0006295

CA.

Procesos Industriales de la Madera de Canelo

INFORME TÉCNICO N°168

INFOR
Instituto Forestal

GOBIERNO DE CHILE
CORFO

Registro de propiedad intelectual N°145.650
Santiago de Chile, 2004

Impreso en Imprenta Austral (063) 242229

INFOR

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL
190405

Procesos Industriales de la Madera de Canelo

INFORME TÉCNICO N°168

Autores:
Marcela Guzmán F.
Rubén Ananías A.
Cecilia Bustos A.
Luis Machuca S.
Pamela Díaz P.

Director Proyecto INFOR:
Jorge Cabrera P.

Responsable INFOR módulo tecnológico:
Gonzalo Hernández C.

Coordinador INFOR:
Juan Carlos Valencia B.

Editor INFOR:
Francisco Halabi L.





Valdivia. Marzo, 2005

INFOR

BIBLIOTECA

PRÓLOGO

El canelo es una especie forestal nativa del bosque chileno, posee una amplia distribución geográfica natural, concentrándose principalmente en la Región de los Lagos, en particular en las provincias de Llanquihue y Chiloé. En la Región de los Lagos se encuentra presente en aproximadamente 658 mil hectáreas en distintos tipos de formaciones boscosas, sin embargo, dentro de éstas, 230 mil hectáreas corresponden a renovales puros de canelo.

En el año 2002, el Instituto de Investigación Forestal de Chile (INFOR), desarrolló una línea de investigación cuyo objetivo, en una primera etapa, ha sido generar información referida a la posibilidad de uso industrial y potencialidad de mercado de la especie para producir madera de alto valor como una forma de aprovechar el potencial económico, social y ambiental que ofrece esta noble especie.

Este Informe contiene los resultados tecnológicos sobre los procesos de transformación y terminación (acabado) de la madera en productos de alta elaboración para uso final. El Instituto Forestal, concreta, una vez más, a través de esta nueva publicación, un aporte al desarrollo y diversificación del sector forestal.

La misión de plasmar los resultados de esta investigación en un Informe Técnico estuvo a cargo de los siguientes Ingenieros Forestales: la dirección es de Jorge Cabrera P., con la colaboración de Juan Carlos Valencia B. El responsable del módulo tecnológico es Gonzalo Hernández C. Los autores de los capítulos están individualizados en el texto principal y corresponden a investigadores de la Universidad del Bío Bío y consultores externos. La edición estuvo a cargo de Francisco Halabi L. A todos ellos nuestro más profundo reconocimiento.



Dr. Roberto Ipinza
Director Ejecutivo de INFOR

INFOR

CAPÍTULO I

SECADO DE LA MADERA

Rubén Ananías A. [1]

1 INTRODUCCIÓN

Cuando el árbol es cosechado su madera conserva una cierta cantidad de agua, la cual varía con la especie y el grado de duraminización. En especies de baja densidad, como los renovales de canelo, el agua puede doblar al peso de la madera seca.

El secado consiste en la extracción del agua de la madera, requisito básico para su utilización en productos de valor agregado. La técnica requiere de un compromiso entre tiempo, calidad, costo y armonía con el medio ambiente.

La madera seca es estable dimensionalmente, mejora su resistencia mecánica, y favorece la aplicación de adhesivos, pinturas y barnices.

El método de secado a utilizar depende de la naturaleza del material. En el caso de la madera, los procesos térmicos son los más adecuados, es decir, se requiere el aporte de calor para evaporar el agua desde ella. En el secado convencional la energía es aportada por convección.

El comportamiento de los renovales de canelo frente al secado es condicionado por su estructura anatómica, es decir, ausencia de vasos e importante proporción de radios leñosos, y su baja densidad básica e importante anisotropía dimensional transversal (Contracción tangencial / Contracción radial).

El principal objetivo de este trabajo es proporcionar programas de secado para la madera de canelo (*Drimys winteri*), para espesores de 25 y 50 mm, a partir de ensayos a escala de laboratorio y posteriores validaciones industriales.

---

[1] Ingeniero en Maderas. Ph.D. Universidad del Bío Bío, Departamento de Ingeniería en Maderas. Concepción

INFOR

2 METODOLOGÍA

2.1 Preparación de la madera

Los renovales de canelo utilizados en los ensayos experimentales a la escala piloto provienen de bosques de la X Región, con un DAP promedio de 31,8 cm. Los trozos fueron convertidos a basa en un aserradero de Concepción. Estas últimas fueron procesadas a madera aserrada de 25 y 50 mm de espesor, 1 m de largo, empalilladas y almacenadas bajo techo. Debido al limitado diámetro de las trozas, y para maximizar el aprovechamiento en el aserrío, la mayor parte de la madera presentó médula y corte mixto.

La madera para los ensayos industriales tiene su origen en bosques de la isla de Chiloé.

2.2 Diseño experimental

Se ejecutaron 6 ensayos de secado artificial convencional a escala piloto, según el plan indicado en la Tabla 1.

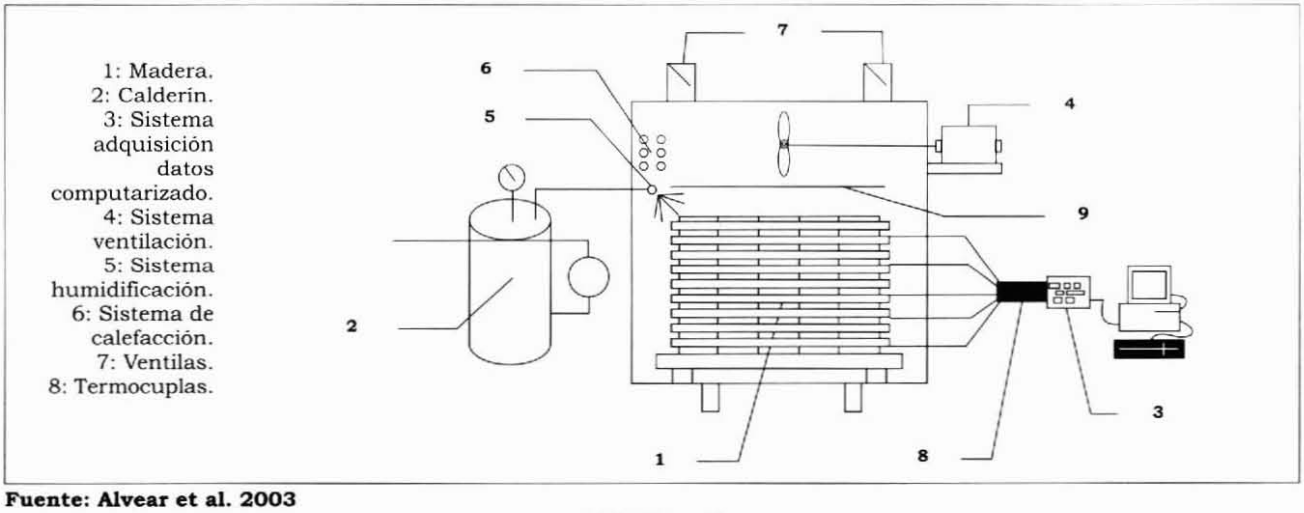
TABLA 1
DISEÑO EXPERIMENTAL

VARIABLE	NIVEL
Espesor	2 (25 mm y 50 mm)
Programa	2 (Programa 1 y Programa 2)

El mejor programa fue repetido una vez a escala piloto y posteriormente comprobado a escala industrial.

2.3 Ensayos de secado

De acuerdo al diseño experimental se realizaron 6 ensayos de secado a la escala piloto. Tres ensayos en 25 mm de espesor y tres en 50 mm de espesor. Todos ellos se realizaron en un horno piloto de secado convencional de 0,3 m^3 de capacidad. El secado fue conducido en base al contenido de humedad de la madera evaluando el peso de las muestras testigos. Las condiciones ambientales temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo fueron fijadas de acuerdo a las variaciones del contenido de humedad de las muestras testigos. Un sistema de adquisición de datos fue utilizado para registrar las condiciones del ambiente de secado (Figura 1).



Fuente: Alvear et al. 2003

FIGURA 1
ESQUEMA DEL HORNO DE SECADO PILOTO DE 0,3 m^3 DE CAPACIDAD.

A los ensayos anteriores, se suman 2 prácticas de secado a la escala industrial (25 y 50 mm). Estos se llevaron a cabo en un horno convectivo de 50 m^3 de capacidad y con sistema de control automático.

Las cargas industriales de 25 y 50 mm de espesor estaban conformadas por 320 y 160 piezas, respectivamente. El resto de la carga fue completada con madera previamente oreada de otra especie.

La humedad inicial se determinó secando probetas hasta peso constante (Junac, 1989; USDA, 1988; Joly y More-Chevalier, 1980). La conducción del secado fue basada en el sistema de control automático del horno industrial, cuyas variaciones del programa fueron ajustadas automáticamente de acuerdo al contenido de humedad indicado por los sensores de humedad insertados en la madera. Limitaciones asociadas al acceso al horno impidieron la conducción del secado con muestras testigos.

Tanto en las prácticas de laboratorio e industriales se determinaron los siguientes parámetros de calidad: heterogeneidad de la humedad final, gradientes de humedad, tensiones de secado y colapso, todas ellas basadas en estandarizaciones europeas, según Tablas 2 y 3 (Alvarez y Fernández 1992; Welling 1994; Hernández, 1998; Hernández et al. 2000). En particular, el colapso fue medido como el porcentaje de pérdida en dimensiones después de cepillado a 21 mm y 42 mm, para el caso de 25 y 50 mm de espesor. Los defectos fueron evaluados en una población equivalente al 20% de las piezas.

TABLA 2
ESPECIFICACIONES PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SECADO

Estándar	Contenido de humedad final (%)	Gradiente de humedad (%)	Tensiones finales de secado (mm)
1	9-11	2	1
2	8-12	3	2
3	7-13	4	3

1: exclusivo (E). 2: calidad (Q). 3: estándar (S)

TABLA 3
INTENSIDAD DE GRIETAS Y COLAPSO

Intensidad	Grietas			Colapso (mm)
	Internas (%)	Superficiales	Externas (cm)	
S/defecto	0	0	0	0
Leve	1-2	1-2	1-5	1-3
Moderada	2-10	2-5	5-20	3-6
Severa	>10	>5	>20	>6

Los alabeos se examinaron de acuerdo a la Tabla 4 basado en diversos trabajos similares reportados en la literatura (Kauman y Mittak 1966; Juacida e Insunza 1990; NCh 993). Ellos se evaluaron en todas las piezas experimentales y en un 20% de las piezas en las cargas industriales.

TABLA 4
NIVELES DE ALABEOS ADMISIBLES EN mm

Espesor	Acanaladura				Arqueadura				Encorvadura				Torcedura			
	0	L	M	S	0	L	M	S	0	L	M	S	0	L	M	S
25	0	1-3	3-5	>5	0	1-3	3-6	>6	02	1-2	2-3	>3	0	1-5	5-8	>8
50	0	1-3	3-5	>5	0	0-1	1-3	>3	05	1-2	2-3	>3	0	1-4	4-7	>7

Nota: Niveles adaptados para madera de 1 m de largo de la norma NCh 993. L: Leve; M: Moderado; S: Severo

Las variaciones dimensionales en espesor y ancho fueron cuantificadas en todas las cargas de secado.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Programas de secado

Los programas de secado ensayados fueron adaptados de la literatura (Aléon et al., 1990; Junac, 1989; Boone et al. 1988; Tuset y Durán, 1986; Joly y More-Chevalier, 1980). En los 2 primeros ensayos piloto para 25 y 50 mm de espesor se evaluó el programa 1 de la Tabla 5.

TABLA 5
PROGRAMAS DE SECADO DE RENOVALES DE CANELO

Programa	Contenido de humedad (%)	Temperatura bulbo seco (°C)	Temperatura bulbo húmedo (°C)	Humedad de equilibrio (%)
1	Verde	50	50	-
	Verde-40	44	40	14
	40-30	48	42	12
	30-25	52	44	10
	25-18	60	50	9
	18	60	60	-
	20-15	66	54	8
	15-8	70	54	6
	8	70	70	-
2	Verde	44	44	-
	Verde-30	44	40	14
	30-25	48	42	12
	25-18	52	44	10
	18	52	52	-
	20-15	60	50	9
	15-8	66	54	8
	8	66	66	-

El programa 1 mostró buenos resultados en cuanto a defectos del secado (Tablas 6, 7, 8 y 9) para los renovales de canelo de 25 mm de espesor (ensayo 2), pero no así para los renovales de 50 mm de espesor (ensayo 1). Luego, el programa 1 fue repetido en dos ocasiones con madera de 25 mm de espesor, considerando pequeñas variaciones en las condiciones al final del secado (ensayos 3 y 5).

El programa 2 se aplicó a una carga de renovales de canelo de 50 mm (ensayo 4), obteniendo mejores resultados que el programa 1 (ensayo 1). Este programa fue repetido posteriormente (ensayo 6).

La evolución de las condiciones de secado de los ensayos de 25 y 50 mm se indica en Figuras 2; 3; 4; 5; 6 y 7.

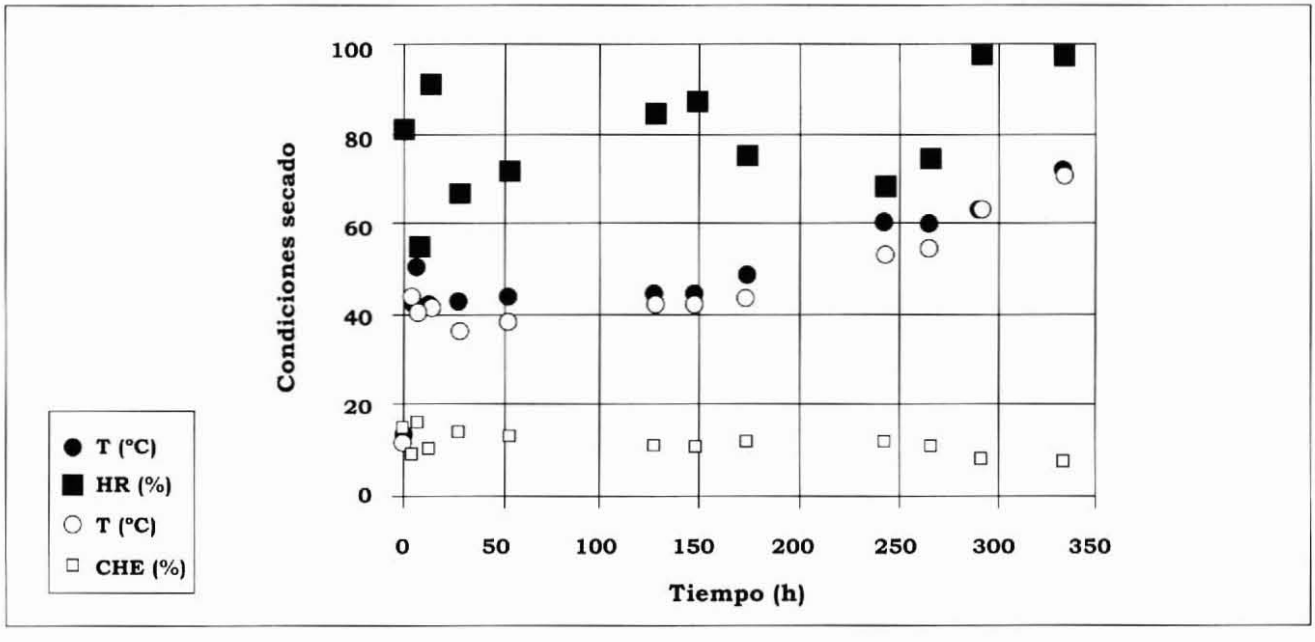


FIGURA 2
EVOLUCIÓN DEL SECADO DE 50 mm. ENSAYO 1.

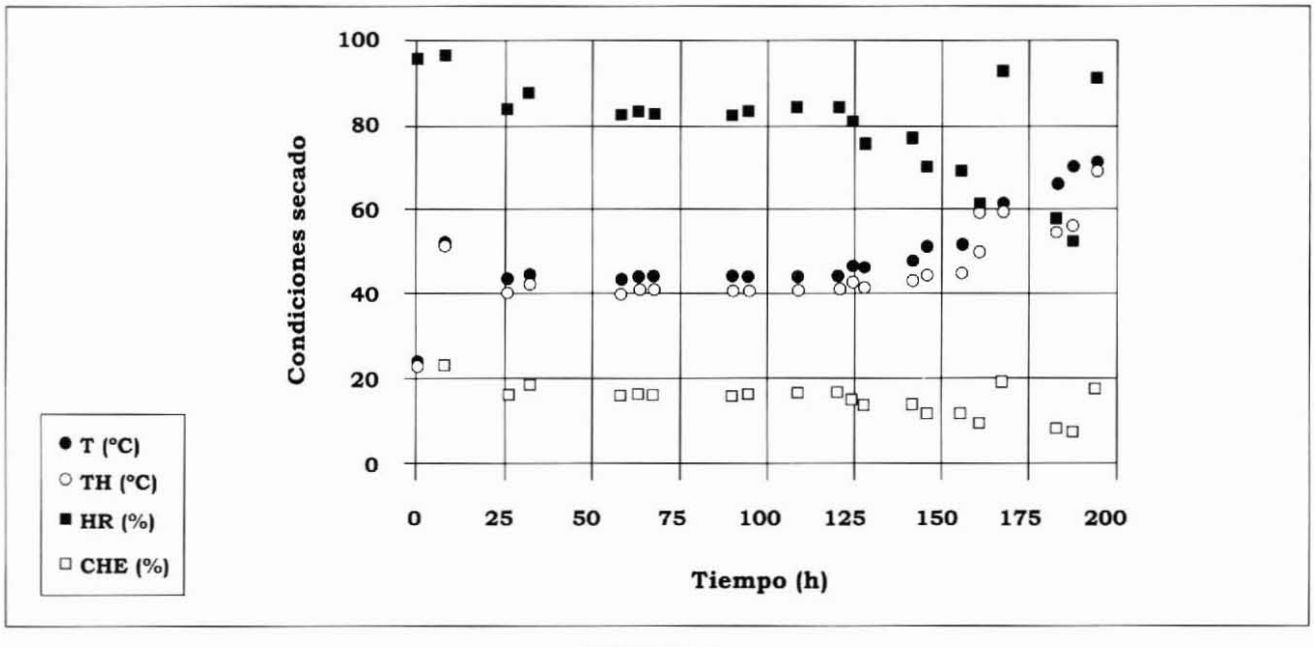


FIGURA 3
EVOLUCIÓN DEL SECADO DE 25 mm. ENSAYO 2.

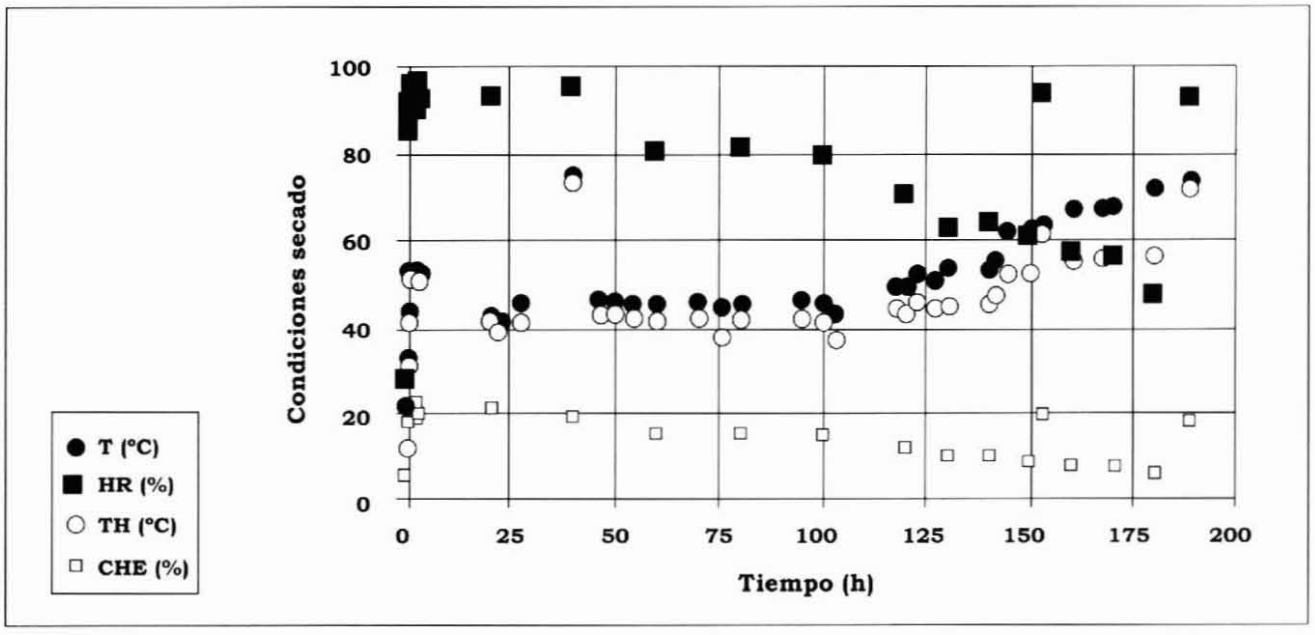


FIGURA 4
EVOLUCIÓN DEL SECADO DE 25 mm. ENSAYO 3.

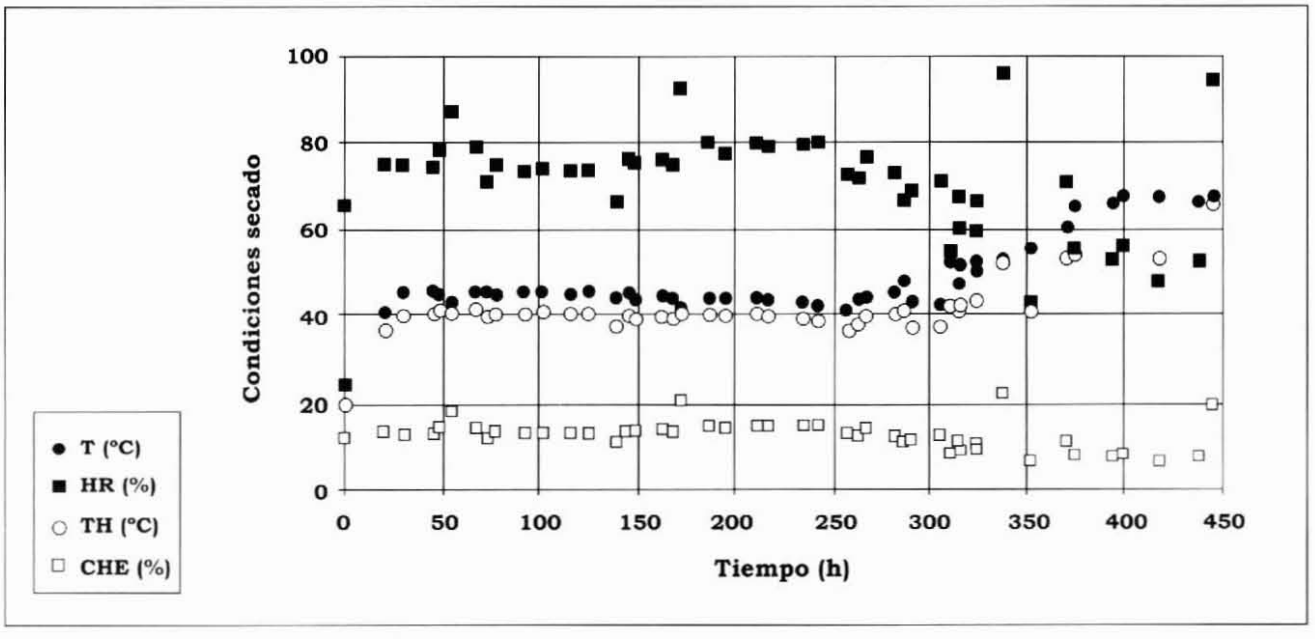


FIGURA 5
EVOLUCIÓN DEL SECADO DE 50 mm. ENSAYO 4.

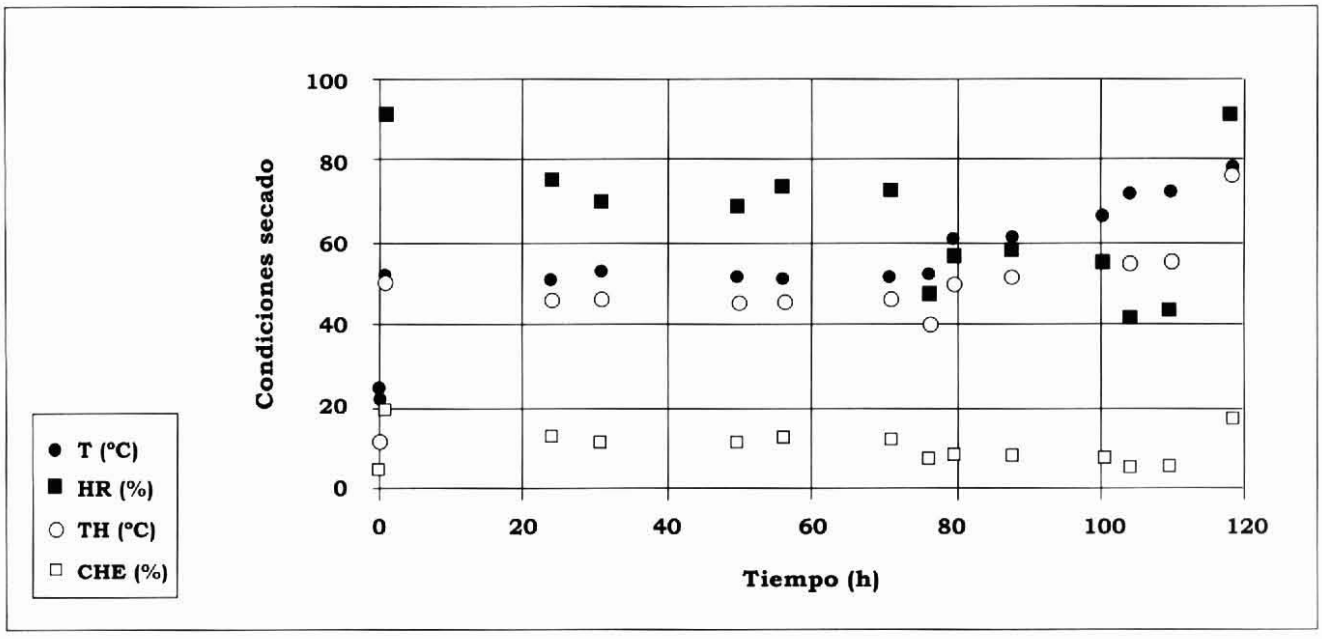


FIGURA 6
EVOLUCIÓN DEL SECADO DE 25 mm. ENSAYO 5.

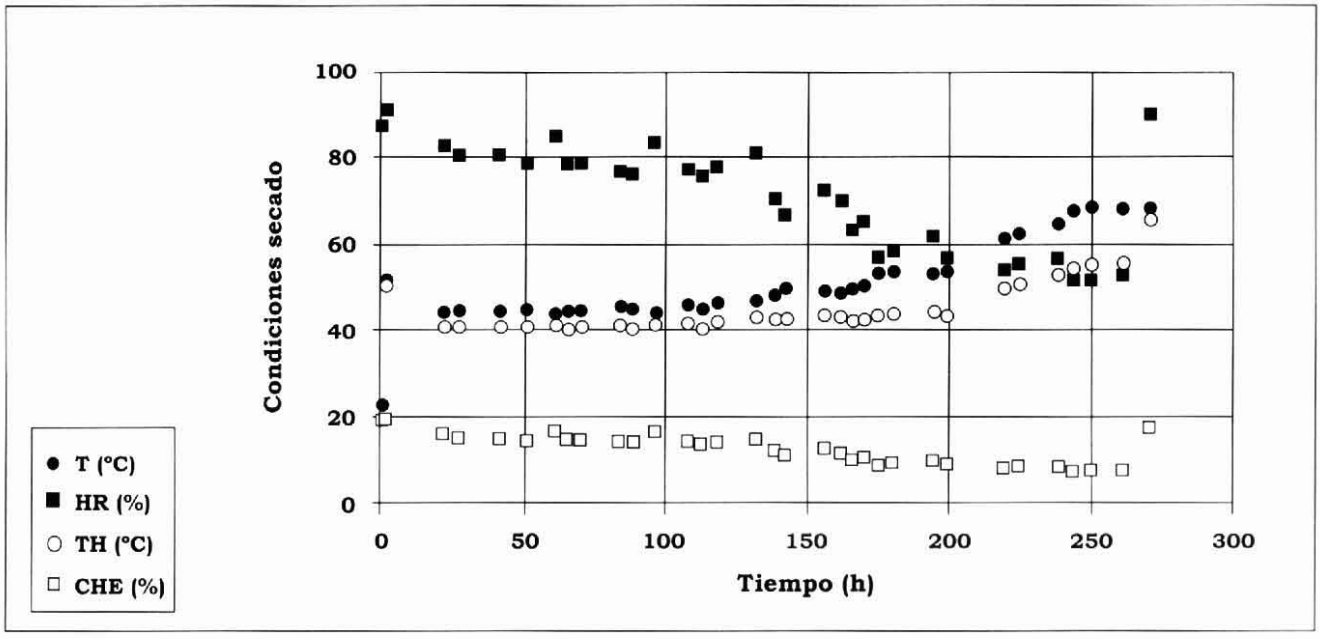


FIGURA 7
EVOLUCIÓN DEL SECADO DE 50 mm. ENSAYO 6.

Las condiciones ambientales dejan ver claramente los tratamientos en ambiente saturado. En el caso de la madera de renovales de canelo de 25 mm de espesor se aplicó un tratamiento inicial para calentar la madera a 50 °C, en un ambiente saturado para esta temperatura. Posteriormente, con el fin de recuperar el colapso, se aplicó un tratamiento intermedio, alrededor del 18% de contenido de humedad de la madera, y a 60 °C. Finalmente, se realizó un acondicionado en ambiente saturado a la última temperatura del programa, normalmente a 70 °C.

INFOR

Similares tratamientos en ambiente saturado se aplicaron a los renovales de canelo de 50 mm, siendo las condiciones ambientales un poco más suaves. El tratamiento inicial en madera verde se realizó a 44 °C; el tratamiento intermedio, con CH alrededor de 18%, se efectuó a 52 °C y el acondicionado final a 66 °C. En todos los casos se trató de saturar el ambiente de secado a las temperaturas correspondientes.

3.2 Duración del secado

Las curvas de secado pertinentes a los ensayos anteriores son mostradas en las Figuras 8 y 9.

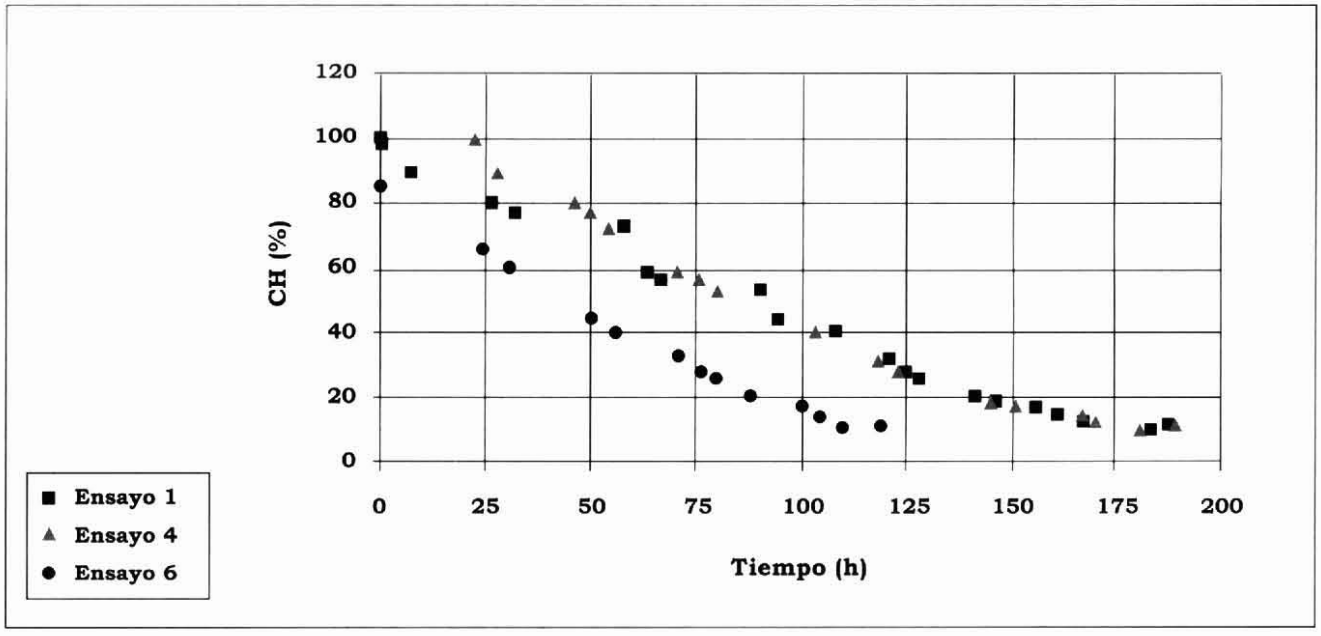


FIGURA 8
EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD EN LA MADERA, 25 mm. ENSAYOS 2, 3 Y 5.

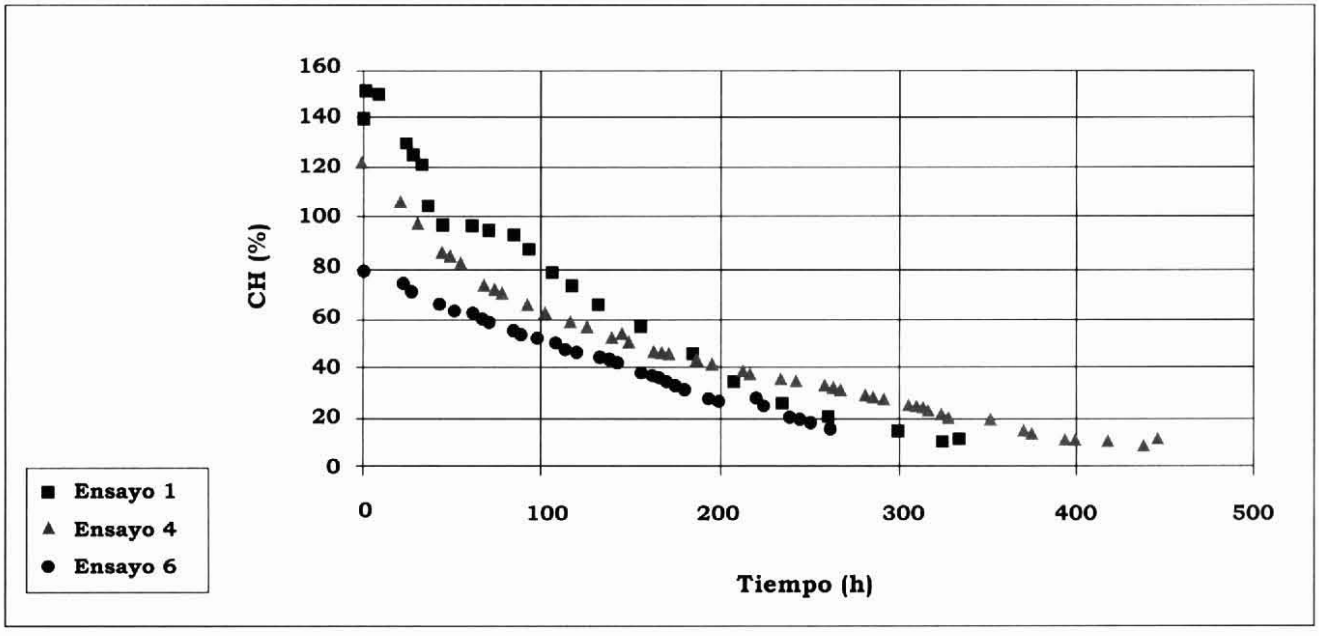


FIGURA 9
EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD EN LA MADERA, 50 mm. ENSAYOS 1, 4 Y 6.

La humedad inicial de la madera verde de los renovales de canelo de 25 mm varió entre 85 y 100%, tales diferencias se deben a un presecado natural practicado a la madera previa a los ensayos (Figura 8). Por la misma situación, la humedad inicial de la madera de 50 mm de espesor varió entre 80 y 140% de humedad (Figura 9). Tales diferencias de humedad inicial condicionaron los tiempos de secado.

En el caso de la madera de 25 mm de espesor la reducción fue de aproximadamente 2 días, ya que se pasó de una duración de 7 a 8 días a aproximadamente 5 días de secado (1/4 de tiempo menos de secado).

En la madera más gruesa, la duración del secado varió entre 12 y 19 días. En este caso, aparte de la humedad inicial, influyó el comportamiento de la madera frente al secado.

Alrededor de un 40% de humedad de la madera se observó una disminución de la velocidad del secado, debido probablemente a un endurecimiento superficial. Para aliviar esta situación se aplicó un tratamiento de alta humedad a la temperatura de secado actual (Figura 5). Por lo mismo, el secado continuó con una condición ambiental más húmeda, prolongándose el tiempo del secado.

Con todo, fue notable que la disminución del contenido de humedad inicial al debutar el secado (oreado de la madera) permitió reducir el tiempo de secado artificial.

3.3 Contracción al final del secado

La magnitud de la contracción al final del secado se indica en la Tabla 6.

TABLA 6
CONTRACCIÓN AL FINAL DEL SECADO, 25 Y 50 mm

Espesor	Ensayo	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)	Espesor (%)	Ancho (%)	Volumen (%)
25	2	100	11	6,3	6,8	13,1
	3	101	11	5,9	7,0	12,9
	5	85	10	6,4	6,7	13,1
50	1	140	11	5,9	15,1	21,0
	4	123	12	5,3	6,8	12,3
	6	79	16	4,2	5,4	9,6

Se observa que la contracción volumétrica en los renovales de canelo resultó alrededor de 13%, excepto en aquellos casos en que la madera colapsó completamente como en el ensayo 1 (60% de madera con colapso de moderado a severo, ilustrado en la Tabla 9) o cuando el contenido de humedad final alcanzado fue elevado (ensayo 6).

La contracción en el espesor y en el ancho resultó similar debido a que la mayor parte de la madera ensayada se preparó en corte mixto, para poder aprovechar el limitado diámetro de las trozas empleadas en estos ensayos. Por lo mismo, muchas piezas incluyeron médula en las caras o en los cantos, lo que da cuenta de la baja calidad de la madera (clasificación madera I-VI).

3.4 Evaluación de la calidad del secado

La calidad del secado sobre la base de las condiciones de humedad y tensiones al final del secado se muestran en la Tabla 7.

TABLA 7
CALIDAD DE LA MADERA SEGÚN RANGO DE HUMEDAD FINAL, GRADIENTE HUMEDAD Y TENSIONES, 25 Y 50 mm.

Espesor	Ensayo	Contenido de humedad (%)			Gradiente de humedad (%)			Tensiones finales de secado (%)		
		Estándar			Estándar			Estándar		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
25	2	30	15	55	45	10	45	65	17	18
	3	22	67	11	85	0	15	35	35	30
	5	68	14	18	90	5	5	69	5	26
50	1	30	30	40	20	30	50	95	5	0
	4	75	17	8	75	0	25	75	25	0
	6	0	8	92	50	17	33	31	26	43

La calidad de la madera seca de 25 mm fue mejorada en los ensayos 3 y 5, para la madera de 25 mm, y ensayo 4, para la madera de 50 mm. Se aprecia que estos ensayos presentaron la mayor proporción de madera de calidad 1 y 2. Los ensayos 3 y 5 presentaron un 89 y 82% de la madera con un contenido de humedad en este rango, en tanto que el ensayo 4, de 50 mm de espesor, presentó un 88% de las piezas en estos rangos. Los mejores resultados del gradiente de humedad también se encontraron en estos ensayos (3 y 5 en 25 mm y 4 en 50 mm). Las tensiones de secado fueron similares en todos los ensayos, mostrando la eficacia del tratamiento de acondicionado final.

La intensidad de las grietas y el colapso del secado se indican en la Tabla 8.

TABLA 8
CALIDAD DE LA MADERA SEGÚN GRIETAS Y COLAPSO, ENSAYOS 25 Y 50 mm.

Espesor	Ensayo	Grietas												Colapso (%)			
		Internas (%)				Superficiales (%)				Externas (%)							
		0	L	M	S	0	L	M	S	0	L	M	S	0	L	M	S
25	2	10	0	0	30	90	0	0	10	10	0	0	0	35	60	0	5
	3	80	10	10	0	95	5	0	0	75	20	5	0	37	53	10	0
	5	90	5	5	0	90	5	5	0	95	5	0	0	92	8	0	0
50	1	0	20	40	40	90	0	0	10	0	20	30	50	0	40	40	20
	4	95	0	0	35	85	0	5	10	70	0	10	20	83	17	0	0
	6	82	18	0	0	94	6	0	0	94	6	0	0	92	0	8	0

Nota: 0: Sin defecto; L: Leve; M: Moderado; S: Severo

INFOR

La magnitud de las grietas y colapso fueron mejorados en los ensayos citados anteriormente. En estos casos más del 90% de las piezas presentaron una leve intensidad de las grietas internas. Por su parte la intensidad de las grietas superficiales fue intensa sólo en un 15% de las piezas del ensayo de 50 mm (ensayo 4).

Sobre un 90% de la madera en estos ensayos resultó con colapso leve. Estos resultados refuerzan la eficacia del tratamiento de acondicionado intermedio, alrededor de 18%, para recuperar el colapso así como la bondad de los programas propuestos en la Tabla 6. En particular, las grietas fueron favorecidas por la presencia de médula y áreas de grandes radios leñosos que debilitan los tejidos (Ananías, 2004), tal como lo muestra la Figura 10.

El colapso fue más intenso en la madera de 50 mm, similar comportamiento fue reportado para otras especies latifoliadas (Chafe et al. 1992).

Los resultados de los alabeos se presentan en la Tabla 9.

TABLA 9
PORCENTAJE DE ALABEOS SEGÚN INTENSIDAD, 25 Y 50 mm.

Espesor	Ensayo	Acanaladura (%)				Arqueadura (%)				Encorvadura %)				Torcedura (%)			
		0	L	M	S	0	L	M	S	0	L	M	S	0	L	M	S
25	2	14	59	25	2	83	14	3	0	52	20	20	13	9	71	16	4
	3	31	47	19	3	7	85	8	0	49	33	9	8	32	51	11	6
	5	21	48	26	4	85	7	8	0	63	29	3	4	7	63	11	19
50	1	6	31	58	6	17	67	16	0	7	31	58	4	4	4	8	84
	4	28	47	15	10	20	33	30	17	30	40	13	17	22	28	23	27
	6	59	29	12	0	41	35	24	0	53	47	0	0	6	47	23	24

Nota: 0: Sin defecto; L: Leve; M: Moderado; S: Severo

Se sabe que los alabeos están fuertemente condicionados por la calidad de la madera (grado de duraminización, presencia de madera juvenil, inclinación de los anillos de crecimiento, entre otras), en desmedro del programa de secado propiamente tal (Alvarez y Fernández, 1992; INFOR-CORFO, 1994). No obstante, en la Tabla 9 se observa que un alto porcentaje de los alabeos fueron de una intensidad leve o menor (más de un 60% de las piezas). Los mejores resultados se obtuvieron en los ensayos 3 y 5, para la madera de 25 mm, y ensayo 4, para la madera de 50 mm. En este último caso, no obstante, la arqueadura y la torcedura afectaron alrededor del 50% de las piezas.

De acuerdo a los resultados encontrados a escala de laboratorio, se sugirió la aplicación industrial de los programas indicados en la Tabla 5 para el secado artificial de los renovales de canelo de 25 y 50 mm de espesor. Detalles de la madera antes y después del secado piloto de los renovales se muestran en la Figura 11.

INFOR

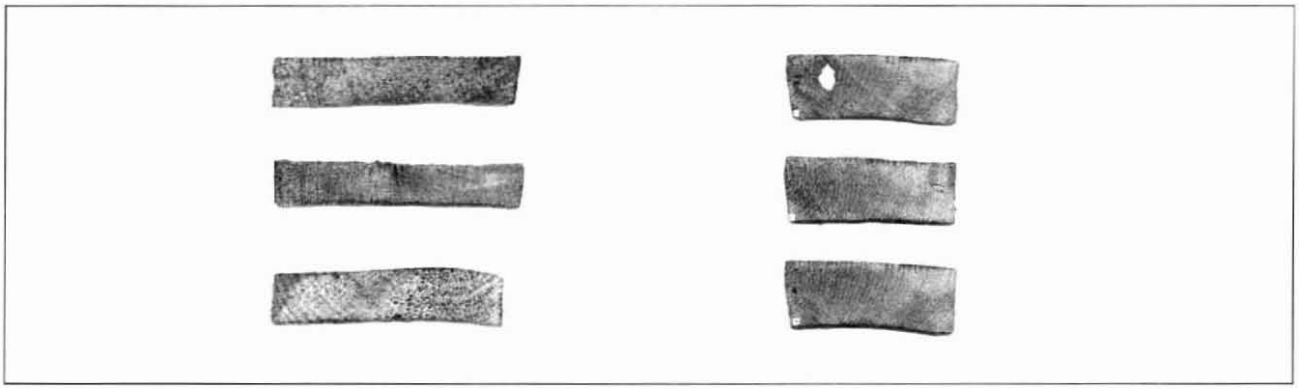


FIGURA 10
ESCUADRÍA DE LOS RENOVALES DE CANELO DE 25 Y 50 mm.

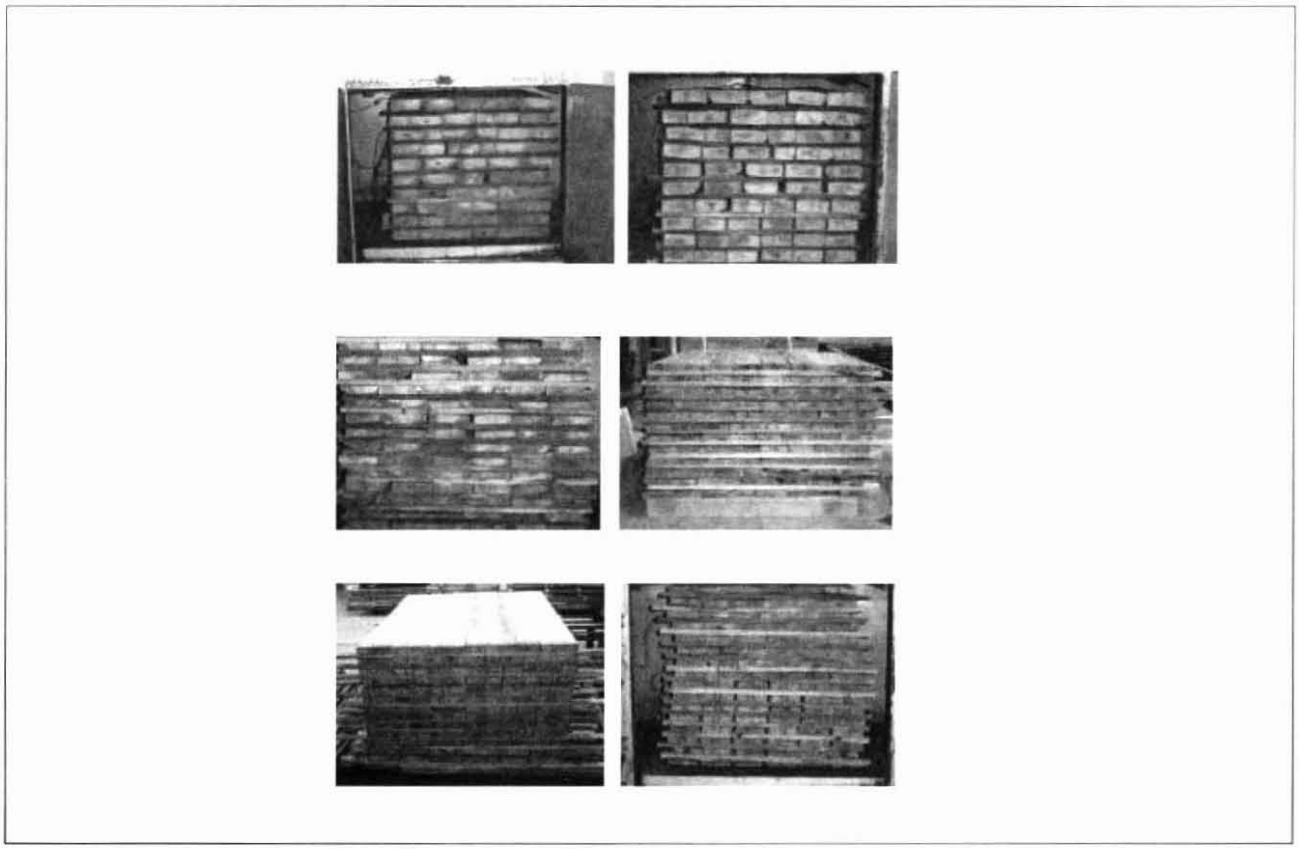


FIGURA 11
ENSAYOS A LA ESCALA PILOTO DE RENOVALES DE 25 Y 50 mm DE ESPESOR.

3.5 Ensayos industriales

A escala industrial se realizaron dos ensayos de secado, uno para cada espesor de la madera. En ambos casos se aplicaron los programas propuestos en la Tabla 6. Las condiciones ambientales registradas se muestran en las Figuras 12 y 13.

INFOR

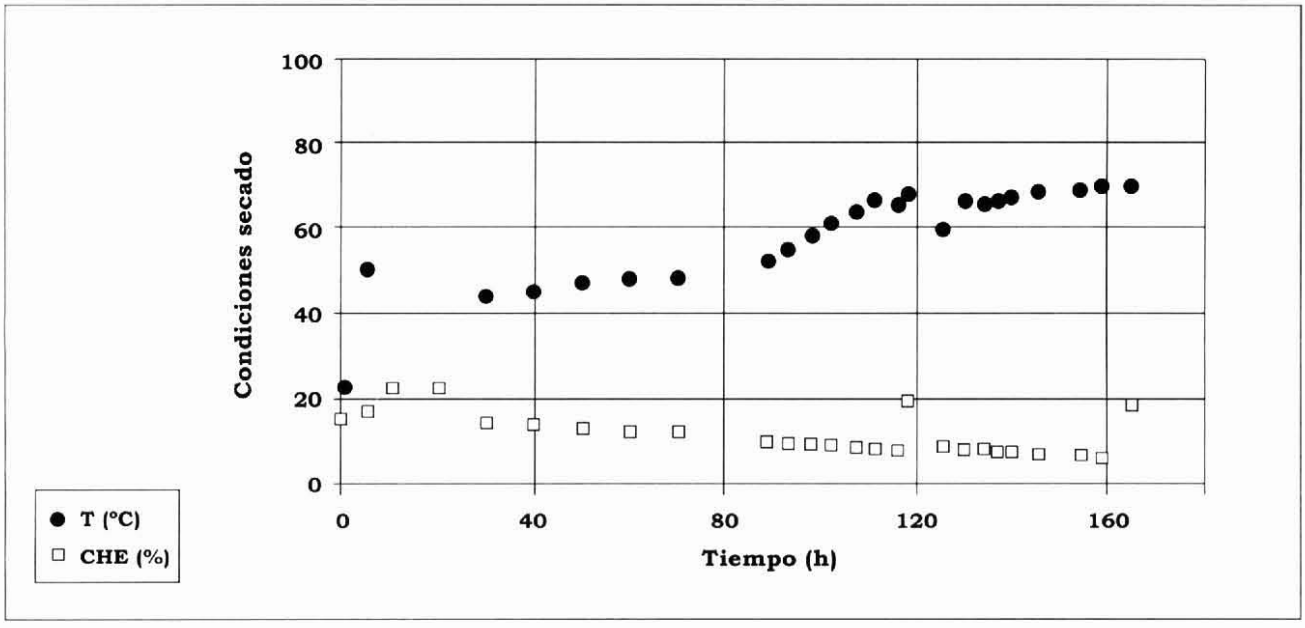


FIGURA 12
CONDICIONES DE SECADO PARA MADERA DE 25 mm. ENSAYO INDUSTRIAL 1.

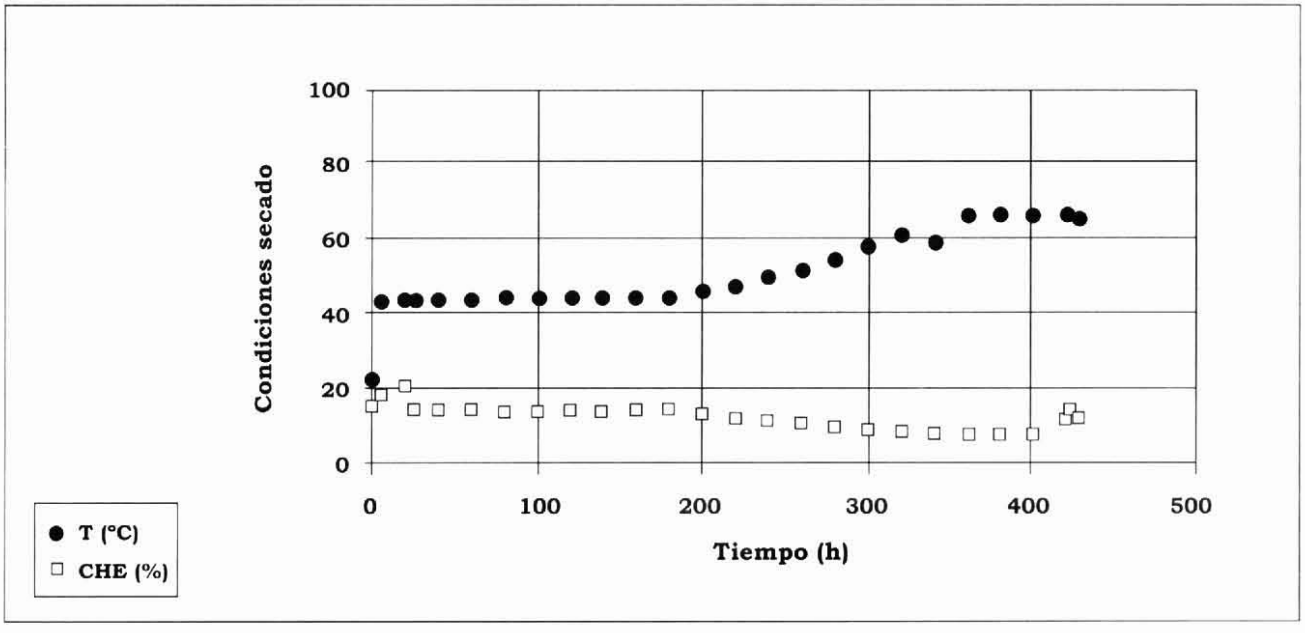


FIGURA 13
CONDICIONES DE SECADO PARA MADERA DE 50 mm. ENSAYO INDUSTRIAL 2.

Las condiciones ambientales al inicio del secado fueron similares a las condiciones aplicadas a la escala piloto, no obstante el tratamiento de calentamiento inicial se extendió más tiempo del previsto, lo que muestra la menor flexibilidad en el manejo de las variables debido a los cambios de escala piloto a escala industrial. En la Figura 12 se observan los tratamientos de acondicionamiento intermedio y final para recuperar colapso y aliviar tensiones de secado. El tratamiento intermedio para la liberación de colapso en el ensayo de 25 mm es observado alrededor de las 120 horas de secado. Estos tratamientos no fueron tan notables en el caso del ensayo de 50 mm de espesor (Figura 13).

INFOR

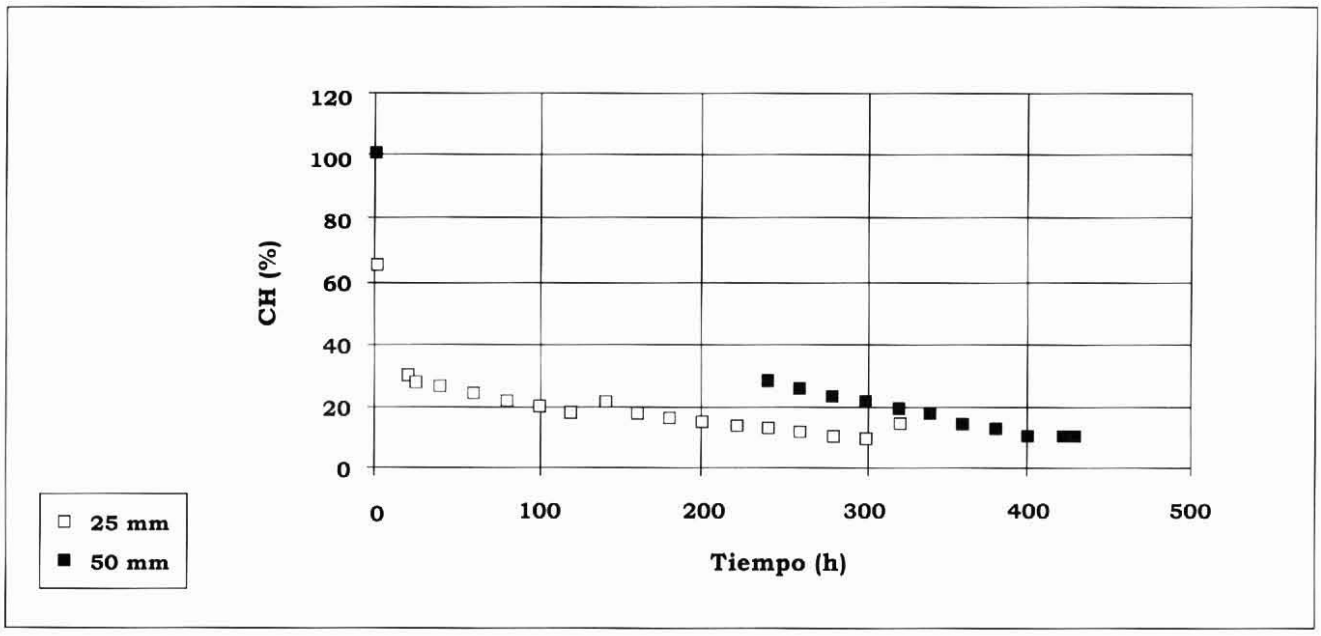


FIGURA 14
EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD. ENSAYOS INDUSTRIALES.

La evolución del contenido de humedad en el tiempo de secado es mostrado en el Figura 14. En este caso se trata de la humedad registrada por las sondas eléctricas instaladas en la madera y recogidas por debajo del PSF, además se indica el contenido de humedad inicial medido con el método gravimétrico, antes del secado. En promedio el CH inicial fue de 65 y 101% para 25 y 50 mm de espesor respectivamente. La humedad final, en promedio, fue de 11 y 17% en 25 y 50 mm de espesor, respectivamente.

El menor contenido de humedad inicial de la madera de 25 mm favoreció la reducción del tiempo de secado industrial de esta madera. No obstante la velocidad del secado fue sólo de 7,9 %/día en comparación a los 12 %/día y 15 %/día logrado en los ensayos a la escala piloto, esto es, el secado industrial fue entre 1/3 y 1/2 más lento. En 50 mm de espesor la velocidad del secado a la escala industrial fue de 4,9 %/dia y a escala piloto varió entre 5,6 %/día y 9,3 %/día. La menor velocidad del secado a la escala industrial fue probablemente condicionada por la velocidad de reacción del ajuste de las variables de secado en el horno industrial y por la presencia de otra especie en el horno de secado.

De acuerdo a lo anterior se puede estimar que la duración del secado industrial es de 1/3 a 1/2 mayor que a la escala piloto. El tiempo de secado industrial de los renovales de canelo puede ser reducido mediante el presecado al aire (oreado de la madera)

3.5.1 Contracción al final del secado industrial

Los resultados de la contracción al final del secado industrial de los renovales de canelo se reporta en la Tabla 10.

INFOR

TABLA 10
CONTRACCIÓN AL FINAL DEL SECADO INDUSTRIAL DE RENOVALES DE CANELO.

Escuadría (mm)	Contenido de humedad		Espesor (%)	Ancho (%)	Volumen (%)
	Inicial (%)	Final (%)			
25	65	11	6,7	8,5	15,2
50	102	17	7,9	7,4	15,3

Se observó un mayor porcentaje de contracción que en los ensayos a la escala piloto. En el caso de la madera de 25 mm se obtuvo un 2% más de contracción a la escala industrial. En el caso de 50 mm el efecto fue más notable pero restringido por la alta humedad final recogida en este ensayo industrial.

3.5.2 Evaluación de la calidad del secado industrial

Los resultados de humedad final, gradiente de humedad final y tensiones al final del secado se presentan en la Tabla 11.

TABLA 11
CALIDAD DE LA MADERA SEGÚN HUMEDAD Y GRADIENTE.
ENSAYOS INDUSTRIALES.

Espesor (mm)	Contenido de humedad final (%)			Gradiente de humedad (%)			Tensiones finales de secado (%)		
	Estándar			Estándar			Estándar		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
25	65	20	15	95	5	0	40	40	20
50	35	35	30	57	29	14	28	50	22

Los renovales de canelo de 25 mm resultaron de mejor calidad en cuanto a la homogeneidad de la humedad final, el gradiente de humedad final y las tensiones al final de secado. Mayores dificultades fueron encontradas en la conducción del secado de 50 mm que redundaron en una limitada calidad en cuanto a la humedad y gradiente de humedad final. Además estos parámetros fueron más intensos que los encontrados en los mejores ensayos a la escala piloto (3, 4 y 5).

TABLA 12
CALIDAD DE LA MADERA SEGÚN GRIETAS Y COLAPSO.
ENSAYOS INDUSTRIALES.

Espesor (mm)	Grietas												Colapso (%)			
	Internas (%)				Superficiales (%)				Externas (%)							
	0	L	M	S	0	L	M	S	0	L	M	S	0	L	M	S
25	72	28	0	0	51	49	0	0	77	23	0	0	10	0	0	0
50	93	7	0	0	86	7	7	0	79	7	14	0	93	7	0	0

Nota: 0: Sin defecto; L: Leve; M: Moderado; S: Severo

En relación con las grietas y el colapso del secado industrial (Tabla 12) éstas resultaron comparables con los ensayos a la escala piloto, no obstante esta comparación es limitada por el alto contenido de humedad alcanzado en la madera de 50 mm. En todo caso estos parámetros fueron más intensos en la madera más gruesa, tal como se observó en el caso de los ensayos a la escala piloto. El aspecto de la madera secada industrialmente después del cepillado es mostrada en la Figura 15.

TABLA 13
INTENSIDAD DE LOS ALABEOS.
ENSAYOS INDUSTRIALES.

Escuadría (mm)	Acanaladura (%)				Arqueadura (%)				Encorvadura %)				Torcedura (%)			
	0	L	M	S	0	L	M	S	0	L	M	S	0	L	M	S
25	50	20	30	0	40	0	10	50	60	10	10	20	30	40	30	0
50	0	64	29	7	7	0	0	93	0	7	7	86	14	29	21	36

Nota: 0: Sin defecto; L: Leve; M: Moderado; S: Severo

Los alabeos resultantes de los ensayos de secado de renovales de canelo a la escala industrial son mostrados en la Tabla 13. Ellos fueron más intensos en la madera de 50 mm de espesor.

En particular, la arqueadura y la encorvadura fueron los alabeos de mayor presencia en ambos espesores. Es probable que madera verde de mejor calidad permita reducir la intensidad de estos alabeos durante el secado.



FIGURA 15
MADERA CEPILLADA. ENSAYO DE SECADO INDUSTRIAL, 25 mm.

4 CONCLUSIONES

- Dos programas de secado fueron propuestos (Tabla 5) y recomendados para secar renovales de canelo 25 y 50 mm de espesor, desde el estado verde hasta un 10% de humedad final.

- Se sugiere comenzar el secado con un precalentamiento inicial en ambiente saturado a 50°C, por unas 6 a 8 horas, con el fin de preparar la madera para el secado, seguir con un tratamiento intermedio en ambiente saturado, por unas 6 a 8 horas, con el fin de reducir el colapso, y terminar con un acondicionado final a la última temperatura del programa con el fin de liberar las tensiones de secado.

- La velocidad del secado de los renovales de canelo fue de entre 12 a 15 %/día y de entre 6 a 9%/día para 25 y 50 mm de espesor, respectivamente. A escala industrial la velocidad de secado fue de 7,9 y 4,8 %/día en 25 y 50 mm de espesor.

- La duración del secado de los renovales de canelo de 25 mm, desde un 85% a 100%, hasta 10% de humedad final, fue de entre 5 a 8 días. A escala industrial la duración del secado de los renovales de 25 mm de espesor, desde 65 a 11%, fue de alrededor de 9 días. Para 50 mm de espesor, el tiempo de secado, desde 140 hasta 11%, fue de 13 y 19 días. A escala industrial, el secado desde 102% hasta una humedad final de 17%, fue de 18 días.

- La contracción en volumen de los renovales de canelo de 25 mm fue de 12 a 13%. En 50 mm la contracción fue intensificada por la mayor proporción de colapso. Esta fue al menos un 2% mayor en el secado industrial, tal como fue observado para los renovales de canelo de 25 mm de espesor.

- La calidad del secado de los renovales de canelo fue condicionada por la calidad de la madera verde. A escala piloto e industrial el impacto fue más intenso en la madera de 50 mm de espesor. La presencia de médula favoreció la contracción, las grietas, el colapso y los alabeos de las piezas. La heterogeneidad de la humedad final, el gradiente de humedad final y las tensiones de secado son defectos que se pueden mejorar, cambiando la conducción del secado.

- Los renovales de canelo oreados se comportaron mejor frente al secado artificial a temperaturas convencionales, el impacto fue más notable en la madera de 50 mm de espesor.

5 REFERENCIAS

Aléon, D.; Chanrion, P. ; Négrié, G.; Perez, J.; Snieg, O. 1990. Séchage du bois. Guide pratique. CTBA, Paris, Francia. 133 pp.

Alvarez, H.; Fernández, J. 1992. Fundamentos teóricos del secado de la madera. Monografía INIA N°82, Madrid España. 192 pp.

Ananías, R.A. 2004. Estudio experimental del secado de renovales de canelo. Informe de avance 1. Proyecto AT 0405. Universidad del Bío-Bío. 7pp.

Alvear, M.; Broche, W.; Salinas, C.; Ananías, R.A. 2003. Drying kinetics of chilean coigüe: Study of the drying global coefficient. 8th IWDC: 383-387.

Boone, R.S.; Kozlik, C.J.; Bois, P.J.; Wengert, E.M. 1988. Dry kiln schedules for commercial woods. Temperate and tropical. USDA, FPL-GTR-57. 158 pp.

Chafe, S.C.; Barnacle, J.E.; Hunter, A. J.; Ilic, J.; Northway, R.; Rozsa, A. 1992. Collapse: An introduction. CSIRO, Australia. 9 pp.

Hernández, G.; Peredo, M.; Sánchez, R.; Ruiz, P. 2000. Evaluación de programas de secado en madera joven y adulta de tres especies de *Eucalyptus*. *Maderas:Ciencia y Tecnología* 2(1):29-48.

Hernández, G. 1998. Recomendación-EDG. Evaluación de la calidad del secado de la madera. *Ciencia e Investigación Forestal* 12(1):79-97.

INFOR-CORFO 1994. Secado de madera de renovales de roble y raulí. Informe Técnico N° 134. 31 pp

INN. 1993. Norma chilena NCh 993 EOf 72. Madera. Procedimientos y criterios de evaluación para clasificación.

Joly, P.; More-Chevalier, F. 1980. Théorie, pratique et economie du séchage des bois. Vial, Francia. 203 pp.

Juacida, R.; Inzunza, L. 1990. Pautas de control de calidad para madera secada artificialmente. Publicación docente N° 21. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral. 27 pp.

JUNAC-1989. Manual del grupo andino para el secado de maderas. Junta del Acuerdo de Cartagena, Lima, Perú.

Kauman, W.; Mittak, G. 1966. Ensayos de secado de coigüe. Informe Técnico N° 25, INFOR.

Tuset, R.; Duran, F. 1986. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Hemisferio Sur, Uruguay.

USDA 1988. Dry kiln operator's manual. Agriculture handbook N° 188.USDA, FPL, Madison, USA

Welling, J. 1994. Drying quality assessment and specification. A challenge for the future. 4th IWDC: 297-304.

INFOR

TRABAJABILIDAD DE LA MADERA

Cecilia Bustos A. [2]
Marcela Guzmán F. [3]

1 INTRODUCCIÓN

La industria de la madera juega un papel muy importante en la economía de Chile. El canelo es una especie que se encuentra distribuida entre los paralelos 30° y 56° de latitud sur, concentrando su mejor desarrollo en la zona de Chiloé. Hasta ahora, esta madera ha sido utilizada en tejuelas, revestimientos interiores, tableros de chapa, trabajos de carpintería y algunos muebles. Sin embargo, esta utilización ha sido limitada.

Una de las características significativas de la madera, es la facilidad con la cual ella puede ser trabajada. Sin embargo, existen entre especies, fuertes variaciones en su comportamiento bajo la acción de herramientas de corte.

El principal objetivo de este trabajo es evaluar las propiedades y características de trabajabilidad de la madera de canelo (*Drimys winteri*), según lo establecido en la norma ASTM D1666-94, en los procesos mecánicos de elaboración de mayor aplicación en la industria nacional.

2 METODOLOGÍA

Se recepcionaron 25 trozos de 2,5 metros de longitud; correspondientes a 5 árboles de la especie canelo provenientes de la X Región. De dichas trozas se obtuvieron, en una primera etapa, semibasas a fin de hacer más fácil el posterior aserrado de la madera.

---

[2] Ingeniero Civil en Industrias Forestales, Ph.D. Universidad del Bio Bio. Departamento de Ingeniería en Maderas. Concepción
[3] Ingeniero Civil en Industrias Forestales, MSc. Universidad del Bio Bio. Departamento de Ingeniería en Maderas. Concepción

INFOR

Las piezas fueron aserradas a 33 mm de espesor, con anchos variables, conservando su largo inicial. La madera fue posteriormente encastillada y secada naturalmente, hasta alcanzar una humedad aproximada de 18%. Una vez seca la madera, se trozó a 1,30 m para luego ser acondicionada a 20°C +/- 3°C y 65% +/- 5% de humedad relativa (HR), con el fin de homogeneizar el contenido de humedad final de las piezas en un 12%.

Las piezas fueron canteadas, partidas y cepilladas hasta alcanzar una dimensión de 22 x 130 x 1.300 mm. Posteriormente fueron seleccionadas en función del tipo de corte, distribuyendo 40 piezas radiales y 40 piezas tangenciales.

Finalmente, se procedió a dimensionar cada probeta para los distintos ensayos, obteniendo así por cada matriz el siguiente material experimental (Figura 1):

1 probeta para cepillado y lijado (22 x 102 x 910 mm)
2 probetas para torneado (22 x 22 x 127 mm)
1 probeta para moldureado, perforado y escopleado (22 x 76 x 305 mm)
1 probeta para la determinación de la densidad y número de anillos (22 x 12,7 x 127 mm)

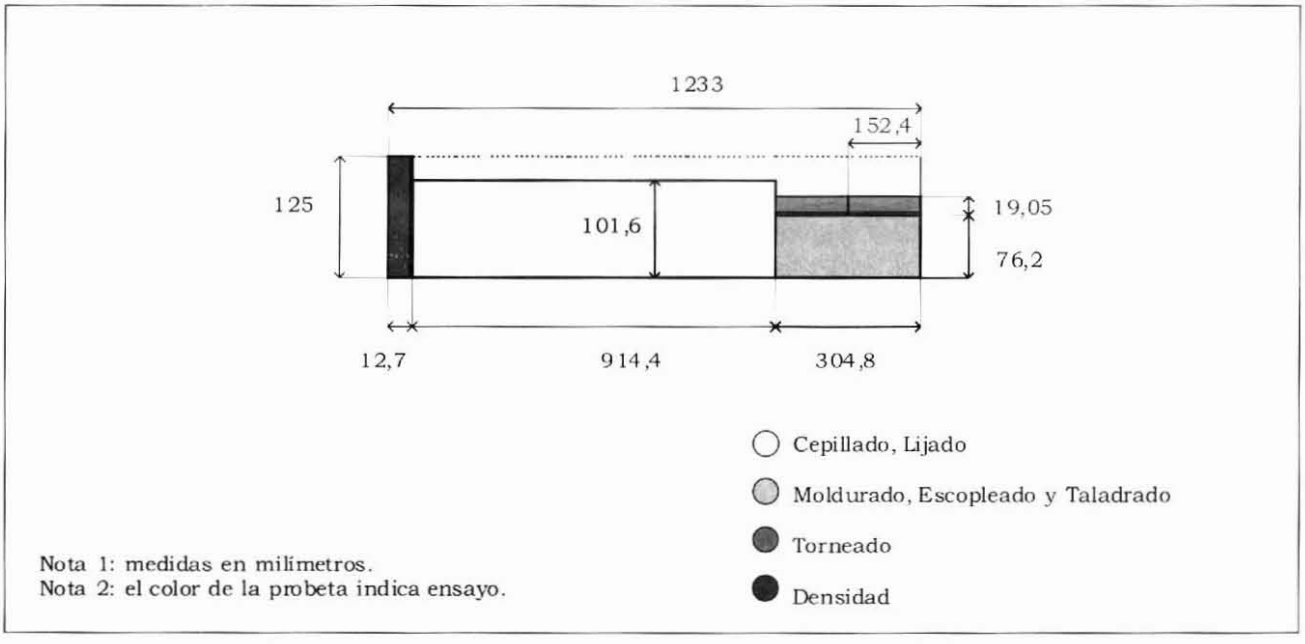


FIGURA 1
DIMENSIONES DE LA MATRIZ UTILIZADA EN TRABAJABILIDAD, SEGÚN ASTM D 1666-87.

Los ensayos de trabajabilidad de la madera se realizaron de acuerdo a condiciones de trabajo establecidas en la norma ASTM D 1666-94 (Tabla 1). En ella se considera la evaluación cualitativa de las superficies maquinadas mediante una inspección visual y una clasificación en cinco grados de calidad, en base a los defectos presentes en la superficie (Tabla 2). En forma adicional, se realizó una medición de densidad normal ($S_{12,12}$), según lo explicitado en la norma chilena NCh 176/2 of. 88, y un conteo del número de anillos por probeta.

TABLA 1
CONDICIONES DE TRABAJO POR ENSAYO DE TRABAJABILIDAD.

Ensayo	Condiciones de trabajo	Elemento de corte y máquina
Cepillado	Marcas por pulgada (MPP) = 8, 12 y 16 (ángulo de ataque = 20°) Angulo de ataque (γ) = 15, 20, 25 y 30° (MPP =20) Profundidad de corte (h) = 1,5 mm	Acero HSS. Moldurera 5 cabezales.
Lijado	Veloc. de avance (U) = 4,5 y 9 m/min Granulometría= 80 granos para desbaste y 120 granos para acabado superficial. Profundidad de corte (h) = 1 mm	Granos de óxido de aluminio. Lijadora calibradora.
Moldurado	Número de cuchillos (z) = 4 Angulo de ataque (γ)= 18° Angulo de alivio (α= 19°) r.p.m. cabezal = 7000	Acero HSS. Tupí.
Escopleado	Diámetro mecha = 12 mm. Largo escoplo = 25 mm r.p.m. mecha = 8500	Acero HSS. Escopleadora.
Taladrado	Diámetro broca=20 mm Angulo de hélice = 42° r.p.m. broca = 2830	Acero HSS. Taladro de pedestal.
Torneado	Angulo de ataque (γ) = 55° r.p.m. probeta = 3000	Acero H13 templado. Torno copiador.

La norma ASTM D 1666-94 establece que en los ensayos de cepillado se deben realizar siete corridas a diferentes ángulos de ataque y condiciones de calidad (MPP), por lo que se procedió a evaluar la calidad de la superficie generada antes de pasar a la condición siguiente.

En el ensayo de lijado la norma establece que la operación se debe realizar a una velocidad de 6,0 m/min; sin embargo, por condiciones de operación de la máquina el ensayo se ejecutó a velocidades de 4,5 y 9,0 m/min.

TABLA 2
GRADOS DE CLASIFICACIÓN VISUAL POR ENSAYO.

Tipo de grado	Definición	Ensayo
1: Excelente	Todas las probetas que no presentan ningún tipo de defecto o que no tienen fibra levantada alrededor de los nudos.	Todos
2: Muy bueno	Todas las probetas que no tienen entre un 10% y un 20% del área procesada con fibra levantada.	Todos
3: Bueno	Todas las probetas que tienen presencia mínima de grano desgarrado y/o fibra levantada entre 20 y 30% del área procesada.	Cepillado, Moldurado Torneado, Escopleado y Taladrado
	Todas las probetas que tengan presencia mínima de madera levantada en un rango máximo de 20 a 30% del área procesada.	Lijado
4: Malo	Aquellas probetas que presentan fibra levantada entre un 30 y 40% del área procesada y/o aquellas que muestren grano desgarrado hasta en un 30% del área.	Cepillado, Moldurado Torneado, Escopleado y Taladrado
	Todas las probetas que presentan madera encontrada en un máximo de 20 a 30% del área procesada y/o fibra levantada hasta en un 40% del área.	Lijado
5: Muy malo	Todas las probetas que presentan fibra levantada sobre un 40% de su área y/o grano desgarrado en un valor mayor al 30% del área procesada.	Cepillado, Moldurado Torneado, Escopleado y Taladrado
	Todas las probetas que presentan fibra levantada sobre un 40% de su área y/o madera encontrada en más de un 30% del área procesada.	Lijado

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Densidad y número de anillos por pulgada

Las Figuras 2 y 3 muestran los promedios de densidad y número de anillos por pulgada obtenidos en las probetas por cada tipo de corte. En ellos se observa que la densidad varió entre 519 y 522

kg/m^3, mientras que el número de anillos se mantuvo entre 6 y 7,5. En ambos casos, se observa una leve tendencia a valores mayores cuando se trata de probetas con corte tangencial. Lo anterior puede deberse a que las probetas con este tipo de corte presenta mayor proporción de madera de verano que de primavera.

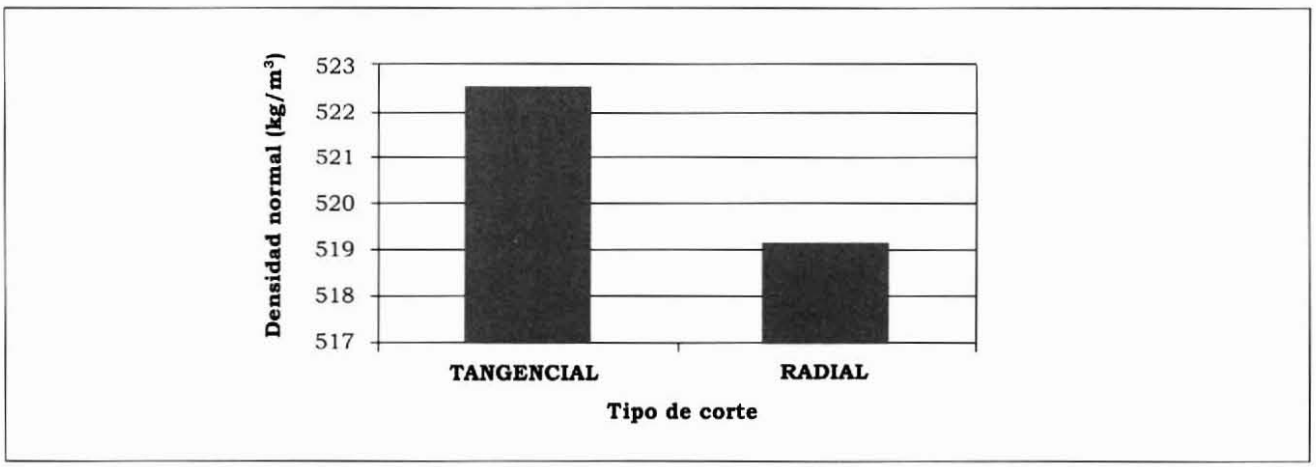


FIGURA 2
DENSIDAD NORMAL PROMEDIO, SEGÚN TIPO DE CORTE.

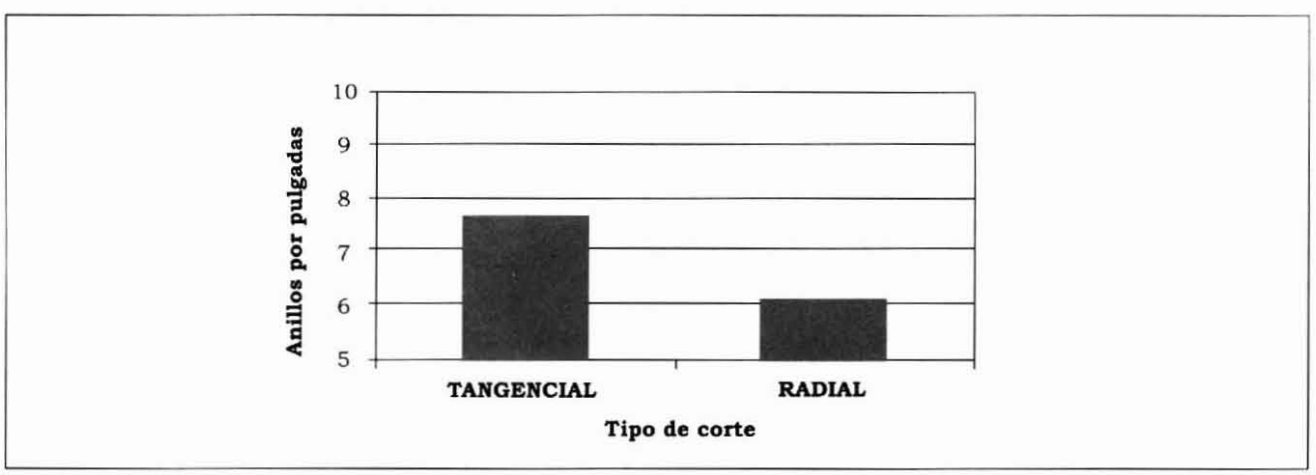


FIGURA 3
NÚMERO DE ANILLOS POR PULGADAS, SEGÚN TIPO DE CORTE.

3.2 Cepillado

El mayor defecto observado después del cepillado fue el de grano arrancado[4], cuya magnitud varió con las condiciones estudiadas. Grano lanoso[5] y grano levantado[6] también fueron observados, aunque en una menor proporción.

[4] El grano arrancado se refiere a las superficies de madera en donde fragmentos se han rasgado o se han sido arrancados por debajo de la línea del corte dentro de un proceso.

[5] El grano lanoso se define generalmente como un aspecto de lana o pelusa producida en la superficie de la madera. La superficie parece y se siente "lanosa" porque las fibras o los grupos de madera de fibras están más doblados en la superficie que rotos por un corte limpio. Esencialmente, es un corte incompleto de las fibras de madera.

[6] El grano levantado se produce en madera más débil, tal como la madera que está más cerca de la médula. El cuchillo en su función de cortar la madera tiende a empujarla. Es aquí cuando la madera de primavera, que es más débil que la de verano, esta más propensa a sufrir un aplastamiento más que su corte, produciéndose un desnivel entre ambos tipos de madera.

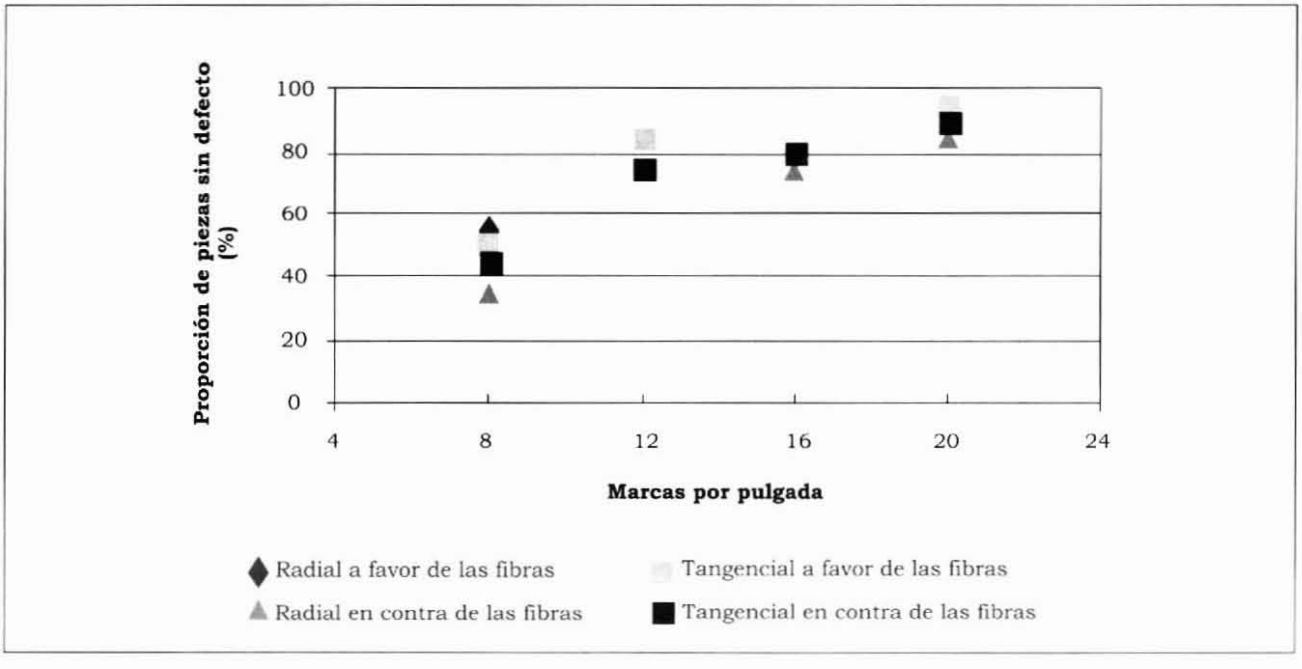


FIGURA 4
PROPORCIÓN DE PIEZAS SIN DEFECTO, SEGÚN MPP Y ÁNGULO DE ATAQUE 20°.

Las relaciones producidas entre el número de piezas libre de defectos con el ángulo de ataque y/o número de marcas de cuchilla por pulgada son mostradas en las Figuras 4 y 5.

Los resultados muestran que la proporción de piezas libres de defectos aumentan a medida que las marcas de cuchillo por pulgada se incrementan (Figura 4). La mejor calidad de superficie fue obtenida para 20 marcas por pulgada. En esta última condición se alcanzó un 97% de piezas sin defecto. Los resultados indican que un cepillado con más de 20 marcas por pulgada podrían producir una calidad mejor, sin embargo, esta condición no fue estudiada.

La calidad superficial de las piezas de canelo se ve beneficiada cuando el cepillado se efectúa en la dirección de las fibras. Se observa, además, una leve tendencia a la obtención de un mayor número de piezas sin defectos cuando se trabaja con un corte tangencial; sin embargo, esta diferencia no parece ser significativa (Figura 4).

Por otro lado, tal y como era de esperar, la calidad de la superficie fue afectada levemente por el ángulo de ataque. Se observa que la proporción de piezas libres de defecto disminuye a medida que el ángulo de ataque aumenta desde 15 a 25°, proporción que se revierte al cambiar el ángulo de ataque de 25 a 30°. En esta condición (30°) se obtuvo un 100% de piezas sin defectos (Figura 5). Es sabido que el ángulo de ataque es una de las variables más importantes que controlan el corte durante el maquinado y el que determina la formación del tipo de viruta, y por consiguiente la calidad superficial que se obtiene. Un ángulo de ataque elevado (> 25°) favorece la formación de viruta tipo I, es decir, aquella viruta que es formada frente al filo de la herramienta de corte, por clivaje, fracturándose en forma discontinua delante de ella (Franz, 1958); exponiendo una superficie de mala calidad.

La formación de viruta tipo II se logra con ángulos de ataque moderado (10 a 25°). Aquí la viruta se origina por un cizalle oblicuo en un plano inclinado, formado directamente en el filo de la herramienta, quedando una viruta deseada, originando una buena calidad superficial.

Dado lo anterior, un ángulo de ataque de 15° parece ser el más adecuado para producir una buena calidad superficial en madera de canelo. Hernández et al (2001) y Gilmore y Barefoot (1974) también sugirieron este valor para el cepillado de picea blanca (*White spruce*) y de algunas maderas tropicales de Sudamérica. Aún cuando no se realizaron ensayos por debajo de los 15° de ángulo de ataque, se cree que no aumentaría significativamente la calidad superficial de la madera.

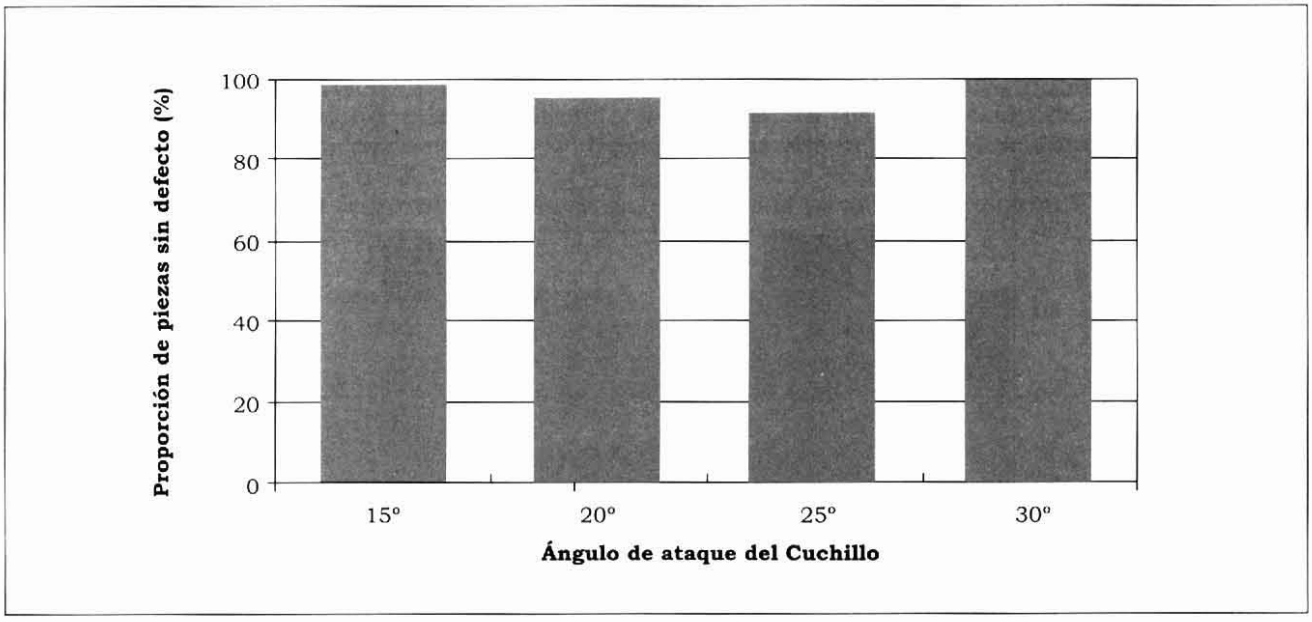


FIGURA 5
PROPORCIÓN DE PIEZAS SIN DEFECTO, SEGÚN ÁNGULOS ATAQUE Y 20 MPP.

En la Figura 6 se observan algunos defectos producidos durante el proceso de cepillado.

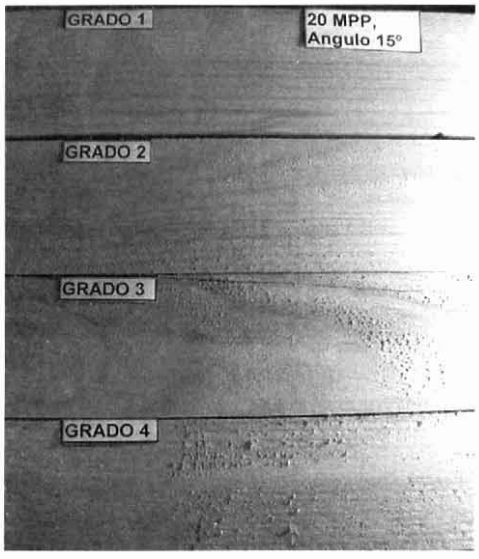


FIGURA 6
GRADOS DE CALIDAD SUPERFICIAL, ÁNGULO DE ATAQUE DE 15° Y 20 MPP.

3.3 Moldurado

Las propiedades de moldurado fueron evaluadas en la cara lateral (zona recta) y transversal de las muestras (zona curva). Como era de esperar, la calidad superficial del moldurado fue más baja en la parte curva que en la parte recta de las piezas; no obstante, los resultados obtenidos para la zona curva son muy cercanos a los obtenidos en la zona lateral (2% menos).

En general, el canelo muestra un excelente comportamiento frente al proceso estudiado, con un 99% de piezas ensayadas sin defecto.

No se observaron diferencias en la calidad de las piezas evaluadas con respecto al tipo de corte que ellas presentaban (Figura 7).

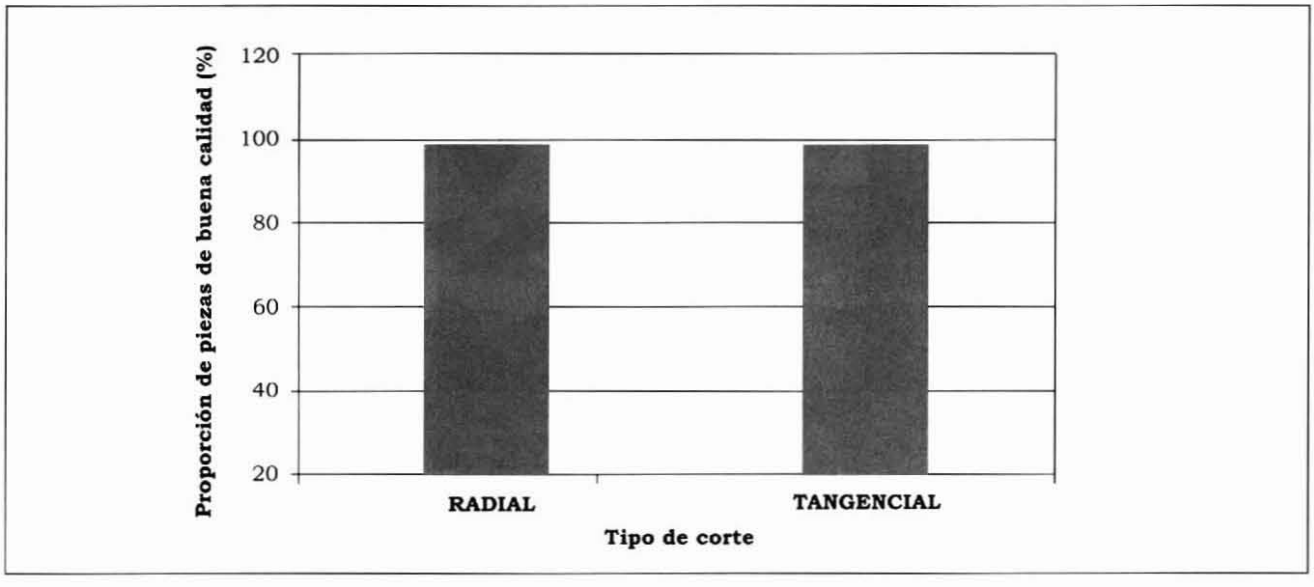


FIGURA 7
PORCENTAJE DE PIEZAS EXITOSAS, SEGÚN TIPO DE CORTE.

El grano arrancado fue el principal defecto observado durante el moldurado (Figura 8), principalmente en la parte curva de la probeta. El grano lanoso también se presentó, aunque en menor proporción.

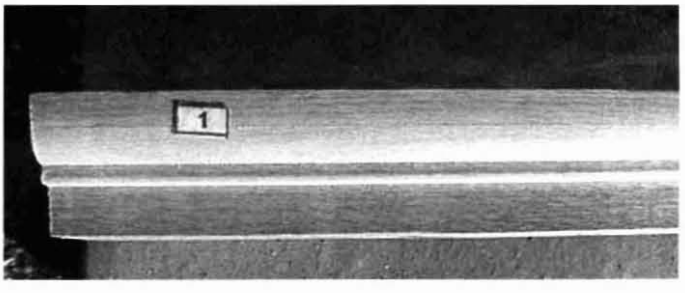


FIGURA 8
GRADO DE CALIDAD SUPERFICIAL 1. PROCESO DE MOLDURADO.

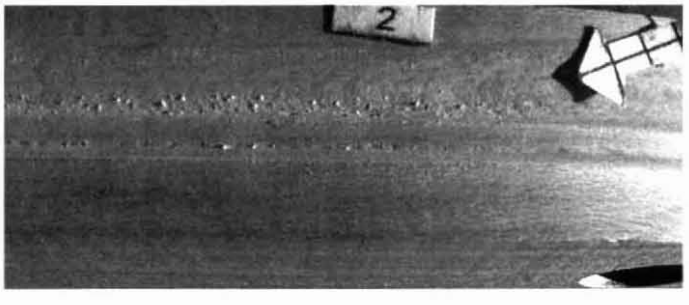


FIGURA 9
GRANO ARRANCADO EN UNA PROBETA GRADO 2. PROCESO DE MOLDURADO.

3.4 Taladrado

En este ensayo la proporción de piezas libres de defectos fue baja, constituyendo un promedio de 21%. El grano arrancado fue el principal defecto (Figura 10). La producción de un astillamiento observado a la salida de la broca contribuyó en gran medida a la baja calidad asociada a las probetas.

Las probetas radiales presentaron una mayor proporción de piezas sin defecto (29%), mientras que las de corte tangencial alcanzaron un 14%.

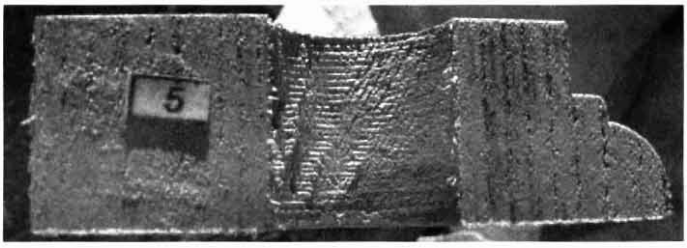


FIGURA 10
GRANO ARRANCADO EN UNA PROBETA GRADO 5. PROCESO DE TALADRADO.

3.5 Escopleado

La aptitud de la madera de canelo frente al escopleado resultó ser bastante adecuada, alcanzando en promedio un 67% de piezas sin defectos. En la Figura 11 se observa que las probetas con corte radial presentaron una mayor proporción de estas piezas, respecto de aquellas con corte tangencial.

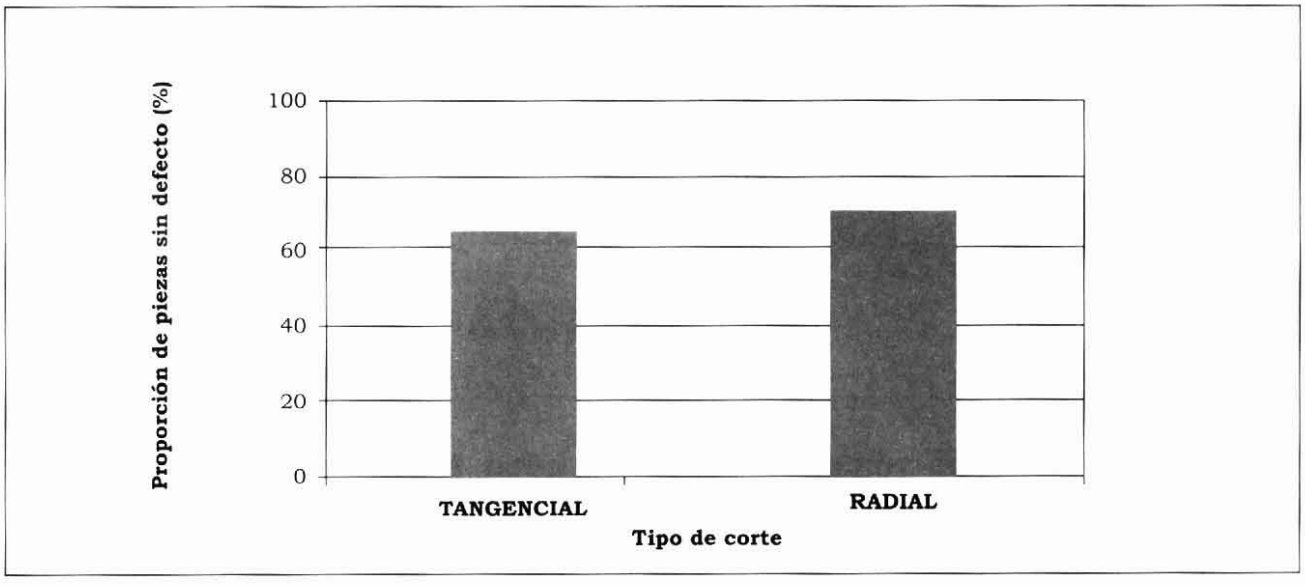


FIGURA 11
PROPORCIÓN DE PIEZAS SIN DEFECTO, SEGÚN TIPO DE CORTE

El defecto que se presentó en mayor proporción fue el grano arrancado. Sin embargo, el astillamiento también se produjo al momento de salida de la fresa, contribuyó a la disminución de la calidad.

3.6 Torneado

El ensayo de torneado alcanzó en promedio un 82% de piezas sin defecto. El corte tangencial presentó levemente una mejor calidad superficial que las probetas de corte radial. El defecto mayormente observado fue el de grano arrancado. Se observó que los mejores niveles de calidad superficial se obtuvieron cuando la herramienta actuó en la dirección ascendente con respecto al eje de la pieza. Esto puede deberse a que en forma ascendente la herramienta tiende más a comprimir, impidiendo de esta forma su levantamiento. En cambio cuando el corte es en dirección descendente, se produce un corte de la fibra, provocando un astillamiento. Si el corte se efectúa paralelo a la dirección de la fibra se producen bajos niveles de calidad debido a que la herramienta de corte ocasiona desgarros en la fibra producto de las vibraciones que se producen durante el corte, las cuales se acentúan más en esta dirección.

3.7 Lijado

En promedio, un 89% del total de las piezas procesadas no presentó defectos, independiente de la velocidad de avance utilizada para el ensayo. En la Figura 12 se muestra el efecto de la velocidad de avance y del tipo de corte en la calidad de las piezas que han sido sometidas al proceso de lijado. De éste se desprende que tanto en el corte radial como el tangencial, la velocidad de avance de 4,5 m/min produce piezas con mejor calidad superficial. Al mismo tiempo, se observa que existe una tendencia a obtener una mejor calidad cuando se tienen cortes radiales en las piezas.

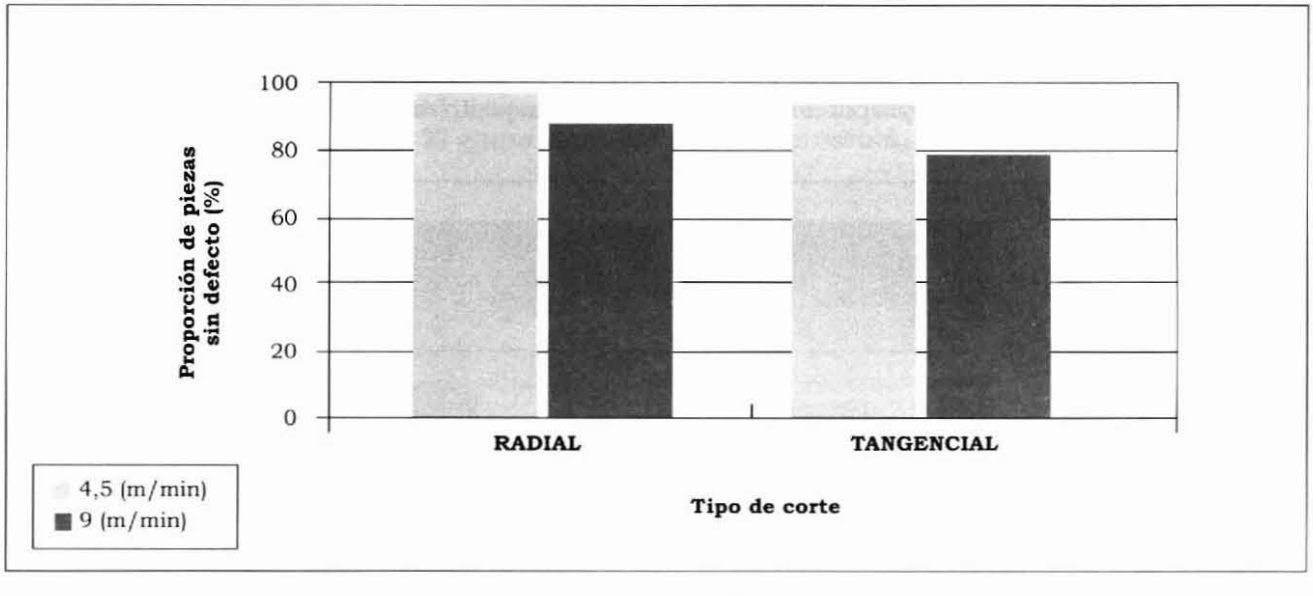


FIGURA 12
PROPORCIÓN DE PIEZAS SIN DEFECTO, SEGÚN TIPO DE CORTE Y VELOCIDAD DE AVANCE.

El grano lanoso fue el defecto que se presentó en mayor proporción dentro de las piezas evaluadas (Figura 13).

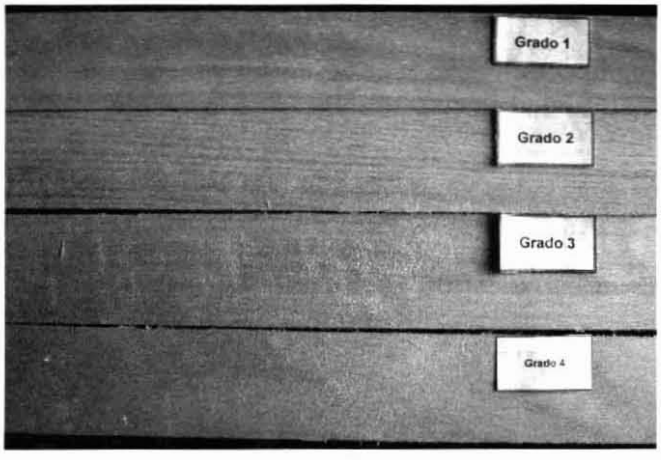


FIGURA 13
GRADOS DE CLASIFICACIÓN EN PROBETAS DE CANELO. PROCESO DE LIJADO.

4 CONCLUSIONES

- Este trabajo permite indicar que la madera de canelo (*Drimys winteri*) tiene un muy buen comportamiento frente a los procesos de cepillado, moldurado, torneado y lijado.

- El canelo presenta un comportamiento regular en los procesos de taladrado y escopleado. Sin embargo, estos maquinados se utilizan para favorecer la formación de uniones entre dos piezas y en todos los casos se presentan ocultas; luego la calidad superficial no es un indicador relevante.

- Para todos los procesos evaluados se observó que el tipo de corte no afecta los resultados de calidad superficial que se obtienen.

INFOR

5 REFERENCIAS

American Society for Testing and Materials. 1994. Standard methods for conducting machining tests of wood and wood-base materials. ASTM D 1666-87: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, PA: ASTM. Vol. 04.09. pages 226-245.

Franz, N.C. 1958. Analysis of the wood-cutting process. Univ. Mich. Press, Ann Arbor, Mich. 152 pp.

Gilmore, R. y A. C. Barefoot. 1974. Evaluation of some tropical woods imported into the United States from South America. Forest Products Journal. 24 (2): 24-28.

Hernández R., C. Bustos, Y. Fortin y J. Beaulieu. 2001. Wood machining properties of white spruce from plantation forests. Forest Prod. J. 51(6):82-88.

INFOR

INFOR

ENCOLABILIDAD DE LA MADERA

Marcela Guzmán Fernández [7]
Cecilia Bustos Ávila [8]

1 INTRODUCCIÓN

En la industria de la madera se han incorporado nuevas tecnologías con el objetivo de obtener un mayor aprovechamiento de las materias primas en los diferentes procesos productivos. En general, las industrias de segunda transformación fabrican productos donde se utilizan uniones dentadas y/o uniones laminares, las cuales generalmente están unidas con adhesivos del tipo Polivinil Acetato (PVAc) que dependiendo de la utilización del producto, podría ser de uso interior o exterior. Estas técnicas de uniones en la madera permiten la recuperación de materias primas que presentan gran cantidad de defectos en el material de origen. Esta situación ha generado un gran desarrollo, permitiendo un producto clear a partir de piezas de bajas dimensiones.

Si bien el fuerte de esta industria se basa en los productos fabricados con madera de pino radiata, hoy dia existen algunas especies alternativas que presentan interesante potencial para ser utilizadas en productos de alto valor comercial, como muebles, por ejemplo. Este es el caso del canelo, especie que por sus condiciones estéticas está siendo ampliamente utilizado en el sur de nuestro país para la fabricación de diferentes productos. Sin embargo, las condiciones de su facilidad o dificultad para ser encolado son desconocidas; por lo tanto el objetivo de este estudio es determinar las propiedades de encolabilidad de la madera de Canelo (*Drimys Winteri*), de acuerdo a lo especificado por las normas americanas relacionadas, ésto es: ASTM D 5751 y ASTM D 5572.

---

[7] Ingeniero Civil en Industrias Forestales, MSc. Universidad del Bío Bío. Departamento de Ingeniería en Maderas. Concepción.
[8] Ingeniero Civil en Industrias Forestales, Ph.D. Universidad del Bío Bío. Departamento de Ingeniería en Maderas. Concepción.

2 METODOLOGÍA

La madera utilizada en este estudio corresponde a renovales de canelo provenientes de bosques situados en la X región.

Las trozas fueron aserreadas, partidas y trozadas para la obtención de madera de un espesor de 30 mm, ancho variable y largo de 1,25 m. Esta madera fue encastillada y sometida a un secado natural hasta alcanzar una humedad cercana al 18%. Finalmente, fue ingresada a una cámara de climatización bajo condiciones normales de temperatura y humedad (20 +/- 3°C y 65 +/- 5% de H.R.) hasta alcanzar una humedad de equilibrio del 12%.

El material seco generado fue cepillado, partido y trozado obteniéndose piezas libres de defectos de 25 x 300 x 500 mm, las que fueron utilizadas para la fabricación de los diferentes tipos de uniones (dentadas y laminares) y bajo las condiciones establecidas por cada dispositivo experimental.

2.1 Ensayo para uniones laminares

El dispositivo experimental propuesto para este tipo de uniones consideró tres calidades superficiales y tres gramajes completando un total de nueve experimentos, de acuerdo a lo siguiente:

TABLA 1
DISPOSITIVO EXPERIMENTAL UTILIZADO EN UNIONES LAMINARES.

Variable	Niveles	Especificación
Calidad superficial	3	Cepillado (z=2), cepillado (z=4) y lijado (G80-120)
Gramaje	3	100, 120 y 140 g/m^2

De acuerdo a la norma utilizada para la evaluación de calidad en este tipo de uniones (ASTM D 5751), se especifica la realización de un ensayo de cizalle por compresión bajo tres diferentes ciclos de envejecimiento: condición normal, tres ciclos y elevada temperatura. Cada envejecimiento debe ser realizado a un lote de 20 probetas; y la norma recomienda que no deben obtenerse más allá de 5 probetas por cada línea adhesiva. Por esta razón, se prepararon para cada experimento 30 piezas (19 x 300 x 500 mm), las que posteriormente fueron encoladas con Rakoll GXL-3 (H.B. Fuller) y prensadas (presión de 7 bares, tiempo prensa de 60 minutos y a temperatura ambiente) para formar los ensambles requeridos en cada caso (Figura 1).

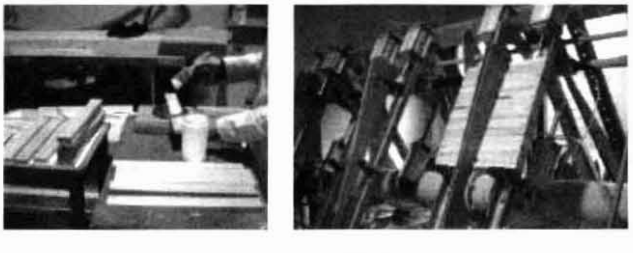


FIGURA 1
PREPARACIÓN DE UNIONES LAMINARES.

Los ensambles fabricados son llevados a una cámara de climatización bajo condiciones normales de humedad y temperatura por una semana, con el fin de asegurar la evaporación del solvente y el desarrollo total de la unión.

Transcurrido este tiempo, los ensambles son agrupados y cortados para la obtención de probetas (60 por experimento), de acuerdo a las dimensiones y formas exigidas por la norma y que se presentan en la Figura 2.

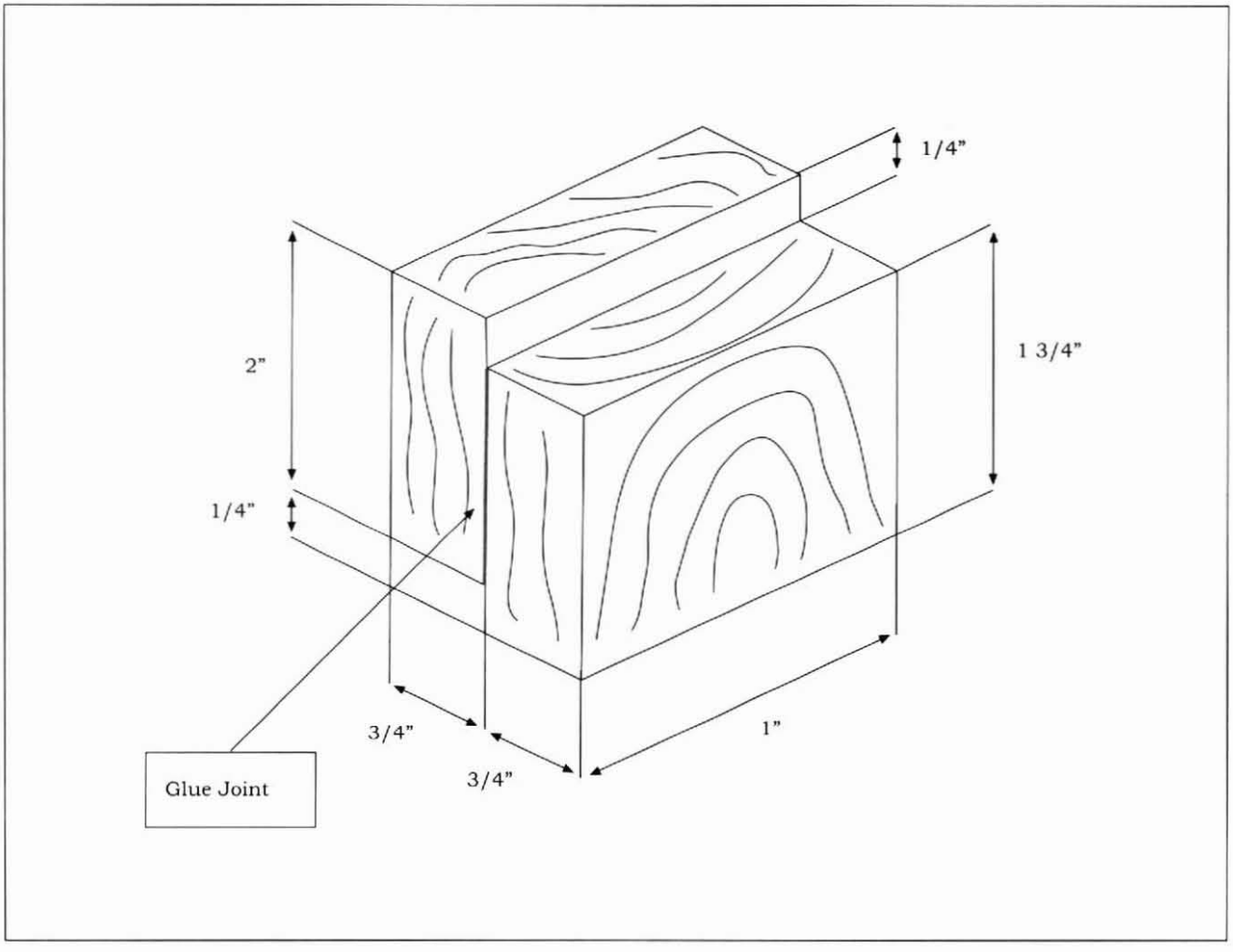


FIGURA 2
PROBETA PARA EVALUACIÓN DE CIZALLE, SEGÚN ASTM D 5751.

Una vez obtenidas las probetas, éstas son separadas aleatoriamente en lotes de 20 y sometidas a las diferentes condiciones establecidas por la norma y que para el caso de adhesivos de uso interior corresponden a:

Test de condiciones normales: Evaluar el adhesivo luego de al menos una semana de la fabricación de la unión.

Test de tres ciclos: Inmersión en agua a 19-27 °C por 4 horas; luego secado por 19 horas a 41 +/- 3°C. Repetir por un total de tres ciclos y efectuar los ensayos.

Test de elevada temperatura: Calentar a 104+/- 3 °C por 6 horas; retirar las muestras y envolverlas en PVC. Colocar las muestras envueltas en estufas a 110 +/- 3 °C por un mínimo de 12 minutos y un máximo de 22 minutos. Retirar y ensayar sin retirar la envoltura durante los siguientes 30 segundos en una pieza acondicionada a 24 +/- 3 °C.

Finalmente, se realiza la determinación de las resistencias respectivas en una máquina universal de ensayos Instron (capacidad 5.000 kg). Luego, se determina el esfuerzo asociado (dividiendo por el área de falla) y registrando además, el porcentaje de falla de madera en cada probeta.

De acuerdo a lo indicado por la norma, los requerimientos de resistencia se establecen sobre la base de la resistencia al cizalle en madera sólida en una probeta de características similares (especie, tamaño, humedad, etc.) a las utilizadas para la fabricación de las uniones (Tabla 2).

TABLA 2
REQUERIMIENTOS PARA UNIONES LAMINARES, ASTM D 5751.

Tratamiento	Resistencia (%)		Falla Madera (%)	
	Grupal	Individual	Grupal	Individual
Curado	60	30	60	30
Tres ciclos	30	15	30	15
Elevada Temperatura	40	20	40	20

2.2 Ensayo para uniones dentadas

En este tipo de uniones se evaluó la calidad de la unión adhesiva y el efecto que tiene la longitud y geometría del diente sobre la resistencia mecánica; completando solo dos experimentos: 4 y 13 mm.

La norma utilizada para la evaluación de la calidad del encolado en uniones dentadas (ASTM D 5572) especifica la realización de ensayos de flexión y tracción bajo cuatro diferentes ciclos de envejecimientos (condición normal, tres ciclos, elevada temperatura y temperatura-humedad), los que deben ser aplicados a lotes de 20 probetas. Dado lo anterior, es necesaria la obtención de 160 probetas por cada tipo de diente (2 ensayos x 4 envejecimientos x 20 probetas). Consecuentemente con lo indicado por la norma, se restringió la obtención de probetas a no más de cinco unidades por cada unión, luego de lo cual fue necesario fabricar 35 ensambles por cada condición a evaluar.

La Figura 3 muestra el proceso de fabricación de ambos tipos de uniones, las que fueron encoladas (Rakoll GXL-3) y prensadas a temperatura ambiente, con presión de 50 psi y tiempo de ensamble de 5 segundos.

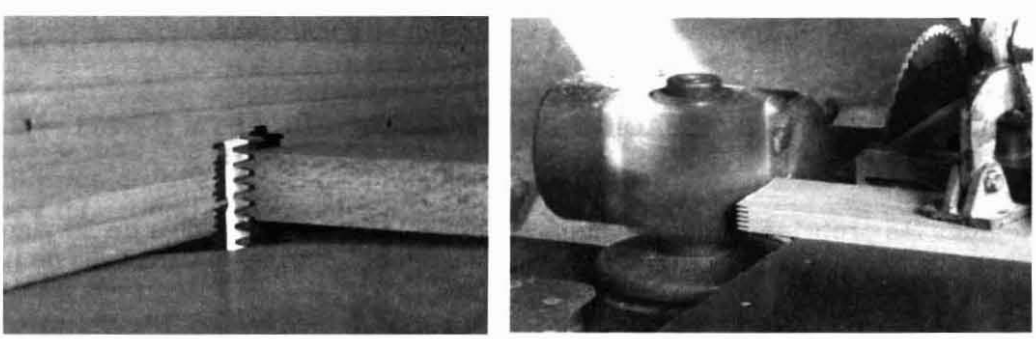


FIGURA 3
PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PERFIL DENTADO

Una vez fabricadas las uniones, éstas fueron almacenadas bajo condiciones normales de humedad y temperatura, para así asegurar la evaporación del solvente y el desarrollo total de la unión.

Finalmente, los ensambles fabricados son cortados con el fin de obtener las probetas necesarias para cada ensayo, de acuerdo a las dimensiones y forma que especifica la norma (Figuras 4 y 5).

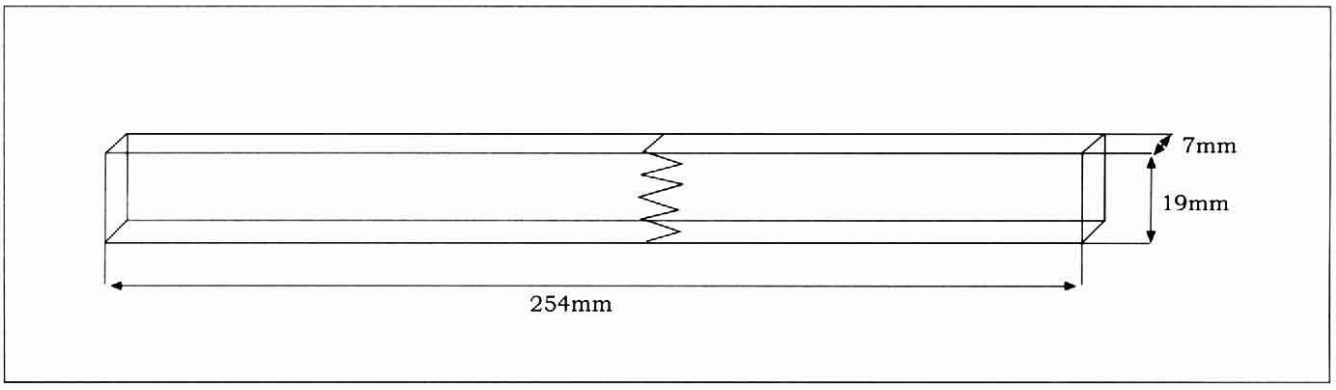


FIGURA 4
DIMENSIÓN Y FORMA PROBETA ENSAYO DE TRACCIÓN, NORMA ASTM D 5572.

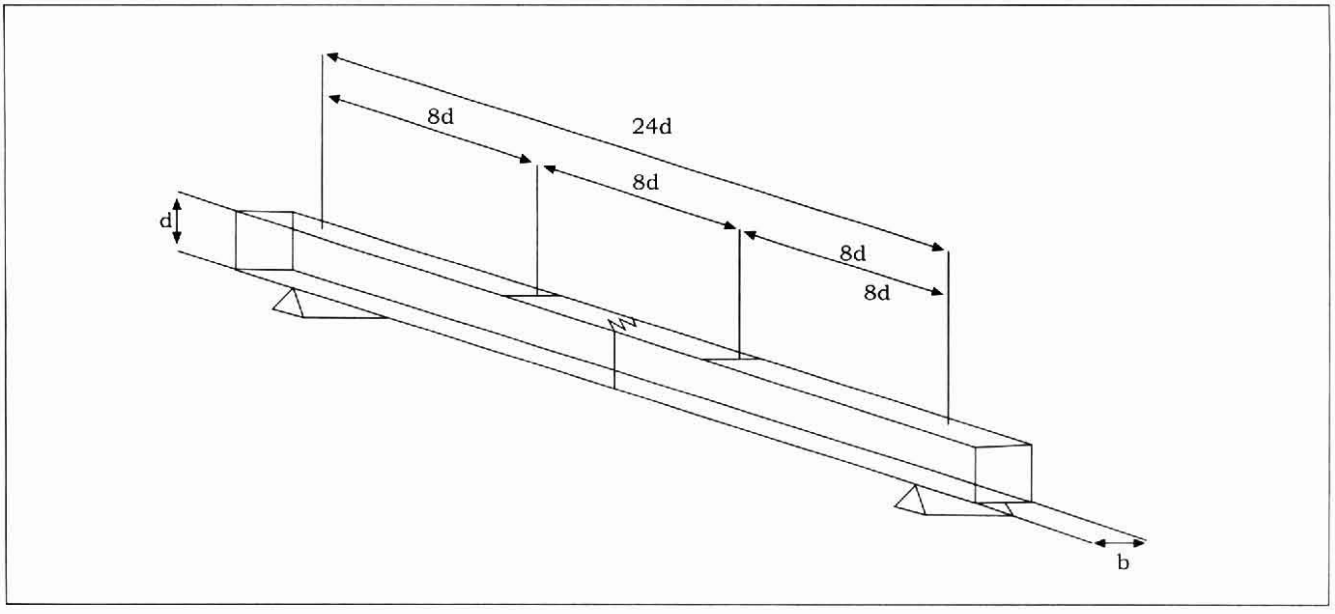


FIGURA 5
DIMENSIÓN Y FORMA PROBETA ENSAYO DE FLEXIÓN, NORMA ASTM D 5572.

Una vez cortadas, las probetas deben ser sometidas a las diferentes condiciones que establece la normativa antes de ser ensayadas. En el caso de adhesivos de interior, la norma establece las siguientes condiciones:

Test condiciones normales: Evaluar el adhesivo luego de al menos una semana de la fabricación de la unión.

Test de tres ciclos (agua fría): Inmersión en agua a temperatura ambiente (19 a 27 °C por 4 horas; luego secado por 19 horas a 41 +/- 3 °C. Repetir por un total de tres ciclos y efectuar los ensayos.

Test temperatura elevada: Calentar a 104 +/- 3 °C por 6 horas; retirar las muestras y envolverlas en PVC. Colocar las muestras envueltas en estufa a 110 +/- 3°C por un mínimo de 12 minutos y un máximo de 22 minutos. Retirar y someter a ensayo sin retirar la envoltura y durante los siguientes 30 segundos en una pieza acondicionada a 24 +/- 3 °C.

Test temperatura–humedad: Acondicionar a 16% de contenido de humedad de equilibrio. Envolver en PVC y colocar en estufa a 65 +/- 1°C entre 12 y 20 minutos. Retirar de a una probeta y testear dentro de 30 segundos en ambiente a 24°C.

Finalmente, se realizan los ensayos indicados determinando en el caso de tracción la resistencia máxima alcanzada y el porcentaje de falla de madera asociado; mientras que en flexión se establece como parámetro de respuesta sólo la resistencia. La siguiente tabla muestra el nivel de cada requisito, por cada ensayo y test de envejecimiento para adhesivos de uso interior:

TABLA 3
REQUERIMIENTOS UNIONES DENTADAS, NORMA ASTM D 5572.

Test	Tracción			Flexión
	Resistencia	Falla Madera (%)		Módulo Ruptura
	(MPa)	Grupal [9]	Individual [10]	(MPa)
Condiciones normales	13,8	60	30	13,8
Tres ciclos	6,9	30	15	6,9
Temperatura Elevada	6,9	s/requisito	s/requisito	s/requisito
Temperatura-Humedad	5,2	s/requisito	s/requisito	s/requisito

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Uniones Laminares

Dado que los requerimientos de resistencia se establecen sobre la madera sólida, se realizó un ensayo para determinar el promedio de resistencia frente a este esfuerzo, obteniéndose un valor de 10,28 MPa; luego con este valor la tabla de requerimientos queda como sigue:

TABLA 4
REQUERIMIENTOS PARA UNIONES LAMINARES, ASTM D 5751.

Tratamiento	Resistencia (%)		Falla Madera (%)	
	Grupal	Individual	Grupal	Individual
Curado	6,17	3,08	60	30
Tres ciclos	3,08	1,54	30	15
Elevada Temperatura	4,11	2,06	40	20

Cabe señalar que la norma establece diferencias entre maderas coníferas y latifoliadas y dado que esta especie tiene estructura similar a las de coníferas se utilizaron los valores señalados para este tipo de maderas, siendo éstos mayores que los requeridos para latifoliadas.

3.2 Línea de cola cepillada (z=2, MPP=12,5)

La siguiente tabla muestra los resultados de resistencia y falla de madera obtenidos para las muestras evaluadas, donde se observa que ninguna de ellas satisface por completo los requerimientos mínimos establecidos por la norma. A pesar de no cumplir con los mínimos exigidos, se observa que a medida que se aumenta la cantidad de adhesivo, los valores de resistencia también aumentan.

[9] Valor promedio para todas las muestras.
[10] Valor individual para el 90% de las muestras. Si alguna presenta valor cero, al menos debe superar la carga.

TABLA 5
RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNIONES LAMINARES (ENSAYO 1).

Muestra	Envejecimiento	Resistencia (MPa)		Falla Madera (%)	
		Grupal [11]	Individual [12]	Grupal [11]	Individual [12]
C12.5-100	Curado	4,62	1,54	29	0
	Tres ciclos	0,52	0,00	2	0
	Elevada Temperatura	1,86	0,65	2	0
C12.5-120	Curado	6,89	2,22	44	5
	Tres ciclos	0,67	0,00	3	0
	Elevada Temperatura	2,60	1,17	6	0
C12.5-140	Curado	7,31	3,28	65	15
	Tres ciclos	1,44	0,25	5	0
	Elevada Temperatura	3,48	2,22	3	0

La muestra C12.5-140 presenta el mejor comportamiento debido a que al menos satisface por completo las condiciones mínimas establecidas para el ciclo de condiciones normales. Desde el punto de vista estadístico (test de Tukey al 95% de confianza) esta muestra arroja valores significativamente mayores a los obtenidos para la condición de 100 g/m^2, sin embargo, respecto a la condición 120 g/m^2, las diferencias no son importantes.

3.3 Línea de cola cepillada (z=4, MPP=25)

La Tabla 6 muestra los resultados de resistencia y falla de madera obtenidos para las muestras evaluadas en esta condición. De acuerdo a los valores es posible observar que ninguna de las muestras satisface por completo los requerimientos mínimos de resistencia y falla de madera indicados por la norma.

A pesar de lo anterior, se observa que la muestra C25-140 presenta un mejor comportamiento debido a que satisface casi por completo todas las condiciones establecidas, puesto que solamente presenta deficiencias en el valor de resistencia individual para el envejecimiento de tres ciclos. Al analizar la información utilizando test estadístico (Tukey al 95% de confianza) se observa, en general, que la mayor cantidad de adhesivo presenta resultados significativamente mejores a los restantes.

[11] Corresponde al valor de las 20 probetas.
[12] Corresponde al valor del 90% de las probetas testeadas. si algún valor cero es obtenido por alguna muestra, el ensayo se considera nulo.

TABLA 6
RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNIONES LAMINARES (ENSAYO 2).

Muestra	Envejecimiento	Resistencia (MPa)		Falla Madera (%)	
		Grupal	Individual	Grupal	Individual
C25-100	Curado	4,15	1,82	11	5
	Tres ciclos	1,97	0,29	11	0
	Elevada Temperatura	1,73	0,42	8	0
C25-120	Curado	5,33	2,58	24	5
	Tres ciclos	2,09	0,25	15	0
	Elevada Temperatura	1,77	0,37	7	0
C25-140	Curado	8,53	5,09	74	25
	Tres ciclos	3,68	1,06	21	5
	Elevada Temperatura	4,25	3,18	29	0

3.2 Línea de cola lijada (GL 80-120)

En la Tabla 7 se muestran los resultados de obtenidos para las diferentes muestras evaluadas, donde se observa que ninguna de ellas satisface las condiciones mínimas establecidas por la norma, sin embargo, el mejor comportamiento se presenta en la muestra L-140 que alcanza sin problemas los valores mínimos indicados para curado y tres ciclos.

TABLA 7
RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNIONES LAMINARES (ENSAYO 3).

Muestra	Envejecimiento	Resistencia (MPa)		Falla Madera (%)	
		Grupal	Individual	Grupal	Individual
L-100	Curado	5,54	3,19	50	25
	Tres ciclos	2,96	0,55	50	20
	Elevada Temperatura	2,27	0,94	4	0
L-120	Curado	6,52	2,67	52	30
	Tres ciclos	4,04	0,80	58	25
	Elevada Temperatura	2,75	1,60	13	0
L-140	Curado	9,03	5,03	79	40
	Tres ciclos	4,39	1,92	43	15
	Elevada Temperatura	2,97	1,49	7	0

A pesar de lo anterior, de acuerdo al análisis estadístico efectuado a los valores alcanzados (Test de Tukey al 95% de confianza), estas diferencias no son significativas en la mayor parte de los ciclos evaluados. La excepción se presenta sólo para el test de condición normal donde la muestra con 140 g/m^2 presenta un comportamiento significativamente mejor calidad superficial generando mejores resultados.

Si bien al comparar los resultados obtenidos para los diferentes tipos de sustratos y considerando la mejor condición de esparcido (140 g/m^2), no se obtiene una clara tendencia respecto de diferencias entre la preparación de los sustratos, se establece que la muestra cepillada con z=4 (cuatro cuchillos), arroja los mejores resultados. A pesar de lo anterior se observa que con respecto a la muestra lijada las diferencias no son significativas (Test de Tukey al 95% de confianza).

3.5 Uniones Dentadas

Las Tablas 8 y 9 presentan los resultados obtenidos para la evaluación de uniones dentadas en 4 y 13 mm, respectivamente. Se observa, en ambos ensayos, que los valores de resistencia obtenidos superan los mínimos requeridos por la norma ASTM D 5572, sin embargo, ambas muestras presentan deficiencias en los valores de falla de madera alcanzados.

A pesar de lo anterior, se observa que la muestra de 13 mm alcanza valores de resistencia significativamente mayores a los que arroja la muestra de 4 mm (Test de Tukey al 95% de confianza). Mas aún, las deficiencias en el desgarro de madera para la muestra de 13 mm son bastante menores puesto que los valores alcanzados son levemente menores que los requeridos. Esto es producto del mayor anclaje mecánico que ofrece un diente de mayor longitud por efecto de la mayor área de contacto presente en cada diente.

TABLA 8
RESULTADOS PROMEDIO EN UNIONES DENTADAS DE 4 mm.

Test	Tracción			Flexión
	Resistencia	Falla Madera (%)		MOR
	(MPa)	Grupal	Individual	(MPa)
Condición normal	19,88	24	0	31,20
Tres ciclos	11,11	15	0	8,14
Alta temperatura	8,06	8	0	5,10
Temperatura - humedad	5,42	10	0	6,84

TABLA 9
RESULTADOS PROMEDIO UNIONES DENTADAS DE 13 mm.

Test	Tracción			Flexión
	Resistencia	Falla Madera (%)		MOR
	(MPa)	Grupal	Individual	(MPa)
Condición normal	41,40	55	25	51,94
Tres ciclos	32,42	38	0	26,00
Alta temperatura	20,41	55	20	15,31
Temperatura - humedad	13,11	43	0	20,05

W. K. Murphey y L. E. Rishel (1972) estudiaron el comportamiento de las uniones dentadas al variar el largo del diente, para dos especies: álamo amarillo y pino blanco, encontrando que la utilización de dientes delgados reduce la concentración de la tensión y se logran mayores resistencias. También se pudo observar en el estudio que la punta más delgada del diente proporciona un punto de flujo, lo cual logra un mayor poder cubritivo y un esparcido uniforme del adhesivo.

4 CONCLUSIONES

• La madera sólida de la especie a un 12% de humedad arroja un valor promedio de cizalle de 10,28 MPa.

• El adhesivo de uso interior tipo D3 (RAKOLL GXL-3), utilizado en la fabricación de uniones laminares, no supera completamente los requerimientos de resistencia y porcentaje de falla madera exigidos por la norma ASTM D5751, para ninguno de los experimentos evaluados.

• La resistencia mecánica de las uniones encoladas está fuertemente afectada por la preparación de la línea de cola, encontrándose que los mejores resultados se presentan para la condición lijada; sin embargo, estadísticamente ésta no difiere con los valores alcanzados por las líneas de cola que fueron cepilladas con cuatro cuchillos (MPP=25).

• El comportamiento mecánico de las uniones es variable dependiendo de la cantidad de adhesivo que se utiliza en la fabricación de éstas; tanto así que al aumentar el gramaje desde 100 a 140 g/m^2, los valores alcanzados se incrementan, sin embargo, la condición 140 g/m^2 aún es insuficiente para alcanzar los requerimientos mínimos de la norma.

• El adhesivo utilizado para la fabricación de uniones dentadas no satisface por completo los requerimientos indicados, puesto que si bien satisface los valores de resistencia tanto en tracción como flexión, presenta deficiencias en los valores de falla de madera.

• En términos generales, se observa un mejor comportamiento para las uniones fabricadas con diente de mayor longitud, es decir 13 mm.

INFOR

5 REFERENCIAS

ASTM D 5572-95. Standards Specificaction for adhesives used for finger joints in nonstructural lumber products.

ASTM D 5751-95. Standards Specificaction for adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products.

Pincheira Toledo, Moisés – Arratia Neira, Paúl, 2002. "Trabajabilidad y encolabilidad del pino oregon". Seminario de Titulo, Universidad del Bío Bío. Depto. de Ing. en Maderas.

Pruzzo Valencia, Fulvio, 1993. "Estudio comparativo de uniones encoladas". Proyecto de Titulo, Universidad del Bío Bío. Depto. de Ing. en Maderas.

Fernández Cárdenas, Luís – Jara Núñez, Ángel, 1999. "Evaluación de la encolabilidad en paneles unidos de cara con *Eucalyptus globulus*, *nitens* y *regnans*". Seminario de Titulo, Universidad del Bío Bío. Depto. de Ing. en Maderas.

Briones Bruna, Félix – Núñez Monsalves, José, 2002. "Trabajabilidad y encolabilidad en madera de *Eucalyptus regnans*". Seminario de Titulo, Universidad del Bío Bío. Depto. de Ing. en Maderas.

INFOR

INFOR

CAPÍTULO IV

REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES

Luis Machuca S. [13]
Gonzalo Hernández C. [14]

1 INTRODUCCIÓN

La aplicación de un revestimiento superficial sobre la madera persigue tres objetivos: Protegerla contra el deterioro provocado por agentes bióticos y abióticos, mejorar o realzar su apariencia, y cubrir algunos de sus defectos naturales.

En términos generales, los revestimientos se clasifican de acuerdo a su uso final en interiores y exteriores. Los primeros son utilizados en elementos que no están expuestos directamente a las condiciones medio ambientales, como por ejemplo tabiques interiores y muebles, en tanto los segundos presentan una aplicación directa a la luz solar (UV) y lluvia.

En el caso de los revestimientos para muebles, su aplicación se realiza a través de un proceso denominado de lacado, método que considera un sellador y una laca. Normalmente el sellador se aplica 2 veces, la primera para levantar la fibra y la segunda para sellar las imperfecciones resultantes del primer tratamiento. Las lacas, en tanto, tienen por objetivo adicionar brillo y protección, pudiendo emplearse en una o más aplicaciones.

El objetivo de este estudio es evaluar el comportamiento de 2 esquemas de lacado sobre madera de canelo (*Drimys winteri* Forst.), considerando 2 tipos de corte (radial, tangencial) y 2 tipos de aplicaciones (pistola, brocha).

---

[13] Ingeniero de Ejecución en Maderas, Asesor Externo INFOR.
[14] Ingeniero Civil en Industrias Forestales, Instituto Forestal. Concepción.

INFOR

2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del estudio se seleccionaron dos tipos de lacas y un sellador. Sus características principales se detallan en la Tabla 1.

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS ENSAYADOS.

Producto	Característica
Sellador	Base poliuretano. Bajo brillo, de fácil remoción con lija y efectivo en el levantamiento de fibra.
Laca 1	Base nitrocelulosa. Su característica principal es la dureza. Brillo normal, incolora y de secado rápido (aproximadamente 1 hora para repintado).
Laca 2	Base poliuretano. Su característica principal es la elasticidad. Posee en su formulación un componente acrílico que aumenta su brillo, es incolora y para su preparación se utiliza un catalizador en la proporción 1:1.
Catalizador	Es utilizado por la laca poliuretano. Su función es hacerla reaccionar, promoviendo su fraguado. Es incolora. La variación de la cantidad de catalizador repercute principalmente en el tiempo de secado de la laca y en menor proporción en la flexibilidad de esta.

2.1 Preparación de las probetas

Se prepararon 320 probetas, 160 en corte radial y 160 en corte tangencial, de dimensiones 15 x 100 x 200 mm, acondicionadas a un 12% de humedad, cepilladas y libres de defectos.

La cantidad de probetas se estableció tomando un mínimo de 20 repeticiones por ensayo, de un total de cinco, en donde cuatro de ellos se realizaron sobre una misma probeta.

2.2 Aplicación de sellador y lacas

La secuencia de aplicación utilizada es la que se indica:

- Primera mano de sellador.
- Desbaste con liga de granulometría 400, para eliminar el levantamiento de fibra.
- Segunda mano de sellador.
- Desbaste con lija de granulometría 400, para eliminar las imperfecciones menores.
- Primera aplicación de laca.
- Segunda aplicación de laca.

La aplicación del sellador y lacas se realizó con los métodos tradicionalmente utilizados: pistola pulverizadora de alta presión y brocha (Figuras 1 y 2). En ambos casos la viscosidad de las lacas y sellador fue de 55 segundos, medidos con copa Ford N°4.

INFOR



FIGURA 1
APLICACIÓN CON BROCHA.

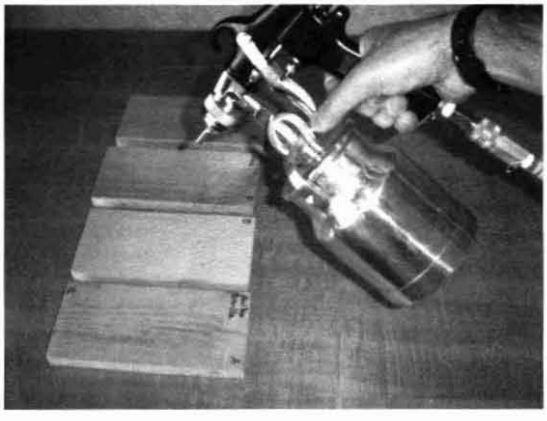


FIGURA 2
APLICACIÓN CON PISTOLA.

2.3 Determinaciones realizadas a los esquemas

Para evaluar el comportamiento de los dos esquemas de lacado estudiados sobre la madera de Canelo, los siguientes ensayos normalizados fueron ejecutados:

2.3.1 Brillo

(ASTM D 523). Esta prueba mide el brillo reflejado por una superficie. Su cuantificación se realizó con un instrumento que envía un haz de luz sobre una superficie, captura el rebote de éste y lo expresa como porcentaje del haz inicial (Figura 3).

Las evaluaciones se realizaron con posterioridad a la primera y segunda aplicación de las lacas.

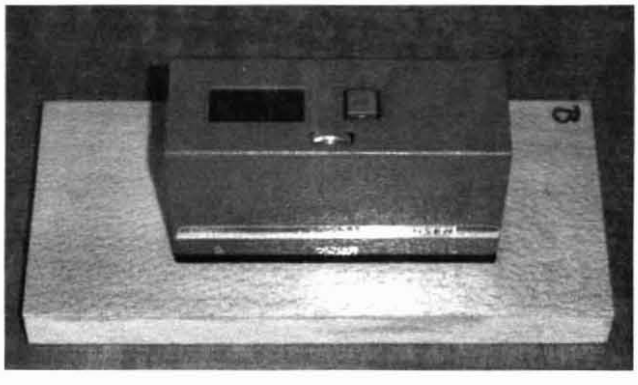


FIGURA 3
MEDICIÓN DEL BRILLO.

2.3.2 Ensayo de adherencia

(ASTM D 4541). Este ensayo determina la fuerza requerida para retirar un taco metálico adherido a la superficie a evaluar (Figura 4). Se considera un buen resultado de adherencia cuando la falla se produce en la madera y no entre el adhesivo y la capa de laca.

Su determinación se realizó una vez aplicada la segunda capa de laca.

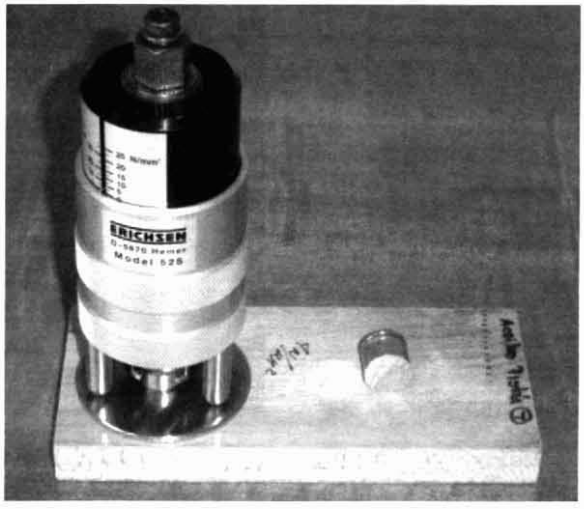


FIGURA 4
MEDICIÓN DE LA ADHERENCIA.

2.3.3 Resistencia a los químicos caseros

(ASTM D1308). Este ensayo evalúa el daño que se produce en una superficie cuando se derraman líquidos caseros sobre ella, como por ejemplo: detergente de vajilla, vinagre, bebida gaseosa, palta (Figura 5).

Su evaluación se realizó a los 15 minutos, 1 y 16 horas de aplicada la segunda capa de laca.

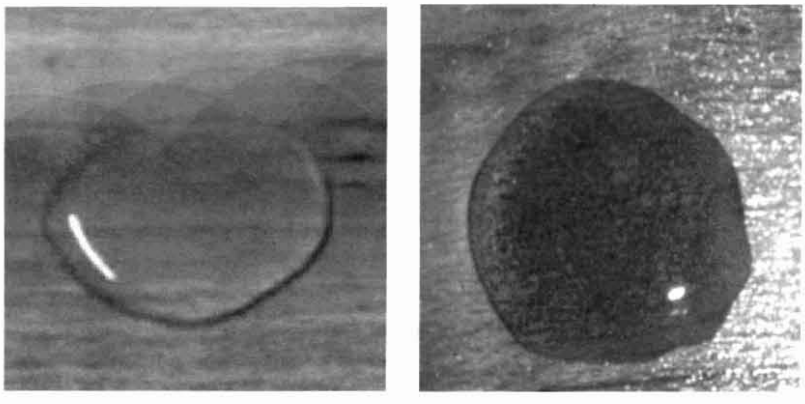


FIGURA 5
MEDICIÓN DE QUÍMICOS CASEROS.

2.3.4 Resistencia a la impresión

(ASTM D2091). Esta prueba mide el nivel de impresión que se produce sobre una superficie cuando es sometida a un ensayo de temperatura (50 °C), tiempo (4 horas) y peso (cilindro de acero de 1.400 gr). Su resultado se expresa en alguna de las cuatro categorías: sin daño, leve, moderado y severo (Figura 6).

INFOR



FIGURA 6
MEDICIÓN DE RESISTENCIA IMPRESIÓN.

Sus mediciones se realizaron a las 12 y 48 horas de aplicada la segunda capa de laca.

2.3.5 Resistencia al rayado

(ASTM D3363). Esta prueba determina la dureza de una película cuando es sometida a la acción de arranque de viruta (raspado) por parte de lápices de grafito (Figura 7).

Para evaluar los resultados, los lápices se agruparon según su dureza en los intervalos que se mencionan en la Tabla 2.

TABLA 2
INTERVALOS DE DUREZA DE LOS LÁPICES.

Tipo de lápiz	Clasificación
6H – 5H – 4H	Muy duros
3H – 2H – H	Duros
F – HB	Medios
B – 2B – 3B	Blandos
4B – 5B – 6B	Muy blandos

Estas evaluaciones se realizaron una vez aplicada la segunda capa de laca.

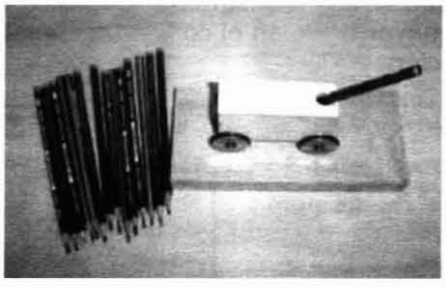


FIGURA 7
MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA AL RAYADO.

INFOR

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Brillo

En las Figuras 8 y 9 se observa que el comportamiento del brillo difiere entre el número de aplicaciones y tipos de cortes de la madera. En ambos esquemas se obtiene mayor brillo en el corte tangencial, debido al mayor ordenamiento de los elementos anatómicos de la madera.

La Figura 8 muestra el comportamiento de las probetas ensayadas con el esquema poliuretano. En la aplicación con brocha se observa un aumento significativo del brillo cuando se hacen mediciones con 1 y 2 capas de laca, debido a que la película formada por la primera capa no es lo suficientemente homogénea, observándose las marcas dejadas por las cerdas de la brocha, aspecto que mejora con la aplicación de una segunda capa.

Durante la aplicación de la primera capa de laca con pistola pulverizadora, inmediatamente se observa una película más homogénea, respecto de la lograda con brocha, logrando un elevado aumento del brillo. Este se incrementa aún más con la segunda capa de laca.

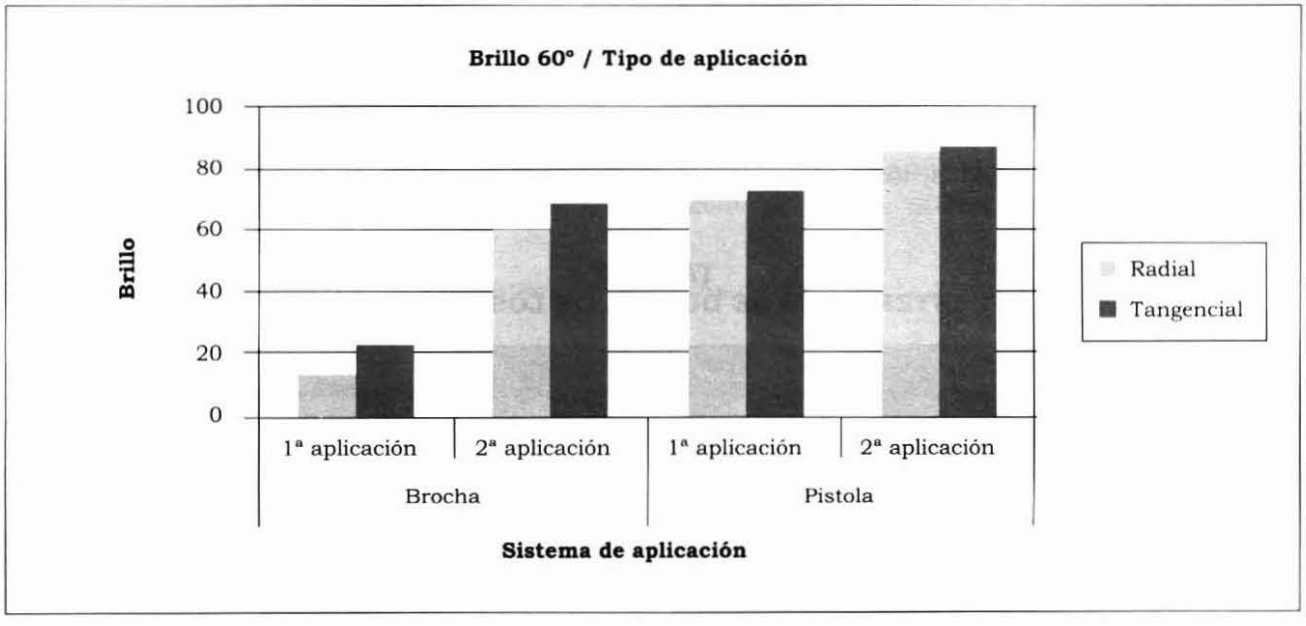


FIGURA 8
BRILLO EN 60°, ESQUEMA POLIURETANO.

La Figura 9 muestra el comportamiento del esquema con laca nitrocelulosa. Al igual que en el esquema anterior se observa un mayor brillo en el corte tangencial, no observándose una diferencia significativa entre tipos de aplicación.

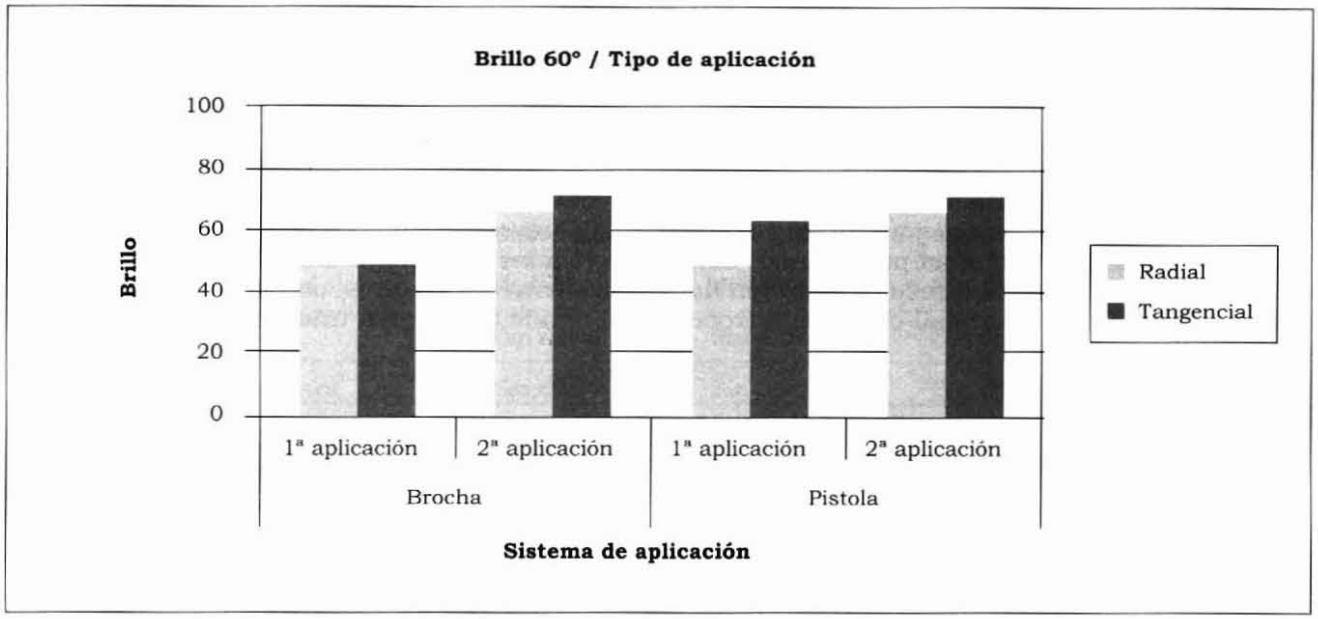


FIGURA 9
BRILLO EN 60°, ESQUEMA NITROCELULOSA.

En la Figura 10 se compara el nivel de brillo final obtenido entre esquemas ensayados, tipos de aplicación y cortes de la madera.

El mayor brillo se obtuvo del esquema poliuretano aplicado con pistola, el tipo de corte no incide en forma relevante. La aplicación con brocha no logra el mismo nivel de brillo, debido a que la película formada no es tan homogénea.

Al analizar el esquema nitrocelulosa, se observa que el brillo logrado es muy similar entre el tipo de aplicación y corte de la madera, indicando con esto que, independiente del corte de la madera o aplicación en este tipo de laca el brillo no varía en forma sustantiva.

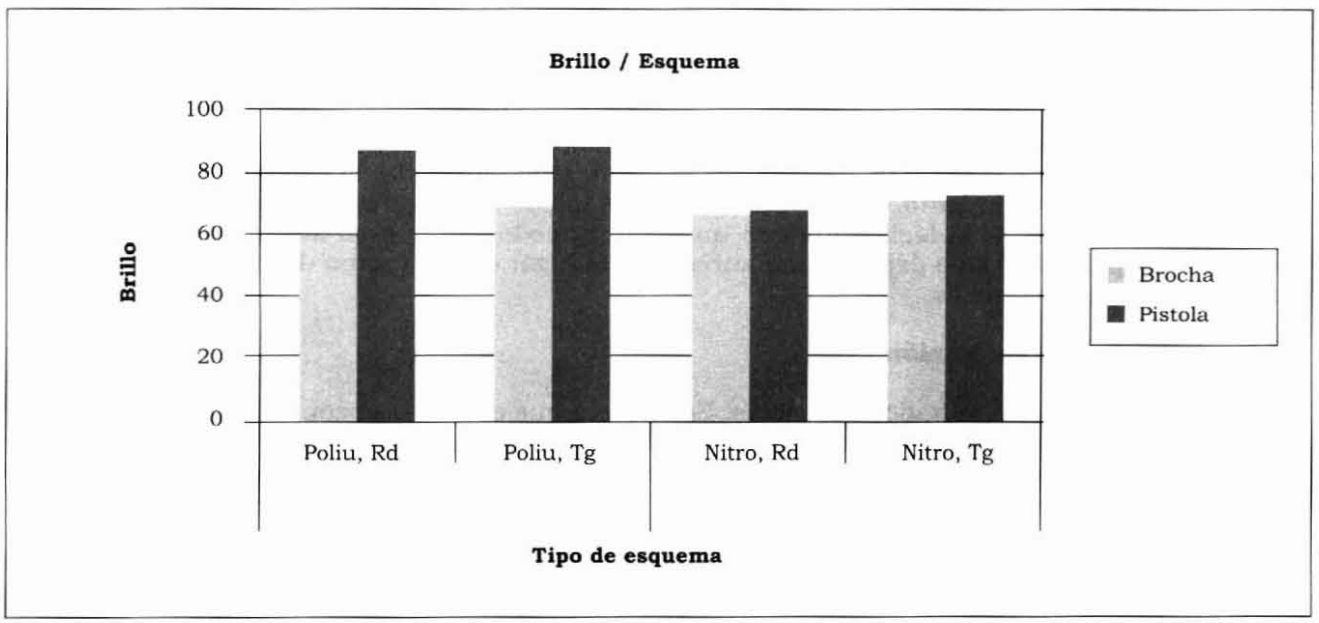


FIGURA 10
COMPARACIÓN DEL BRILLO ENTRE ESQUEMAS.

3.2 Adherencia

La Figura 11 muestra el comportamiento de la adherencia entre planos de corte de la madera, esquemas de lacado y método de aplicación.

La diferencia de adherencia entre los cortes radial y tangencial es producto de la diferente disposición de los elementos anatómicos de la madera, siendo más ordenados y homogéneos en el sentido tangencial, otorgando una mejor superficie de contacto al revestimiento, aspecto que se observa con mayor claridad en el esquema poliuretano. Con respecto a las diferencias entre los esquemas y tipo de aplicación, la adherencia resulta más bien homogénea entre los ensayos, con excepción del ensayo realizado sobre madera radial con laca nitrocelulosa, donde se observa una diferencia entre tipos de aplicación.

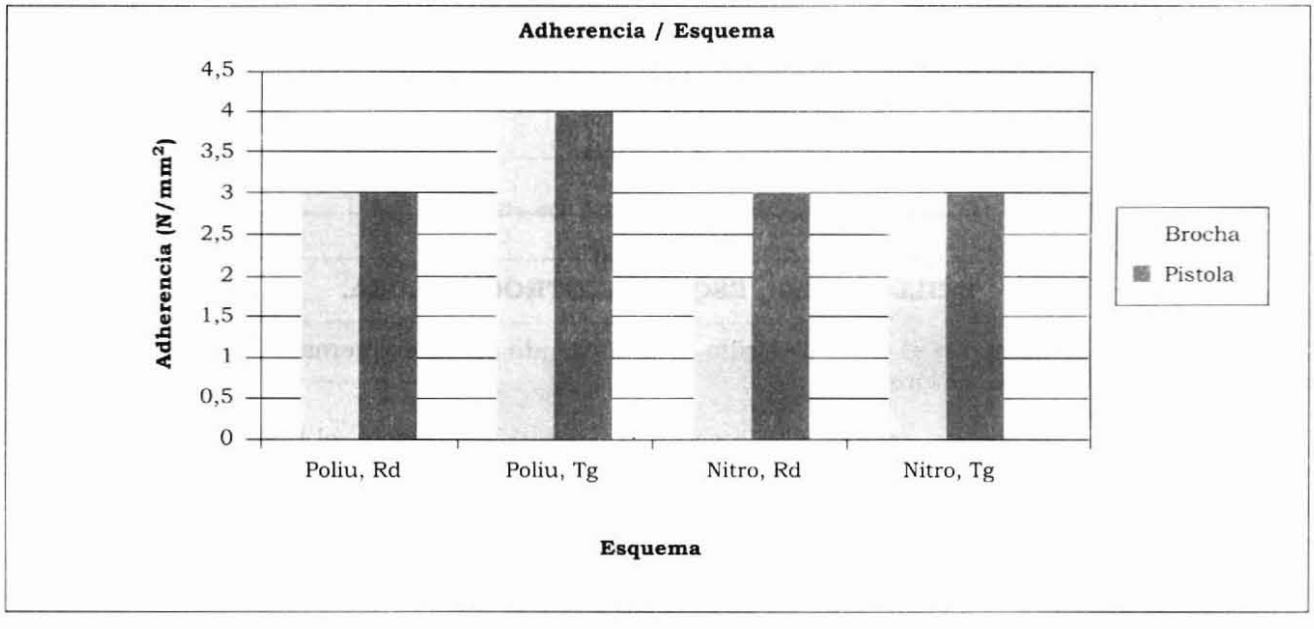


FIGURA 11
COMPARACIÓN DE LA ADHERENCIA ENTRE ESQUEMAS.

3.3 Resistencia a químicos caseros

Este ensayo fue superado sin ningún problema por ambos esquemas, independiente del número de aplicaciones y corte de la madera. Esto es, no se produjeron deterioros ni cambios en al apariencia de la película de revestimiento. Como único efecto se puede destacar una mancha formada por la fruta, la cual fue removida fácilmente con un paño húmedo. En el caso de los líquidos, estos no penetraron la película y solo dejaron una aureola en el lugar donde fueron depositadas, la cual fue removida de manera sencilla.

3.4 Resistencia a la impresión

La Tabla 3 resume los resultados obtenidos. Se observa que el esquema con laca base poliuretano, tanto en probetas radiales y tangenciales, a las 12 horas de curado es afectado por las condiciones del ensayo. Este aspecto puede ser mejorado si se aumenta la cantidad de catalizador al momento de aplicar el producto.

A las 48 horas de aplicados los esquemas en general no muestran daños. Los casos indicados como leve, muestran solo una marca de la textura de la lona, dejada por las fibras de la misma, pero que no alteran la película.

La laca nitrocelulosa no muestra problemas, ya que es un producto de secado rápido (1 hora para repintado).

TABLA 3
RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA IMPRESIÓN.

Resistencia impresión	12 horas de curado		48 horas de curado	
	Brocha	Pistola	Brocha	Pistola
Poliuretano radial	Moderado	Moderado	Sin daño	Leve
Poliuretano tangencial	Moderado	Moderado	Sin daño	Sin daño
Nitrocelulosa radial	Sin daño	Sin daño	Sin daño	Sin daño
Nitrocelulosa tangencial	Sin daño	Sin daño	Sin daño	Leve

3.5 Resistencia al rayado

La Tabla 4 resume los resultados obtenidos en este ensayo. Para cada esquema se informa el intervalo de dureza de los lápices de grafito que produce un arranque de virutas de la capa de laca ensayada.

La laca en base a poliuretano no presentó daños. Este producto posee cierta elasticidad que es capaz de absorber la carga ejercida cuando se traza una línea con lápiz. No es el caso de la película formada por la laca nitrocelulosa, que es afectada por los lápices duros y muy duros.

TABLA 4
RESULTADOS DE RESISTENCIA AL RAYADO.

Esquema	Brocha	Pistola
Poliuretano radial	Sin daño	Sin daño
Poliuretano tangencial	Sin daño	Sin daño
Nitrocelulosa radial	Muy duros	Muy duros
Nitrocelulosa tangencial	Duros	Duros

INFOR

4 CONCLUSIONES

- Desde el punto de vista de la compatibilidad entre la madera y los esquemas de lacado, ésta puede ser calificada como buena. Los dos esquemas estudiados mostraron una buena adherencia.

- De acuerdo con los resultados de los ensayos de medición de brillo, la laca poliuretano lo incrementa al aumentar el número de capas, formando una película homogénea sobre la madera, en especial al aplicarla con pistola. La laca nitrocelulosa también aumenta el brillo con una segunda aplicación, pero no en la misma magnitud que la anterior, el brillo logrado por esta laca no varía con el tipo de corte de la madera y tampoco con el método de aplicación. En resumen el mejor brillo se logra con laca poliuretano aplicada con pistola

- Los resultados de la resistencia a la impresión indican que la laca poliuretano presenta problemas de secado, aún 12 horas después de su aplicación, no así la laca nitrocelulosa.

- Ninguno de los dos esquemas de lacado fue afectado por los químicos caseros.

- La laca nitrocelulosa presenta como ventaja un corto tiempo de secado. Su principal desventaja es su rigidez, ya que cuando es sometida a cargas con elementos de dureza superior se raya con facilidad.

- En cuanto al tipo de aplicación de sellador y lacas, los mejores resultados se obtuvieron con la pistola pulverizadora, logrando la formación de una película homogénea sobre la superficie de madera de canelo.

INFOR

5 REFERENCIAS

Martens, Ch. 1968. Technology of Paints, Varnishes and Lacquers. Edit. R. Krieger. USA.

Lambourne, R. 1999. Paint and surface coatings: Theory and practice. Edit. E. horwood. Chichester. USA

Weismantel, G. E. 1981. Paint Handbook. Edit. Mc Graw-Hill. Book C. USA.

American Society for Testing and Materials, ASTM standards 1982: Paint-tests for formulated products and applied coatings: Part 27

INFOR

INFOR

CAPÍTULO V

CLASIFICACIÓN VISUAL DE LA MADERA (NACIONAL)

Pamela Díaz P. [15]

1 INTRODUCCIÓN

La madera es un material de origen biológico y por lo tanto presenta diferencias importantes en sus propiedades mecánicas, físicas y en menos medida las químicas, situación que se manifiesta entre especies, dentro de una misma especie y en madera proveniente de un mismo árbol.

Al ser procesadas las trozas y convertidas en madera aserrada se originan piezas que presentan características visuales y de resistencia muy diferentes entre ellas.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el aprovechamiento de la madera en trozos de renovales de canelo (*Drimys winteri*) y determinar la distribución de grados visuales de la madera aserrada resultante.

2 METODOLOGÍA

2.1 Materia prima

Un total de 73 trozos fueron utilizados en este estudio. El material experimental fue obtenido de 20 árboles provenientes de la zona de Rupanco, X región, los cuales no presentan manejo silvícola.

[15] Ingeniero Forestal. Asesor externo INFOR.

La madera en trozos cúbico 13,8 m^3 JAS, con una distribución de diámetro entre los 12 y 35 cm, y largo de 3,66 m se muestra en la Figura 1.



FIGURA 1
RECEPCIÓN DE TROZAS DE CANELO.

2.2 Proceso de aserrío

La actividad de aserrío se realizó en las instalaciones de Forestal Santa Ana Ltda.

La madera fue procesada en un aserradero huincha portátil, marca comercial Woodmizer, modelo LT40 HD, diesel de 40 HP. El aserradero opera con huinchas de 1 mm de espesor, alto de 32 mm, paso de 2 mm y dientes trabados.

El proceso de aserrío fue flexible y adecuado a las características de las trozas. La madera aserrada se generó en espesores de 1 y 2 pulgadas.

Para otorgar las dimensiones finales de la madera aserrada se utilizaron una canteadora y una despuntadora (Figuras 2 y 3).



FIGURA 2
FAENA DE ASERRÍO.



FIGURA 3
CANTEADO.

2.3 Requisitos de calidad visual

Los requisitos visuales que debe cumplir la madera aserrada que produce y exporta Forestal Santa Ana Ltda., son los siguientes:

2.3.1 Calidad I-IV (primera a cuarta)

Las maderas que entran en esta categoría son las de mayor valor. Por las características de las piezas, esta madera puede ser utilizada en puertas, ventanas, molduras, pisos y muebles finos.

Para que una pieza sea considerada de esta calidad debe tener las siguientes características:

- Toda la cara totalmente sana y correctamente aserrada.
- Nudos: Puede aceptar 2 nudos pequeños, sanos, y que tengan un diámetro máximo 1/4 de pulgada.
- Partiduras: Puede ser aceptada solo en el exceso del largo.

2.3.2 Calidad V (quinta)

Las piezas consideradas de esta calidad deben cumplir las siguientes condiciones:

- Madera de albura: Se admite hasta un 25 % del total de la pieza.
- Canto muerto: En piezas de entre 5 y 6 pulgadas de ancho, admite una franja de hasta 1/2 pulgada de ancho y hasta 6 pies de largo. En el caso de piezas con anchos superiores, la franja puede ser de hasta una pulgada de ancho por 6 pies de largo.
- Lágrima: Se admite de color tenue claro.
- Nudos firmes: Admite hasta 3 nudos pequeños y firmes de 1/2 pulgada de diámetro, en piezas de 5 a 6 pulgadas de ancho. Para piezas de 8 a 10 pulgadas, los nudos pueden ser de hasta una pulgada de diámetro, con una separación mínima de 20 pulgadas.
- Partiduras: Éstas se admiten si afectan el largo normal hasta 3 pulgadas en cada extremo o 6 pulgadas en uno solo.

2.3.3 Calidad VI (sexta)

Esta madera es considerada de menor calidad, y posee las siguientes características:

- Canto muerto y Hualle: Para piezas con anchos de 5 a 6 pulgadas, se admite canto muerto de 1/2 pulgada de ancho por el largo total de la pieza. Para anchos de 8 a 10 pulgadas, se admite una pulgada de ancho por 6 pies de largo, o bien hasta un 50% del total de la pieza.
- Apolilladura: No debe ser más de un 25% del total de la pieza.
- Azumagadura: Acepta hasta un 25% del total de la pieza.
- Galería de polillas: Se admiten hasta en un 25% del total de la pieza.
- Manchas, apellinaduras y lagrimas: se aceptan de cualquier extensión.
- Nudos: Hasta 3 nudos de 1 1/2 pulgada a cualquier distancia uno del otro sin formar racimos. Esto para las piezas de 5 a 6 pulgadas de ancho, para anchos mayores, 3 nudos de 1 3/4 pulgada a cualquier distancia uno del otro sin formar racimos.
- Partiduras: Se admiten en el largo normal hasta 7 pulgadas en cada extremo o 10 pulgadas en un solo extremo.

2.3.4 Calidad VI-L (sexta leña)

- Albura o Hualle: Se acepta en cualquier dimensión.
- Apolilladura: Se admite siempre y cuando no haya desintegración.
- Azumagadura: Hasta un 50% del total de la pieza.

3 RESULTADOS

3.1 Cubicación de la madera en trozos

Considerando el esquema de corte descrito anteriormente, ingresaron al aserradero un total de 13,8 m^3 JAS en trozos, generando 5,97 Metros Cúbicos (1 m^3 = 42.377" Pulgadas Madereras), lo que significa un aprovechamiento de 43,26 %.

3.2 Parámetros de aserrío y clasificación de madera aserrada

Las calidades de la madera aserrada fueron en mayor porcentaje VI y VI - L, esto debido a los defectos de las trozas (sin tratamiento silvícola).

En la Tabla 1 se informan los volúmenes de madera aserrada obtenida, según calidad.

TABLA 1
VOLÚMENES DE MADERA ASERRADA.

Calidad	Pulgadas madereras	Metros cúbicos
VI	41,6"	0,97
VI - L	211,95"	5,00
Total	252,95"	5,97

- El tiempo de ejecución de las faenas de aserrío, canteo y despunte fue de 8 horas de trabajo.

- Aserrio pulgadas por hora: 31,61" (bajo condiciones normales).

INFOR

4 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir lo siguiente:

- El aprovechamiento de las trozas en el aserrio está en función de la forma y diámetros de éstas.

- Según el estándar de clasificación visual de Forestal Santa Ana Ltda., la madera califica mayoritariamente en la calidad VI-L, con un 83%.

- De acuerdo con el estándar Forestal Santa Ana Ltda., la madera aserrada proveniente de trozos de mayor diámetro y con un bajo porcentaje de defectos califica en mejores calidades.

El aprovechamiento del proceso de aserrio fue de un 43,26%.

INFOR

5 REFERENCIAS

INFOR, 1989. Principios de organización y operación del aserradero. Concepción, Chile. Manual N°16. Santiago, Chile.

NCh 1970/1. Of88. Maderas – Parte 1: Especies latifoliadas – Clasificación visual para uso estructural – Especificaciones de los grados de calidad. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.

INFOR

CAPÍTULO VI

CLASIFICACIÓN VISUAL DE LA MADERA ASERRADA (NHLA)

Gonzalo Hernández C.

1 INTRODUCCIÓN

Para facilitar y regular el comercio internacional de la madera aserrada existen varias normas que permiten su clasificación, ya sea visual o mecánica.

En el caso particular de las maderas duras que se comercializan en los Estados Unidos, el estándar de la Nacional Hardwood Lumber Association, NHLA, permite su clasificación sobre la base de la dimensión y el número de piezas limpias (sin defectos) que se pueden obtener de una tabla.

En general, este estándar clasifica la madera en 6 categorías: primera y segunda FAS, selectas, 1 común, 2 común, 3 común, y 3 común B.

El objetivo de esta experiencia práctica es determinar los rendimientos de la madera aserrada de canelo seco (*Drimys winteri*) cuando es sujeta a una clasificación visual de acuerdo con los requerimientos del estándar NHLA.

2 METODOLOGÍA

Los renovales de canelo utilizados en este estudio provienen de bosques de la X región, los cuales no presentan manejo silvícola.

INFOR

El aserrio de los trozos se realizó en las instalaciones de Ernesto Stuck e Hijos Ltda., aserradero que cuenta con un carro huincha y sierras canteadoras y despuntadoras. Al equipo anterior se agregan un secador de 60 m^3 de capacidad y máquinas diversas para la elaboración de pisos de madera.

Al momento del aserrío, las trozas presentaron un rango de diámetro entre los 20 y 35 cm. Su aserrío privilegió el corte del tipo radial, generando además madera con corte mixto.

El material experimental inspeccionado visualmente, de 1 pulgada de espesor, es el mismo que se utilizó en la práctica de validación industrial de los programas de secado de la madera de canelo.

El contenido de humedad de la madera al momento de inspección visual fue de 14%.

Se clasificaron un total de 334 piezas. De ellas, 67 corresponden a piezas de 1x2; 172 a 1x3; 81 a 1x4 y 14 a 1x5 pulgadas.

Requerimientos básicos de los grados estándar NHLA

Primera y segunda FAS

- Tamaño mínimo de la tabla 6" de ancho x 8 pies de largo.
- Tamaño mínimo de los cortes -4"x5" ó 3"x7 pies.
- Rendimiento de la cara limpia en las unidades de corte: -831/3% ó 10/12 limpio.
- Número de cortes permitidos: En las tablas de 6 a 15 pies la medida de la superficie admitirá un corte adicional si el rendimiento puede ser aumentado a 912/3% en cortes de cara limpia. Admite también piezas de 6" y más anchas de 6 a 12 pies medida de superficie que darán un rendimiento del 97% en 2 cortes de cara limpia de cualquier largo, a todo el ancho de la tabla.

Selectas

- Tamaño mínimo de la tabla -4" de ancho x 6 pies de largo.
- Tamaño mínimo de los cortes. En la cara FAS 4"x5 pies ó 3"x7 pies. En la cara #1 común 4"x2 pies ó 3"x3 pies.
- Rendimiento de cara limpia pies y 3 pies medida de superficie que dará rendimiento de 91 2/3% lado limpio en un corte y el otro lado puede ser o un corte sano de la 1ª y 2ª. (FAS) como se define un corte sano (reverso de selecta sana) o una clase no inferior a #1 común (reverso de selectas #1 común); En piezas de 4 pies y más en medida de superficie –una cara deberá clasificarse con FAS y la cara opuesta deberá definirse como corte sano (selectas – espalda sano) o el lado opuesto de los cortes, deberá ser graduado no por debajo de #1 común (selecta – espalda #1 común). En los cortes FAS y #1 común, los lados opuestos no requieren ser sanos en selectas – espalda #1 común.

#1 común

- Tamaño mínimo de la tabla -3" de ancho x 4 pies de largo.
- Tamaño mínimo de los cortes -4"x2 pies ó 3"x3 pies.
- Rendimiento de la cara limpia -66 2/3% ó 8/12 limpio.
- Número de cortes permitidos –(MS + 1)/3.
- Número máximo permitido 5.
- Tablas de 3 pies a 10 pies MS admitirán un corte adicional si el rendimiento se incrementa a 75% en cortes de cara limpia.

#2 común

- Tamaño mínimo de la tabla -3" de ancho x 4 pies de largo.
- Tamaño mínimo de los cortes -3"x2 pies.
- Rendimiento de la cara limpia -50%, calculado sobre la base MS x 6 unidades.
- Número de cortes permitidos –MS/2.
- Número máximo permitido 7.
- Tablas de 2 pies a 7 pies MS admitirán un corte adicional si el rendimiento se incrementa a 66 2/3% en cortes de cara limpia.

#3 común

- Tamaño mínimo de la tabla -3" de ancho x 4 pies de largo.
- Tamaño mínimo de los cortes -3"x2 pies.
- Rendimiento de la cara limpia -33 1/3% ó 4/12 limpio.
- Número de cortes permitidos, no hay limites.

3 RESULTADOS

El volumen total inspeccionado corresponde a 2.812 m^3.

Las Tablas 1, 2, 3 y 4 detallan los volúmenes y rendimientos de las maderas de 2, 3, 4 y 5 pulgadas de ancho.

La Tabla 5 proporciona los volúmenes y rendimientos totales alcanzados por la madera aserrada de canelo, según requerimientos NHLA.

TABLA 1
RENDIMIENTO Y VOLUMEN MADERA 1X2 PULGADAS

NHLA	CALIDAD						
	1 Y 2 FAS	Selectas	#1 común	#2 común	#3 común	#3 común B	Total
Volumen (m^3)	0	0,0265	0,1696	0,1537	0,0053	0	0,355
Rendimiento (%)	0	7,46	47,77	43,29	1,48	0	

TABLA 2
RENDIMIENTO Y VOLUMEN MADERA 1X3 PULGADAS

NHLA	CALIDAD						
	1 Y 2 FAS	Selectas	#1 común	#2 común	#3 común	#3 común B	Total
Volumen (m^3)	0	0	0,1804	0,4264	0,5822	0,2214	1,410
Rendimiento (%)	0	0	12,79	30,24	41,29	15,68	

TABLA 3
RENDIMIENTO Y VOLUMEN MADERA 1X4 PULGADAS

NHLA	CALIDAD						
	1 Y 2 FAS	Selectas	#1 común	#2 común	#3 común	#3 común B	Total
Volumen (m^3)	0	0	0,0756	0,0972	0,5184	0,1836	0,875
Rendimiento (%)	0	0	8,64	11,10	59,24	21,02	

INFOR

TABLA 4
RENDIMIENTO Y VOLUMEN MADERA 1X5 PULGADAS

NHLA	CALIDAD						
	1 Y 2 FAS	Selectas	#1 común	#2 común	#3 común	#3 común B	Total
Volumen (m^3)	0	0	0	0,0378	0,0882	0,0504	0,176
Rendimiento (%)	0	0	0	21,47	50,11	28,42	

TABLA 5
VOLUMEN Y RENDIMIENTO TOTAL DE LA MADERA ASERRADA SECA DE CANELO

NHLA	CALIDAD						
	1 Y 2 FAS	Selectas	#1 común	#2 común	#3 común	#3 común B	Total
Volumen (m^3)	0	0,0265	0,4256	0,7151	1,194	0,4554	2,812
Rendimiento (%)	0	0,94	15,13	25,43	42,46	16,08	

Ninguna pieza aserrada de canelo seco calificó en la mejor calidad definida por la norma NHLA (1 y 2 FAS).

Un total de 0,455 m^3 de madera aserrada de canelo califica en la peor calidad definidos por la NHLA, representando un 16,08 % del total.

Entre las calidades #2 común y 3 común se concentra el 68% del volumen de madera inspeccionada. El principal defecto que desclasifica la madera de canelo es el canto muerto. Le siguen la arista faltante, nudos, médula y alabeos.

Para incrementar los porcentajes de madera en las mejores calidades que define el estándar NHLA, imprescindible es realizar actividades de manejo de los bosques de canelo, mejorando de esta manera los niveles de madera libres de defectos.

INFOR

ÍNDICE

CAPÍTULO I

SECADO DE LA MADERA 01

1 **INTRODUCCIÓN** 01
2 **METODOLOGÍA** 02
2.1 **Preparación de la madera** 02
2.2 **Diseño experimental** 02
2.3 **Ensayos de secado** 02
3 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN** 04
3.1 **Programas de secado** 04
3.2 **Duración del secado** 08
3.3 **Contracción al final del secado** 09
3.4 **Evaluación de la calidad del secado** 10
3.5 **Ensayos industriales** 12
3.5.1 Contracción al final del secado industrial 14
3.5.2 Evaluación de la calidad del secado industrial 15
4 **CONCLUSIONES** 17
5 **REFERENCIAS** 18

CAPÍTULO II

TRABAJABILIDAD DE LA MADERA 19

1 **INTRODUCCIÓN** 19
2 **METODOLOGÍA** 19
3 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN** 22
3.1 **Densidad y número de anillos por pulgada** 22
3.2 **Cepillado** 23
3.3 **Moldurado** 25
3.4 **Taladrado** 27
3.5 **Escopleado** 27
3.6 **Torneado** 28
3.7 **Lijado** 28
4 **CONCLUSIONES** 30
5 **REFERENCIAS** 31

CAPÍTULO III

ENCOLABILIDAD DE LA MADERA 33

1 **INTRODUCCIÓN** 34
2 **METODOLOGÍA**
2.1 **Ensayo para uniones laminares** 34
2.2 **Ensayo para uniones dentadas** 36
3 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN** 38
3.1 **Uniones Laminares** 38
3.2 **Línea de cola cepillada (z=2, MPP=12,5)** 38

INFOR

3.3 Línea de cola cepillada (z=4, MPP=25) 39
3.2 Línea de cola lijada (GL 80-120) 40
3.5 Uniones Dentadas 41
4 CONCLUSIONES 42
5 REFERENCIAS 43

CAPÍTULO IV
REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES 45

1 INTRODUCCIÓN 45
2 METODOLOGÍA 46
2.1 Preparación de las probetas 46
2.2 Aplicación de sellador y lacas 46
2.3 Determinaciones realizadas a los esquemas 47
2.3.1 Brillo 47
2.3.2 Ensayo de adherencia 47
2.3.3 Resistencia a los químicos caseros 48
2.3.4 Resistencia a la impresión 48
2.3.5 Resistencia al rayado 49
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 50
3.1 Brillo 50
3.2 Adherencia 52
3.3 Resistencia a químicos caseros 52
3.4 Resistencia a la impresión 52
3.5 Resistencia al rayado 53
4 CONCLUSIONES 54
5 REFERENCIAS 55

CAPÍTULO V
CLASIFICACIÓN VISUAL DE LA MADERA (NACIONAL) 57

1 INTRODUCCIÓN 57
2 METODOLOGÍA 57
2.1 Materia prima 57
2.2 Proceso de aserrío 58
2.3 Requisitos de calidad visual 58
2.3.1 Calidad I-IV (primera a cuarta) 59
2.3.2 Calidad V (quinta) 59
2.3.3 Calidad VI 59
2.3.4 Calidad VI-L (sexta leña) 59
3 RESULTADOS 59
3.1 Cubicación de la madera en trozos 59
3.2 Parámetros de aserrío y clasificación de madera aserrada 60
4 CONCLUSIONES 61
5 REFERENCIAS 62

INFOR

CAPÍTULO VI

CLASIFICACION VISUAL DE LA MADERA ASERRADA (NHLA) 63

1 **INTRODUCCIÓN** 63
2 **METODOLOGÍA** 63
3 **RESULTADOS** 65

Instituto Forestal 69
INFOR



INFOR
Instituto Forestal



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA



GOBIERNO DE CHILE
CORFO