

ANALISIS DEL PROCESO DE MACERACION PARA EL PINO RADIATA

Roberto Melo H. (*)

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es la determinación de tiempos de absorción de calor, propios de la especie Pino Radiata, para trozas sometidas a un proceso de maceración previa al debobinado. Se utiliza agua como medio de calefacción.

Los resultados indican que los tiempos de calentamiento para distintas temperaturas del fluido de calefacción de los diferentes diámetros, son reducidos, no excediendo las 23 horas para ninguno de los casos analizados.

Se establece que la única variable que contribuye a explicar estadísticamente las variaciones de la temperatura en la madera, es el diámetro de la troza.

Se determina finalmente, modelos de regresión, los cuales permiten calcular temperaturas interiores en la troza para distintos diámetros en función del tiempo de maceración.

ABSTRACT

This article presents the most relevant results of a study about heating times of Radiata Pine logs, using water as an agent of heat transfer. The process called melting, is done previously to the rotary lathe. The results show that the heating times at different diameters are short and do not exceed 23 hours in any of the cases studied.

The only variable which is statistically correlated with the wood temperature is the log diameter.

Finally, regression models are established for calculating internal temperatures in the log at different diameters on the melting time.

(*) Ingeniero Civil Industrial y Mecánico. División Regional, Instituto Forestal. Barros Arana 121. Concepción, Chile.

INTRODUCCION

La industria del debobinado en nuestro país cobra cada día mayor relevancia, básicamente debido a su aplicación en la fabricación de tableros contrachapados, cuya principal utilización se orienta a la línea de muebles modulares, viviendas y a la producción de embalajes para la exportación hortofrutícola.

Es tradicional que en la producción de chapas se utilicen especies como el álamo, tepeal, lingue, coigüe y eucalyptus, fundamentalmente por el atractivo que presenta su color y vetado. Sin embargo la menor disponibilidad de estas especies y las proyecciones de oferta futura del Pino radiata justifican su empleo, cada vez en mayor grado, para la elaboración de chapas.

El pino presenta una serie de ventajas, entre las que se pueden destacar su rendimiento volumétrico, flexibilidad para obtener diferentes espesores, adecuadas propiedades mecánicas, calidad superficial de las chapas y buena trabajabilidad.

Los resultados obtenidos en Nueva Zelanda y Australia, así como también en Chile, permiten augurar que su utilización constituirá un éxito, aun cuando, debe mejorarse ostensiblemente la calidad del producto. Se ha detectado una falta de investigación al respecto en la industria nacional, concentrándose los esfuerzos, casi exclusivamente en la acción directa de las empresas involucradas.

Entre las diferentes aplicaciones del contrachapado, se puede destacar en forma especial la fabricación de cajones para la fabricación hortofrutícola, los cuales han experimentado una extraordinaria demanda en los últimos años.

El cajón, tradicionalmente, se fabrica en forma íntegra como madera aserrada. En la actualidad, sólo se utiliza ésta para los cabezales y se emplean chapas y contrachapados en la construcción de las tapas, laterales y fondos.

Por los motivos anteriormente enunciados y, especialmente, debido al desconocimiento que existe respecto al comportamiento del Pino radiata en el debodinado y contrachapado, se hace necesario estudiar estos procesos en todas sus fases, a fin de determinar cuáles y en qué medida son necesarias, así como también la forma de introducir modificaciones y optimizarlas.

El presente estudio se refiere a una de las etapas de producción de chapas, denominada preparación de las trozas, la cual considera el calentamiento o maceración de éstas, previo a la obtención de la chapa.

La maceración tiene como objetivo, entre otros, mejorar la calidad de la chapa, reducir el daño de las cuchillas del torno debobinador y la aparición de defectos en los extremos de las trozas, minimizando pérdidas de material.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Diseño de experiencias

Se han considerado como variables independientes controlables el diámetro de la troza y la temperatura del medio fluido empleado para su calentamiento. La variable respuesta o dependiente corresponde a la temperatura de la troza a diferentes profundidades.

Los niveles de las variables independientes son los siguientes:

Diámetros trozas	:	3	(180 - 260 - 340 mm)
Temperatura agua	:	4	(45 - 60 - 75 - 90°C)
Réplicas	:	4	

Total : 3 x 4 x 4 = 48 réplicas o trozas

Se efectúan cuatro réplicas de cada tratamiento diámetro - temperatura, de modo que el total de unidades experimentales es de 48 trozas.

Como información complementaria (variables independientes inconcontrolables), se determina la densidad básica de la troza y su humedad inicial.

Se escoge una longitud de 1.200 mm para las trozas, por su facilidad de manipulación y porque se estima que con este largo se obtienen condiciones similares a las empleadas industrialmente, en el sentido que es más relevante la transferencia de calor radial que longitudinal.

La densidad se mide utilizando seis muestras de cada troza, en la forma de cubos de arista 20 mm. Estas muestras están dispuestas tal como se muestran en la figura 1.

La densidad básica (ρ_b) está dada por:

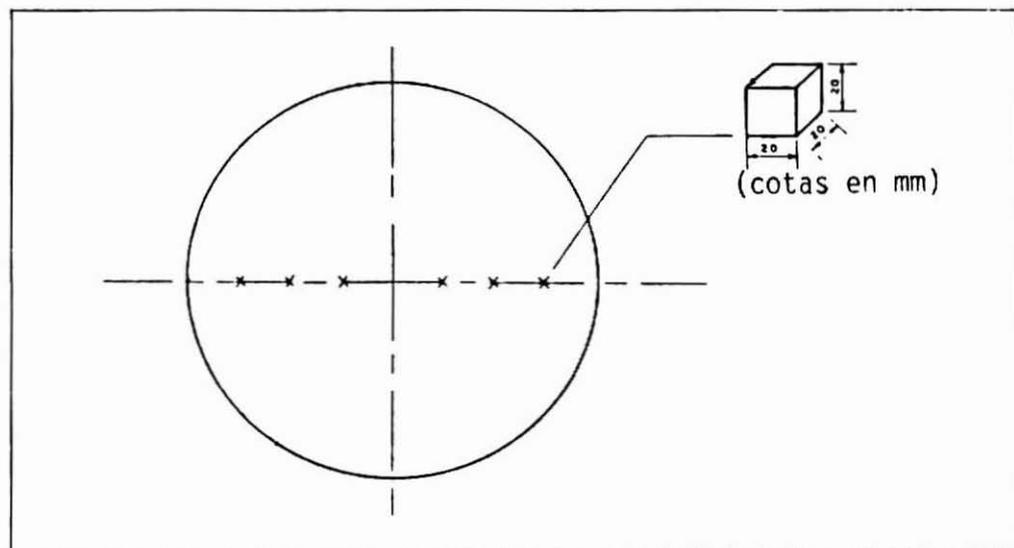
$$\rho_b = \frac{P_s}{V_v} \quad (\text{kg/m}^3)$$

Donde:

P_s = Peso anhidro (kg)

V_v = Volumen verde (m^3)

FIGURA 1
MUESTREO DE DENSIDAD



La humedad (H) se cuantifica considerando las mismas seis probetas anteriores, de manera de abarcar la altura y el duramen. La expresión empleada es la siguiente:

$$H = \frac{P_v - P_s}{P_s} \%$$

Donde:

P_v = Peso verde (g)

P_s = Peso anhidro (g)

El tiempo de calentamiento se registra en forma continua a diferentes profundidades hacia el interior de la troza, utilizando termocuplas adecuadamente aisladas y un indicador digital.

Se efectúan cuatro mediciones en profundidad, la primera de ellas a 10 mm de la superficie, la cuarta a 35 mm del centro del rollizo, ya que se estima que éste es el radio mínimo de debobinado, y las dos restantes, de tal forma que equidistaban entre sí y de las dos anteriores. La disposición de las termocuplas para medir las temperaturas en la forma indicada, se muestran en la figura 2.

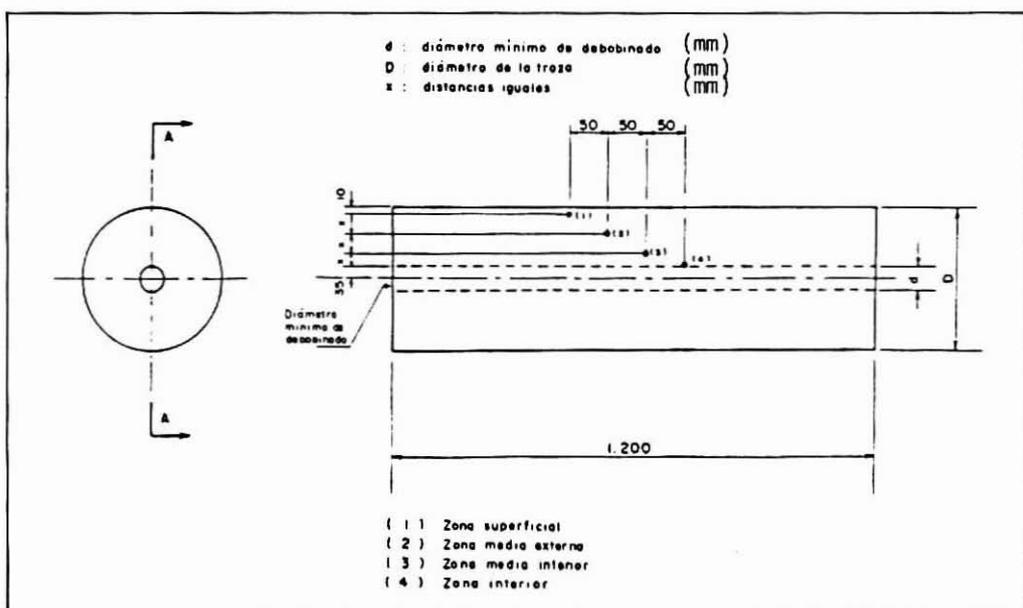
La superficie donde se efectúa la primera medición en profundidad se denomina zona superficial (Sup.), la siguiente es la zona media exterior (Z. M. ext.) y las dos últimas corresponden a la zona media interior y zona interior (Z. M. int. y Z. int.), respectivamente.

Material experimental

El material empleado en las experiencias son trozas de Pino radiata provenientes de bosques de Constitución.

Como la longitud de las unidades experimentales es de 1.200 mm de cada árbol se extraen, en algunos casos, dos o más piezas.

FIGURA 2
DISPOSICIONES DE TERMOCUPLAS



Equipos e instrumentos

Se utilizan los siguientes equipos e instrumentos:

Estanque de fibra de vidrio de $1,35 \text{ m}^3$ de capacidad, forrado con lana mineral de 50 mm de espesor y una cubierta metálica.

Las tapas son metálicas, aisladas también con lana mineral del mismo espesor.

Calefactores eléctricos (6) de cobre de 1,5 Kw para calentar el agua.

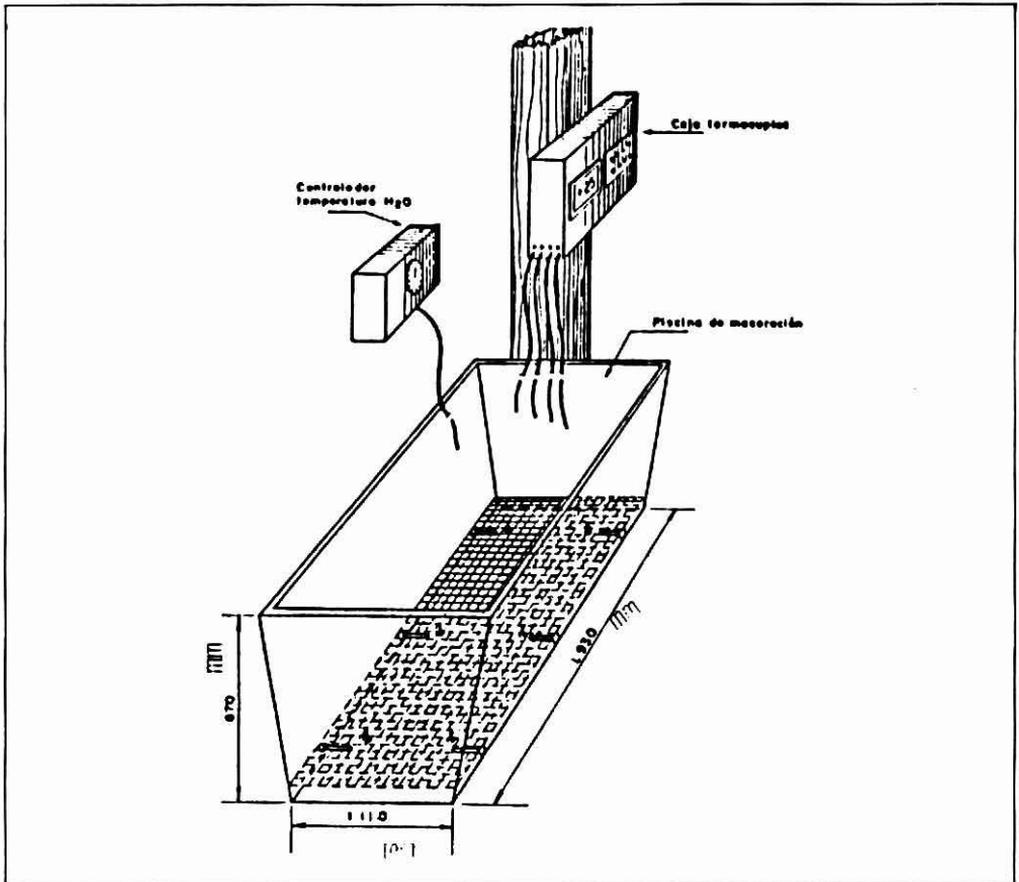
Controlador de temperatura, sensibilidad 5°C , rango 0 a 250°C .

Indicador digital de temperaturas, sensibilidad 1°C , rango 0 a $\pm 900^\circ\text{C}$.

Termocuplas (8) de fierro - constatan, largo 2.500 mm.

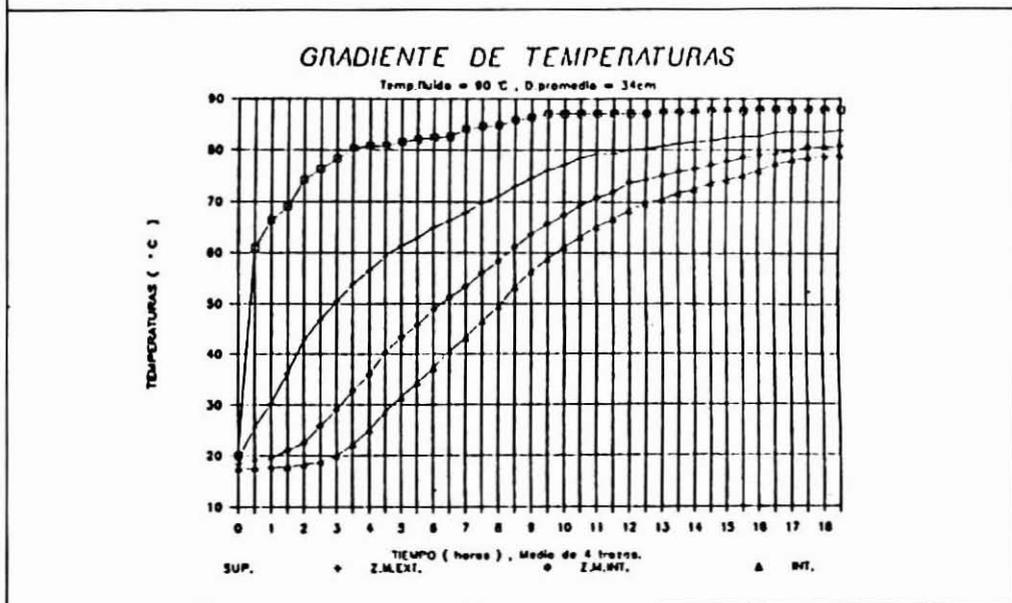
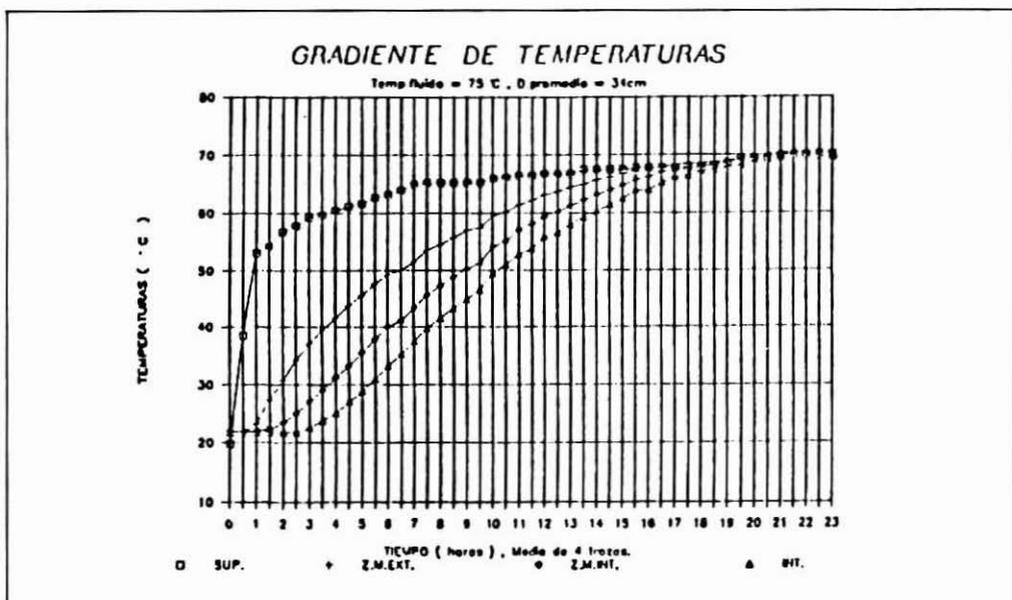
En la figura 3 se muestran en forma esquemática el equipo utilizado en los ensayos experimentales.

FIGURA 3
EQUIPO EXPERIMENTAL



RESULTADOS

En las dos figuras siguientes se presentan, a modo de ejemplo, dos gráficos que muestran la evolución de la temperatura para diferentes profundidades en función del tiempo. Estas gráficas corresponden al promedio de cuatro réplicas para un diámetro y temperatura de fluido determinados.



En los diámetros de 260 y 340 mm el comportamiento de la temperatura es similar. Esta sube en forma acentuada en la zona superficial durante las primeras horas, para luego adoptar características asintóticas, ajustándose a una transformación logarítmica. En las profundidades restantes, zonas media exterior y media interior, la temperatura experimenta un incremento más sostenido a lo largo del tiempo en que se desarrollan las experiencias, disminuyendo su pendiente hacia el final de éstas.

En la clase diamétrica de 180 mm las curvas de temperatura en función del tiempo, para las diferentes zonas en profundidad, son semejantes entre sí, no apreciándose en forma clara la fuerte diferenciación que existe en los casos anteriormente señalados.

El comportamiento distinto que muestra el calentamiento de las trozas de menor diámetro, se puede deber a su inferior densidad básica media (promediando albura y duramen) respecto a las trozas de diámetro superior. La densidad es inversamente proporcional a la difusividad térmica, la cual constituye una medida de la propagación del calor en una determinada sustancia, de modo que a menor densidad, se tiene un mayor coeficiente de difusión y por ende una mayor difusión de la energía térmica o calentamiento más rápido.

Del análisis de los resultados se determina que los tiempos de calentamiento del Pino radiata, para las diferentes temperaturas del medio de calefacción y diámetro empleados, son sumamente reducidos en relación a otras especies, no excediendo de 23 horas, en ninguno de los casos analizados.

Análisis estadístico de las diferentes variables

En un análisis preliminar se determina cuales de las variables consideradas son significativas para explicar las variaciones en la absorción de calor de las distintas trozas, clasificadas según los criterios anteriormente descritos (temperatura del fluido y diámetro).

Posteriormente, una vez detectadas las variables de mayor incidencia, se establece su influencia en las variaciones de la temperatura en la zona interior de la troza, es decir, en un radio de 35 mm.

Determinación de la influencia del tiempo de inmersión

De la observación de los gráficos de variación de la temperatura, se puede concluir que la cantidad de calor en el centro de las trozas depende directamente del tiempo de inmersión. El coeficiente de la correlación lineal entre el tiempo de inmersión y la temperatura, es de 93%. Dadas las características de la información, esta correlación debe estimarse separadamente para cada troza, lo que equivale a mantener constante tanto el diámetro como la densidad y humedad de las trozas.

La evidente falta de linealidad en la relación mencionada, induce a aplicar una transformación logarítmica a ambas variables, con lo que la correlación aumenta al 98%.

Al ajustar un modelo lineal de tipo logarítmico a las variables transformadas, se obtiene que para cada troza, el tiempo de inmersión puede explicar hasta un 97% de las variaciones de la temperatura al interior de la troza. El modelo tiene la siguiente forma:

$$\text{Log (Temp)} = B_0 + B_1 \log (\text{tiempo})$$

Donde:

B_0 y B_1 corresponden a los coeficientes de regresión.

Sin embargo el análisis de esta relación presenta dos problemas que es necesario discutir.

El primero dice relación con el hecho que las mediciones de las temperaturas se efectúan secuencialmente en el tiempo, lo cual transforma el problema de regresión en uno de series de tiempo. Este hecho invalida los resultados anteriores respecto de las correlaciones por cuanto las observaciones no son independientes entre sí. Para solucionar el problema se debe realizar el análisis independizando las variables del factor tiempo, es así que el estudio de la correlación se efectúa para las distintas variables, pero manteniendo el tiempo como factor constante, lo que significa un estudio de las correlaciones en instantes de tiempo determinado, por ejemplo a las 2, 4, 6 horas, etc.

El segundo problema a considerar está en relación con el hecho que la variación de la temperatura en el interior de la troza está inversamente relacionada con su diámetro, debido a lo cual debe evaluarse la correlación entre esta variable y la temperatura en cada uno de los intervalos (de tiempo) considerados anteriormente.

Determinación de la influencia del diámetro, densidad y humedad

Se consideran para esta determinación, instantes fijos, es decir, las temperaturas alcanzadas cada dos horas después del instante de inmersión, mediante un ajuste por el método de mínimos cuadrados ordinarios.

Para determinar las variables de más importancia se utiliza un procedimiento de selección "paso a paso". Este mecanismo, aplicado separadamente para cada una de las cuatro temperaturas exteriores (del fluido), indica que la única variable que contribuye a explicar las variaciones de la temperatura es el diámetro. El nivel de significación promedio de las variables humedad y densidad resulta mayor que 0.01, lo que no otorga ninguna significación estadística a las variables mencionadas.

En contraposición a lo anterior, la variable diámetro, tiene un nivel de significación promedio inferior a 0.01, lo que evidencia que el diámetro influye significativamente en la variación del gradiente de la temperatura.

Determinación de la influencia del diámetro

Para determinar la correlación entre los diámetros de las trozas y las variaciones de la temperatura para cada uno de los niveles de tiempo de inmersión, se ajustan modelos de regresión mediante el mismo procedimiento anterior, del siguiente tipo:

$$\text{TEMP} = B_0 + B_1 \text{ DIAM}$$

Los parámetros de cada uno de los modelos son los siguientes:

1. R^2 : Coeficiente de determinación.
2. CME : Cuadrado Medio del Error, como una medida de la precisión del ajuste.
3. G. de L. : Grados de libertad del error.
4. B_0 : Valor estimado del parámetro correspondiente a la media general.
5. B_1 : Pendiente de la recta que representa el incremento de la temperatura respecto del diámetro.
6. α : Nivel de significación.

Usando los modelos resumidos en las Tablas 1, 2, 3 y 4 se obtienen los valores estimados de la temperatura interior de la troza según cada una de las temperaturas de fluido consideradas. Las Tablas 5, 6, 7 y 8 incluyen los valores estimados para diferentes diámetros en incrementos de 20 mm y cada dos horas de inmersión.

Respecto a los resultados exhibidos en las últimas tablas deben hacerse las siguientes consideraciones generales:

- A) Los tamaños muestrales considerados para obtener los estimadores son muy pequeños, lo cual disminuye la precisión del estudio.
- B) Dada la curva de absorción de calor para los diferentes diámetros, la precisión de los estimadores disminuye en la medida que la estimación se aproxima a los extremos de ambas categorías, esto es, hacia dos horas por la izquierda y 18 por la derecha en cuanto al tiempo y hacia 160 mm en cuanto al diámetro. La extrapolación hacia valores mayores que los límites superiores y menores que los límites inferiores de las variables mencionadas, debe hacerse por lo tanto, permitiendo un mayor margen de tolerancia.
- C) La ausencia de valores muestrales en diversas categorías, para más de 8 horas de inmersión, hace que en general la precisión de las estimaciones sea mayor entre 2 y 3 horas que entre 10 y 18 horas.
- D) Para mejorar la precisión de las estimaciones se hace necesario la obtención de muestras de mayor tamaño en cada una de las categorías.

TABLA 1
PARAMETROS DEL MODELO PARA TEMPERATURA DE INMERSION DE 45°C

TEMP. FLUIDO	45°C							
	2	4	6	8	10	12	14	16
R ²	0,90	0,92	0,84	0,73	0,96	0,83	0,75	0,64
CME	0,57	2,20	3,28	3,35	0,35	1,34	1,84	2,02
G. de L.	8	8	8	8	6	6	6	6
INTERCEPT (β_0)	31,00	48,33	48,00	47,10	0,58	58,44	57,75	65,64
DIAM (β_1)	-0,35	-0,79	-0,61	-0,45	-0,67	-0,61	-0,55	-0,45
α	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02

TABLA 2

PARAMETROS DEL MODELO PARA TEMPERATURA DE INMERSION DE 60°C

TEMP. FLUIDO	60°C							
HORAS	2	4	6	8	10	12	14	16
R ²	0,88	0,95	0,87	0,61	0,64	0,71	0,68	0,57
CME	6,82	4,79	8,74	14,85	12,12	7,90	4,58	3,81
G. de L.	9	9	9	9	6	6	6	6
INTERCEPT (β_0)	50,18	65,54	66,41	60,46	77,88	80,50	74,88	70,88
DIAM (β_1)	-0,96	-1,27	-1,05	-0,66	-1,03	-0,98	-0,69	-0,50
α	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,03

TABLA 3

PARAMETROS DEL MODELO PARA TEMPERATURA DE INMERSION DE 75°C

TEMP. FLUIDO	75°C							
HORAS	2	4	6	8	10	12	14	16
R ²	0,80	0,91	0,77	0,49	0,73	0,62	0,56	0,47
CME	11,55	11,33	29,35	42,67	23,24	27,91	21,94	14,11
G. de L.	8	8	8	8	4	4	4	4
INTERCEPT (β_0)	52,70	80,57	87,13	80,59	120,62	114,16	106,78	95,46
DIAM (β_1)	-1,00	-1,62	-1,47	-0,95	-2,08	-1,73	-1,37	-0,92
α	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,07	0,09	0,13

TABLA 4

PARAMETROS DEL MODELO PARA TEMPERATURA DE INMERSION DE 90°C
(°C)

TEMP. FLUIDO	90°C							
HORAS	2	4	6	8	10	12	14	16
R ²	0,89	0,97	0,98	0,90	0,84	0,83	0,83	0,81
CME	23,93	11,31	9,08	23,80	22,00	16,72	12,34	8,61
G. de L.	10	10	10	10	6	6	6	6
INTERCEPT (β_0)	77,22	118,09	123,73	118,38	135,52	130,15	125,96	117,48
DIAM (β_1)	-1,82	-2,78	-2,53	-1,96	-2,18	-1,80	-1,56	-1,21
α	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TABLA 5

TEMPERATURA INTERIOR PARA TEMPERATURA DE INMERSION DE 45°C
(°C)

TEMP. FLUIDO		45°C								
		HORAS DE INMERSION								
DIAMETRO (cm)		2	4	6	8	10	12	14	16	18
16		25,43	35,77	38,10	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00
18		24,74	34,20	36,86	38,92	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00
20		24,04	32,63	35,62	38,01	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00
22		23,34	31,06	34,48	37,11	43,04	43,03	43,03	43,03	43,03
24		22,65	29,49	33,14	36,20	41,70	43,76	44,00	44,00	44,00
26		21,95	27,92	31,90	35,29	40,37	42,54	43,33	43,94	44,38
28		21,26	26,35	30,67	34,38	39,04	41,32	42,22	43,04	43,58
30		20,56	24,78	29,43	33,47	37,51	40,10	41,11	42,14	42,77
32		20,00	23,21	28,19	32,57	36,38	38,87	40,00	41,24	41,97
34		20,00	21,64	26,95	31,66	35,04	37,65	38,89	40,34	41,27
36		20,00	20,07	25,71	30,75	33,71	36,43	37,78	39,44	40,37
38		20,00	20,00	24,47	29,84	32,38	35,20	36,68	38,54	39,57
40		20,00	20,00	23,24	28,94	31,05	33,98	35,57	37,64	38,77

TABLA 6

TEMPERATURA INTERIOR PARA TEMPERATURA DE INMERSION DE 60°C
(°C)

TEMP. FLUIDO		60°C								
		HORAS DE INMERSION								
DIAMETRO (cm)		2	4	6	8	10	12	14	16	18
16		34,84	45,27	49,56	49,83	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
18		32,92	42,74	47,45	48,50	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
20		31,00	40,20	45,35	47,17	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
22		29,09	37,67	43,24	45,84	55,14	55,00	55,00	55,00	55,00
24		27,17	35,13	41,14	44,51	53,08	57,18	58,27	58,88	58,78
26		25,25	32,60	39,03	43,18	51,01	55,23	56,89	57,88	58,14
28		23,33	30,07	36,92	41,85	48,94	53,28	55,51	56,88	57,51
30		21,41	27,53	34,82	40,52	46,88	51,33	54,12	55,88	56,87
32		20,00	25,00	32,71	39,19	44,81	49,38	52,74	54,88	56,24
34		20,00	22,46	30,60	37,86	42,74	47,43	51,36	53,88	55,61
36		20,00	20,00	28,50	36,53	40,68	45,48	49,97	52,88	54,97
38		20,00	20,00	26,39	35,21	38,61	43,53	48,59	51,88	54,24
40		20,00	20,00	24,29	33,88	36,54	41,58	47,21	50,88	53,71

TABLA 7

TEMPERATURA INTERIOR PARA TEMPERATURA DE INMERSION DE 75°C
(°C)

TEMP. FLUIDO		75°C								
		HORAS DE INMERSION								
DIAMETRO (cm)		2	4	6	8	10	12	14	16	18
16		36,63	54,62	63,57	65,32	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00
18		34,63	51,38	60,62	63,41	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00
20		32,62	48,14	57,68	61,50	59,03	79,60	79,30	77,11	76,27
22		30,61	44,89	54,73	59,59	74,88	76,14	76,56	75,27	75,04
24		28,60	41,65	51,79	57,68	70,72	72,69	73,81	73,44	73,81
26		26,59	38,40	48,84	55,77	66,56	69,23	71,06	71,60	72,58
28		24,59	35,16	45,90	53,86	62,40	65,77	68,31	69,77	71,35
30		22,58	31,92	42,95	51,96	58,24	62,32	65,56	67,93	70,12
32		20,57	28,67	40,01	50,05	54,08	58,86	62,82	66,10	68,89
34		20,00	25,43	37,06	48,14	49,92	55,41	60,07	64,26	67,66
36		20,00	22,19	34,12	46,23	45,77	51,95	57,32	62,42	66,43
38		20,00	20,00	31,17	44,32	41,61	48,49	54,57	60,59	65,20
40		20,00	20,00	28,23	42,41	37,45	45,04	51,83	58,75	63,97

TABLA 8

TEMPERATURA INTERIOR PARA TEMPERATURA DE INMERSION DE 90°C
(°C)

TEMP. FLUIDO		90°C								
		HORAS DE INMERSION								
DIAMETRO (cm)		2	4	6	8	10	12	14	16	18
16		48,11	73,68	83,30	87,03	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
18		44,47	68,13	78,25	83,11	84,00	84,00	84,00	84,00	84,00
20		40,83	62,58	73,20	79,19	91,90	94,08	94,81	93,37	92,16
22		37,19	57,03	68,14	75,27	87,53	90,48	91,70	90,96	90,31
24		33,55	51,48	63,09	71,35	83,17	86,87	88,58	88,55	88,46
26		29,91	45,93	58,03	67,43	78,81	83,26	85,47	86,14	86,60
28		26,27	40,38	52,98	63,51	74,44	79,66	82,35	83,73	84,75
30		22,63	34,82	47,93	59,60	70,08	76,05	79,24	81,32	82,89
32		20,00	29,27	42,87	55,68	65,72	72,44	76,12	78,91	81,04
34		20,00	23,72	37,82	51,76	61,36	68,36	73,01	76,50	79,19
36		20,00	20,00	32,77	47,84	56,99	65,23	69,89	74,09	77,33
38		20,00	20,00	27,71	43,92	52,63	61,62	66,78	71,68	75,48
40		20,00	20,00	22,66	40,00	48,27	58,01	63,66	69,27	73,62

CONCLUSIONES

Se establece que los tiempos de calentamiento de los diferentes diámetros de las trozas de Pino radiata, considerando distintas temperaturas del medio de calefacción, son reducidos respecto a otras especies.

La absorción de calor de las trozas es indirectamente proporcional a su diámetro, lo cual se debe en gran medida a que las piezas más delgadas poseen menor densidad y por ende mayor coeficiente de difusividad térmica. Esto determina que el calentamiento sea más rápido mientras menor sea el diámetro de la troza y viceversa.

La única variable que contribuye a explicar estadísticamente las variaciones de temperatura en la madera es el diámetro de la troza. La densidad básica y la humedad inicial de ésta no tienen significación. Cabe destacar que se utiliza como variable respuesta la temperatura correspondiente al diámetro mínimo de debobinado, supuesto de 70 mm.

Los modelos de regresión determinados corresponden a correlaciones lineales del siguiente tipo:

$$\text{TEMP} = B_0 + B_1 \text{ DIAM}$$

Donde:

TEMP = Temperatura de la madera (°C)

B_0 = Valor estimado del parámetro correspondiente a la media general

B_1 = Incremento de la temperatura respecto del diámetro

DIAM = Diámetro de la troza (mm)

Mediante este modelo se calculan temperaturas interiores en la troza para distintos diámetros en función del tiempo, tal como se muestra en las tablas de resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DEVLIEGER, F.; CUEVAS, H. e INZUNZA, L. Tableros compuestos fabricados en una sola etapa. Documento técnico, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. 4 p.
2. DEVLIEGER, F. Técnicas de debobinado. Documento técnico, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. 24 p.
3. GUTIERREZ, M. 1987. Técnicas de debobinado y secado de chapas (alcances a los tableros contrachapados) (I Parte). Documento técnico, Chile Forestal N° 110, Stgo., 8 p.
4. MACLEAN, J. 1954. Effect of heating in water on the strength properties of wood. American Wood Press Assoc. 50 pp. 253-281.
5. OKUYAMA, T.; KANAGAWA, Y. y HATTORI, Y. 1987. Reduction of residual stresses in logs by direct heating method. Mokuzai Gakkaishi, Vol. 33 Research paper N° 11.
6. ÖZISIK, M. 1978. Transferencia de calor. Universidad del Estado de Carolina del Norte. U.S.A., Mc Graw-Hill. 541 p.
7. PITTS, D. y SISSOM, L. 1979. Teorías y problemas de transferencia de calor. Bogotá, Colombia, Mc Graw-Hill Latinoamericana. 307 p.
8. POBLETE, H. 1984. Caracterización y requisitos de la madera para la producción de chapas y contrachapados. Publicación docente N° 13, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. 21 p.
9. SIAU, J. 1971. Flow in wood. Syracuse, New York. 125 p.
10. STEINHAGEN, H. 1977. Heating times for frozen veneer logs - new experimental data. Forest Products journal 27. pp. 24-28.