



Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias Forestales

**Evaluación de un programa de secado de *Pinus radiata*
D.Don impregnado con sales de CCA**

Profesor Patrocinante: Sr. Roberto Juacida P.
Profesor Copatrocinante: Sr. Luís Inzunza D.

Trabajo de Titulación presentado
como parte de los requisitos para optar
al Título de **Ingeniero en Maderas**.

JAVIER ANDRES ZARATE BERTOGLIO

Valdivia
2006

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Roberto Juacida Percaz	_____
Co-Patrocinante:	Sr. Luís Inzunza Diez	_____
Informante:	Sr. Alfredo Aguilera León	_____

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sr. Roberto Juacida P.

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a toda mi familia que sin ellos no podría haber llegado a estas instancias tanto a mis padres, hermanos, abuelos y tíos, que me apoyaron y me dieron aliento para desarrollarme como profesional y persona.

Además quiero agradecer a mis profesores que con su sabiduría y entrega no podría haber llevado a cabo este trabajo, en especial a Don. Roberto Juacida, Don Luis Inzunza y Don Alfredo Aguilera, que estuvieron conmigo de forma especial, además agradecer a todo el TEIM, que sin duda me ayudó mucho en los momentos necesarios.

También quiero agradecer a Empresas Fourcade por abrirme sus puertas tantas veces y haber permitido desarrollarme como profesional. Debo agradecer, sin ninguna duda por esa ayuda a Don. Carlos Stolzenbach, Don. Jorge Valeria, y en especial a Don Félix Briones por sus consejos y ayuda.

Finalmente agradecer a todos quienes estuvieron allí en el momento oportuno en cada instancia de mi vida.

*A mis queridos Padres y hermanos
que los adoro.....*

ÍNDICE DE MATERIAS

1	INTRODUCCION	1
2	MARCO TEORICO	2
2.1	Factores de la madera	2
2.1.1	<i>Características anatómicas</i>	2
2.1.2	Propiedades físicas de la madera	3
2.1.2.1	<i>Peso específico o densidad</i>	3
2.1.2.2	<i>La humedad en la madera</i>	3
2.1.2.3	<i>Contracción e Hinchamiento</i>	5
2.1.2.4	<i>Cuociente de secado</i>	5
2.1.2.5	<i>Permeabilidad y ritmo de secado</i>	6
2.2	Secado artificial de la madera	7
2.2.1	<i>Factores que influyen en el secado de la madera</i>	8
2.2.2	<i>Calidad del secado</i>	9
2.2.3	<i>Formación de grietas y rajaduras</i>	10
2.2.4	<i>Tensiones de secado</i>	12
3	Diseño experimental	13
3.1	Material	13
3.1.2	<i>Madera</i>	13
3.1.3	<i>Cámaras de secado</i>	13
3.1.4	<i>Sales preservantes</i>	13
3.1.5	<i>Instrumental</i>	14
3.2	Método	15
3.2.1	<i>Impregnado</i>	15
3.2.2	<i>Secado</i>	16
3.2.3	<i>Medición de contenido de humedad</i>	17
3.2.4	<i>Preparación de probetas tenedor</i>	17
3.2.5	<i>Medición de grietas</i>	18
3.2.6	<i>Medición de alabeos</i>	19
3.2.7	<i>Evaluación de la calidad del secado</i>	20
3.2.8	<i>Evaluación de variación dimensional y densidad de la madera.</i>	21
3.2.9	<i>Análisis Estadístico</i>	21

4	RESULTADO	23
4.1	<i>Caracterización de la materia prima en su contenido de humedad Inicial y posibles defectos de origen</i>	23
4.2	<i>Evaluación de la calidad de los programas de secado</i>	24
4.2.1	Análisis variación dimensional	26
4.2.2	Análisis tensiones	26
4.2.3	Dispersión de Humedad	28
4.2.4	Análisis deformaciones	28
4.2.5	<i>Calidad del secado</i>	31
	CONCLUSIONES	33
	BIBLIOGRAFÍA	35
	ANEXOS	38

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Calidad de madera según su anisotropía	5
Cuadro 2	Lotes y condiciones experimentales de impregnación y secado de la madera	15
Cuadro 3	Determinación de calidad por cada programa	15
Cuadro 4	Programa de secado N° 1, usado por empresa	16
Cuadro 5	Programa de secado N° 2, nuevo	16
<i>Cuadro 6</i>	Niveles de tensión admisibles por calidad	18
<i>Cuadro 7</i>	Clasificación de la calidad del secado según Kauman y Mittak (1966)	20
<i>Cuadro 8</i>	Magnitud limite de los defectos de secado para cada grado de calidad, adaptación de la norma NCh.178.Of.79	21
Cuadro 9	Resumen tratamiento	23
Cuadro 10	Resumen densidad anhidra y dispersión de humedad en las piezas	24
<i>Cuadro 11</i>	Cantidad de defectos encontrados luego del presecado de la madera	24
<i>Cuadro 12</i>	Rangos de contenido de humedad y tiempos de secado de cada tratamiento.	25
Cuadro 13	Variación dimensional en piezas impregnadas con 6 kg/m ³	26
Cuadro 14	Participación porcentual de los defectos según sus factores de desclasificación	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Control de contenido de Humedad.	17
Figura 2	Obtención de probetas tenedor, y zona de marca.	18
Figura 3	Probeta de tensión transversal	18
Figura 4	Medición de alabeos acanaladura, torcedura	19
Figura 5	Medición de alabeos , arqueadura, encorvadura	19
Figura 6	Probeta de determinación contracción y densidad	21
Figura 7	Distribución de tensiones por tratamiento	27
Figura 8	Distribución de humedad por tratamiento	28
Figura 9	Distribución de defectos por tratamientos programa 1 y 2 sin impregnar.	28
Figura 10	Distribución de defectos por tratamientos programa 1 y 2 impregnado con 4 kg/m^3	29
Figura 11	Distribución de defectos por tratamientos programa 1 y 2 impregnado con 6 Kg/M^3 .	29

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio surge por la necesidad de mejorar la calidad de la madera aserrada seca obtenida a partir del proceso de secado artificial, específicamente la calidad ligada a las grietas, alabeos, dispersiones de humedad y tensiones generados al término del proceso, las cuales son perjudiciales para los posteriores procesos de transformación que posee la industria del mueble.

Se estudia el efecto del secado sobre los distintos niveles de retención de sales de CCA (Cobre, Cromo, Arsénico) en madera aserrada de *Pinus radiata D.Don*, como así también la variación dimensional en las piezas que fueron parte del estudio.

La metodología consistió en someter la madera impregnada a un proceso de secado artificial convencional, evaluando dos programas de secado; previamente a ello la madera fue sometida a un proceso de presecado, para luego ser impregnada a dos niveles de retención (4 y 6 Kg/m³), dejando un periodo de fijación de 10 días.

La calidad de los programas de secado se evaluó mediante análisis de varianza, buscando la diferencia mínima significativa entre ambos, teniendo como testigo madera sin impregnar.

En general a medida que los niveles de retención aumentan, los defectos en el secado se incrementan, específicamente existió un aumento en la cantidad de grietas y la torcedura como principal defecto.

El segundo programa presentó menos defectos generando el 28.4%, en comparación con el primer programa que tuvo un nivel de defectos del 70.7%, teniendo una alta significancia la cantidad de grietas y elevadas tensiones. En lo que se refiere al tiempo de secado, el segundo programa incrementó el tiempo de secado en 5% más, Sin embargo el aumento del tiempo generó la disminución de los defectos, y una mayor cantidad de piezas buenas.

Palabras Claves: Secado, alabeos, tensiones, dispersión de humedad, variación dimensional.

1. INTRODUCCION

La calidad final de la madera aserrada seca para la confección de productos para la industria, se condiciona por la calidad propia de la madera, proveniente de los bosques y por el correcto manejo del proceso de secado.

La madera aserrada y posteriormente secada artificialmente, mejora sus propiedades físico - mecánicas y su estabilidad dimensional, facilitando todos los procesos posteriores de transformación, hasta llegar a generar en el producto, un mayor valor agregado.

El control de calidad de la madera aserrada debe realizarse antes, durante y después del proceso de secado, para asegurar así un buen producto final que llegue a las manos de consumidores como un producto de alta calidad.

El presente estudio surge por la necesidad de mejorar la calidad de la madera aserrada seca obtenida a partir del proceso de secado artificial de Empresas Fourcade, para un mercado tan exigente como el japonés. Se analizó específicamente la calidad ligada a las tensiones generadas al término del proceso, las cuales son perjudiciales para producto final.

Teniendo presente la necesidad de obtención de una madera libre de tensiones, es que se han propuesto una serie de objetivos, los cuales son base esencial para la obtención de los resultados esperados.

Por lo anterior, el objetivo general del estudio es evaluar la calidad de programas de secado aplicado a madera de pino insigne impregnado con sales hidrosolubles de sales del tipo (CCA).

Como objetivo específico se estableció:

- a) Caracterizar la materia prima en su contenido de humedad inicial y posibles defectos de origen.
- b) Evaluar la calidad del programa actual de secado, determinando la dispersión de contenidos de humedad y humedad final, además de densidades, tensiones y contracciones.
- c) Comparar la calidad de secado de la madera impregnada con respecto a la madera sin impregnar, en base a la intensidad de alabeos y grietas.
- d) Validar los resultados mediante la aplicación de un segundo programa de secado, analizando la calidad de este último.

2. MARCO TEORICO

La madera de Pino Insigne presenta una albura blanco- amarillo y un duramen rojizo. Anillos de crecimiento muy notorios y anchos, con paso gradual entre madera de primavera y verano, con alto porcentaje de madera tardía.

Canales resiníferos muy visibles en caras longitudinales, textura gruesa y abundancia de nudos, rayos medulares bien visibles y numerosos. Es una madera liviana, blanda, poco durable y de baja resistencia mecánica, permeable y por lo tanto fácil de secar e impregnar, muy susceptible al ataque de hongos provocadores de la mancha azul

La madera de pino insigne, a diferencia de varias maderas de especies nativas de Chile, presenta una escasa durabilidad natural, lo que limita su aplicación en condiciones naturales para uso de exteriores o en contacto con el suelo, recomendándose, en estos casos, la impregnación con sustancias preservadoras que le permitan aumentar su vida útil..

Eligiendo el preservante y tratamiento adecuado se pueden mejorar considerablemente sus propiedades, no sólo en cuanto a sus resistencia frente a la acción de agentes degradadores bióticos o abióticos, sino incluso su resistencia mecánica. Por lo que el Pino insigne es capaz de responder a las aplicaciones de un tratamiento adecuado, a las exigencias que se deriven de las distintas utilizaciones.

2.1 Factores de la madera

2.1.1 Características anatómicas

La madera es un material biológico de origen vegetal. Cuando forma parte del tronco de los árboles, sirve para transportar el agua y las sustancias nutritivas del suelo hacia las hojas, da soporte a las ramas que sostienen la copa y fija las sustancias de reserva almacenando los productos transformados por las hojas. Todas estas funciones determinan la naturaleza de la madera, caracterizadas por su porosidad y elevada resistencia en relación con su peso, propiedades éstas que la hacen categóricamente diferente a los otros materiales de construcción conocidos (JUNAC 1988).

El paso de líquidos entre traqueidas se realiza a través de las punteaduras y especial importancia tienen en el campo de cruce, es decir, en el encuentro de las traqueidas en el sentido longitudinal con los radios en el sentido transversal.

Las punteaduras, juegan un papel importante. Las simples transmiten los líquidos por difusión a través de la lámina media. En las punteaduras aeroladas los líquidos penetran a través de los espacios existentes en la red fibrilar del margo, (Juacida 1980).

Según Álvarez y Fernández-Golfín (1992), el proceso de duraminización también afecta a estas punteaduras ya que es frecuente la pérdida de permeabilidad después de dicho proceso por:

1. Aspiración del torus, y fijación de éste a la estructura del reborde.
2. Acumulación de incrustaciones y de depósitos insolubles en las membranas.

Las punteaduras se disponen mayoritariamente en las caras radiales de los elementos longitudinales, la circulación será mas acusada en la dirección tangencial que en la radial. La circulación radial viene especialmente favorecida por los radios leñosos.

Debido a la estructuración y orientación de los elementos fibrosos, la madera presenta características de permeabilidad diferentes dependiendo del plano (longitudinal, radial o tangencial) que se analice. Generalmente las mayores absorciones se producen en sentido longitudinal.

2.1.2 Propiedades físicas de la madera

2.1.2.1 Peso específico o densidad

La densidad es una de las propiedades físicas que sirven de guía en cada proceso de secado.

Una fibra de madera de conifera no tiene una estructura homogénea debido a la diferente alineación en capas de las cadenas de celulosa y cuando la pared de las traqueidas se contrae o se hincha debido a los cambios de contenido de humedad cambia la dimensión de las cavidades y del lumen de las traqueidas.

Al comparar, la tasa de contracción e hinchamiento de una traqueida de pared gruesa con una de pared delgada la primera de las nombradas se contrae e hincha más. Pero como las células de paredes gruesas son propias de maderas densas o pesadas, el mayor peso de la madera hace mayor la contracción que puede esperarse para la pérdida de un contenido de humedad dado, así entonces, como grupo las maderas duras (pesadas) contraen más que las blandas (livianas).

2.1.2.2 La humedad en la madera

La madera es un material que absorbe o entrega agua según sean las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente. Esta propiedad hace que el contenido de humedad de la madera sea variable dependiendo del ambiente que se encuentre.

El agua es el vehículo de transporte que emplean las plantas para su alimentación. Esto unido a la higroscopicidad de la madera ya seca, hace que el agua este siempre presente en el interior de la madera en un grado que es necesario determinar antes de proceder a su secado o empleo final, (Inzunza 2005).

El agua contenida en los lúmenes de las traqueidas o vasos se suele llamar “agua libre”, en contraposición a la contenida en la pared, llamada “agua ligada”. Estos términos de libre y ligada son relativos desde el mismo momento en que esta agua contenida en las paredes de las traqueidas o vasos está sometida a fuerzas capilares y por tanto no se encuentra en el mismo estado termodinámico que el agua contenida en los lúmenes de las traqueidas que puede contener elementos solubles que modifican su estado termodinámico, haciéndola más libre que el agua sin solutos.

El agua ligada (hasta el 30%) es la que impregna las paredes de vasos y traqueidas rellenando los espacios microscópicos y submicroscópicos. Esta agua está fijada por la madera seca mediante un intercambio gaseoso con la atmósfera denominado adsorción. El proceso contrario se le denomina desorción y es el que tiene lugar en el secado.

La sorción se trata de un fenómeno superficial proporcional a la superficie, tanto interna como externa, del adsorbente (madera), que tiene lugar cuando las moléculas del adsorbato (vapor de agua) se fijan sobre la superficie del adsorbente en virtud de las diferentes fuerzas atractivas que entran en juego y que se deben, fundamentalmente, a la asimetría de fuerzas que existe en toda la superficie (para las moléculas situadas en la superficie la resultante de fuerzas atractivas no es nula y esta dirigida hacia el interior de la madera).

La cantidad de vapor de agua depende de la temperatura ya que conforme mayor es la temperatura las moléculas de agua retenida por la madera tienen más energía, por lo que rompen más fácilmente sus enlaces con la madera, liberándose. También depende de la presión de vapor ya que conforme mayor es la presión, mayor es la cantidad de vapor fijado por la madera. También depende del peso específico pues conforme mayor es éste, mayor es la superficie interna de la madera, por lo que fijará mayor cantidad de agua, a igualdad de volumen aparente de la madera (Álvarez y Fernández-Golfín 1992).

Los dos principales mecanismos de movimiento de humedad que ocurre durante el secado de la madera son: Fuerzas capilares que actúan sobre el agua libre, y difusión del agua ligada. Cuando la madera verde se expone a un ambiente secante, inicialmente el agua de la superficie de la madera se evapora, formándose con ello meniscos en las aberturas de las punteaduras de las células superficiales, estos meniscos debido a la tensión superficial del agua crean fuerzas de capilaridad y estas a su vez, producen un diferencial de presión al interior de la madera. De esta forma las fuerzas de capilaridad mueven parte del agua líquida hacia la superficie de la pieza donde ésta puede ser evaporada hacia el aire circundante (Álvarez y Fernández-Golfín 1992).

El mecanismo de movimiento del agua ligada, el cual va siendo más importante conforme procede el secado, es por difusión hacia la superficie de la madera. La difusión es un mecanismo mucho más lento de movimiento de humedad en comparación con el movimiento por capilaridad. Los mecanismos de movimiento de humedad anteriores se ven respectivamente influenciados por la humedad relativa y

2.1.2.3 Contracción e hinchamiento.

Según Inzunza (2005), la presencia de compuestos higroscópicos como celulosa hace de la madera un material que intercambia humedad con el ambiente hasta lograr el equilibrio. Cuando los cambios del contenido de humedad afectan la humedad que está en la pared celular se producen, como resultado de estos, los cambios en las dimensiones de la madera conocidos como contracción e hinchamiento.

También se puede producir cambios dimensionales cuando sale agua de los lúmenes celulares. En este caso los cambios dan origen a deformaciones en las piezas por colapso de las células.

Para los efectos de la contracción e hinchamiento, tiene importancia fundamental, solamente, la humedad absorbida por las paredes de las traqueidas. Los límites generalmente aceptados en los cuales la madera contrae o hincha debido a la pérdida o ganancia de humedad están ubicados entre 0% y 30%.

Los cambios dimensionales normales de la madera son de magnitud diferentes en las direcciones tangenciales, radiales y longitudinales. Mayor es en dirección tangencial y menor en dirección longitudinal.

La contracción tangencial presenta valores promedio entre 5 y 15%, la radial entre 3 y 8% y la longitudinal entre 0.1 y 0.3%. la contracción volumétrica tiene valores entre 8 y 20%, (Inzunza (2005)).

La anisotropía de la contracción es la relación entre la contracción tangencial máxima y la contracción radial máxima, en la siguiente tabla se muestran los coeficientes de evaluación de la calidad de la madera según su anisotropía, Cuadro 1.

Cuadro 1: Calidad de madera, según su anisotropía.

Coefficiente de Anisotropía	Calidad de Madera
< 1,5	Madera muy estable
1,6 a 2,0	Media baja
2,0 a 2,5	Media alta
>2,6	Madera muy inestable

Maderas con una alta contracción volumétrica, un alto coeficiente de anisotropía y un alto peso específico, son maderas con grandes dificultades frente al proceso de secado, por lo que se requieren programas de secado moderado (Inzunza 2005).

2.1.2.4 Cuociente de secado.

Otro factor que influye en la velocidad y calidad del secado es el cuociente de secado, que se define como la relación momentánea entre la humedad media actual de la madera y la humedad de equilibrio de la madera cuando se mantienen constante las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire (Inzunza, 2005).

El mismo autor menciona que mientras mayor sea el cuociente de secado la madera secará más rápidamente, pero si el cuociente es demasiado grande existe el alto riesgo de aparición de fuertes tensiones y grietas, porque la superficie de la madera seca muy rápidamente, mientras que el interior permanece aun húmedo, el cuociente de secado se puede determinar según la siguiente formula:

$$\text{Cuociente de secado} = \frac{UAC}{UGL}$$

Donde:

UAC: Humedad actual de la madera.

UGL: Humedad de equilibrio de la madera.

2.1.2.5 *Permeabilidad y ritmo de secado*

Kininmonth (1971), midió la permeabilidad transversal en madera verde y madera seca y resaturada de *Nothofagus fusca* y *Eucaliptus regnans*. Encontró que la permeabilidad de *Nothofagus fusca* no fue afectada por el secado y restauración, pero en *E. regnans*, aparte de que en estado verde fue muy baja, su permeabilidad se redujo significativamente por el secado y la restauración, particularmente en el sentido tangencial.

Mackay (1973), menciona que la depositación de extraíbles durante el secado así como la contracción de los componentes celulares, podría ser la causa de la reducción en la permeabilidad, aunque, si se forman micro grietas durante el secado, la permeabilidad podría incrementarse.

Para el secado a temperatura convencional, las curvas testigo y tratada con agua son coincidentes en todo el periodo, mientras que la tratada con sales de CCA fue mucho mas lenta después de las primeras 30 horas.

Considera que la aspiración de las punteaduras durante el secado inicial y la depositación de las sales sobre las paredes celulares, están influyendo en el flujo de agua libre y difusión del vapor, y por lo tanto, afectando significativamente el ritmo de secado después del tratamiento de impregnación.

Coetzee (1980), menciona respecto a la distribución de las sales de CCA en vasos y traqueidas de la madera impregnada, que los metales de los preservadores CCA se precipitan sobre la pared en el lado del lumen, resaltando que las más altas concentraciones de óxidos, principalmente arsénico y cromo, fueron observadas en las áreas de las punteaduras.

El mismo autor indica que las sales insolubles precipitadas en los lúmenes de las células de la madera impregnada, retardan el movimiento de agua libre. Se considera que esas capas representan una estructura superficial que incrementa la tensión superficial del agua y causan un retraso en el movimiento del agua en la estructura celular, especialmente a través de los poros de las membranas de las punteaduras.

Hornicsar, Blankenhorn y Webb (1987), determinan el movimiento de humedad y la permeabilidad al vapor de agua, en madera de pino (southern pine) y encina roja (red oak) impregnada tanto con sales CCA como Creosota. De los resultados obtenidos se destaca que los ejemplares impregnados con sales CCA presentaron el ritmo más alto de movimiento de humedad, las muestras control le siguieron y por último fue la creosotada. Esas diferencias las atribuyen al tipo de preservador empleado, considerando que la naturaleza higroscópica de las sales CCA tiende a incrementar el contenido de humedad de los ejemplares, incrementando por lo tanto la facilidad de movimiento de la humedad. Asimismo, la naturaleza hidrofóbica de la creosota tiende a repeler el agua, reducir el contenido de humedad a través de la muestra, y decrecer el ritmo de movimiento de la humedad.

Lo anterior estaría implicando que bajo similares condiciones ambientales, más humedad será “adsorbida” por la madera impregnada con sales CCA, y que esa humedad adicional afectará las propiedades físicas y mecánicas de la madera con sales CCA, comparada con otro tipo de maderas.

2.2 Secado artificial de la madera.

Al cortar el árbol se inicia la eliminación del agua en la madera. Primero se evapora la humedad de las partes superficiales y luego se remueve el agua de su interior para reemplazar la que ya fue eliminada. Durante la remoción de agua, la madera puede sufrir cambios no deseados en su forma y color o ser atacado por hongos e insectos. Si estos defectos no pueden ser controlados, es posible que la madera se convierta en un material no apropiado para usos a que podría destinarse, ya que la aparición de defectos como grietas, rajaduras y deformaciones, limita considerablemente sus aplicaciones. Asimismo, la utilización industrial de la madera exige que esta tenga bajos contenidos de aguas (JUNAC 1988)

Según Corma (2003), el secado artificial consiste en estacionar la madera en un lugar cerrado, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, durante un periodo de tiempo previamente establecido, las ventajas de este método son:

- Es más rápido que el método de secado al aire.
- No es afectado por las condiciones climáticas.
- La mancha azul y otras pueden ser totalmente evitadas, si la madera se somete a secado inmediatamente después de aserrada.

- El espacio destinado a manipulación de la madera se reduce notablemente en comparación con el secado al aire.
- Da posibilidad de obtener contenidos de humedad bajos, necesarios para la fabricación de muebles, paneles, pisos de parquet, etc.

La madera es un material higroscópico, esto es cuando esta seca absorbe humedad del aire que la rodea y cuando está húmeda, entrega humedad. Por lo tanto, existirán ciertas condiciones bajo las cuales la madera alcanza un contenido de humedad que queda en equilibrio con las condiciones ambientales.

Fuentes (1994), concluye que en la etapa de calentamiento al inicio del secado, con una humedad relativa saturada, tiene aun mayor importancia en el secado de la madera impregnada con sales CCA, ya que esta etapa puede contribuir a completar la fijación de las sales preservantes

2.2.1 Factores que influyen en el secado de la madera

Existe una serie de factores que influyen en el proceso de secado, ya sea en la velocidad del proceso y en la calidad del producto final.

Los factores del proceso son los siguientes:

- Temperatura: Es un factor que influye en la velocidad de la evaporación. Cuando mas alta la temperatura, mas intensa es la evaporación y estimula la difusión del agua (Juacida 1992).
- Humedad Relativa: Cuando menos es la humedad relativa del aire, mayor capacidad de absorción tendrá, viéndose favorecida la velocidad de evaporación. Por esto, al disminuir la humedad relativa del aire se acelera el secado de la madera (Juacida 1992).
- Velocidad del aire: La velocidad del aire tiene una gran influencia en las primeras etapas del secado. En la segunda etapa de secado, conforme el frente de evaporación se interioriza en la madera la influencia de la velocidad del aire disminuye (Álvarez y Fernández-Golfín 1992).

Los factores de la madera son los siguientes:

- Especie: Hay maderas que por una serie de características específicas (densidad, contracciones, médula) pueden ser colocadas en condiciones de secado rápido sin que aparezcan defectos; otros en cambio requieren de secado lento para evitar la aparición de defectos (Tuset – Duran 1979).
- La densidad: Tiene una gran influencia en el ritmo de secado de la madera aserrada, ya que al tratarse de una madera de alta densidad se tendrá que

atravesar una mayor cantidad de masa celular, es decir, los tabiques celulares son más gruesos (Álvarez y Fernández-Golfín 1992).

- Tipo de corte: En una misma especie y suponiendo de iguales dimensiones, las piezas aserradas, las piezas aserradas radiales secan más lentamente que las aserradas con caras tangenciales (Tuset – Duran 1979).
- Espesor: en una misma, las piezas de poco espesor secarán mucho más rápido que la de mayor espesor (Tuset – Duran 1979).

2.2.2 Calidad del secado

Hasta estos días, no existen criterios aceptados de forma general para la determinación de la calidad de la madera secada. La calidad de secado se refiere las propiedades y los posibles defectos generados en la madera seca, como consecuencia del proceso de secado.

La calidad del secado puede estar, en algunos casos, influenciados por algunas de las características que definen en general la calidad de la madera, pero que se pueden originar por el proceso de secado como son: Contenido de humedad final, variación del contenido de humedad tanto dentro de cada tabla como dentro de la pila, tensiones de secado, grietas superficiales, internas y de testas, colapso, diferentes tipos de deformaciones y cambios de color o manchas (Álvarez y Fernández-Golfín 1992).

En lo que se refiere a calidad de secado de la madera impregnada con preservadores hidrosolubles, no se encontraron mayores referencias que las que dicen relación con la formación de grietas y efectos sobre la magnitud de las contracciones.

Kumar y Jain (1978), realizan una investigación para evaluar el efecto de varios niveles de retención de sales de CCA sobre el desarrollo de la contracción e hinchamiento de la madera, experimentando en *Pinus roxburgii* y *Mangifera indica*. Exponen que el tratamiento de la madera con preservadores tipo CCA, a niveles de retención usados para interiores, incrementan los cambios dimensionales con las condiciones variantes de humedad relativa. En cambio, a altos niveles de retención los cambios dimensionales se reducen, aunque su higroscopicidad se ve incrementada.

Concluyen que el incremento de la contracción a bajos niveles de retención, pueden ser el resultado de la ruptura de los enlaces entre el sistema hemicelulosa – celulosa – lignina, resultando un incremento en el número de grupos OH, así como la parcial remoción de las hemicelulosas con soluciones ácidas de las sales preservantes. Por otro lado a los más altos niveles de retención, más compuestos químicos quedan disponibles para rellenar o enlazar transversalmente la pared celular, resultando en una gran reducción en la contracción o hinchamiento de la madera.

2.2.3 Formación de grietas y rajaduras

Las Grietas en la madera son básicamente causadas por las tensiones que se establecen en ella, debido a las diferencias de contracción que se producen entre las zonas externas e internas, entre madera normal y madera de reacción y entre los diferentes planos de una pieza. Todas, en general, producto de un proceso de secado.

Normalmente, las capas mas externas son las que primero llegan al punto de saturación de las fibras y bajo él iniciarán su contracción antes que lo hagan las capas del interior aun húmedas. Las capas interiores, al permanecer aún sin alteraciones en sus dimensiones, se opondrán al encogimiento o contracción libre de la superficie produciéndose tensiones perpendiculares o transversales a la dirección de las fibras, de tracción en la capa exterior y de compresión en la zona interior.

Si las tensiones de tracción superan la resistencia de la madera, se producirá el agrietamiento. Las grietas se producen normalmente en la unión de los radios leñosos y el resto de las células, o bien, dentro de los radios mismos, de allí que se visualicen más en las caras de una pieza floreada o en los cantos de piezas cuarteadas, apareciendo como líneas radiales (Juacida e Inzunza 1986).

Rietz (1961), realiza un experimento para evaluar el efecto del intemperismo en madera creosotada, e impregnada con pentaclorofenol a varios niveles, usando como testigo muestras sin impregnar, ya que considera que las soluciones preservantes oleo solubles y la creosota, son efectivos en la reducción de grietas superficiales y rajaduras en los durmientes sometidos al intemperismo.

Los tratamientos con los preservantes usados fueron todos igualmente efectivos para reducir el agrietado superficial, comparándolos con las maderas sin tratar. Ninguno de los tratamientos pareció ser superior a otros. Resalta que la madera cepillada antes del secado y preservación, se agrietó menos que la madera sin cepillar previamente. Concluye que las condiciones de exposición cíclica de humectación y sequedad, crean gradientes de humedad en desorción y adsorción, lo que es básico para crear las condiciones de agrietado superficial, teniendo que las soluciones preservantes tienden a retardar el intercambio de humedad.

Miniutti (1964), plantea que los cambios de temperatura y humedad; lixiviación de extractivos; pérdida de sustancia madera por degradación fotoquímica y otros posibles factores, contribuyen al desarrollo de esfuerzos en la superficie de la madera y al desarrollo de grietas en madera expuesta al intemperismo. Observó que las grietas pueden iniciarse en el extremo de los radios a un lado de éstos, y aún en zonas donde no hay radios, como entre las paredes de traqueidas individuales y entre traqueidas adyacentes.

Mackay (1973), reportó que la madera impregnada con sales CCA manifiesta una mayor tendencia a la formación de grietas durante el secado de la madera natural. Sin embargo, observó que muchas de las grietas que se desarrollaron durante el

“resecado” de la madera, estuvieron ya presentes en el “presecado”, y entonces se reabrieron y/o incrementaron en longitud. Destaca que las grietas se encontraron siempre asociadas con los canales resiníferos verticales encontrados primordialmente en la madera tardía, de manera que, si el canal se encontraba en la superficie o justo debajo de ella, entonces una grieta podía desarrollarse.

Aguilera e Inzunza, 2003, mencionan en su estudio que es posible distinguir después del proceso de secado de la madera la aparición de diferentes tipos de grietas, las cuales se manifiestan visiblemente al momento de manufacturar productos finales. Estas grietas presentan formas diferentes, las que se asocian a causas diferentes, en el caso particular de las grietas de origen, los autores afirman que es una grieta interna formada durante el secado como resultado del colapso de la madera temprana, encontrándose a menudo varias grietas dentro de un anillo. Los autores indican que desafortunadamente si se encuentra este tipo de grieta, es muy poco lo que se puede hacer para prevenirla como reducir el espesor de las piezas y reducir las temperaturas de secado.

También estos autores listan los factores que creen más importantes en el agrietamiento interno según se trate de parámetros del proceso e inherentes a la materia prima:

Parámetros del proceso

1. Ancho y espesor de las tablas.
2. Ciclo de secado y temperatura.
3. Orientación de los anillos de crecimiento (cuarteado/floreado)
4. Tiempos antes del inicio de secado.

Parámetros de la materia prima

5. Ancho de la madera temprana (tasa de crecimiento)
6. Espesor de las paredes celulares (densidad de la madera).
7. Relación entre la densidad de la madera temprana con la tardía y ancho.
8. Contenido de humedad
9. Distancia a la médula
10. Resistencia a otras formas de agrietamiento
11. Estructura química de la madera
12. Genotipo

Parámetros del lugar y proceso

13. Silvicultura (podas, raleos, fertilización).
14. Sitio

Los autores indican como conclusión que el agrietamiento es una característica primaria del recurso, el cual se ve agravado mediante el secado.

Los autores indican que la contracción está fuertemente influenciada por los ángulos de las microfibras de las paredes de las traqueidas. Éstas están inversamente relacionadas con el largo de las traqueidas. La diferencia en las tasas de contracción genera un aumento del estrés dentro del anillo de crecimiento cuando la madera se seca. De esta manera, con programas acelerados de alta temperatura en el secado se manifestarán más grietas internas.

Concluye indicando que las grietas internas pueden ser reducidas en su ocurrencia si se utilizan programas de secado menos intensos y con un mayor periodo de reacondicionado.

2.2.4 Tensiones de secado

La expresión madera tensionada comprende todos los síntomas que son causados por los gradientes de humedad que se crean en el interior de la madera durante el proceso de secado. Incluso la disminución aparente de la permeabilidad (al flujo de salida) debida al secado de la capa superficial y muy especialmente al desarrollo de tensiones de secado que pueden permanecer en la madera aun después de que el proceso de secado ha finalizado. La existencia de fuertes tensiones de secado que puede conducir a la aparición del agrietado superficial de las fases iniciales del proceso de secado y al agrietamiento interno hacia el final del proceso cuando la parte central de la pieza se seca por debajo del punto de saturación de fibras, (Álvarez y Fernández Golfín 1992).

Los mismos autores hacen hincapié en que las tensiones de secado pueden ser eliminadas al final del proceso mediante un acondicionado. Esto consiste en la aplicación de elevadas temperaturas y humedades relativas, de forma que al rehumidificarse las capas superficiales plastifican la madera en cierto grado, con lo que se liberan tensiones generadas.

También describen un método para determinar las tensiones de la madera, denominado TRADA, este método determina de forma cuantitativa el grado de flexión de los dientes respecto de la plantilla suministrada, lleva a conocer el grado tensional de la madera. A este fin se consideran 3 grados de deformación: 1 – Ligero, 2 – Moderado, y 3 – Fuerte.

El método TRADA es rápido y produce resultados que fácilmente pueden ser evaluados, pero hay que tener en cuenta las siguientes limitaciones:

1. Las tablas aserradas tangencialmente tienen tendencia a desarrollar un nivel de tensión superior a de las tablas aserradas radialmente, además la densidad varía dentro de una pieza.
2. El tenedor debe ser cortado a una zona distante de testas y defectos
3. La evaluación de la curvatura de los dientes del tenedor inmediatamente después de ser cortado permite establecer la distribución de tensiones en ese momento

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se describe el material empleado, el equipo y los procedimientos para la investigación.

3.1 Material

3.1.2 Madera

Se utilizó madera sacada de un lote de 30 paquetes. De cada paquete se extraen al azar 156 piezas. La madera aserrada es madera lateral proveniente de bosques propios con diámetros de trozas entre 18 y 22 cm.

La madera aserrada en dimensiones de 55 X 77 X 2500 mm fue sometida a presecado en cámara, posteriormente Impregnada con sales CCA a dos niveles de retención de 4 – 6 kg/m³ y un lote testigo sin impregnar.

3.1.3 Cámara de Secado

El equipo de secado que fue utilizado se encuentra en el área de secado de Empresas Fourcade S.A. Planta Loncoche.

La madera fue tratada en cámara convencional lenta de fabricación propia de la empresa, con una capacidad de 50 m³, la cámara posee un tubo de vaporizado de 2 pulgadas que se utiliza para las etapas de calentamiento y acondicionamiento de la madera, posee 6 radiadores o intercambiadores de calor Vapor – aire 90 Psi, con tubos helicoidales, que calientan la cámara a través de vapor saturado proveniente de una caldera Riley 1968 acuatubular que trabaja con una presión de 110 Psi permanente y que le entrega a cada cámara alrededor de 80 Psi en promedio. También posee 9 motores de 10 aspas, cada motor trabaja con una potencia de 4 Kw. (5,5 HP), 1440 RPM, que generan una velocidad menor a 2 m/s, los ventiladores tienen un periodo de rotación de 6 horas, 8 deflectores ubicados a lo largo de la cámara, además en la parte superior de la cámara se encuentran cinco pares de ventilas con sistema de apertura electro neumático computarizado on/off, con un diámetro de 500 mm, las cámaras se conducen a través de un controlador lógico programable conectada a un PC de programación, el programa de control es el Visam cuya fabricación fue hecha por Ingenio Ltda.

3.1.4 Sales preservantes

Se impregnó la madera con una retención de 4 – 6 Kg/m³, para cada repetición, luego se dejó reposar por 10 días en condiciones ambientales para generar una mejor fijación.

3.1.5 Instrumental

Se utilizó una sierra huincha para confección de probetas marca Denman Robinson, un higrómetro de humedad marca CSA Electronic modelo Delta 8.N con seleccionador de temperatura, horno para probetas marca Haeus con ventilación y variación de temperatura de 0 – 150 grados Celsius, balanza analítica digital marca Precisión, 4 sensores PT – 100 con cable de teflón de 2 metros con una sensibilidad de 0 – 200 grados Celsius, 8 puntas electrodos para medición de humedad en las piezas, pie de metro mitutoyo (con precisión de 0,01), 1 carro de transferencia electro hidráulico, 1 grúa horquilla marca Hister para el movimiento de los paquetes.

3.2 Método

Para cumplir con los objetivos planteados, se probaron dos programas de secado distintos, controlando las condiciones de carga de preservante, además de establecer el nivel de calidad del secado determinando los defectos generados luego del secado, en el Cuadro 2 se presenta los ensayos realizados y las variables de cada uno, en el Cuadro 3, se presentan las normas que se utilizaron en los ensayos.

Cuadro 2. Lotes y condiciones experimentales de impregnación y secado de la madera.

Factor/Lote	P1	P1	P1
Retención	S/impregnar	Sales de CCA - 4Kg/m ³ .	Sales de CCA - 6Kg/m ³ .
Contenido de humedad final	8%	8%	8%
Tablas/Repetición	468	468	468
Factor/Lote	P2	P2	P2
Retención	S/impregnar	Sales de CCA - 6Kg/m ³ .	Sales de CCA - 6Kg/m ³ .
Contenido de humedad Final	8%	8%	8%
Tablas/Repetición	468	468	468

Cuadro 3. Determinaciones de calidad por cada programa y norma.

Ensayo	P1	P2
Humedad (inicial, Final, dispersión) NCh 176/1 Of. 84	√	√
Índice de tensión (Método TRADA)	√	√
Alabeos NCh. 1207.Of. 90.	√	√
Contracción NCh. 176/3. Of. 84.	√	√
Grietas (ILG) (Aguilera e Inzunza, 2003)	√	√

3.2.1 Impregnado

Previamente la madera se impregnó, cada una de las cargas se realizó siguiendo las mismas especificaciones de tiempo y concentración, la carga de preservante fue de 4 y 6 Kg. /m³, y se dejó un periodo de fijación de 10 días en condiciones ambientales, bajo techo.

3.2.2 Secado

Esta etapa se inicio una vez que el tiempo de fijación de 10 días mencionado se cumplió.

Se utilizaron dos programas de secado mixto en base a pérdida de humedad y tiempo, en los cuales existen diferencias en base al cociente de secado, temperatura inicial y final, como así también en la densidad. Los programas utilizados se presentan en el Cuadro 4 y 5.

Cuadro 4: Programa de secado N° 1 usado por la empresa.

Programa N° 1							
Fase	tiempo	T°s	T°h	H°relativa (%)	H° Equilibrio (%)	CS	H°Actual (%)
Calentamiento	0	20	19	-	-	-	140
Calentamiento	1	35	33	89	-	-	140
Calentamiento	3,5	40	38	89	-	-	140
Calentamiento	5,5	50	58	92	-	-	140
Secado S.PSF	-	50	48,5	93	20	-	140
Secado S.PSF	-	50	48	89,5	18	-	101
Secado S.PSF	-	55	52	80	16	-	59
Secado B.PSF	-	55	61,5	80	15,00	2	30
Secado B.PSF	-	60	51	61	8,72	2,2	19,2
Secado B.PSF	-	60	42,5	36,5	5,46	2,4	13,1
Secado B.PSF	-	65	42	22,5	3,58	2,6	9,3
Secado B.PSF	-	65	40	19	2,85	2,8	8
Acondicionado	130 MINUTOS =2.30 horas						

Cuadro N° 5: Programa de secado N° 2 nuevo.

Programa N° 2							
Fase	tiempo	T°s	T°h	H°relativa (%)	H° Equilibrio (%)	CS	H°Actual (%)
Calentamiento	0	20	19	-	-	-	140
Calentamiento	1	35	33	95	-	-	140
Calentamiento	3,5	40	38	95	-	-	140
Calentamiento	5,5	55	54	90,5	-	-	140
Secado S.PSF	-	55	54	90,5	18	-	140
Secado S.PSF	-	55	53	83	16	-	101
Secado S.PSF	-	60	57	82	14	-	59
Secado B.PSF	-	60	56	78	13,64	2,2	30
Secado B.PSF	-	65	54	62	8,73	2,2	19,2
Secado B.PSF	-	65	50	41,5	5,95	2,2	13,1
Secado B.PSF	-	70	48	28	4,23	2,2	9,3
Secado B.PSF	-	70	46	23	3,64	2,2	8
Acondicionado	130 MINUTOS = 2,30 horas						

3.2.3 Medición del contenido de humedad

Una vez seleccionadas las piezas, según las norma Nch 176/1 Of. 84, se procederá a medir el contenido de humedad de la madera.

Se procederá a medir el contenido de humedades tres puntos de la madera, según la Figura 1, dos puntos en los extremos y uno en el centro, uno ubicado a 30 centímetros de los extremos, y luego se promediaran los tres valores, como se indica en la siguiente formula:

$$CH\ Pr om = \frac{CH1 + CH2 + CH3}{3}$$

Donde:

CH: Contenido de humedad

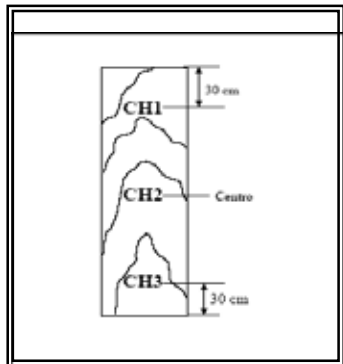


Figura 1: Control de contenido de Humedad.

3.2.4 Preparación de los tenedores

La determinación cualitativa de las tensiones de secado se efectuó tanto en laboratorio como en la industria mediante la prueba denominada de "tenedor" (destruictiva). La evaluación cuantitativa se efectuó mediante el método TRADA.

A partir de las piezas seleccionadas para el ensayo, se obtuvieron piezas para elaborar probetas tenedor para determinar las tensiones en las piezas de madera.

Se obtuvieron 100 probetas tenedor por cada nivel de retención usado, como así también de la madera sin impregnar. Las piezas se obtuvieron a 30 centímetros desde la testa de la pieza, obteniendo piezas de 4 centímetros de ancho como se muestran en las Figuras 2 y 3, cada uno de los tenedores llevaron la misma marca, además del número de probeta.

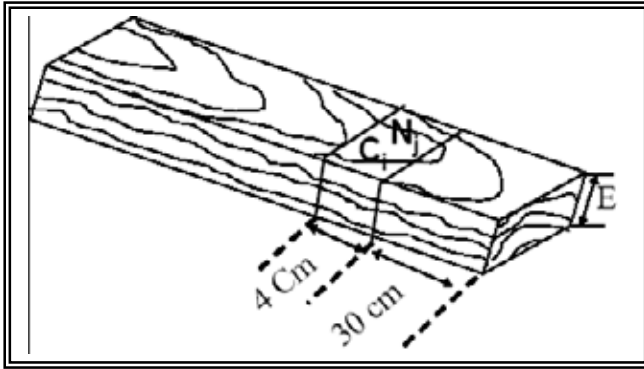


Figura 2: Obtención de probetas tenedor, y zona de marca.

La dimensión del tenedor de tensión transversal está dada básicamente en función del espesor y el ancho de cada una de las piezas de madera (Figura 3).

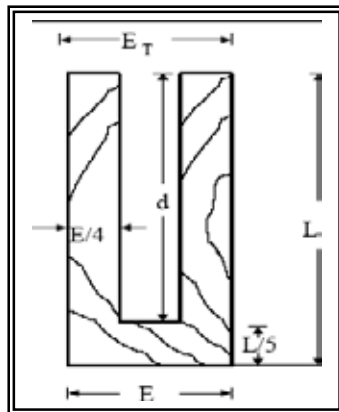


Figura 3: Probeta de tensión transversal.

Donde:

L: Largo del tenedor

E: Ancho del tenedor

E_T: Deformación

D: $4 L / 5$

En el Cuadro 6 se representan los distintos niveles de tensión que podemos encontrar luego de un secado.

Cuadro 6: Niveles de tensión admisibles por calidades.

Calidad	Evaluación Inmediata	Evaluación a las 24 H
Special	Ligero Tensionado	Ligero Tensionado
Utility	Ligero Tensionado	Moderado Tensionado
Estándar	Moderado Tensionado	Fuerte Tensionado

3.2.5 Medición de Grietas

Siendo un aspecto particularmente importante para el cumplimiento de los objetivos planteados, se analizó por separado la intensidad de formación de las grietas superficiales por efecto del secado entre los dos tratamientos preservados y la carga testigo. Para ello, una vez seca la madera será cepillada por ambas caras para ver la magnitud de las grietas superficiales, para esto se analizó el porcentaje de piezas

afectadas para luego determinar el índice lineal de grietas (Aguilera, Inzunza, 2003) como se muestra en la siguiente formula:

$$\text{Índice lineal de grieta (ILG): } \sum \text{ Grietas superficiales / Largo pieza}$$

3.2.6 Medición de alabeos

Para la determinación de alabeos se tomaron la totalidad de los 5 paquetes por carga, para controlar torcedura, acanaladura, encorvadura, se analizaron cada una de estos defectos según la NCh. 1207. Of 90 sobre clasificación visual para uso estructural, especificaciones de los grados de calidad y Nch 178. Of.79 sobre clasificación por aspecto.

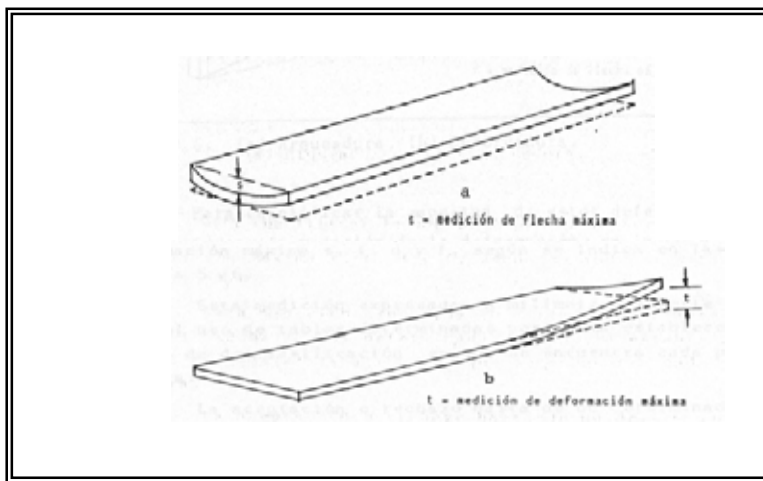


Figura 4. Medición de alabeos, acanaladura, torcedura

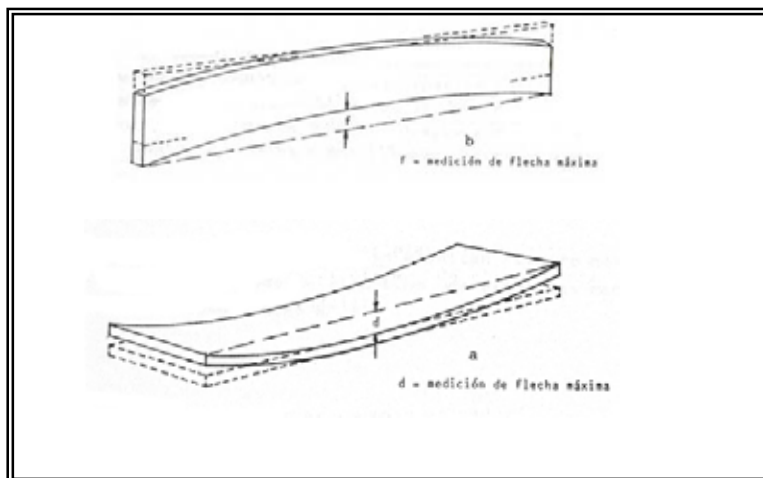


Figura 5. Medición de alabeos, arqueadura, encorvadura

3.2.7 Evaluación de la calidad del secado.

Se asigno a las piezas de cada grado de calidad un “factor de desclasificación” (FD) por grado de defecto presentado, adoptado del método establecido por Kauman y Mittak, (1966), siendo:

G1 = 0.00	Defecto: Ausente
G2 = 0.50	Liviano
G3 = 2.00	Regular a fuerte.
G4 = 2.50	Intenso.

Posteriormente, se obtuvo la media ponderada del factor de desclasificación por cada tipo de defecto, y se sumaron para obtener el grado total de desclasificación o “Índice de Calidad de secado, según metodología seguida por Bravo (1977) y Ramírez (1984).

Finalmente, se ubicó el valor obtenido de la media ponderada de desclasificación (MPD) dentro del Cuadro 7, generado por Kauman y Mittak (1966), para determinar la “calidad de secado” resultante.

Cuadro 7: Clasificación de la calidad del secado según Kauman y Mittak (1966).

Calidad de secado	Media Ponderación de desclasificación	Condiciones de secado
Excelente	0	Adecuadas
Muy Buena	0,01 a 0,50	
Buena	0,51 a 1,00	
Satisfactoria	1,01 a 1,50	Poco adecuadas
Regular	1,51 a 2,00	
Defectuosa	2,01 a 3,00	Inadecuadas
Mala	3,01 a 5,00	
Muy Mala	Mas de 5,00	

Los autores citados indican que, debido a que la presencia de un solo defecto en forma intensa perjudica considerablemente a la calidad de secado, la escala de referencia no puede ser lineal.

El ajuste de los límites de la norma Chilena NCh.178.Of.79, a las tablas promedio de 50 x 77 x 2500 mm, da como resultado los valores reportados en el Cuadro 8, agregándose un cuarto grado (G4) para aquellas piezas cuya magnitud de defecto sobrepasó el límite asignado al tercer grado.

Cuadro 8: Magnitud limite de los defectos de secado para cada grado de calidad, adaptación de la norma NCh.178.Of.79.

Efecto	Unidad	G1	G2	G3	G4
Grietas	cm.	27,5	55	82,5	> 82,5
Arqueadura	mm	0	27,5	41,25	>41,25
Encorvadura	mm	0	27,5	41,25	>41,25
Torcedura	mm	0	13,75	27,5	>27,5

3.2.8 Evaluación de variación dimensional de la madera y densidad.

Se obtuvieron 300 probetas de 25 X 25 X 100 mm, a 30 cm de las testas libres de defectos y nudos, de las cuales se determinó según la norma NCh. 176/3. Of. 84 la contracción de las piezas y la norma NCh176/2.Of1986 para determinar la densidad de las probetas.

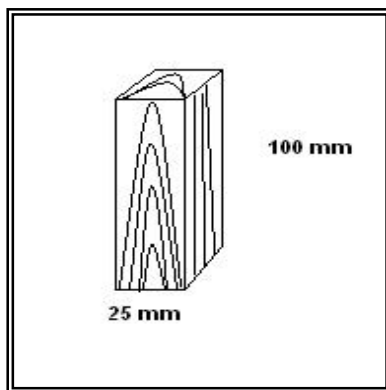


Figura 6. Probeta para determinación de contracción y densidad

La densidad anhidra, se determinó con la fórmula:

$$\text{Densidad anhidra: } \frac{\text{PesoAnhidro}}{\text{VolumenAnhidro}}$$

3.2.9 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se usó el software SPSS versión 12.0, con el cual se realizaron los análisis de varianza, y de diferencia mínima significativa (Test de Scheffé). A continuación se muestran los factores considerados para el análisis estadístico.

Factores fijos:

- Programa de secado.
- Nivel de retención de sales.

Factores variables:

- Humedad.
- Tipo de alabeo.
- Valor del alabeo.
- Índice lineal de grietas (ILG).

4. RESULTADOS

Se evaluó y comparo la calidad de cada programa de secado de la madera entre los 6 tratamientos, se consideró primero la magnitud de cada uno de los defectos que se pudiesen manifestar por el secado, como son: acanaladura, torcedura, arqueadura, colapso, grietas superficiales y grietas origen. Para el análisis comparativo de la intensidad de agrietado resultante entre los tratamientos, se utilizó como base el Índice lineal de grietas (ILG) por tabla, además de determinar la tensión de las piezas obtenidas.

Para una referencia más sencilla y más práctica en la mención de los tratamientos experimentales y el lote testigo, al presentar los resultados se asignaron las siguientes referencias:

Cuadro 9. Resumen de tratamientos.

Programa	1			2		
Retención [Kg/m ³]	0	4	6	0	4	6
Referencia	T 1.1	T1.2	T 1.3	T 2.1	T 2.2	T 2.3

Donde:

T1.1: Programa 1, sin impregnar

T1.2: Programa 1, impregnado con 4 Kg/m³.

T1.3: Programa 1, impregnado con 6 Kg/m³.

T1.1: Programa 2, sin impregnar

T1.2: Programa 2, impregnado con 4 Kg/m³.

T1.3: Programa 2, impregnado con 6 Kg/m³.

Mediante el análisis de varianza se puede investigar las interacciones entre los factores y también los efectos individuales de los factores. Para el análisis del nivel de significación en las comparaciones por parejas y para todas las combinaciones lineales posibles de las medias de grupo que se contrastaron. La prueba de Scheffé es normalmente más conservadora que otras pruebas, lo que significa que se precisa una mayor diferencia entre las medias para la significación.

4.1 Caracterización de la materia prima de acuerdo a su densidad, contenido de humedad Inicial y posibles defectos de origen.

La densidad de la madera y las dispersiones de humedad de entrada a secado se determinó mediante el muestreo de 300 piezas los valores obtenidos de estas mediciones se resumen en el cuadro 10.

Cuadro 10. Resumen densidad anhidra y dispersión de humedad de las piezas.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Densidad	300	294,00	470,00	417,48	30,77
Humedad	300	101,09	268,85	160,87	37,37
N válido (según lista)	300				

Se observa que el promedio de humedad con que la madera entró a secado luego del periodo de reposo de 10 días fue de 160.87%, por lo que se consideró ocupar este valor como base, para la confección del programa de secado.

También se puede observar que el promedio de densidad fue de 417.4 Kg/m³, encontrando una alta variación de los valores de densidad entre las piezas obtenidas, esta variación afecta en la efectividad del programa de secado utilizado ya que es uno de los factores importantes a considerar para la creación del programa.

Cuadro 11. Cantidad de defectos encontrados luego del presecado de la madera.

	Programa 1		Programa 2	
	Nº Piezas	%	Nº Piezas	%
Sin grieta	183	61	174	58
Grieta	79	26.4	84	28
Secado	25	31.6	24	28.5
Origen	54	68.3	60	71.4
Alabeo	38	12.6	42	14
Total	300	100%	300	100%

Del Cuadro 11 se observa que el 26.4% de las piezas sondeadas en el caso de la preevaluación de piezas del primer programa, y el 28% en el caso de el segundo programa presentaron grietas, mostrando un alto porcentaje de grieta de origen, representando el 68,3 y 71,4% respectivamente del total de las grietas, este tipo de defecto se presenta de forma representativa por lo que podrá aumentar durante el secado de la madera ya impregnada, del mismo cuadro también se puede desprender que en lo que se refiere a la cantidad de alabeos previos al secado final es bajo, 13% y 14% respectivamente, por lo que no tiene un nivel de significancia muy alto en lo que se refiere al total de las piezas estudiadas.

4.2 Evaluación de la calidad de los programas de secado

Considerando el valor medio de cada tratamiento y el tiempo de secado registrado en cada proceso, incluyendo las etapas de calentamiento y acondicionado, se obtuvieron los valores de humedad inicial luego del proceso de impregnación y su periodo de reposo correspondiente, los valores de humedad final y tiempos de secado presentados en el Cuadro 12.

Cuadro 12: Rangos de contenido de Humedad y tiempo de secado de cada tratamiento.

Programa	1			2		
Retención [Kg/M ³]	0	4	6	0	4	6
Referencia	T 1.1	T1.2	T 1.3	T 2.1	T 2.2	T 2.3
Secado						
C.H Inicial	142	131.4	146.2	139.4	150.7	133.2
C.H Final	9.37	8.96	9.15	8.22	9.41	9.57
Tiempo Horas	120.1	144.2	150.2	124.8	153.3	157.5

Los contenidos de humedad con que se inició cada uno de los procesos de secado, variaron entre 131.4 % a 150.7%, habiéndose programado un contenido de humedad final de 8%, lo que ambos programas se acercaron al valor buscado, promediando el contenido de humedad programado.

En lo referente al tiempo de secado, considerando las etapas de calentamiento y acondicionado, se puede observar que los tratamiento sin impregnar presentaron los menores tiempos de secado, en comparación con los procesos impregnados con CCA.

El tiempo total de secado como factor de comparación entre cargas o tratamientos es el estimador frecuentemente usado para comparar programas de secado, sin embargo los contenidos de humedad inicial y final no son homogéneos, por lo que los tiempos de secado estarán incorporando entonces un factor de error en la estimación, que repercutirá en un mayor tiempo de secado que no será totalmente comparable con otra carga de humedad inicial diferente.

En lo que se refiere a tiempos más lentos se encontró que la madera con mayor nivel de retención tuvo un tiempo aun mayor de secado, debido a no tener un contenido de humedad homogéneo al iniciar los tratamientos, por lo que no permite esto generar conclusiones confiables sobre el comportamiento entre los lotes, pero a modo general el segundo programa se demora 5% más en secar, generando una mejor calidad en el producto final, disminuyendo la cantidad de defectos de secado.

Finalmente estos resultados evidencian que la madera impregnada, no tiene el mismo comportamiento respecto a la madera de las mismas escuadrias en condiciones normales y que el aumento del tiempo requerido se debe a las sales preservantes con que se impregna la madera.

Coetzee (1980) y Wardrop y Davies (1961), reportan que la madera tratada con soluciones impregnantes de CCA, se precipitan sobre la pared de las traqueidas junto al lumen, observando que a concentraciones de arsénico y cromo mas altas, se encontraron áreas en la punteaduras obturadas, lo que hace que esas áreas retarden

el movimiento de humedad, además agregan que esas capas presentan una cubierta superficial que incrementa la tensión superficial del agua.

Se puede generalizar que los procesos de presecado e impregnación a presión, no afectan negativamente por sí mismos el secado de la madera así procesada, siendo más bien la inclusión de las sales preservantes en el tejido de las fibras, como su depositación en la superficie de la madera, el factor causal de que la madera preservada con sales CCA realice un mayor tiempo de secado, y que use mas tiempo que el requerido por la misma especie y espesor en condiciones naturales.

4.2.1 Análisis de Variación dimensional

Cuadro 13: Variación dimensional en piezas impregnadas con 6 Kg/m³.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Contracción Radial (%)	300	0,31	6,55	1,91	1,12
Contracción Tangencial (%)	300	0,39	7,63	3,55	1,57
Contracción Longitudinal (%)	300	0,00	1,20	0,158	0,143
Contracción Volumétrica (%)	300	1,02	13,07	5,62	2,31
Anisotropía	300	0,20	8,35	1,85	1,52
N válido (según lista)	300				

Del Cuadro 13 se observa que el promedio de anisotropía de las piezas es de 1.85, por lo que se ubica dentro del Cuadro 2 mencionado en la pagina 6 como madera con calidad media baja, esto quiere decir que al momento de secar la madera, va a ser medianamente estable, por lo que no debería provocar mayores complicaciones durante el proceso de secado, pero a las vez se puede observar que se presentaron niveles altos de anisotropía (8,35), esto se pudo deber a la presencia de las sales preservantes dentro de la madera, además los mas altos niveles de anisotropía puede llevar a tener secados mas complicados, por lo que la cantidad de defectos se pueden ver incrementados.

4.2.2 Análisis tensiones

De las probetas que se obtuvieron para el análisis, se resume a continuación la distribución de tensiones en figura 7:

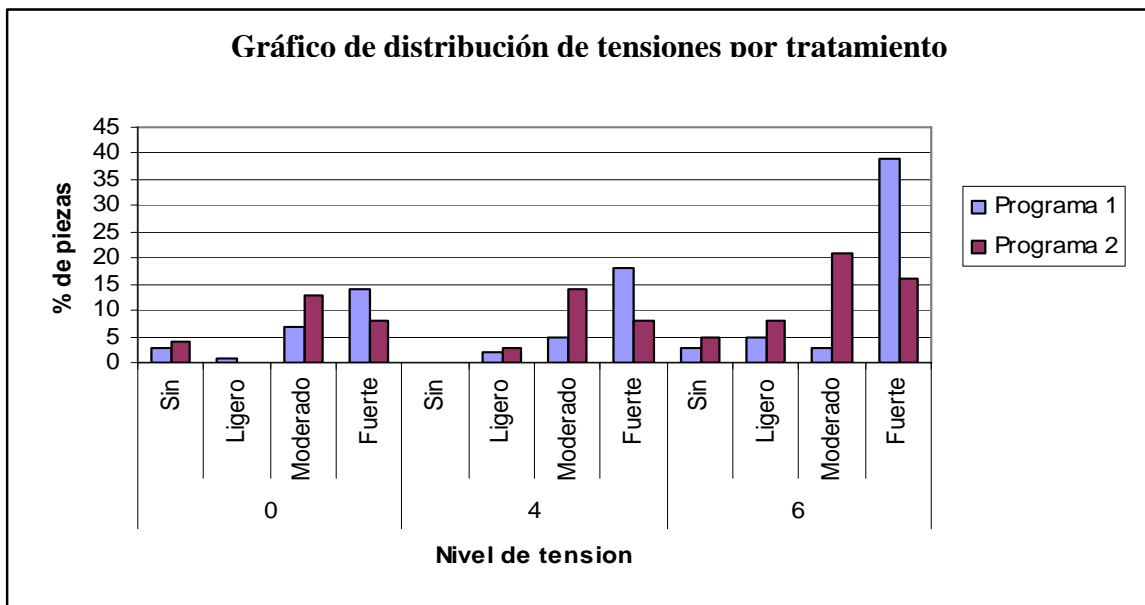


Figura 7. Distribución de tensiones por tratamiento.

De la Figura 7 se observa que para el primer programa, el nivel de tensión se encuentra dentro del nivel Fuerte, mientras que el segundo programa se encuentra dentro de un nivel de tensión moderado, del mismo grafico podemos observar que a medida que los niveles de retención de sales CCA van en aumento, los niveles de tensión van aumentando también.

Mediante análisis de varianza se determinó que existe una diferencia significativa entre ambos programas de secado, pero a nivel de retención no existió una diferencia significativa entre los tratamientos, no existe precedente de algún autor que haga mención sobre la tensión de la madera y los distintos niveles de retención por lo que este punto quedara pendiente para otro estudio.

4.2.3 Dispersión de humedades

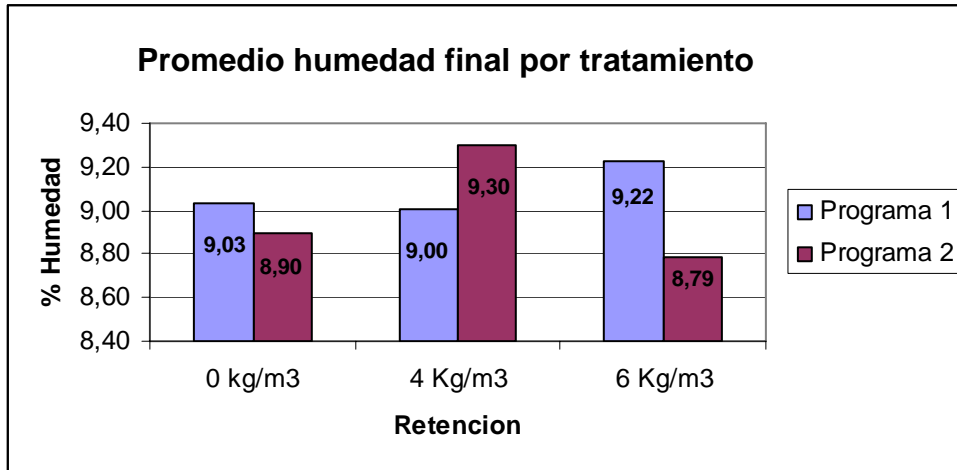


Figura 8. Dispersión de humedad final por tratamiento

De la Figura 8 se puede concluir que no existe una diferencia significativa entre la humedad final entre los distintos niveles de retención, y entre los programas de secado.

Según Booker, 1990, las sales de CCA, no tienen significancia alguna en la dispersión final de los contenidos de humedad, por lo que los resultados aquí obtenidos concuerdan con el autor.

4.2.4 Análisis de deformaciones.

En las figuras 9, 10,11, se presentan los gráficos de defectos producidos por el secado.

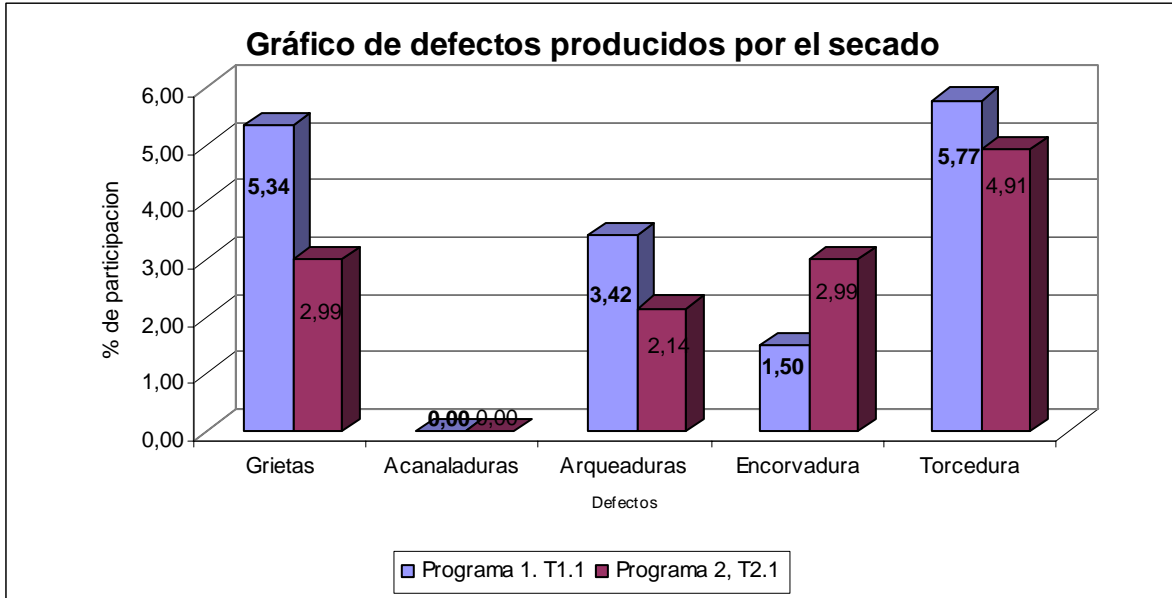


Figura 9. Distribución de defectos por tratamiento programa 1 y 2 sin impregnar.

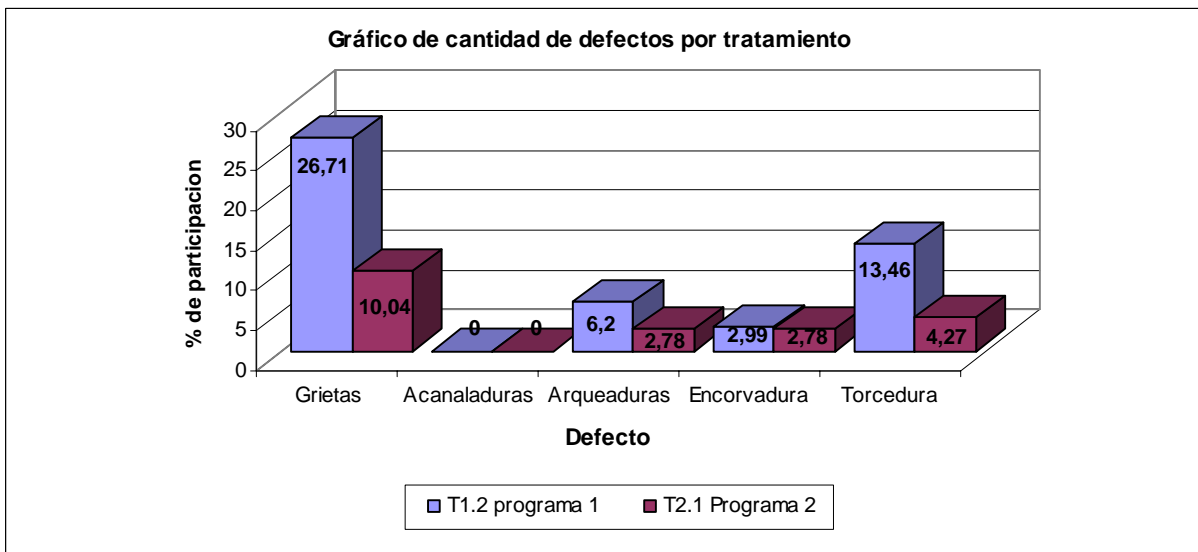


Figura 10. Distribución de defectos por tratamiento programa 1 y 2 impregnado con 4 Kg/m³.

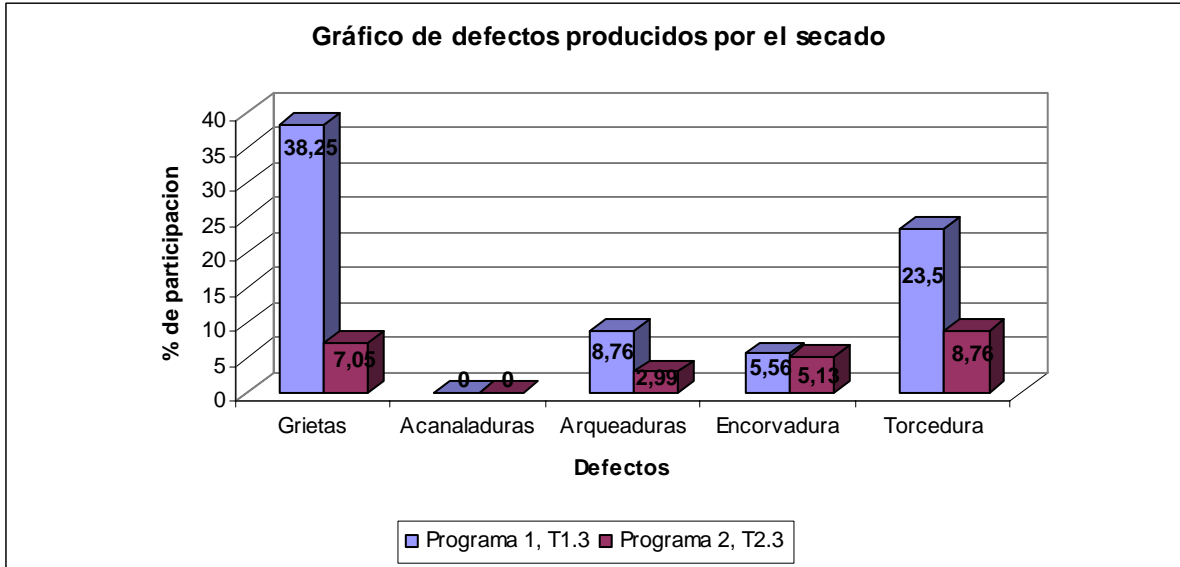


Figura 11. Distribución de defectos por tratamiento programa 1 y 2 impregnado con 6 Kg/m³.

De la Figura 9, 10, 11, se puede concluir que las grietas son las que más aumentan a medida que los niveles de retención crecen, al igual que los alabeos, esto se puede concluir para el primer programa, en el caso del segundo, solo los alabeos se incrementan los niveles de retención, esto se puede deber a un fenómeno estacional, ya que la prueba no se duplicó en el tiempo.

El análisis de varianza nos da como resultado que existe una diferencia significativa entre los dos programas de secado en lo que se refiere a la cantidad de grietas, Anexo 2.

Existen antecedentes que indican observaciones similares a la registrada en este documento, referente a la tendencia de la madera impregnada con sales CCA a agrietarse más que la madera natural, como son reportados por Selbo (1964), Hornicsar, et al (1987), Kumar y Jain (1978) y Richardson (1978), quienes reportan que la madera impregnada con sales CCA tienen una mayor tendencia al agrietamiento cuando esta en servicio y expuesta al interperismo. Esa tendencia la atribuyen a la mayor higroscopicidad y cambios dimensionales de contracción e hinchamiento que mantiene esa madera ante los cambios ambientales de temperatura y humedad relativa, a diferencia de la madera natural e inclusive impregnada con preservador óleosoluble los cuales, por el contrario, tienden a ser la madera menos higroscópica.

Si bien estos autores mencionan las condiciones de la madera frente al interperismo, esta situación también se vio en el proceso de secado aquí reportado y en el realizado por Mackay (1973), quien con un experimento similar, pero solo analizando dos tablas por tratamiento, registró 52 y 57 cm de longitud de grietas en las piezas testigos y el doble y triple de los correspondiente a estas para el caso de la madera impregnada con sales CCA.

Con estos resultados y basándose en la parábolas de gradiente de humedad, el autor anteriormente mencionado concluye que el nivel de agrietamiento de la madera, es fuertemente dependiente de los gradientes de humedad y por lo tanto de los gradientes de esfuerzo de secado más marcados en la madera preservada. A otra conclusión que llega es que las grietas superficiales, se inician en los canales resiníferos verticales que se encuentran en o cerca de la superficie de la tabla.

Concretando sobre este punto, se tiene entonces que la madera impregnada con sales CCA tiende a desarrollar durante su secado, grietas superficiales en número y longitud, de manera más intensa que lo correspondiente a la madera natural, este efecto puede ser causado por los componentes químicos de las sales CCA en la madera, las cuales tienden a reducir su resistencia mecánica y por lo tanto hacerlas mas propensa a la formación de grietas cuando se manifiestan los esfuerzos de secado.

Se puede inferir que los resultados obtenidos en este trabajo de titulación, son similares a los obtenidos por los distintos autores citados, discrepando en el tipo de alabeo más frecuente, esto se debe a que las piezas obtenidas para hacer los ensayos son aplicadas en condiciones normales de trabajo de una industria, por lo que muchas veces la orientación de las piezas no es tan frecuente en las industrias, por lo que los datos aquí obtenidos hablan sobre una realidad de las empresas que impregnan madera a distintos niveles de retención y deja como precedente los pasos a seguir para dejar un programa de secado adecuado para este tipo de situación.

4.2.5 Calidad del secado

De acuerdo a la metodología indicada, cada una de las piezas de los tres tratamientos fueron evaluadas al final del secado, respecto al desarrollo y presencia de grietas y alabeos. La evaluación estuvo basada en las 468 piezas por tratamiento, en el anexo 3 se presentan inicialmente el numero de piezas que se ubicaron en cada uno de los cuatro grados de calidad, de mejor (G1) a peor (G4), de acuerdo a la norma Chilena NCh.178.Of.79 que se adaptó a las dimensiones de la madera empleada.

Concentrando los índices de calidad (Índice Critico, IC) resultantes en cada tratamiento, se tiene:

T1,1	IC = 0,14
T1,2	IC = 0,96
T1,3	IC = 0,32
T2,1	IC = 0,15
T2,2	IC = 0,19
T2,3	IC = 0,2

De acuerdo con Kauman y Mittak (1966), los seis tratamientos caen dentro del mismo rango de 0,01 a 0,50, nivel que se clasifica como de una calidad de secado muy buena y condiciones adecuadas de secado. Lo anterior indica que el nivel general de la calidad del secado, resultó adecuada para los dos programas de secado.

Cuadro 14. Participación porcentual de los defectos según sus factores de desclasificación.

	T1,1		T1,2		T1,3		T2,1		T2,2		T2,3	
Defectos	FD	%	FD	%	FD	%	FD	%	FD	%	FD	%
Grietas	0,03	21	0,56	58	0,15	48	0,05	33	0,11	58	0,07	35
Subtotal	0,03	21	0,56	58	0,15	48	0,05	33	0,11	58	0,07	35
Arqueadura	0,01	7	0,01	1	0,01	3,2	0,01	6,7	0,01	5,2	0,01	5
Encorvadura	0,014	9,9	0,38	39	0,12	39	0,03	20	0,014	7,3	0,03	15
Torcedura	0,088	62	0,014	1,5	0,03	9,7	0,06	40	0,057	30	0,09	45
Subtotal	0,112	79	0,404	42	0,16	52	0,1	67	0,081	42	0,13	65
Total	0,142	100	0,964	100	0,31	100	0,15	100	0,191	100	0,2	100

En el Cuadro 14 se observa que las grietas fueron las que mayormente se presentaron en cada uno de los tratamientos, 46% en promedio, representando un alto porcentaje por lote, en el mismo cuadro, se observa que de los alabeos, la torcedura en el caso del programa 1, sin impregnar fue la que se presentó de mayor forma, seguida de la encorvadura en el caso del mismo programa con retención de 4 y 6 kg/m³, siendo las deformaciones más significativas en la desclasificación de los seis tratamientos.

Dada la falta de una regla o procedimiento específico y confiable para evaluar de manera general la calidad de secado, el utilizar como referencia alguna de las normas de clasificación de madera aserrada, para delimitar los defectos que pueden presentarse en el secado generada por Kauman y Mittak (1966), ha sido hasta el momento lo más aceptable, y el procedimiento que se utilizó para este estudio.

Revisando el trabajo de Fuentes (1994), con similar criterio de evaluación para los defectos de secado, se tiene que de los cuatro defectos típicos, la encorvadura por sí sola desclasificó la madera mientras que la arqueadura, acanaladura y torcedura no influyeron.

CONCLUSIONES

1. El presecado y las condiciones del tratamiento de impregnado, no tienen efecto en el secado final de la madera en lo que se refiere a la calidad de las piezas.
2. La madera impregnada con sales CCA, desarrolla un ritmo de secado inferior a la madera que se encuentra en condiciones naturales, requiriendo hasta un 5% más de tiempo, bajo el mismo programa y similar rango de humedad.
3. No se puede concluir que a medida que el nivel de retención aumenta, los defectos se incrementan, con el primer programa sí se llega a esta hipótesis, pero con el segundo no, ya que el T2.2 incrementa la cantidad de grietas por lo que la hipótesis planteada al principio, quedaría nula, ya que el experimento no se repitió en el tiempo.
4. La madera impregnada con sales CCA, desarrolla grietas durante su secado en mayor proporción que la madera sin impregnar, aunque los alabeos se ven reducidos.
5. De forma general existe una diferencia significativa entre ambos programas de secado, en lo que se refiere a cantidad de grietas y alabeos.
6. No existe diferencia significativa entre ambos programas, en lo que se refiere a la dispersión de humedad entre las piezas, tampoco se encuentra diferencia entre los distintos niveles de retención aquí empleados.
7. Se determinó que la calidad del secado en ambos casos fue muy bueno, en base al análisis de calidad según Kauman y Mittak (1966), encontrándose que ambos programas se ejecutaron en condiciones adecuadas de secado.
8. En lo que se refiere a las tensiones, se puede concluir que a medida que los niveles de retención aumentan, las tensiones también aumentan, según el método TRADA, el primer programa de secado, se encuentra dentro del nivel de tensión fuerte, mientras que el segundo se encuentra dentro del nivel moderado, por lo que contradice el análisis de Kauman y Mittak, ya que las tensiones desclasifica la madera, los autores que anteriormente utilizaron este método, no hicieron análisis de tensión por lo que se puede generar una diferencia entre estos dos análisis.
9. Se sugiere repetir el ensayo para determinar si en el tiempo se sigue manteniendo la condición de incremento de grietas, al igual se recomienda realizar un estudio sobre el origen de las grietas, ya que hubo un alto porcentaje de grietas internas de origen.

10. Finalmente se concluye que el segundo programa de secado, genera una mejor calidad de secado, desclasificando menor cantidad de piezas, aunque se incrementa levemente el tiempo de secado en un 5%.

BIBLIOGRAFIA

AGUILERA, A e INZUNZA, L 2003. Caracterización de Bosques Podados de Forestal Valdivia, Estudio Grieta Interna Tipo III, Universidad Austral de Chile, 160 Pág.

ÁLVAREZ, H. y FERNANDEZ – GOLFIN, J.I 1992. Fundamentos Teóricos del Secado de la Madera. Ministerio de agricultura y pesca. Madrid. 193 Pág.

BOOKER, R. E. 1990. Changes in Transverse Wood Permeability during the Drying of *Dacrydium cupressinum* and *Pinus radiata*. New Zealand Journal of Forestry science. 20(2): 231-44.

BRAVO, A: 1977. Comportamiento de pino insigne (*Pinus Radiata* D.Don), bajo dos condiciones de secado por vapor recalentado. Tesis profesional. Universidad Austral de Chile, Chile.

COETZEE, P.F. 1980 Multisalt preservatives and the Treated Wood/Water Relationship. South African Forestry Journal. 113(6): 36 – 45.

CORMA, 2003. Centro de transferencia tecnológica Pino radiata. 267 Pág.

CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1986. Norma Chilena NCh 176/1.1986. Determinación del contenido de humedad de la madera. Primera Edición. Santiago. Chile. 18 Pág.

CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1986. Norma Chilena NCh.176/2. Of 84. Determinación de la Densidad. Santiago. 11 Pág.

CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1984. Norma Chilena NCh.176/3. Of 84. Determinación de la contracción radial y tangencial. Santiago. 18 Pág.

CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1975. Norma Chilena NCh.178 cR 75. Madera Aserrada de Pino Insigne (*Pinus radiata* D.DON). Clasificación por aspecto. Santiago. 18 Pág.

CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1975. Norma Chilena NCh.178 Of 79. Madera Aserrada de Pino Insigne (*Pinus radiata* D.DON). Clasificación por aspecto. Santiago. 18 Pág.

CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1975. Norma Chilena NCh 993.E Of 1972. Madera - Procedimiento y criterios de evaluación para clasificación . Santiago. 18 Pág

CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1975. Norma Chilena NCh 1207.E Of 1990. Madera - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad. Santiago. 22 Pág

DENIG, J Y WENGERT, E. M. 1982. Estimating air – Drying Moisture Content Losses for Red Oak and Yellow – Poplar Lumber. Forest Prod. J. 32(2): 26 -31.

FUENTES, M. 1994. Secado de Madera Aserrada de Pinus radiata D.don, Impregnado con Sales Hidrosolubles de CCA. Tesis de Magíster en Ciencias y Tecnología de la Madera, Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 185 Pág.

HORNISCSAR, C.A; BLANKENHORN, P. R Y WEBB, DA.A. 1987. Effect of Creosote and CCA on Moisture Movement in Southern Pine and Red Oak. Wood and Fiber Science. 19(1): 1-8.

INZUNZA, L. 2005. Manual de capacitación Secado Artificial de Madera Aserrada, Sercap. 94 Pág.

JUACIDA R.; QUINTANAR J.; BERTERRECHE A. 1992. Secado de la Madera: I Secado Natural al Aire Libre. Universidad Austral de Chile. (Publicación Docente 35). 32 pag.

JUACIDA, R; INZUNZA, L. 1986. Pautas de control de calidad para madera secada artificialmente. Publ. Doc N° 3. Fac. de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 18 pag.

JUNAC. 1988. Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima 650 Pág.

KAUMAN, W. MITTAK, G. 1966. Ensayos de secado en coigue. Informe técnico N° 25. Instituto forestal. Santiago, Chile. 25 Pag.

KININMONTH, J. A. 1971. Permeability and Fine Structure of Certain Hardwoods and Effects on Drying. Holzforschung. 25(4): 127 – 33.

KUMAR, S., JAIN, K. 1978. Effects of Wood Preservatives on Physical Properties of Wood II. Effects of Different Salt Loading Of CCA Composition. Wood and Fiber. 9(4): 262 – 9.

MACKAY, J. F. G. 1972. The occurrence, Development and Control of Checking in Tasmanian Eucalyptus oblicua. Holzforschung. 26(4): 121 – 4.

MACKAY, J. F. G. 1973 Surface Checking and Drying Behavior of Pinus radiata Sapwood Boards Treated with CCA Preservatives. Forest Prod. J. 23(9): 92 – 97.

MINIUTTI, V. P. 1964. Microscale Changes in Cell Structures at Softwood Surface During Weathering. *Forest Prod. J.* 14(12): 571 – 6.

RAMIREZ, C. J. 1984 Comportamiento del Pino Oregón, frente al secado artificial. Tesis de licenciatura. Universidad Austral de Chile. Fac. De Cs. Forestales. Valdivia. Chile.

RICHARDSON, B. A. 1978. *Wood Preservation*. The Construction Press. Lancaster, England. 238 Pág.

RIETZ, R.C. 1961. Accelerated Weathering of Red Oak. *Forest Prod. J.* 11(12): 567 – 75.

SELBO, M. L. 1964. Ten years Exposure Of laminated Beams Treated with Oil borne and Weaterborne Preservatives. *Forest Prod. J.* 14(11): 517 – 20.

SMITH, P. M Y SINCLAIR, S. A. 1990. The Professional Contractor / Remodeled: Market Research for CCA – Treated Lumber Products. *Forest Prod. J.* 40(6): 8 – 14.

TUSET R., DURÁN F. 1979. *Manual de Maderas Comerciales, equipos y procesos de utilización*. Ed. Hemisferio Sur. 668 p.

WARDROP, A.B Y DAVIES, G.W. 1961 Morphological Factors relating to the penetration of liquids into Wood. *Holzforschung*. 15(5):129-40.

ANEXOS

ANEXO 1
Abstract

ABSTRACT

The present study arises for the necessity of improving the quality of the dry sawed wood get from the process of artificial drying, specifically the bound quality to the cracks, warps, moisture dispersion and tensions generated at the end of the process, which are harmful for the later transformation processes that it possesses the industry of the furniture pieces.

The effect of the drying is studied on the different levels of retention of salts of CCA (cooper, Chromium, Arsenic) in sawed wood of *Pinus radiata*, like the dimensional variation likewise in the pieces that were part of the study.

The methodology consisted on subjecting the wood to a process of conventional artificial drying, evaluating 2 drying programs, previously the wood had been subjected to a pre -drie process arriving to a moisture content of 8%, for then to be impregnated at two different retention levels (4 and 6 Kg/m³), leaving a period of fixation of 10 days.

To evaluate the quality of the drying programs one carries out by means of analysis of Anova, looking for the difference significant minimum among the two programs, having as comparison wood without impregnating, with 4 and 6 kg/m³ of salts of CCA.

As the retention levels go increasing the defects they are increased in both programs, specifically you increment the long of crack and the twist like main defect.

The Second program present more defects generating only the 28.42% of the defects, in comparison with the first program that was be a level of defects of 70.73%, having a high significant the quantity of cracks and high tensions, in what refers at the time of drying, the program N^o 2 increment the time of drying in 7,3 hours but, for ende a lengthening of the drying cycle, however the decrease of the defects generates a gain for the company, since the desclasification level is diminished.

Key words: Drying programs, retention, cracks, warps, tensions, moisture dispersion , dimensional variation.

ANEXO 2
ANÁLISIS ÍNDICE LINEAL DE GRIETAS, RETENCIÓN Y PROGRAMAS DE
SECADO

Factores inter-sujetos

		Etiqueta del valor	N
Retencion	.00	Sin Impregnar	937
	4.00	4 Kg/m3	931
	6.00	6 Kg/m3	936
Secado	1.00	Programa 1	1402
	2.00	Programa 2	1402

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: ILG

Retención	Secado	Media	Desv. típ.	N
Sin Impregnar	Programa 1	.0082	.03784	469
	Programa 2	.0087	.05765	468
	Total	.0084	.04872	937
4 Kg/m3	Programa 1	.0409	.08677	463
	Programa 2	.0233	.08868	468
	Total	.0321	.08813	931
6 Kg/m3	Programa 1	.0622	.11236	470
	Programa 2	.0175	.07399	466
	Total	.0399	.09776	936
Total	Programa 1	.0371	.08766	1402
	Programa 2	.0165	.07471	1402
	Total	.0268	.08208	2804

Medias marginales estimadas

Comparaciones por pares

Variable dependiente: ILG

(I) Retención	(J) Retención	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación(a)	Intervalo de confianza al 95 % para diferencia(a)	
					Límite inferior	Límite superior
Sin Impregnar	4 Kg/m3	-.024(*)	.004	.000	-.031	-.016
	6 Kg/m3	-.031(*)	.004	.000	-.039	-.024
4 Kg/m3	Sin Impregnar	.024(*)	.004	.000	.016	.031
	6 Kg/m3	-.008(*)	.004	.036	-.015	.000
6 Kg/m3	Sin Impregnar	.031(*)	.004	.000	.024	.039
	4 Kg/m3	.008(*)	.004	.036	.000	.015

Basadas en las medias marginales estimadas.

* La diferencia de las medias es significativa al nivel .05.

a Ajuste para comparaciones múltiples: Diferencia menos significativa (equivalente a la ausencia de ajuste).

Comparaciones por pares

Variable dependiente: ILG

(I) Secado	(J) Secado	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación(a)	Intervalo de confianza al 95 % para diferencia(a)	
					Límite inferior	Límite superior
Programa 1	Programa 2	.021(*)	.003	.000	.015	.027
Programa 2	Programa 1	-.021(*)	.003	.000	-.027	-.015

Basadas en las medias marginales estimadas.

* La diferencia de las medias es significativa al nivel .05.

a Ajuste para comparaciones múltiples: Diferencia menos significativa (equivalente a la ausencia de ajuste).

Subconjuntos homogéneos

ILG

Scheffe

Retencion	N	Subconjunto	
		1	2
Sin Impregnar	937	.0084	
4 Kg/m3	931		.0321
6 Kg/m3	936		.0399
Significación		1.000	.103

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos. Basado en la suma de cuadrados tipo III El término error es la Media cuadrática (Error) = .006.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 934.659

b Los tamaños de los grupos son distintos. Se empleará la media armónica de los tamaños de los grupos. No se garantizan los niveles de error tipo I.

c Alfa = .05.

ANEXO 3
Calidad del secado

Factor de desclasificación	Grietas		Índice grietas
	Nº	Nª * FD	Suma
Sin Defecto 0,00	453	0	0
Ligero 0,50	10	5	5
Regular 2,00	5	10	10
Intenso 2,5	0	0	0
Total	468	15	15
Media del defecto	0,03		0,03

T1.1

G

Factor de desclasificación	Arqueadura		Torcedura		Encorvadura		Índice alabeos
	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Suma
Sin Defecto 0,00	461	0	441	0	455	0	0
Ligero 0,50	6	3	9	4,5	13	6,5	14
Regular 2,00	1	2	17	34	0	0	36
Intenso 2,5	0	0	1	2,5	0	0	2,5
Total	468	5	468	41	468	6,5	52,5
Media del defecto	0,01		0,087606838		0,013888889		0,11 A

I.C G + A = 0,14

Factor de desclasificación	Grietas		Índice grietas
	Nº	Nª * FD	Suma
Sin Defecto 0,00	341	0	0
Ligero 0,50	1	0,5	0,5
Regular 2,00	111	222	222
Intenso 2,5	15	37,5	37,5
Total	468	260	260
Media del defecto	0,56		0,56

T1,2

G

Factor de desclasificación	Arqueadura		Torcedura		Encorvadura		Índice alabeos
	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Suma
Sin Defecto 0,00	461	0	344	0	455	0	0
Ligero 0,50	6	3	56	28	13	6,5	37,5
Regular 2,00	1	2	41	82	0	0	84
Intenso 2,5	0	0	27	67,5	0	0	67,5
Total	468	5	468	177,5	468	6,5	189
Media del defecto	0,01		0,379273504		0,013888889		0,40 A

I.C G + A = 0,96

Factor de desclasificación	Grietas		Índice grietas
	Nº	Nª * FD	Suma
FD			
Sin Defecto 0,00	393	0	0
Ligero 0,50	55	27,5	27,5
Regular 2,00	12	24	24
Intenso 2,5	8	20	20
Total	468	71,5	71,5
Media del defecto	0,15		0,15

T1,3
G

Factor de desclasificación	Arqueadura		Torcedura		Encorvadura		Índice alabeos
	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Suma
FD							
Sin Defecto 0,00	454	0	405	0	440	0	0
Ligero 0,50	14	7	49	24,5	28	14	45,5
Regular 2,00	0	0	9	18	0	0	18
Intenso 2,5	0	0	5	12,5	0	0	12,5
Total	468	7	468	55	468	14	76
Media del defecto	0,01		0,117521368		0,02991453		0,16 A

I.C G + A = 0,32

Factor de desclasificación	Grietas		Índice grietas
	Nº	Nª * FD	Suma
FD			
Sin Defecto 0,00	458	0	0
Ligero 0,50	1	0,5	0,5
Regular 2,00	1	2	2
Intenso 2,5	8	20	20
Total	468	22,5	22,5
Media del defecto	0,05		0,05

T2,1
G

Factor de desclasificación	Arqueadura		Torcedura		Encorvadura		Índice alabeos
	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Suma
FD							
Sin Defecto 0,00	458	0	454	0	445	0	0
Ligero 0,50	10	5	11	5,5	11	5,5	16
Regular 2,00	0	0	1	2	12	24	26
Intenso 2,5	0	0	2	5	0	0	5
Total	468	5	468	12,5	468	29,5	47
Media del defecto	0,01		0,026709402		0,063034188		0,10 A

I.C G + A = 0,15

Factor de desclasificación	Grietas		Índice grietas
	Nº	Nª * FD	Suma
FD			
Sin Defecto 0,00	421	0	0
Ligero 0,50	20	10	10
Regular 2,00	8	16	16
Intenso 2,5	9	22,5	22,5
Total	458	48,5	48,5
Media del defecto	0,11		0,11

T2,2
G

Factor de desclasificación	Arqueadura		Torcedura		Encorvadura		Índice alabeos
	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Suma
FD							
Sin Defecto 0,00	455	0	455	0	448	0	0
Ligero 0,50	13	6,5	13	6,5	9	4,5	17,5
Regular 2,00	0	0	0	0	11	22	22
Intenso 2,5	0	0	0	0	0	0	0
Total	468	6,5	468	6,5	468	26,5	39,5
Media del defecto	0,01		0,013888889		0,056623932		0,08 A

I.C G + A = **0,19**

Factor de desclasificación	Grietas		Índice grietas
	Nº	Nª * FD	Suma
FD			
Sin Defecto 0,00	435	0	0
Ligero 0,50	11	5,5	5,5
Regular 2,00	5	10	10
Intenso 2,5	7	17,5	17,5
Total	458	33	33
Media del defecto	0,07		0,07

T2,3
G

Factor de desclasificación	Arqueadura		Torcedura		Encorvadura		Índice alabeos
	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Nº	Nª * FD	Suma
FD							
Sin Defecto 0,00	454	0	444	0	444	0	0
Ligero 0,50	14	7	24	12	0	0	19
Regular 2,00	0	0	0	0	20	40	40
Intenso 2,5	0	0	0	0	0	0	0
Total	468	7	468	12	464	40	59
Media del defecto	0,01		0,025641026		0,086206897		0,13 A

I.C G + A = **0,20**

ANEXO 4
ANALISIS DE GRIETAS

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: SLG

Secado	Retención	Media	Desv. típ.	N
Programa 1	Sin Impregnar	20.4691	94.60282	469
	4 Kg/m3	102.2894	216.91744	463
	6 Kg/m3	174.8089	286.00788	470
	Total	99.2298	223.35106	1402
Programa 2	Sin Impregnar	21.7051	144.11252	468
	4 Kg/m3	58.2650	221.65955	468
	6 Kg/m3	38.3769	175.13007	467
	Total	39.4498	183.58063	1403
Total	Sin Impregnar	21.0864	121.80825	937
	4 Kg/m3	80.1590	220.29977	931
	6 Kg/m3	106.8113	246.81113	937
	Total	69.3291	206.56648	2805

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: SLG

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	3611729.381(a)	2	1805864.691	43.590	.000
Intersección	13537902.089	1	13537902.089	326.781	.000
Retención	3611729.381	2	1805864.691	43.590	.000
Error	116205875.454	2805	41428.120		
Total	133350967.220	2808			
Total corregida	119817604.835	2807			

a R cuadrado = .030 (R cuadrado corregida)

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: SLG

	(I) Retención	(J) Retención	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
						Límite inferior	Límite superior
Scheffe	Sin Impregnar	4 Kg/m3	-59.0725(*)	9.22463	.000	-81.6642	-36.4809
		6 Kg/m3	-85.7249(*)	9.20981	.000	-108.2802	-63.1695
	4 Kg/m3	Sin Impregnar	59.0725(*)	9.22463	.000	36.4809	81.6642
		6 Kg/m3	-26.6523(*)	9.22463	.015	-49.2440	-4.0607
	6 Kg/m3	Sin Impregnar	85.7249(*)	9.20981	.000	63.1695	108.2802
		4 Kg/m3	26.6523(*)	9.22463	.015	4.0607	49.2440
DMS	Sin Impregnar	4 Kg/m3	-59.0725(*)	9.22463	.000	-77.1603	-40.9847
		6 Kg/m3	-85.7249(*)	9.20981	.000	-103.7836	-67.6662
	4 Kg/m3	Sin Impregnar	59.0725(*)	9.22463	.000	40.9847	77.1603
		6 Kg/m3	-26.6523(*)	9.22463	.004	-44.7401	-8.5646
	6 Kg/m3	Sin Impregnar	85.7249(*)	9.20981	.000	67.6662	103.7836
		4 Kg/m3	26.6523(*)	9.22463	.004	8.5646	44.7401

Basado en las medias observadas.

* La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

ANEXO 5
DISPERCIONES HUMEDAD, ANALISIS DE HUMEDAD EN COMPARACIÓN CON
LOS PROGRAMAS DE SECADO Y LOS DISTINTOS NIVELES DE RETENCIÓN

Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: Humedad

Secado	Media	Desv. típ.	N
Programa 1	9.0882	1.40837	1402
Programa 2	8.9951	1.58127	1403
Total	9.0416	1.49780	2805

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Humedad

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	6.070(a)	1	6.070	2.707	.100
Intersección	229312.352	1	229312.352	102277.977	.000
Secado	6.070	1	6.070	2.707	.100
Error	6284.467	2803	2.242		
Total	235602.076	2805			
Total corregida	6290.536	2804			

a R cuadrado = .001 (R cuadrado corregida = .001)

Medias marginales estimadas

Estimaciones

Variable dependiente: Humedad

Secado	Media	Error típ.	Intervalo de confianza al 95%.	
			Límite inferior	Límite superior
Programa 1	9.088	.040	9.010	9.167
Programa 2	8.995	.040	8.917	9.074

Comparaciones por pares

Variable dependiente: Humedad

(I) Secado	(J) Secado	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación(a)	Intervalo de confianza al 95% para diferencia(a)	
					Límite inferior	Límite superior
Programa 1	Programa 2	.093	.057	.100	-.018	.204
Programa 2	Programa 1	-.093	.057	.100	-.204	.018

Basadas en las medias marginales estimadas.

a Ajuste para comparaciones múltiples: Diferencia menos significativa (equivalente a la ausencia de ajuste).

ANEXO 6
ANALISIS TENSION

Cuadro. Análisis de varianza, comparando los niveles de tensión y los programas de secado

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	131,512(a)	1	131,512	54,631	,000
Intersección	1056,345	1	1056,345	438,810	,000
Secado	131,512	1	131,512	54,631	,000
Error	476,644	198	2,407		
Total	1664,501	200			
Total corregida	608,156	199			

a R cuadrado = ,216 (R cuadrado corregida = ,212)

Cuadro. Prueba Sheaffe para comparación de tensión por programa de secado

(I) Secado	(J) Secado	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación (a)	Intervalo de confianza al 95 % para diferencia(a)	
					Límite inferior	Límite superior
Programa 1	Programa 2	1,622(*)	,219	,000	1,189	2,055
Programa 2	Programa 1	-1,622(*)	,219	,000	-2,055	-1,189

Basadas en las medias marginales estimadas.

* La diferencia de las medias es significativa al nivel ,05.

a Ajuste para comparaciones múltiples: Diferencia menos significativa (equivalente a la ausencia de ajuste).

Cuadro. Análisis de varianza, comparando los niveles de tensión y retención

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	1,858(a)	2	,929	,302	,740
Intersección	951,014	1	951,014	309,006	,000
Retención	1,858	2	,929	,302	,740
Error	606,298	197	3,078		
Total	1664,501	200			
Total corregida	608,156	199			

a R cuadrado = ,003 (R cuadrado corregida = -,007)

Cuadro. Prueba Sheaffe para comparación de tensión por cada retención.

(I) Retención	(J) Retención	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación(a)	Intervalo de confianza al 95 % para diferencia(a)	
					Límite inferior	Límite superior
Sin Impregnar	4 Kg CCA	-,273	,351	,438	-,965	,419
	6 Kg CCA	-,134	,304	,659	-,733	,465
4 Kg CCA	Sin Impregnar	,273	,351	,438	-,419	,965
	6 Kg CCA	,138	,304	,649	-,461	,738
6 Kg CCA	Sin Impregnar	,134	,304	,659	-,465	,733
	4 Kg CCA	-,138	,304	,649	-,738	,461

Basadas en las medias marginales estimadas.

a Ajuste para comparaciones múltiples: Diferencia menos significativa (equivalente a la ausencia de ajuste).