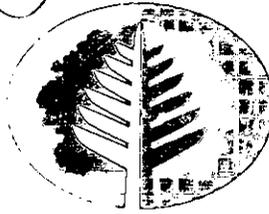


50



**INFOR**  
Instituto Forestal

95F0-13

INFORME FINAL

**SECADO DE PLADERAS DE BAJA PERMEABILIDAD  
(COIGÜE)**

CONCEPCION, FEBRERO DE 1998

777.050.  
E.050.  
1998. -

**INFORME FINAL**

**SECADO DE MADERAS DE BAJA PERMEABILIDAD  
(COIGÜE)**

**CONCEPCION, FEBRERO DE 1998**

## INDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCION.....	2
2. OBJETIVOS.....	3
3. METODOLOGIA.....	3
4. RESULTADOS.....	5
4.1 Objetivo específico 1.....	5
4.1.1 Revisión bibliográfica.....	5
4.2 Objetivo específico 2.....	13
4.2.1 Diseño del experimento.....	13
4.2.2 Tratamientos experimentales.....	13
4.2.3 Material y equipos.....	14
4.2.4 Procedimiento.....	14
4.2.5 Contenido de humedad.....	16
4.2.6 Contracción.....	16
4.2.7 Colapso.....	16
4.2.8 Gradiente de humedad y tensiones.....	17
4.2.9 Alabeos.....	18
4.2.10 Grietas.....	19
4.2.11 Estimación de la calidad del secado.....	19
4.3 Objetivo específico 3.....	20
4.3.1 Preparación de monitores.....	20
4.3.2 Material didáctico.....	23
4.3.3 Asistencia técnica.....	23
4.4 Objetivo específico 4.....	23
4.4.1 Documento "Ensayos de presecado y secado de Coigüe en tablas de 30 mm de espesor.....	23

4.5 Objetivo específico 5.....	23
4.5.1 Comisión de servicios.....	24
5. ANALISIS DE RESULTADOS.....	24
5.1 Velocidad de secado.....	24
5.2 Índice de calidad del presecado y secado.....	28
5.3 Gradiente de humedad y tensiones de secado.....	29
5.4 Recuperación del colapso.....	30
6. CONCLUSIONES.....	31
7. INFORME FINANCIERO.....	32
ANEXO 1 Guía para el control de la madera seca en cámara.....	33
ANEXO 2 Documento Ensayos de presecado y secado de Coigüe en tablas de 30 mm de espesor.....	57

## INDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO 1 Resumen de los ensayos de secado.....	14
CUADRO 2 Intensidad del nivel de tensiones.....	18
CUADRO 3 Gradiente de humedad.....	18
CUADRO 4 Evaluación de alabeos a niveles máximos admisibles.....	18
CUADRO 5 Clasificación del grado de agrietamiento.....	19
CUADRO 6 Clasificación del índice de calidad.....	19
CUADRO 7 Participantes de la capacitación docente.....	21
CUADRO 8 Tiempos de secado según ensayo y tratamiento.....	27
CUADRO 9 Índice de calidad del presecado y secado.....	28
CUADRO 10 Gradiente de humedad y tensiones de secado.....	29
CUADRO 11 Contracción antes y después del reacondicionado.....	30

## INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 Vista del castillo y ubicación de las muestras testigo.....	15
FIGURA 2 Marcación de los puntos de control de las dimensiones.....	16
FIGURA 3 Probetas para los controles de gradiente y tensiones.....	17
FIGURA 4 Curvas de presecado para madera de Coigüe de 30 mm de espesor.....	25
FIGURA 5 Curvas de secado para madera de Coigüe de 30 mm de espesor.....	26

## RESUMEN

Dentro de las maderas nativas chilenas, el Coigüe (*Nothofagus dombeyi*, Mirb. Blume) es la que presenta las mejores expectativas de industrialización, debido a su variedad de usos, disponibilidad, producción y precios. No obstante los factores anteriores, éstas no son acompañadas por el desarrollo de una técnica de secado adecuada, indispensable para su posterior utilización.

El objetivo general del proyecto fue optimizar el proceso de secado del Coigüe, y de esta manera mejorar la calidad de los productos donde su madera interviene. Para alcanzar esta meta se desarrollaron una serie de ensayos a nivel experimental, utilizando pretratamientos con vapor y programas de presecado y secado.

A partir de los resultados obtenidos, se determinó que la madera pretratada durante 4 horas logró aumentar su velocidad del secado en un 40%. La madera alcanzó un grado de calidad definido como de "regular", un gradiente de humedad "leve" y un nivel de tensiones "moderado".

Durante el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo actividades de capacitación (profesores de Liceos Polivalentes), difusión (folleto de divulgación), asistencia técnica (preparación de un proyecto Fontec) y preparación de material didáctico (guía para el control de la madera seca en cámara).

## 1. INTRODUCCION

El Coigüe (*Nothofagus dombeyi* Mirb. Blume), constituye una de las mayores reservas de madera latifoliada de los bosques autóctonos chilenos. Su utilización ha sido lograda con regular éxito por algunas empresas que lo convierten en muebles, parquet, tableros, etc. Sin embargo, en muchos casos tropieza con problemas de secado, lo que ha contribuido a la mala fama que esta especie tiene frente a un número considerable de usuarios madereros.

El secado tradicional del Coigüe contempla un presecado al aire libre, para lograr contenidos de humedad bajo el punto de saturación de las fibras, el cual demanda un período superior a los 7 meses en madera de 1" de espesor, y después se aplica el proceso de secado artificial.

El objetivo general de este proyecto fue optimizar el secado del Coigüe, promoviendo los siguientes aspectos: uso del corte radial para reducir el efecto del colapso y el agrietamiento interno, la aplicación de pretratamientos de corta duración para acelerar el secado, la introducción de la técnica de presecado en cámara como alternativa del secado al aire libre, y el secado final en cámara.

Para el logro de los objetivos planteados se ejecutaron 8 ensayos de secado a nivel experimental. Cada uno de ellos consideró las siguientes etapas: pretratamiento (2 ó 4 horas), presecado (fijo o variable), reacondicionado, secado (lento o rápido) y acondicionado. Al término, cada uno de los ensayos fue avaluado mediante ponderación de las grietas y alabeos. Completaron los ensayos, determinaciones de humedad, contracción, colapso, tensiones y gradiente de humedad.

El trabajo se realizó en estrecha colaboración con dos empresas madereras de la X región (Forestal Neltume Carranco S.A. y Bosques y Maderas S.A.) y la Universidad del Bío Bío. Las empresas pusieron a disposición del proyecto toda la madera utilizada en el estudio, mientras que con la universidad se firmó un contrato de prestación de servicios para la ejecución de los ensayos.

Como productos del proyecto se mencionan: 1) Traducción y adaptación a la realidad nacional de una guía práctica para el control de la madera seca en cámara; 2) Cursos de capacitación en materias del secado de maderas; 3) Preparación y adjudicación de un proyecto FONTEC relacionado con el secado y trabajabilidad de maderas de baja permeabilidad (Eucalipto); 4) Preparación de un documento divulgativo conteniendo materias del proyecto; 5) Actividades de perfeccionamiento profesional; 6) Programas de presecado y secado aplicados y evaluados a nivel experimental.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto fue optimizar el proceso de secado del Coigüe, por medio de la eliminación del proceso de secado natural de la madera aserrada, por la reducción de la presencia del colapso y otros defectos propios del secado (grietas, alabeos, tensiones).

Para la consecución del objetivo propuesto, el proyecto buscó innovación a través de las siguientes actividades:

- a) Establecimiento base de información respecto a pretratamientos extractivos, presecado y secado de la madera de Coigüe.
- b) Aplicación de pretratamientos extractivos y evaluación de programas de presecado y secado.
- c) Preparación de monitores nacionales en aspectos del secado de madera, en particular, lo relacionado con las maderas de baja permeabilidad, preparación de material didáctico, además de asistencia técnica relacionada.
- d) Acciones de difusión, dando especial énfasis a publicaciones técnicas relacionadas con aspectos del proyecto.
- e) Perfeccionamiento profesional del Jefe de Proyecto en el área del secado de la madera.

## 3. METODOLOGIA

Entre Octubre de 1995 y Febrero de 1998, se ejecutaron una serie de actividades asociadas con diversos objetivos del proyecto. Estas se desarrollaron con la colaboración de instituciones de educación superior, empresas vinculadas a la industria del aserrío, asesores nacionales y centros de investigación internacional.

### 3.1 Establecimiento base de información respecto a pretratamientos extractivos, presecado y secado de la madera de Coigüe.

Recopilación de antecedentes a nivel nacional e internacional respecto a pretratamientos extractivos, presecado y secado de la madera de Coigüe. Como fuentes de información se recurrió a bibliotecas nacionales (Universidad de Chile, Universidad Austral, Universidad del Bío Bío, Instituto Forestal) y centros de investigación en el exterior (Träteck de Suecia).

### 3.2 Aplicación de pretratamientos extractivos y evaluación de programas de presecado y secado.

En cada uno de los 8 ensayos ejecutados se realizaron las siguientes acciones: Selección en terreno de los árboles de interés; aserrío de las trozas seleccionadas (corte radial); determinación de las propiedades físicas de la madera (densidad y contenido de humedad); aplicación de un pretratamiento extractivo con vapor, con duración de 2 ó 4 horas; aplicación de un programa de presecado, de condiciones fijas o variables; aplicación de un programa de secado, de condiciones lentas o rápidas; evaluación de la calidad del presecado y presecado (grietas, alabeos, gradiente de humedad, tensiones, colapso).

Para colaborar en el desarrollo del proyecto, el cual no pudo ser cubierto en su totalidad con su personal de planta, el Instituto contrató los servicios y asesoría técnica de la Universidad del Bío Bío. La firma del contrato se realizó el 02 de Noviembre de 1995.

3.3 Preparación de monitores nacionales en aspectos del secado de madera, en particular, lo relacionado con las maderas de baja permeabilidad, preparación de material didáctico, además de asistencia técnica relacionada.

Para producir un efecto multiplicador de los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del proyecto, se encontró que un buen camino para extender este accionar son los Liceos Polivalentes que tienen en marcha carreras de técnicos madereros. La asistencia técnica, basada en la experiencia del secado del Coigüe, se entregó a través de la preparación de un FONTEC orientado al secado de maderas de baja permeabilidad (Eucalipto).

A través de las actividades de capacitación, se detectó la necesidad de generar una publicación orientada al control de la madera seca en cámara. Para este logro, se utilizó el convenio de colaboración existente con el Trätek de Suecia para adaptar a la realidad nacional una guía práctica para el control de madera seca en cámara, confeccionada por el personal de este centro de investigación. Esta adaptación a la realidad nacional fue preparada por el docente universitario, Señor Misael Gutiérrez D.

3.4 Acciones de difusión, dando especial énfasis a publicaciones técnicas relacionadas con aspectos del proyecto.

Al momento de realizar la revisión bibliográfica, se detectó la necesidad de generar un documento divulgativo orientado al secado de esta especie, que proporcionará una alternativa al proceso que actualmente se practica. El documento elaborado fue distribuido a los Liceos Polivalentes de la región del Bío Bío, además de empresas madereras del país.

3.5 Perfeccionamiento profesional del Jefe de Proyecto en el área del secado de la madera.

El período de desarrollo del proyecto fue de gran importancia en los aspectos de capacitación del profesional. A la toma de experiencia local adquirida en la fase de

ejecución del mismo, se agregó el beneficio obtenido del Convenio de cooperación firmado (10/6/95) entre el Instituto Forestal (INFOR) y el Instituto Sueco de Investigación en Tecnología de Madera (TRÄTEK).

En el marco de este programa se previó el intercambio de profesionales. Es así como entre el 9 y 16 de Junio de 1996 se desarrolló la visita del experto del TräteK en materias de secado, Señor. Jarl Gunnar Salin. Durante este período el profesional sueco adquirió información acerca de los proyectos de INFOR en materias de su interés, además de realizar visitas de conocimiento a instalaciones industriales ubicadas entre la VIII y X regiones del país.

En Sesión Ordinaria N°374 del 21 de Abril de 1997 (Acuerdo N°1007; Oficio N°1), el Consejo Directivo del INFOR autorizó la Comisión de Servicios a Suecia del ingeniero civil en industrias forestales, Señor Gonzalo Hernández C., la cual se llevó a efecto entre el 09 y 25 de Mayo de 1997.

#### 4. RESULTADOS

**4.1 Objetivo específico 1:** Establecimiento base de información respecto a pretratamientos extractivos, presecado y secado de la madera de Coigüe.

Actividad: Revisión Bibliográfica.

##### 4.1.1 Revisión Bibliográfica

Una de las especies forestales más comunes del bosque nativo chileno es el Coigüe, (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerstedt), perteneciente a la familia Fagaceae. Este árbol representa a los *Nothofagus* siempreverdes y habita en muy diferentes sitios, siendo su distribución natural el sur de Chile y Argentina. En el país abunda entre los 35° y los 45° latitud sur, encontrándose tanto en la Cordillera de la Costa, como en el macizo andino y el Valle Central (Cuevas, 1983).

El madera de Coigüe es de color café claro heterogéneo, con bandas tenues de tintes rosados, verdosos y amarillentos. La madera de albura es poco diferenciada del duramen aunque algo más clara. Puede presentar un duramen falso con vetas pardas oscuras y de distribución irregular (Díaz-Vaz et al., 1986). La madera madura es semipesada, con una densidad básica cercana a los 520 kg/m<sup>3</sup> como promedio (Ressel y Welling, 1987; Díaz-Vaz y Poblete, 1991; Poblete y Figueroa 1992; Ananías et al. 1996a). Es fácil de trabajar y su duramen se considera suficientemente resistente contra el ataque de hongos o insectos. Es considerada una madera apropiada para la construcción de obras mayores, tales como puentes. En la construcción de viviendas se utiliza en vigas, pie derechos, techumbre, pisos, parquet y revestimientos interiores. También se emplea en la fabricación de muebles, envases, juguetes, toneles y mangos de herramientas. En la industria de tableros se usa foliada como chapa decorativa y,

especialmente, debobinada en contrachapados. Igualmente, se utiliza en soporte de techumbres de minas y estructuras en general, postes de transmisión, durmientes y embarcaciones. Como leña ofrece un buen poder calorífico y es recomendable para producir carbón activo (Lignum, 1992).

No obstante lo anterior, su utilización se ve limitada fundamentalmente debido a la contracción excesiva e irregular producida por el colapso, lo cual ha contribuido a darle la reputación de ser una de las especies madereras que en el secado ocasiona las mayores pérdidas (Kauman y Mittak, 1966). La causa principal de las dificultades del secado del Coigüe se debe a su baja permeabilidad, producto de la presencia de tilosis en casi todos los vasos y otras incrustaciones entre las cavidades celulares (Ressel y Welling, 1987). De esta forma, el secado de la madera aserrada de Coigüe es considerado como difícil o muy difícil (Kauman y Mittak, 1964; Kauman y Mittak, 1966; Rosende y Bluhm, 1966; Ressel y Welling, 1987; Peredo y Figueroa, 1992).

### *Secado convencional*

Kauman y Mittak (1966), realizaron una serie de ensayos para evaluar la calidad final de la madera de Coigüe, de 1 pulgada de espesor, en función de 9 tratamientos experimentales. En la evaluación de los defectos (grietas y alabeos) consideraron la intensidad de éstos, agrupándolos en ciertos niveles de magnitud (ausente, liviano, regular a fuerte, intenso). Seguidamente, a cada uno de ellos le asignaron un factor de ponderación que les permitió determinar un índice de calidad individual. La calidad del secado la estimaron como la suma estadística de los defectos anotados, clasificándola a su vez en una escala de referencia que pasa desde una condición "excelente" hasta una condición "muy mala".

El secado realizado en un galpón, que admitía la libre circulación de los vientos, pero protegía los castillos de la lluvia, determinó que para Valdivia el secado al aire desde verde hasta un 10% de contenido de humedad (CH) final requiere de 8 a 9 meses. La calidad del secado obtenida en el ensayo fue definida como "buena".

Las cuatro combinaciones de secado al aire libre con secado en cámara demandaron de 6 a 7 meses antes de alcanzar un 10% de CH final. El secado al aire libre se interrumpió cuando la madera alcanzó un CH del 25%. El secado en cámara tomó, para los diferentes programas seguidos, entre 1,5 y 5 días de aplicación. En los ensayos ejecutados la calidad obtenida fue evaluada como "buena".

Los ensayos de secado realizados enteramente en secador, desde condición verde hasta obtener un 12% de CH final, tomaron entre 9,5 y 37 días, dependiendo de la rigurosidad del programa utilizado. La calidad del secado obtenida fue estimada como de "buena" a "regular". Durante la práctica del secado artificial se consideró la aplicación de un reacondicionado a un 17% de CH, el cual tuvo por objetivo la recuperación del colapso.

Recomiendan Kauman y Mittak, para aquellas maderas susceptibles de colapso, no exponerlas a temperaturas superiores de 60 °C, sino hasta que alcancen una humedad inferior al 30% en el centro de las tablas, y una humedad promedio inferior a un 25%. Señalan, además, que un reacondicionamiento de 4 horas con madera a un 17% de humedad, es esencial para recuperar el colapso y eliminar deformaciones y tensiones de secado. Un presecado al aire, seguido por un tratamiento en secador, resultaría probablemente el procedimiento más económico.

En el estudio mencionado resultó difícil obtener, con probetas de largo reducido (1,10 m), una buena estimación de los defectos del secado y las ventajas reales que se consiguen al remover el colapso por medio del reacondicionamiento con vapor.

Rosende y Bluhm (1966), complementando estudios de laboratorio anteriores sobre la materia, a nivel industrial realizaron dos programas de secado al aire y dos en secador de compartimiento. Estos últimos, hasta que la madera verde alcanzó un CH de 25%, posteriormente se continuó con un secado al aire libre. Los ensayos de secado al aire, efectuados en Santiago, necesitaron de 7 a 8 meses para alcanzar una humedad de 10%, en tanto, los ensayos de secado en cámara de 7 a 12 días, hasta una humedad de 25%. El posterior secado natural necesitó de 50 a 55 días para lograr una humedad final del 12%. El reacondicionado se realizó cuando la madera presentó un CH de un 10%. Los dos primeros ensayos presentaron una calidad de secado definida como "buena", mientras que los ensayos en cámara una calidad "regular".

Rosende y Bluhm concluyen que las recomendaciones hechas por Kauman y Mittak (1966) para el secado del Coigüe, basadas en diversos ensayos efectuados con probetas pequeñas, resultan aplicables a tablas de largo comercial. El reacondicionamiento con vapor permite obtener excelentes resultados, pues el colapso se elimina casi íntegramente, además de subsanar notablemente las deformaciones, en especial las acanaladuras.

Los autores resaltan la importancia de un acondicionamiento final de la madera, con una humedad relativa alta, para eliminar las tensiones y uniformar la distribución de la humedad.

Ressel y Welling (1987), realizaron tres ensayos de secado artificial utilizando madera aserrada de Coigüe de 32 mm de espesor, sin obtener una calidad aceptable. En los dos primeros ensayos aplicaron programas convencionales con temperaturas menores a los 65 °C. En su tercer ensayo, usaron como medio para secar, vapor casi saturado a una temperatura de 100 °C, provocando un oscurecimiento de la superficie de la madera, además de obtener numerosas grietas internas muy pequeñas.

Ressel y Welling favorecen la idea del presecado del Coigüe verde, ya sea al aire libre o en presecador. En este último caso recomiendan usar condiciones muy suaves, con una baja velocidad del aire y pequeños gradientes de CH en las tablas, hasta alcanzar un

25% de CH. Después, sugieren aplicar un secado artificial, usando inicialmente 50 °C de temperatura con 5 °C de diferencia psicrométrica, y al final la aplicación de 65 °C de temperatura con 15 °C de diferencia psicrométrica.

### **Pretratamientos**

El vaporizado de la madera es una técnica que ha sido explorada para una gran variedad de propósitos. Entre ellas se consideran la reducción del nivel de tensiones de crecimiento (Weik et al., 1984), el aumento de la permeabilidad (Cutter y Phelps, 1986; Mackay, 1971; Chen, 1975), se favorece la estabilidad dimensional (Perking et al., 1959, citado por Chafe, 1990) y el mejoramiento de la penetración de preservantes (Barnes, 1986). El vaporizado también es usado para reacondicionar especies propensas al colapso (Tiemann, 1929; Greenhill, 1935, citado por Chafe, 1990), y en la reducción del tiempo de secado (Campbell, 1961; Ellwood y Erikson, 1962; Haslett y Kininmonth, 1986; Chafe y Ananias, 1996). No obstante que este tipo de aplicación resulta importante para mejorar la utilización de la madera, de acuerdo con varios autores el vaporizado tiene desventajas debido a que puede reducir las propiedades mecánicas de la madera, cuando se utiliza por tiempos prolongados (Campbell, 1961), y puede aumentar la contracción, colapso y la susceptibilidad a rajaduras durante el secado (Kauman, 1961, citado por Chafe, 1990).

Campbell (1961), encontró que el prevaporizado reduce en un 25% el tiempo de secado en madera de *Eucalyptus globulus* de 25 mm de espesor, durante 2 horas a 100 °C. Mediante este pretratamiento es fácilmente removible el colapso, se reducen los gradientes de humedad y produce un oscurecimiento de la madera.

Mackay (1971), observó que el prevaporizado de la madera verde de *Eucalyptus regnans* permite aumentar la difusión del vapor a través de la madera, favoreciendo la recuperación de colapso en un 9 %. Para Alexiou et. al. (1990), quienes trabajaron con *Eucalyptus pilularis* encontraron un aumento en la tasa de secado en el duramen, por efecto de alteraciones en el contenido y disposición de los extraíbles durante el prevaporizado. Al mismo tiempo observaron una reducción del gradiente de humedad y de las tensiones de secado.

Haslett y Kininmonth (1986) analizaron el efecto del pretratamiento de la madera verde de *Nothofagus fusca* para acelerar el secado, ya que el duramen de esta especie seca muy lentamente, aparentemente debido a sus incrustaciones polifenólicas. Indican los autores que un vaporizado inicial disminuyó bastante el tiempo de secado pero produjo muchas grietas internas. Sin embargo, el pretratamiento de madera verde por inmersión en agua caliente a 70 °C, durante una hora disminuyó el tiempo de secado sin producir mucha desclasificación.

Díaz-Vaz y Poblete (1991) determinaron para la madera de Coigüe de 1 pulgada de espesor que la inmersión en agua con temperatura, efectivamente acelera el proceso de

secado. Este tipo de tratamiento produjo un cambio en la coloración superficial de la madera, adquiriendo un color oscuro. Los autores no encontraron diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos con agua caliente, en los casos de rajaduras, arqueaduras y encorvaduras. La situación contraria se presentó en los casos de las torceduras, grietas y acanaladuras. Por otra parte, el pretratamiento no originó cambios en la densidad básica ni en la cantidad de extraíbles. No obstante lo anterior, Ananías et al., (1995) observaron una disminución significativa de la densidad básica en probetas de Coigüe de 30 mm de espesor, cuando éstas fueron pretratadas en agua a 75 °C durante 16 días, debido a una degradación de la pared celular de las fibras a nivel de la lamela media compuesta.

Peredo y Figueroa (1992) aplicaron un programa de secado artificial en madera de Coigüe de 1 pulgada de espesor, pretratada mediante inmersión en agua a 70 °C durante 48 horas. Como resultado se notó una apreciable disminución del tiempo de secado del orden del 35% al comparar con un ensayo testigo, y una reducción bastante significativa del colapso residual. El efecto del pretratamiento sobre la calidad del secado fue leve, y más que una alta intensidad de defectos se presentó una alta frecuencia de ellos, debido principalmente a las grietas en los extremos y torceduras.

Bascour (1995), experimentando con madera de Coigüe de 1 pulgada de espesor, reportó un aumento en la velocidad de secado del 64% en madera pretratada a 45 °C por 24 horas. Esta madera, con densidad básica de 440 kg/m<sup>3</sup>, fue secada desde 150 a 11% de humedad en 11 y 17 días para la madera pretratada y control, respectivamente.

### *Presecado*

Es una técnica que se utiliza para el secado inicial de maderas que necesitan un secado lento para evitar la aparición de defectos. Este tipo de secado se desarrolla en recintos cerrados con componentes básicos similares a los hornos convencionales.

Debido a las bajas temperaturas de operación (menores a 45 °C), un presecador no es adecuado para bajar el contenido de humedad de la madera más allá del 25 a 20%, por lo tanto, cuando se necesitan humedades inferiores, el proceso debe ser completado mediante secado artificial (Tuset y Durán, 1987).

Villar (1984) estudió el secado de la madera de Coigüe de 1 pulgada de espesor utilizando esta técnica. La experiencia consistió en la ejecución de tres ensayos de secado por aire forzado, donde se analizó la influencia de la velocidad del aire en los tiempos de secado y la calidad de la madera. Las velocidades de circulación del aire entre tablas fueron 0,7; 1,5 y 2,7 m/s. La primera y última velocidades de aire indicadas se aplicaron para las condiciones ambientales de la ciudad de Santiago, en los períodos de verano e invierno, respectivamente. Los 1,5 m/s se aplicaron bajo condiciones artificiales del ambiente (humedad y temperatura), simulando las condiciones de verano del primer ensayo. En los ensayos ejecutados, cuando la madera alcanzó un 18%

de humedad, se aplicó un reacondicionado con vapor para reducir la intensidad del colapso, posteriormente se continuó con el secado hasta alcanzar un 12% de CH final. No se consideró la aplicación de un acondicionado final.

Las principales conclusiones obtenidas por Villar señalan: 1) En verano el tiempo de secado requerido para llegar a un 18% de CH final fue de 44 días, en tanto que en invierno, para alcanzar igual CH final, se necesitaron 64 días; 2) En general, la madera presentó poca desclasificación, sin embargo, las tensiones internas de carácter permanente fueron de considerable magnitud, fundamentalmente por la no aplicación de un acondicionado final; 3) El colapso puede reducirse significativamente al aplicar un reacondicionado con vapor. Este mismo tratamiento redujo las tensiones internas de la madera y disminuyó las deformaciones producidas durante el secado, corroborando lo indicado en tal sentido por Rosende y Bluhm (1966), aunque también provocó, en algunas piezas, la aparición de grietas superficiales.

Boone et al. (1988) recomiendan para algunas especies de *Nothofagus*, propensas al colapso y las deformaciones, un presecado al aire libre.

### ***Secado bajo vacío***

Recientemente se ha desarrollado el interés por el secado del Coigüe bajo vacío. Ressel y Welling (1987) realizaron un ensayo de secado con madera de 32 mm de espesor, bajo vacío de 150 mbar de presión absoluta, con una aplicación de temperatura inferior a los 64°C. El ensayo arrojó gran cantidad de grietas internas muy pequeñas y colapso ocasional.

Morales (1994), encontró mejores resultados en el secado bajo vacío para el Coigüe de 30 mm de espesor, debido al menor porcentaje de colapso y el menor tiempo de secado en comparación con el secado convencional.

Cifuentes y Lezana (1996), usando Coigüe de 50 mm de espesor, en un ensayo de secado bajo vacío, lograron una calidad "regular" y un nivel de contracción y colapso "normal" a "alto", igual que las deformaciones. Los autores recomiendan nuevas experiencias utilizando madera presecada al aire.

Casanova y Seguel (1996), secando Coigüe de 38 mm de espesor con condiciones de secado bajo vacío muy rápidas y aplicaciones de vaporizado inicial, intermedio y final, obtuvieron una calidad "regular".

### ***Secado por deshumidificación***

En un estudio realizado por INFOR (1987), no se recomienda el secado del Coigüe utilizando el método por deshumidificación. La presencia de un fuerte colapso y las altas tensiones internas, que no tienen posibilidad de ser reducidas o eliminadas mediante reacondicionamiento, son inaceptables para un posterior uso de esta especie.

## BIBLIOGRAFIA

- ALEXIOU, P.N.; WILKINS, A. P.; HARTLEY, J., 1990. Effect of presteming on drying rate. Wood Anatomy and shrinkage of regrowth *Eucalyptus pilularis*. Wood Sci. Technology. 24:103-110.
- ANANIAS, R. A.; CHAMORRO, C.; DIAZ, C., 1995. Some effects of heating chilean Coigüe in water. Poster IUFRO XX World Congress, Tampere, Finland.
- BASCOUR, M., 1995. Efecto de la inmersión en agua caliente sobre la permeabilidad de la madera de Coigüe. Tesis Ingeniería Forestal. Tecnología de la Madera, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- BOONE, R. S.; KOZLIK, C. J.; BOIS, P. J.; WENGERT, E. M., 1988. Dry kiln schedules for commercial woods: temperate and tropical. General Technical Report FPL-GTR-57, Forest Products Laboratory, Madison, WI, U.S.A.
- CASANOVA, M.; SEGUEL, A., 1996. Secado al vacío de Coigüe de 38 mm de espesor. Seminario Titulación, Universidad del Bío Bío, Concepción, Chile.
- CAMPBELL, G. S., 1961. The value of presteaming for drying some susceptible *Eucalyptus*. Forest Products Journal. 11(8):343-347.
- CHAFE, S. C., 1990. Effect of brief presteaming on shrinkage, collapse and others wood water relationships in *Eucalyptus regnans*. Wood Science Technology. 24:311-326.
- CHAFE, S. C.; ANANIAS, R. A.; 1996. The effect of pre-steaming on moisture loss and internal checking in high -temperature- dried boards of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus regnans*. Journal of the Institute of Wood Science (Aceptado para publicación).
- CHEN, P. Y., 1975. The effect of steaming time and temperature on the longitudinal permeability of black wolnut heartwood. Wood Fiber, Lawrence, Kaus. VII P218-227.
- CIFUENTES, J. Y.; LEZANA, O. F., 1996. Ensayos de secado bajo vacío de Coigüe de 50 mm de espesor. Seminario Titulación, Universidad del Bío Bío, Concepción, Chile.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1994. Assesment of drying quality of Timber. Pilot Edition (for testing).
- CUEVAS, E., 1983. Maderas Nativas Chilenas de Interés en el Comercio Internacional. Corporación Nacional Forestal, Documento de Trabajo N° 48, Santiago, Chile.

CUTTER, B. E.; PHELPS, J. E., 1986. High-pressure steam drying: Effects on permeability. *Forest Products Journal*, Madison. N36, p19-20.

DIAZ-VAZ, J. E.; POBLETE, H., 1991. Inmersión en agua de madera aserrada de coigüe. *Actas VII Reunión Investigación y Desarrollo de Productos Forestales* 1:241-259, U. Austral, Valdivia, Chile.

DIAZ-VAZ, J. E.; DEVLIEGER, F.; POBLETE, H.; JUACIDA, R., 1992. Maderas Comerciales de Chile. *Colección Naturaleza de Chile, Volumen 4*, Valdivia, Chile.

ELLWOOD, E. L.; ERICKSON, R. W., 1962. Effect of presteaming on seasoning stain and drying rate in redwood. *Forest Products Journal*, Madison. V12, P328-332.

HASLETT, A. N.; KININMONTH, J. A., 1986. Pretreatments to hasten the drying of *Nothofagus fusca*. *New Zeland Journal of Forestry Science* 16(2):237-246.

KAUMAN, W. G.; MITTAK, G., 1966. Ensayos de secado de Coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Informe Técnico N° 25, Instituto Forestal, Santiago, Chile.

LIGNUM, 1992. Ficha Forestal. Junio 1992/7.

MACKAY, J. F., 1971. Influence os steaming on water vapor diffusion in hardwoods. *Wood Science* 16:48-56.

MORALES, M. A., 1994. Comportamiento del colapso en secado por vacío en Coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Tesis, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

I.N.N., 1974. Norma Chilena Oficial N°992. Madera. Defectos a considerar en en la clasificación, terminología y métodos de medición.

I.N.N., Norma Chilena Oficial N°993. Madera. Procedimientos y criterios de evaluación para clasificación.

I.N.N., 84. Norma Chilena Oficial N°176/1. Madera. Determinación de la humedad.

I.N.N., 86. Norma Chilena Oficial N°176/2. Madera. Determinación de la densidad.

INFOR, 1987. Secado por Deshumidificación de Especies Madereras de Interés Comercial. Instituto Forestal, Santiago, Chile.

PEREDO, M.; FIGUEROA, R., 1992. Secado artificial de madera de Coigüe (*Nothofagus dombeyi*). *Bosque* 13(2):45-55.

RESSEL, J.; WELLING, J., 1987. Das Trocknungsverhalten des Holzes Coigüe (1) (2). Holz-Kunststoffverarbeitung 22(2):150-153 (1° parte), 22(3):246-247 (2° parte).

ROSENDE, R.; BLUHM, E., 1966. Ensayos de secado en Coigüe y Ulmo en tablas de largo comercial. Informe Técnico N° 26, Instituto Forestal, Santiago, Chile.

TUSET Y DURAN, 1987. Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilización. Capítulo 12: Secado de maderas.

VILLAR, D., 1984. Secado de madera aserrada de Coigüe (*Nothofagus dombeyi*) mediante aire forzado. Tesis, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

WEIK, B. B.; WENGERT, E. M.; SCHROEDER, J.; BRISBIN, R., 1984. Practical drying techniques for yellow-poplar S-D-R flitches. Forest Products Journal, Madison.

#### 4.2 **Objetivo específico 2:** Aplicación de pretratamientos extractivos y evaluación de programas de presecado y secado.

Actividades: Diseño del experimento, tratamientos experimentales, material y equipos, procedimiento (contenido de humedad, contracción, colapso, gradiente de humedad y tensiones, alabeos, grietas, estimación de la calidad del secado).

##### 4.2.1 **Diseño del experimento**

El diseño experimental del estudio contempló la ejecución de 8 ensayos de secado a escala piloto, según el siguiente plan:

FACTOR	NIVELES
Pretratamiento	2 ( 2 y 4 horas)
Presecado	2 (constante y variable)
Secado	2 (lento y rápido)

##### 4.2.2 **Tratamientos experimentales**

Los ocho tratamientos experimentales estuvieron constituidos por aplicaciones con vapor (pretratamiento, reacondicionado y acondicionado) y por programas de presecado y secado. Estos tratamientos se resumen en el Cuadro 1.

**Cuadro 1**  
**Resumen de los ensayos de secado**

HUMEDAD PROMEDIO DE LA MADERA (%)	ETAPA	ENSAYOS Y PROGRAMAS															
		1		2		3		4		5		6		7		8	
		Ts	Th	Ts	Th	Ts	Th	Ts	Th	Ts	Th	Ts	Th	Ts	Th	Ts	Th
Verde	Pretratamiento	90 - 90	90 - 90	90 - 90	75 - 75	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90
Verde - 50 50 - 40 40 - 30 30 - 25 25 - 20	Presecado	35 - 32 constante	35 - 32 constante	35 - 32 38 - 32 40 - 32 43 - 32 45 - 32 variable	35 - 32 38 - 32 40 - 32 43 - 32 45 - 32 variable	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante	35 - 32 35 - 32 constante
20	Reacondicionado	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90
25 - 20 20 - 17 17 - 14 14 - 11 11 - 08	Secado	40 - 33 46 - 38 53 - 38 58 - 38 58 - 38 lento	44 - 40 49 - 44 55 - 44 60 - 44 65 - 44 rápido	40 - 33 46 - 40 53 - 44 58 - 44 58 - 44 lento	44 - 40 49 - 44 55 - 44 60 - 44 65 - 44 rápido	40 - 33 46 - 38 53 - 38 58 - 38 58 - 38 lento	44 - 40 49 - 44 55 - 44 60 - 44 65 - 44 rápido	40 - 33 46 - 38 53 - 38 58 - 38 58 - 38 lento	44 - 40 49 - 44 55 - 44 60 - 44 65 - 44 rápido	40 - 33 46 - 38 53 - 38 58 - 38 58 - 38 lento	44 - 40 49 - 44 55 - 44 60 - 44 65 - 44 rápido	40 - 33 46 - 38 53 - 38 58 - 38 58 - 38 lento	44 - 40 49 - 44 55 - 44 60 - 44 65 - 44 rápido	40 - 33 46 - 38 53 - 38 58 - 38 58 - 38 lento	44 - 40 49 - 44 55 - 44 60 - 44 65 - 44 rápido	40 - 33 46 - 38 53 - 38 58 - 38 58 - 38 lento	44 - 40 49 - 44 55 - 44 60 - 44 65 - 44 rápido
< 10	Acondicionado	90 - 90	90 - 90	75 - 75	75 - 75	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90

Ts, Temperatura de bulbo seco (°C)

Th, Temperatura de bulbo húmedo (°C)

### 4.2.3 Material y equipos

El material experimental se obtuvo de la primera troza de árboles de Coigüe sanos y maduros, de 65 cm de diámetro promedio, provenientes de la localidad de Neltume en la provincia de Valdivia. De cada troza se cortaron piezas cuarteadas de dimensiones nominales de 1" x 5" x 2 m.

Para secar la madera se utilizó el secador experimental construido por el Departamento de Ingeniería en Maderas de la Universidad del Bío Bío, ubicado en Concepción. Esta unidad, construida íntegramente en aluminio, con una capacidad de 0,25 m<sup>3</sup>, en general, no presentó ninguna dificultad para alcanzar las temperaturas y humedades relativas planificadas para disminuir en contenido de humedad de la madera. La calefacción y humidificación del horno se realizó con vapor de baja presión.

### 4.2.4 Procedimiento

En cada ensayo se prepararon 36 piezas de las dimensiones señaladas. En los ensayos 1, 6, 7 y 8 se aplicó un vaporizado inicial (pretratamiento) a las 36 piezas que componen la carga, en tanto, en los ensayos 2, 3, 4 y 5 se consideró la vaporización solamente al 50% de ellas. Las piezas restantes fueron mantenidas como testigos.

Para el pretratamiento se empleó un ambiente saturado a una temperatura de 90 °C. Esta temperatura fue utilizada en todos los ensayos, a excepción del cuarto ensayo, donde la temperatura fue reducida a 75 °C.

En los cuatro primeros ensayos el pretratamiento tuvo una duración de 2 horas, en los siguientes se aplicó durante 4 horas. Posterior a la primera aplicación de vapor, la madera fue enfriada y preparada para el presecado. En este caso las piezas fueron encastilladas con listones separadores de 10x30x510 mm. Cada castillo consistía de 3 piezas en el ancho y 12 corridas en altura, incluyendo las 4 muestras seleccionadas para seguir el contenido de humedad y la contracción (Figura 1).

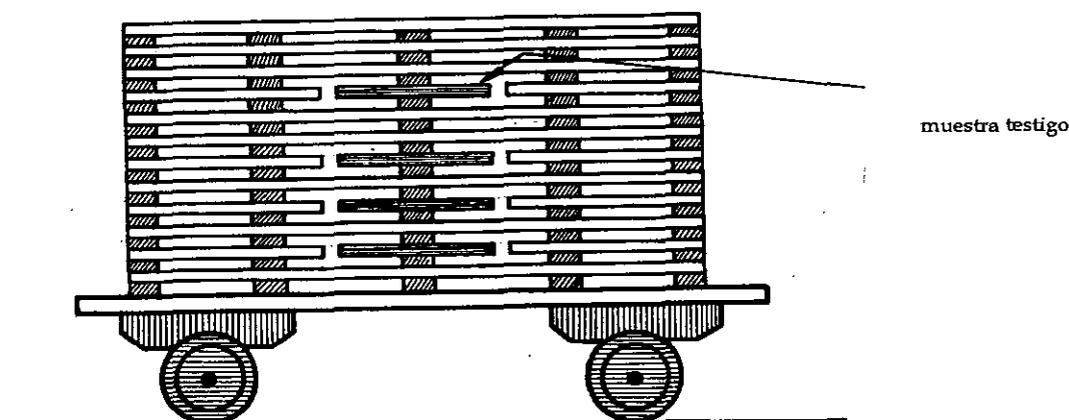


Figura 1: Vista del castillo y ubicación de las muestras testigo

En el presecado fueron utilizadas dos modalidades de secado. Se consideró un presecado "constante", donde las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo permanecen fijas durante todo el proceso, y uno "variable", donde las condiciones de secado se ajustaron según el contenido de humedad de la madera. Con ambos programas se llevó la madera desde una condición verde, hasta un 20% de humedad final.

Al finalizar el presecado, cuando la madera tiene un contenido de humedad promedio de 20% y la muestra más húmeda no más de 25%, la madera fue reacondicionada por 4 horas en ambiente saturado a 90 °C. Luego la madera fue enfriada y preparada para el secado convencional utilizando separadores de 25 mm de espesor. En el secado final fueron empleados dos tipos de programa, siendo el primero de ellos denominado "lento", con temperaturas que no superaron los 60 °C, y el segundo con características "rápidas", con temperaturas mayores a la mencionada previamente.

Inicialmente, cada pieza de madera fue convenientemente sellada en sus extremos (silicona más papel de aluminio), con el fin de simular el comportamiento de piezas de mayor longitud.

#### 4.2.5 Contenido de humedad

La humedad de la madera se determinó al comienzo, cortando simultáneamente secciones de una pulgada entre las piezas y muestras experimentales, las que fueron secadas en estufa hasta peso constante. Las muestras fueron pesadas diariamente para conocer el contenido de humedad actual de la carga y de esta manera conducir los distintos programas de secado. Al término de las etapas de presecado y secado, siguiendo el mismo procedimiento anterior, se realizaron nuevas determinaciones del contenido de humedad.

#### 4.2.6 Contracción

La madera fue medida inicialmente en 4 puntos en el espesor, 3 puntos en el ancho y uno en el largo (Figura 2). Una vez finalizados los procesos de presecado y secado, las piezas fueron nuevamente medidas en los mismos puntos anteriores, determinándose así su variación dimensional.

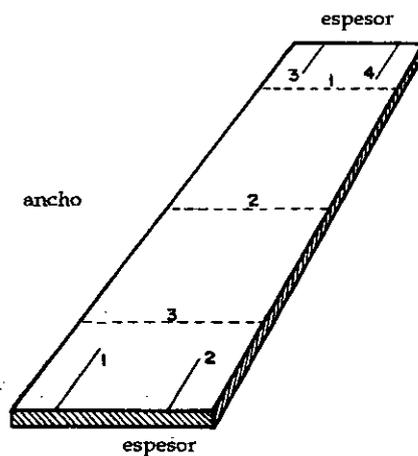


Figura 2: Marcación de los puntos de control de las dimensiones

#### 4.2.7 Colapso

El colapso fue medido mediante el cambio de dimensiones que experimentan las piezas antes y después del reacondicionado, ejecutado cuando las piezas presentan un contenido de humedad del 20%.

#### 4.2.8 Gradiente de humedad y tensiones

Las mediciones del gradiente de humedad y las tensiones de secado se realizaron tanto al término del presecado como del secado. En su evaluación se utilizaron probetas de 1" de espesor, las cuales fueron seccionadas en tres partes iguales (Figura 3a). El gradiente fue proporcionado por la diferencia de humedad existente entre la parte interior y exterior de cada probeta (Figura 3b). El nivel de las tensiones se obtuvo al evaluar la deformación máxima en el centro de las dos piezas externas de cada probeta (Figura 3c).

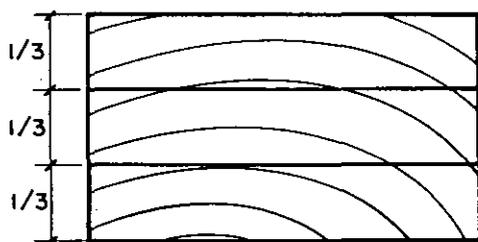


Figura 3a: Seccionado de la probeta para la evaluación del gradiente y tensiones

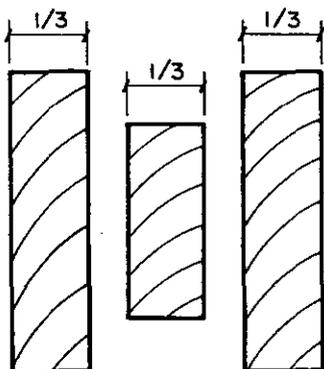


Figura 3b: Probeta del gradiente (interior y exterior)

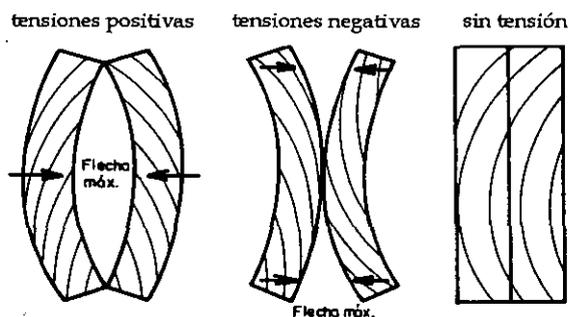


Figura 3c: Comportamiento de las probetas de tensión

Figura 3: Probetas para los controles de gradiente y tensiones

La tensión de secado fue estimada con la siguiente relación<sup>1</sup> :

$$T_{100} = (100/\text{ancho real})^2 * y \text{ , donde:}$$

$T_{100}$  = Tensión de secado (mm)

$a$  = Ancho de la pieza (mm)

$y$  = Flecha entre superficies después de 48 horas (mm)

<sup>1</sup> Fuente: Assessment of drying quality of timber. Commission of the European Communities. 1994

La intensidad de las tensiones presentes fueron clasificadas de acuerdo con la recomendación proporcionada en el Cuadro 2.

**Cuadro 2**  
Intensidad del nivel de tensiones

INTENSIDAD	NIVEL DE TENSION
Sin defecto	0
Leve	1
Moderada	2
Intenso	>2

Fuente: Adaptado de Assessment of Drying Quality of Timber. 1994

De la misma forma, el gradiente de humedad fue evaluado según la recomendación entregada en el Cuadro 3

**Cuadro 3**  
Gradiente de humedad

INTENSIDAD	GRADIENTE DE HUMEDAD (%)
Sin defecto	0
Leve	2
Moderada	3
Intenso	4

Fuente: Adaptado de Assessment of Drying Quality of Timber. 1994

#### 4.2.9 Alabeos

Los alabeos son medidos al inicio y final de los procesos de presecado y secado. Para su medición se utilizó un banco de mediciones y un pie de metro. Se consideró como defecto a los alabeos que aumentaron de magnitud en cada proceso.

En el Cuadro 4 se proporciona la evaluación seguida para cada una de las deformaciones consideradas.

**Cuadro 4**  
Evaluación de alabeos a niveles máximos admisibles

DEFECTO	INTENSIDAD			
	Sin defecto	Leve	Moderada	Intenso
Acanaladura	0	2,6	5,2	> 5,2
Arqueadura	0	5,0	8,9	> 14,0
Torcedura	0	5,8	10,9	> 16,7
Encorvadura	0	1,7	2,8	> 4,5

Fuente: Nch 993 Of72. Procedimiento y Criterios de Evaluación para Clasificación

#### 4.2.10 Grietas

El criterio utilizado en la evaluación de las grietas fue el siguiente: 1) Grietas superficiales: Fueron evaluadas midiendo la profundidad de ellas en el espesor de las piezas, a través de cepillados sucesivos; 2) Grietas internas: Consideró la obtención del porcentaje que relaciona el área total de grietas presentes en la carga y el área total de las piezas que la componen; 3) Grietas en los extremos: Su medición fue efectuada por trozados sucesivos, efectuados en aquellas piezas que las presentan. La intensidad de las grietas se determinó mediante la pauta proporcionada en el Cuadro 5.

Cuadro 5  
Clasificación del grado de agrietamiento

GRIETAS	INTENSIDAD			
	Sin defecto	Leve	Moderada	Intenso
Superficiales (mm)	0	2	5	> 5
Extremos (cm)	0	5	20	> 20
Internas (% carga)	0	2	10	>10

Fuente: Adaptado de Assessment of Drying Quality of Timber. 1994

#### 4.2.11 Estimación de la calidad del secado

Se ponderó la intensidad de cada defecto según una escala de 0 a 2,5 como se indica a continuación.

Defecto:	Ausente : 0	Leve : 0,5
	Moderado : 2,0	Intenso : 2,5

La calidad del presecado fue determinada como la suma estadística de los 4 alabeos mencionados, en tanto, que en la determinación de la calidad del secado fueron considerados los 7 defectos anotados, clasificándola según escala del Cuadro 6.

Cuadro 6  
Clasificación del índice de calidad

NIVEL	INDICE	CONDICIONES DE SECADO
Excelente	0,0	ADECUADAS
Muy buena	hasta 0,5	
Buena	hasta 1,0	
Regular	hasta 1,5	POCO ADECUADAS
Menos que regular	hasta 2,0	
Defectuosa	hasta 3,0	INADECUADAS
Mala	hasta 5,0	
Muy mala	más de 5,0	

Fuente: Muñoz, 1972. Ensayo con tres programas de secado artificial en cinco especies nativas.

### **4.3 Objetivo específico 3:** Preparación de monitores nacionales en aspectos del secado de madera, en particular, lo relacionado con las maderas de baja permeabilidad, preparación de material didáctico, además de asistencia técnica relacionada.

Actividades: Durante el período, la tarea de capacitación fue cubierta a través de tres cursos formales entregados a docentes de los Liceos Polivalentes de la región del Bío Bío. La asistencia técnica, en tanto, se concretó mediante la elaboración de un Proyecto FONTEC orientado a maderas de baja permeabilidad (Eucalipto). La preparación del material didáctico consideró la elaboración de una guía orientada a operadores de equipos de secado.

#### **4.3.1 Preparación de monitores**

Para producir un efecto multiplicador de los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del proyecto, se encontró que un buen camino para extender este accionar son los Liceos Polivalentes que tienen en marcha carreras de técnicos madereros.

Los establecimientos educacionales que se vieron beneficiados con las actividades de perfeccionamiento docente, fueron los siguientes:

1. Liceo B-55, Caupolicán, Los Alamos
2. Liceo B-51, Mariano Latorre, Curanilahue
3. Liceo B-69, Miguel Cerda L., Mulchén
4. Liceo B-68, Nacimiento
5. Liceo C-3 , Domingo Ortíz, Coelemu
6. Liceo A-45, Carlos Cousiño, Lota

Tres cursos de capacitación fueron realizados, cada uno de ellos con una duración de 16 horas. El 50% de este tiempo se destinó a cubrir los aspectos prácticos del secado. Los dos primeros cursos se desarrollaron durante 1996 en instalaciones de los Liceos de Coelemu y Mulchén. El primero se realizó entre el 26 y 27 de Junio, en tanto, la segunda acción se materializó entre el 3 y 4 de Julio. Durante el año 1997, entre el 24 y 25 de Marzo, una actividad similar se llevó a cabo en instalaciones de la Universidad del Bío Bío.

Un total de 22 personas tomaron parte de la capacitación entregada por INFOR. De ellos, 3 profesionales pertenecen al Liceo de Coelemu, 11 al Liceo de Mulchén, 1 al de Nacimiento, 4 al de Curanilahue, 2 al de Lota y 1 a Los Alamos. Un porcentaje de los participantes no corresponden a profesores de materias técnicas, sin embargo, se consideró de importancia su participación debido al alto interés mostrado por orientar sus asignaturas hacia temas de la especialidad. La identificación de las personas capacitadas, según el establecimiento educacional al que pertenecen, se proporciona en Cuadro 7.

Cuatro profesionales tomaron parte como relatores de los cursos impartidos. De ellos, tres corresponden a la Universidad del Bío Bío y uno al Instituto Forestal. Los

profesionales universitarios fueron los Señores: Francisco Vergara, César Moya y Francisco Pérez. El profesional INFOR fue el Señor Gonzalo Hernández.

**Cuadro 7**  
**Participantes de la capacitación docente**

NOMBRE	ESTABLECIMIENTO	PROFESION
Juan Chacana B.	Liceo B-68 Nacimiento	Ingeniero en Maderas
Delia Palacios O. Roxana Azócar P. Rómulo Sepúlveda V.	Liceo C-3 Coelemu	Ingeniero en Maderas Ingeniero en Maderas Jefe Taller
Raúl Faúndez M. Pedro Jiménez V. Carlos Canto C. Samuel Loaiza R.	Liceo B-51 Curanilahue	Técnico Forestal Ingeniero en Maderas Jefe Técnico Encargado Ventas
Luis Muñoz F. Julio Hermosilla M.	Liceo A-45 Lota	Ingeniero Mecánico Técnico Mantencion
Patricia Pérez M. Eva Orellana G. Enrique Pinto A. Wilfredo Pinto G. Erwin Basualto M. Patricio Rojas M. Segundo Parra M. Gilberto Rojas P. Francisco Jara L. Marco Aedo S. Andrés Bolaño L.	Liceo B-69 Mulchén	Profesor Biología Profesor Repoblación Profesor Básico Profesor Básico Profesor Castellano Profesor Silvicultura Profesor Geografía Paradocente Paradocente Profesor Manualidades Prevención riesgos
Carlos Pino M.	Liceo B-55 Los Alamos	Ingeniero en Maderas

Las materias impartidas cubrieron los siguientes tópicos: Estructura microscópica, agua en la vida del árbol, identificación de especies, objetivos del secado, localización del agua en la madera, curvas de secado, métodos de secado, determinación del contenido de humedad de la madera (medidor eléctrico, pesada de la muestra), variaciones dimensionales (contracción, hinchamiento), factores que intervienen en el secado, apilado de la madera, conducción del secado, preparación de muestras testigo, gradiente de humedad, colapso y su recuperación, tensiones de secado, defectos del secado y su medición, programas de secado y presecado, pretratamientos extractivos, mantención del horno, secado bajo vacío, secado por deshumidificación, secado de alta temperatura.

Aspectos de la capacitación impartida se pueden apreciar en las siguientes fotografías obtenidas durante el desarrollo de las actividades.



Participantes en Laboratorio de la U. del Bío Bío



Instrucciones para el armado de una linga de madera

### 4.3.2 Material didáctico

Texto de 20 páginas que aborda todos los aspectos necesarios para un adecuado control de calidad. El documento fue distribuido entre los Liceos Polivalentes y empresas madereras del país.

En Anexo 1 se proporciona la **guía para el control de la madera seca en cámara.**

### 4.3.3 Asistencia técnica

Durante el año 1996, **Bosques Arauco S.A.** solicitó a la Subgerencia de Industrias de INFOR la elaboración de un proyecto FONTEC, considerando tres especies de baja permeabilidad.

El objetivo general del proyecto es evaluar desde un punto de vista técnico, la factibilidad de obtener desde tres especies de Eucaliptos (*nitens*, *globulus* y *regnans*), madera aserrada de propiedades y características adecuadas para la fabricación de partes y piezas de muebles.

Basados en los resultados preliminares obtenidos con el Coigüe, el diseño experimental se realizó en base a pretratamientos extractivos y programas de presecado y secado.

El proyecto fue adjudicado durante 1997 y en la actualidad se desarrolla el séptimo ensayo, de un total de nueve cargas a nivel experimental.

**4.4 -- Objetivo específico 4:** Acciones de difusión, dando especial énfasis a publicaciones técnicas relacionadas con aspectos del proyecto.

Actividad: Elaboración de un documento que contiene los principales resultados de los 4 primeros ensayos a nivel experimental.

**4.4.1 Documento "Ensayos de presecado y secado de Coigüe en tablas de 30 mm de espesor".**

En Anexo 2 se proporciona el documento de difusión con acciones de laboratorio.

**4.5 Objetivo específico 5:** Perfeccionamiento profesional del jefe del proyecto en el área del secado de la madera.

Actividades: Comisión de servicios en Suecia y visitas a centros de producción e investigación.

#### 4.5.1 Comisión de servicios

Durante la comisión de servicios en el extranjero, el profesional del INFOR desarrolló las siguientes actividades: 1) Visitas de conocimiento a los fabricantes de equipos de secado. Entre las empresas visitadas se cuentan WSAB, ABB Flakt Virkestorkning y UTEC, 2) Visitas a centros de producción que operan equipos de secado. Entre las instalaciones visitadas se cuentan fabricas de vigas laminadas, casas prefabricadas y aserraderos, 3) Estadía en laboratorios del Trätek, orientada a desarrollar actividades prácticas para la evaluación técnica de la madera sometida a secado, 4) Recopilación del material didáctico empleado por el Trätek en acciones de capacitación.

### 5. ANALISIS DE RESULTADOS

Se presentan los principales resultados obtenidos a partir de los 8 ensayos a escala piloto.

#### 5.1 Velocidad de secado

Las Figuras 4 y 5 entregan las curvas de presecado y secado de Coigüe de 30 mm de espesor, de acuerdo con los diferentes tratamientos seguidos. Se observa que la duración total del proceso para esta especie, es dependiente del contenido de humedad inicial.

En el Cuadro 8 se indican los tiempos de secado, según ensayo y tratamiento, hasta una humedad final promedio de un 10%. Los valores señalados consideran los tiempos requeridos en el vaporizado inicial, reacondicionado y acondicionado de la madera.

Se puede observar que el menor tiempo de secado fue obtenido en el ensayo 8, el cual contempló un pretratamiento por 4 horas, presecado variable y secado rápido. El tiempo total empleado fue de 701 horas, para pasar desde un contenido de humedad inicial de 135,1% a uno final de 12,1%. Las tasas de secado fueron de 5,13%/día y de 1,20%/día para las etapas de presecado y secado, respectivamente.

Comparando la madera pretratada y la testigo de los ensayos 3, 4 y 5 se desprende que el pretratamiento por 2 ó 4 horas, efectivamente favorece la velocidad del secado. En este sentido los resultados obtenidos coinciden con lo expresado por Campbell (1961); Haslett y Kininmonth (1986); Alexiou et al. (1990) y Chafe y Ananías (1996).

En los ensayos 3, 4 y 5 la madera pretratada tiene tasas de secado superiores a las que presenta la madera sin tratamiento previo. En el ensayo 4, que corresponde a madera pretratada por 2 horas, la madera testigo ocupó un 20% de tiempo adicional en relación a la madera pretratada, en tanto, en el ensayo N°5, con un pretratamiento por 4 horas, la madera pretratada logró un aumento de un 40% en la velocidad del secado con respecto al testigo del mismo ensayo.

FIGURA 4: CURVAS DE PRESECADO PARA MADERA DE COIGUE DE 30 mm DE ESPESOR.

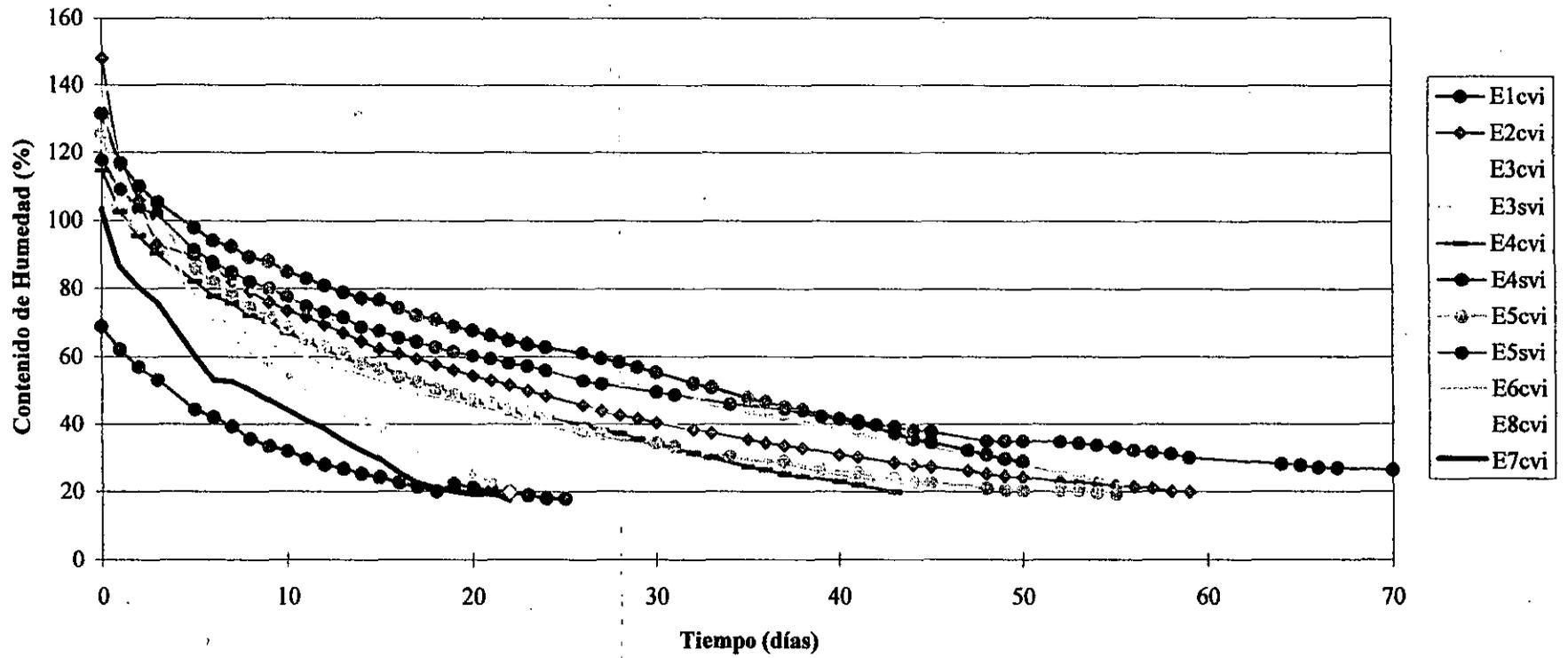
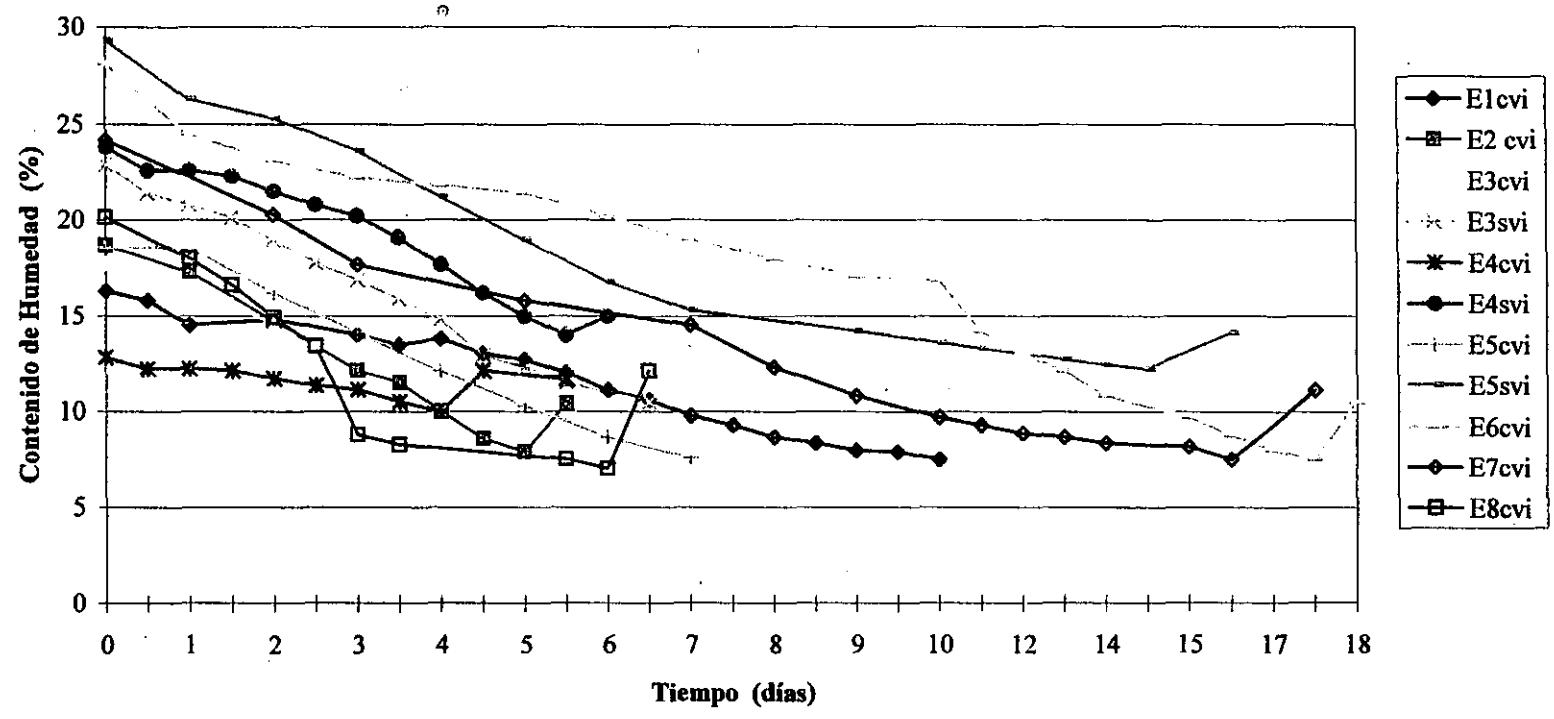


FIGURA 5: CURVAS DE SECADO PARA MADERA DE COIGUE 30 mm DE ESPESOR.



**Cuadro 8**  
**Tiempo de secado según ensayo y tratamiento**

ENSAYO	TRATAMIENTO	PRESECADO		SECADO		TIEMPO TOTAL
		C.H.	Tiempo (h)	C.H.	Tiempo (h)	
1	Pretratada	68,7* 18,0**	600,0	16,3 7,5	236	836,0
2	Pretratada	148,7 20,1	1.416	18,7 10,4	125	1.541
3	Pretratada	122,1 20,2	1.200	17,8 10,5	112	1.312
	Testigo	138,9 22,1	1.326	22,9 10,5	162	1.488
4	Pretratada	114,4 20,0	1.032	22,9 10,1	90	1.122
	Testigo	131,6 28,8	1.200	23,8 15,1	141	1.341
5	Pretratada	125,6 19,9	1.276	18,6 7,6	164	1.440
	Testigo	117,5 26,5	1.658	29,3 14,1	357	2.015
6	Pretratada	107,5 19,5	1.174	28,4 10,5	429	1.603
7	Pretratada	103,4 17,5	468,0	24,2 11,1	422	890,0
8	Pretratada	135,1 19,2	542,0	20,1 12,1	159	701,0

\* Contenido de humedad al inicio de la etapa

\*\* Contenido de humedad al término de la etapa

Esta disminución del tiempo de secado de la madera pretratada de Coigüe se encuentra en el rango indicado por Peredo y Figueroa (1992), quienes utilizando tablas de Coigüe de 25 mm de espesor, pretratadas mediante inmersión en agua a 70 °C durante 48 horas, disminuyeron en un 35% el tiempo de secado, y está por debajo de lo reportado por Bascour, quien trabajó con Coigüe de 13 mm de espesor, pretratado en agua a 45 °C por 24 horas, con una reducción de la velocidad del secado del 64%.

En los ensayos con madera pretratada durante dos horas, no se observó una influencia de los programas de presecado constante y variable sobre la velocidad del secado. La situación opuesta se presentó con los programas de secado, donde la tasa del programa rápido fue en promedio 2 veces la tasa de secado del programa lento (1,26% / día).

Una situación diferente a la anterior se experimentó con la madera pretratada durante cuatro horas. Existe una clara diferencia entre las tasas de secado de los programas de presecado constante y variable. Mientras el primero de ellos presentó una tasa de secado promedio de 1,88% / día, el programa variable alcanzó una tasa de secado de

4,75%/día. En tanto, los programas de secado no experimentaron diferencias, con una tasa de secado promedio de 1,1%/día en ambos casos.

## 5.2 Índice de calidad del presecado y secado

En el Cuadro 9 se presentan los resultados obtenidos con respecto a las grietas y deformaciones, proporcionándose además los índices de calidad para el presecado y secado.

El ensayo 6, que corresponde a un pretratamiento por cuatro horas, presecado variable y secado rápido, presentó el mejor índice de calidad tanto en presecado (1,0) como en el secado (1,45). Dichos valores le asignan calidades definidas como "buena" y "regular", respectivamente.

Cuadro 9  
Índice de calidad del presecado y secado

ENSAYO	TRATAMIENTO	GRIETAS INTERNAS	ALABEOS				IS	IPS
			Acanaladura	Arqueadura	Encorvadura	Torcedura		
1	Pretratada	1,64	0,00	0,09	0,39	0,09	2,21	3,70
2	Pretratada	1,56	0,00	0,04	0,30	0,09	1,99	2,40
3	Pretratada	2,46	0,00	0,66	1,10	0,53	4,75	1,70
	Testigo	0,13	0,00	0,33	0,83	0,53	1,82	1,30
4	Pretratada	0,00	0,00	0,81	0,46	0,03	1,30	1,30
	Testigo	0,00	0,00	1,06	0,46	0,34	1,86	1,80
5	Pretratada	0,03	0,00	0,03	1,53	0,00	1,59	1,70
	Testigo	0,81	0,00	0,06	1,63	0,03	2,53	1,50
6	Pretratada	0,00	0,00	0,02	1,32	0,11	1,45	1,00
7	Pretratada	0,00	0,00	0,00	1,53	0,00	1,53	1,60
8	Pretratada	0,47	0,00	0,05	1,45	0,00	1,97	2,20

IP : Índice de calidad del secado

IPS : Índice de calidad del presecado

Al comparar los índices de calidad del secado, entre la madera pretratada y la sin pretratar de los ensayos 4 y 5, se puede apreciar que la madera con vaporizado previo presentó mejores indicadores, calificando como un secado "regular" en el ensayo 4 y "menos que regular" en el ensayo 5. La madera sin pretratar, en tanto, presentó un secado "menos que regular" y "defectuoso" para los ensayos 4 y 5, respectivamente. No se consideró en el análisis al ensayo 3, debido a que el indicador de grietas internas (2,26) desfavorece abiertamente al indicador final.

En todos los ensayos realizados la encorvadura fue el alabeo con mayor incidencia, dando en consecuencia una disminución de la calidad final de la madera. Los índices de calidad para este defecto oscilan entre un mínimo de 0,3 (ensayo 2, madera pretratada) y un máximo de 1,63 (ensayo 5, madera testigo).

No se aprecia claramente la influencia del pretratamiento sobre la encorvadura. No obstante que la torcedura muestra un mejor comportamiento en la madera pretratada.

Los ensayos realizados no dejan en claro el efecto del pretratamiento sobre la presencia de grietas internas. En los ensayos 4 y 5, la madera pretratada en comparación con la madera testigo, presenta un menor porcentaje de grietas o no lo presentan. No obstante, en los ensayos 1, 2 y 3 este mismo tipo de madera presenta abundantes grietas internas, siendo en el caso del ensayo 3 mayor en las maderas pretratadas.

### 5.3 Gradiente de humedad y tensiones de secado

El Cuadro 10 muestra la distribución promedio de la humedad y el nivel de tensiones producido al término de los procesos de presecado y secado, observándose valores positivos y negativos de gradiente de humedad. Estos últimos indican que el contenido de humedad en el exterior de la madera es mayor que la del interior, posiblemente influenciado por el tiempo de acondicionado.

Cuadro 10  
Gradiente de humedad (%) y tensiones de secado (mm)

ENSAYO	TRATAMIENTO	PRESECADO		SECADO	
		Gradiente	Tensiones	Gradiente	Tensiones
1	Pretratada	3,40	7,20	1,60	1,30
2	Pretratada	5,00	6,70	1,70	0,70
3	Pretratada	4,50	6,20	0,90	1,20
	Testigo	16,70	9,10	4,60	2,30
4	Pretratada	6,00	9,20	1,30	1,80
	Testigo	7,80	10,60	1,40	2,00
5	Pretratada	1,22	2,83	-0,75	-1,60
	Testigo	2,15	3,68	-0,69	-1,40
6	Pretratada	15,80	3,70	-0,19	-0,44
7	Pretratada	12,84	7,60	-1,83	-1,98
8	Pretratada	16,90	5,30	-0,23	0,62

Los bajos gradientes de humedad obtenidos al finalizar el secado permiten clasificar, prácticamente, a la totalidad de tratamientos (testigos y madera pretratada) como de intensidad "leve". Solamente la madera testigo del ensayo 3 presentó una intensidad que se define como "intenso".

Al finalizar el proceso de secado, el nivel de tensiones en la madera pretratada de los ensayos 2, 6 y 8 presentó una intensidad "leve". En tanto, los ensayos restantes (madera pretratada y testigo) presentaron una intensidad "moderado". Solamente la madera testigo del ensayo 3 presentó una clasificación "intenso".

Al analizar el efecto del pretratamiento sobre el gradiente de humedad y el nivel de tensiones (ensayos 3, 4 y 5), se observa que la madera con un vaporizado inicial presenta menores indicadores en ambos casos. Este resultado nos indica que la madera efectivamente aumenta su permeabilidad después del pretratamiento, concordando con Alexiou et al. (1990).

#### 5.4 Recuperación del colapso

El Cuadro 11, proporciona información respecto de la contracción antes y después del reacondicionado, además del porcentaje de recuperación del colapso en cada uno de los ensayos.

Cuadro N°11  
Contracción antes y después del reacondicionado (%)

ENSAYO	PIEZAS	CONTRACCION (% DIMENSION VERDE)				RECUPERACION COLAPSO (%)
		ANTES		DESPUES		
		Tangencial (E)	Radial (A)	Tangencial (E)	Radial (A)	
1	Pretratada	11,90	5,20	4,50	2,90	9,70
2	Pretratada	13,60	4,10	9,40	2,80	5,50
3	Pretratada	11,90	3,50	7,70	2,50	5,20
	Testigo	10,90	3,90	6,10	3,60	5,10
4	Pretratada	16,8	8,30	11,30	6,70	7,10
	Testigo	12,60	4,00	9,40	3,60	3,60
5	Pretratada	13,95	4,65	4,84	2,53	11,23
	Testigo	14,20	4,44	6,23	2,60	9,81
6	Pretratada	12,60	3,90	6,60	2,60	7,30
7	Pretratada	9,90	3,80	5,70	2,20	5,80
8	Pretratada	15,20	4,50	7,50	-2,80	9,40

(E); corresponde al espesor

(A); corresponde al ancho

De acuerdo con los datos registrados en el Cuadro 12, la madera pretratada de los ensayos 3, 4 se contrae en mayor proporción que la madera testigo de los mismos ensayos. En el ensayo 5, la contracción de la madera testigo es apenas superior en un 1,8% a la experimentada por la madera pretratada.

En todos los ensayos ejecutados, tanto en la madera testigo como en la madera pretratada, se puede observar que el porcentaje de recuperación del colapso es mayor en los espesores de las piezas que en los anchos, coincidiendo con los resultados obtenidos por Kauman y Mittak (1966). Esta recuperación en espesor, además, en promedio para los ensayos 3, 4 y 5, es superior en un 17,8% para las maderas pretratadas que las sin pretratar.

Una de las razones para tal situación es el contenido de humedad de las piezas al momento del reacondicionado. Según Kauman y Mittak (1966), este tratamiento se debe realizar cuando las piezas presentan una humedad entre el 15 y 20%, de tal forma de

obtener una mayor recuperación dimensional. En los ensayos realizados las piezas pretratadas presentaron un contenido de humedad promedio del 19%, mientras que las testigo una humedad ligeramente superior al 25%.

## 6. CONCLUSIONES

El presecado artificial del Coigüe permite reducir en forma significativa el tiempo empleado en esta etapa. Todos los ensayos presentan, en promedio, para aquellas piezas sometidas a pretratamiento, una duración de 1,3 meses. Kauman y Mittak (1966) señalan que el secado de Coigüe, desde condiciones verdes hasta un 20% de humedad, en piezas de 1" de espesor, requieren de 6 a 7 meses.

El reacondicionado permite obtener buenos resultados, pues el colapso se elimina en un porcentaje considerable, lográndose un aumento de las dimensiones útiles de la madera.

El reacondicionado efectuado sobre piezas con un vaporizado inicial permitió una mayor recuperación del colapso. En madera pretratada la recuperación del volumen fue en promedio, expresado como porcentaje de la dimensión original verde, de un 7,65% (6,% tangencial y 1,9% radial), en tanto, la madera testigo esta recuperación disminuyó a un 6,16% (5,32% tangencial y 0,84% radial).

La madera pretratada alcanzó las menores diferencias de humedad entre el interior y la superficie de la madera, que no superó el 2%, lo que la calificó como de intensidad "leve". Esta misma madera presentó al final del proceso una menor magnitud de las tensiones de secado. El promedio obtenido (1,5 mm), le asignó una tensión "moderada".

En los alabeos presentados, la encorvadura fue el defecto que más influyó en el índice de calidad total de la madera.

Con los ensayos realizados se puede recomendar el ensayo 8 (pretratamiento por 4 horas a una temperatura de 90 °C, presecado variable y secado rápido). Con un buen encastillado de la madera y una velocidad uniforme del aire, los programas indicados deberían permitir secar la madera en 47 días, desde verde hasta un contenido final del 10%.

Existe una necesidad por parte del sector productivo nacional de encontrar alternativas para el secado de maderas de baja permeabilidad. La participación de dos importantes empresas durante la ejecución del proyecto denota interés por avanzar en la obtención de un producto de calidad. El proyecto FONTEC elaborado, es otro claro indicador de esta situación.

La convalidación a nivel industrial de la mejor experiencia de secado obtenido a nivel experimental, se realizará durante el mes de Febrero de 1998 en instalaciones de Colcura

Una evaluación del efecto del pretratamiento y del presecado desde el punto de vista financiero se realizará a partir de la experiencia industrial. Con valores reales se determinará la real incidencia de estos factores sobre el costo de secado.

En el país falta información escrita orientada hacia los operadores de los equipos de secado. La elaboración de manuales, guías y notas técnicas tiende a satisfacer una necesidad de capacitación y actualización.

Una forma de transmitir en forma masiva los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del proyecto son los Liceos Polivalentes. Ellos serán los encargados de entregar a las futuras generaciones de operadores de equipos de secado, las técnicas para el secado de maderas de baja permeabilidad.

## 7. INFORME FINANCIERO

PAGOS CONTRACTUALES		RENDICIONES	
FECHA	MONTO M\$	FECHA	MONTO
03.10.95	22.299		
07.12.95	9.556		
06.02.96	20.196		
20.05.96	8.656	Enero - Febrero 98	10.242.491

**ANEXO N°1**

**GUIA PARA EL CONTROL DE LA MADERA SECA EN  
CAMARA**

**CONVENIO DE COLABORACION:**

**Instituto Forestal - INFOR**

**Instituto Sueco de Tecnología de la Madera - TRÅTEK**

## **MADERA SECA EN CAMARA**

### ***Guía de Procedimientos para el Control de Calidad***

**Autor : Anders Rosenkilde - TRÅTEK**

**Adaptación : Gonzalo Hernández - INFOR**

**Santiago, diciembre 1997**

# INDICE

	Página
RESUMEN	1
INTRODUCCION	1
ANTECEDENTES A CONSIDERAR EN UN SERVICIO DE SECADO	2
EXIGENCIAS A LA MATERIA PRIMA EN EL SECADO TESTIGO	3
PROCESO DEL SECADO TESTIGO	3
Tamaño de la muestra y su ubicación en una cámara de secado	4
METODOS DE MEDICION	6
Contenido de humedad inicial	6
Largo relativo de las grietas	6
Pruebas de tensiones internas	8
Velocidad del aire	9
Contenido de humedad final y densidad	10
METODOS DE ANALISIS	11
Contenido de humedad final	11
Largo relativo de las grietas	13
Pruebas de tensiones internas	14
Velocidad del aire	14
Contenido de humedad inicial	15
Densidad	16
EQUIPAMIENTO RECOMENDADO	17
Equipamiento de medición	17
Otros equipamientos	17
BIBLIOGRAFIA	18
ANEXO I	
Fórmulas estadísticas usadas en el análisis	19
ANEXO II	
Límite superior de confiabilidad en el intervalo de confianza unilateral para la desviación estándar medida	20

## **RESUMEN**

La presente guía contiene recomendaciones para realizar un control periódico a la madera seca en cámara. La guía describe cómo definir y evaluar la capacidad y calidad del secado, además de indicar los datos técnicos que condicionan la operación de un secador. El control se efectúa sobre una carga testigo, utilizando un secador con sus condiciones de operación conocidas. La calidad del secado obtenida se representa por el largo relativo de las grietas, el contenido de humedad final con sus valores de dispersión, gradiente de humedad y las tensiones producto del secado.

## **INTRODUCCION**

La guía para el control de la madera seca en cámara se ha confeccionado con el objetivo de "estandarizar" la forma de especificar y controlar la capacidad y la calidad del secado, y entregar algunos datos técnicos importantes que describen el funcionamiento de un secador. Esto facilita la comparación entre secadores de distintas marcas y permite obtener mediciones comparables en un control de despacho.

Los métodos de medición que se describen y el análisis de éstos pueden usarse perfectamente como patrón para el control de calidad interno en una industria de madera, o para otros objetivos en los cuales se desea obtener resultados comparables. También se puede usar este manual como material de enseñanza en cursos para supervisores y operadores en general.

## **ANTECEDENTES A CONSIDERAR EN UN SERVICIO DE SECADO**

En un servicio de secado se recomienda indicar los parámetros de capacidad/calidad con los datos técnicos del secador que a continuación se indican. Observe que los parámetros y los aspectos técnicos del equipo están relacionados entre si. Esto significa que se garantiza que se puede secar cada espesor de madera en un tiempo definido, con los requerimientos de humedad final, largo de grietas, gradiente de humedad y tensiones, siempre que se cumpla el funcionamiento descrito para el equipo.

### **Capacidad/calidad:**

Para los distintos espesores de tablas se deben indicar los siguientes parámetros:

Tiempo de secado neto excluyendo el precalentamiento, vaporizado inicial, acondicionado y otros, (h).

Contenido de humedad final y las desviaciones estándares correspondientes, (%).

Largo promedio de las posibles grietas, (%).

Gradiente de la humedad y nivel de tensiones.

### **Datos técnicos:**

Temperatura de alimentación del fluido térmico, (°C).

Caudal del fluido a los calefactores, ( $m^3/s$ ).

Velocidad del aire entre tablas, indicando el espesor de los separadores, (m/s).

Máxima temperatura de operación del equipo en condición de secado, (°C).

Potencia térmica de los calefactores a la máxima temperatura de operación, (kW).

Potencia total (potencia nominal) de los ventiladores, (kW).

Capacidad de evacuación por las ventilas, para la máxima condición de secado del equipo, ( $m^3/s$ ).

Consumo de energía eléctrica específica (por  $m^3$ ) para un secado hasta un 18% de contenido de humedad final. Se deben considerar las reducciones de la velocidad del ventilador según las recomendaciones del fabricante, ( $kWh/m^3$  de madera seca).

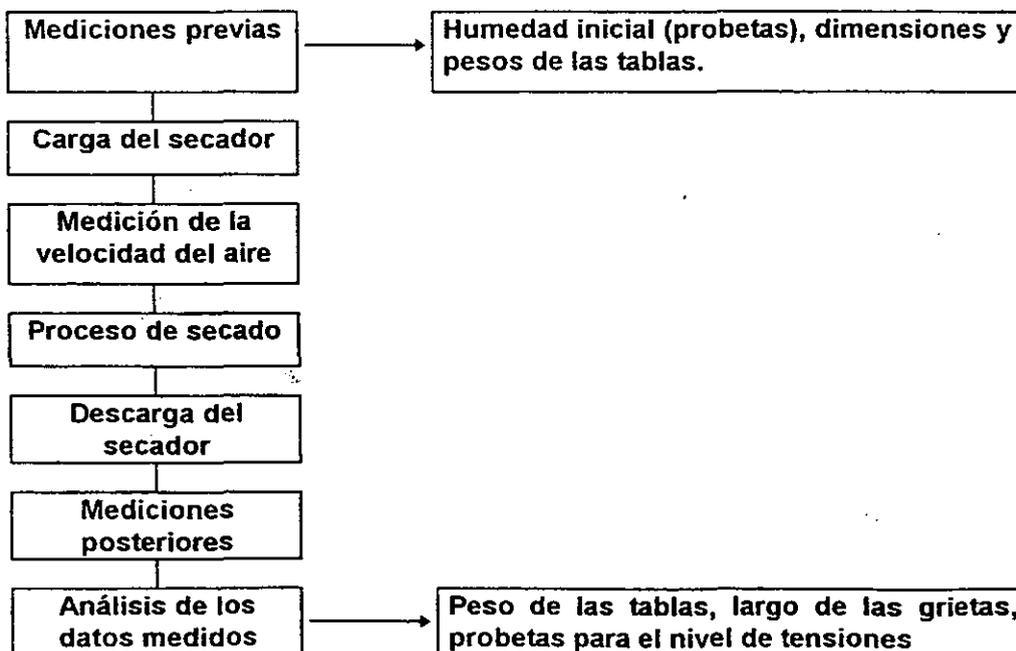
## EXIGENCIAS A LA MATERIA PRIMA EN EL SECADO TESTIGO

La madera que se va a usar en un secado testigo no debe tener más de 4 semanas entre el momento de la cosecha y el aserrío, y se debe ubicar en el secador ese mismo día. Esto es necesario para minimizar el riesgo de grietas antes del secado. La madera debe tener una concordancia en la dimensión, es decir, presentar un mismo espesor y ancho.

## PROCESO DEL SECADO TESTIGO

La inspección en el despacho está constituida por un secado testigo, el cual controla la calidad del proceso y la velocidad del aire con los valores garantizados para una materia prima y una determinada operación del secador. Se debe operar el equipo según las recomendaciones del fabricante, en lo que se refiere al programa de secado, tiempo de calentamiento, intervalos de inversión de los ventiladores, reducción de la velocidad del ventilador, etc.

En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo con el procedimiento a seguir en un ensayo testigo, el cual incluye desde las mediciones iniciales previas al secado hasta el análisis de los datos obtenidos. Si no se dispone del tiempo necesario, se puede acotar el ensayo testigo, eliminando la medición inicial. Esta última se utiliza para verificar si la materia prima cumple con las exigencias de "normalidad" en cuanto a densidad y contenido de humedad inicial.

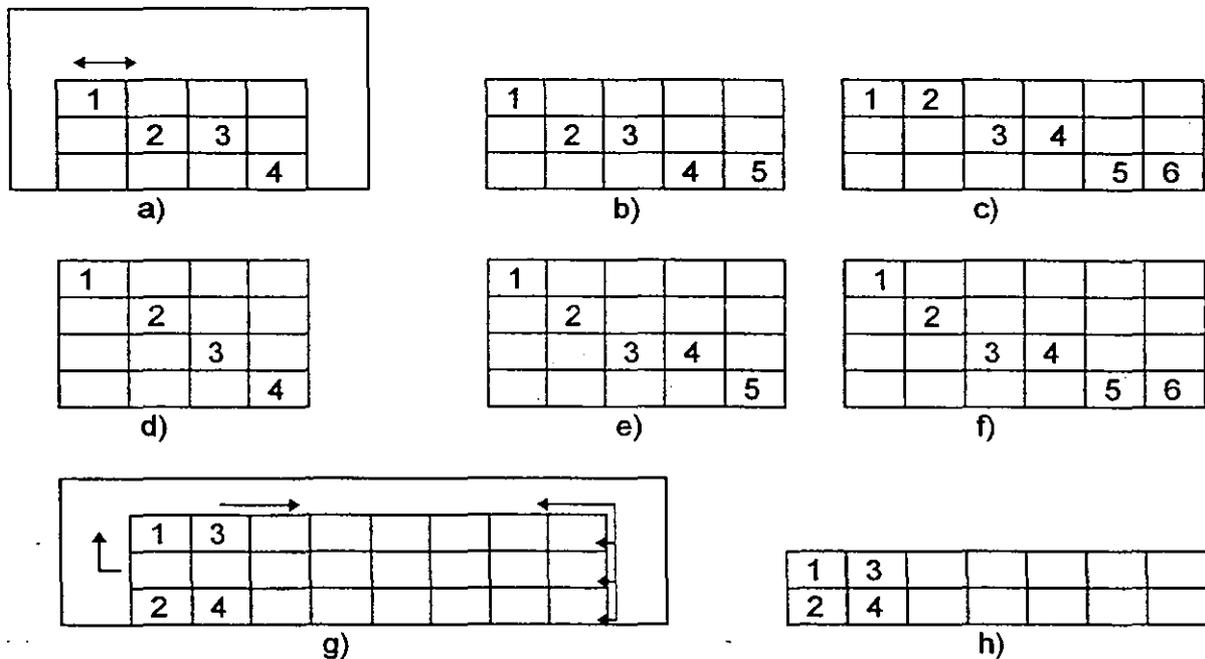


**Figura 1. Diagrama de flujo con el procedimiento a seguir en un ensayo testigo.**

## Tamaño de la muestra y su ubicación en una cámara de secado

Para la medición del contenido de humedad inicial, densidad, contenido de humedad final, gradiente de humedad y tensiones se utiliza una muestra total de 40 tablas, independiente del tipo de flujo de aire y de la distribución de la carga.

En la figura 2, para diferentes alternativas de carga, se observan los paquetes seleccionados para contener las 40 tablas.



**Figura 2. Distribución esquemática de los paquetes que contienen muestras para la medición de la calidad del secado. Las seis primeras figuras (a,b,c,d,e y f) corresponden a secadores con circulación transversal, y las restantes (g y h) a secadores con circulación longitudinal.**

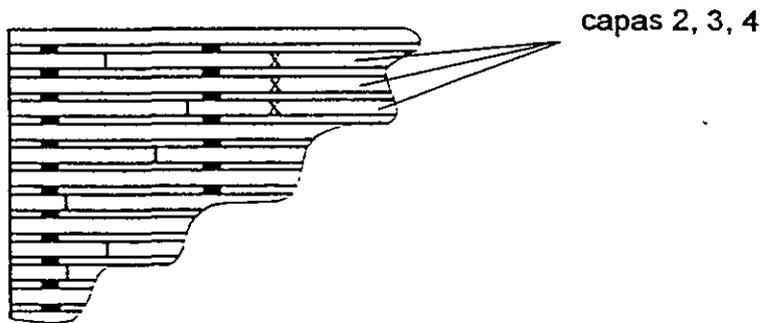
En secadores con flujo de aire transversal el número de paquetes a muestrear es variable, dependiendo de la cantidad de castillos<sup>1</sup> presentes en la carga (tabla 1). En cambio, en secadores con flujo de aire longitudinal se muestrean sólo 4 paquetes, distribuidos en dos zonas, una al lado de la otra, tal como se indica en la figura 2, letras g y h.

<sup>1</sup> Pilas paralelas de paquetes de madera

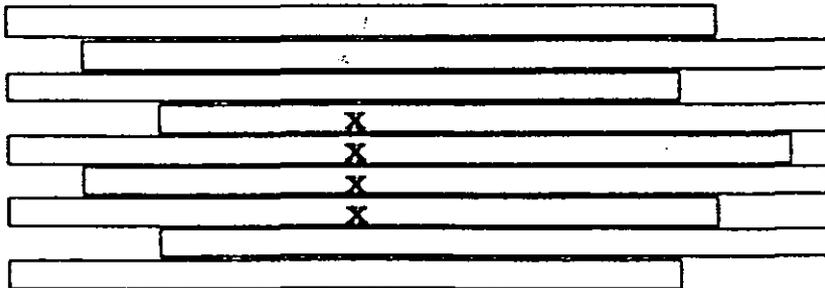
**Tabla 1. Distribución de las tablas según la cantidad de castillos presentes en la carga.**

Número de castillos en la carga	Distribución de las tablas en cada uno de los paquetes seleccionados.	Distribución de las tablas en cada uno de los paquetes seleccionados (grietas).
3	$14 + 13 + 13 = 40$	$67 + 67 + 66 = 200$
4	$10 + 10 + 10 + 10 = 40$	$50 + 50 + 50 + 50 = 200$
5	$8 + 8 + 8 + 8 + 8 = 40$	$40 + 40 + 40 + 40 + 40 = 200$
6	$7 + 7 + 7 + 7 + 6 + 6 = 40$	$34 + 34 + 33 + 33 + 33 + 33 = 200$

Por otra parte se miden las grietas en 200 tablas que están distribuidas en los castillos según se indica en tabla 1. Se ejecutan las mediciones empezando por la segunda corrida de tablas en los paquetes seleccionados y continuando en forma descendente hasta que la cantidad de mediciones sea suficiente (figuras 3 y 4).



**Figura 3. Ubicación de las tablas en un paquete seleccionado.**



**Figura 4. Vista en planta de un paquete seleccionado, señalando la ubicación de las tablas.**

## **METODOS DE MEDICION**

### **- Contenido de Humedad Inicial**

El contenido de humedad inicial de la carga se determina a partir de 40 probetas obtenidas de cada tabla. Las probetas deben tener un ancho de unos 25 mm, sin presencia de nudos o anomalías. Deben ser extraídas a una distancia de por lo menos 50 cm de cualquiera de los extremos de las tablas. Se insiste en la conveniencia de no obtener las probetas desde ninguno de los extremos de las muestras, por ser estas zonas de rápido secado, situación que se presenta desde el momento de cortar las trozas en el bosque.

A continuación se procede a determinar sus pesos en condiciones húmedas ( $P_a$ ) y a secarlas en un horno eléctrico a una temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , hasta que la reducción de los pesos es de menos de 0,1% (peso constante). De esta forma se determina el peso anhidro ( $P_o$ ) de cada una de ellas.

Se aconseja emplear para estos efectos una balanza con una graduación de 0,1 g y una exactitud o precisión de 0,05 g.

La aplicación de la siguiente relación, permite conocer el contenido de humedad inicial para cada probeta:

$$Ch_i = (P_a / P_o - 1) \cdot 100$$

Donde:

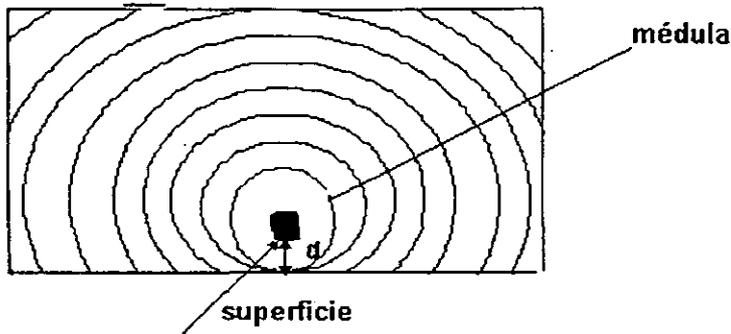
$P_a$  = peso húmedo, g

$P_o$  = peso anhidro, g

Se procede entonces a calcular el promedio del contenido de humedad inicial de todas las probetas, cuyo valor es el contenido de humedad de la carga, y calcular además la desviación estándar.

### **Largo relativo de las grietas**

En las 200 tablas que se utilizan para medir el largo de las grietas se determina la distancia ( $d$ ) entre la médula y la superficie (figura 5). Si esta distancia es mayor a 3 mm o no se presenta médula se procede a la medición, en caso contrario se debe seleccionar una nueva tabla.



**Figura 5. Distancia de la médula con respecto a la superficie de la tabla.**

En la peor cara de cada una de las 200 tablas se mide el largo de las grietas visibles y se suman para obtener el largo total de grietas presentes por tabla. Se deben considerar todas las grietas que se aprecian al estar parado sobre la madera, evitando aquellas que están más allá de la fila de separadores ubicados en los extremos del paquete. Además del largo de las grietas, se mide el largo de las tablas, para calcular el largo relativo de las grietas según la fórmula que a continuación se indica:

$$I_s = (s_l / p_l) \cdot 100\%$$

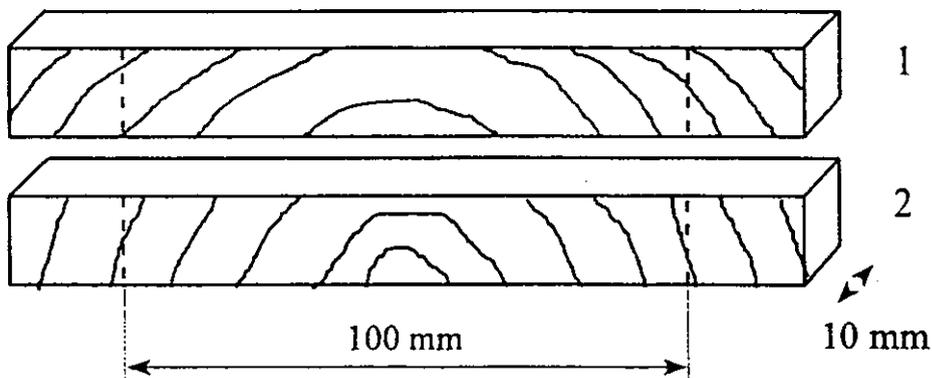
Donde:

- $I_s$  = largo relativo de las grietas.
- $s_l$  = largo total de las grietas por cada tabla, en cm.
- $p_l$  = largo total de la tabla, en cm.

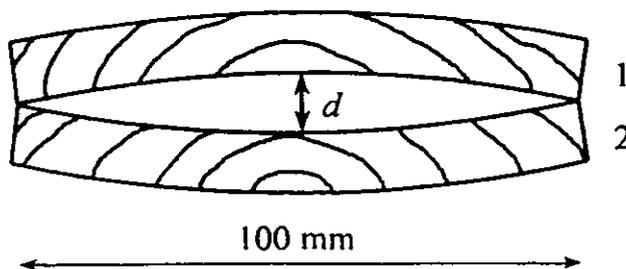
Antes de calcular los largos, se debe eliminar el 2% de las tablas, en este caso 4, para no incluir las tablas con las grietas más largas. De esta forma se evitan las grietas de los extremos, que muchas veces se extienden a lo largo de la tabla aún en un secado muy suave. Posteriormente se calcula la cantidad de tablas con grietas en relación al total de tablas,  $p$ , y después el promedio del largo relativo de las grietas,  $I_s$ , en todas las tablas en que se presentan (%).

## Pruebas de Tensiones Internas

La presencia de tensiones internas, ocasionadas por el gradiente de contenido de humedad que se presenta entre las capas superficiales y el centro de la pieza de madera, puede detectarse y medirse con el uso de probetas. Se procede a extraerlas aproximadamente a 0,5 m desde el extremo superior de las tablas, desde donde se extraen las probetas para la humedad. Es necesario un total de 40 probetas para las pruebas de tensión interna, procurando que ellas estén libres de nudos y de otras anomalías. Se cortan y se parten las probetas por el centro según se indica en la figura 6. Luego son acondicionadas durante 24 horas en un ambiente de  $20 \pm 5$  °C y una humedad relativa del aire de un  $45 \pm 15\%$ . Las probetas deben estar dispuestas de tal manera que les llegue aire y con las superficies de las puntas libres. Se mide entonces la distancia  $d$ , empleándose un filler o un pie de metro (figura 7).



**Figura 6. Dimensiones de las probetas para la prueba de tensiones internas.**

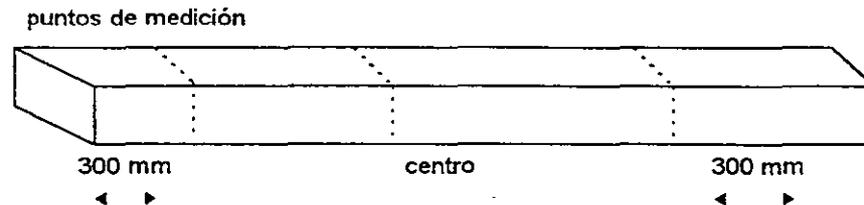


**Figura 7. Probetas deformadas por tensión. La distancia "d" mide el grado de tensión interna.**



## Contenido de humedad final y densidad

Se emplean las 40 muestras para determinar la humedad final y la densidad. Antes del proceso de secado se pesan las tablas muestra y se determina el volumen midiendo el largo, espesor y ancho en tres lugares (figura 9). Es aconsejable medir el largo con una cinta de medir, en tanto que para el espesor y el ancho es preferible emplear un pie de metro.



**Figura 9. Zonas para la medición del espesor y ancho en las tablas.**

Una vez terminado el secado se vuelven a pesar las tablas y luego se procede a cortar las probetas para las pruebas de tensión y de humedad. La balanza que se emplea para pesar las tablas debe tener una graduación de 25 gramos o menos y una capacidad de peso máximo de 60 kg. Con la información del peso de las tablas antes del secado, después del secado y de la humedad inicial, se puede calcular el contenido de humedad final según las fórmulas que a continuación se indican:

$$P_o = \frac{100 \cdot P_f}{CH_a + 100} \text{ (kg)}$$

$$CH_f = (P_a / P_o - 1) \cdot 100 \text{ (\%)}$$

Donde:

$P_o$  = Peso anhidro de cada tabla, (kg)

$P_f$  = Peso de cada tabla después del secado, (kg)

$P_a$  = Peso de cada tabla antes del secado, (kg)

$CH_a$  = Humedad inicial según probetas, (%)

$CH_f$  = Humedad final de cada tabla después del secado (%)

Por otra parte, y con el objeto de conocer la densidad básica de la madera, conocido el peso anhidro ( $P_o$ ) y el volumen de cada tabla medida, se procede a aplicar la siguiente relación:

$$d = \frac{P_o}{l \cdot b \cdot t} \text{ kg/m}^3$$

Donde:

- $P_o$  = Peso anhidro de cada tabla, kg.
- $l$  = Largo de la tabla, m.
- $b$  = Ancho de la tabla, m.
- $t$  = Espesor de la tabla, m.

Luego se determina el valor promedio y desviación estándar para el contenido de humedad final y densidad, representativos de la carga.

## METODOS DE ANALISIS

Los métodos de análisis deben evaluar si los valores medidos obtenidos cumplen con las exigencias estipuladas en las especificaciones de venta. Se debe hacer un análisis más profundo para poder aprobar o reprobar un resultado de medición con una buena base. Esto significa que es necesario tomar en consideración la cantidad de mediciones y la confiabilidad de éstas. El análisis se basa en métodos estadísticos generalmente aceptados. Para el control de las muestras de tensión se usa un control de aceptación en el cual el 90% de los valores de medición deben estar dentro de los límites. Los demás datos de medición se evalúan con intervalos de confiabilidad de un 95%, los cuales deben estar dentro de los intervalos límites especificados

### Contenido de humedad: final

La humedad final promedio se evalúa con el intervalo de confianza para dicha humedad. El intervalo de confianza puede ser la humedad final promedio deseada  $\pm 1,5$  por ciento, en humedades entre 14 - 20%. En el intervalo entre 7 -13%, el intervalo de confianza puede ser la humedad final promedio  $\pm 1,0$  por ciento de humedad. Un intervalo de confianza de 95% para la humedad promedio se calcula según la fórmula que se indica a continuación. Esta fórmula solamente es válida para este caso con 40 mediciones. Para otro número de mediciones, ver fórmula general anexo I.

Intervalo de confianza =  $CH_f \pm 0,32 \cdot s\%$

Donde:

$CH_f$  = Contenido de humedad final promedio (%)  
 $s$  = Desviación estándar para la humedad final.

En resumen, el intervalo de confianza medido y calculado, no puede sobrepasar los límites indicados anteriormente.

Ejemplo:  $CH_f = 18,8\%$   
 $s = 1,7\%$ ,  
Humedad deseada =  $18,0\%$

Intervalo de confianza calculado:  $18,8 \pm 0,32 \cdot 1,7 = 18,8 \pm 0,5\%$

Este es un buen resultado, por cuanto  $18,8 \pm 0,5\%$  está dentro del intervalo  $18,8\% \pm 1,5\%$ .

El límite superior (LS) del intervalo de confianza unilateral de un 95% para la desviación estándar medida, no puede sobrepasar la desviación estándar deseada con más de un 0,4 por ciento de humedad. Observe que la fórmula a continuación es válida en este caso con 40 valores medidos, para una fórmula general vea anexo II.

$$1,23 \cdot s \leq s_a + 0,4$$

Donde:

$s$  = desviación estándar para la humedad final medida  
 $s_a$  = desviación máxima deseada

Ejemplo:  $s = 1,9\%$

$s_a = 2,0\%$

A partir de los datos mencionados, el límite superior del intervalo de confianza unilateral resulta:  $1,23 \cdot 1,9 = 2,3\%$ .

Este es un buen resultado, debido a que  $2,3 \leq 2 + 0,4$

### Largo relativo de las grietas

Se evalúa el largo relativo de las grietas con un límite superior de 95% para dicho largo. El límite superior de confianza no puede sobrepasar el valor deseado más allá de un 2% del largo relativo de las grietas. Se calcula el límite superior de confianza según la fórmula que a continuación se indica. Observe que la fórmula solamente es válida para el caso de 40 valores medidos. (Vea fórmula general en anexo II).

$$\text{límite superior de confianza} = p \cdot l_s + 0,12 \cdot l_s \cdot \sqrt{p \cdot (2 - p)} < l_a + 2$$

Donde:

$l_s$  = valor promedio del largo relativo de las grietas en las tablas con el efecto, en %

$p$  = cantidad de tablas con grietas, en relación con el total de tablas

$l_a$  = largo relativo de las grietas, promedio y deseado en %

Ejemplo:  $l_a = 10\%$

$l_s = 16\%$

$p = 0,60$ , esto da un valor promedio del largo relativo de las grietas  $p \cdot l_s = 0,60 \cdot 16 = 9,6\%$

El límite superior de confiabilidad resulta entonces:

$$9,6 + 0,12 \cdot 16 \cdot \sqrt{0,60 \cdot (2 - 0,60)} = 9,6 + 1,8 = 11,4$$

Este es un resultado aceptable debido a que  $11,4 < 10 + 2$

## Pruebas de tensiones internas

Se evalúan las muestras de tensión en los grados 1,2, y 3 definidos a continuación. Al controlar el 90% de los 40 valores medidos, éstos deben ser menor a los límites que se señalan para cada grado. De esta manera, se puede obtener un resultado aceptable. Esto significa que solamente un máximo de 4 valores pueden superar los límites definidos por los grados.

Grado 1	$d < 1 \text{ mm}$
Grado 2	$d < 2 \text{ mm}$
Grado 3	$d < 3 \text{ mm}$

Ejemplo: Cantidad de mediciones = 40  
Grado deseado = 2

Esto significa que 36 de las 40 mediciones no pueden tener valores mayores a 2 mm. Si cinco o más mediciones tienen valores mayores a 2 mm, el resultado no es aceptable.

## Velocidad del aire

Se evalúa la velocidad del aire con un límite inferior de confianza de un 95%. La velocidad del aire puede ser de un máximo de 0,2 m/s menor a la velocidad del aire deseada. Se calcula el límite inferior de confianza aplicando la fórmula que se indica. Observe que la fórmula solamente es válida para el caso de 60 valores medidos, (ver una fórmula general en el anexo I).

$$\text{Límite inferior de confianza} = v - 0,22 \cdot s > v_a - 0,2$$

Donde:  $v$  = valor promedio de la velocidad del aire medido (m/s),  $s$  = desviación estándar de la velocidad del aire,  $v_a$  = velocidad del aire deseada (m/s)

Ejemplo:  $v_a = 3,0 \text{ m/s}$   
 $v = 2,9 \text{ m/s}$   
 $s = 1,0 \text{ m/s}$

El límite inferior de confianza resulta entonces:

$$2,9 - 0,22 \cdot 1,0 = 2,9 - 0,22 = 2,7 \text{ m/s}$$

Resultado no aceptable, dado que:  $2,7 < 3,0 - 0,2$

### Contenido de Humedad Inicial

Se evalúa la humedad inicial con un intervalo de confianza de un 95%. Este intervalo debe mantenerse dentro de los límites que a continuación se detallan, para ser considerado como aceptable.

ESPESOR mm	RANGO CONTENIDO DE HUMEDAD %
16 - 31	85 - 235
32 - 49	50 - 100
50 - 75	45 - 80

Se calcula el intervalo de confianza aplicando la fórmula que se indica. Esta fórmula solamente es válida para el caso de 40 valores medidos. (Una fórmula general se entrega en el anexo I).

$$\text{Intervalo de confianza} = Ch_i \pm 0,32 \cdot s \%$$

Donde:

$Ch_i$  = valor promedio del contenido de humedad inicial en %

$s$  = desviación estándar para la humedad inicial en %

Ejemplo:  $Ch_i = 58\%$   
 $s = 21\%$   
 Espesor de la madera = 63mm

El intervalo de confianza resulta entonces:

$$58 \pm 0,32 \cdot 21\% = 58 \pm 6,7\%$$

Este resultado es aceptable debido a que  $58 \pm 6,7\%$  está dentro del intervalo 45 - 80%

## Densidad

Se evalúa la densidad con un intervalo de confianza de un 95%. Este intervalo debe mantenerse dentro de los límites que a continuación se indican para asegurar que la madera presenta una densidad normal. Los valores se refieren a la densidad básica.

ESPECIES	ESPEJOR mm	RANGO DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>
Pino radiata Adulto	16 - 49 50 - 75	400 - 430 400 - 420
Pino radiata Juvenil	16 - 49 50 - 49	380 - 410 380 - 400
Eucaliptus glóbulus	16 - 49 50 - 75	570 - 650 570 - 620
Lenga - Tapa Coigüe	16 - 49 50 - 75	420 - 460 420 - 440

El intervalo de confianza (IC) se calcula aplicando la siguiente relación:

$$IC = d \pm 0,32 \cdot s \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donde:

$d$  = valor promedio de la densidad en kg/m<sup>3</sup>  
 $s$  = desviación estándar de la densidad

Ejemplo: Espesor de la madera = 50 mm, pino  
Densidad medida,  $d$  = 426 kg/m<sup>3</sup>  
Desviación estándar = 31 kg/m<sup>3</sup>

El intervalo de confianza resulta entonces:

$$426 \pm 0,32 \cdot 31 \text{ kg/m}^3 = 426 \pm 9,9 \text{ kg/m}^3$$

Este resultado es aceptable debido a que el intervalo de confianza está dentro de 400 - 450 kg/m<sup>3</sup>

## EQUIPAMIENTO RECOMENDADO

### Equipamiento de medición

- Cinta de medir, 0 - 10 metros, graduación de 5 mm o menor. Se usa para medir el largo de las tablas que forman la muestra.
- Pie de metro, 0 - 200 mm, graduación de 0,1 mm o menor. Se usa para medir el espesor y ancho de las tablas que forman la muestra.
- Medidor del largo de las grietas. Se puede usar una regla.
- Filler para medir la abertura en las probetas de tensión, o en su defecto, emplear un pie de metro.
- Balanza con capacidad  $\geq 60$  kg y con una graduación de 25 gramos o menor. Se emplea para pesar las tablas que forman la muestra.
- Balanza con capacidad  $\geq 1$  kg y con una graduación de 0,1 gramos o menor. Se emplea para pesar las probetas para determinar el contenido de humedad.
- Anemómetro para medir velocidad de aire en intervalo de medición 1 -10 m/s, con una graduación de 0,1 m/s o menor.

### Otros equipamientos

- Sierra para cortar las probetas de tensión.
- Horno eléctrico capaz de alcanzar temperaturas de  $103 \pm 2^\circ$  C. Se emplea para secar las probetas destinadas a determinar el contenido de humedad.

## BIBLIOGRAFIA

Blom, G., 1980: Sannolikhetslära och statistikteori med tillämpningar (Teoría de la probabilidad y de la estadística con aplicaciones). Literatura de estudios, 342 p.

Montgomery, D.C., 1991: Design and analysis of experiments (Diseño y análisis de experimentos). John Wiley & sons, 649 p.

Söderström, O., 1990: Torkningssprickor och slutfuktkvoter (Grietas por el secado y humedad final). Träteknik, Rapport 1 9011062.

## ANEXO I

### Fórmulas estadísticas usadas en el análisis.

#### Intervalo de confianza para el valor promedio:

bilateral

$$\frac{x \pm t_{\alpha}^{(j)} \cdot s}{\sqrt{n}}$$

unilateral, límite inferior de confianza

$$x - \frac{t_{\alpha}^{(j)} \cdot s}{\sqrt{n}}$$

$n$  = cantidad de muestras,  $s$  = desviación estándar medida,  $t_{\alpha} (j)$  se extrae de tabla de distribución -  $t$ .

Ejemplo: Prueba de humedad final.  
intervalo de confianza bilateral  
 $n = 40$  que da  $f = (n - 1) = 39$   
grado de confiabilidad = 95% que da  $\alpha = 0,025$   
de la tabla de distribución -  $t_{0,025} (39) = 2,02$

$$x \pm 0,32 \cdot s$$

Ejemplo: Prueba de velocidad del aire.  
unilateral, límite inferior de confianza  
 $n = 60$  que da  $f = (n - 1) = 59$   
grado de confiabilidad = 95% que da  $\alpha = 0,05$   
de la tabla de distribución -  $t_{0,05} (59) = 1,67$

$$x \pm 0,22 \cdot s$$

## ANEXO II

Límite superior de confiabilidad en el intervalo de confianza unilateral para la desviación estándar medida:

$$\text{límite superior de confianza} = \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{\alpha}(f)}} \cdot s$$

$\chi^2_{\alpha}$  se extrae de tabla de distribución -  $\chi^2$

Ejemplo: Prueba de desviación estándar para la humedad final unilateral, límite inferior de confianza  
 $n = 40$  que da  $f = (n - 1) = 39$   
grado de confiabilidad = 95% que da  $\alpha = 0,95$   
de la tabla de distribución -  $\chi^2(f) = 25,7$

límite superior =  $1,23 \cdot s$

Límite superior de confiabilidad en el intervalo de confianza unilateral para la desviación estándar medida:

$$\text{límite superior de confianza} = p \cdot l_s + (\lambda_{\alpha} / \sqrt{n}) \cdot l_s \cdot \sqrt{p \cdot (2 - p)}$$

$p$  = cantidad de tablas con grietas,  $l_s$  = el valor promedio del largo relativo de las grietas, en %,  $\lambda_{\alpha}$  se extrae de las tablas de distribución normal.

Ejemplo: Prueba del largo relativo de las grietas  
 $n = 200 - 4 = 196$  (eliminación del 2%)  
grado de confiabilidad = 95% que da  $\alpha = 0,05$   
de la tabla de distribución normal  $\lambda_{\alpha} = 1,64$

$$\text{límite superior confianza} = p \cdot l_s + (\lambda_{\alpha} / \sqrt{n}) \cdot l_s \cdot \sqrt{p \cdot (2 - p)}$$

**ANEXO N°2**

**DOCUMENTO “ENSAYOS DE PRESECADO Y SECADO  
EN TABLAS DE 30 MM DE ESPESOR”**

**Instituto Forestal**  
**Subgerencia de Industrias**

**DOCUMENTO DE DIVULGACION**

**ENSAYOS DE PRESECADO Y SECADO EN  
TABLAS DE 30 MM DE ESPESOR**

**CONCEPCION, 1997**

## INDICE

	Página
<b>1. INTRODUCCION</b>	3
<b>2. ANTECEDENTES</b>	4
2.1 Pretratamientos	4
2.2 Reacondicionado	4
2.3 Presecado	5
<b>3. METODO EXPERIMENTAL</b>	6
3.1 Tratamientos experimentales	6
3.2 Material y equipos	7
3.3 Procedimiento	7
<b>4. RESULTADOS</b>	11
<b>5. CONCLUSIONES</b>	14
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	15
<b>7. GLOSARIO</b>	17

## 1. INTRODUCCION

Dentro de las especies nativas, el coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.) constituye una de las mayores reservas de madera latifoliada de los bosques chilenos. Sin embargo, esta especie no ha sido empleada hasta hoy en proporción a su abundancia. La razón principal de esto es la dificultad que presenta su secado; con el cual se generan: agrietamientos, alabeos y colapso.

El secado tradicional del coigüe considera un presecado al aire libre, para lograr contenidos de humedad bajo el punto de saturación de las fibras, el que requiere un período de 6 o más meses para madera de 1" de espesor, y después se aplica el proceso de secado artificial.

Es posible optimizar el secado del coigüe promoviendo los siguientes aspectos: uso del corte radial para reducir el efecto del colapso y el agrietamiento interno, la aplicación de pretratamientos de corta duración para acelerar el secado y la introducción de la técnica del presecado como alternativa del secado al aire libre.

Con el fin de poder llegar a formular algunas recomendaciones básicas a la industria maderera del país, se realizaron a nivel experimental cuatro ensayos, sobre cuyos resultados se da cuenta en el presente Documento Divulgativo. Junto con una evaluación de la calidad final del material en función del pretratamiento con vapor y los diferentes programas de presecado y secado aplicados, se dió especial importancia al estudio del colapso y de su recuperación por medio del reacondicionamiento con vapor.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Pretratamientos

El alto contenido de tilosis y la formación de sustancias extrañas en la estructura de la madera de coigüe, son elementos que obstruyen el flujo y la conducción de agua. Una serie de ensayos han demostrado que esta situación puede ser revertida aplicando un pretratamiento extractivo, el cual consiste en sacar de la madera, por medio de un solvente adecuado o por la destilación al vapor, aquellas sustancias que obstruyen el flujo, permitiendo de esta manera mejorar la permeabilidad.

Al aplicar como pretratamiento vapor saturado por 2 o 4 horas, el resultado más relevante ha sido el aumento de la velocidad de secado para especies del género *Eucalyptus* y *Nothofagus* (Haslett y Kininmonth, 1986; Chafe y Ananias, 1996). Otra implicancia del pretratamiento, presentado por Chafe (1990), es la recuperación del colapso durante el reacondicionado, que puede ser ligeramente mayor después del pretratamiento con vapor.

Ensayos realizados en el país (Peredo y Figueroa, 1992; Díaz-Vaz y Poblete, 1991), demuestran que para madera aserrada de coigüe de 1" de espesor, la inmersión en agua con temperatura, acelera en forma apreciable el proceso de secado. En ambas experiencias no se apreció una tendencia a la aparición de defectos asociada al pretratamiento.

### 2.2 Reacondicionado

Se denomina reacondicionado a la etapa del secado utilizada para disminuir parte del colapso (Figura 1). El tratamiento se realiza con vapor saturado a 100 °C durante un período de 4 horas. Se recomienda realizar esta etapa una vez que la madera se encuentra a alrededor de un 17% de humedad (INFOR, 1966).

De acuerdo con ensayos de secado de coigüe utilizando piezas de largo comercial (INFOR, 1966), la recuperación promedio del colapso en el sentido tangencial fue de 7,6% y de un 2,9% en el sentido radial (valores expresados como porcentaje de la dimensión original verde).

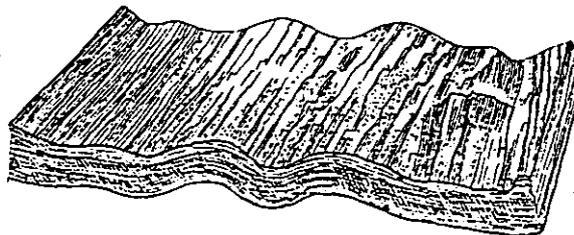


Figura 1. Colapso severo en una pieza de madera

### 2.3 Presecado

Es una técnica que se utiliza para el secado inicial de maderas que necesitan un secado lento para evitar la aparición de defectos. Este tipo de secado se desarrolla en recintos cerrados con componentes básicos similares a los hornos convencionales (Figura 2).

Debido a las bajas temperaturas de operación (menores a 45 °C), un presecador no es adecuado para bajar el contenido de humedad de la madera más allá del 25 a 20%, por lo tanto, cuando se necesitan humedades inferiores, el proceso debe ser completado mediante secado final.

El presecado es una técnica ventajosa respecto al secado al aire libre, pues además de llevar la madera a humedades semejantes pero en menor tiempo, permite obtener un producto de mejor calidad ya que las tablas siempre están protegidas contra el sol y la lluvia.

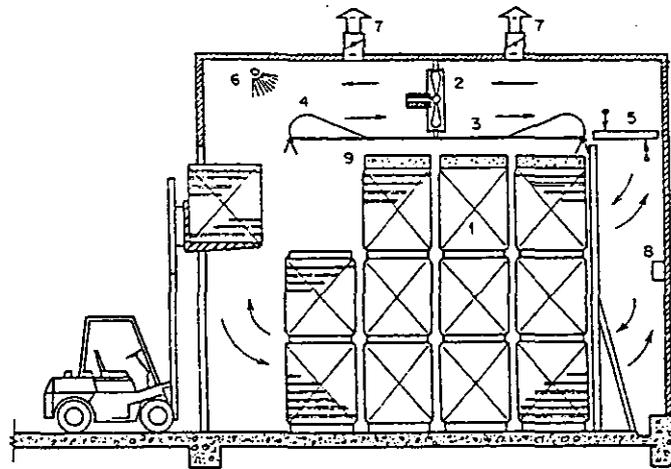


Figura 2. Elementos de un secador de maderas

- |   |                      |
|---|----------------------|
| 1) Pila de madera formada por paquetes  | 2) Ventilador        |
| 3) Cielo falso                          | 4) Deflector de aire |
| 5) Radiadores                           | 6) Vaporizador       |
| 7) Entrada de aire y salida aire humedo | 8) Equipo de control |
| 9) Peso de concreto (500 a 1000 Kg/m2)  |                      |

### 3. METODO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Tratamientos experimentales

Los cuatro tratamientos experimentales estuvieron constituidos por aplicaciones con vapor (pretratamiento, reacondicionado y acondicionado) y por programas de presecado y secado. Estos tratamientos se resumen en el Cuadro 1.

En los ensayos 1 y 2 se realizó un vaporizado inicial (pretratamiento) a la totalidad de las piezas que componen la carga, en tanto, en los ensayos 3 y 4 se consideró la aplicación solamente al 50% de la carga. Las restantes piezas son mantenidas como testigos.

Cuadro 1  
Resumen de los ensayos de secado

HUMEDAD PROMEDIO DE LA MADERA	ETAPA	ENSAYOS Y PROGRAMAS			
		1	2	3	4
		Ts Th	Ts Th	Ts Th	Ts Th
Verde	Pretratamiento	90 - 90	90 - 90	90 - 90	75 - 75
Verde-50 50-40 40-30 30-25 25-20	Presecado	35 - 32 constante	35 - 32 constante	35 - 32 38 - 32 40 - 32 43 - 32 45 - 32	35 - 32 38 - 32 40 - 32 43 - 32 45 - 32
20	Reacondicionado	90 - 90	90 - 90	90 - 90	90 - 90
25-20 20-17 17-14 14-11 11-08	Secado	40 - 33 46 - 38 53 - 38 58 - 38 58 - 38 lento	44 - 40 49 - 44 55 - 44 60 - 44 65 - 44 rápido	40 - 33 46 - 40 53 - 44 58 - 44 58 - 44 lento	44 - 40 49 - 44 55 - 44 60 - 44 65 - 44 rápido
<10	Acondicionado	90 - 90	90 - 90	75 - 75	75 - 75

Ts: temperatura de bulbo seco, °C  
Th: temperatura de bulbo húmedo, °C

### 3.2 Material y equipos

El material experimental se obtuvo de la primera troza de árboles de coigüe sanos y maduros, de unos 56 a 86 cm de diámetro, provenientes de la localidad de Neltume en la provincia de Valdivia.

De cada troza se cortaron piezas cuarteadas de dimensiones nominales de 1\*5 pulgadas (25\*127 mm) y 2 m de largo. Las piezas fueron distribuidas al azar al momento de encastillarlas para los distintos tratamientos.

Los ensayos se llevaron a cabo en un horno experimental de fabricación nacional, con una capacidad de 0,25 m<sup>3</sup>. La calefacción y humidificación del horno se realizó con vapor de baja presión. La velocidad del aire entre tablas fue de 2,5 m/s.

### 3.3 Procedimiento

Las 36 piezas en corte radial de cada ensayo fueron encastilladas con listones separadores de 10\*30\*510 mm. Cada castillo consistía de 3 piezas en el ancho y 12 corridas en altura (Figura 3). Se ubicaron 4 muestras para seguir el contenido de humedad de la carga (2 pretratadas y 2 sin pretratar).

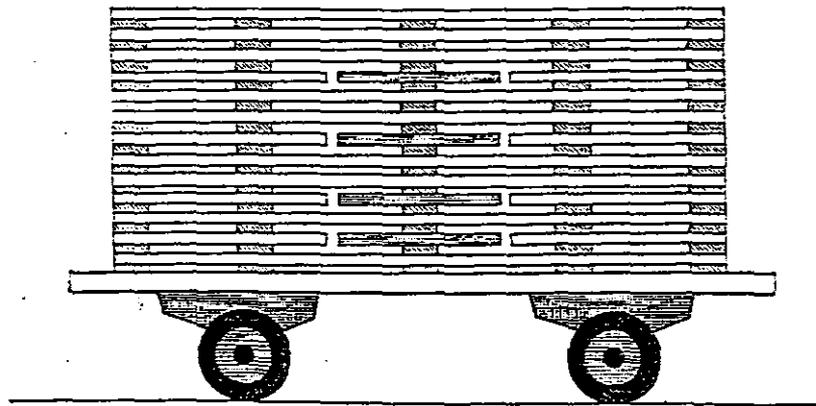


Figura 3. Vista del castillo y ubicación de muestras testigos

Las piezas se dimensionaron (ancho y espesor) en distintas etapas del proceso (presecado, reacondicionado y secado), inspeccionándose los defectos presentes antes de iniciar los ensayos a fin de excluirlos de los causados por el secado propiamente tal (Figura 4). Cada pieza de madera fue convenientemente sellada en sus extremos, con el fin de simular el comportamiento de piezas de mayor longitud.

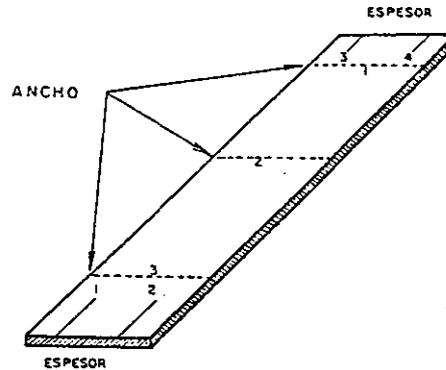


Figura 4. Marcación de los puntos de control de dimensiones

La humedad de la madera se determinó al comienzo, cortando simultáneamente secciones de una pulgada entre las piezas y muestras experimentales, las que fueron secadas en estufa hasta peso constante. Las muestras se pesan diariamente para conocer el contenido de humedad actual de la madera y conducir los programas de secado. A cada una de las piezas se le determina el contenido de humedad al final de las etapas del presecado y secado.

Los defectos fueron estimados visualmente según el esquema descrito a continuación. Se consideraron como defectos:

Grietas:

- a. grietas en las caras
- b. grietas en las puntas y grietas internas

Deformaciones (Figura 5):

- a. acanaladura
- b. torcedura
- c. encorvadura
- d. arqueadura

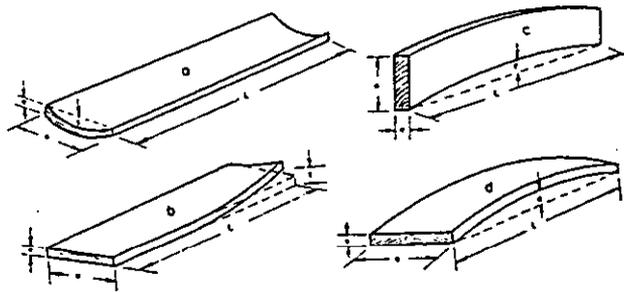


Figura 5. Deformaciones o alabeos

En la evaluación de los defectos se consideró la intensidad de éstos, agrupándolos en ciertos niveles de magnitud. Posteriormente, a cada uno de estos niveles se le asignó un factor de ponderación de acuerdo al Cuadro 2:

Cuadro 2  
Factor de ponderación para los defectos del secado

DESCRIPCION	PONDERACION
Sin defecto	0
Leve	0,5
Moderado	2,0
Intenso	2,5

La calidad del presecado se estimó como la suma estadística de los 4 alabeos mencionados, en tanto, que en la determinación de la calidad del secado fueron considerados los 6 tipos de defectos anotados, clasificándola a su vez según la siguiente escala de referencia:

Excelente	0	Muy buena	0,1 - 0,5
Buena	0,6 - 1,0	Satisfactoria	1,1 - 1,5
Regular	1,6 - 2,0	Defectuosa	2,1 - 3,0
Mala	3,1 - 5,0	Muy mala	> 5,1

El porcentaje de recuperación del colapso se determinó mediante el cambio de dimensiones que experimentan las muestras y piezas antes y después del reacondicionado. El colapso no fue incluido entre los defectos del proceso, debido a que se estimó posible su eliminación por medio del reacondicionado con vapor.

Para evaluar el gradiente de humedad y las tensiones de secado son utilizadas probetas de 1" de espesor, las cuales son seccionadas en tres partes iguales. El gradiente es proporcionado por la diferencia de humedad existente entre la parte interior y exterior de cada probeta. El nivel de las tensiones se obtiene al evaluar la deformación máxima en el centro de las dos piezas externas decada probeta. Las mediciones se realizan al termino de los procesos de presecado y secado (Figura 6).

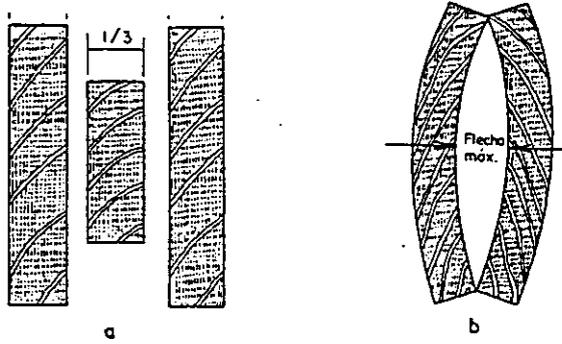


Figura 6. Forma de probetas para evaluar gradiente de humedad (a) y tensiones de secado (b)

#### 4. RESULTADOS

En el Cuadro 3, se indica los tiempos de secado según ensayo y tratamiento hasta una humedad final promedio de un 10%.

Cuadro 3  
Tiempo de secado según ensayo y tratamiento

ENSAYO	TRATAMIENTO	PRESECADO		SECADO		TIEMPO TOTAL
		C.H.	tiempo (h)	C.H.	tiempo (h)	
1	Pretratada	68,7 18,0	600	16,3 7,5	236	836.0
2	Pretratada	148,7 20,1	1.416	18,7 10,4	125	1.541
3	Pretratada	122,1 20,2	1.200	17,8 10,5	112	1.312
	Testigo	138,9 22,2	1.326	22,9 10,5	162	1.488
4	Pretratada	114,4 20,1	1.032	12,9 10,1	90	1.122
	Testigo	131,6 28,8	1.200	23,8 15,1	141	1.341

C.H.: Contenido de humedad

En el Cuadro 4, se presenta los resultados obtenidos con respecto a las grietas y deformaciones al final del secado. Se proporcionan los índices de calidad para el presecado y secado.

Cuadro 4  
Indice de la calidad del secado

DESCRIPCION	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 4	
	Pretratada	Pretratada	Pretratada	Testigo	Pretratada	Testigo
GRIETAS internas	1,64	1,56	2,46	0,13	0,00	0,00
ALABEOS						
acanaladura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
arqueadura	0,09	0,04	0,66	0,33	0,81	1,06
encorvadura	0,39	0,30	1,10	0,83	0,46	0,46
torcedura	0,09	0,09	0,53	0,53	0,31	0,34
INDICE SECADO	2,21 defectuosa	1,99 regular	4,75 mala	1,82 regular	1,58 satisfac	1,86 regular
INDICE PRESECADO	3,75 mala	2,48 defectuosa	1,72 regular	1,33 satisfac	1,33 satisfac	1,81 regular

El Cuadro 5, muestra la distribución promedio de la humedad y el nivel de tensiones producido al término de los procesos de presecado y secado.

Cuadro 5  
Gradiente de humedad (%) y tensiones de secado (mm)

ETAPA	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3		ENSAYO 4	
	Pretratada	Pretratada	Pretratada	Testigo	Pretratada	Testigo
PRESECADO						
gradiente	3,4	5,0	4,5	16,7	6,0	7,8
tensiones	7,2	6,7	6,2	9,1	9,2	10,6
SECADO						
gradiente	1,6	1,7	0,9	4,6	1,3	1,4
tensiones	1,3	0,7	1,2	2,3	1,8	2,0

El Cuadro 6, proporciona información respecto de la contracción antes y después del reacondicionado, además del porcentaje de recuperación del colapso en cada uno de los ensayos.

Cuadro 6  
 Contracción antes y después del reacondicionado (%)

ENSAYO	PIEZAS	CONTRACCION (% DIMENSION VERDE)				RECUPERACION COLAPSO (%)
		ANTES		DESPUES		
		Tangencial	Radial	Tangencial	Radial	
1	Pretratadas	11,9	5,2	4,5	2,9	9,7
2		13,6	4,1	9,4	2,8	5,5
3		11,9	3,5	7,7	2,5	5,2
4		16,8	8,3	11,3	6,7	7,1
3	Testigos	10,9	3,6	6,1	2,9	5,5
4		12,6	4,0	9,4	3,6	3,6

## 5. CONCLUSIONES

El presecado artificial del coigüe permite reducir en forma significativa el tiempo empleado en esta etapa. Los ensayos 2,3 y 4 presentan, en promedio, para aquellas piezas sometidas a pretratamiento, una duración de 1,7 meses. Kauman y Mittak (1966) señalan que el secado del coigüe, desde condiciones verdes hasta un 20% de humedad, en piezas de 1" de espesor, requiere de 6 a 7 meses.

La presencia de grietas internas en la madera es influenciada por la temperatura del pretratamiento. En los tres primeros ensayos el vaporizado se realizó con temperaturas de 90/90 °C, produciéndose en todos ellos agrietamiento interno en la madera. Cuando el pretratamiento se realizó a 75/75 °C, desaparecen las grietas internas, pero los alabeos son los que limitan la calidad de la madera seca.

El reacondicionado efectuado sobre piezas con un vaporizado inicial permite una mayor recuperación del colapso. En madera pretratada la recuperación del volumen es, en promedio, expresado como porcentaje de la dimensión original verde, de un 7% (5,4% tangencial y 1,6% radial), en tanto, la madera testigo disminuye esta recuperación a un 4,5% (4% tangencial y 0,5% radial). Esto significa, para la madera pretratada, que la tabla verde cuarteada de 30 mm de espesor medirá seca (9% contenido de humedad) sólo 24,9 mm, pero reacondicionada, 26,5 mm, lo que equivale a 1,6 mm recuperados. Este valor que puede considerarse pequeño, constituye una importante ventaja económica para los madereros, pues una tabla colapsada debe cepillarse a la medida menor de la superficie irregular de la madera, lo que aumenta considerablemente la pérdida.

La madera pretratada alcanza las menores diferencias de humedad entre el interior y la superficie de la madera. Esta diferencia no supera el 2%, lo que de acuerdo a Welling (1994) significa una excelente calidad.

La madera pretratada presenta al final del proceso una menor magnitud de las tensiones de secado. El promedio obtenido (1,25), de acuerdo con indicaciones de Welling (1994), es considerado como tensión leve.

Con los ensayos realizados, se puede recomendar el programa número 4 para madera pretratada a 75 °C. Con un buen encastillado de la madera y una circulación del aire de 2,5 m/s, los programas indicados (presecado y secado) deberían permitir secar la madera en 47 días, desde condición verde hasta un 10% de contenido de humedad.

## 6. BIBLIOGRAFIA

ANANIAS, R.A.; CHAMORRO, M.; DIAZ, C. 1996a. Efecto del precalentamiento en agua sobre la densidad básica y la contracción en coigüe. Ciencia e Investigación Forestal (enviado para publicación).

ANANIAS, R.A.; FLORES, P.; FUENTES, O.; PEÑA, G. 1996b. Secado por alta temperatura de latifoliadas. Actas VIII Reunión Investigación y Desarrollo en Productos Forestales 1:143-154. U. Chile, Santiago, Chile.

BOONE, R.S.; KOZLIK, C.J.; BOIS, P.J.; WENGERT, E.M., 1988. Dry kiln schedules for commercial woods: temperate and tropical. General Technical Report FPL-GTR-57, Forest Products Laboratory, Madison, WI, U.S.A.

CASANOVA, M.; SEGUEL, A., 1996. Secado al vacío de coigüe de 38 mm de espesor. Seminario Titulación, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

CHAFE, S.C., 1990. Effect of brief pre - steaming on shrinkage, collapse and other wood water relationships in *Eucalyptus regnans*. Wood Science Technology. 24:311-326.

CHAFE, S.C.; ANANIAS, R.A., 1996. The effect of pre - steaming on moisture loss and internal checking in high - temperature - dried boards of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus regnans*. Journal of the Institute of Wood Science.

CIFUENTES, J.Y.; LEZANA, O.F., 1996. Ensayos de secado bajo vacío de coigüe de 50 mm de espesor. Seminario Titulación, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

DIAZ-VAZ, J.E.; POBLETE, H., 1991. Inmersión en agua de madera aserrada de coigüe. Actas VII Reunión Investigación y Desarrollo de Productos Forestales 1:241-259, U. Austral, Valdivia, Chile.

HASLETT, A.N.; KININMONTH, J.A., 1986. Pretreatments to hasten the drying of *Nothofagus fusca*. New Zealand Journal of Forestry Science 16(2):237-246.

INFOR, 1966. Ensayos de secado en coigüe. Informe Técnico N°25, Instituto Forestal, Santiago, Chile.

KAUMAN, W.G.; MITTAK, G., 1964. Problems in drying chilean coigüe. Forest Products Journal 14(8):359-360.

KAUMAN, W.G.; MITTAK, G., 1966. Ensayos de secado en coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Informe Técnico No. 25, Instituto Forestal, Santiago, Chile.

**MORALES, M.A., 1994.** Comportamiento del colapso en secado por vacío en coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Tesis, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

**PEREDO, M.; FIGUEROA, R., 1992.** Secado artificial de madera de coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Bosque 13(2):45-55.

**RESSEL, J.; WELLING, J., 1987.** Das Trocknungsverhalten des Holzes coigüe (1), (2). Holz-Kunststoffverarbeitung 22(2):150-153 (primera parte), 22(3):246-247 (segunda parte).

**ROSENDE, R.; BLUHM, E., 1966.** Ensayos de secado en coigüe y ulmo en tablas de largo comercial. Informe Técnico No. 26, Instituto Forestal, Santiago, Chile.

**VILLAR, D., 1984.** Secado de madera aserrada de coigüe (*Nothofagus dombeyi*) mediante aire forzado. Tesis, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

**WELLING, J. 1994.** Drying quality assesment and specification -a challenge for the future-. 4th IUFRO Wood Drying Conference 1:297-304. Rotorua, N. Zealand.

## 7. GLOSARIO

ACONDICIONADO	:	Es el proceso aplicado al final del secado artificial para aliviar las tensiones en la madera.
ALABEO	:	Es la deformación que puede experimentar una pieza de madera como consecuencia de la curvatura de sus ejes longitudinal, transversal o ambos. Se distinguen: acanaladura, torcedura, encorvadura y arqueadura.
CALIDAD DEL SECADO	:	Descripción del estado de una carga de madera después de secada (presecada), respecto de las propiedades que están directamente relacionadas con el proceso de secado.
COLAPSO	:	Es una contracción anormal que ocurre durante las primeras etapas del secado, cuando la madera aún está perdiendo agua libre y se debe, comúnmente hablando, a un aplastamiento de los lúmenes de una célula; quedando la madera seriamente deformada.
CONTRACCION DE LA MADERA :		Disminución de las dimensiones de la madera que ocurre cuando la madera presenta un contenido de humedad de alrededor del 30%. Se expresa normalmente como un porcentaje de la dimensión de la madera verde.
GRADIENTE DE HUMEDAD	:	Es la diferencia de humedad entre las capas internas y superficiales de la madera.
GRIETAS SUPERFICIALES	:	Son fisuras en la superficie de una pieza de madera. Dependiendo de su profundidad pueden o no desaparecer totalmente mediante cepillado.

GRIETAS INTERNAS	:	Como su nombre lo indica tienen su origen en el interior de la madera, pero también pueden producirse debido a la prolongación de las grietas superficiales hacia el centro o debidas al colapso.
HUMEDAD DE LA MADERA	:	Cantidad de agua por unidad de peso seco de la madera, expresada en tanto por ciento.
PERMEABILIDAD	:	Se define como la facilidad con la cuál un fluido atraviesa la madera en respuesta a una diferencia de presión.
PROGRAMA DE SECADO	:	Conjunto de etapas sucesivas para lograr un contenido de humedad final deseado para la madera. Cada etapa del programa se encuentra fijada por la temperatura de bulbo seco y húmedo.
TEMPERATURA DE BULBO SECO :		Temperatura leída por un termómetro de bulbo seco y mide la temperatura al interior de la cámara de secado.
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO :		Temperatura leída en el termómetro de bulbo húmedo y mide la temperatura de equilibrio alcanzado por una pequeña masa de agua expuesta a una corriente continua de aire.
TENSIONES DE SECADO	:	Esfuerzos que se originan en el interior de la madera, como consecuencia de las diferencias de contracción producidas por la variación del contenido de humedad.

**ANEXO N°2**

**DOCUMENTO “ENSAYOS DE PRESECADO Y SECADO  
EN TABLAS DE 30 MM DE ESPESOR”**

