EN AGUA SOBRE LA ELASTICIDAD Y  
TRABAJO EN TRACCION Y COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA  
EN MADERA VERDE DE Eucalyptus globulus


Profesor Asesor



---

Luis Valenzuela Hurtado.  
Profesor Asociado.  
Ingeniero de Ejecución en  
Maderas, Ph.D.

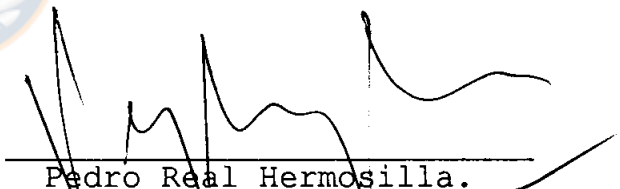
Profesor Co-asesor



---

Roberto Melo Sanhueza.  
Profesor Titular.  
Ingeniero Civil Químico.

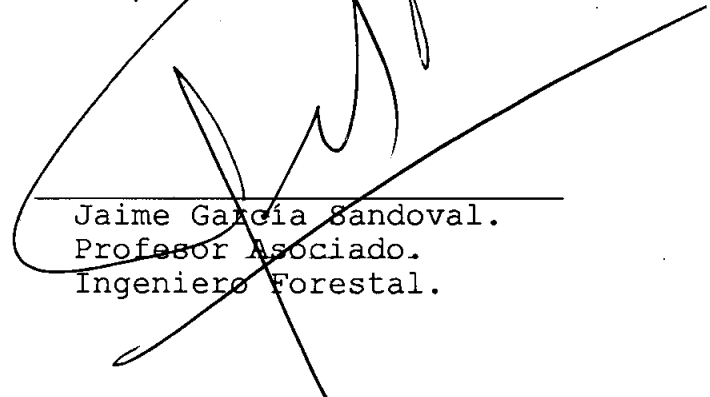
Director Departamento  
Manejo de Bosques y  
Medio Ambiente



---

Pedro Real Hermosilla.  
Profesor Asociado.  
Ingeniero Forestal, Ph.D.

Decano Facultad  
Ciencias Forestales



---

Jaime García Sandoval.  
Profesor Asociado.  
Ingeniero Forestal.



A Dios  
Y  
A mis Padres

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus más sinceros agradecimientos a las personas e instituciones que hicieron posible éste trabajo, especialmente a:

- Los Srs. Cristian Mujica y Alejandro Nova, quienes facilitaron toda la información necesaria para la realización de este estudio.
- Biblioteca Central de la Universidad del Bío Bío.
- Don Jorge Cancino, Profesor Asociado de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, por su colaboración en la parte estadística de este estudio.
- Don Luis Valenzuela, Profesor asesor, por haber aceptado desarrollar este estudio con gran disposición y amistad.
- Don Roberto Melo, Profesor co-asesor, por haber aceptado colaborar en este estudio con sus sabios conocimientos y amistad.
- Mis amigos y compañeros que estuvieron cerca de mí durante mi formación profesional.

## ÍNDICE DE MATERIAS

CAPÍTULOS	PAGINA
I      INTRODUCCIÓN .....	1
II     OBJETIVOS .....	6
2.1    Objetivo general .....	6
2.2    Objetivos específicos .....	6
III    MATERIALES Y MÉTODOS .....	8
3.1    Medición de la elasticidad y trabajo ...	9
3.2    Análisis estadístico de los resultados .	12
3.2.1 Análisis de varianza .....	12
3.2.2 Análisis de regresión lineal múltiple ..	13
IV    RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	15
4.1    Tracción perpendicular a la fibra .....	15
4.1.1 Elasticidad .....	15
4.1.2 Trabajo Elástico .....	20
4.1.3 Trabajo hasta la máxima carga .....	25
4.2    Compresión perpendicular a la fibra ....	29
4.2.1 Elasticidad .....	29
4.2.2 Trabajo Elástico .....	36
V     CONCLUSIONES .....	43
VI    RESUMEN .....	45
VI    SUMMARY .....	46
VII   BIBLIOGRAFÍA .....	47
7.1    Bibliografía citada .....	47
7.2    Bibliografía revisada .....	51
VIII  APÉNDICES .....	53
IX    ANEXO .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Número de probetas asignadas para cada ensayo mecánico según temperatura, tiempo de calentamiento y posición radial de la probeta .....	9
2	Factores y niveles considerados en el diseño experimental .....	13
3	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la elasticidad en tracción perpendicular tangencial .....	19
4	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la elasticidad en tracción perpendicular radial .....	20
5	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para el trabajo elástico en tracción perpendicular tangencial .....	23
6	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para el trabajo elástico en tracción perpendicular radial .....	24
7	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para el trabajo hasta la máxima carga en tracción perpendicular tangencial .	27
8	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para el trabajo hasta la máxima carga en tracción perpendicular radial .....	28
9	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la elasticidad en compresión perpendicular tangencial .....	34

10	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la elasticidad en compresión perpendicular mixta .....	35
11	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para la elasticidad en compresión perpendicular radial .....	36
12	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para el trabajo elástico en compresión perpendicular tangencial .....	40
13	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para el trabajo elástico en compresión perpendicular mixta .....	41
14	Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para el trabajo elástico en compresión perpendicular radial .....	42

En el Apéndice

1A	Resultados promedio por tratamiento en tracción perpendicular tangencial .....	55
2A	Resultados promedio por tratamiento en tracción perpendicular radial .....	56
3A	Resultados promedio por tratamiento en compresión perpendicular tangencial .....	57
4A	Resultados promedio por tratamiento en compresión perpendicular mixta .....	58
5A	Resultados promedio por tratamiento en compresión perpendicular radial .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1	Representación gráfica de carga-alargamiento (acortamiento) ..... 10
2	Relación entre la elasticidad en tracción perpendicular y el tiempo de calentamiento para cada nivel de temperatura considerado ..... 16
3	Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular en el estado de control ..... 17
4	Relación entre el trabajo elástico en tracción perpendicular y el tiempo de calentamiento para cada nivel de temperatura considerado ..... 21
5	Relación entre el trabajo hasta la máxima carga en tracción perpendicular y el tiempo de calentamiento para cada nivel de temperatura considerado ..... 25
6	Relación entre la elasticidad en compresión perpendicular y el tiempo de calentamiento para cada nivel de temperatura considerado ..... 30
7	Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional para el ensayo de compresión perpendicular en el tratamiento control ..... 31
8	Variación de la elasticidad en compresión perpendicular respecto al ángulo de inclinación del anillo de crecimiento en la probeta ..... 33



9	Relación entre el trabajo elástico en compresión perpendicular y el tiempo de calentamiento para cada nivel de temperatura considerado .....	37
10	Variación del trabajo elástico en compresión perpendicular respecto al ángulo de inclinación del anillo de crecimiento en la probeta .....	39

En el Apéndice

1A	Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 40°C .....	60
2A	Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 60°C .....	61
3A	Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 80°C .....	62
4A	Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 40°C .....	63
5A	Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 60°C .....	64
6A	Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 80°C .....	65
7A	Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 40°C .....	66
8A	Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 60°C .....	67

9A	Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 80°C .....	68
10A	Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular mixta para una temperatura de calentamiento de 40°C .....	69
11A	Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular mixta para una temperatura de calentamiento de 60°C .....	70
12A	Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular mixta para una temperatura de calentamiento de 80°C .....	71
13A	Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 40°C .....	72
14A	Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 60°C .....	73
15A	Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 80°C .....	74

En el Anexo

1B	Esquema de obtención de viguetas .....	83
2B	Ensayo de tracción perpendicular a la fibra según Norma Chilena Nch 975 .....	85
3B	Ensayo de compresión perpendicular a la fibra según Norma Japonesa JIS Z 2111-63 ...	86

## I. INTRODUCCIÓN

Eucalyptus globulus es nativo de la costa de Australia. En Chile, como especie exótica es considerado la latifoliada más importante dentro de la economía forestal debido a su excelente desarrollo y crecimiento que ha mostrado bajo diversas condiciones de clima y suelo (Instituto Forestal, 1979).

Este eucalipto posee una madera dura, de color entre blanco sucio y rosado claro, y cuya densidad básica media es de  $0.74 \text{ gr/cm}^3$  en su país de origen (De la Lama, 1976). En Chile, las densidades básicas medias son un tanto más bajas, fluctuando entre  $0.53$  a  $0.67 \text{ gr/cm}^3$  (Prado y Barros, 1989).

Debido a las características tecnológicas que presenta la madera del eucalipto y fundamentalmente por lo atractivo que resulta su color y veteado, ha sido tradicional su uso en la producción de chapas.

En el proceso de obtención de la chapa, ya sea por el método de foliado o debobinado, se distinguen tres etapas correspondientes a la preparación de la troza, obtención de la chapa y el proceso de secado de la misma (Gutiérrez, 1987). Dentro de la etapa de la preparación de la troza se encuentra el proceso de calentamiento o maceración de la troza o basa, el que tiene como objetivo, entre otros, mejorar la calidad de la chapa y reducir el daño de las cuchillas del torno debobinador o guillotina (Melo, 1988).

Sin embargo, la influencia del calentamiento o macerado de la madera verde puede ser analizada en relación a el efecto que tiene la temperatura y tiempo de exposición sobre sus propiedades y composición.

Se sabe que la temperatura afecta las propiedades mecánicas de la madera, disminuyendo su resistencia y elasticidad (Wangaard, 1950; Wood Handbook, 1955; Panshin y De Zeew, 1980) y, por tanto, adquiere una mayor plasticidad (Brown et al., 1952; Gutiérrez, 1987). Antecedentes recopilados por Gerhards (1982), muestran el efecto inmediato del contenido de humedad y temperatura sobre las diferentes propiedades mecánicas de la madera.

Si el aumento en temperatura del compuesto madera se refleja tan sólo en un cambio transitorio en su nivel de energía interna, el resultado sería la disminución transitoria de las propiedades mecánicas de la madera, mientras que si ocurre una reorganización estructural permanente del compuesto madera, el resultado sería la pérdida permanente de su resistencia mecánica (Bodig y Jayne, 1982).

El calentamiento de la madera en presencia de agua o vapor causa la formación de ácidos orgánicos, principalmente ácido acético, el cual cataliza la hidrólisis de las hemicelulosas hasta azúcares más solubles (Hillis, 1975 y McGinnis et al., 1984; ambos citados por Philip, 1988). Esta hidrólisis ácida se extendería al resto de los componentes químicos de la madera, siendo los carbohidratos los más susceptibles a la degradación térmica (Chamorro y Díaz, 1992). Esto último se traduce en pérdidas

irreversibles en peso (Noack, 1969; Kubinsky; 1977, Evans and Banks, 1990, Mujica y Nova, 1995) y resistencia mecánica de la madera (Bodig y Jayne, 1982), las cuales aumentan a mayores temperaturas y tiempos de exposición.

Evidencias acumuladas por Nicholas y Thomas (1968), en tratamientos de vaporizado en pino loblolly, indican que los componentes de la membrana del toro son hidrolizados durante el tratamiento. La hidrólisis resulta en un debilitamiento general de la membrana y también en una reducción de la resistencia de la unión entre el borde y el toro aspirado, lo que se refleja en una mejoría en la permeabilidad de la madera. Esto traería claras ventajas en la disminución a los tiempos de secado (Hillis, 1984).

Por otra parte, cuando la madera verde es calentada en agua por primera vez, esta sufre un cambio dimensional irreversible producto de una expansión en la dirección tangencial y de una contracción en la dirección radial (Noack, 1969; Kübler, 1977). A esto último se le llamó recuperación higrotérmica (Yokota y Tarkow, 1962). La recuperación higrotérmica produce las llamadas grietas del corazón en los extremos de la troza cuando es calentada en agua (Kübler 1977). El agrietamiento aumenta con el incremento de la temperatura y con el tiempo de exposición.

La existencia de tensiones internas de crecimiento, presentes en muchas especies, causan torceduras en la madera aserrada, así como también rajaduras en los extremos de la troza. En este sentido la temperatura actúa como un agente liberador de tensiones (Skolmen, 1967; Okuyama et al. 1987).

El calentamiento de la madera verde también profundiza su color (Noack, 1969), mejora su estabilidad dimensional (Hillis y Rozsa, 1985) y destruye los organismos que degradan la madera.

Todos estos efectos ocurren cuando maceramos la madera verde del eucalipto, pero desde el punto de vista técnico, el más importante de todos ellos es lograr que en el proceso de obtención de la chapa, el corte se efectúe a una cierta temperatura, lo que se traduce en una mayor flexibilidad o aceptación de la madera a los esfuerzos de corte, y por tanto, lograr menos fracturas y mayor eficiencia técnica que llevado el proceso en frío (Gutiérrez, 1987).

En el proceso de obtención de la chapa, ya sea por el método del debobinado o foliado, se encuentran involucradas una serie de fuerzas generadas por el elemento de corte y la barra de presión. Dentro de todas estas fuerzas que actúan en la madera, encontramos la tracción y compresión perpendicular a la fibra, que dependiendo del proceso, puede ir desde la dirección tangencial hasta la radial.

La influencia del macerado sobre estas propiedades mecánicas puede ser estudiada en relación a como varían sus parámetros mecánicos, elásticos y de energía.

En este ámbito, Mujica y Nova (1995) estudiaron el efecto inmediato de la temperatura y tiempo de calentamiento en agua sobre algunas propiedades mecánicas de la madera verde de Eucalyptus globulus, analizando la resistencia en tracción y compresión perpendicular a la fibra.

Esta información, que incluye las gráficas de carga-deformación y un completo historial de las probetas ensayadas, fue proporcionada para continuar con los estudios y así poder determinar el efecto de la temperatura y tiempo de calentamiento en agua sobre la elasticidad y el trabajo en tracción y compresión perpendicular.

Después de realizar una exhaustiva revisión de literatura a nivel nacional e internacional, no se encontró ningún estudio que midiera la elasticidad y trabajo en tracción y compresión perpendicular a la fibra en madera verde de eucalipto bajo condiciones de calentamiento, por lo que se establecen los siguientes objetivos:



## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Determinar el efecto inmediato de la temperatura y tiempo de calentamiento en agua de la madera verde de Eucalyptus globulus sobre la elasticidad y trabajo en tracción y compresión perpendicular a la fibra.

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar la variación de la elasticidad y trabajo (elástico y hasta la máxima carga) en tracción perpendicular a la fibra con respecto a la posición radial de la probeta en el fuste y con el ángulo de inclinación del anillo de crecimiento en la probeta.
- Determinar la variación de la elasticidad y trabajo elástico en compresión perpendicular a la fibra con respecto a la posición radial de la probeta en el fuste y con el ángulo de inclinación del anillo de crecimiento en la probeta.
- Relacionar la elasticidad y trabajo en tracción perpendicular a la fibra con otras variables físicas y mecánica de la madera.



- Relacionar la elasticidad y trabajo en compresión perpendicular a la fibra con otras variables físicas y mecánica de la madera.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

Mujica y Nova (1995), observaron a nivel de laboratorio el efecto inmediato de la temperatura y tiempo de calentamiento en agua sobre algunas propiedades mecánicas de la madera verde de Eucalyptus globulus, calentando a varios niveles de temperatura por distintos periodos de exposición, probetas que serían ensayadas mecánicamente después de haber sido tratadas.

Los ensayos mecánicos realizados en tracción perpendicular fueron dos (en la dirección tangencial y radial, según Norma Chilena Nch 975) y en compresión perpendicular tres (en la dirección tangencial, radial y mixta, según Norma JIZ Z 2113-63).

Cada ensayo mecánico fue realizado para tres niveles de temperatura (40, 60 y 80 °C), tres periodos de exposición (12, 24 y 48 hrs.) y dos posiciones radiales dentro de la troza (exterior e interior), con diez réplicas para cada combinación. Además, se consideró un estado de control, correspondiente a la temperatura ambiente (20 °C), tanto para el exterior como para el interior, también con diez réplicas cada uno (Tabla 1).

Tanto para tracción como compresión perpendicular, la máquina de ensayo entregó una gráfica a escala entre la carga aplicada y el alargamiento (acortamiento) obtenido. Esta información fue proporcionada para medir la elasticidad y el trabajo bajo cada condición.

TABLA 1. NÚMERO DE PROBETAS ASIGNADAS PARA CADA ENSAYO MECÁNICO, SEGÚN TEMPERATURA, TIEMPO DE CALENTAMIENTO Y POSICIÓN RADIAL DE LA PROBETA EN LA TROZA.

TIEMPO (Hrs)	TEMPERATURA							
	20 °C		40 °C		60 °C		80 °C	
	Ext <sup>a)</sup>	Int <sup>b)</sup>	Ext	Int	Ext	Int	Ext	Int
0	10	10	-	-	-	-	-	-
12	-	-	10	10	10	10	10	10
24	-	-	10	10	10	10	10	10
48	-	-	10	10	10	10	10	10

<sup>a)</sup>Ext: Exterior, <sup>b)</sup>Int: Interior.

La metodología experimental utilizada por Mujica y Nova no se incluye en este estudio. Algunos antecedentes como la obtención de probetas y sus dimensiones, según la norma empleada, se encuentran detallados en el anexo.

### 3.1 Medición de la elasticidad y trabajo.

Para obtener la elasticidad y trabajo en tracción y compresión perpendicular, se procedió a delimitar la zona elástica de la plástica en la gráfica carga - alargamiento o carga - acortamiento según corresponda (Figura 1).

El área bajo la curva carga - alargamiento (acortamiento) hasta la carga en el límite proporcional (Pp) representa la zona elástica (Ael), así mismo, el área desde la carga en

el límite proporcional hasta la carga máxima ( $P_m$ ), delimitan la zona plástica ( $A_{pl}$ ).

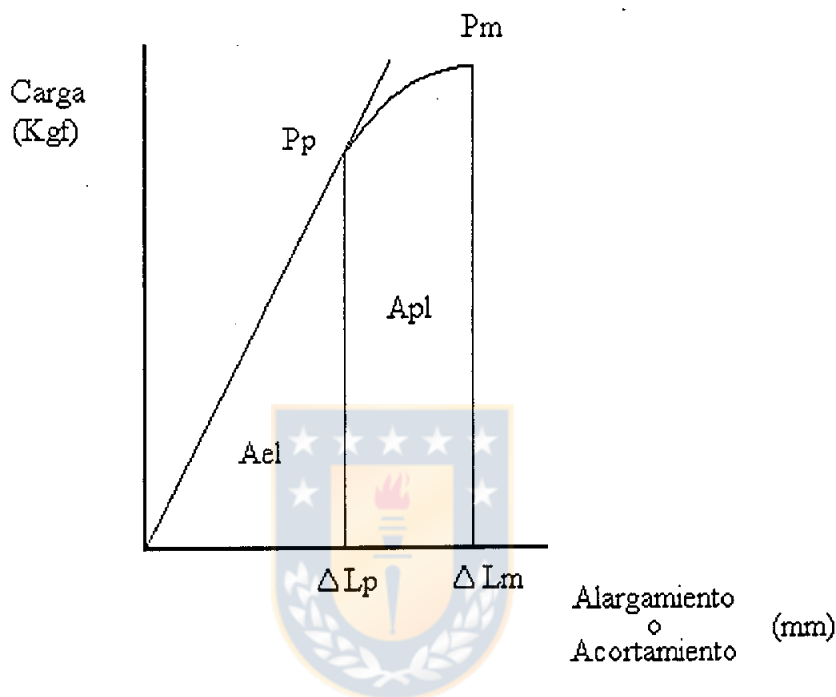


Figura 1. Representación gráfica carga - alargamiento (acortamiento).

Para los cálculos de trabajo en tracción perpendicular, se midió el área bajo la curva en la Figura 1 con un planímetro polar Zero Setting con un mínimo de tres repeticiones. El área elástica se obtuvo calculando el área del triángulo formado por  $\Delta L_p$  y  $P_p$ .

En tracción perpendicular se calculó la elasticidad ( $E$ ) como una medida de la capacidad que tiene la madera de volver parcial o completamente a su forma inicial una vez que desaparece la carga de tracción a la cual fue sometida

(Timoshenko, 1992), el trabajo elástico ( $W_{el}$ ) como una medida de la energía absorbida por la probeta cuando es forzada hasta el límite elástico y el trabajo hasta la máxima carga ( $W_{ml}$ ) como una medida de la resistencia de la madera (Valenzuela y Nakayama, 1991). Para tales cálculos se usaron las siguientes expresiones:

$$E = \frac{\sigma}{\delta} = \frac{P_p}{A} \times \frac{l}{\Delta l_p} \quad (1)$$

$$W_{el} = \frac{Ael}{A} = \frac{P_p \times \Delta l_p}{2A} \quad (2)$$

$$W_{ml} = \frac{A_t \times Q}{A} \quad (3)$$



Donde:

- $E$  : Es la elasticidad en  $\text{Kgf/cm}^2$ .
- $W_{el}$  : Es el trabajo elástico en  $\text{Kgf}\cdot\text{cm/cm}^2$ .
- $W_{ml}$  : Es el trabajo hasta la máxima carga en  $\text{Kgf}\cdot\text{cm/cm}^2$ .
- $\sigma$  : Es el esfuerzo en el límite proporcional ( $\text{Kgf/cm}^2$ ).
- $\delta$  : Es la deformación en el límite proporcional.
- $P_p$  : Es la carga en el límite proporcional en  $\text{Kgf}$ .
- $A$  : Es el área de falla de la probeta en  $\text{cm}^2$ .
- $l$  : Es el largo de la probeta sometida a tracción en  $\text{mm}$ .
- $\Delta l_p$  : Es el alargamiento hasta la carga en el límite proporcional en  $\text{mm}$ .
- $A_{el}$  : Área elástica en unidades de  $\text{Kgf}\cdot\text{cm}$ .
- $A_t$  : Área total bajo la curva carga - alargamiento medida desde el gráfico en  $\text{cm}^2$ .
- $Q$  : Es el factor que convierte  $1 \text{ cm}^2$  de gráfico a unidades de  $\text{Kgf}\cdot\text{cm}$ .

Análogamente, en compresión perpendicular se calculó la elasticidad (E) usando la ecuación 1 y el trabajo elástico (W<sub>el</sub>) según la ecuación 4. Obsérvese que el acortamiento (Δl<sub>p</sub>) en compresión será considerado negativo, por lo que la elasticidad siempre será un valor positivo.

$$W_{el} = \frac{Ael}{V} = \frac{Pp \times \Delta l_p}{2V} \quad (4)$$

Donde:

V : Es el volumen de la probeta sometida a compresión en cm<sup>3</sup>.

Para efecto de los cálculos, se contó con un completo historial de las dimensiones de las probetas ensayadas y su respectiva densidad básica.

### 3.2 Análisis estadístico de los resultados

3.2.1 Análisis de varianza. Se analizó como variables respuesta, la elasticidad y el trabajo en cada propiedad mecánica como un diseño de experimentos de tres factores (Tabla 2) en el software estadístico SAS.

TABLA 2. FACTORES Y NIVELES CONSIDERADOS EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL

FACTOR	Niveles	Valores			
Temperatura	4	20	40	60	80
Tiempo	4	0	12	24	48
Posición	2	Ext Int			

Nota: Las abreviaturas Ext e Int están explicadas en la Tabla 1.

Cada combinación de los factores temperatura, tiempo y posición constituye lo que se denomina tratamiento. Este diseño consta de diez tratamientos, incluido el control.

Para tal análisis, se asumieron verdaderos los cinco supuestos básicos del diseño experimental: (1) Aditividad, (2) Linearidad, (3) Independencia, (4) Normalidad y (5) Homogeneidad de varianza.

**3.2.2 Análisis de regresión lineal múltiple.** Mediante una regresión lineal múltiple ajustada por el software estadístico SAS, se relacionó la elasticidad (E) con las variables físicas ambientales tiempo y temperatura de calentamiento y la variable física de la madera densidad básica. Los parámetros de energía trabajo se relacionaron, además, con la elasticidad.

La multirregresión se aplicó para todas las observaciones exteriores e interiores en conjunto y por separado en cada ensayo mecánico.

De un set de modelos propuestos, se escogió al mejor de los aceptados por la prueba F, considerando los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y la suma de cuadrados del error medio (MSCE).

La identificación de las variables independientes que resultan ser significativas en la multirregresión, el software estadístico SAS la realiza mediante una prueba T a cada variable independiente considerada. Los niveles de significancia considerados para esta prueba son de un  $\alpha=0.05$  y  $0.01$ .





#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El apéndice I contiene un resumen detallado de los resultados obtenidos en este estudio, el que incluye tanto a las variables medidas, como otros antecedentes proporcionados por Mujica y Nova (1995). Para comprender mejor la situación expuesta en cada ítem del capítulo resultados, en el apéndice II se han graficado las curvas promedio de carga-alargamiento (acortamiento), ordenadas según tipo de ensayo mecánico y tratamiento realizado.

Para efectos estadísticos, el análisis de varianza se basó en la tabla tipo III arrojada por el software estadístico SAS. El nivel de significancia considerado para esta prueba fue de un  $\alpha = 0.05$ .

##### 4.1 Tracción perpendicular a la fibra

Las variables estudiadas fueron la elasticidad (E), el trabajo elástico ( $W_{el}$ ) y el trabajo hasta la máxima carga ( $W_{m1}$ ), tanto en probetas tangenciales como radiales (Ver Figura 2B del Anexo).

4.1.1 Elasticidad (E). La Figura 2 muestra el efecto de la temperatura y tiempo de calentamiento sobre la elasticidad (E), tanto para probetas tangenciales como

radiales, considerando la zona exterior e interior de la troza por separado y como un todo.

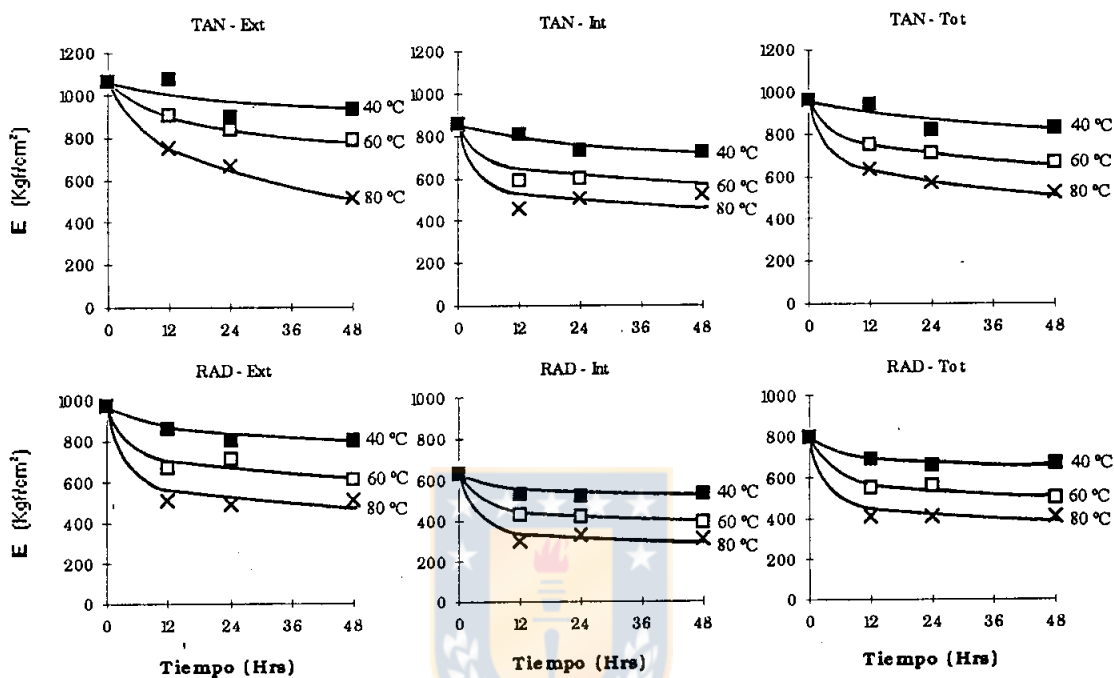


Figura 2. Relación entre la elasticidad (E) en tracción perpendicular y el tiempo de calentamiento para cada nivel de temperatura considerado.

Leyenda: TAN: Probeta tangencial, RAD: Probeta radial, Ext: Zona exterior de la troza, Int: Zona interior de la troza, Tot: Ambas zonas juntas.

Del análisis de varianza se pudo establecer que, tanto en las probetas tangenciales como radiales, el factor temperatura de calentamiento influyó significativamente sobre E. Esto es, a mayor temperatura, menor elasticidad. Por otro lado, el tiempo de calentamiento hizo disminuir significativamente a E sólo en las probetas tangenciales (Apéndice III).

Tal como se aprecia en la Figura 2, la elasticidad fue encontrada significativamente mayor en la zona exterior de la troza, tanto en las probetas tangenciales como radiales. Esto sería atribuible a la mayor densidad observada por las probetas exteriores, que como se sabe, estaría en directa relación con la elasticidad y resistencia mecánica de la madera (Kollman y Côte, 1968). La figura 3 muestra las diferencias encontradas entre las curvas promedio de carga-alargamiento exteriores e interiores, para ambos tipos de probetas estudiados en el tratamiento control.

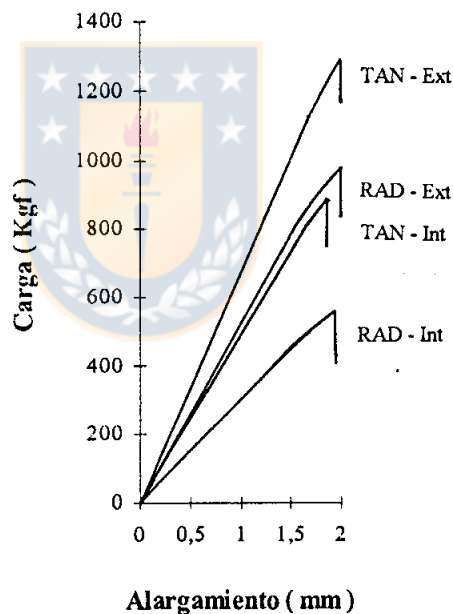


Figura 3. Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular en el estado de control.

Leyenda: Ver Figura 2.

En cuanto a los valores de E en el estado de control, así como también en los distintos tratamientos estudiados, se puede establecer que las probetas tangenciales registraron

valores más altos que las radiales, tanto en la zona exterior de la troza como en la interior (Figura 2). Esta diferencia puede ser explicada por el bajo grado de organización estructural que existe en el plano tangencial comparado con el radial, debido a que los rayos y filas de traqueidas que se insertan radialmente, provocan un pequeño grado de debilitamiento a aquel plano (Koran, 1979).

Los resultados del análisis de regresión lineal múltiple que relacionan la elasticidad con las variables independientes densidad básica de la madera, temperatura y tiempo de calentamiento, se presentan en las Tablas 3 y 4.

Considerando la zona exterior e interior de la troza como un todo, la correlación entre  $E$  y las variables independientes bajo estudio alcanzó a un 81% en el caso de las probetas radiales. La densidad básica de la madera como parámetro predictivo resultó ser significativa al 1%, tanto en las probetas tangenciales como radiales. De alguna forma, la temperatura de calentamiento resultó ser significativa en la multirregresión al 5 y 1% dependiendo del tipo de probeta, en tanto que el tiempo de calentamiento no contribuyó a la estimación de  $E$  en ningún caso.

Al considerar la zona exterior e interior de la troza por separado, la correlación entre  $E$  y las variables estudiadas mejoró levemente. La densidad básica de la madera dejó de ser significativa en la multirregresión en todo los casos, mientras que las variables temperatura y tiempo de calentamiento contribuyeron a la estimación de  $E$  sólo en las probetas tangenciales.

TABLA 3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA LA ELASTICIDAD (E) EN TRACCIÓN PERPENDICULAR TANGENCIAL.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Log (E) (Kgf/cm <sup>2</sup> )  Total de Datos	Intercepto	1.2325			Obs =193 <sup>d)</sup> C.V. =2.75 <sup>e)</sup> F-Tests <sup>f)</sup> =52.749 ** r =0.7936 <sup>g)</sup> r <sup>2</sup> =0.6298 <sup>h)</sup>
	Den ... a)	4.6738	1.1152	4.191 **	
	Den <sup>2</sup>	-3.1075	0.8741	-3.555 **	
	Tem ... b)	0.0031	0.0026	1.179 ns	
	Tem <sup>2</sup>	-0.00007	0.00002	-2.910 **	
	Ti ... c)	0.0004	0.0023	0.165 ns	
	Ti <sup>2</sup>	-0.00003	0.00004	-0.918 ns	
Log (E) (Kgf/cm <sup>2</sup> )  Zona Exterior	Intercepto	2.3793			Obs =97 C.V. =2.36 F-Tests =26.762 ** r =0.8005 r <sup>2</sup> =0.6408
	Den	1.5831	2.3584	0.671 ns	
	Den <sup>2</sup>	-1.2083	1.6930	-0.714 ns	
	Tem	0.0094	0.0034	2.786 **	
	Tem <sup>2</sup>	-0.0001	0.00003	-3.967 **	
	Ti	-0.0063	0.0029	-2.138 *	
	Ti <sup>2</sup>	0.00006	0.00005	1.275 ns	
Log (E) (Kgf/cm <sup>2</sup> )  Zona Interior	Intercepto	2.0258			Obs =96 C.V. =2.60 F-Tests =22.187 ** r =0.7741 r <sup>2</sup> =0.5993
	Den	2.8799	2.0957	1.374 ns	
	Den <sup>2</sup>	-2.0144	1.7483	-1.152 ns	
	Tem	-0.0047	0.0036	-1.287 ns	
	Tem <sup>2</sup>	1.5x10 <sup>-7</sup>	0.00003	-0.005 ns	
	Ti	0.0048	0.0030	1.594 ns	
	Ti <sup>2</sup>	-0.00009	0.00005	-1.793 ns	

a) Den: Densidad básica de la madera (gr/cm<sup>3</sup>), b) Tem: Temperatura de calentamiento (°C), c) Ti: Tiempo de calentamiento (hrs), d) Obs: Número de observaciones, e) C.V.: Coeficiente de variación del modelo (%), f) F-Tests: Valor F para el coeficiente de correlación, g) r: Coeficiente de correlación y h) r<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

Notas: \*: Significante al 5%, \*\*: Significante al 1%, ns: no significativo al 5 ni 1%.

TABLA 4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA LA ELASTICIDAD (E) EN TRACCIÓN PERPENDICULAR RADIAL.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Total de Datos	Intercepto	-1115.5993			Obs =199 C.V. =20.87 F-Tests =61.900 ** r =0.8119 r <sup>2</sup> =0.6592
	Den	5398.2083	1368.4622	3.945 **	
	Den <sup>2</sup>	-3229.8932	1043.4368	-3.095 **	
	Tem	-8.3847	3.8399	-2.184 *	
	Tem <sup>2</sup>	0.0084	0.0328	0.257 ns	
	Ti	1.7885	3.4026	0.526 ns	
	Ti <sup>2</sup>	-0.0347	0.0556	-0.625 ns	
Log (E) (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Zona Exterior	Intercepto	2.5031			Obs =99 C.V. =1.91 F-Tests =53.620 ** r =0.8818 r <sup>2</sup> =0.7776
	Den	1.4164	1.0146	1.396 ns	
	Den <sup>2</sup>	-0.9652	0.7260	-1.329 ns	
	Tem	-0.0011	0.0025	-0.440 ns	
	Tem <sup>2</sup>	-0.00003	0.00002	-1.571 ns	
	Ti	0.0001	0.0022	0.054 ns	
	Ti <sup>2</sup>	-0.00001	0.00004	-0.389 ns	
E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Zona Interior	Intercepto	201.8108			Obs =100 C.V. =15.05 F-Tests =42.540 ** r =0.8561 r <sup>2</sup> =0.7329
	1/Log (Den)	-0.4216	3.5789	-0.118 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	0.0078	0.3099	0.025 ns	
	1/Log Tem	-782.8378	666.1654	-1.175 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	811.2425	577.9219	1.404 ns	
	1/Log (Ti+2)	11.0381	9.2724	1.190 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	-6.6284	3.6710	-1.806 ns	

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

4.1.2 Trabajo elástico (Wel). La Figura 4 muestra el efecto de la temperatura y tiempo de calentamiento sobre Wel, tanto en probetas tangenciales como radiales, considerando la zona exterior e interior de la troza por separado y como un todo.

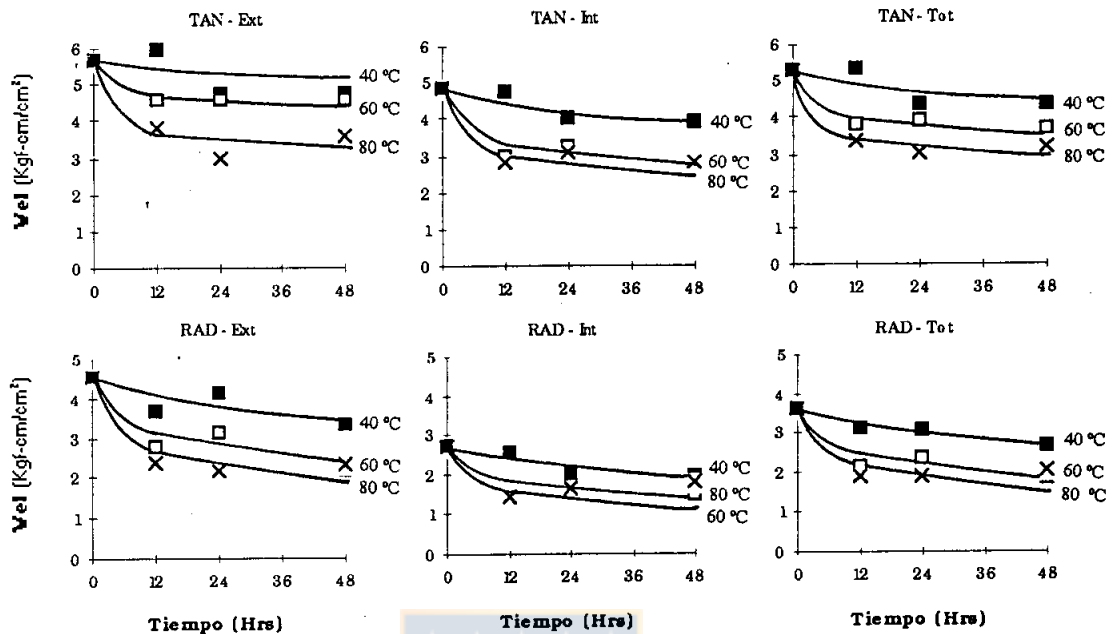


Figura 4. Relación entre el trabajo elástico ( $W_{el}$ ) en tracción perpendicular y el tiempo de calentamiento para cada nivel de temperatura considerado.

Leyenda: Las abreviaturas TAN, RAD, Ext, Int y Tot, se encuentran explicadas en la Figura 2.

El análisis de varianza estableció que, tanto la temperatura como el tiempo de calentamiento hicieron disminuir significativamente el  $W_{el}$  en ambos tipos de probetas consideradas (Apéndice IV).

Al igual que  $E$ ,  $W_{el}$  fue encontrado significativamente mayor en la zona exterior de la troza, tanto en las probetas tangenciales como radiales (Figura 4). La mayor tensión en el límite proporcional registrada por las probetas exteriores, se tradujo en una mayor área elástica en la curva de carga-alargamiento, ya que el alargamiento

observado no difiere mayormente entre exterior e interior (Figura 3).

Como se aprecia en la Figura 4, las probetas tangenciales registraron valores más altos que las radiales, en cada uno de los distintos tratamientos estudiados, tanto en la zona exterior de la troza como en la interior. Esta diferencia puede ser fácilmente visible en la Figura 3, donde las probetas ensayadas en tracción tangencial registraron valores de tensión y alargamiento proporcionalmente mayor a los registrados por las probetas bajo tracción radial. Esto último obedece a las diferencias anatómicas existentes entre los planos tangenciales y radiales explicados anteriormente por Koran (1979).

Las Tablas 5 y 6 presentan los resultados del análisis de regresión lineal múltiple que relacionan al trabajo elástico con las variables independientes elasticidad, densidad básica de la madera, temperatura y tiempo de calentamiento.

Analizando la zona exterior e interior de la troza en conjunto, la correlación entre  $W_{el}$  y las variables independientes en estudio alcanzó a un 84% en el caso de las probetas radiales. Tanto en las probetas tangenciales como radiales, la elasticidad resultó ser significativa al 1% en la multirregresión, en tanto que la densidad básica de la madera no figura contribuir a la estimación del  $W_{el}$  en ningún caso. Los factores temperatura y tiempo de calentamiento resultan ser significativos en el modelo sólo en las probetas radiales.



TABLA 5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA EL TRABAJO ELÁSTICO (Wel) EN TRACCIÓN PERPENDICULAR TANGENCIAL.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Wel (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> )  Total de Datos	Intercepto	163.6268			Obs =199 C.V. =23.04 F-Tests =58.410 ** r =0.8431 r <sup>2</sup> =0.7109
	1/Log (E)	-833.6879	127.9878	-6.514 **	
	1/Log <sup>2</sup> (E)	1105.1898	179.8994	6.143 **	
	1/Log (Den)	-0.1121	0.1117	-1.004 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	-0.0042	0.0068	-0.615 ns	
	1/Log (Tem)	-17.6881	59.5940	-0.297 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	18.4891	51.4317	0.359 ns	
	1/Log (Ti+2)	0.3462	0.8690	0.398 ns	
1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	-0.1869	0.3309	-0.565 ns		
Wel (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> )  Zona Exterior	Intercepto	-0.4697			Obs =97 C.V. =17.58 F-Tests =17.173 ** r =0.7808 r <sup>2</sup> =0.6096
	E	-0.0014	0.0029	-0.485 ns	
	E <sup>2</sup>	0.000003	0.000002	1.976 *	
	Den	8.6143	27.5010	0.313 ns	
	Den <sup>2</sup>	-5.3918	19.7440	-0.273 ns	
	Tem	0.0479	0.0419	1.142 ns	
	Tem <sup>2</sup>	-0.0005	0.0004	-1.319 ns	
	Ti	-0.0470	0.0352	-1.335 ns	
Ti <sup>2</sup>	0.0008	0.0006	1.471 ns		
Wel (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> )  Zona Interior	Intercepto	177.0734			Obs =96 C.V. =16.34 F-Tests =25.944 ** r =0.8394 r <sup>2</sup> =0.7046
	1/Log (E)	-698.4218	177.3620	-3.938 **	
	1/Log <sup>2</sup> (E)	918.8913	245.0262	3.750 **	
	1/Log (Den)	0.1610	0.3578	0.450 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	0.0199	0.0324	0.613 ns	
	1/Log (Tem)	-152.5186	69.6642	-2.189 *	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	136.4865	60.1980	2.267 *	
	1/Log (Ti+2)	2.4700	1.0134	2.437 *	
1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	-1.1152	0.3876	-2.877 **		

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

Al considerar la zona exterior e interior de la troza por separado, las variables que contribuyen a la estimación del Wel difieren en cada caso. Aparentemente, la temperatura y tiempo de calentamiento cobran mayor importancia como

TABLA 6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA EL TRABAJO ELÁSTICO (Wel) EN TRACCIÓN PERPENDICULAR RADIAL.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Wel (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> ) Total de Datos	Intercepto	120.4438			Obs =193 C.V. =17.49 F-Tests =50.306 ** r =0.8284 r <sup>2</sup> =0.6862
	1/Log (E)	-364.3371	50.4732	-7.218 **	
	1/Log <sup>2</sup> (E)	444.9825	66.0874	6.718 **	
	1/Log (Den)	-0.1133	0.0715	-1.584 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	-0.0034	0.0035	-0.982 ns	
	1/Log (Tem)	-158.9748	47.6322	-3.338 **	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	138.6972	41.1587	3.370 **	
	1/Log (Ti+2)	1.3481	0.6576	2.050 *	
1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	-0.7879	0.2583	-3.050 **		
Wel (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> ) Zona Exterior	Intercepto	2.4019			Obs =99 C.V. =20.72 F-Tests =21.363 ** r =0.8093 r <sup>2</sup> =0.6550
	E	0.0047	0.0037	1.263 ns	
	E <sup>2</sup>	-0.000001	0.000002	-0.468 ns	
	Den	-0.0648	12.0281	-0.005 ns	
	Den <sup>2</sup>	0.6512	8.5992	0.076 ns	
	Tem	-0.0969	0.0318	-3.044 **	
	Tem <sup>2</sup>	0.0007	0.0003	2.569 **	
	Ti	0.0649	0.0260	2.498 **	
Ti <sup>2</sup>	-0.0012	0.0004	-2.756 **		
Wel (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> ) Zona Interior	Intercepto	73.4914			Obs =100 C.V. =24.46 F-Tests =10.322 ** r =0.6897 r <sup>2</sup> =0.4757
	1/Log (E)	-147.3662	82.0331	-1.796 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (E)	175.6372	103.1428	1.703 ns	
	1/Log (Den)	0.1458	0.2918	0.500 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	0.0167	0.0252	0.660 ns	
	1/Log (Tem)	-146.2410	56.1391	-2.605 **	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	129.0539	48.4986	2.661 **	
	1/Log (Ti+2)	1.1309	0.7664	1.476 ns	
1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	-0.7090	0.3061	-2.316 *		

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

parámetros predictivos del Wel, mientras que la elasticidad se vuelve menos importante.

4.1.3 Trabajo hasta la máxima carga (W<sub>ml</sub>). La Figura 5 muestra el efecto de la temperatura y tiempo de calentamiento sobre el W<sub>ml</sub>, tanto para probetas tangenciales como radiales, considerando la zona exterior e interior de la troza por separado y como un todo.

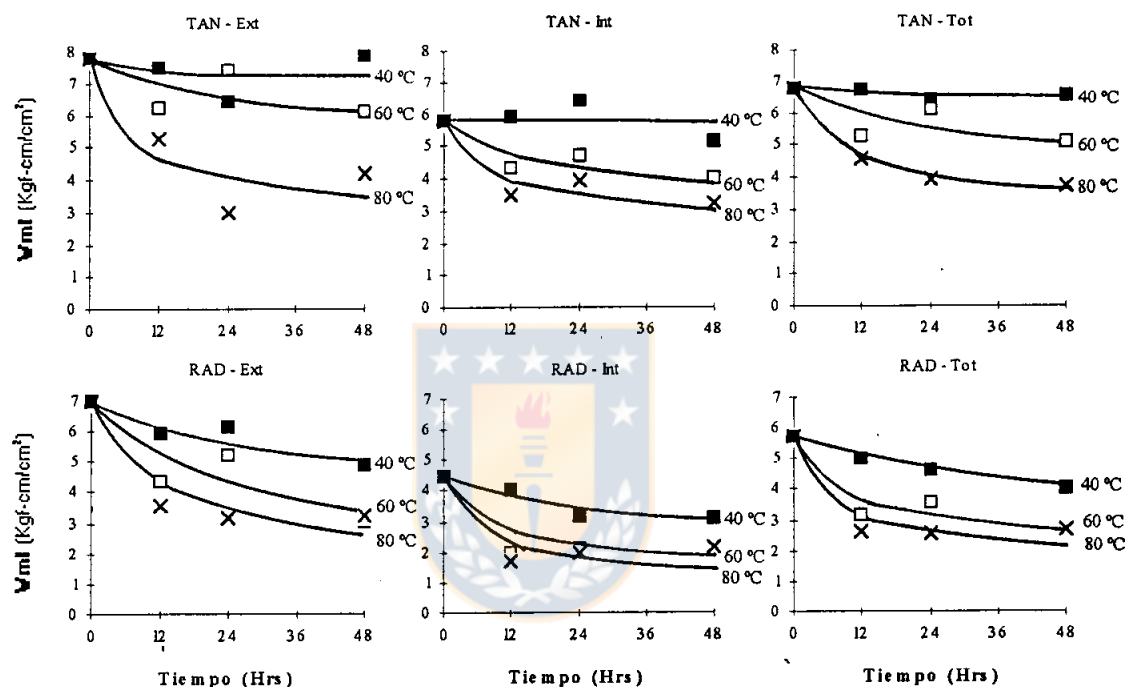


Figura 5. Relación entre el trabajo hasta la máxima carga (W<sub>ml</sub>) en tracción perpendicular y el tiempo de calentamiento para cada nivel de temperatura considerado.

Leyenda: Las abreviaturas TAN, RAD, Ext, Int y Tot, se encuentran explicadas en la Figura 2.

De los resultados obtenidos, se pudo establecer que, en ambos tipos de probetas, tangenciales y radiales, la temperatura de calentamiento hizo disminuir significativamente el W<sub>ml</sub>. Por otro lado, el tiempo de

calentamiento afectó significativamente el  $W_{m1}$  sólo en las probetas radiales (Apéndice V).

Del análisis de varianza y como se puede apreciar en la Figura 5, el  $W_{m1}$  fue encontrado significativamente mayor en la zona exterior de la troza, tanto en las probetas tangenciales como radiales. Esta diferencia es aún más notoria al observar la Figura 3, donde el área bajo la curva promedio de carga-alargamiento en el estado control (por ejemplo), es mucho mayor en las probetas exteriores en comparación a las interiores en los dos tipos de probetas.

Por otro lado, las probetas tangenciales también presentaron valores de  $W_{m1}$  más altos que las probetas radiales, en los distintos tratamientos estudiados, tanto para la zona exterior de la troza, como en la interior. Estas diferencias también pueden ser apreciadas claramente en la Figura 3.

Los resultados del análisis de regresión lineal múltiple que relacionan al trabajo hasta la máxima carga con las variables independientes elasticidad, densidad básica de la madera, temperatura y tiempo de calentamiento, se presentan en las Tablas 7 y 8.

Un análisis de la zona exterior e interior en conjunto estableció que, la correlación entre  $W_{m1}$  y las variables independientes consideradas fue levemente inferior a la mostrada por el  $W_{e1}$ , alcanzando un 82% en el caso de las probetas radiales. La elasticidad como parámetro predictivo, resultó ser significativa al 1%, tanto en

TABLA 7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA EL TRABAJO HASTA LA MÁXIMA CARGA (Wml) EN TRACCIÓN PERPENDICULAR TANGENCIAL.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Wml (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> ) Total de Datos	Intercepto	173.5166			Obs =193 C.V. =22.60 F-Tests =33.253 ** r =0.7688 r <sup>2</sup> =0.7109
	1/Log (E)	-1243.2877	226.6383	-5.486 **	
	1/Log <sup>2</sup> (E)	1659.0847	318.5622	5.208 **	
	1/Log (Den)	-0.2878	0.1977	-1.456 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	-0.0141	0.0120	-1.179 ns	
	1/Log (Tem)	211.3871	105.5279	2.003 *	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	-174.7515	91.0743	-1.919 ns	
	1/Log (Ti+2)	-1.9250	1.5387	-1.251 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	0.8690	0.5859	1.483 ns	
Wml (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> ) Zona Exterior	Intercepto	-6.9155			Obs =97 C.V. =22.38 F-Tests =12.262 ** r =0.7260 r <sup>2</sup> =0.5271
	1/E	-11750	2846.0713	-4.129 **	
	1/E <sup>2</sup>	2774253	853281.145	3.251 **	
	1/Den	25.0729	25.5719	0.980 ns	
	1/Den <sup>2</sup>	-8.5687	8.6483	-0.991 ns	
	1/Tem	604.9889	422.6458	1.431 ns	
	1/Tem <sup>2</sup>	-14.845	10717.4068	-1.385 ns	
	1/(Ti+1)	-15.8445	8.2203	-1.927 ns	
	1/(Ti+1) <sup>2</sup>	27.9022	12.1486	2.297 *	
Wml (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> ) Zona Interior	Intercepto	11.7837			Obs =96 C.V. =20.80 F-Tests =15.500 ** r =0.7666 r <sup>2</sup> =0.5877
	E	-0.0067	0.0044	-1.523 ns	
	E <sup>2</sup>	0.000007	0.000003	2.262 *	
	Den	-20.0243	28.8161	-0.695 ns	
	Den <sup>2</sup>	19.2885	23.9616	0.805 ns	
	Tem	-0.0272	0.0506	-0.537 ns	
	Tem <sup>2</sup>	-0.0001	0.0004	-0.339 ns	
	Ti	0.1488	0.0418	3.563 **	
		Ti <sup>2</sup>	-0.0027	0.0007	

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

las probetas tangenciales como radiales. De alguna forma, la temperatura de calentamiento resultó ser significativa en la multirregresión al 5 y 1%, dependiendo del tipo de

TABLA 8. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA EL TRABAJO HASTA LA MÁXIMA CARGA (Wml) EN TRACCIÓN PERPENDICULAR RADIAL.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Wml (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> ) Total de Datos	Intercepto	189.2890			Obs =199 C.V. =29.39 F-Tests =48.213 ** r =0.8185 r <sup>2</sup> =0.6700
	1/Log (E)	-573.5474	96.0493	-5.971 **	
	1/Log <sup>2</sup> (E)	684.0325	125.7629	5.439 **	
	1/Log (Den)	0.0417	0.1361	0.306 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	0.0032	0.0067	0.486 ns	
	1/Log (Tem)	-240.9835	90.6429	-2.659 **	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	209.7168	78.3241	2.678 **	
	1/Log (Ti+2)	3.0588	1.2514	2.444 *	
	1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	-1.4287	0.4916	-2.906 **	
Wml (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> ) Zona Exterior	Intercepto	9.4028			Obs =99 C.V. =26.28 F-Tests =15.806 ** r =0.7643 r <sup>2</sup> =0.5842
	E	0.01075	0.0072	1.497 ns	
	E <sup>2</sup>	-0.000003	0.000005	-0.723 ns	
	Den	-20.6085	23.2671	-0.886 ns	
	Den <sup>2</sup>	13.8839	16.6342	0.835 ns	
	Tem	-0.1222	0.0616	-1.986 *	
	Tem <sup>2</sup>	0.0009	0.0005	1.725 ns	
	Ti	0.0805	0.0503	1.600 ns	
	Ti <sup>2</sup>	-0.0016	0.0008	-1.970 *	
Wml (Kgf-cm/cm <sup>2</sup> ) Zona Interior	Intercepto	125.8907			Obs =100 C.V. =32.01 F-Tests =14.065 ** r =0.7436 r <sup>2</sup> =0.5529
	1/Log (E)	-257.3037	154.3952	-1.667 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (E)	300.5314	194.1259	1.548 ns	
	1/Log (Den)	0.1839	0.5491	0.335 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	0.0167	0.0475	0.351 ns	
	1/Log (Tem)	-249.1963	105.6599	-2.358 *	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	222.2596	91.2795	2.435 *	
	1/Log (Ti+2)	2.2904	1.4425	1.588 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	-1.3377	0.5761	-2.322 *	

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

probeta, en tanto que el tiempo de calentamiento resultó ser significativo sólo en las probetas radiales. La densidad básica de la madera no contribuyó a la estimación del Wml en ningún caso.

Al analizar la zona exterior e interior de la troza por separado, se tuvo que los parámetros que contribuyen a la estimación del  $W_{ml}$  siguen siendo una combinación de las variables elasticidad, temperatura y tiempo de calentamiento, dependiendo tal combinación, del tipo de probeta y zona de la troza considerada. La densidad básica de la madera no contribuyó a la estimación del  $W_{ml}$  en ningún caso.

## 4.2 Compresión perpendicular

Las variables estudiadas fueron la elasticidad (E) y el trabajo elástico ( $W_{el}$ ), tanto en probetas con el ángulo de inclinación del anillo de crecimiento tangencial y radial, como mixto (Ver Figura 3B del Anexo).

4.2.1 Elasticidad (E). La Figura 6 muestra el efecto de la temperatura y tiempo de calentamiento sobre la elasticidad (E), tanto para probetas tangenciales y radiales, como mixtas, considerando la zona exterior e interior de la troza por separado y como un todo.

Del análisis de varianza se puede establecer que, la temperatura de calentamiento hizo disminuir significativamente los valores de E, tanto en las probetas tangenciales y radiales, como en las mixtas. De igual forma, el tiempo de calentamiento afectó significativamente a E en las probetas radiales y mixtas (Apéndice III).

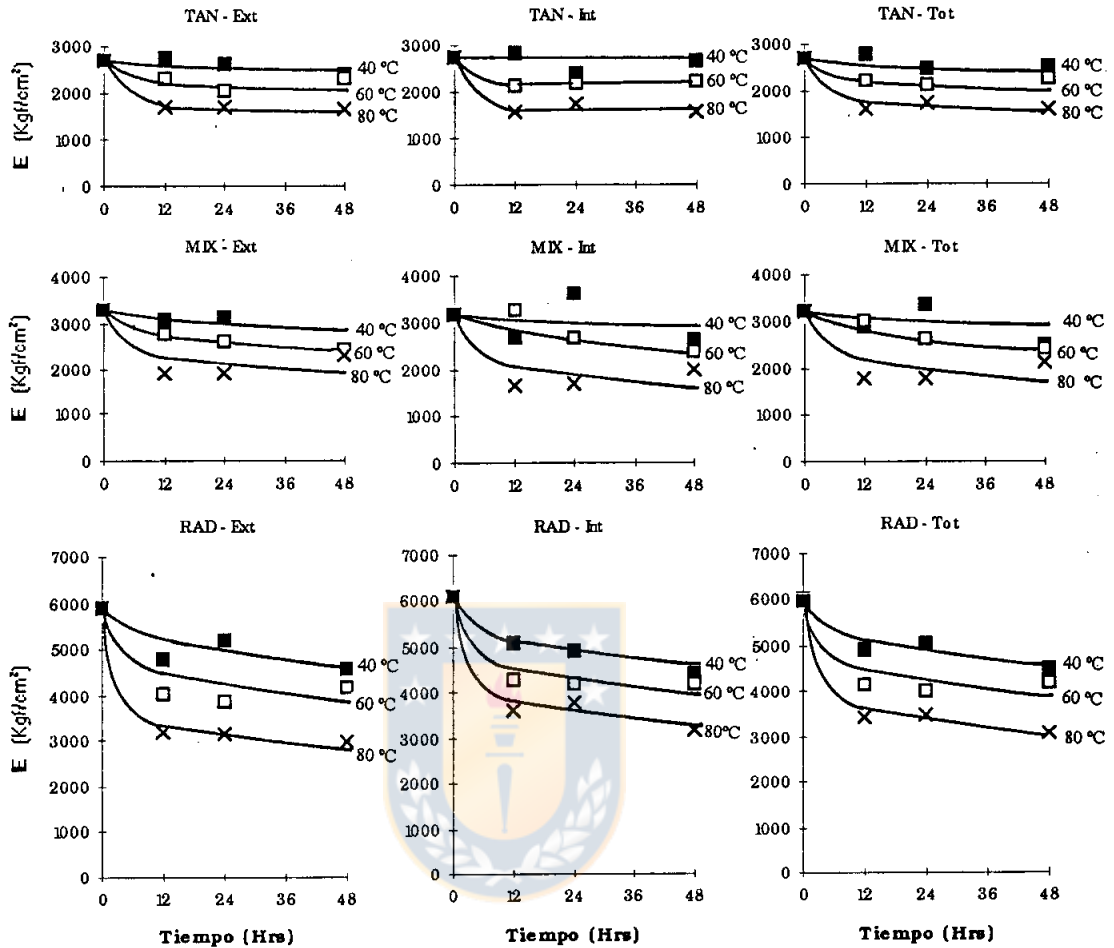


Figura 6. Relación entre la elasticidad (E) en compresión perpendicular y el tiempo de calentamiento para cada nivel de temperatura considerado.

Leyenda: TAN: Probeta tangencial, RAD: Probeta radial, MIX: Probeta mixta, Ext: Zona exterior de la troza, Int: Zona interior de la troza, Tot: Ambas zonas juntas.

Sorprendentemente, la elasticidad fue encontrada significativamente mayor en la zona interior de la troza en el caso de las probetas radiales, mientras que en las probetas tangenciales y mixtas, no se advierte diferencias entre exterior e interior (Figura 6). Para explicar mejor



esta situación, en la Figura 7 se han graficado las cargas y acortamientos promedios en el límite proporcional para el tratamiento control, según el tipo de probeta ensayada y su posición radial en la troza.

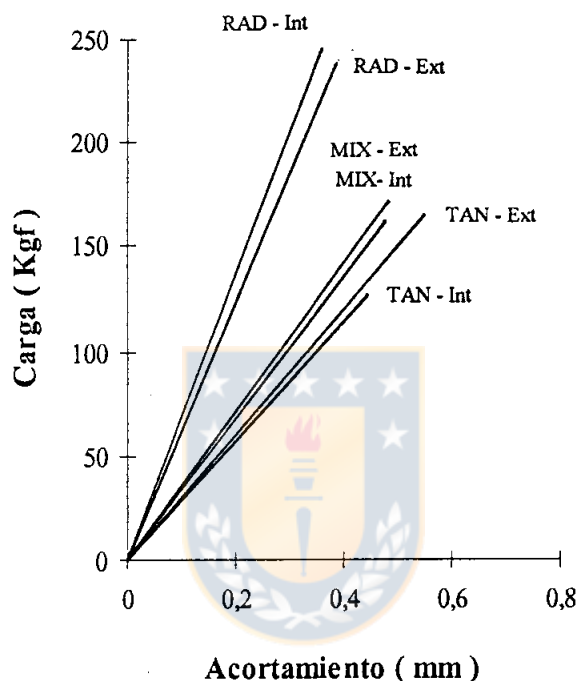


Figura 7. Gráfica de las cargas y acortamientos promedios en el límite proporcional para el ensayo de compresión perpendicular en el tratamiento control.

Leyenda: Ver Figura 6.

En cuanto a la variación de E con respecto al ángulo de inclinación del anillo de crecimiento en la probeta, se puede establecer que, las probetas radiales registraron valores más altos que las mixtas, y a su vez estas últimas, valores mayores a las tangenciales, tanto en la zona exterior de la troza como en la interior, para los diversos

tratamientos estudiados (Figura 8). Estudios realizados por Kennedy (1968) en seis especies de latifoliadas, se ajustan a lo establecido anteriormente, aludiendo como posible explicación, las diferencias anatómicas que existen entre la dirección tangencial y radial en la madera. Según este autor, la presencia de una alta cantidad de rayos medulares acentuaría las diferencias en las propiedades elásticas de la madera entre la dirección tangencial y radial.

Los resultados del análisis de regresión lineal múltiple que relacionan la elasticidad con las variables independientes densidad básica de la madera, temperatura y tiempo de calentamiento, son presentados en las Tablas 9, 10 y 11.

Considerando la zona exterior e interior de la troza como un todo, la correlación entre E y las variables independientes en estudio alcanzó un 86% en el caso de las probetas tangenciales. La densidad básica de la madera casi no figura como parámetro predictivo, mientras que la temperatura y tiempo de calentamiento contribuyen a la estimación de E al 1% de significancia en la mayoría de los casos.

Al considerar la zona exterior e interior de la troza por separado, la correlación entre E y las variables independientes mejoró levemente en todo los casos. Las variables que contribuyen a la estimación de E difiere según el tipo de probeta y la zona de la troza considerada. Aparentemente, la temperatura de calentamiento suele ser el parámetro más importante en la estimación de E al constituirse significativo al 1% en la mayoría de los casos.

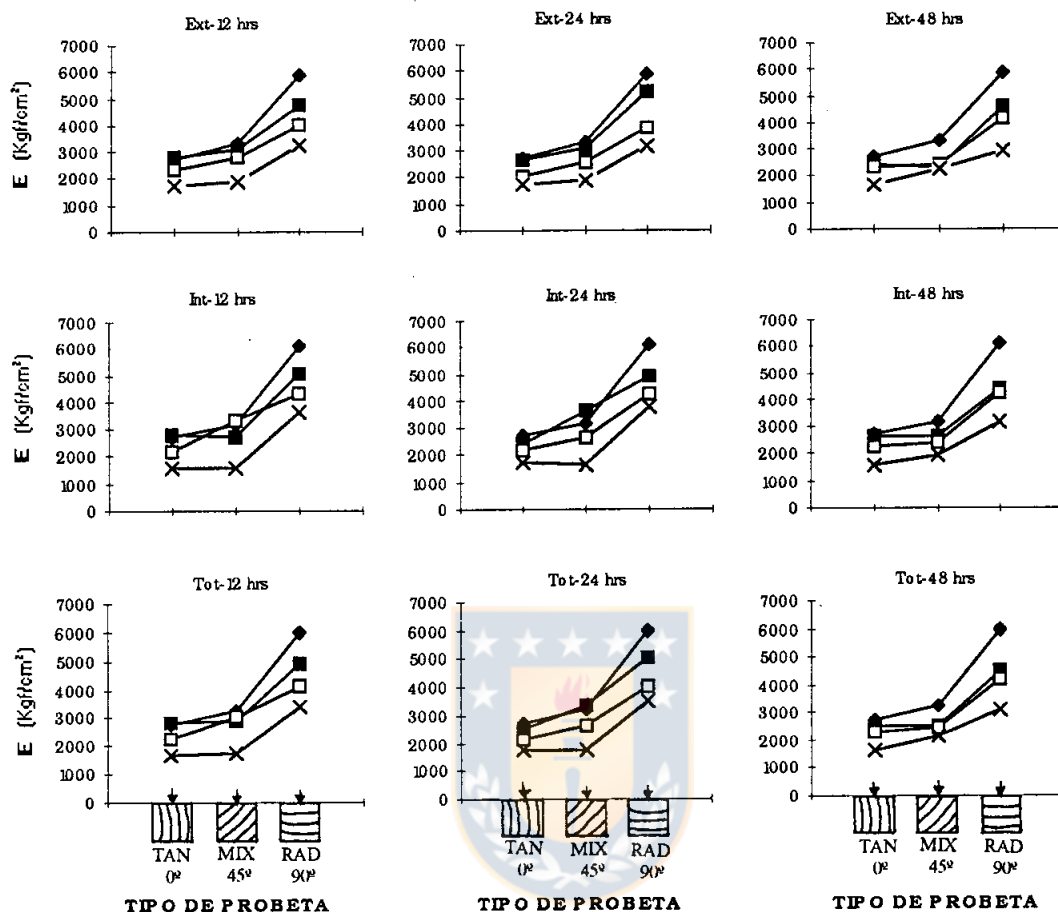


Figura 8. Variación de la elasticidad ( $E$ ) en compresión perpendicular respecto al ángulo de inclinación del anillo de crecimiento en la probeta.

Leyenda: Ext: Zona exterior de la troza, Int: Zona interior de la troza y Tot: Ambas zonas juntas. Los periodos de calentamiento se denotan como 12, 24 y 48 hrs. El ángulo de inclinación del anillo de crecimiento respecto a la dirección de la carga denominan como TAN: Probeta tangencial, RAD: Probeta radial y MIX: Probeta mixta.  
 ◆: Control, ■: 40 °C, □: 60 °C, x: 80 °C.

TABLA 9. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA LA ELASTICIDAD (E) EN COMPRESIÓN PERPENDICULAR TANGENCIAL.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
1/E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Total de Datos	Intercepto	0.0056			Obs =200 C.V. =12.02 F-Tests =92.866 ** r =0.8618 r <sup>2</sup> =0.7427
	1/Den	-0.0043	0.0023	-1.903 ns	
	1/Den <sup>2</sup>	0.0012	0.0006	2.013 *	
	1/Tem	-0.0973	0.0103	-9.425 **	
	1/Tem <sup>2</sup>	2.1427	0.2700	7.937 **	
	1/(Ti+1)	-0.0001	0.0002	-0.505 ns	
	1/(Ti+1) <sup>2</sup>	-0.0015	0.0003	-4.277 **	
1/E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Zona Exterior	Intercepto	0.0042			Obs =100 C.V. =11.08 F-Tests =47.798 ** r =0.8690 r <sup>2</sup> =0.7551
	Den	-0.0136	0.0094	-1.444 ns	
	Den <sup>2</sup>	0.0124	0.0093	1.337 ns	
	Tem	-0.000007	0.000002	-2.678 **	
	Tem <sup>2</sup>	9x10 <sup>-8</sup>	2x10 <sup>-8</sup>	4.460 **	
	Ti	0.000002	0.00002	0.812 ns	
Ti <sup>2</sup>	-2x10 <sup>-8</sup>	4x10 <sup>-8</sup>	-0.593 ns		
1/E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Zona Interior	Intercepto	0.0128			Obs =100 C.V. =12.78 F-Tests =47.082 ** r =0.8674 r <sup>2</sup> =0.7523
	1/Den	-0.0113	0.0054	-2.090 *	
	1/Den <sup>2</sup>	0.0028	0.0013	2.134 *	
	1/Tem	-0.1028	0.0161	-6.393 **	
	1/Tem <sup>2</sup>	2.2498	0.4205	5.350 **	
	1/(Ti+1)	0.000007	0.0003	0.022 ns	
	1/(Ti+1) <sup>2</sup>	-0.0017	0.0005	-3.048 **	

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

TABLA 10. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA LA ELASTICIDAD (E) EN COMPRESIÓN PERPENDICULAR MIXTA.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
1/E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Total de Datos	Intercepto	-0.0013			Obs =199 C.V. =19.50 F-Tests =35.896 ** r =0.7271 r <sup>2</sup> =0.5287
	1/Den	0.0028	0.0015	1.905 ns	
	1/Den <sup>2</sup>	-0.0007	0.0004	-1.850 ns	
	1/Tem	-0.1046	0.0148	-7.071 **	
	1/Tem <sup>2</sup>	2.4022	0.3864	6.217 **	
	1/(Ti+1)	0.0001	0.0003	0.344 ns	
	1/(Ti+1) <sup>2</sup>	-0.0020	0.0004	-4.145 **	
1/E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Zona Exterior	Intercepto	0.0029			Obs =99 C.V. =17.51 F-Tests =19.121 ** r =0.7450 r <sup>2</sup> =0.5550
	Den	-0.0073	0.0156	-0.467 ns	
	Den <sup>2</sup>	0.0048	0.0144	0.335 ns	
	Tem	8.1x10 <sup>-7</sup>	0.000003	0.237 ns	
	Tem <sup>2</sup>	1.6x10 <sup>-8</sup>	3x10 <sup>-8</sup>	0.529 ns	
	Ti	1.2x10 <sup>-7</sup>	0.000003	0.039 ns	
	Ti <sup>2</sup>	8.9x10 <sup>-9</sup>	5x10 <sup>-8</sup>	0.179 ns	
1/E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Zona Interior	Intercepto	0.0133			Obs =100 C.V. =17.90 F-Tests =31.826 ** r =0.8201 r <sup>2</sup> =0.6725
	1/Den	-0.0110	0.0040	-2.728 **	
	1/Den <sup>2</sup>	0.0027	0.0010	2.701 **	
	1/Tem	-0.1688	0.0202	-8.358 **	
	1/Tem <sup>2</sup>	4.0131	0.5293	7.582 **	
	1/(Ti+1)	0.0004	0.0004	1.100 ns	
	1/(Ti+1) <sup>2</sup>	-0.0038	0.0007	-5.558 **	

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

TABLA 11. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA LA ELASTICIDAD (E) EN COMPRESIÓN PERPENDICULAR RADIAL.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Total de Datos	Intercepto	5559.9785			Obs =200 C.V. =13.78 F-Tests =65.907 ** r =0.8198 r <sup>2</sup> =0.6720
	Den	-422.9610	44685.8912	-0.009 ns	
	Den <sup>2</sup>	5119.5834	39895.8915	0.128 ns	
	Tem	-53.2844	19.2050	-2.775 **	
	Tem <sup>2</sup>	0.1387	0.1647	0.842 ns	
	Ti	1.8743	17.0220	0.110 ns	
	Ti <sup>2</sup>	-0.1418	0.2771	-0.512 ns	
E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Zona Exterior	Intercepto	-37900			Obs =100 C.V. =13.25 F-Tests =43.142 ** r =0.8577 r <sup>2</sup> =0.7357
	1/Log (Den)	2534.6671	1912.3940	1.325 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	331.9182	219.7056	1.511 ns	
	1/Log (Tem)	145558	64302.9049	2.264 *	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	-111402	55633.7584	-2.002 *	
	1/Log (Ti+2)	-17.3060	913.6900	-0.019 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	223.3292	351.3519	0.636 ns	
E (Kgf/cm <sup>2</sup> ) Zona Interior	Intercepto	-49286			Obs =100 C.V. =13.61 F-Tests =28.895 ** r =0.8068 r <sup>2</sup> =0.6509
	Den	198898	217458.937	0.915 ns	
	Den <sup>2</sup>	-175547	199891.749	-0.878 ns	
	Tem	-51.8594	27.4276	-1.891 ns	
	Tem <sup>2</sup>	0.1683	0.2351	0.716 ns	
	Ti	-6.9695	24.2788	-0.287 ns	
	Ti <sup>2</sup>	-0.0574	0.3961	-0.145 ns	

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

4.2.2 Trabajo elástico (Wel). La Figura 9 muestra el efecto de la temperatura y tiempo de calentamiento sobre el Wel, tanto para probetas tangenciales y radiales, como mixtas, considerando la zona exterior e interior de la troza por separado y como un todo.

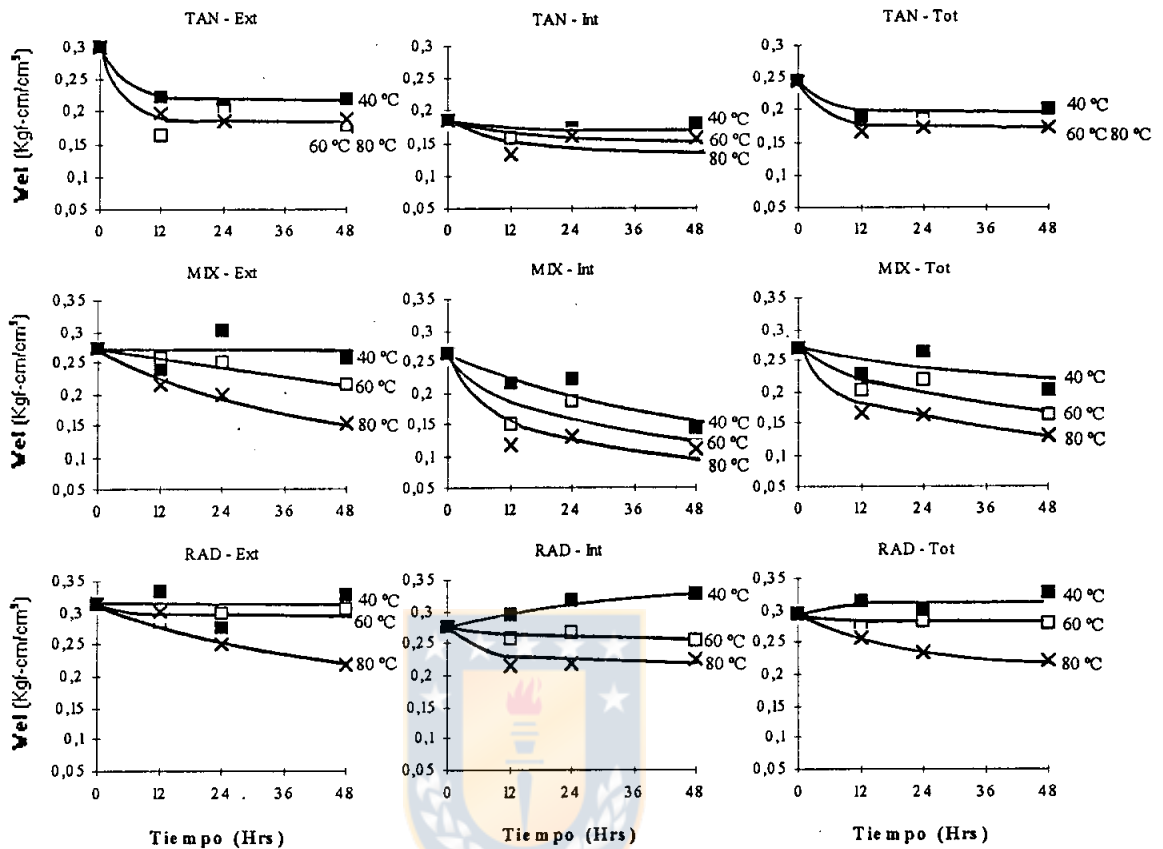


Figura 9. Relación entre el trabajo elástico ( $W_{el}$ ) en compresión perpendicular y el tiempo de calentamiento para cada nivel de temperatura considerado.

Leyenda: Las abreviaturas TAN, RAD, MIX, Ext, Int y Tot, se encuentran explicadas en la Figura 6.

De los resultados obtenidos en el análisis de varianza, se estableció que, tanto en las probetas tangenciales y radiales, como en las mixtas, el  $W_{el}$  sufrió una reducción significativa con la temperatura de calentamiento. Similarmente, el factor tiempo de calentamiento también hizo disminuir el  $W_{el}$ , aunque sólo se manifestó en forma significativa en las probetas radiales y mixtas (Apéndice IV).

A diferencia de la elasticidad, el trabajo elástico fue encontrado significativamente mayor en la zona exterior de la troza, en los tres tipos de probetas estudiadas (Figura 9). Según se aprecia en la Figura 7, las probetas exteriores presentan una mayor área elástica en la gráfica carga-acortamiento, ya sea por presentar una mayor carga o acortamiento en el límite proporcional. Esto último también podría atribuirse a las diferencias existentes en densidad entre las probetas exteriores e interiores, siendo mayor en las primeras.

La variación del Wel con respecto al ángulo de inclinación del anillo de crecimiento en la probeta se muestra en la Figura 10. Tanto en la zona exterior de la troza, como en la interior, las probetas radiales presentaron valores de Wel más altos que las mixtas, y a su vez estas últimas, valores mayores a las tangenciales.

Las Tablas 12, 13 y 14 presentan los resultados del análisis de regresión lineal múltiple que relacionan al trabajo elástico en compresión perpendicular con las variables independientes elasticidad, densidad básica de la madera, temperatura y tiempo de calentamiento.

Al considerar la zona exterior e interior de la troza en conjunto, la correlación entre el Wel y las variables independientes consideradas fue bastante más baja a la obtenida por el Wel en tracción perpendicular, alcanzando a un 79% en el mejor de los casos (probetas radiales). La elasticidad es el única variable independiente que en los



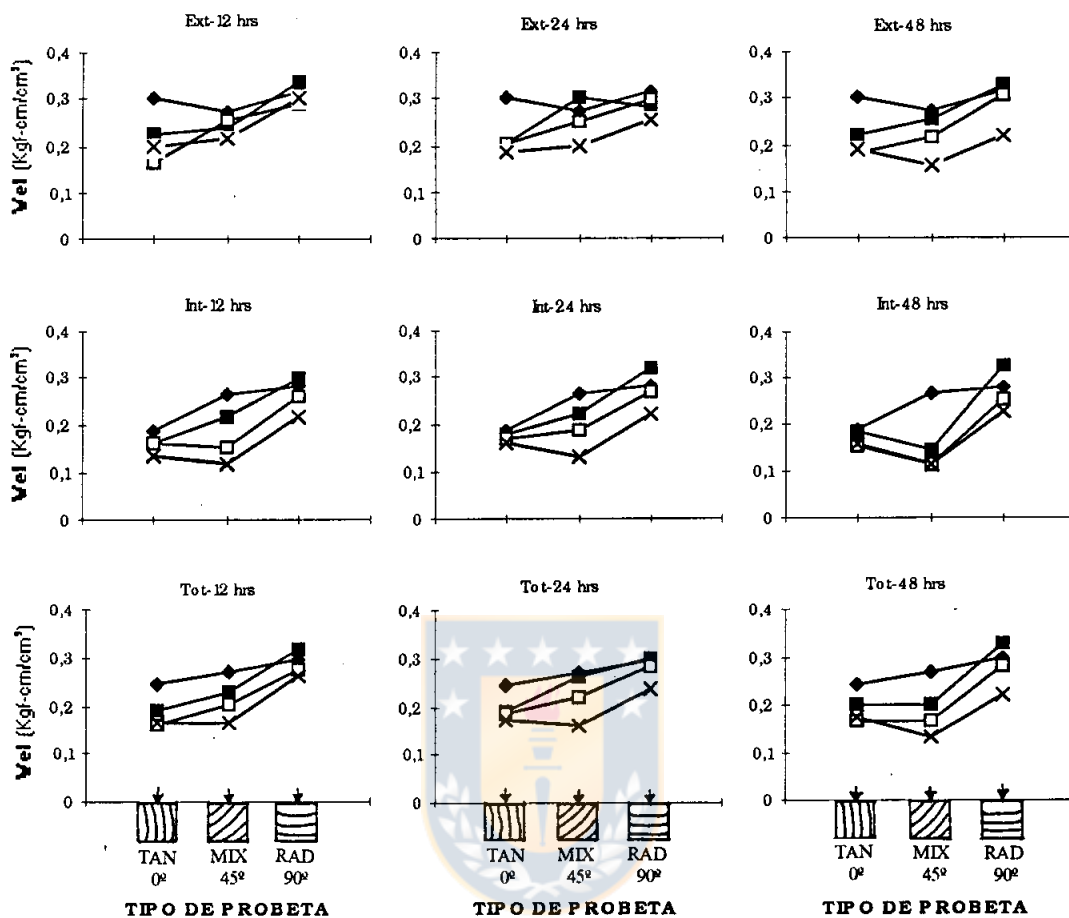


Figura 10. Variación del trabajo elástico (Wel) en compresión perpendicular respecto al ángulo de inclinación del anillo de crecimiento en la probeta.

Leyenda: Las abreviaciones Ext, Int, Tot, 12hrs, 24hrs, 48hrs, TAN, MIX y RAD, se encuentran explicadas en la Figura 8.  
 ◆: Control, ■: 40 °C, □: 60 °C, x: 80 °C.

tres tipos de probeta resulta ser significativa en la multirregresión al 5 o 1%, mientras que las otras variables que se incluyen en el modelo, no siempre resultan ser significativas.

TABLA 12. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA EL TRABAJO ELÁSTICO (Wel) EN COMPRESIÓN PERPENDICULAR TANGENCIAL.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Wel (Kgf-cm/cm <sup>3</sup> ) Total de Datos	Intercepto	2.2325			Obs =200 C.V. =21.32 F-Tests =13.334 ** r =0.5987 r <sup>2</sup> =0.3584
	1/E	681.0007	211.9471	3.213 **	
	1/E <sup>2</sup>	-405665	193633.81	-2.095 *	
	1/Den	-2.2566	1.6150	-1.397 ns	
	1/Den <sup>2</sup>	0.5141	0.4028	1.276 ns	
	1/Tem	14.3337	8.6544	1.656 ns	
	1/Tem <sup>2</sup>	-227.3247	216.7807	-1.049 ns	
	1/(Ti+1)	-0.1452	0.1450	-1.001 ns	
1/(Ti+1) <sup>2</sup>	0.2573	0.2569	1.001 ns		
Wel (Kgf-cm/cm <sup>3</sup> ) Zona Exterior	Intercepto	-0.3320			Obs =100 C.V. =15.71 F-Tests =20.544 ** r =0.8022 r <sup>2</sup> =0.6436
	1/Log (E)	-16.5090	28.4388	-0.581 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (E)	36.3706	47.4122	0.767 ns	
	1/Log (Den)	-0.5430	0.3945	-1.377 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	-0.0667	0.0576	-1.159 ns	
	1/Log (Tem)	2.8879	4.6286	0.624 ns	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	-1.6228	3.9679	-0.409 ns	
	1/Log (Ti+2)	0.0304	0.0565	0.538 ns	
1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	-0.0079	0.0234	-0.339 ns		
Log (Wel) (Kgf-cm/cm <sup>3</sup> ) Zona Interior	Intercepto	-6.6126			Obs =100 C.V. = -9.28 F-Tests =4.311 ** r =0.5242 r <sup>2</sup> =0.2748
	E	-0.0003	0.0002	-2.094 *	
	E <sup>2</sup>	4.5x10 <sup>-8</sup>	3x10 <sup>-8</sup>	1.504 ns	
	Den	25.6051	27.6680	0.925 ns	
	Den <sup>2</sup>	-25.3243	28.0012	-0.904 ns	
	Tem	-0.0043	0.0037	-1.163 ns	
	Tem <sup>2</sup>	-4.9x10 <sup>-7</sup>	0.00003	-0.015 ns	
	Ti	0.0047	0.0031	1.545 ns	
	Ti <sup>2</sup>	-0.00007	0.00005	-1.330 ns	

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

Al analizar la zona exterior e interior de la troza por separado, no se logra apreciar cual variable independiente es la que tiene la mayor importancia en la estimación del Wel, sino que en la mayoría de los casos, las variables que

TABLA 13. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA EL TRABAJO ELÁSTICO (Wel) EN COMPRESIÓN PERPENDICULAR MIXTA.

Variable Dependiente.	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para H0: Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Wel (Kgf-cm/cm <sup>3</sup> )  Total de Datos	Intercepto	1.4080			Obs =199 C.V. =24.02 F-Tests =28.326 ** r =0.7375 r <sup>2</sup> =0.5439
	E	-0.00007	0.00003	-2.072 *	
	E <sup>2</sup>	8x10 <sup>-9</sup>	1x10 <sup>-8</sup>	1.466 ns	
	Den	-4.5511	3.3601	-1.354 ns	
	Den <sup>2</sup>	5.2220	3.2300	1.617 ns	
	Tem	-0.0033	0.0016	-2.051 *	
	Tem <sup>2</sup>	0.000008	0.00001	0.538 ns	
	Ti	0.0038	0.0014	2.694 **	
Ti <sup>2</sup>	-0.00008	0.00002	-3.606 **		
1/Wel (Kgf-cm/cm <sup>3</sup> )  Zona Exterior	Intercepto	34.0473			Obs =99 C.V. =22.02 F-Tests =12.368 ** r =0.7237 r <sup>2</sup> =0.5237
	E	0.0048	0.0010	4.550 **	
	E <sup>2</sup>	-6.8x10 <sup>-7</sup>	1.7x10 <sup>-7</sup>	-3.882 **	
	Den	-121.9506	221.8332	-0.550 ns	
	Den <sup>2</sup>	96.2166	204.0276	0.472 ns	
	Tem	-0.0307	0.0472	-0.650 ns	
	Tem <sup>2</sup>	0.0008	0.0004	1.903 ns	
	Ti	-0.0521	0.0421	-1.236 ns	
Ti <sup>2</sup>	0.0014	0.0007	2.000 *		
Log (Wel) (Kgf-cm/cm <sup>3</sup> )  Zona Interior	Intercepto	1.6995			Obs =100 C.V. = -10.36 F-Tests =27.402 ** r =0.8407 r <sup>2</sup> =0.7067
	E	0.0001	0.00009	1.553 ns	
	E <sup>2</sup>	-2.8x10 <sup>-8</sup>	1x10 <sup>-8</sup>	-1.884 ns	
	Den	-8.1087	18.1969	-0.446 ns	
	Den <sup>2</sup>	7.4910	18.3242	0.409 ns	
	Tem	-0.0154	0.0043	-3.598 **	
	Tem <sup>2</sup>	0.00009	0.00004	2.197 *	
	Ti	0.0115	0.0037	3.131 **	
Ti <sup>2</sup>	-0.0002	0.00006	-4.035 **		

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

resultan ser significativas en el modelo son una combinación entre la elasticidad, la temperatura y tiempo de calentamiento. La densidad básica de la madera casi no figura contribuir a la estimación del Wel.

TABLA 14. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA EL TRABAJO ELÁSTICO ( $W_{el}$ ) EN COMPRESIÓN PERPENDICULAR RADIAL.

Variable Dependiente	Variable Independiente	Parámetro Estimado	Error Estándar	Valor T para $H_0$ : Parámetro=0	Medidas de Asociación y Precisión
Wel (Kgf·cm/cm <sup>3</sup> )  Total de Datos	Intercepto	-9.9889			Obs =200 C.V. =11.96 F-Tests =38.822 ** r =0.7869 r <sup>2</sup> =0.6192
	1/Log (E)	32.6206	12.6240	2.584 **	
	1/Log <sup>2</sup> (E)	-48.2328	22.3209	-2.161 *	
	1/Log (Den)	-0.3849	0.0920	-4.186 **	
	1/Log <sup>2</sup> (Den)	-0.0411	0.0110	-3.737 **	
	1/Log (Tem)	12.7656	2.8283	4.514 **	
	1/Log <sup>2</sup> (Tem)	-9.8923	2.4396	-4.055 **	
	1/Log (Ti+2)	0.0104	0.0393	0.266 ns	
1/Log <sup>2</sup> (Ti+2)	0.0136	0.0153	0.888 ns		
Wel (Kgf·cm/cm <sup>3</sup> )  Zona Exterior	Intercepto	-2.3151			Obs =100 C.V. = -12.68 F-Tests =11.701 ** r =0.7121 r <sup>2</sup> =0.5071
	E	-0.00003	0.00003	-0.757 ns	
	E <sup>2</sup>	-1.2x10 <sup>-9</sup>	0	-0.316 ns	
	Den	9.4087	3.5802	2.628 **	
	Den <sup>2</sup>	-7.8388	3.1636	-2.478 *	
	Tem	0.0020	0.0019	1.038 ns	
	Tem <sup>2</sup>	-0.00004	0.00002	-2.199 *	
	Ti	-0.0032	0.0015	-2.122 *	
Ti <sup>2</sup>	0.00005	0.00002	1.911 ns		
Wel (Kgf·cm/cm <sup>3</sup> )  Zona Interior	Intercepto	-1.4921			Obs =100 C.V. = 9.19 F-Tests =45.265 ** r =0.8940 r <sup>2</sup> =0.7992
	E	-0.00009	0.00002	-5.765 **	
	E <sup>2</sup>	4.8x10 <sup>-9</sup>	0	2.942 **	
	Den	7.2742	8.9624	0.812 ns	
	Den <sup>2</sup>	-5.9437	8.2359	-0.722 ns	
	Tem	-0.0026	0.0012	-2.243 *	
	Tem <sup>2</sup>	-0.00001	0.00001	-0.962 ns	
	Ti	0.0042	0.0010	4.185 **	
Ti <sup>2</sup>	-0.00007	0.00001	-4.179 **		

Nota: Las abreviaturas Den, Tem, Ti, Obs, C.V., F-Tests, r y r<sup>2</sup>, así como también los niveles de significancia \*, \*\* y ns, se encuentran explicadas en la Tabla 3.

## V. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en tracción y compresión perpendicular a la fibra en madera verde de Eucalyptus globulus calentada en agua, las siguientes conclusiones pueden ser establecidas:

- Los parámetros de elasticidad y energía-trabajo en tracción y compresión perpendicular, disminuyeron con el aumento de la temperatura y el tiempo de calentamiento en agua. La temperatura de calentamiento resultó ser el factor de mayor incidencia.
- A excepción de la elasticidad medida en compresión perpendicular, todos los parámetros estudiados registraron valores más altos en la zona exterior de la troza.
- En tracción perpendicular, las probetas tangenciales presentaron valores más altos de elasticidad y trabajo que las probetas radiales, mientras que en compresión perpendicular, las probetas radiales registraron valores más altos que las probetas mixtas, y a su vez estas últimas, valores mayores a las probetas tangenciales.
- De los resultados obtenidos de la zona exterior e interior de la troza en conjunto, se tuvo que las variables que contribuyeron a la estimación de la

elasticidad en tracción perpendicular fueron la densidad básica de la madera y la temperatura de calentamiento, mientras que en compresión perpendicular, fueron la temperatura y el tiempo de calentamiento. Los parámetros de energía-trabajo medidos en tracción y compresión perpendicular tuvieron como principal variable predictiva la elasticidad.

- Al considerar la zona exterior e interior de la troza por separado se tuvo que en general, las variables temperatura y tiempo de calentamiento suelen ser las más importantes en la estimación de la elasticidad y trabajo en tracción y compresión perpendicular.



## VI. RESUMEN

Se estudió el efecto inmediato de distintas temperaturas y tiempos de calentamiento en agua sobre los parámetros de elasticidad y energía-trabajo en tracción y compresión perpendicular a la fibra en madera verde de Eucalyptus globulus para dos zonas radiales en el fuste. Ambos parámetros disminuyeron con la temperatura y el tiempo de calentamiento, y variaron entre la zona exterior e interior del fuste. A través de una regresión lineal múltiple, se relacionó la elasticidad y el trabajo con los factores estudiados y otras variables físico mecánicas de la madera.

Dentro de este mismo estudio, se observó la variación de la elasticidad y el trabajo con el ángulo de inclinación del anillo de crecimiento en la probeta. Probetas denominadas como tangenciales en tracción perpendicular, registraron valores mayores a las radiales, mientras que en compresión perpendicular, la situación es inversa.

## VI. SUMMARY

The immediate effect of different temperatures and water heating times on elasticity and energy-work parameters in compression and tension perpendicular to grain in Eucalyptus globulus greenwood for two stem radial zones was studied. Both parameters decreased with temperature and heating time, and they varied among outside and inside zones of stem. A multiple linear regression analysis was related to elasticity and work with the studied factors and other physico mechanical variables of wood.

Moreover, it has been observed elasticity and work variation with the growth ring inclination angle in the sample. Tangencial samples in tension perpendicular recorded higher values in regard to the radial samples, while in compression perpendicular it was on the contrary.



## VII. BIBLIOGRAFÍA

### 7.1 Bibliografía citada

1. Bodig, J. and B.A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Company. 568-580.
2. Brown, H.P, A. Panshin and C. Forsaith. 1952. Text book of wood technology. McGraw-Hill Book Company Inc. 519-527.
3. Chamorro, M. y C. Díaz. 1992. Efecto del precalentamiento en agua sobre algunas propiedades fisicomecánicas del coigüe. Tesis de Ingeniería de Ejecución en Maderas. Universidad del Bío Bío. Concepción.
4. De la Lama, G. 1976. Atlas del eucalipto (V.1). Ministerio de Agricultura. INIA - ICONA. Sevilla. España.
5. Evans, P.D. and W.B. Banks. 1990. Degradation of wood surfaces by water. Holz als Roh-und Werkstoff 48( ):159-163.

6. Gerhards, C.C. 1982. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: An analysis of immediate effects. Wood Fiber 14(1):4-36.
7. Gutierrez, M. 1989. Técnicas de debobinado y secado de chapas. Chile Forestal (Agosto). Documento Técnico N°s 24 y 25.
8. Hillis, W.E and A.N. Rozsa. 1978. The softening temperatures of wood. Holzforschung 32(2):68-73.
9. Hillis, W.E. 1984. High temperature and chemical effects on wood stability (Parte I). Wood Science and Technology 18(4):281-293.
10. Hillis, W.E. and A.N. Rozsa. 1985. High temperatura and chemical effects on wood stability (Parte II). Wood Science and Technology 19(2):93-102.
11. Instituto Forestal. 1979. Los eucaliptos como una alternativa para la reforestación en la VIII región. Informe Técnico N° 89.
12. Kennedy, R.W. 1968. Wood in transverse compression. Influence of some anatomical variables and density on behavior. Forest Products Journal 18(3):36-40.
13. Kollman, F. and W. Côte. 1968. Principles of wood science and technology. Springer - Verlag New York Inc. 310-379.

14. Koran, Z. 1979. Tensile properties of spruce under different conditions. Wood and Fiber 11(1):38-49.
15. Kubinsky, Von E. 1971. Der Einflub des Dämpfers auf die Holzeigenschaften. Holzforschung und Holzverwertung 23(1):1-11.
16. Kübler, H. 1977. Formation of check in tree stems during heating. Forest Products Journal 27(1):41-46.
17. Melo, R. 1989. Estudio de las condiciones de calentamiento del Pino radiata previas al debobinado. INFOR - CORFO.
18. Mujica, C. y A. Nova. 1995. Efecto del calentamiento en agua sobre algunas propiedades mecánicas de la madera verde de Eucalyptus globulus. Tesis de Ingeniería Civil en Industrias Forestales. Universidad del Bío Bío. Concepción.
19. Noack, D. 1969. Über die Heisswasserbehandlung von Rotbuchenholz im Temperaturbereich von 100 bis 180 °C. Holzforschung und Holzverwertung 21(5): 118-124.
20. Nicholas, D.D. and R.J. Thomas. 1968. Influence of steaming on ultrastructure of bordered pit membrane in Loblolly pine. Forest Products Journal 18(1):57-59.

21. Okuyama, T., Y. Kanagawa and Y. Hattori. 1987. Reduction of residual stresses in logs by direct heating method. Mokuzaï Gakkaishi 33(11):837-843.
22. Panshin, A. and C. De Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology. McGraw-Hill Book Company New York. 234-236.
23. Philip, M. 1988. Irreversible property changes of small Loblolly pine specimens heated in air, nitrogen or oxygen. Wood and Fiber Science 20(3): 320-335.
24. Prado, J. y S. Barros. 1989. Eucalyptus, principios de silvicultura y manejo. INFOR - CORFO.
25. Skolmen, R.G. 1967. Heating logs to relieve growth stresses. Forest Products Journal 12(1):43-45.
26. Timoshenko, S. 1992. Elementos de resistencia de materiales. Editorial Limusa S.A. 9-45.
27. Valenzuela, L. and Y. Nakayama. 1991. The bending work of Radiata pine grown in Chile. Mokuzaï Gakkaishi 37(5):396-404.
28. Wangaard, F.F. 1950. The mechanical properties of wood. Copyright by John Wiley & Sons Inc. 188-191.
29. Wood Handbook. 1955. By the Forest Products Laboratory Forest Service and U.S. Department of Agriculture.

30. Yokota, T. and H. Tarkow. 1962. Changes in dimension on heating green wood. Forest Products Journal 12(1):43-45.

## 7.2 Bibliografía revisada

1. Harris, J.M. 1989. Spiral grain and wave phenomena in wood formation. Springer - Verlar Berlin Heidelberg. 215 pp.
2. Hearn, E.J. 1977. Mechanics of materials. Copyright by Pergamon Press Ltda.
3. Kunesh, R.H. 1968. Strenght and elastic properties in transverse compression. Forest Products Journal 18(1):65-72.
4. Montgomery, D. 1991. Design and analysis of experiments. Third edition. New York:Wiley. 538 pp.
5. Moya, C. 1986. Teoría de corte en la madera. Documento Técnico N° 24. Chile Forestal (Octubre).
6. Östman, B.A. 1985. Wood tensile strength at temperatures and moisture contents simulating fire condicions. Wood Science and Technology 19(2):103-116.

7. Takahashi, A. 1966. Effect of slope of annual growth ring upon the compression perpendicular to grain. Mokuzai Gakkaishi 12(5):203-209.



VIII. APÉNDICES



## APÉNDICE I

El apéndice I contiene los resultados promedio por tratamiento de las variables medidas en tracción y compresión perpendicular. También se ha incluido información adicional proporcionada por Mujica y Nova (1995), la que de alguna forma, fue utilizada en este estudio.

Los resultados han sido resumidos en cinco tablas, ordenadas por tipo de ensayo mecánico realizado, y cuya nomenclatura utilizada se detalla a continuación:

**Condición:** Representa la condición de tiempo y temperatura de calentamiento a cual fueron tratadas las probetas. Se denota en hrs y °C.

**Obs:** Número de probetas que fueron medidas después de haber sido calentadas bajo una condición dada.

**$\rho$  o.v.:** Densidad básica de la madera ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

**C.V.:** Coeficiente de variación (%) de la muestra.

**Pp:** Carga en el límite proporcional en Kgf.

**Pm:** Carga en el límite de ruptura en Kgf.

**$\Delta l_p$ :** Alargamiento (o acortamiento) hasta la carga en el límite proporcional en mm.

**$\Delta l_m$ :** Alargamiento (o acortamiento) hasta la carga en el límite de ruptura en mm.

**E:** Elasticidad en  $\text{Kgf}/\text{cm}^2$ .

**W<sub>el</sub>:** Trabajo elástico en  $\text{Kgf}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$  o  $\text{Kgf}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$ .

**W<sub>m1</sub>:** Trabajo hasta la máxima carga en  $\text{Kgf}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$  o  $\text{Kgf}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$ .



Tabla 1A. Resultados promedio por tratamiento en tracción perpendicular tangencial.

<i>Probetas exteriores</i>																	
CONDICIÓN	OBS	$\rho$ o.v. ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	C.V. (%)	Pp (Kgf)	C.V. (%)	Pm (Kgf)	C.V. (%)	$\Delta Lp$ (mm)	C.V. (%)	$\Delta Lm$ (mm)	C.V. (%)	E ( $\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$ )	C.V. (%)	Wel ( $\frac{\text{Kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^2}$ )	C.V. (%)	Wml ( $\frac{\text{Kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^2}$ )	C.V. (%)
0 hrs / 20 °C	10	0.693	9.0	1143	11.0	1307	8.2	1.67	8.4	1.99	6.2	1063.9	12.1	5.697	14.9	7.818	9.1
12 hrs / 40 °C	10	0.693	10.0	1048	7.1	1148	8.7	1.68	7.1	1.89	9.7	1077.4	15.9	5.923	24.3	7.491	28.6
24 hrs / 40 °C	10	0.693	6.6	849	12.8	961	13.7	1.66	7.7	1.93	13.0	892.4	15.6	4.735	21.8	6.419	29.1
48 hrs / 40 °C	10	0.684	4.9	909	11.9	1116	9.1	1.63	7.9	2.09	8.7	929.9	16.3	4.719	25.2	7.849	24.5
12 hrs / 60 °C	10	0.698	4.8	774	19.3	872	14.8	1.62	10.2	1.89	10.9	902.9	8.4	4.584	22.3	6.243	22.0
24 hrs / 60 °C	10	0.678	4.7	722	13.4	858	16.1	1.72	7.6	2.21	13.9	833.5	19.5	4.550	13.0	7.446	23.9
48 hrs / 60 °C	10	0.699	4.4	740	9.9	823	12.0	1.73	6.3	1.97	9.5	787.2	10.9	4.560	20.1	6.110	22.9
12 hrs / 80 °C	10	0.697	2.4	624	8.7	706	13.6	1.62	7.2	1.90	14.1	755.0	8.3	3.791	14.4	5.291	27.7
24 hrs / 80 °C	7	0.690	12.7	594	12.5	652	14.7	1.52	14.3	1.77	16.7	668.0	19.2	2.969	26.7	3.939	31.5
48 hrs / 80 °C	10	0.657	6.4	529	23.9	561	21.2	1.91	7.3	2.06	9.0	515.8	21.4	3.585	22.1	4.202	20.0
<i>Probetas interiores</i>																	
CONDICIÓN	OBS	$\rho$ o.v. ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	C.V. (%)	Pp (Kgf)	C.V. (%)	Pm (Kgf)	C.V. (%)	$\Delta Lp$ (mm)	C.V. (%)	$\Delta Lm$ (mm)	C.V. (%)	E ( $\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$ )	C.V. (%)	Wel ( $\frac{\text{Kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^2}$ )	C.V. (%)	Wml ( $\frac{\text{Kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^2}$ )	C.V. (%)
0 hrs / 20 °C	10	0.651	12.4	832	8.6	903	9.9	1.70	7.7	1.87	11.7	861.5	19.8	4.867	27.6	5.808	34.8
12 hrs / 40 °C	10	0.550	7.5	812	10.0	895	13.5	1.75	11.0	1.98	15.9	809.6	15.8	4.709	14.4	5.910	21.3
24 hrs / 40 °C	10	0.548	5.6	701	8.6	844	8.6	1.69	7.8	2.14	9.0	737.7	15.3	4.007	17.6	6.432	19.3
48 hrs / 40 °C	9	0.583	10.0	717	13.8	800	14.0	1.68	8.1	1.93	10.6	725.9	23.9	3.923	21.6	5.143	24.5
12 hrs / 60 °C	10	0.569	4.3	517	7.8	592	7.0	1.62	7.5	1.94	12.8	593.3	10.9	2.964	10.5	4.316	18.3
24 hrs / 60 °C	10	0.552	6.0	523	18.3	611	14.3	1.68	9.5	2.05	11.6	596.2	21.3	3.221	23.8	4.727	17.5
48 hrs / 60 °C	10	0.559	5.8	527	14.5	606	11.9	1.63	8.3	1.96	11.0	546.0	16.1	2.764	12.0	3.996	15.2
12 hrs / 80 °C	7	0.572	5.6	446	12.2	476	12.5	1.79	8.7	1.95	11.4	459.8	14.5	2.800	12.9	3.476	23.3
24 hrs / 80 °C	10	0.584	11.5	478	8.6	526	8.2	1.78	9.0	2.02	7.9	505.8	8.5	3.065	15.1	3.913	9.2
48 hrs / 80 °C	10	0.646	3.6	446	8.1	471	9.0	1.68	10.5	1.81	15.7	525.1	11.7	2.792	10.5	3.266	21.7

Tabla 2A. Resultados promedio por tratamiento en tracción perpendicular radial.

<i>Probetas exteriores</i>																	
CONDICIÓN	OBS	$\rho$ o.v. (gr/cm <sup>3</sup> )	C.V. (%)	Pp (Kgf.)	C.V. (%)	Pm (Kgf)	C.V. (%)	$\Delta Lp$ (mm)	C.V. (%)	$\Delta Lm$ (mm)	C.V. (%)	E ( $\frac{Kgf}{cm^2}$ )	C.V. (%)	Wel ( $\frac{Kgf \cdot cm}{cm^2}$ )	C.V. (%)	Wml ( $\frac{Kgf \cdot cm}{cm^2}$ )	C.V. (%)
0 hrs / 20 °C	10	0.727	5.7	813	10.3	992	7.5	1.56	9.4	1.97	5.6	972.5	13.3	4.537	20.6	7.030	11.6
12 hrs / 40 °C	10	0.647	7.5	669	16.8	800	19.2	1.50	12.2	1.90	23.7	856.7	13.1	3.692	22.1	5.925	38.8
24 hrs / 40 °C	10	0.737	6.4	727	9.7	837	9.2	1.64	6.0	2.00	7.3	799.9	9.4	4.121	13.9	6.152	18.4
48 hrs / 40 °C	10	0.671	4.1	581	22.3	675	26.1	1.45	15.7	1.75	22.0	802.3	15.0	3.312	32.8	4.917	43.5
12 hrs / 60 °C	10	0.744	14.5	569	10.3	668	8.1	1.47	4.9	1.83	5.8	671.1	16.0	2.792	19.7	4.389	18.1
24 hrs / 60 °C	9	0.648	4.0	533	14.0	649	17.6	1.51	5.9	1.93	11.7	709.4	10.4	3.115	13.2	5.229	22.3
48 hrs / 60 °C	10	0.659	2.8	415	15.9	470	19.1	1.36	6.1	1.61	13.6	608.0	11.5	2.176	16.3	3.052	28.2
12 hrs / 80 °C	10	0.682	2.6	407	11.6	479	15.4	1.55	8.5	1.90	11.3	513.0	8.6	2.356	18.0	3.567	21.1
24 hrs / 80 °C	10	0.644	15.3	369	17.9	419	21.4	1.50	22.6	1.82	19.4	493.7	12.2	2.179	34.6	3.185	33.0
48 hrs / 80 °C	10	0.694	4.3	406	11.3	458	13.3	1.53	3.1	1.81	7.8	513.5	10.2	2.301	11.2	3.258	17.2
<i>Probetas interiores</i>																	
CONDICIÓN	OBS	$\rho$ o.v. (gr/cm <sup>3</sup> )	C.V. (%)	Pp (Kgf)	C.V. (%)	Pm (Kgf)	C.V. (%)	$\Delta Lp$ (mm)	C.V. (%)	$\Delta Lm$ (mm)	C.V. (%)	E ( $\frac{Kgf}{cm^2}$ )	C.V. (%)	Wel ( $\frac{Kgf \cdot cm}{cm^2}$ )	C.V. (%)	Wml ( $\frac{Kgf \cdot cm}{cm^2}$ )	C.V. (%)
0 hrs / 20 °C	10	0.540	4.5	450	11.1	553	14.7	1.49	11.5	1.90	17.8	631.0	8.5	2.722	23.7	4.488	34.1
12 hrs / 40 °C	10	0.531	3.1	418	7.4	503	12.4	1.59	6.7	1.99	9.5	527.1	13.3	2.543	12.7	4.061	23.4
24 hrs / 40 °C	10	0.589	5.6	375	21.8	443	25.7	1.42	17.2	1.73	21.3	520.5	20.5	2.044	33.2	3.141	40.1
48 hrs / 40 °C	10	0.550	4.8	404	12.8	486	9.1	1.37	6.7	1.78	8.7	534.4	12.0	1.958	19.7	3.133	26.8
12 hrs / 60 °C	10	0.625	10.1	298	9.5	332	10.9	1.33	19.4	1.55	22.5	433.6	14.2	1.448	25.4	2.010	34.2
24 hrs / 60 °C	10	0.587	7.2	304	25.4	336	23.1	1.45	10.9	1.62	11.7	417.0	22.4	1.664	22.5	2.109	25.5
48 hrs / 60 °C	10	0.597	4.4	284	6.4	326	10.6	1.41	5.9	1.65	9.4	392.1	8.6	1.498	14.0	2.064	21.7
12 hrs / 80 °C	10	0.625	5.6	230	24.5	245	26.5	1.53	18.6	1.68	18.2	298.0	20.7	1.433	35.9	1.726	39.0
24 hrs / 80 °C	10	0.690	12.7	260	16.4	287	17.2	1.61	17.7	1.77	16.6	329.6	17.0	1.630	26.1	1.979	26.3
48 hrs / 80 °C	10	0.595	5.8	268	14.5	287	11.5	1.72	8.6	1.91	11.5	309.1	9.7	1.768	18.2	2.187	21.5

Tabla 3A. Resultados promedio por tratamiento en compresión perpendicular tangencial.

<i>Probetas exteriores</i>											
CONDICIÓN	OBS	$\rho$ o.v. (gr/cm <sup>3</sup> )	C.V. (%)	Pp (Kgf)	C.V. (%)	$\Delta Lp$ (mm)	C.V. (%)	E ( $\frac{Kgf}{cm^2}$ )	C.V. (%)	Wel ( $\frac{Kgf \cdot cm}{cm^3}$ )	C.V. (%)
0 hrs / 20 °C	10	0.512	3.3	165	5.0	0.60	11.7	2691.6	14.3	0.301	11.9
12 hrs / 40 °C	10	0.517	5.9	142	3.8	0.51	12.0	2747.7	12.1	0.222	13.9
24 hrs / 40 °C	10	0.495	3.4	135	4.9	0.49	7.3	2598.6	10.3	0.201	11.1
48 hrs / 40 °C	10	0.501	3.0	131	12.2	0.54	17.0	2391.7	14.9	0.219	23.8
12 hrs / 60 °C	10	0.506	2.4	111	9.0	0.47	15.3	2309.1	10.3	0.163	23.4
24 hrs / 60 °C	10	0.492	2.8	117	12.2	0.55	12.0	2062.0	7.4	0.202	23.7
48 hrs / 60 °C	10	0.506	2.4	116	4.1	0.50	7.9	2296.6	9.2	0.180	9.1
12 hrs / 80 °C	10	0.491	2.5	105	12.9	0.61	19.1	1707.7	9.7	0.199	33.4
24 hrs / 80 °C	10	0.493	2.8	102	7.1	0.59	12.4	1711.7	14.0	0.185	14.0
48 hrs / 80 °C	10	0.489	2.8	103	5.6	0.60	11.3	1673.0	9.0	0.188	15.4
<i>Probetas interiores</i>											
CONDICIÓN	OBS	$\rho$ o.v. (gr/cm <sup>3</sup> )	C.V. (%)	Pp (Kgf)	C.V. (%)	$\Delta Lp$ (mm)	C.V. (%)	E ( $\frac{Kgf}{cm^2}$ )	C.V. (%)	Wel ( $\frac{Kgf \cdot cm}{cm^3}$ )	C.V. (%)
0 hrs / 20 °C	10	0.507	2.4	125	11.3	0.47	13.6	2737.5	15.7	0.185	18.1
12 hrs / 40 °C	10	0.492	3.6	117	10.6	0.43	11.5	2814.1	12.4	0.157	16.7
24 hrs / 40 °C	10	0.502	2.0	114	10.0	0.49	14.9	2379.0	11.6	0.175	24.4
48 hrs / 40 °C	10	0.495	2.9	123	11.0	0.47	7.6	2662.8	9.8	0.181	15.9
12 hrs / 60 °C	10	0.497	1.4	104	6.2	0.49	8.9	2149.0	8.7	0.157	12.3
24 hrs / 60 °C	10	0.491	2.0	106	4.1	0.49	11.1	2190.6	9.3	0.168	16.2
48 hrs / 60 °C	10	0.487	1.3	102	8.8	0.47	16.5	2237.5	13.1	0.151	23.2
12 hrs / 80 °C	10	0.477	3.5	81	6.2	0.53	14.7	1548.7	14.9	0.133	15.5
24 hrs / 80 °C	10	0.496	2.6	92	9.6	0.55	11.5	1735.4	6.6	0.160	19.6
48 hrs / 80 °C	10	0.497	2.1	87	8.5	0.57	8.8	1575.0	12.7	0.158	11.9

Tabla 4A. Resultados promedio por tratamiento en compresión perpendicular mixta.

<i>Probetas exteriores</i>											
CONDICIÓN	OBS	$\rho$ o.v. (gr/cm <sup>3</sup> )	C.V. (%)	Pp (Kgf)	C.V. (%)	$\Delta$ Lp (mm)	C.V. (%)	E $\left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}\right)$	C.V. (%)	Wel $\left(\frac{\text{Kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^3}\right)$	C.V. (%)
0 hrs / 20 °C	10	0.551	3.7	170	10.4	0.52	16.6	3286.6	15.2	0.273	23.5
12 hrs / 40 °C	10	0.554	3.6	153	19.9	0.50	13.7	3090.4	25.1	0.237	22.6
24 hrs / 40 °C	10	0.560	2.4	173	10.0	0.56	10.1	3105.9	17.2	0.303	12.3
48 hrs / 40 °C	10	0.554	4.4	138	10.9	0.58	17.3	2334.2	9.0	0.255	26.5
12 hrs / 60 °C	10	0.545	3.1	148	21.6	0.59	11.8	2778.5	31.2	0.255	13.6
24 hrs / 60 °C	10	0.548	3.9	143	11.9	0.56	10.6	2596.1	18.3	0.250	13.4
48 hrs / 60 °C	10	0.545	4.1	128	15.5	0.54	18.9	2423.4	21.2	0.214	26.3
12 hrs / 80 °C	10	0.528	2.2	116	6.0	0.60	13.9	1904.8	12.1	0.214	18.1
24 hrs / 80 °C	9	0.524	4.0	109	8.0	0.58	14.3	1870.1	10.6	0.197	19.1
48 hrs / 80 °C	10	0.544	2.6	105	4.2	0.48	23.7	2274.5	26.6	0.153	22.5
<i>Probetas interiores</i>											
CONDICIÓN	OBS	$\rho$ o.v. (gr/cm <sup>3</sup> )	C.V. (%)	Pp (Kgf)	C.V. (%)	$\Delta$ Lp (mm)	C.V. (%)	E $\left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}\right)$	C.V. (%)	Wel $\left(\frac{\text{Kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^3}\right)$	C.V. (%)
0 hrs / 20 °C	10	0.500	4.4	163	10.8	0.51	13.9	3181.1	18.2	0.264	17.0
12 hrs / 40 °C	10	0.492	3.4	134	10.5	0.51	21.5	2681.3	16.9	0.215	26.7
24 hrs / 40 °C	10	0.480	2.9	159	5.4	0.45	17.2	3626.6	19.3	0.220	17.5
48 hrs / 40 °C	10	0.496	2.4	110	3.3	0.42	7.8	2627.1	6.6	0.144	9.8
12 hrs / 60 °C	10	0.501	4.5	125	12.6	0.39	16.5	3283.9	20.1	0.150	19.4
24 hrs / 60 °C	10	0.497	4.5	123	16.4	0.46	10.0	2649.6	16.5	0.185	25.2
48 hrs / 60 °C	10	0.502	5.0	93	12.3	0.39	12.3	2382.3	18.1	0.113	16.3
12 hrs / 80 °C	10	0.475	1.8	78	8.4	0.48	9.4	1614.6	8.5	0.118	15.5
24 hrs / 80 °C	10	0.479	1.9	85	8.9	0.49	6.6	1679.6	9.8	0.130	11.6
48 hrs / 80 °C	10	0.506	2.7	84	9.1	0.43	11.2	1981.7	16.9	0.111	11.8

Tabla 5A. Resultados promedio por tratamiento en compresión perpendicular radial.

<i>Probetas exteriores</i>												
CONDICIÓN	OBS	$\rho$ o.v. ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	C.V. (%)	Pp (Kgf)	C.V. (%)	$\Delta Lp$ (mm)	C.V. (%)	E $\left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}\right)$	C.V. (%)	Wel $\left(\frac{\text{Kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^3}\right)$	C.V. (%)	C.V. (%)
0 hrs / 20 °C	10	0.574	6.6	238	4.3	0.42	13.4	5892.3	14.7	0.314	12.9	
12 hrs / 40 °C	10	0.561	5.4	220	4.1	0.48	10.0	4775.6	13.1	0.335	9.0	
24 hrs / 40 °C	10	0.546	1.6	210	5.1	0.43	11.6	5171.5	12.5	0.278	13.3	
48 hrs / 40 °C	10	0.548	2.1	214	8.2	0.49	9.1	4569.6	11.1	0.328	13.4	
12 hrs / 60 °C	10	0.549	1.2	189	7.4	0.49	10.0	4016.4	14.0	0.287	8.3	
24 hrs / 60 °C	10	0.548	3.3	184	11.2	0.49	11.3	3838.6	13.2	0.298	16.9	
48 hrs / 60 °C	10	0.539	1.7	196	4.7	0.49	7.1	4161.4	7.8	0.304	10.8	
12 hrs / 80 °C	10	0.539	2.9	173	4.9	0.56	14.3	3208.4	12.6	0.301	16.8	
24 hrs / 80 °C	10	0.535	2.0	158	8.8	0.52	15.3	3166.4	16.1	0.252	19.2	
48 hrs / 80 °C	10	0.523	1.9	141	11.3	0.49	7.5	2948.6	11.1	0.220	14.1	
<i>Probetas interiores</i>												
CONDICIÓN	OBS	$\rho$ o.v. ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	C.V. (%)	Pp (Kgf)	C.V. (%)	$\Delta Lp$ (mm)	C.V. (%)	E $\left(\frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}\right)$	C.V. (%)	Wel $\left(\frac{\text{Kgf}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^3}\right)$	C.V. (%)	C.V. (%)
0 hrs / 20 °C	10	0.552	2.0	243	2.2	0.38	10.0	6103.6	11.0	0.278	11.4	
12 hrs / 40 °C	10	0.547	3.9	225	5.0	0.44	13.1	5064.4	19.8	0.297	12.8	
24 hrs / 40 °C	10	0.542	3.2	229	3.6	0.46	7.0	4921.0	11.1	0.319	6.0	
48 hrs / 40 °C	10	0.554	2.4	220	5.2	0.49	7.8	4402.1	10.0	0.328	9.2	
12 hrs / 60 °C	10	0.552	2.9	193	5.7	0.45	10.9	4277.4	12.2	0.257	18.5	
24 hrs / 60 °C	10	0.545	2.6	190	5.7	0.45	7.6	4196.0	10.7	0.267	7.9	
48 hrs / 60 °C	10	0.532	2.2	187	6.5	0.44	6.3	4202.5	6.9	0.254	11.2	
12 hrs / 80 °C	10	0.544	1.9	156	6.6	0.46	35.4	3613.3	23.0	0.216	28.6	
24 hrs / 80 °C	10	0.541	2.2	163	8.4	0.43	13.9	3793.6	13.1	0.218	18.2	
48 hrs / 80 °C	10	0.532	3.5	157	4.4	0.48	13.4	3181.5	13.9	0.224	15.6	

## APÉNDICE II

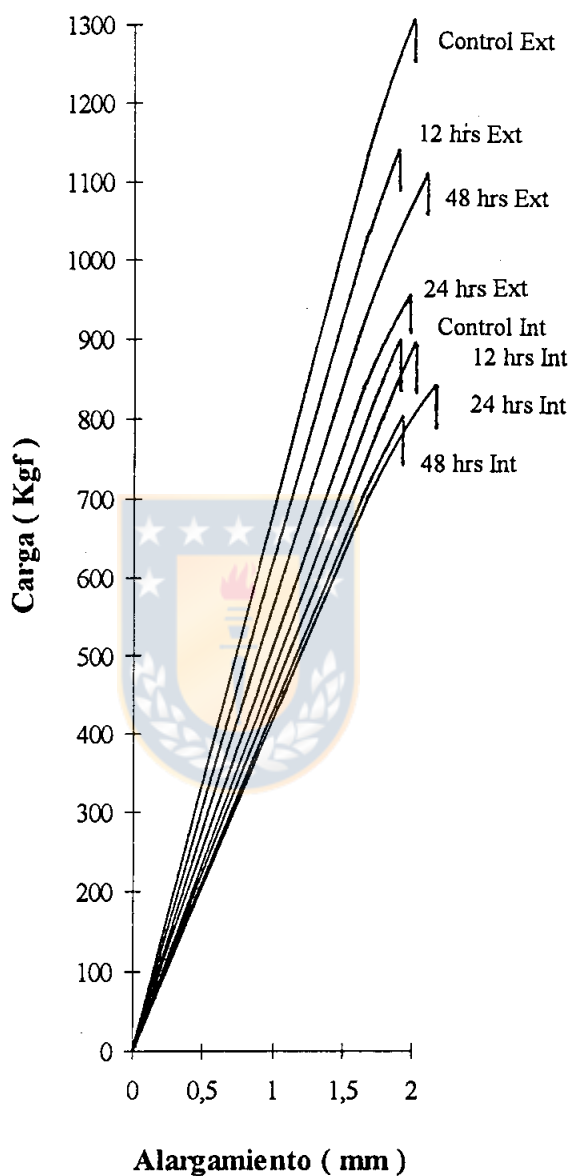


Figura 1A. Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 40°C.

Leyenda: Control: Tratamiento control (20°C), 12 hrs - 24 hrs - 48 hrs: Tiempos de calentamiento, EXT: Zona exterior de la troza, INT: Zona interior de la Troza,

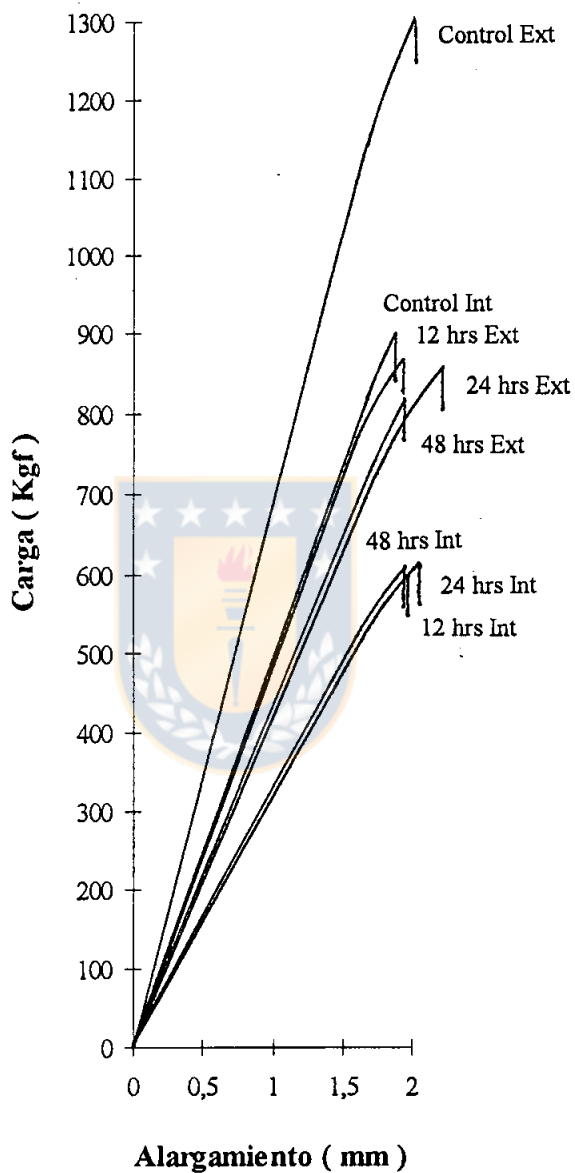


Figura 2A. Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 60°C.

Leyenda: Ver figura 1A.

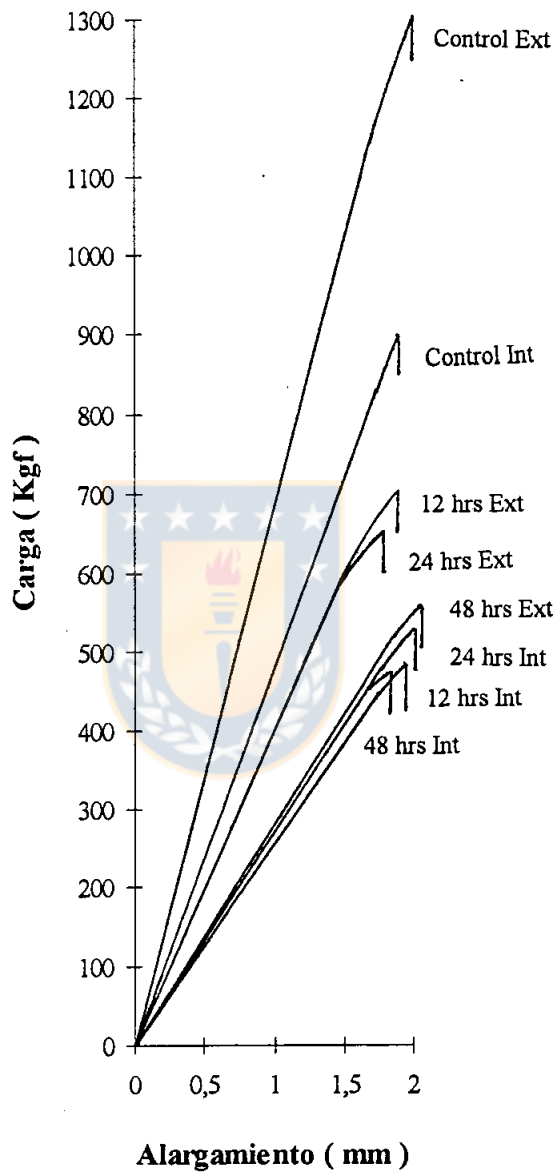


Figura 3A. Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 80°C.

Leyenda: Ver figura 1A.



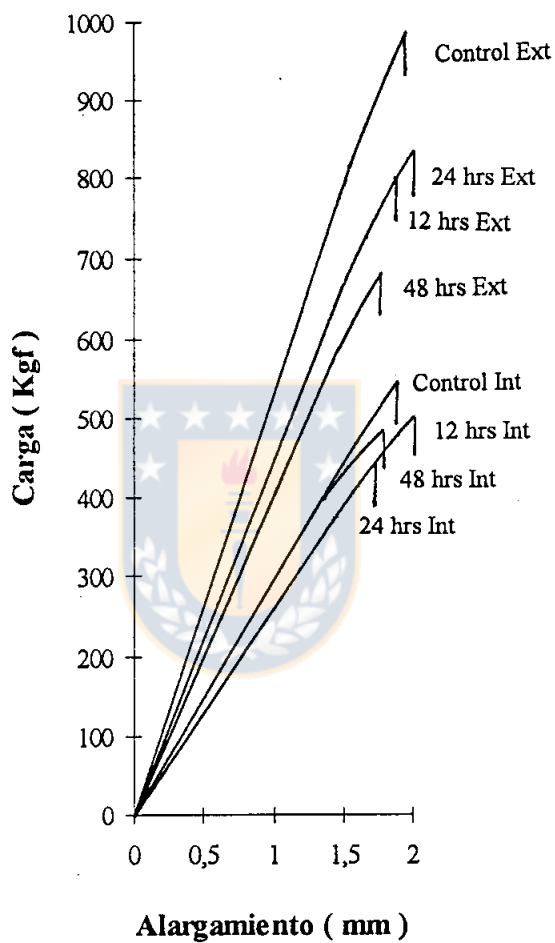


Figura 4A. Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 40°C.

Leyenda: Ver figura 1A.

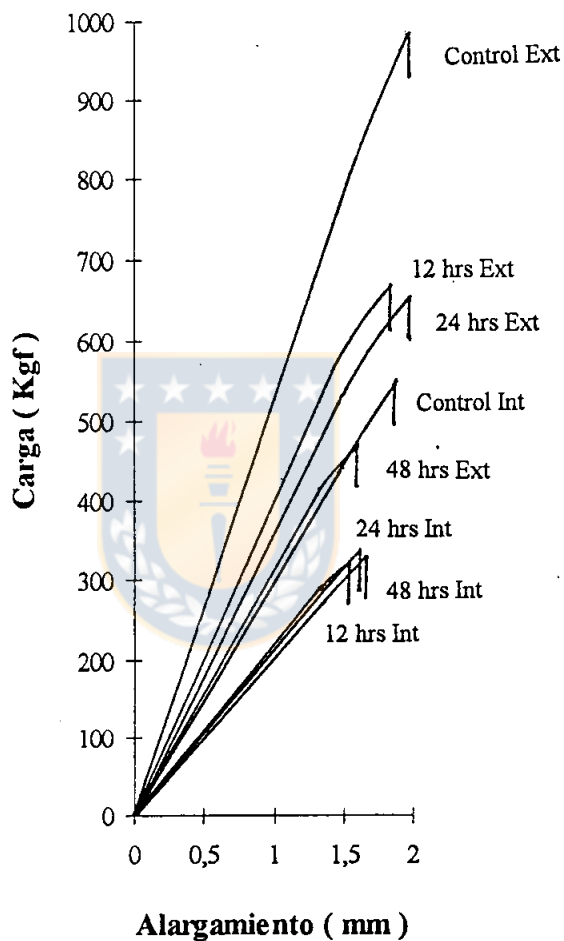


Figura 5A. Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 60°C.

Leyenda: Ver figura 1A.

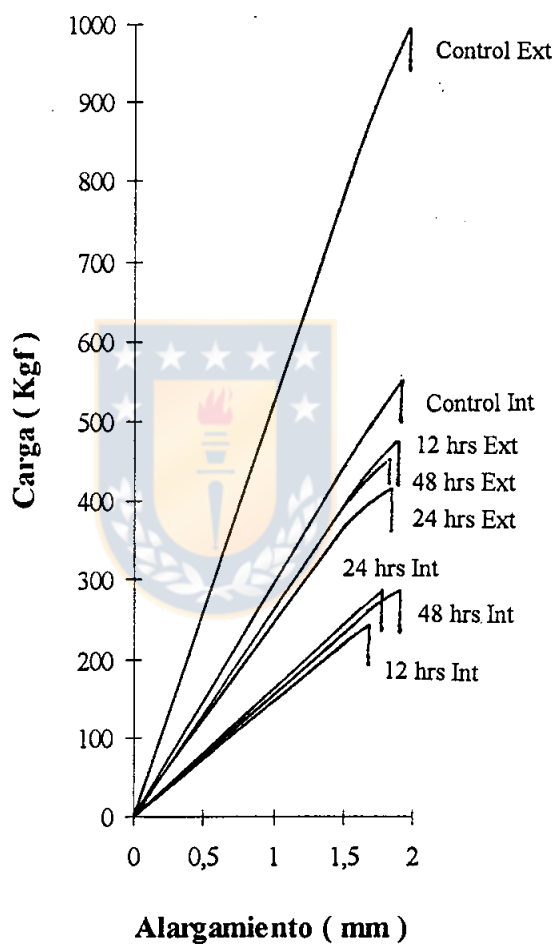


Figura 6A. Curvas promedio de carga-alargamiento en tracción perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 80°C.

Leyenda: Ver figura 1A.

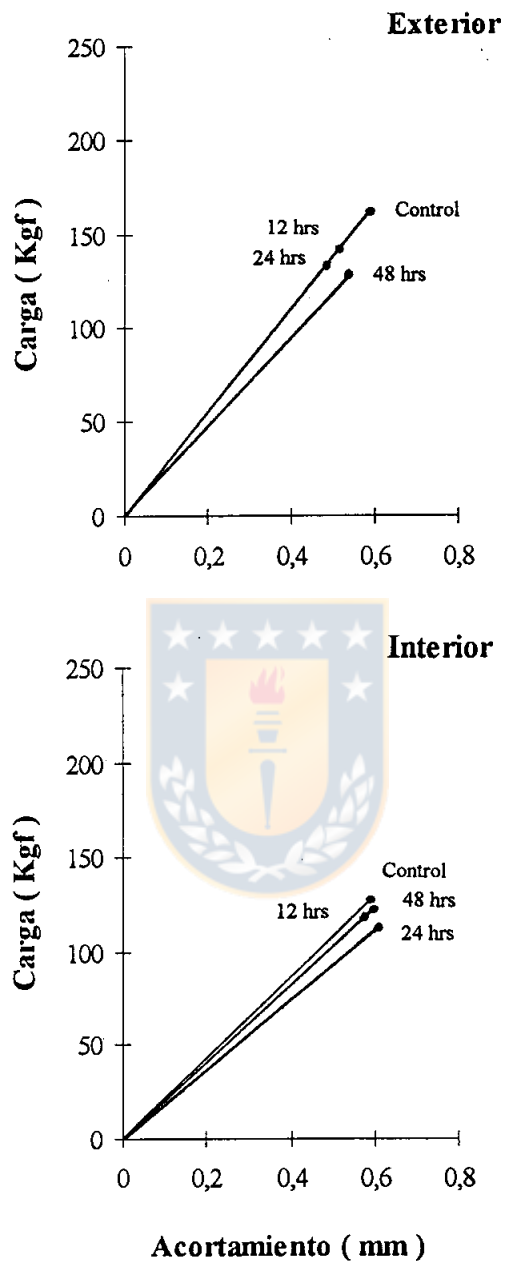


Figura 7A. Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en **compresión perpendicular tangencial** para una temperatura de calentamiento de 40°C.

Leyenda: Control: Tratamiento control (20°C), 12 hrs - 24 hrs - 48 hrs: Tiempos de calentamiento.

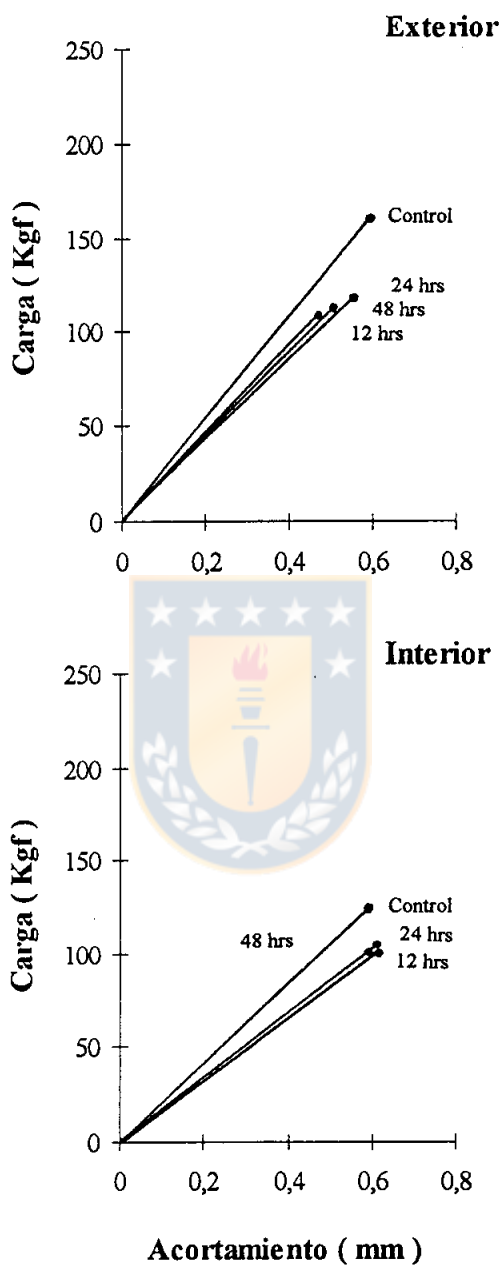


Figura 8A. Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 60°C.

Leyenda: Ver Figura 7A.

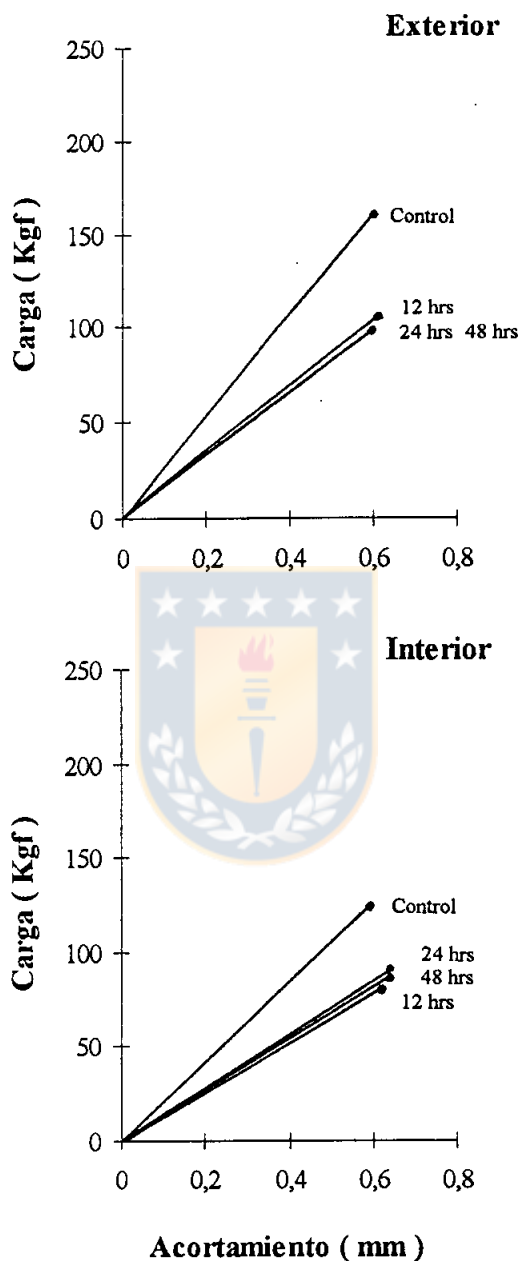


Figura 9A. Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular tangencial para una temperatura de calentamiento de 80°C.

Leyenda: Ver Figura 7A.

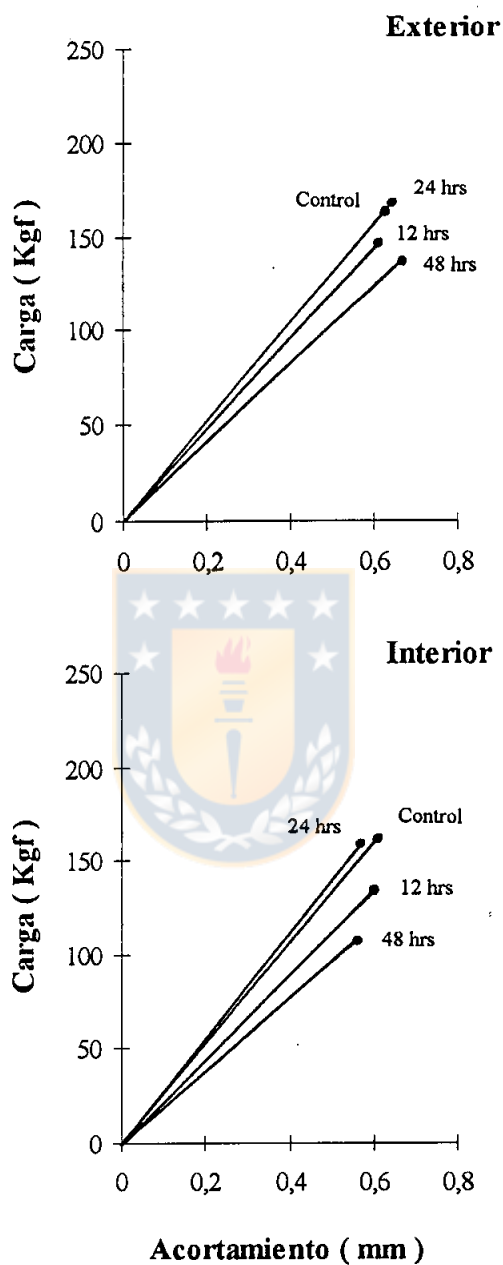


Figura 10A. Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en **compresión perpendicular mixta** para una temperatura de calentamiento de 40°C.

Leyenda: Ver Figura 7A.

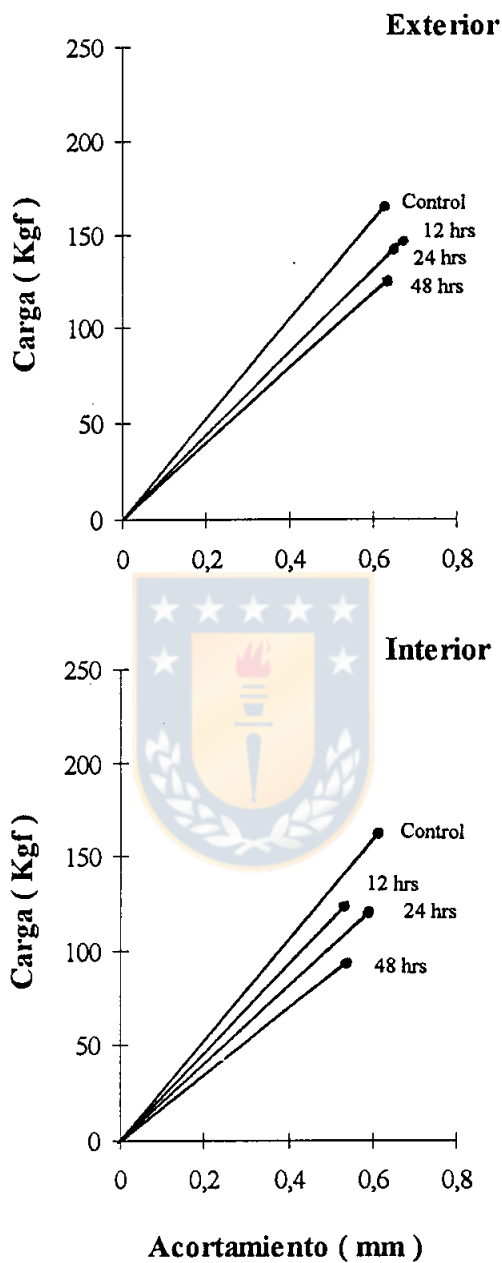


Figura 11A. Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular mixta para una temperatura de calentamiento de 60°C.

Leyenda: Ver Figura 7A.



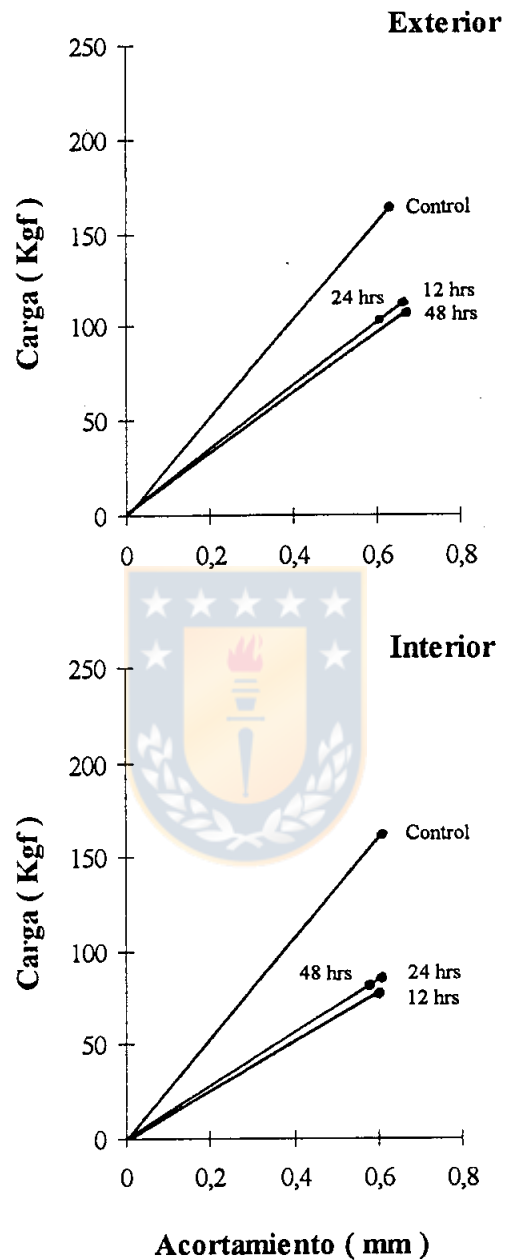


Figura 12A. Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular mixta para una temperatura de calentamiento de 80°C.

Leyenda: Ver Figura 7A.

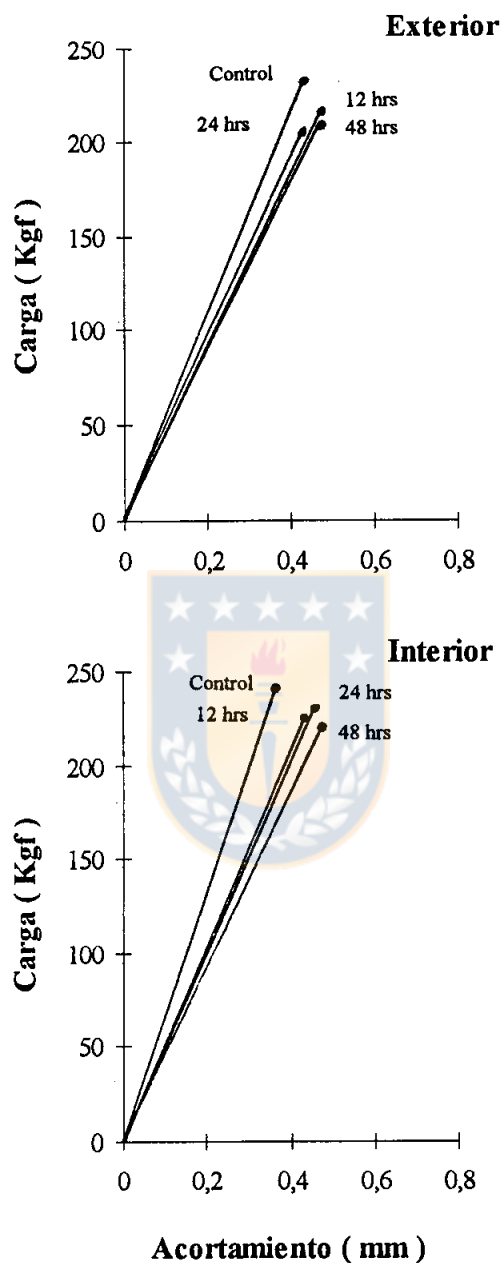


Figura 13A. Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 40°C.

Leyenda: Ver Figura 7A.

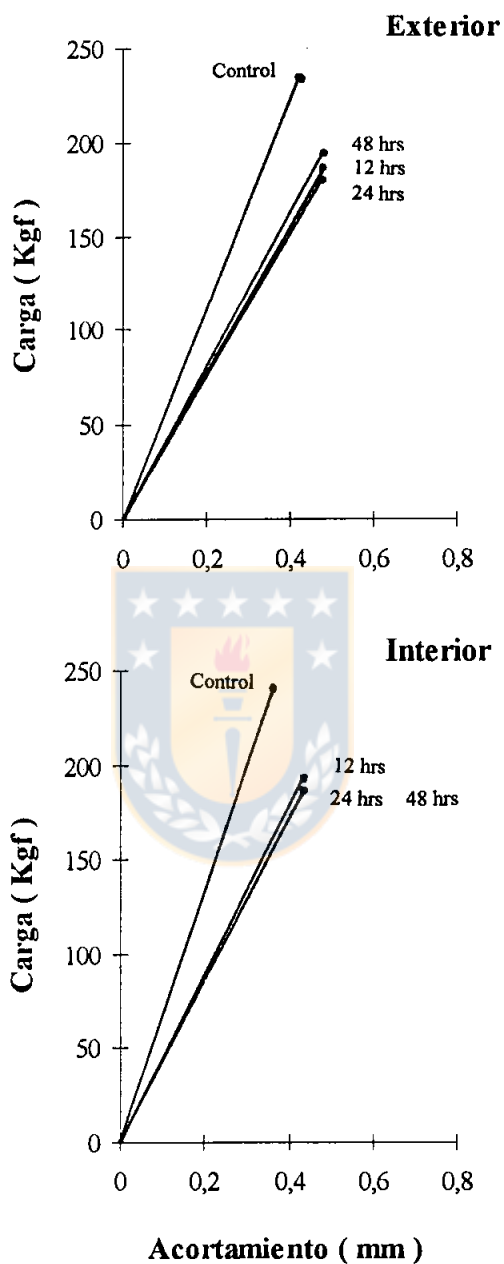


Figura 14A. Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en **compresión perpendicular radial** para una temperatura de calentamiento de  $60^{\circ}\text{C}$ .

Leyenda: Ver Figura 7A.

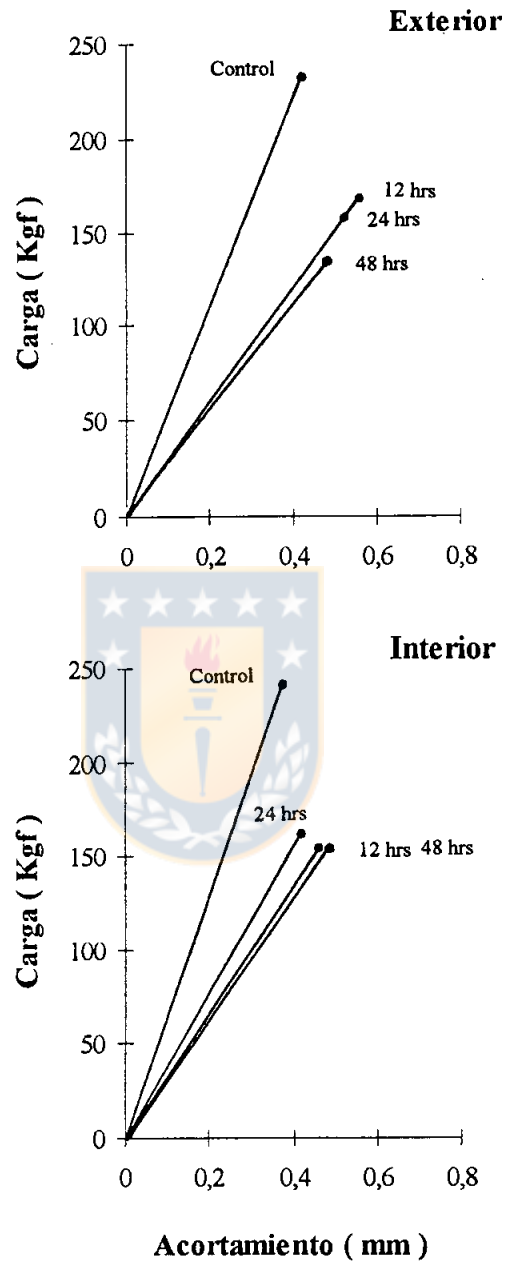


Figura 15A. Gráfica de las cargas y acortamientos promedio en el límite proporcional en compresión perpendicular radial para una temperatura de calentamiento de 80°C.

Leyenda: Ver Figura 7A.

### APÉNDICE III

#### Análisis de varianza para la variable Elasticidad (E)

##### Tracción Tangencial

Dependent Variable: E en Kgf/cm<sup>2</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	6249014.934	328895.523	22.85	0.0001
Error	173	2490137.423	14393.858		
Corrected Total	192	8739152.357			
	R-Square	C.V.	Root MSE		E Mean
	0.715060	16.10782	119.9744		744.8207

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	263552.119	131776.059	9.16	0.0002
TEMPER	2	2350887.433	1175443.717	81.66	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	70535.412	17633.853	1.23	0.3020
POSICION	1	1827733.841	1827733.841	126.98	0.0001
POSICION*TIEMPO	2	160894.096	80447.048	5.59	0.0044
POSICION*TEMPER	2	89946.523	44973.262	3.12	0.0465
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	106193.213	26548.303	1.84	0.1225

##### Tracción Radial

Dependent Variable: E en Kgt/cm<sup>2</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	6749475.651	355235.561	57.15	0.0001
Error	179	1112646.368	6215.901		
Corrected Total	198	7862122.019			
	R-Square	C.V.	Root MSE		E Mean
	0.858480	13.93192	78.84099		565.9020

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	18169.309	9084.654	1.46	0.2346
TEMPER	2	2091459.586	1045729.793	168.23	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	38370.347	9592.587	1.54	0.1916
POSICION	1	3109975.843	3109975.843	500.33	0.0001
POSICION*TIEMPO	2	7379.551	3689.776	0.59	0.5534
POSICION*TEMPER	2	72046.336	36023.168	5.80	0.0036
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	25656.711	6414.178	1.03	0.3922

**Compresión Tangencial**Dependent Variable: E en Kgf/cm<sup>2</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	34762922.07	1829627.48	25.92	0.0001
Error	180	12706430.12	70591.28		
Corrected Total	199	47469352.20			
	R-Square	C.V.	Root MSE		E Mean
	0.732323	12.01812	265.6902		2210.747

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	316213.44	158106.72	2.24	0.1094
TEMPER	2	26741852.04	13370926.02	189.41	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	1015491.81	253872.95	3.60	0.0076
POSICION	1	3101.28	3101.28	0.04	0.8342
POSICION*TIEMPO	2	109620.03	54810.02	0.78	0.4616
POSICION*TEMPER	2	106435.13	53217.56	0.75	0.4720
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	800284.59	200071.15	2.83	0.0260

**Compresión Radial**Dependent Variable: E en Kgf/cm<sup>2</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	144300218.4	7594748.3	22.83	0.0001
Error	180	59881985.9	332677.7		
Corrected Total	199	204182204.3			
	R-Square	C.V.	Root MSE		E Mean
	0.706723	13.49136	576.7822		4275.197

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	2703180.83	1351590.42	4.06	0.0188
TEMPER	2	67473872.26	33736936.13	101.41	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	3030852.04	757713.01	2.28	0.0627
POSICION	1	1812861.68	1812861.68	5.45	0.0207
POSICION*TIEMPO	2	645413.95	322706.97	0.97	0.3810
POSICION*TEMPER	2	1629449.64	814724.82	2.45	0.0893
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	851337.43	212834.36	0.64	0.6348

**Compresión Mixta**Dependent Variable: E en Kg/cm<sup>2</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	62272875.39	3277519.76	13.60	0.0001
Error	179	43147012.32	241044.76		
Corrected Total	198	105419887.71			
	R-Square	C.V.	Root MSE		E Mean
	0.590713	19.16284	490.9631		2562.058

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	2033735.53	1016867.77	4.22	0.0162
TEMPER	2	33590102.03	16795051.01	69.68	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	10321228.77	2580307.19	10.70	0.0001
POSICION	1	3651.96	3651.96	0.02	0.9022
POSICION*TIEMPO	2	178538.34	89269.17	0.37	0.6910
POSICION*TEMPER	2	2036660.52	1018330.26	4.22	0.0161
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	3854506.79	963626.70	4.00	0.0039



## APÉNDICE IV

### Análisis de Varianza para la variable Trabajo elástico (Wel)

#### Tracción Tangencial

Dependent Variable: Wel en Kgf-cm/cm<sup>2</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	173.2137707	9.1165142	13.07	0.0001
Error	173	120.7156529	0.6977783		
Corrected Total	192	293.9294236			
	R-Square	C.V.	Root MSE		Wel Mean
	0.589304	20.64075	0.835331		4.047001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	5.70829762	2.85414881	4.09	0.0184
TEMPER	2	63.97338656	31.98669328	45.84	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	7.68486000	1.92121500	2.75	0.0297
POSICION	1	41.22060218	41.22060218	59.07	0.0001
POSICION*TIEMPO	2	2.97632955	1.48816477	2.13	0.1216
POSICION*TEMPER	2	7.63526776	3.81763388	5.47	0.0050
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	1.31486071	0.32871518	0.47	0.7569

#### Tracción Radial

Dependent Variable: Wel en Kgf-cm/cm<sup>2</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	153.3300621	8.0700033	24.91	0.0001
Error	179	57.9808162	0.3239152		
Corrected Total	198	211.3108783			
	R-Square	C.V.	Root MSE		Wel Mean
	0.725614	23.12363	0.569135		2.461272

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	2.66122029	1.33061014	4.11	0.0180
TEMPER	2	34.33259131	17.16629565	53.00	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	3.49073785	0.87268446	2.69	0.0325
POSICION	1	70.59358885	70.59358885	217.94	0.0001
POSICION*TIEMPO	2	1.90335524	0.95167762	2.94	0.0555
POSICION*TEMPER	2	5.57562915	2.78781457	8.61	0.0003
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	2.70017759	0.67504440	2.08	0.0848



**Compresión Tangencial**Dependent Variable: Wel en Kgf-cm/cm<sup>3</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	0.24355069	0.01281846	10.71	0.0001
Error	180	0.21534210	0.00119635		
Corrected Total	199	0.45889280			
	R-Square	C.V.	Root MSE		Wel Mean
	0.530735	18.78314	0.034588		0.184145

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	0.00337821	0.00168911	1.41	0.2464
TEMPER	2	0.01951774	0.00975887	8.16	0.0004
TIEMPO*TEMPER	4	0.00572742	0.00143186	1.20	0.3138
POSICION	1	0.11969418	0.11969418	100.05	0.0001
POSICION*TIEMPO	2	0.00242568	0.00121284	1.01	0.3649
POSICION*TEMPER	2	0.00375814	0.00187907	1.57	0.2107
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	0.00869562	0.00217391	1.82	0.1274

**Compresión Radial**Dependent Variable: Wel en Kgf-cm/cm<sup>3</sup>

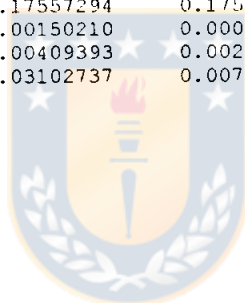
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	0.28875250	0.01519750	10.20	0.0001
Error	180	0.26812100	0.00148956		
Corrected Total	199	0.55687350			
	R-Square	C.V.	Root MSE		Wel Mean
	0.518524	13.85065	0.038595		0.278650

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	0.00321308	0.00160654	1.08	0.3423
TEMPER	2	0.17163774	0.08581887	57.61	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	0.02044472	0.00511118	3.43	0.0099
POSICION	1	0.03310819	0.03310819	22.23	0.0001
POSICION*TIEMPO	2	0.01616590	0.00808295	5.43	0.0051
POSICION*TEMPER	2	0.01499943	0.00749972	5.03	0.0075
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	0.02092437	0.00523109	3.51	0.0087

**Compresión Mixta**Dependent Variable: Wel en Kgf-cm/cm<sup>3</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	0.65992593	0.03473294	20.62	0.0001
Error	179	0.30152789	0.00168451		
Corrected Total	198	0.96145382			
	R-Square	C.V.	Root MSE		Wel Mean
	0.686383	20.51832	0.041043		0.200030

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	0.07464990	0.03732495	22.16	0.0001
TEMPER	2	0.16787218	0.08393609	49.83	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	0.00866292	0.00216573	1.29	0.2774
POSICION	1	0.17557294	0.17557294	104.23	0.0001
POSICION*TIEMPO	2	0.00150210	0.00075105	0.45	0.6410
POSICION*TEMPER	2	0.00409393	0.00204697	1.22	0.2991
POSICION*TIEMPO*TEMPE	4	0.03102737	0.00775684	4.60	0.0015



## APÉNDICE V

Análisis de varianza para la variable Trabajo hasta la  
máxima carga (Wml).

### Tracción Tangencial

Dependent Variable: Wml en Kgf-cm/cm<sup>2</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	397.0008110	20.8947795	11.65	0.0001
Error	173	310.2628544	1.7934269		
Corrected Total	192	707.2636654			
	R-Square	C.V.	Root MSE		Wml Mean
	0.561319	24.14440	1.339189		5.546581

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	5.3845878	2.6922939	1.50	0.2258
TEMPER	2	177.8266538	88.9133269	49.58	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	11.0400797	2.7600199	1.54	0.1930
POSICION	1	114.6185845	114.6185845	63.91	0.0001
POSICION*TIEMPO	2	8.4041172	4.2020586	2.34	0.0991
POSICION*TEMPER	2	12.7909779	6.3954890	3.57	0.0304
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	18.8044680	4.7011170	2.62	0.0366

### Tracción Radial

Dependent Variable: Wml Kgf-cm/cm<sup>2</sup>

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	455.8329947	23.9912102	20.03	0.0001
Error	179	214.4164610	1.1978573		
Corrected Total	198	670.2494557			
	R-Square	C.V.	Root MSE		Wml Mean
	0.680095	29.80534	1.094467		3.672049

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TIEMPO	2	10.8176053	5.4088026	4.52	0.0122
TEMPER	2	117.1923033	58.5961517	48.92	0.0001
TIEMPO*TEMPER	4	11.2349396	2.8087349	2.34	0.0565
POSICION	1	185.6046578	185.6046578	154.95	0.0001
POSICION*TIEMPO	2	10.3885501	5.1942750	4.34	0.0145
POSICION*TEMPER	2	6.6731158	3.3365579	2.79	0.0644
POSICION*TIEMPO*TEMPER	4	7.6108906	1.9027226	1.59	0.1793



ANTECEDENTES MÁS IMPORTANTES DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL  
REALIZADA POR MUJICA Y NOVA (1995)

La materia prima corresponde a madera de Eucalyptus globulus traída desde la zona de Arauco, VIII Región, la que se recepcionó en estado verde en forma de trozas de 1.2 m de largo y cuyos diámetros superan los 65 cm.

De cada trozo se obtiene un total de 8 viguetas de 120 x 120 x 1200 mm, de las cuales se obtienen las probetas para los ensayos mecánicos de tracción y compresión perpendicular (Figura 1B).

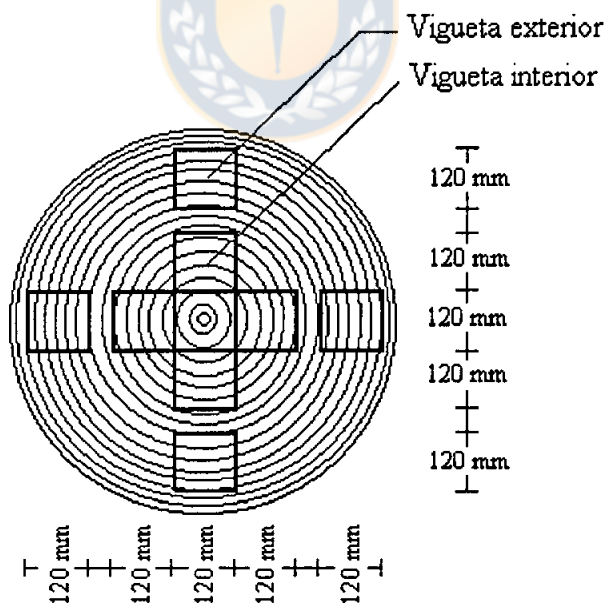


Figura 1B. Esquema de obtención de viguetas.

Para los ensayos de tracción perpendicular, y de acuerdo a la Norma Chilena Nch 975, se obtienen probetas de dimensiones 50 mm x 50 mm x 63 mm, generando una área de falla (zona de menor dimensión) de 50 x 25 mm<sup>2</sup>, en la dirección radial y tangencial (Figura 2B). Se aplica la carga a una velocidad constante de 2 mm/min, registrando el valor máximo resistido.

Para los ensayos de compresión perpendicular y de acuerdo a la Norma Japonesa JIS Z 2111-63, se cortan probetas de 20 mm x 40 mm x 20 mm, generando planos de fallas radiales, tangenciales y mixtos (Figura 3B). Se ensaya a una velocidad constante de 0.3 mm/min, registrando carga y deformación hasta alcanzar el límite proporcional.

Las probetas debidamente identificadas, son introducidas en un baño termostático, en que se programan las condiciones de tiempo y temperatura establecidas. Una vez finalizado el calentamiento, las probetas son ensayadas inmediatamente después.

La densidad básica de la madera ( $\rho_{ov}$ ) se determina según la Norma Chilena 176/2, por lo que se requiere el peso anhidro ( $P_o$ ) y el volumen verde ( $V_v$ ) de las probetas. En compresión perpendicular se obtiene el peso seco de la probeta una vez finalizado el ensayo mecánico secando a estas en una estufa a  $103 \pm 2$  °C por 48 hrs. según la Norma Chilena Nch 176/1. En tracción perpendicular se obtiene el peso seco y volumen verde de un fragmento de la probeta.

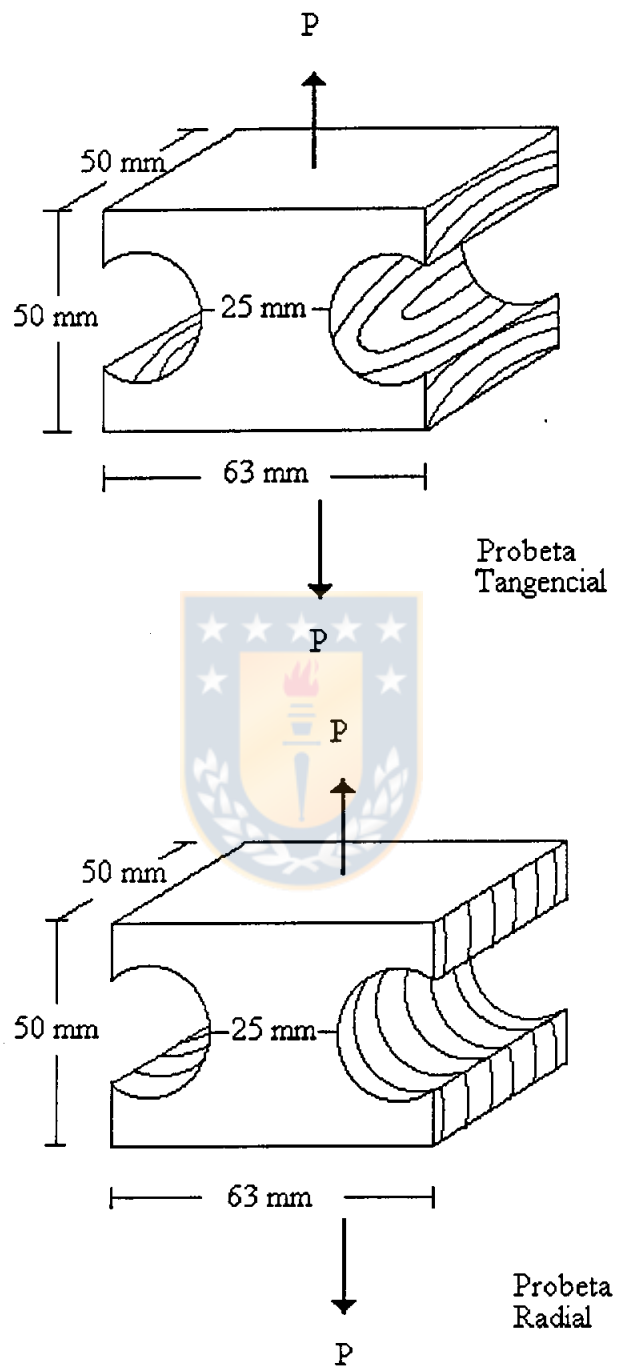


Figura 2B. Ensayo de tracción perpendicular a las fibras según Norma Chilena Nch 975.

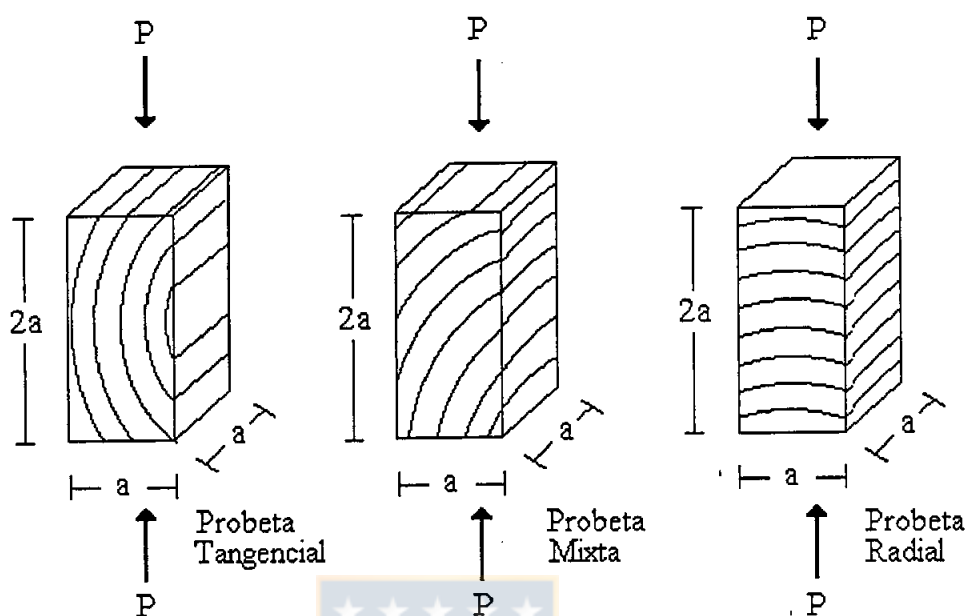


Figura 3B. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras según Norma Japonesa JIS Z 2111-63.

Mayores detalles de la metodología experimental, remitirse a Mujica y Nova (1995).