



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Evaluación del efecto de la clasificación  
dimensional de madera aserrada, sobre la  
calidad del secado en *Pinus radiata*.**

Patrocinante : Sr. Alfredo Aguilera L.  
Copatrocinante : Sr. LuíS Inzunza D.

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

**ALEJANDRO JOSÉ VÁSQUEZ COSSIO**

VALDIVIA  
2005

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Alfredo Aguilera L	5,9
Co patrocinante:	Sr. Luís Inzunza D	6,0
Informante:	Sr. Francisco Calzada T	6,5

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. Alfredo Aguilera L.

***Dedicada a la memoria de  
mi hermano Rodrigo.***

***A mi familia.***

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al profesor patrocinante Dr. Alfredo Aguilera L, por su colaboración y recomendaciones en la realización de éste trabajo.

Agradezco al profesor co patrocinante Sr. Luís Inzunza D, por su apoyo en todo momento, sus valiosos consejos y por creer en mi capacidad desde la época de estudiante.

Agradezco al Gerente de Operaciones de Aserraderos Paillaco, Sr Francisco Calzada por su incondicional apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Agradecimientos a Aserraderos Paillaco por permitir desarrollar mi estudio en sus instalaciones en la planta Paillaco, especialmente a don Sergio Contreras, jefe de planta; Christian Dantón, jefe control calidad, y mención especial a Jorge Espinoza, control de calidad, quien colaboró en todo momento en la toma de datos en terreno.

Agradezco a mis padres José y Clara, a mi hermano Ricardo quienes siempre confiaron que yo podía, a mis familiares que realmente creyeron en mi, a mis amigos, Pato, Yuri, Sebastián, Verónica, Alexis, Andrés, Richard y Luís, los que fueron mi apoyo en todo momento.

A todos los que me apoyaron siempre, mi eterno agradecimiento.

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>2</b>
2.1    Calidad del secado	2
<b>2.2    <i>Secado artificial</i></b>	<b>2</b>
<b>2.3    <i>Factores que influyen en el secado de la madera</i></b>	<b>3</b>
2.3.1    Factores del proceso	3
2.3.2    Factores de la madera	3
<b>2.4    Humedad de la madera</b>	<b>4</b>
<b>2.5    <i>Contracción de la madera</i></b>	<b>5</b>
<b>2.6    <i>Defectos del secado</i></b>	<b>5</b>
2.6.1    Grietas	5
2.6.2    Alabeos	6
<b>3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>7</b>
<b>3.1    <i>Material</i></b>	<b>7</b>
3.1.1    Madera	7
3.1.2    Equipo e instrumental	8
<b>3.2    <i>Método</i></b>	<b>9</b>
3.2.1    Determinación contenido de humedad inicial y final	10
3.2.2    Control de dimensiones	11
3.2.3    Medición de alabeos	11
3.2.4    Medición de grietas	13

3.2.5	Análisis de resultados	13
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b><i>Humedad de la madera</i></b>	<b>14</b>
4.1.1	Humedad inicial	14
4.1.2	<i>Humedad final</i>	15
<b>4.2</b>	<b><i>Variaciones dimensionales</i></b>	<b>16</b>
4.2.1	Variación en el ancho	16
4.2.2	Variación en el espesor	17
<b>4.3</b>	<b><i>Evaluación de grietas</i></b>	<b>18</b>
<b>4.4</b>	<b><i>Medición de alabeos</i></b>	<b>19</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>20</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>21</b>

## **ANEXOS**

***Anexo 1: Abstract***

***Anexo 2: Datos variación dimensional***

***Anexo 3: Análisis de resultados***

## RESUMEN EJECUTIVO

Se estudia el efecto que tiene la clasificación dimensional de la madera aserrada verde, sobre la calidad final del secado artificial. El estudio se realizó en las instalaciones de Aserraderos Paillaco, planta Paillaco.

Se sometió a estudio 4 paquetes de madera sin clasificación dimensional previa, y 4 paquetes clasificados para efectos del estudio, para realizar comparaciones entre éstos. El total de piezas analizadas correspondió a 898, las cuales se obtuvieron directamente del proceso según disposición de la empresa y sin interferir en el proceso.

Se controló la calidad después del secado, evaluando la dispersión de la humedad final, las variaciones dimensionales, los alabeos y las grietas. La metodología usada para la humedad es la descrita en la norma chilena, al igual que para las variaciones dimensionales. Para el caso de los alabeos y grietas se utiliza los métodos utilizados por control de calidad del aserradero.

Los resultados de la dispersión final de humedad presentan una mayor variabilidad en la madera sin clasificación dimensional con una desviación estándar de 1.47, en comparación con la madera clasificada que tiene una desviación de 0.71.

En el análisis de las variaciones dimensionales se obtuvo diferencias significativas, con mayores valores de variación final en la madera no clasificada dimensionalmente.

Las grietas superficiales presentaron valores de 6,9% para nc-8 y 9,3% para madera nc-10, que es la madera sin clasificación dimensional; 2,8% para dim-8 y 3,1% para dim-10 madera clasificada para el estudio; de lo anterior se resume que al clasificar la madera se disminuye ampliamente la proporción de grietas superficiales. No se encontró para el caso de esta evaluación grietas internas.

Para el caso de los alabeos se obtuvo resultados poco concluyentes, ya que los valores de alabeos no presentan diferencias significativas en la madera del análisis. Los alabeos de mayor presencia fueron la arqueadura y acanaladura.

Palabras claves: Clasificación, Calidad, Secado, Pinus radiata.

## 1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la superficie forestal chilena, especialmente en lo que se refiere a plantaciones, ha permitido un importante desarrollo en el sector industrial maderero. Como resultado de este desarrollo, se están obteniendo elevados niveles de producción y exportación de maderas y sus derivados.

En el mercado de productos forestales, el secado de la madera reviste gran importancia cuando se pretende entregar productos de alta calidad. Cuando la madera se seca, además de perder humedad, sufre cambios dimensionales, y alteraciones de su forma, resistencia, color, etc. Estos cambios pueden derivar en defectos tales como agrietamientos, deformaciones y dispersión en el contenido de humedad final, entre otros.

Las técnicas de secado artificial aplicadas a la madera demuestran su efectividad en la calidad final del producto sometido al secado. Por una parte, la calidad óptima de la madera seca se ve reflejada en la coincidencia entre el contenido de humedad final obtenido, siempre en relación con el uso que tendrá la madera.

La clasificación en verde de la madera aserrada, influye en el secado artificial, de manera tal, que al homogenizar las características dimensionales de las piezas a secar, es posible mejorar las características de calidad de la madera que se obtiene después del secado.

El presente estudio surge como necesidad de evaluar los efectos que tiene en la calidad, la clasificación dimensional de la madera aserrada antes del secado.

El objetivo general que se persigue en este estudio es evaluar el efecto que tiene la clasificación dimensional sobre la calidad final del secado. Los parámetros a utilizar para esta evaluación son el contenido de humedad final, contracciones, grietas, y alabeos. Para lograr esto se fijan los siguientes objetivos específicos.

- Determinar la dispersión de la humedad final
- Calcular las variaciones dimensionales
- Frecuencia de las grietas
- Medición de alabeos



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Calidad de secado**

El secado de la madera forma parte de una serie de procesos que participan en la transformación de la madera, y como todo proceso, es determinante en la calidad del producto final. Por lo anterior, Álvarez y Fernández-Golfín (1992) definen la calidad del secado como las propiedades y posibles defectos presentes en la madera seca como consecuencia del proceso de secado. También explican que ésta calidad esta influenciada por las características de calidad de la madera que se va a secar.

La calidad final de la madera esta determinada por las deformaciones y defectos que se puedan originar por la elección de un tratamiento de secado (Juacida e Inzunza, 1990).

La calidad del secado está influenciada por los atributos propios de la madera y por las características del secado como: contenido de humedad final; variación del contenido humedad tanto dentro de la tabla como dentro de la pila; tensiones de secado; grietas superficiales, internas y de testa; colapso; diferentes tipos de deformaciones y cambios de color o manchas (Fuentes, 1994).

### **2.2 Secado artificial de la madera**

El secado artificial de la madera es un proceso que permite disminuir el contenido de humedad de la madera aserrada a un contenido final deseado, en donde participan simultáneamente mecanismos de transferencia de calor y de materia, produciendo la evaporación de humedad del interior de la madera (INFOR, 1999).

El secado en cámara ofrece una serie de ventajas para la utilización final de las maderas, estos beneficio se traducen en lo siguiente: se disminuyen los costos de transporte al llevar un menor peso para un mismo volumen, mejora de las resistencias, salvo la resistencia al impacto o choque; mejora la capacidad de resistir el ataque de hongos y algunas especies de insectos. Después de haber sido secada hasta los niveles deseados, la madera es más estable respecto a los cambios de dimensiones que puede sufrir por modificación de la humedad en el aire que la rodea; un adecuado contenido de humedad final y una buena estabilidad dimensional, garantizan otros procesos, por ejemplo para recibir la aplicación de adhesivos o productos de terminación como pinturas y barnices (Tuset y Durán, 1979).

## **2.3 Factores que influyen en el secado de la madera**

Existen 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.

### *2.3.1 Factores del proceso*

Temperatura: es un factor que influye en la velocidad de la evaporación. Cuando más elevada la temperatura más intensa la evaporación, y estimula la difusión del agua (Juacida *et al.*, 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 se acelera el secado de la madera (Juacida *et al.*, 1992).

Velocidad del aire: La velocidad del aire tiene gran influencia en las primeras etapas del secado, conforme el frente de evaporación se interioriza en la madera la influencia de la velocidad del aire disminuye (Álvarez y Fernández–Golfín, 1992).

### *2.3.2 Factores de la madera*

Especie: hay maderas que por una serie de características específicas (densidad, contracción, médula) pueden ser colocadas en condiciones de secado rápido sin que aparezcan defectos; otras en cambio, requieren de un secado lento para evitar la aparición de defectos (Tuset y Durán, 1979).

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 suponiendo iguales dimensiones, las piezas aserradas radiales secan más lentamente que las aserradas con caras tangenciales (Tuset y Durán, 1979).

Espesor: en una misma especie, las piezas de poco espesor secarán más rápidamente que las de mucho espesor (Tuset y Durán, 1979).

## 2.4 Humedad de la madera

El agua en la madera es uno de los factores más importantes en la industrialización de ésta, ya que afecta básicamente a la mayoría de los procesos de transformación.

Es por esto, que es necesario mantener una diferencia de contenido de humedad homogéneo entre las capas internas y externas de la madera, para evitar que se produzcan tensiones en la madera.

La diferencia de humedad entre las capas internas y externas de la madera, es originada por una ejecución de un ciclo de secado en forma rápida. El resultado que trae esto, se pone de manifiesto, cuando una pieza de madera es reaserrada o cepillada, produciéndose en el momento de corte, la deformación de las piezas resultantes.

Es importante también, cumplir con el contenido de humedad final que se requiere para la madera, según el uso que ésta tendrá en el lugar de servicio. Además el transportar madera con un alto contenido de humedad, implica el riesgo del desarrollo de organismos que atacan la madera.

Se define el contenido de humedad, como la cantidad de agua incluida en la madera, expresada en porcentaje de su masa anhidra (INN, 1984b).

El agua en la madera se puede clasificar en los siguientes intervalos de contenido de humedad (Álvarez, 1992).

- Agua libre: es la parte del agua presente en la madera que se encuentra relleno el interior de los lúmenes celulares. Su presencia se da cuando el contenido de humedad es superior al 30%.
- Agua ligada: es el agua que impregna las paredes celulares, relleno los espacios microscópicos y submicroscópicos de la pared celular.

Se puede determinar el contenido de humedad en la madera, mediante métodos de secado en estufa y métodos eléctricos.

La importancia de obtener un contenido de humedad determinado radica en que se hace posible conseguir un máximo de estabilidad dimensional de la madera durante el proceso de fabricación del producto y posteriormente de éste en microclima de uso (Juacida e Inzunza, 1990).

## **2.5 Contracción de la madera**

La contracción de la madera es toda disminución de las dimensiones de una pieza de madera como consecuencia de la entrega de agua al medio ambiente.

Hay que distinguir entre una contracción normal y otra anormal. La normal generalmente se inicia cuando el contenido de humedad de la madera está bajo el punto de saturación de las fibras y se manifiesta como una disminución armónica de sus dimensiones, debido a la pérdida de agua ligada a las paredes de la célula. La anormal en cambio, denominada también colapso, se manifiesta como alteraciones acentuadas en la dimensión y forma de la madera. Ocurre cuando el contenido de humedad está sobre el punto de saturación de las fibras (Juacida e Inzunza, 1990).

La contracción normal de la madera ocurre en forma diferente dependiendo el plano que se analice. Esto debido a que la madera es un material anisotrópico. De esta forma se puede indicar que la contracción tangencial es mayor que la radial y ésta, a su vez mayor que la longitudinal (Juacida e Inzunza, 1990).

## **2.6 Defectos de secado**

Los defectos de secado se deben a un variado número de factores que pueden ser atribuidos a la calidad de la madera o a las variables que son manejadas en el proceso, las cuales influyen directamente en la calidad final de la madera seca.

### *2.6.1 Grietas*

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

Las capas exteriores son las primeras en alcanzar el punto de saturación de fibras y bajo él se iniciará su contracción antes que lo hagan las capas del interior aún húmedas. Las capas interiores, al permanecer sin alteraciones en sus dimensiones, se opondrán al encogimiento o contracción libre de superficie produciéndose tensiones perpendiculares o transversales a la dirección de las fibras, de tracción en la capa exterior y de compresión en la capa interior (Juacida e Inzunza, 1990).

#### **Grietas de testa.**

Las grietas de testa siempre comienzan en las testas de las piezas y se extienden desde algunos milímetros hasta decenas de centímetros (Álvarez, 1992). Este tipo de grietas afecta a dos superficies adyacentes en una pieza de madera.

### **Grietas superficiales.**

Las grietas superficiales se desarrollan durante las primeras etapas del secado debido a las altas tensiones de tracción, en el sentido perpendicular a las fibras, y se generan por causa de las grandes diferencias de humedad existentes entre la superficie y el interior de la madera (Álvarez, 1992). El desarrollo de este tipo de grieta no afecta a dos superficies adyacentes en una pieza de madera.

### **Grietas internas.**

Las grietas internas se desarrollan en el interior de la madera cuando en la etapa final de secado las tensiones de tracción que se generan en el interior de la pieza superan en el valor absoluto la resistencia a la tracción perpendicular de la madera (Álvarez, 1992). Estas grietas normalmente se identifican después de que la madera ha sido procesada o durante el maquinado o ensamble de productos terminados.

#### **2.6.2 Alabeos**

El siguiente concepto de alabeo y su división según su plano de deformación, fue extraído del Manual del Grupo Andino para el Secado de Madera (Hoheisel *et al*, 1989).

El alabeo de piezas de madera durante el secado se debe a sus propiedades de contracción. Hasta cierto punto, puesto que se debe a una propiedad natural, no puede catalogarse estrictamente como un defecto. Sin embargo, debe ser el propósito de cada operación de secado mantener estas deformaciones dentro de ciertos límites.

El alabeo se define como la deformación que experimenta una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal, transversal o de ambos.

Según el plano de deformación, el alabeo se divide en las siguientes deformaciones.

#### **Acanaladura**

Es el alabeo de las piezas cuando las aristas o bordes longitudinales no se encuentran al mismo nivel que la zona central. Se reconoce cuando al colocar la pieza de madera sobre una superficie plana, apoyará la parte central de la cara quedando levantados los bordes, presentando un aspecto cóncavo.

#### **Arqueadura**

Es el alabeo o curvatura a lo largote la cara de pieza. Se reconoce cuando al colocar la pieza sobre una superficie plana, se observa una luz o separación entre la cara de la pieza de madera y la superficie de apoyo.

### **Encorvadura**

Es el alabeo o curvatura a lo largo del canto de la pieza. Se reconoce cuando al colocar la pieza de canto sobre una superficie plana, se observa una luz o separación entre el canto de la pieza de madera y la superficie de apoyo.

### **Torcedura**

Es el alabeo que se presenta cuando las esquinas de una pieza de madera no se encuentran en el mismo plano. Se reconoce cuando al colocar la pieza sobre una superficie plana, se observa el levantamiento de una o más aristas en diferentes direcciones.

## **3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

En el presente capítulo se describirá el material empleado, el equipo y procedimientos para la realización del estudio.

### **3.1 Material**

En primer lugar se dará a conocer el tipo de productos con los cuales se realizó el estudio, los cuales fueron sometidos a un secado convencional acelerado en una misma cámara, y se describirá el equipo e instrumentos utilizados para las mediciones de los defectos y dimensiones de las piezas de madera del análisis. La madera utilizada en el estudio fue facilitada por la empresa y bajo sus condiciones de disponibilidad.

#### *3.1.1 Madera*

Se trabajó con **898** piezas de madera de *Pinus radiata*. Esta madera corresponde al producto ancho variable 5/4", con anchos entre 7 a 15" y largos variables con un máximo de 4 m. Para el estudio se debió armar paquetes de madera con anchos y largos fijos, con 21 corridas de alto. La clasificación de madera utilizada se resume en el siguiente cuadro n°1.

Cuadro 1. Clasificación de madera para el estudio

Clasificación	Ancho pieza	Nº piezas	Paquetes	Total piezas
NC – 8	6,5 a 8"	126	2	252
NC – 10	8,5 a 15"	92	2	184
Dím 8"	8"	126	2	252
Dim 10"	10"	105	2	210

**NC – 8:** Madera no clasificada, agrupada según anchos que van desde 6,5” hasta 8”. El largo de estas piezas es variable con un máximo de 4 m.

**NC – 10:** Madera no clasificada, agrupada según anchos que van desde 8,5” hasta 15”. El largo es variable con un máximo de 4 m.

**Dím:** Madera dimensionada, ancho y largo fijo.

**NC:** Se designa como producto nc, las piezas de madera que no cumplen con los porcentajes de madera clear (libre de nudos), y algunos defectos estéticos.

### *3.1.2 Equipo e instrumental*

El equipo que se utilizó es el que se encuentra disponible en el área de secado del Aserradero Paillaco, planta Paillaco.

La madera fue tratada en cámara convencional acelerada marca Hildebrand, con una capacidad de 100 m<sup>3</sup>, un espacio interior de 21 m de largo, por 4,4 m de ancho y 6,6 m de alto (4.9 son utilizables). Una tina lateral que tiene un nivel de agua constante, con capacidad de 4200 lt, que sirve para las etapas de calentamiento y acondicionado de la madera, la cual es calentada mediante vapor saturado que pasa por un serpentín sumergido en agua. Posee 8 radiadores o intercambiadores de calor que calientan la cámara por electro ventiladores. La velocidad del aire en la cámara es de 5 m/s, la cual es generada por 8 ventiladores. Para evitar pérdidas de energía la cámara posee 4 deflectores verticales. En el techo del secador se encuentran ubicadas 8 ventilas.

Para realizar las mediciones (Fig.1) y preparación de las muestras se utilizó el siguiente equipo:

- \* Pie de metro digital con precisión de 0,01 mm
- \* Huincha de medir, longitud 5 m
- \* Sierra circular eléctrica (portátil)
- \* Lienza



Figura 1. Equipo de medición

### 3.2 Método

El estudio consistió en evaluar la calidad del secado, y determinar en forma práctica como influye en el secado la clasificación de madera en dimensiones variables en comparación con una clasificación en largos y anchos fijos. La madera del análisis fue seguida desde la salida de aserradero, hasta después del secado. Las mediciones antes del secado se realizaron en el patio de madera verde, y las mediciones después del secado en el sector de madera seca.



### 3.2.1 Determinación del contenido de humedad inicial y final.

Para la determinación del contenido de humedad se utilizó el método por diferencia de pesadas. Este método consiste en pesar en forma sucesiva probetas de madera antes y después de ser sometidas a secado, estas probetas se observan en la figura 2. El cálculo se expresa en la siguiente fórmula:

Cuadro 2. Cálculo contenido de humedad

$$C.H = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

donde:

C.H : Contenido de humedad de la madera en %

$P_h$  : Peso de la probeta húmeda

$P_s$  : Peso de la probeta seca

Las probetas húmedas una vez pesadas son colocadas en estufa a una temperatura de  $103 \pm 2$  °C, hasta que el peso de la probeta se mantenga constante. Después de 48 horas se mide el peso seco.

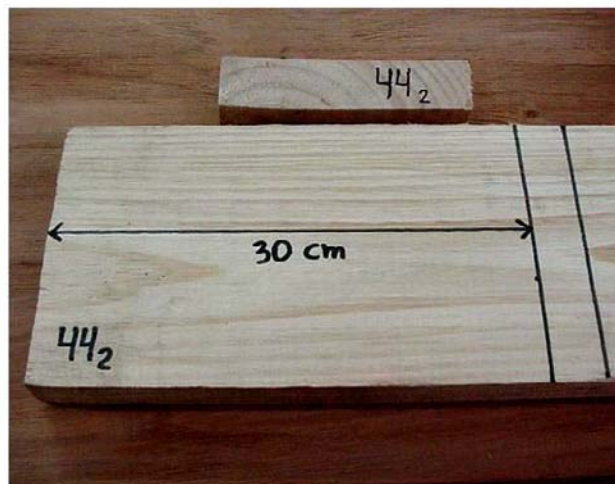


Figura 2. Muestra de humedad

### 3.2.2 Control de dimensiones

Para realizar el control de dimensiones se marcó cada una de las piezas en los lugares en donde se realizó la medición, tanto en el ancho como en el espesor. También se registró el largo de cada una de las tablas, el tipo de corte y su correspondiente número asignado correlativamente. Este proceso de medición se realizó antes y después de secado.

El objetivo del control de dimensiones es permitir el cálculo de la contracción de la madera, en el ancho y el espesor.

### 3.2.3 Medición de alabeos

Para la medición de alabeos se utiliza como equipo un pie de metro digital, una lienza y una regla.

#### **Procedimiento**

**Arqueadura:** ésta se determina mediante la flecha máxima formada entre la superficie mayor de la pieza y la lienza tensada desde los extremos de la pieza (Fig.3).

**Encorvadura:** se determina mediante la flecha máxima formada entre el canto y la lienza tensada desde los extremos de la pieza (Fig.3).

**Torcedura:** para este caso se apoya la pieza en una superficie plana y se determina mediante la altura máxima formada entre la superficie de apoyo y la esquina de la pieza que no se encuentra apoyada, estando las otras tres en contacto con ella (Fig.3).

**Acanaladura:** En la medición de este alabeo, se apoya una regla en sentido transversal sobre la cara acanalada de la pieza y se determina mediante la flecha máxima formada entre la regla que une los cantos y la superficie de la madera que presenta mayor acanaladura (Fig.3).

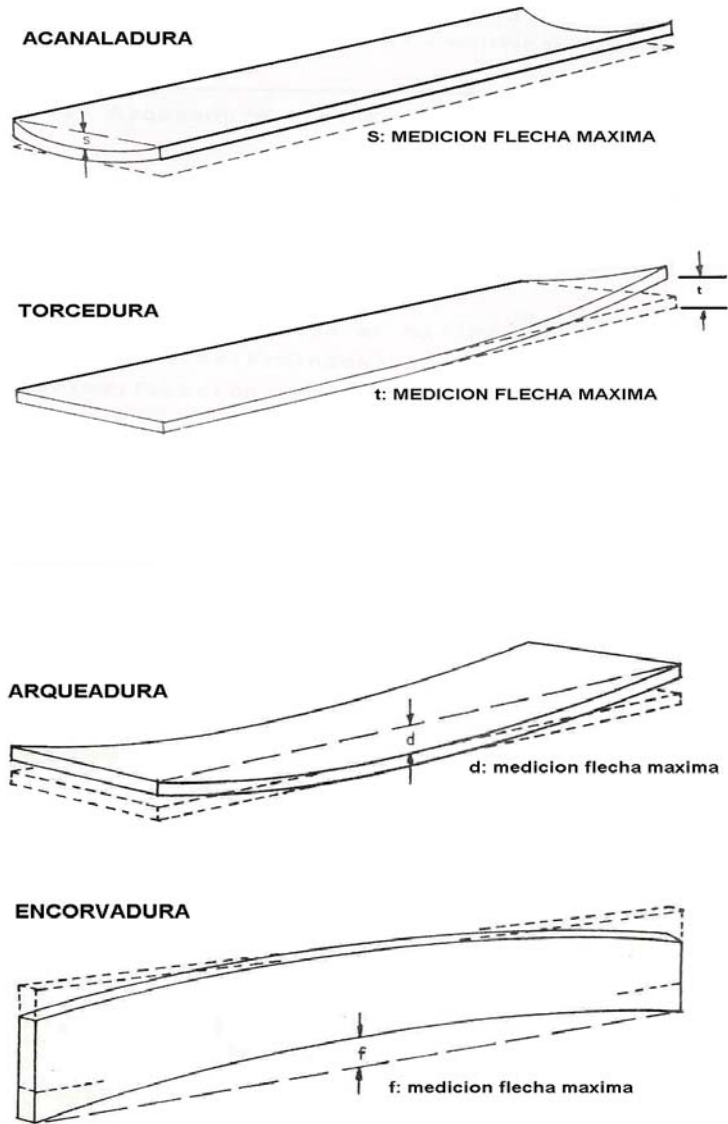


Figura 3. Medición de alabeos

### 3.2.4 Medición de grietas

Para el análisis de grietas se realiza una inspección visual en ambas caras y cantos, en todo el largo de la pieza. Cuando existen grietas superficiales se mide la longitud de cada una de ellas en la cara mas afectada, que generalmente es la mas lateral.

Para el caso de grietas de testa, se evalúa la cara más afectada y se registra la longitud de toda grieta que termine en los extremos de las piezas, de existir mas una en el extremo se registra la de mayor longitud y de existir en ambos extremos se anota la suma de ambas. Las grietas se expresan como porcentaje del largo total de la pieza.

### 3.2.5 Análisis de resultados

Para los resultados obtenidos se calcularon los siguientes parámetros:

- Valor promedio
- Valores máximos y mínimos
- Desviación estándar
- Varianza

Se realizó un análisis estadístico SPSS, para comprobar si existen diferencias significativas entre los paquetes de madera con distinta clasificación dimensional, esto para el caso de la contracción en el ancho y en el espesor. Estos análisis contemplan los siguientes casos:

Valor  $F <$  Valor crítico para  $F$

Se comprueba la hipótesis de que todos los paquetes tienen características similares

Valor  $F >$  Valor crítico para  $F$

Se rechaza la hipótesis nula, y es necesario determinar entre que paquetes existe características distintas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Humedad de la madera

#### 4.1.1 Humedad inicial

Para el cálculo de la humedad inicial se seleccionó 40 muestras de la madera dimensionada y 40 del ancho variable, 10 muestras por cada paquete. Los resultados se muestran en el gráfico de la figura 6.

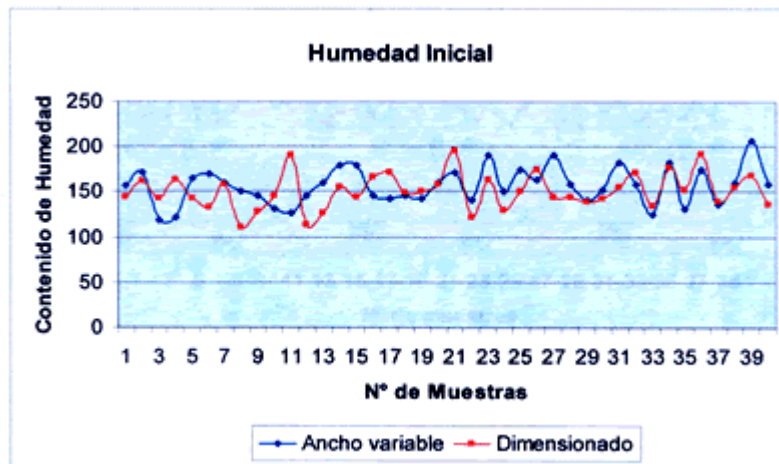


Figura 6. Dispersión humedad inicial

Cuadro 3. Datos humedad inicial

Datos	Ancho variable	Dimensionado
Promedio	157	151
Máximo	196	207
Mínimo	110	119
Desv. Std	20.39	19.95

Gráficamente se puede observar que la humedad inicial de la madera no presenta ningún tipo de diferencia, lo que se debe a que las trozas en la cancha de acopio se encuentran bajo las mismas condiciones. Además, estadísticamente esto se corrobora en el cuadro 3, ya que el rango y promedio son valores muy similares.

#### 4.1.2 Humedad final

Para el cálculo de la humedad final de la carga se obtuvieron nuevamente 80 muestras de las mismas tablas a las cuales se les había calculado la humedad inicial, separadas entre ancho variable y dimensionado. Gráficamente se puede observar la alta dispersión en la figura 7.

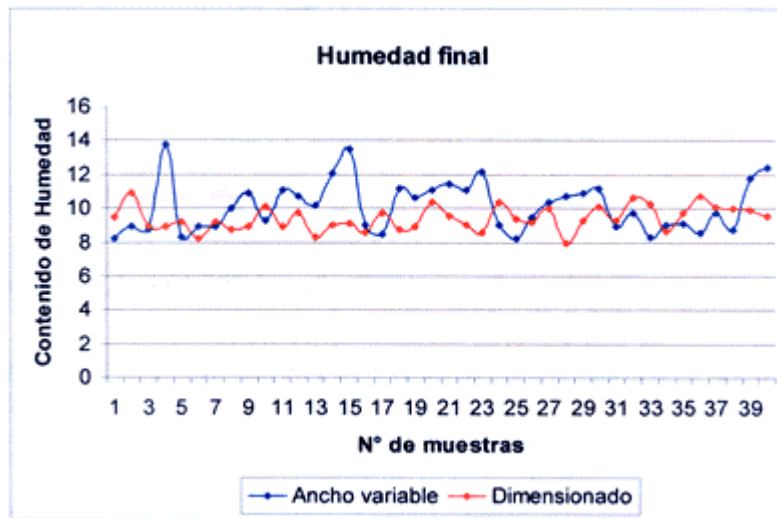


Figura 7. Dispersión humedad final

Cuadro 4. Datos humedad final

Datos	Ancho variable	Dimensionado
Promedio	10.1	9.4
Máximo	13.8	10.9
Mínimo	8.5	8
Desv. Std	1.47	0.71

Gráficamente se observa una notable diferencia en la dispersión de la humedad final de la madera entre dimensionado y ancho variable, producto principalmente de la heterogeneidad de las dimensiones de las piezas en el caso de ancho variable. La desviación estándar del cuadro 4, indica que en ancho variable hay una mayor diferencia de contenidos de humedad al final del proceso de secado, lo que indica que mientras algunas piezas de madera ya están secas a la humedad exigida, otras aún continúan con una humedad por sobre los requerimientos.

También puede interpretarse de forma contraria, es decir, que se está resecando parte de la carga, lo que significa aumento de costos por uso de cámara y una disminución mayor del volumen de la madera (exceso de contracción).

La heterogeneidad en la distribución de los valores de la humedad final de la madera, son potenciales rechazos en procesos posteriores, en los cuales existe un control de calidad, con valores de humedad exigidos por el cliente. De esto deriva la importancia que tiene el disminuir la alta dispersión de humedad final que se presenta al secar la madera en anchos y largos de alta variación.

## 4.2 Variaciones dimensionales

### 4.2.1 Contracción en el ancho

En el cuadro 5, se muestran los resultados de la contracción en el ancho, obtenidos en este estudio.

Cuadro 5. Resultados contracción en el ancho

CALIDAD	NC - 8 (1)	NC - 8 (2)	NC - 10 (1)	NC - 10 (2)	DIM - 8 (1)	DIM - 8 (2)	DIM - 10 (1)	DIM - 10 (2)
Promedio	3,92%	3,81%	3,68%	3,72%	3,58%	3,60%	3,57%	3,47%
Máximo	5,77%	6,25%	5,57%	5,56%	4,84%	4,92%	4,70%	4,47%
Mínimo	2,49%	2,30%	2,34%	2,08%	2,12%	2,11%	2,28%	2,04%
Desv.Std	0,007474	0,007886	0,007981	0,007446	0,005633	0,006268	0,005195	0,005405
Varianza	5,5859E-05	6,2197E-05	6,3701E-05	5,5446E-05	3,1728E-05	3,9290E-05	2,6988E-05	2,9209E-05

En el cuadro 5, se puede observar que la madera NC presenta valores de contracciones mayores que la madera DIM (dimensiones homogéneas), y además los valores de contracción máxima son mayores.

La desviación y la varianza son notoriamente mayores en la madera NC, lo que indica la alta dispersión de los valores de contracción en el ancho, todo esto como consecuencia de las diferentes humedades que se obtienen a final del proceso, es decir, en la madera NC (dimensiones heterogéneas), se obtienen piezas resacas y otras húmedas al final del proceso, lo que significa un mal resultado en la calidad del secado porque por un lado se pierde volumen al resecar, y por otro se obtienen

piezas húmedas que no aprueban el control de calidad posterior por exceso de humedad.

#### 4.2.2 Contracción en el espesor.

En el cuadro 6, se muestran los resultados de la contracción en el espesor, obtenidos en este estudio.

Cuadro 6. Resultados contracción en espesor

CALIDAD	NC - 8 (1)	NC - 8 (2)	NC - 10 (1)	NC - 10 (2)	DIM - 8 (1)	DIM - 8 (2)	DIM - 10 (1)	DIM - 10 (2)
Promedio	3.28%	3.46%	3.40%	3.47%	3.15%	3.14%	2.97%	2.95%
Máximo	4.85%	5.05%	4.72%	5.05%	3.98%	4.22%	3.84%	3.86%
Mínimo	1.87%	2.06%	2.03%	2.04%	2.03%	2.01%	2.01%	2.01%
Desv.Std	0.00597	0.00684	0.00644	0.0079	0.00536	0.00521	0.00457	0.00501
Varianza	3.5697E-05	4.6794E-05	4.1526E-05	5.0307E-05	2.8979E-05	2.9510E-05	2.0911E-05	2.5084E-05

En el cuadro 6, se concluye que la madera NC presenta valores de contracción en el espesor mayores que la madera DIM (dimensiones homogéneas), y también se observa que los valores de contracción máxima son mayores, repitiendo la tendencia de los resultados de contracción en el ancho.

La desviación y la varianza son notoriamente mayores en la madera NC, lo que indica la alta dispersión de los valores de contracción en el ancho, todo esto como consecuencia de la ya mencionada anteriormente, alta dispersión de humedad que se obtiene a final del proceso.



### 4.3 Evaluación de grietas

En la figura 8 se muestra gráficamente la diferencia notable en las proporciones de grietas que se producen después del secado, los valores son porcentajes respecto del total de piezas de cada paquete.

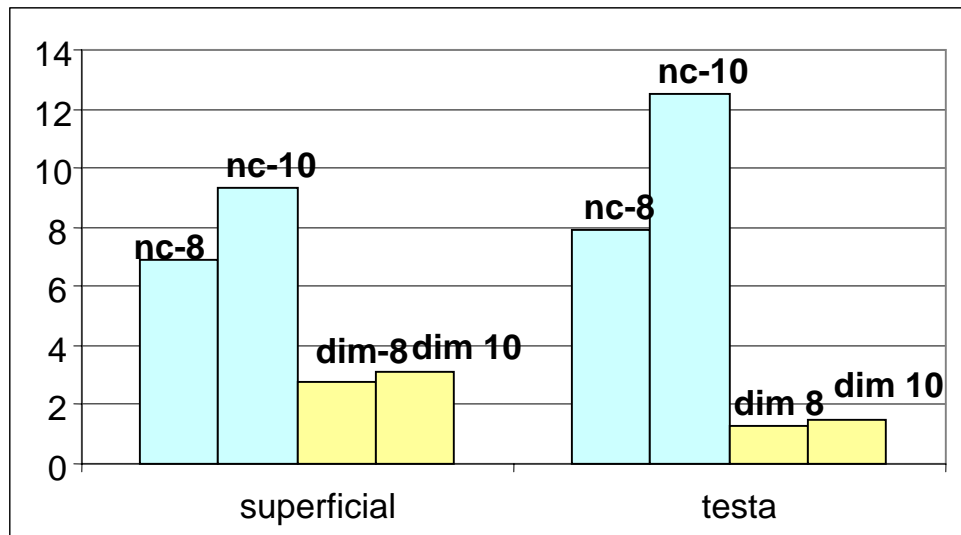


Figura 8. Proporción de grietas por paquete de madera.

De la figura anterior se observa que en ambos tipos de grietas, la agrupación de maderas por rangos variables de anchos y largos presenta una mayor proporción de grietas. En el caso de las grietas superficiales para los productos NC, los valores son de 6,9% y 9,3%, en comparación con la madera dimensionada que tiene valores de 2,8% y 3,1%, lo que significa que al clasificar la madera se reduce la proporción de grietas superficiales.

Para el caso de las grietas de testa, los resultados de mayor diferencia porque se tiene valores de 12,5% y 7,9% para el caso de madera NC, y valores de 1,3% y 1,5% para la madera dimensionada, lo que indica que al agrupar en largos y anchos variables produce un aumento notoriamente mayor en la aparición de grietas de testa, lo cual se debe a la heterogeneidad en la circulación del aire en la carga de madera no clasificada, donde se producen turbulencias al interior de los paquetes y una posterior aparición de defectos.

#### 4.4 Medición de alabeos

En el cuadro 7 se resumen los valores obtenidos en la evaluación de los alabeos para la madera aserrada en estudio.

Calidad	Estadística	Arqueadura	Acanaladura	Encorvadura	Torcedura
	N° piezas	31	15	2	3
	Promedio mm	8	7	9	12
NC - 8	% del total	12	6	0.8	1
252pz	Máximo mm	28	11	14	23
	Mínimo mm	3	2	4	5
	Rango	25	9	10	18
	N° piezas	26	36	0	5
	Promedio mm	14	20	*	2.7
NC - 10	% del total	9	6	*	14
184pz	Máximo mm	24	12	*	31
	Mínimo mm	4	2	*	11
	Rango	20	10	*	20
	N° piezas	42	20	2	12
	Promedio mm	9	6	12	22
Dím 6	% del total	16	8	0.8	2
252pz	Máximo mm	36	11	18	24
	Mínimo mm	12	3	6	15
	Rango	14	9	12	9
	N° piezas	36	32	1	14
	Promedio mm	17	15	0.5	7
Dím 9	% del total	10	7	18	4
210pz	Máximo mm	8	5	18	3
	Mínimo mm	26	21	18	12
	Rango	18	14	0	9

Cuadro 7. Resultados de los alabeos

Del cuadro resumen anterior se puede concluir que los dos principales alabeos que se presentan después del secado son la arqueadura y la acanaladura, pero no existe diferencia significativa entre los alabeos de la madera clasificada y la no clasificada. Se recomienda realizar un estudio que aborde solamente el tema de los alabeos, y así poder obtener resultados mas concluyentes.

## 5. CONCLUSIONES

Del estudio se desprende en forma muy concreta que al secar maderas con largos y anchos variables se disminuye la calidad del secado.

En el caso de la dispersión final de la humedad, la diferencia es marcada al observar la desviación estándar ya que ésta presenta un valor de 1,47 para NC, y un valor de 0,71 para madera DIM, con un 51,6% mayor variación en la madera NC, es decir, la humedad final de la madera es dos veces mas variable.

Los valores de contracción presentan la misma tendencia que la dispersión de la humedad, ya que varían mucho más en la madera sin clasificación dimensional, lo cual significa que se puede obtener madera húmeda y también reseca, y para ambos casos no se cumpliría con el control de calidad.

En el caso de las grietas superficiales existe una mayor presencia en la madera no clasificada, y lo mismo se repite en forma más relevante para el caso de la grieta de testa, es decir, al clasificar la madera se disminuye la aparición de grietas superficiales.

En general, al homogenizar las dimensiones de las piezas que serán sometidas al secado artificial, mejora la calidad final del producto para el caso de la dispersión de humedad final y produce una notable disminución en la frecuencia y amplitud de las grietas. Las diferencias en las variaciones dimensionales son consecuencia directa de la dispersión de la humedad final, es decir, piezas con exceso de contracción en piezas resacas y sobredimensión en piezas con un contenido de humedad final mayor a la humedad objetivo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, H., Fernández – Golfín, J. 1992. Fundamentos teóricos del secado de la madera. Madrid (España). 193p. (Colección monografías INIA, núm. 82).

Fuentes, M. 1994. Secado de madera aserrada de *Pinus radiata* D. DON, impregnado con sales hidrosolubles CCA. Tesis de Magíster en Ciencias y Tecnología de la Madera. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 185p.

Hoheisel, H., López, O., Rojas, L., Gonzales, R., Conejos, J., Conroy, E. 1989. Manual del Grupo Andino para el Secado de Madera. Junta de Acuerdo de Cartagena. Lima (Perú). P 5-9

Instituto Forestal. 1999. Secado artificial de madera aserrada en la región del Bío Bío. Concepción. INFOR. 142p. (Documento Técnico, 145).

Instituto Nacional de Normalización. 1984. NCh176/1. Of 84. Determinación de humedad. Santiago (Chile).p1.

Juacida, R., Inzunza, L. 1990. Pautas de Control de Calidad para Madera Secada Artificialmente. Universidad Austral de Chile. (Publicación Docente, 21). 27p.

Juacida, R., Quintanar, J., Berterreche, A. 1992. Secado de la madera: Secado Natural al Aire Libre. Universidad Austral de Chile. (Publicación Docente 35). 32p.

Tuset, R., Durán F. 1979. Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de utilización. Ed. Hemisferio Sur. 668p.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**Abstract**

## ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the effect that has the dimensional classification, on the final quality of the wood artificial drying of *Pinus radiata*.

He underwent study 4 wooden packages without previous dimensional classification, and 4 packages classified for effects of the study, to carry out comparisons among these. The total of analyzed pieces corresponded at 898, which were obtained directly of the process according to disposition of the company and without interfering in the process.

The quality was controlled after the drying, evaluating the dispersion of the final humidity, the dimensional variations, the warps and the cracks. The methodology used for the humidity is the one described in the Chilean norm, the same as for the dimensional variations. For the case of the warps and cracks the methods used by control of quality of the sawmill is used.

The results of the final dispersion of humidity present a bigger variability in the wood without dimensional classification with a standard deviation of 1.47, in comparison with the classified wood that he/she has a deviation of 0.71.

In the analysis of the dimensional variations it was obtained significant differences, with more values of final variation in the wood not classified dimensionally.

The superficial cracks presented values of 6,9% for nc-8 and 9,3% for wood nc-10 that is the wood without dimensional classification; 2,8% for dim-8 and 3,1% for dim-10 wood classified for the study; of the above-mentioned it is summarized that when classifying the wood he/she diminishes the proportion of superficial cracks thoroughly. It was not for the case of this evaluation internal crack.

For the case of the warps it was obtained not very conclusive results, since the values of warps don't present significant differences in the wood of the analysis. The warps of more presence were the bow and groove.

Keywords: Classification, Quality, Dry, *Pinus radiata*.

## **ANEXO 2**

### **Análisis estadístico SPSS para la contracción en el ancho y el espesor**



### Estadísticos descriptivos

Variable dependiente:  
CONTRACCIÓN EN EL ESPESOR

ANCHO	clasificación	Media	Desv. típ.	N
Nc8-1	Ancho Variable	3.28	0.60	126
Nc8-2	Ancho Variable	3.46	0.68	126
Nc10-3	Ancho Variable	3.40	0.64	92
Nc10-4	Ancho Variable	3.47	0.71	92
Dim8-5	dimensionado	3.15	0.54	126
Dim8-6	dimensionado	3.14	0.54	126
Dim10-7	dimensionado	2.97	0.46	105
Dim10-8	dimensionado	2.95	0.50	105
Total	Ancho Variable	3.40	0.66	436
Total	dimensionado	3.06	0.52	462
	Total	3.23	0.62	898

Variable dependiente:  
CONTRACCIÓN EN EL ANCHO.

ANCHO	clasificacion	Media	Desv. típ.	N
Nc8-1	Ancho Variable	3.92	0.75	126
Nc8-2	Ancho Variable	3.81	0.79	126
Nc10-3	Ancho Variable	3.68	0.80	92
Nc10-4	Ancho Variable	3.72	0.74	92
Dim8-5	dimensionado	3.58	0.56	126
Dim8-6	dimensionado	3.60	0.63	126
Dim10-7	dimensionado	3.57	0.52	105
Dim10-8	dimensionado	3.47	0.54	105
Total	Ancho Variable	3.80	0.77	436
Total	dimensionado	3.56	0.57	462
	Total	3.67	0.67	898

Comparaciones por pares

Variable dependiente: CONTRACCIÓN ESPESOR

(I) clasificación	(J) clasificación	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación
Ancho Variable	dimensionado	35.0471	3.9578	0.000

(I) ANCHO	(J) ANCHO	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación
<b>Nc8-1</b>	<b>Nc8-2</b>	<b>-18.22</b>	<b>7.41</b>	<b>0.01</b>
Nc8-1	Nc10-3	-11.52	8.06	0.15
<b>Nc8-1</b>	<b>Nc10-4</b>	<b>-19.13</b>	<b>8.06</b>	<b>0.02</b>
Nc8-1	Dim8-5	12.95	7.41	0.08
Nc8-1	Dim8-6	14.17	7.41	0.06
<b>Nc8-1</b>	<b>Dim10-7</b>	<b>30.87</b>	<b>7.77</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc8-1</b>	<b>Dim10-8</b>	<b>33.33</b>	<b>7.77</b>	<b>0.00</b>
Nc8-2	Nc10-3	6.71	8.06	0.41
Nc8-2	Nc10-4	-0.90	8.06	0.91
<b>Nc8-2</b>	<b>Dim8-5</b>	<b>31.17</b>	<b>7.41</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc8-2</b>	<b>Dim8-6</b>	<b>32.40</b>	<b>7.41</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc8-2</b>	<b>Dim10-7</b>	<b>49.09</b>	<b>7.77</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc8-2</b>	<b>Dim10-8</b>	<b>51.55</b>	<b>7.77</b>	<b>0.00</b>
Nc10-3	Nc10-4	-7.61	8.67	0.38
<b>Nc10-3</b>	<b>Dim8-5</b>	<b>24.47</b>	<b>8.06</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc10-3</b>	<b>Dim8-6</b>	<b>25.69</b>	<b>8.06</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc10-3</b>	<b>Dim10-7</b>	<b>42.39</b>	<b>8.39</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc10-3</b>	<b>Dim10-8</b>	<b>44.84</b>	<b>8.39</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc10-4</b>	<b>Dim8-5</b>	<b>32.08</b>	<b>8.06</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc10-4</b>	<b>Dim8-6</b>	<b>33.30</b>	<b>8.06</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc10-4</b>	<b>Dim10-7</b>	<b>50.00</b>	<b>8.39</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc10-4</b>	<b>Dim10-8</b>	<b>52.45</b>	<b>8.39</b>	<b>0.00</b>
Dim8-5	Dim8-6	1.22	7.41	0.87
<b>Dim8-5</b>	<b>Dim10-7</b>	<b>17.92</b>	<b>7.77</b>	<b>0.02</b>
<b>Dim8-5</b>	<b>Dim10-8</b>	<b>20.37</b>	<b>7.77</b>	<b>0.01</b>
<b>Dim8-6</b>	<b>Dim10-7</b>	<b>16.70</b>	<b>7.77</b>	<b>0.03</b>
<b>Dim8-6</b>	<b>Dim10-8</b>	<b>19.15</b>	<b>7.77</b>	<b>0.01</b>
Dim10-7	Dim10-8	2.46	8.11	0.76

Comparaciones por pares

Variable dependiente: CONTRACCIÓN EN EL ANCHO

(I)	(J)	Diferencia		
clasificación	clasificación	entre medias I-J	Error típ.	Significación
Ancho Variable	dimensionado	22.76	4.53	0.00000

(I) ANCHO	(J) ANCHO	Diferencia		
		entre medias I-J	Error típ.	Significación
Nc8-1	Nc8-2	11.37	8.48	0.18
<b>Nc8-1</b>	<b>Nc10-3</b>	<b>24.33</b>	<b>9.23</b>	<b>0.01</b>
<b>Nc8-1</b>	<b>Nc10-4</b>	<b>20.60</b>	<b>9.23</b>	<b>0.03</b>
<b>Nc8-1</b>	<b>Dim8-5</b>	<b>34.56</b>	<b>8.48</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc8-1</b>	<b>Dim8-6</b>	<b>31.94</b>	<b>8.48</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc8-1</b>	<b>Dim10-7</b>	<b>35.02</b>	<b>8.89</b>	<b>0.00</b>
<b>Nc8-1</b>	<b>Dim10-8</b>	<b>45.83</b>	<b>8.89</b>	<b>0.00</b>
Nc8-2	Nc10-3	12.96	9.23	0.16
Nc8-2	Nc10-4	9.22	9.23	0.32
<b>Nc8-2</b>	<b>Dim8-5</b>	<b>23.18</b>	<b>8.48</b>	<b>0.01</b>
<b>Nc8-2</b>	<b>Dim8-6</b>	<b>20.57</b>	<b>8.48</b>	<b>0.02</b>
<b>Nc8-2</b>	<b>Dim10-7</b>	<b>23.64</b>	<b>8.89</b>	<b>0.01</b>
<b>Nc8-2</b>	<b>Dim10-8</b>	<b>34.45</b>	<b>8.89</b>	<b>0.00</b>
Nc10-3	Nc10-4	-3.74	9.92	0.71
Nc10-3	Dim8-5	10.22	9.23	0.27
Nc10-3	Dim8-6	7.61	9.23	0.41
Nc10-3	Dim10-7	10.68	9.61	0.27
<b>Nc10-3</b>	<b>Dim10-8</b>	<b>21.49</b>	<b>9.61</b>	<b>0.03</b>
Nc10-4	Dim8-5	13.96	9.23	0.13
Nc10-4	Dim8-6	11.35	9.23	0.22
Nc10-4	Dim10-7	14.42	9.61	0.13
<b>Nc10-4</b>	<b>Dim10-8</b>	<b>25.23</b>	<b>9.61</b>	<b>0.01</b>
Dim8-5	Dim8-6	-2.61	8.48	0.76
Dim8-5	Dim10-7	0.46	8.89	0.96
Dim8-5	Dim10-8	11.27	8.89	0.21
Dim8-6	Dim10-7	3.07	8.89	0.73
Dim8-6	Dim10-8	13.88	8.89	0.12
Dim10-7	Dim10-8	10.81	9.29	0.24

**ANEXO 3**  
**Fotografías del estudio**



*Grietas de testa*



*Grietas superficiales*



*Cámaras de secado*