

Secado artificial de sequoia crecida en Chile (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.)

Kiln drying of sequoia wood grown in Chile (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.)

ROBERTO JUACIDA P., PEDRO MATTHEI S., PETER NIEMZ

Instituto de Tecnología de Productos Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

SUMMARY

A kiln dry essay applying an artificial drying program proposed by Rasmussen (1980) for sawn wood of *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. of 25 mm thickness. The effectiveness of the program was evaluated based on the final moisture contents and the amount and magnitude of defects (such as deformation and cracks) produced during the process. The dimensional variation was also determined.

Timber used for the essays was taken from a patch located at Voipir track, province of Villarrica, IX Region. Seven trees were cut, obtaining a 4 m long log from each one. Timber was sawn with a band saw and cut to scantling of 25 mm x 100 mm x 1.1 m at the Technological Institute of Forestry Products at the Universidad Austral de Chile. Essays took place in an experimental dryer at the Faculty of Forestry Sciences.

The program applied to sequoia produced timber of wood quality. The major frequency of deformations corresponded to bow and spring, followed by a low percentage of twist and cup. Spring was the most disqualifying defect. There were no cracks, except for the knots. There was no evidence of collapse. The average initial moisture contents of timber was 127% and the achieved final was 10.6%. Maximum temperature of dry bulb applied was 65.5°C and the duration of the process was 100 hours (including heating, equalizing and conditioning time).

Key words: sequoia, drying, program, defects, deformations.

RESUMEN

Se aplicó un programa de secado artificial propuesto por Rasmussen (1980) a madera aserrada de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. de 25 mm de espesor crecida en Chile. Se evaluó la efectividad del programa en función del contenido de humedad final y la cantidad y magnitud de defectos producidos durante el proceso, tales como alabeos y grietas. Se determinó además la variación dimensional.

La madera utilizada para los ensayos se obtuvo de un rodal ubicado en el predio Voipir, provincia de Villarrica, IX Región. Se extrajeron 7 árboles, obteniendo de cada uno una troza de 4 m de longitud. La madera fue aserrada con sierra huincha y dimensionada a escuadrías de 25 mm x 100 mm x 1.1 m en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile. Los ensayos se efectuaron en un secador experimental de la Facultad de Ciencias Forestales.

El programa aplicado en madera de sequoia crecida en Chile produjo madera de buena calidad. La mayor frecuencia de defectos correspondió a arqueadura y encorvadura, seguidos en bajo porcentaje por torcedura y acanaladura. Encorvadura fue el alabeo más descalificador. No hubo presencia de grietas, excepto en los nudos. No se evidenció colapso. El contenido de humedad inicial promedio de la madera fue de 127%, y el final logrado de 10.6%. La temperatura máxima del bulbo seco aplicado fue 65.5°C y la duración del proceso fue de 100 horas (incluidos tiempos de calentamiento, equilibrado y acondicionado).

Palabras claves: sequoia, secado, programa, defectos, deformaciones.

INTRODUCCION

Sequoia sempervirens (D. Don) Endl.) ha sido introducida a Chile hace aproximadamente 40 años, procedente de California en la costa oeste de EE.UU. En su lugar de origen sequoia alcanza grandes dimensiones, logrando alturas superiores a 60 m con diámetros promedios entre 1.5 y 2 m (Harrar 1957).

En Chile, en un rodal de 38 años de edad crecido en la zona de Villarrica se midió un diámetro medio cuadrático de 45 cm, una altura media de 30 m y un incremento volumétrico anual superior a 15 m³ por hectárea.

Es un árbol de alto valor ornamental y su madera posee numerosas formas de utilización (Harrar 1957). Los variados usos de su madera y el rápido crecimiento que alcanza el árbol indican que se trata de una especie de gran potencial para Chile, tanto para diversificar plantaciones como para una buena opción económica. Las ventajas de utilizar madera aserrada seca en los procesos de conversión ya han sido reconocidas y bien difundidas.

En Norteamérica existe suficiente información sobre el comportamiento de la madera de sequoia durante el secado, sin embargo en Chile no se han hecho investigaciones al respecto. Debido al cambio de sitio, la especie podría presentar una caracterización distinta en nuestro país, que podría afectar algunas propiedades de la madera. Esto supondría un comportamiento distinto durante el secado.

Según Rendle (1969), árboles de sequoia crecidos en Gran Bretaña poseen una madera comparativamente más liviana en peso, más blanda y de una textura más gruesa.

Debido a las razones enunciadas anteriormente se planificó este estudio con los siguientes objetivos:

- Probar un programa de secado en base al contenido de humedad propuesto por Rasmussen (1980).
- Evaluar la efectividad del proceso en función del contenido de humedad final logrado y contracciones producidas.
- Identificar y cuantificar los defectos que se producen en la madera de sequoia, de acuerdo a un uso final como madera de construcción.

MATERIAL Y METODOS

1. MATERIAL

Caracterización del bosque y la madera. La madera fue extraída de una plantación de sequoia de 38 años de edad ubicada en la zona de Villarrica. Se extrajeron árboles de diámetro similar al diámetro medio cuadrático del rodal, sanos y ubicados en el área media del rodal. De las segundas trozas de cada fuste se aserraron en cortes radiales, tangenciales y mixtos, tanto de albura y duramen tablas de 35 mm x 108 mm x 4 m. De estas tablas se obtuvieron secciones de 25 mm x 100 mm x 1.10 m, por características del secador experimental, como tablas de ensayo.

Equipo. Se utilizó un secador Hildebrandt HB 75/sp de aproximadamente 0.3 m³ de capacidad, provisto de un calefactor eléctrico de generación automática y de un sistema de humidificación constituido por un evaporador calentado mediante el efecto Joule, inducido por un par de electrodos sumergidos en el agua (Kauman y Mittak 1966). Rangos de temperatura entre 25°C y 135°C, con flujo de aire unidireccional de 3 m/s. Además, se utilizaron balanzas analíticas, anemómetro de precisión, diales comparadores y estufa.

METODO

Se consideraron 50 tablas en la confección del castillo sometido al programa de secado. El seguimiento del proceso se hizo en base a 10 tablas distribuidas en el castillo (3 en el nivel superior, 3 en el nivel inferior y 4 en el nivel medio); cinco para las mediciones de alabeos y cinco para la medición de humedad, tensiones y gradiente de humedad.

Una vez preparadas las tablas para el secado se intentó llevarlas a un contenido de humedad de 10%. Para ello se aplicó el programa en base al contenido de humedad propuesto por Rasmussen (1980).

Este programa constó con tres macroetapas:

- Etapa 1: Desde el estado verde hasta un contenido de humedad correspondiente al de saturación de fibras (< 60 a 30%), donde se evitan las temperaturas elevadas.
- Etapa 2: Contenido de humedad próximo al punto de saturación de fibras (30 a 20%), donde el secado no es exigente.

Etapa 3: Contenido de humedad bajo el punto de saturación de fibras y hasta el contenido de humedad final deseado (10%), donde las condiciones de secado son más drásticas.

El control del proceso de secado se realizó a partir del esquema descrito y aplicado por autores tales como Muñoz (1972), Salgado (1974), Bahamondes (1976), Ramírez (1984) y Figueroa (1991).

Para evaluar el proceso y la calidad del secado se hicieron controles antes, durante y después del secado, utilizando las siguientes variables:

A. Contenido de humedad inicial y final según la Norma Chilena NCh 176/1 CR 83.

B. Distribución del contenido de humedad y tensiones mediante secciones estratificadas y probetas de tenedor.

C. Grietas superficiales, internas, en los extremos y rajaduras.

Se calificaron las grietas y rajaduras tomando como referencia la NCh 1970-1 Of. 88 y la pauta aplicada en trabajos anteriores por Muñoz (1972), Ramírez (1984) y Figueroa (1991).

D. Alabeos (acanaladura, arqueadura, encorvadura y tercedura).

Para evaluar el efecto causado por alabeo se aplicó la pauta desarrollada por Pan de Leiva (1995), quien modificó, según el uso final, los valores reportados por Guerrero e Inzunza (1980), quienes anteriormente habían ajustado la NCh 993-E Of. 72 y NCh 992-E Of. 72 a piezas de 110 cm de largo.

E. Contracción, según NCh 176/3 CR 83 (INN 1983).

Para evaluar el deterioro causado por las grietas, rajaduras y alabeos, se utilizó la clave que considera cuatro grados de intensidad, aplicada en trabajos anteriores por Muñoz (1972), Ramírez (1984) y Figueroa (1991).

Niveles	Intensidad
SD (Sin defecto)	0.0
L (Leve)	0.5
LI (Leve intenso)	2.0
I (Intenso)	2.5

La calidad de secado se estimó con la suma ponderada de las medias estadísticas de los defectos evaluados.

Se obtuvo un índice de alabeos y uno de grietas, los que sumados dieron el índice final "I".

Si la suma de las medias entrega un valor hasta 1.0 se está ante una cualidad de secado adecuada, si entre 1.01 y 3.0 es poco adecuada y sobre 3.01 inadecuada. Este valor determinó la calidad final del programa usado, de acuerdo al cuadro 1 de clasificación de calidad y condiciones de secado.

CUADRO 1

Clasificación de calidad y condiciones de secado.
Classification of quality and drying conditions.

Calidad del secado	Suma de las medias
Excelente	0.00
Muy buena	0.00 a 0.50
Buena	0.51 a 1.00
Regular	1.01 a 1.50
Menos que regular	1.51 a 2.00
Defectuosa	2.01 a 3.00
Mala	3.01 a 5.00
Muy mala	más de 5.00

Fuente: Figueroa (1991).

RESULTADOS

1. *Programa aplicado.* En la figura 1 se presentan las cinco etapas seguidas durante el secado. En la primera etapa se calentó el secador durante dos horas y media, aumentándose la temperatura en forma progresiva hasta llegar a la del inicio establecida en el programa.

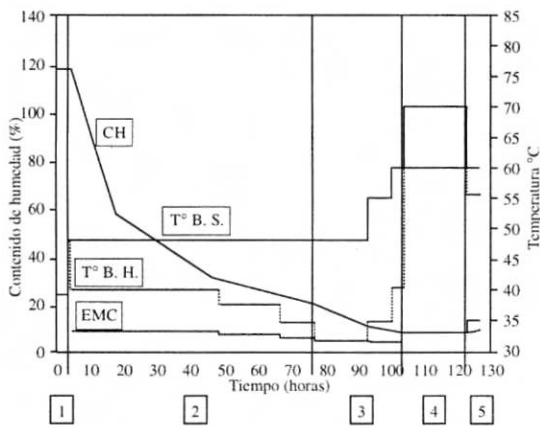
Durante la etapa 2, sobre el punto de saturación de fibras, se mantuvo una temperatura del bulbo seco estable de 49°C. Se partió con una diferencia psicrométrica igual a 8.5°C y se fue aumentando durante los siguientes dos días hasta llegar a 14°C al final de la etapa. Bajo estas condiciones la madera perdió humedad rápidamente, bajando en dos días desde casi 130% hasta 24% CH.

En la etapa 3 de secado, bajo el punto de saturación de fibras, se llegó a una temperatura máxima del bulbo seco de 65.5°C. La diferencia psicrométrica se aumentó hasta alcanzar un valor de 20°C y el cociente de secado se mantuvo cercano a 3. Aunque el secado se hizo más exigente, la madera perdió humedad en forma más lenta.

Los cambios en las condiciones de secado en cada etapa se hicieron, en principio, cuando la ta-

bla muestra el mayor contenido de humedad y se aproximó al valor especificado en el programa. Sin embargo, con la intención de reducir tiempo de secado y debido a que se tenía constancia de que el número de tablas con excesivo contenido de humedad era reducido, normalmente el cambio de etapa se hizo antes de que la muestra más húmeda alcanzara el contenido de humedad exacto según programa.

En la figura 1 se muestra gráficamente la pérdida de humedad que experimentó la madera.



- 1. Calentamiento
- 2. Etapa secado antes PSF
- 3. Etapa seca después PSF
- 4. Equilibrado
- 5. Acondicionamiento

Figura 1. Curva de disminución del contenido de humedad.

Decrease curve of moisture content.

Inicialmente la disminución del contenido de humedad fue muy fuerte hasta alcanzar el punto de saturación de fibras. Un 80% de la humedad se perdió en los primeros dos días de secado. Durante la 5ª etapa se mantuvo una humedad de equilibrio constante de 8% para igualar el contenido de humedad entre las tablas.

Finalmente, en el acondicionamiento se incrementó el contenido de humedad de equilibrio desde 8% a 13%, invirtiéndose el proceso de secado. Se produjo un aumento de la humedad relativa dentro de la cámara que permitió que las tablas homogeneizaran su contenido de humedad a través de su espesor.

2. *Contenido de humedad.* Se propuso un contenido de humedad final de 10% y se alcanzó un 10.6% en promedio. La madera poseía un contenido de humedad inicial promedio de 127.7% con una desviación estándar de 29.5%. El rango de humedades iniciales fluctuó entre 43% y 182%. La pérdida medida de humedad fue de 91%.

No se observaron variaciones en el contenido de humedad final de la madera según su ubicación en el castillo (superior, media o inferior), como consta en Ramírez (1984). El contenido de humedad inicial promedio de la madera fue mayor al aumentar el porcentaje de albura.

El contenido de humedad a través del espesor de la tabla mostró en promedio en el interior un 5% más que en las caras.

3. *Contracción.* La contracción volumétrica promedio fue de 5.12% (rango entre 2.45% y 7.45%), siendo la tangencial igual a 3.3% (rango entre 1.49% y 5.08%) y la radial igual a 1.36% (rango entre 0.51% y 2.49%).

CUADRO 2

Humedad promedio antes y después del secado, según porcentaje de duramen.
Average moisture content before and after drying as a function percentages of heartwood.

% Duramen	Frecuencia (n)	CH antes (%) verde		CH después (%)	
		x	Rango	Prom.	Rango
80 -100	14	100.94	43.74 -135.22	10.41	8.47-15.87
60-79	16	131.16	112.87-173.45	10.07	8.7 -16.46
40-59	9	143.2	105.43-182.14	10.38	7.61-12.78
20-39	1	167.13	167.13	10.5	10.5
0-19	0	-	-	-	-

No se aprecia en el cuadro 3 una tendencia clara de aumento en la contracción volumétrica a mayor porcentaje de albura.

CUADRO 3

Contracción promedio según porcentaje de duramen después del secado.

Average shrinkage according to the percentage of heartwood.

Duramen %	Frecuencia (n)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Volumen (mm)
80-100	14	2.2	2.6	4.8
60-79	16	2.0	3.4	5.5
40-59	9	2.3	2.9	5.1
20 -39	1	2.5	0.5	3.0
0 -19	0	-	-	-

4. *Defectos.* El 92.5% del total de tablas presentó algún tipo de alabeo; sin embargo los valores de deformación correspondieron mayoritariamente al nivel de clasificación mínimo (sin defecto). Sólo el 7.5% de ellas resultó libre de todo tipo de alabeos.

Las deformaciones iniciales de las tablas variaron en el transcurso del secado y no determinaron siempre el alabeo final. El 75.6% de las deformaciones iniciales disminuyó la intensidad luego del secado, el 7.3% la aumentó y el 17.1% mantuvo su nivel.

Encorvadura afectó a un 62.5% de las tablas, siendo el alabeo más descalificador y el causante de que el resultado del programa de secado no fuera clasificado como excelente. No se identificó una razón especial para la aparición de este efecto.

La segunda participación la tuvo arqueadura, afectando a un 52.5%, luego tercedura (12.5%) y finalmente acanaladura que estuvo ausente como defecto.

De las tablas afectadas por encorvadura, el 24% presentó una deformación "leve intensa" y el 8% una "intensa". En el resto de las deformaciones el defecto fue mayoritariamente el mínimo ("sin defecto"), de acuerdo a la pauta de calidad usada.

En el cuadro 4 se muestra el número de tablas afectadas por tipo de alabeo y el índice de calidad para cada nivel, que sumados entregan el índice de alabeos.

No hubo presencia de grietas en las puntas ni superficiales, excepte en los nudos. Aquí el ancho medio de las grietas alcanzó 0.3 mm y el máximo fue de medio milímetro. En todos los nudos grandes (> 2 cm) hubo formación de grietas, siendo el largo y ancho de éstas proporcional al tamaño del nudo. No hubo formación de grietas internas.

El porcentaje de tablas que presentó deformaciones está basado en el total de tablas en cada categoría de porcentaje de duramen. La suma del índice de alabeos más el índice de grietas dio un índice final de secado $I = 0.82$. Este valor indica, según el cuadro 6, que la calidad final del secado fue buena y las condiciones de secado adecuadas.

CUADRO 4

Cuantificación de alabeo.
Quantification of deformation.

Nivel de clasificación	Arquead. n	Encorv. n	Torced. n	Acanal. n	Total * Factor
Sin defecto	39	15	36	40	$130 * 0.0 = 0$
Leve	1	17	3	0	$21 * 0.5 = 10.5$
Leve-intenso	0	6	1	0	$7 * 2.0 = 14$
Intenso	0	2	0	0	$2 * 2.5 = 5$

Fuente: Juacida *et al.* (1986).

$$I = 29.5/40$$

Índice de alabeos $I = 0.74$

CUADRO 5

Cuantificación de grietas y rajaduras.
Quantification of cracks and splits.

Nivel de clasificac.	Grietas		Rajaduras	Total * Factor
	caras	extremos	n	
	n	n	n	
Sin defecto	34	40	40	114 * 0.0 = 0
Leve	6	0	0	6 * 0.5 = 3
Leve-intenso	0	0	0	0 * 2.0 = 0
Intenso	0	0	0	0 * 2.5 = 0

Fuente: Juacida *et al.* (1986).

$$I = 3/40$$

Índice de grietas $I = 0.08$

CUADRO 6

Porcentaje de tablas que presentaron alabeos, según porcentaje de duramen, después del secado.

Percentage of boards that presented deformations, after drying according to the percentage of heartwood.

Duramen	Arqueadura	Encorvadura	Torcedura	Acanaladura
%	%	%	%	%
80-100	21.14	57.1	21.4	0.0
60-79	73.3	71.4	7.1	0.0
40 -59	66.7	77.8	0.0	0.0
20 -39	0.0	0.0	100.0	0.0
0-19	-	-	-	0.0

CONCLUSIONES

El programa propuesto por Rasmussen (1980) permitió secar en buena forma madera de secuoya crecida en Chile. El índice final de secado fue 0.82. Este valor corresponde a un secado de buena calidad y con condiciones de secado adecuadas.

El secado artificial de madera de secuoya para revestimientos exteriores en cortes variados de 25 mm de espesor tuvo una duración de cuatro días desde alrededor de 128% de humedad inicial hasta 10.6% de humedad final, incluyendo tratamientos de equilibrado y acondicionamiento.

Debido a un contenido de humedad inicial muy disparado entre las tablas fue necesario secar a un ritmo más lento que el propuesto y hasta conteni-

dos de humedad finales más bajos. Además, se tuvieron que aplicar períodos de vaporizado, equilibrado y acondicionamiento más prolongados.

En la nivelación del contenido de humedad inicial entre las tablas se redujo más el tiempo total de proceso, secando a un ritmo más lento que prolongando el vaporizado. Con un contenido de humedad inicial más homogéneo entre las tablas se podría reducir la duración del secado de cuatro a tres días.

La madera de secuoya crecida en Chile no presentó un comportamiento distinto durante el secado al evidenciado en renovales de secuoya crecidos en EE.UU. Los resultados obtenidos sobre contenido de humedad inicial, contracción y defectos fueron similares. Sin embargo, el tiempo de secado para la secuoya que crece en Chile fue menor.

La pauta de calidad usada, según la norma chilena en lo referente a encorvadura, considera como deformación intensa una flecha superior a 2 mm de longitud, valor que es muy exigente considerando que el destino final que se le dio a esta madera es estructural. Además, dicha pauta aplica el mismo criterio para madera destinada a muebles.

BIBLIOGRAFIA

- BAHAMONDES, R. 1976. Proposición de un programa de secado artificial de madera de coigüe de Magallanes (*Nothofagus betuloides* Oerst) de hasta 1.5" de espesor, previa aplicación y análisis de tres programas tentativos. Tesis I Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile), 66 pp.
- FIGUEROA, R. 1991. Secado artificial de madera de coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.), previa aplicación de un pretratamiento de inmersión en agua caliente. Tesis, Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile), 68 pp.
- GUERRERO, G., L. INZUNZA. 1980. Comportamiento de tablas de *Eucalyptus globulus* (Labill), creciendo en Colcura sometidas a un programa de secado australiano. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Serie Técnica, Informe de Convenio N° 25 Valdivia (Chile), 16 pp.
- HARRAR, E. 1957. *Hough's encyclopaedia of American Woods*. Nueva York (EE.UU.), 204 pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1972. NCh 992 Of. 72. Madera. Defectos a considerar en la clasificación. Terminología y métodos de medición. Santiago (Chile).
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1972. NCh 993 E Of. 72. Madera. Procedimiento y criterios de evaluación para Clasificación. Santiago (Chile).
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION 1983. NCh 176/1 CR 83. Madera. Determinación de humedad. Santiago (Chile).

- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1983. NCh 176/3 CR 83. Madera. Determinación de Contracción Radial y Tangencial. Santiago (Chile).
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1988. NCh 1970-1 Of. 88. Madera. Determinación de grietas, y rajaduras. Santiago (Chile).
- JUACIDA, R., J. RAMIREZ, L. INZUNZA. 1986. "Antecedentes sobre secado artificial de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*)", *Bosque* 7(2): 103-113.
- KAUMAN, W., G. MITTAK. 1965. Ensayo de secado en coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Informe Técnico N° 25. Instituto Forestal, Santiago (Chile) 25.
- MUÑOZ R. 1972. Ensayos con tres programas de secado artificial en cinco especies nativas latifoliadas. Tesis, Ingeniería Forestal, Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile). 112 pp.
- PAN DE LEIVA, E. 1995. Secado de renovales de raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst). Tesis de Magister Instituto de Tecnología de Productos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile), 103 pp.
- RAMIREZ, J. 1984. Comportamiento de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) frente al secado artificial. Tesis Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile (Chile), 87 pp.
- RASMUSSEN, E. 1980. *Dry Kiln Operator's Manual*. Agric. Handb. 188. USDA. Washington (EE.UU.), 197 pp.
- RENDLE, B. 1969. *World Timbers*. Volume two. North and South America. Londres (Inglaterra), 74 pp.
- SALGADO, S. 1974. Aplicación y análisis de los programas de secado artificial en madera de Lengua (*Nothofagus pumilio* (Kasser)). Tesis, Ingeniería Forestal, Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile), 49 pp.