



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

## **Evaluación de programas de secado continuo en Chapas de *Pinus radiata* D. Don.**

Patrocinante: Sr. Roberto Juacida  
Co-patrocinante: Sr. LuíS Inzunza

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

**RODOLFO CLAUDIO KEHR SCHUSTER**

VALDIVIA

2007

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Roberto Juacida Percaz	<u>6,7</u>
Co-Patrocinante:	Sr. Luis Inzunza Diez	<u>6,6</u>
Informante:	Sr. Daniel Bastías B.	<u>7,0</u>

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 Percaz

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que todo, he querido agradecer a mis padres, CARLOS KEHR SCHNEEBERGER y PATRICIA SCHUSTER MILLAR por el esfuerzo que han realizado por formarme como persona y profesional; y por el apoyo constante en cada uno de los pasos que he dado. Como también a mis hermanos CARLOS KEHR y MARCELA KEHR que me han servido de vital apoyo en este proceso.

Siguiendo por agradecerle a mis profesores guías DR. ROBERTO JUACIDA Y SR. LUIS INSUNZA que fueron un pilar fundamental, ya que gracias a sus conocimientos y constantes aportes se logro finalizar de forma exitosa el presente trabajo. Así también agradecer al cuerpo docente y administrativo de la carrera de INGENIERÍA EN MADERAS, por haber sido participes desde los primeros años en este importante trayecto de mi vida.

Continuando por agradecerle a la empresa de PANELES ARAUCO S.A., en especial a RAUL MUÑOZ, DANIEL BASTIAS, JAIME CANDIA y SERGIO GAJARDO que a sus distintos niveles, hicieron posible el desarrollo de este estudio en las instalaciones de dicha empresa; siendo de gran importancia sus consejos y conocimientos brindados, como también su colaboración en el desarrollo de éste.

Quiera agradecer también a mis compañeros y amigos que me han acompañado en este largo proceso, aportando cada uno de ellos vivencias importantes y muy difíciles de olvidar.

He querido dejar un último agradecimiento muy especial, para quienes fueron mi motivación para terminar este proceso y comenzar una nueva etapa de mi vida junto a ellas; me refiero a mi hija SOPHIE KEHR y mi pareja PRISCILA ROSAS a quienes amo con todo mi corazón.

## ÍNDICE DE MATERIAS

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Materia prima</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Propiedades físicas de la madera</b>	<b>2</b>
2.2.1. Contenido de humedad	2
2.2.2. Densidad	3
2.2.3. Contracción de la madera	3
2.2.4. Otras características de la madera	4
<b>2.3. Secado de chapas</b>	<b>5</b>
2.4.1. Secado de chapas al aire	5
2.4.2. Secado de chapas en cámara	5
2.4.3. Secadores continuos	5
<b>2.4. Variables Controlables en un proceso de secado continuo</b>	<b>9</b>
2.4.1. Disposición de las ventilas	9
2.4.2. Temperatura de secado	10
<b>2.5 Control de la Productividad del proceso de secado</b>	<b>10</b>
2.5.1. Velocidad de avance	10
2.5.2. Defectos de las chapas asociados al secado	12
<b>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>14</b>
<b>3.1. Materiales</b>	<b>14</b>
3.1.1. Madera	14
3.1.2. Equipos de laboratorio	14
<b>3.2. Método</b>	<b>14</b>
3.2.1. Determinación del contenido de humedad	14
3.2.2. Determinación de la densidad básica de las chapas	15
<b>3.3 Control de la Productividad del Secado</b>	<b>15</b>
3.3.1. Variación de las condiciones de los programas de secado	15
3.3.2. Control de calidad de la chapa secada	17
3.3.3. Análisis de los resultados	18
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>19</b>
4.1. Resultados del contenido de humedad	19
4.2. Resultados de la densidad básica	20
4.3. Resultados de la evaluación de los programas de secado	20

	<b>Página</b>
4.3.1. Resultados con respecto a la calidad del secado	21
4.3.2. Resultados con respecto a la producción de chapas	21
4.3.3. Influencia de la temperatura y la disposición de las ventilas en la velocidad de avance y la generación de defectos	22
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>26</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>27</b>
<b>ANEXOS</b>	
1 Abstract	
2 Figuras y cuadros de resultados por programa de secado	
3 Sistema de chapa seca Ciprés y Consola de operación del secador continuo	

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Propiedades del pino insigne	4
Cuadro 2. Resumen de variables de los programas de secado	17
Cuadro 3. Cuantificación y clasificación de defectos de secado	17
Cuadro 4. Tabla Anova para el contenido de humedad entre programas	19
Cuadro 5. Tabla Anova para la densidad básica entre programas	20
Cuadro 6. Cuantificación de defectos de secado por programa	21
Cuadro 7. Producción de chapas por programa	21
Cuadro 8. Variables utilizadas por programa v/s velocidad de avance y producción libre de defectos	22
Cuadro 9. Tabla ANOVA para relación velocidad de avance v/s temperatura de secado	22
Cuadro 10. Tabla ANOVA para relación velocidad de avance v/s humedad relativa	23
Cuadro 11. Tabla ANOVA para relación generación de defectos graves v/s temperatura	23
Cuadro 12. Tabla ANOVA para relación generación de defectos graves v/s humedad relativa	24

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Esquema del secador continuo de chapas	5
Figura 2. Gráfico de comportamiento de la temperatura, humedad de la madera y la salida del agua en el proceso de secado de chapas	6
Figura 3. Diagrama de flujo de vapor dentro del secador	7
Figura 4. Diagrama de las cajas de chorro	8
Figura 5. Gráfico del comportamiento del contenido de humedad de equilibrio v/s temperatura	9
Figura 6. Gráfico de productividad v/s tiempo de secado	11
Figura 7. Gráfico de la distribución de m <sup>3</sup> por contenido de humedad final de las chapas	11
Figura 8. Distribución al reducir el porcentaje de Re dry	12
Figura 9. Distribución al aumentar el porcentaje de Re dry	12
Figura 10. Distribución de la humedad inicial de las chapas	19
Figura 11. Distribución de la densidad básica	20
Figura 12. Influencia de la temperatura en la velocidad de avance	22
Figura 13. Influencia de la disposición de las ventilas en la velocidad de avance	23
Figura 14. Influencia de la temperatura en la generación de defectos	24
Figura 15. Influencia de la disposición de las ventilas en la generación de defectos	25

## RESUMEN EJECUTIVO

En este estudio se realizó la evaluación de programas de secado continuo de chapas de Pino Insigne de 3 mm. de espesor y de alta humedad inicial, provenientes de trozas podadas, en función de la calidad y producción considerando como variables la disposición de las ventilas, la temperatura de secado y la velocidad de avance de la chapa.

Se determinó la densidad básica y el contenido de humedad de las chapas en la entrada del secador como validador de la homogeneidad de estas, consideradas como muestra representativa.

Se compararon los 6 programas de secado en cuanto su calidad (generación de defectos) y a su volumen de producción. Como variables de ensayo se consideraron 2 temperaturas: de 190°C, la actualmente utilizadas en la empresa y a la vez la más alta permitida por ella; y de 170°C, una más baja para ver la influencia de esta variable, y tres disposiciones de ventilas, la primera con el porcentaje de apertura actual de la empresa, la segunda con ventilas cerradas y la tercera con una leve apertura pero manteniendo la cámara saturada.

El programa N°3, que conjugaba una temperatura de 190°C y una disposición de ventilas con una parcial apertura, fue el que entregó los mejores resultados en productividad, proyectando 149 m<sup>3</sup> libres de defectos graves por turno, fue el mejor resultado, ya que significó un buen volumen de producción y una capa de buena calidad.

Se observó la influencia que tiene la temperatura y la disposición de las ventilas en la velocidad de avance y en la generación de defectos grave.

La velocidad de avance es más sensible a la variación de la temperatura de secado que a la variación de la disposición de las ventilas.

La generación de defectos graves es más significativa a la variación de la disposición de las ventilas que a la variación de la temperatura.

Se lograría una mayor producción si se alcanzaran temperaturas mayores a los 200°C y se mantuviera el secador saturado, de esta manera se podrá alcanzar mayores velocidades de avance, sin perjudicar la calidad de las chapas.

## **1 INTRODUCCION**

El proceso de secado de la madera sin duda es uno de los más complejos y que le da un mayor valor a los productos de la industria maderera, pero a su vez trae consigo un costo elevado y un enorme riesgo para la industria, ya que se tiene un capital expuesto a condiciones que pueden perjudicarlo y se puede perder mucho dinero por una mala programación del proceso.

El proceso de secado se vuelve tanto más complejo cuando se trata de chapa o láminas de madera, debido a que los delgados espesores de éstas, dejan a las chapas más propensas a las deformaciones, rasgaduras y grietas.( Vorreite, L. 1958)

En la industria, el secado de chapas a menudo se vuelve el cuello de botella de la producción, debido a un temor de dañar las chapas al aplicarles programas de secado más intensos, provocando como resultado de esto, programas lentos de baja producción. (Baldwin, R. 1974)

Para mejorar la velocidad de estos programas es que algunos autores proponen que al controlar la disposición de las ventilas y la temperatura se lograría una mayor productividad, chapas con menos daños y un mejor aprovechamiento del combustible. Sin embargo no todos están de acuerdo en este tema. (Baldwin, R. 1974)

Es por esto que este estudio tendrá como:

### **OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar programas de secado continuo de chapas de Pino Insigne (*Pinus radiata D.Don*) en función de la calidad y producción variando la disposición de las ventilas, temperatura de secado y velocidad de avance.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- 1) Determinar la homogeneidad de las muestras a través del contenido de humedad y densidad.
- 2) Comparar los diferentes programas de secado en cuanto su calidad (generación de defectos) y su producción.
- 3) determinar la influencia que tienen las variables independientes (disposición de las ventilas y temperatura de secado) sobre la calidad y producción del secado.

## 2 MARCO TEORICO

### 2.1 Materia Prima

La especie escogida es *Pinus radiata D. Don*, conocido comúnmente como pino insigne o pino monterrey, es originario de la costa occidental de los Estados Unidos de Norteamérica, específicamente de California. Fue introducido en Chile a fines del siglo XIX, logrando adaptarse exitosamente al clima y suelo del país, inclusive alcanzando crecimientos superiores, y en menor tiempo, a los de su región de origen. (CONAF, 2004)

En Chile existen más de 1.4 millones de hectáreas plantadas con esta especie, desde la V a la X Región, sustentando cerca del 80% del abastecimiento industrial de la madera. (INFOR. 2004)

### 2.2 Propiedades físicas de la madera

Las chapas para entrar a un proceso de secado continuo deben ser separadas en grupos que presenten aproximadamente las mismas características de secado, esto es, por especie, espesores, corazón o albura, y por contenido de humedad inicial. (FAO. 1963)

#### 2.2.1 Contenido de Humedad

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

El contenido de humedad de una madera afecta, entre otras las propiedades de resistencia mecánica y resistencia de ataque de hongos e insectos xilófagos.

El agua de la madera se puede encontrar de tres diversas formas:

**Agua Libre:** llenando los lúmenes o cavidades celulares.

**Agua Higroscópica:** llenando las paredes celulares.

**Agua de Constitución:** formando parte de la estructura química de la madera.

Según la humedad de la madera se distinguen los siguientes estados:

**Máximo contenido de humedad:** se logra cuando hay una saturación total de los elementos constitutivos del leño.

**Humedad de equilibrio:** La madera, en contacto con el medio, tiende a adquirir una humedad que depende de la humedad del medio que la rodea.

**Punto de saturación de la fibra:** es la máxima que puede contener la madera sin que exista agua libre. Como promedio es aceptado el 30% con valores límites de contenido de agua de 20% - 40%.

**Estado anhidro:** se logra cuando la madera se lleva a estufa a una temperatura de 103 °C. y hasta que su peso sea constante. La sequedad total no es posible, siempre quedan residuos de humedad, que varían entre un 0.5% - 1% (agua de constitución).

Para la determinación del contenido de humedad de la madera se destacan 2 métodos: desecación en estufa y el xilohigrómetros o medidores eléctricos.

El método de desecación en estufa es destructivo pero es el método más exacto.

El xilohigrómetro es un método no destructivo y de rápida determinación del contenido de humedad de la madera. Es empleado cuando la madera se encuentra bajo el punto de saturación de la fibra (30% CH.), ya que humedades por encima de ésta se pierde exactitud, encontrándose errores de un 10% o más. (Inzunza, L. 2005)

La forma de detección de humedad se basa en la variación de la resistencia eléctrica que ofrece una madera al paso de la corriente a un contenido de humedad. La resistencia eléctrica va disminuyendo a medida que el contenido de humedad de la madera aumenta hasta el punto de saturación de la fibra.

### *2.2.2 Densidad*

La densidad indica el peso de la madera que hay en un determinado volumen ella.

La densidad varía con la posición en el fuste del árbol y en coníferas, por ejemplo, aumenta desde la médula hacia la corteza y disminuye con la altura (Inzunza, L. 2005).

La densidad es una de las propiedades físicas que sirven de guía en cada proceso de secado, guía que tiene relación con el éxito del secado en cuanto a calidad y rapidez de éste.

Una madera de alta densidad, presenta paredes gruesas y lúmenes pequeños los que dificultan el movimiento del agua en su interior. Así mismo se traduce en un secado más lento.

La densidad aparente varía con el contenido de humedad, siendo necesario especificarlo al momento de determinarlo.

### *2.2.3 Contracción de la madera*

Si la madera pierde agua cuando su contenido de humedad es inferior al punto de saturación de fibras, esta agua sale de la pared celular. De esta forma, al perder

humedad bajo el punto de saturación de la fibra, sufre una contracción, es decir, disminuye su tamaño.

Esta contracción no es en la misma magnitud en todas sus direcciones, la contracción tangencial presenta valores promedios entre 5% y 15%, la radial entre 3% y 8% y la longitudinal entre 0.1% y 0.3% la contracción volumétrica, es la suma de las tres contracciones, tiene valores entre 8% y 20%.

Maderas con una alta contracción volumétrica, un alto coeficiente de anisotropía y una alta densidad, son maderas con grandes dificultades frente a un proceso de secado, por lo que requieren de programas moderados.

#### *2.2.4 Otras características de la madera*

El proceso de duraminización afecta a la permeabilidad de la madera debido a que, se cierran las punteaduras, lo que dificulta el transporte de líquidos y gases a través del tejido leñoso.

La dirección de las fibras puede presentar, respecto al eje del fuste, una desviación respecto al plano longitudinal tangencial. A esta desviación se le denomina fibra revirada o grano espiralado. También se encuentra otro tipo de disposición ondulada de las fibras conocida como grano crespado.

Estas disposiciones complicarán el flujo de agua o vapor por las fibras, lo que complica el secado de las chapas.

En el cuadro 1 se muestran algunos valores referentes de las propiedades físicas del pino insignis.

Cuadro 1: algunas propiedades del pino insignis.

#### **PROPIEDADES DEL PINO INSIGNIS**

<b>Propiedad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Fibra</b>	Derecha, excepto en anillos próximos a la médula
<b>Densidad básica</b>	450 kg/m <sup>3</sup>
<b>Contracción</b>	Desde el estado verde a 0% de contenido de humedad
<b>Tangencial</b>	7,0%
<b>Radial</b>	4,2%
<b>Volumétrica</b>	11,2%
<b>Permeabilidad</b>	Fácil de tratar albura y duramen. Retención > 240 kg /m <sup>3</sup>

## 2.3 Secado de chapas

El propósito del secado de chapas es de reducir el contenido de humedad a rangos convenientes para el encolado en contrachapados. Existen tres métodos generalmente usados, desde simples hasta sofisticados para el secado de chapas

### 2.3.1 Secado de chapas al Aire

Es el método más lento y con posibilidades de secar hasta un cierto límite. Se requiere de grandes superficies cubiertas y de amplios ventanales con persianas, para regular las necesidades de corrientes de aire. Cuando las condiciones climáticas lo permitan, es un procedimiento bueno, especialmente para especies finas.

### 2.3.2 Secado de chapas en Cámaras

Este proceso puede tardar desde 24 a 48 horas. El proceso se asemeja al secado en hornos. Es realizado dentro de una cámara bien ventilada con o sin regulación de humedad. Las chapas son apiladas en bastidores y éstos se ponen en carros unos sobre el otro.

### 2.3.3 Secadores continuos

En este estudio se ocupó el método más común, que transporta la chapa en rodillos, bandas, cables o mallas a través de una cámara de alta temperatura (ver figura 1).

Con este método se logra que el proceso de secado, los cuales tardaban días, sea cumplido en minutos. Este proceso es alimentado por chapas de todos los tamaños y formas, las cuales tiene sus propias características de secado.

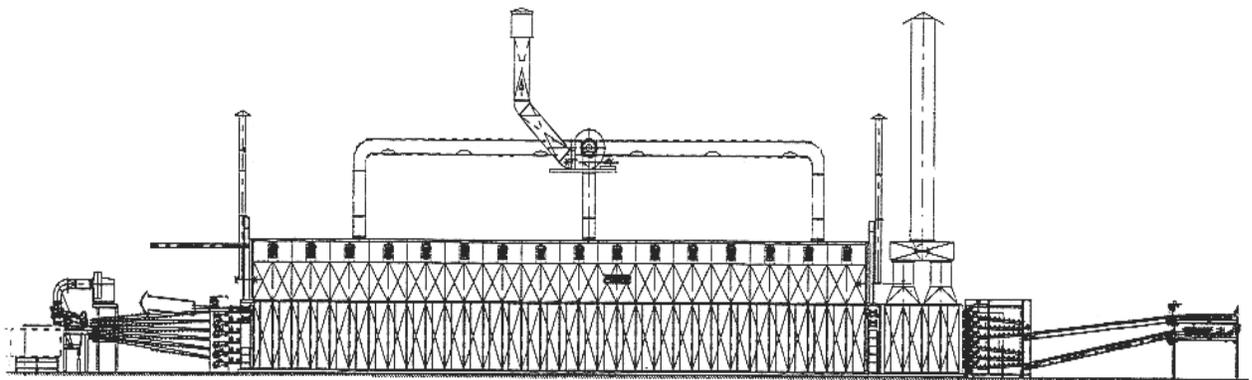


Figura 1: Esquema del secador continuo de chapas.

## Etapas del secado

El secado de chapas consta de las siguientes 3 etapas:

### Periodo de calentamiento

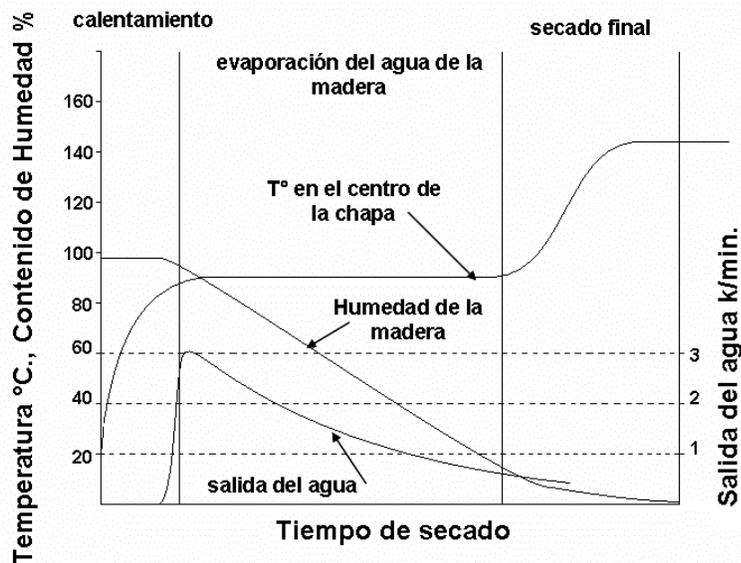
Es un periodo muy corto, necesario para alcanzar la evaporación del agua y posterior salida de ésta de la superficie de la chapa. En esta etapa se elimina el agua libre ubicada en las cavidades celulares.

### Periodo de evaporación del agua de la madera

El agua comienza a evaporarse de forma continua y el aire encargado de trasportarla fuera de la superficie adquiere gran importancia. En este periodo la evaporación del agua se efectúa a velocidad y temperatura prácticamente constante dentro de la chapa.

### Periodo de secado final

Corresponde a la evaporación del agua de la pared celular. La temperatura final de la chapa y la evaporación de agua aumenta rápidamente.



(Vorreite, L. 1958).

Figura 2: Gráfico de comportamiento de la temperatura, humedad de la madera y de la salida del agua en el proceso de secado de chapa.

## Descripción del proceso.

Para la obtención de un secado de calidad y en el menor tiempo posible las chapas deben ser cargadas y previamente clasificadas según los siguientes parámetros: Contenido de humedad similar, dimensiones iguales (espesor, largo) y sin grandes diferencias en sus fechas de producción. (Inzunza, L. 2005)

Las pilas de chapas, se posicionan sobre la plataforma de alimentación y son elevadas hasta lograr la distancia adecuada entre la pila de chapas y el succionador, esta distancia siempre se mantiene constante. Dicha alimentación se produce cuando la chapa es levantada hasta los rodillos de alimentación los que la trasladaban hasta el tope del distribuidor; en ese momento baja el rodillo presionador y pone en contacto la chapa con el rodillo de entrada, es ahí donde se produce la alimentación de la chapas a cada uno de los seis niveles del transportador de rodillos.

La cantidad de calor (que se traduce en temperatura) se regula con la apertura o cierre de una válvula controladora de temperatura, donde se determina el ingreso de vapor saturado a los radiadores del secador.

El vapor ingresa a los radiadores, calentándolos. El aire que se hace circular a través de los radiadores se calienta; ésta entrega de calor y circulación por parte del vapor, produce que éste se condense y se evacúa por una línea recolectora de condensado.

La circulación de aire se consigue por el flujo creado por los ventiladores (ver figura 3) los que impulsan el aire caliente en las cajas de chorro donde se consigue alta velocidad del aire que se expulsa a través de boquillas perforadas (toberas) (ver figura 4), de esta manera las chapas en el transcurso de las secciones del secador van perdiendo paulatinamente su humedad al entrar en contacto con el aire caliente, impulsado sobre su superficie (ambas caras).

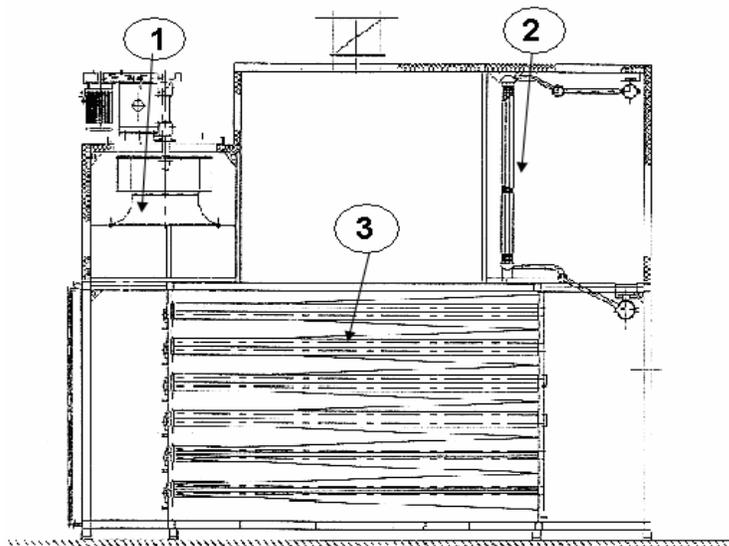


Figura 3: Diagrama del flujo de vapor dentro del secador, 1) Ventilador, 2) Radiadores, 3) Cajas de Chorro.

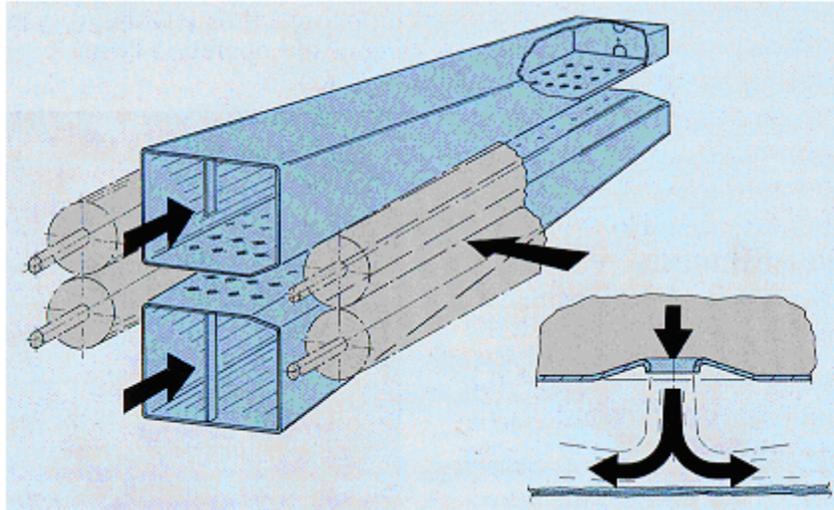


Figura 4: Diagrama de la caja de chorro

El accionamiento principal del secador está equipado con un convertidor de control de frecuencia, lo que permite regular la velocidad de transporte de las chapas. La regulación se efectúa manualmente con el potenciómetro que está ubicado en la consola de operación del operador, donde se visualiza la velocidad de transporte. La velocidad de secado depende del espesor de las chapas y la densidad de la madera.

La humedad del aire del secador se mide con un sensor de humedad, ubicado algunas secciones del secado. El sistema de control mantiene manual o automáticamente el valor fijado de la humedad del aire dentro del secador, el cual se regula con la apertura y cierre del Damper de regulación que está sobre el secador en el ducto de descarga. Existe la alternativa que esta regulación se haga en forma manual, por el operador desde la consola de operación.

En el inicio y final del secador hay secciones de extracción de humo, cuya finalidad es expulsar a la atmósfera todos los gases (humos) generados por las altas temperaturas aplicadas a las chapas.

Como las chapas han aumentado su temperatura externa es necesario acondicionarlas a las temperaturas ambientales para que no se produzcan defectos en las chapas al experimentar cambios bruscos de temperatura; para esto se impulsa aire del exterior que al entrar en contacto con las chapas calientes disminuyen la temperatura de ésta. Son dos secciones con ductos de ventilación y ventiladores de enfriamiento que al final consiguen que la temperatura resultante de la chapa sea de no más de 10 °C mayor que la temperatura ambiente.

## 2.4 Variables Controlables en un proceso de secado continuo

### 2.4.1 Disposición de las ventilas

Con respecto a la disposición de las ventilas en un secador a una alta temperatura, mantenerlas cerrada traería ventajas a este proceso.

La humedad de equilibrio higroscópico es una propiedad de gran importancia en el sistema agua-madera. Ésta explica que la madera verde perderá humedad hasta que el contenido de humedad de la madera sea lo suficientemente bajo como para quedar en equilibrio con la atmósfera. Así mismo cuando la madera está seca, podrá ganar humedad hasta llegar al punto de saturación de fibra. (Alvares, H. y Fernandez Golfín, J. 1992) (ver figura 5)

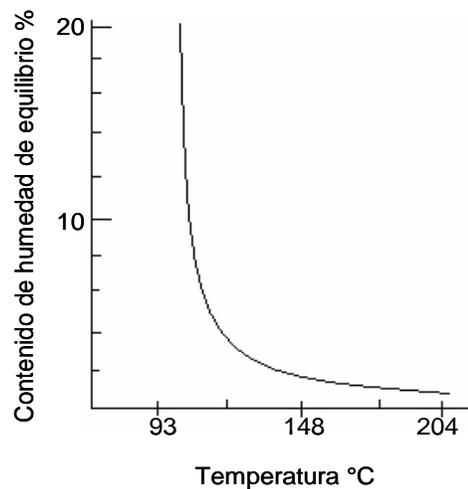


Figura 5: Gráfico del comportamiento del Contenido de humedad de equilibrio v/s temperatura.

Al reducir la entrada de aire se consigue un menor requerimiento de calor, de esta forma se obtendrá una mayor temperaturas lo que permitirá incrementar la capacidad de secado, además se reduce la probabilidad de incendios en el secador. (Baldwin, R. 1974)

Las principales ventajas de disponer las ventilas cerradas son: un aumento en la productividad, se logrará temperaturas de secado mayores, lo que resulta en un ahorro de combustible y las condiciones de secado será más homogénea. (Baldwin, R. 1974)

El mismo autor anterior plantea, que no todos están de acuerdo con mantener las ventilas cerradas, muchos piensan que las ventilas deben estar a lo menos parcialmente abiertas para permitir el escape del vapor antes que las chapas estén secas.

### 2.4.2 Temperatura de secado

La superficie de las chapas de (*Pinus taeda*), no tolerará temperaturas sobre 204 °C sin efectos adversos en el encolado. (Sellers, T. 1985)

Una superficie de madera, la que se ha expuesto a una condición alta temperatura, puede experimentar inactivación. Superficies inactivadas reflejan modificaciones físicas y químicas. Estos cambios resultan en reducida habilidad que un fluido la pueda mojar, fluir, penetrar y curar. Una superficie inactivada no une bien con adhesivos. (Sernek, M. 2002)

Hasta hace poco tiempo atrás, temperaturas sobre 200 °C eran consideradas fuera de los límites. Mayores temperaturas eran pensadas como un escape temprano de la humedad junto con un sellado de las células superficiales de la madera.

Estudios recientes muestran otras perspectivas en relación a este tema. Una fábrica ha establecido con éxito un inusual acercamiento a temperaturas de sobre 315 °C. Esa metodología es usada en chapas de 4.2 mm. de espesor de (*Pinus taeda*) en un programa de secado reduciendo 2 minutos del programa desde 12 a 10 minutos. (Baldwin, R. 1974)

## 2.5 Control de la Productividad del proceso de secado

### 2.5.1 Velocidad de avance

Esta variable depende de varios factores, tales como la homogeneidad del contenido de humedad, densidad y espesor de las chapas, como también de las 2 variables del proceso de secado, disposición de las ventilas y temperatura. Esto se refiere a que, con la temperatura y la disposición de las ventilas se genera una condición dentro del secador que acelerará el secado de ésta.

Debido a las metodologías de control de secado mal aplicadas, es que, secadores de chapas en la industria de contrachapados son universalmente operados por de bajo de una óptima velocidad.

Una planta tendría superiores resultados en el encolado si el contenido de humedad de las muestras de chapas fuesen representadas en campana de distribución de Gauss. (Baldwin, R. 1974) (ver figura 7)

Los secadores son frecuentemente auditados y un cambio en el contenido de humedad final de los resultados en el perfil, se traducen en inmediatos ajustes en la operación. Principalmente estos ajustes son en la velocidad de avance de las chapas.

La tendencia de resecar chapas es promovida por el deseo de prevenir, o por lo menos de minimizar, Redry (o chapa húmeda). El procedimiento usado es de medir el Redry como un porcentaje de la producción total y de intentar limitar el Redry a un 5 % o menos. (ver figura 8)

Esta metodología de operación no es eficiente por varias razones. Primero, insistiendo en operar a un Redry rígido a 5 % tiende a poner velocidades de secado bajas para llegar a éste porcentaje, dando origen a programas lentos y chapas resacas. Segundo, minimizar el porcentaje de Redry pueden resultar en varias pérdidas de producción. (Baldwin, R. 1974) (ver figura 6)

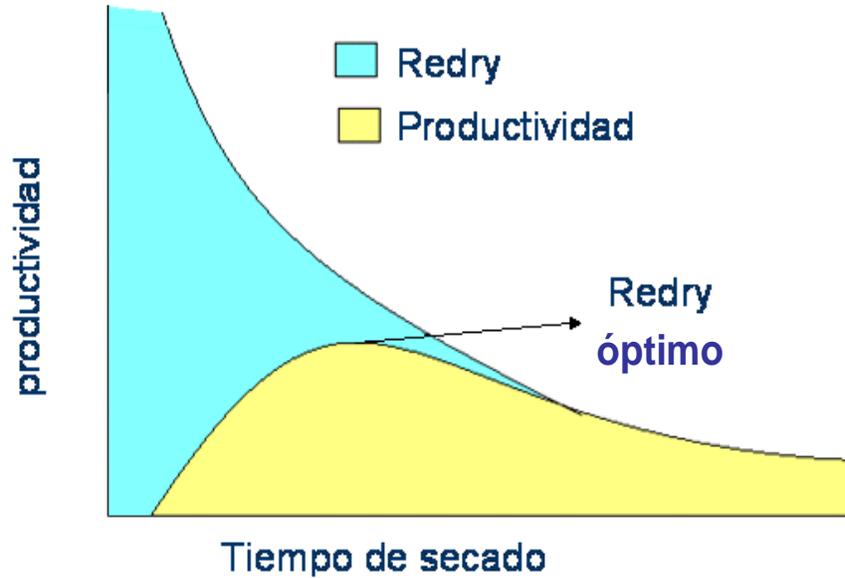


Figura 6: Gráfico de productividad v/s tiempo de secado (donde se alcanza el redry óptimo)

Lo óptimo está en encontrar el punto donde el % de Redry, asegure un máximo de chapas secas y no resacas.

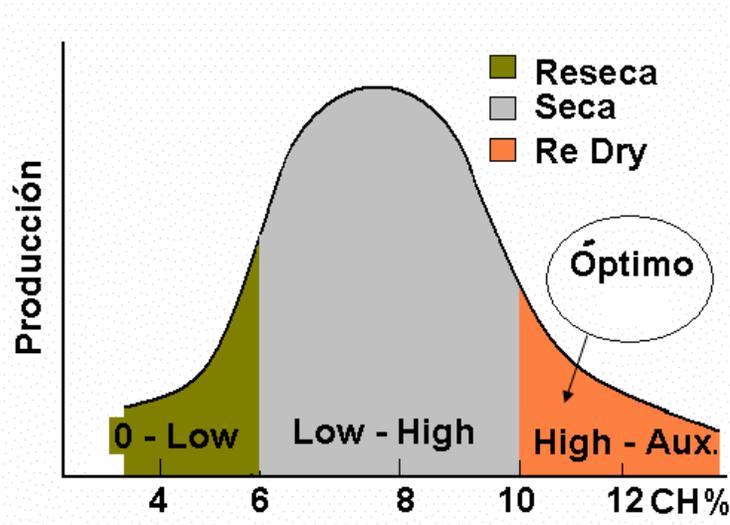


Figura 7: Gráfico de la distribución de m3 por contenido de humedad final de chapas.

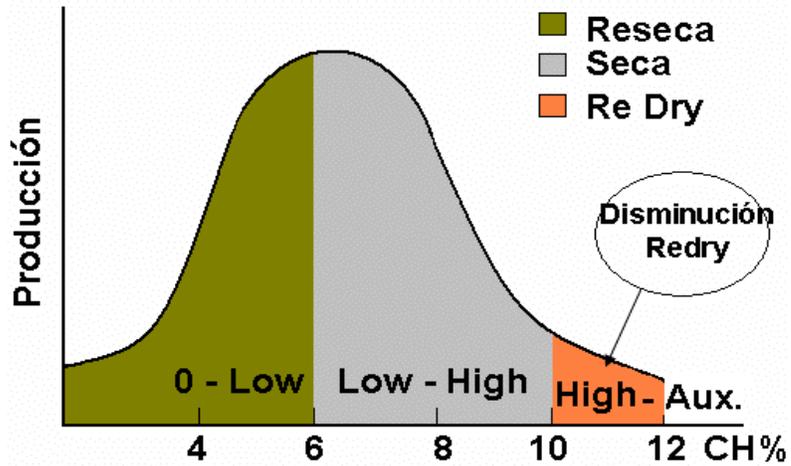


Figura 8: Distribución al reducir el % de ReDry.

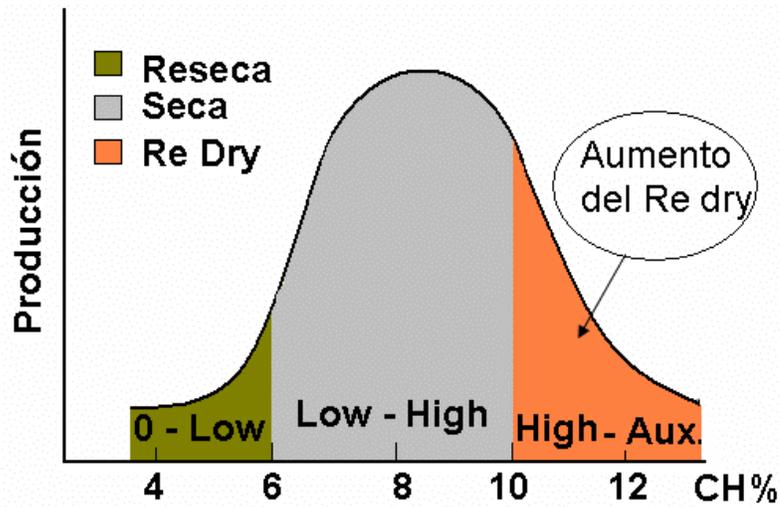


Figura 9: Distribución al aumentar el % de ReDry.

Según estudios realizados en Paneles Arauco (2002), el porcentaje óptimo de ReDry está en un 14 %.

### 2.5.2 Defectos de las chapas asociados al secado

Se realizó una observación de los defectos de las chapas asociados al proceso de secado, en el cual se determinaron los siguientes:

### **Chapa quemada.**

Ocurre por una sobre permanencia de la chapa en el secador. Este defecto se refleja en la chapa con una tonalidad café en la superficie, junto con una pérdida de la flexibilidad de ésta.

### **Chapa ondulada.**

Este defecto también asociado a la resequedad de la chapa, que es señal de un secado muy drástico que trae consigo deformaciones en la superficie en forma de ondas. Esta deformación también es atribuida a la diferencia de humedades en la superficie de la chapa.

### **Rasgadura.**

Se denomina rasgadura a una separación de la superficie, en el sentido de la fibra, que compromete por lo menos uno de los dos extremos de chapa. Esto se produce debido a que la pérdida de humedad es más rápida en los extremos de la chapa y a causa de eso, la contracción de ésta produce un agrietamiento de los cabezales o extremos de la chapa. Para evitar este defecto en el proceso de secado, las chapas al ingresar al secador, deben ser traslapadas a 5 cm. del extremo, la una de la otra, para evitar la evaporación tan directa.

### **Grietas.**

Grieta se le llama a la separación a lo largo de la fibra de la chapa que afecta el interior sin comprometer el extremo de ésta. Ocasionadas principalmente por la tensión producida durante el proceso de secado.

### 3 DISEÑO DE LA INVESTIGACION

#### 3.1 Materiales

##### 3.1.1 Madera

La materia prima de este estudio fueron chapas de pino insigne producto del debobinado de trozas podadas, previamente sometidas a un proceso de macerado a 80 °C. durante 17 hrs. Se estudiaron chapas frescas, de menos de un día de haber sido debobinadas, de un espesor de 3.2 mm. y de alta humedad según la clasificación de los apiladores de chapa verde.

Antes de que se realizara cualquier ensayo, fue necesario caracterizar la materia prima, para que deje de ser una variable del proceso y los ensayos puedan ser repetidos y que sus resultados sean comparables. Para la caracterización se determino el Contenido de Humedad Inicial y la Densidad de las chapas.

##### 3.1.2 Equipos de laboratorio

**Balanza**, con precisión de 0,01 g.

**Pie de metro**, con precisión de 0,1mm.

**Estufa con circulación de aire**, cuya temperatura se pueda mantener a 103°C +/- 2 °C.

**Secador RAUTE**, de 23 secciones que se encuentra en Paneles Arauco complejo Horcones s/n.

#### 3.2 Método

##### 3.2.1 Determinación del contenido de Humedad

Para caracterizar la materia prima, se tomaron 45 chapas (a diferentes alturas de la pila que contiene aproximadamente 300 chapas) por cada carga (tres pilas) a estudiar, a las cuales se les extrajo tres muestras de 10 x 10 cm. y éstas fueron pesadas verdes y luego llevadas a estufa a 103 °C +/- 2 °C hasta que éstas tengan un peso constante, para, por diferencia de pesada de estas muestras, obtener el contenido de humedad inicial de las chapas que fueron analizadas en este estudio. Este método es el más exacto para medir el contenido de humedad de la madera y es llamado como “método de pesada”.

Se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = 100 * (Pv - Pa) / Pa$$

Donde:

Pv = Peso de la muestra de madera en estado verde.

Pa = Peso de la muestra de madera en estado anhidro.

### 3.2.2 Determinación de la densidad básica de las chapas

Se tomaron 45 chapas por cada carga a estudiar, a las que se les extrajo tres muestras de 10 x 10 cm. las cuales fueron medidas en sus tres direcciones (ancho, largo y espesor) y se obtuvo el volumen de la muestra, luego se llevaron a estufa a 103 °C +/- 2 °C por un periodo hasta que éstas se encontraron en estado anhidro, para ser pesadas y obtener su peso anhidro. La densidad básica se calcula mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad básica (g/cm}^3\text{)} = \text{Ma} / \text{Vv}$$

Donde:

Ma: Masa de la muestra de madera en estado anhidro.

Vv: Volumen de la muestra de madera en estado verde.

### 3.3 Control de la Productividad del Secado

Del concepto productividad se desprenden dos ideas, producción y calidad. Para realizar el control del secado en este estudio se le controló, a cada programa, la velocidad de secado, producto de las condiciones generadas por cada programa, y la calidad de las chapas producidas.

#### 3.3.1 Variación de las condiciones de los programas de secado

Una vez, tomadas las muestras para la caracterización de las chapas, se secó una carga de tres pilas de aproximadamente 280 a 300 chapas para cada programa de secado.

#### **Disposición de las Ventiladas.**

Este equipo cuenta con tres ventiladas, dispuestas en el inicio, en el centro y al término del secador.

Para la disposición de las ventiladas, se propuso tres disposiciones de éstas;

La primera manteniendo la disposición actual de las ventiladas, esto es:

V1 15% Abierta      V2 65 % Abierta      V3 50 % Abierta

La segunda manteniendo todas las ventiladas cerradas:

V1 Cerrada      V2 Cerrada      V3 Cerrada

La tercera manteniendo parcialmente abierta en el centro y completamente cerrado en el comienzo y en la salida:

V1 Cerrada                      V2 40 % Abierta                      V3 10% Abierta

V1: Primera Ventila desde la alimentación hacia la salida del secador.

V2: Segunda Ventila, ubicada en el centro del secador.

V3: Tercera Ventila desde la alimentación hacia la salida del secador.

V1 es la actualmente utilizada por la empresa, V2 de revisión bibliográfica es debido a que en la bibliografía leída, se mencionan mejoras en el proceso al utilizar las ventilas cerradas y V3 es una propuesta personal que se enfoca a la descarga de la humedad levemente por el centro y fin.

### **Temperatura de secado.**

La temperatura se regula con la apertura o cierre de una válvula controladora de temperatura, donde se determina el ingreso de vapor saturado a los radiadores del secador.

En este estudio se analizaron dos temperaturas:

T1: 190 °C.

T2: 170 °C.

En la bibliografía se menciona que temperaturas altas obtienen eficientes y buenos resultados. La temperatura actual en Paneles Arauco es de 190 °C. y es la máxima permitida.

Otros autores mencionan que se consigue mejores resultados en la calidad de la chapa al ser expuestas a temperaturas más bajas.

Las variables temperatura y disposición de las ventilas son controladas a través de la Consola de Operación del secador, que se encuentra en la salida del éste. (ver anexo 3)

### **Velocidad de avance.**

Como valor inicial, se comenzó con la velocidad utilizada según la experiencia en la planta para chapas de alto contenido de humedad y 3,2 mm. de espesor en el secador de 23 secciones.

De esta forma se comenzó con 5,3 (m/min.) y se proceso previamente una pila de chapas con semejantes condiciones (mismo contenido de humedad, densidad) las cuales nos permitieron ajustar la velocidad más adecuada para las condiciones dadas. (ver anexo 3)

## Resumen de las Variables del Ensayo.

El total de ensayos que se realizaron en este estudio fueron tres disposiciones de ventilas y dos temperaturas. Para cada programa se proceso una pila de chapas a la cual se le controló los defectos y se registro la velocidad a la cual se procesó. (ver cuadro 2)

Cuadro 2: Resumen de variables de los programas de secado

Prog.	Densidad	CH. Inicial	Disp. de ventilas, % de abertura y HR	T°	V. (m/min)	Re dry
P1			V1 15% / V2 65% / V3 50%	190 °C		
P2			V1Cerrada / V2Cerrada/ V3 Cerrada	190 °C		
P3			V1Cerrada / V2 40% / V3 10%	190 °C		
P4			V1 15% / V2 65% / V3 50%	170 °C		
P5			V1Cerrada / V2Cerrada/ V3 Cerrada	170 °C		
P6			V1Cerrada / V2 40% / V3 10%	170 °C		

### 3.3.2 Control de calidad de la chapa secada

A cada chapa se le contaron y midieron los defectos asociados al proceso de secado y se registraron en el siguiente cuadro.

Cuadro 3: Cuantificación y clasificación de defectos del *secado*

N° de Chapas				
N° de Chapas con defecto grave				
% de Chapas con defecto grave				
		Intensidad del defecto		
Defecto	N°	Leve	Intermedio	Grave
Quemada				
Calamina				
Rasgada				
Grieta				

Los niveles leve, intermedio y grave fueron determinados visualmente según un criterio propio de clasificación de chapa clase A de Paneles Arauco (2002).

Este criterio es el siguiente:

Fueron consideradas como chapas levemente quemadas, a las chapas cuya zona quemada no superó el 20 % de ella; como intermedia, a aquellas que estuvieron entre un 20 % y un 50 %; y como grave, a aquellas que superaron el 50 %.

Fueron consideradas como chapas levemente onduladas, aquellas cuya deformación en el extremo no superó los 2 cm.; como intermedia, aquellas que estuvieron entre 2 cm. y 3 cm.; y como graves, aquellas que superaron los 4 cm.

Para las rasgadas y grietas el criterio fue el siguiente:

Fueron consideradas leves aquellas que no superaron los 10 cm. de largo y 2 mm. de ancho; intermedias aquellas que estuvieron entre 10 cm. y 30 cm. de largo y 1 mm. de ancho; y grave a aquellas que superaron los 30 cm. de largo y 1 mm. de ancho.

### *3.3.3 Análisis de los resultados*

Para la determinación de la densidad y del contenido de humedad de entrada se evaluó en una tabla ANOVA, para un intervalo de confianza del 95%, el P-valor para determinar la homogeneidad de las muestras.

Se realizó un análisis comparativo entre los distintos programas de secado los cuales se presentaron en cuadros gráficos y tablas, utilizando estadística descriptiva.

Para determinación de la influencia de las variables en el proceso de secado de chapas se utilizó una tabla ANOVA y el estadístico R-cuadrado para explicar la relación.

Para el análisis de estadístico se utilizó el programa estadístico Statgraphics.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados del contenido de humedad

Las condiciones de humedad en que llegó el material corresponden a la de madera recién debobinada en estado verde (sobre el punto de saturación de la fibra).

Podemos afirmar con un 95,0% de confianza que la media real del contenido de humedad inicial se encuentra entre 135,8% y 139,7%, para el total de la población y que provienen de una distribución normal.

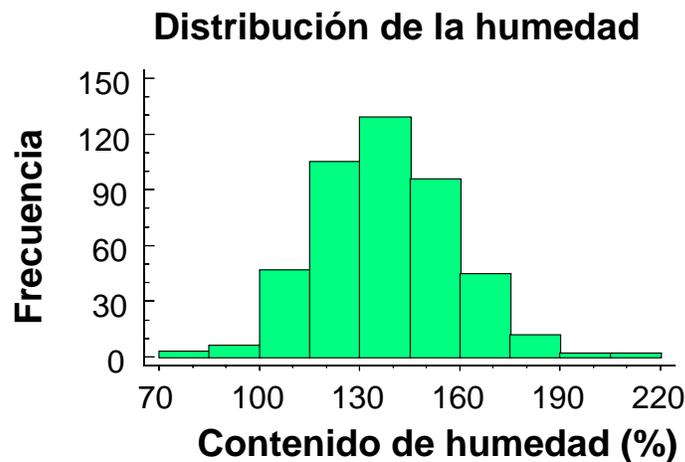


Figura 10: Distribución de la humedad inicial de las chapas

El total de las muestras se encuentran saturadas, requisito que deben cumplir para ser debobinadas, ya que así se bajan las posibilidades de obtener una chapa defectuosa.

Para comprobar si las humedades son homogéneas entre los programas se verificó mediante un análisis de varianza.

Cuadro 4: Tabla Anova para el contenido de humedad entre programas

Tabla ANOVA				
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrado	F-ratio
Entre	8849,65	5	1769,93	4,36
Dentro	178895	441	405,658	
Total	187745	446		
P-Valor	0,0007			

El análisis indica que dado que el p-valor es inferior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones típicas para un nivel de confianza del 95,0%.

## 4.2 Resultados de la densidad básica

Así como el contenido de humedad la densidad es importante para el secado de chapas, de esta manera es importante conocer su distribución.

Podemos afirmar con un 95,0% de confianza que la media real de la densidad básica se encuentra entre 0,42 g/cm<sup>3</sup> y 0,43g/cm<sup>3</sup>. del total de la población y que los datos provienen de una distribución normal.

### Distribución de densidad básica

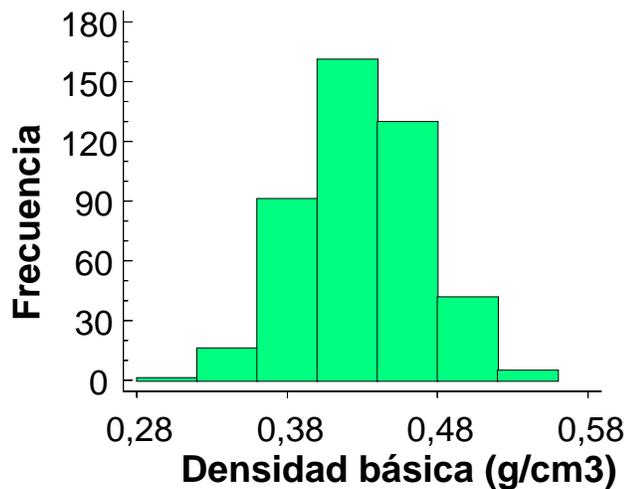


Figura 11: Distribución de la densidad básica

Cuadro 5: Tabla Anova para la densidad básica entre programas

Tabla ANOVA				
Fuente	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrado	F-ratio
Entre	0,0538	5	0,01076	7,08
Dentro	0,6705	441	405,658	
Total	0,7243	446	0,00152	
P-Valor	0,0000			

El análisis indica que dado que el p-valor es inferior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones típicas para un nivel de confianza del 95,0%.

## 4.3 Resultados de la evaluación de los programas de secado

Los resultados se comparan entre programas, para obtener el programa más óptimo, que es aquel que genere la menor cantidad de defectos posibles sin disminuir la producción. Se tomaron el programa número uno como testigo, ya que es aquel que está utilizando la empresa actualmente.

#### 4.3.1 Resultados con respecto a la calidad del secado

Cuadro 6: Cuantificación de defectos de secado por programa

	Programas de secado					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Ondulación grave	6,2%	1,6%	2,3%	2,4%	0,4%	0,7%
Rasgadura grave	16,7%	5,7%	6,4%	16,0%	4,1%	4,6%
Grieta graves	2,5%	1,0%	1,0%	1,7%	0,7%	0,7%
Quemaduras graves	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>% chapas defectos graves</b>	<b>25,5%</b>	<b>8,3%</b>	<b>9,6%</b>	<b>20,1%</b>	<b>5,2%</b>	<b>6,0%</b>

El programa que genera la mayor cantidad de defectos es el N°1, que es el que utiliza la empresa, siendo el programa N°5 el que genera la menor cantidad de defectos. Cabe mencionar que el defecto que se presenta con mayor frecuencia es la rasgadura (ver cuadro 6).

#### 4.3.2 Resultados con respecto a la producción de chapas

Cuadro 7: Producción de chapas por programa

	Programas de secado					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
N° de chapas por minuto	38,4	37,0	37,7	32,1	30,6	31,4
N° de chapas por turno - (14%)	15849,6	15267,9	15558,8	13232,2	12650,6	12941,4
cubicacion chapa de 3,2 mm	0,01058	0,01058	0,01058	0,01058	0,01058	0,01058
m3 turno	167,7	161,5	164,6	140,0	133,8	136,9
<b>m3 libre de defectos graves</b>	<b>124,9</b>	<b>148,1</b>	<b>148,7</b>	<b>111,8</b>	<b>126,9</b>	<b>128,8</b>

Dependiendo de las condiciones que ocupa cada programa, da como consecuencia cierta velocidad de avance, lo cual se refleja en la producción, así el programa que tiene una mayor producción en el número de chapas por minuto es el N°1, con 167.7 m3 por turno. (ver cuadro 7)

Lo importante de la producción es conjugar la calidad de las chapas obtenidas con la cantidad, este secador (23 secciones) se exige 160 m3 (turno), así se puede observar que un programa que produce mayor cantidad de chapas puede tener gran cantidad de pérdidas producto de las chapas defectuosas que genera, por ende el programa óptimo es el que produce la mayor cantidad de chapas libres de defecto. El programa que genera una mayor producción de chapas libres de defecto es el N°3, cumpliendo con la cantidad de m3 turno y generando 148.7 m3 libre de defectos graves. (ver cuadro 7)

### 4.3.3 Influencia de la temperatura y la disposición de las ventilas en la velocidad de avance y generación de defectos graves.

Cuadro 8: Variables utilizadas por programa v/s velocidad de avance y producción con defectos graves

	Programas de secado					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Disposición de Ventilass	15 - 65 - 50	Cerradas	0 - 40 - 10	15 - 65 - 50	Cerradas	0- 40 - 10
Temperatura de secado	190°C	190°C	190°C	170°C	170°C	170°C
Humedad relativa (%)	74	99	99	76	99	99
<b>Velocidad de avance</b>	<b>5,45</b>	<b>5,25</b>	<b>5,35</b>	<b>4,55</b>	<b>4,35</b>	<b>4,45</b>
<b>% con defectos graves</b>	<b>25,6 %</b>	<b>8,3 %</b>	<b>9,6 %</b>	<b>20,1 %</b>	<b>5,2%</b>	<b>6,0 %</b>

De los seis programas, los que generaron mayor cantidad de metros cúbicos de con defecto grave fueron los programas 1 y 4, siendo estos los de menor humedad relativa. Por otra parte los programas que obtuvieron mayores velocidades fueron los programas 1,2 y 3 que utilizaron mayor temperatura. (ver cuadro 8)

### Influencia de la temperatura sobre la velocidad de avance

Cuadro 9: Tabla ANOVA para relación velocidad de avance v/s temperatura de secado

ANOVA					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	Coeficiente-F	P-Valor
Modelo	1,215	1	1,215	121,5	0,0004
Residuo	0,04	4	0,01		
Total (corr.)	1,255	5			
R-cuadrado	96,81%				

Dado que el P-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,01, existe relación estadística significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.

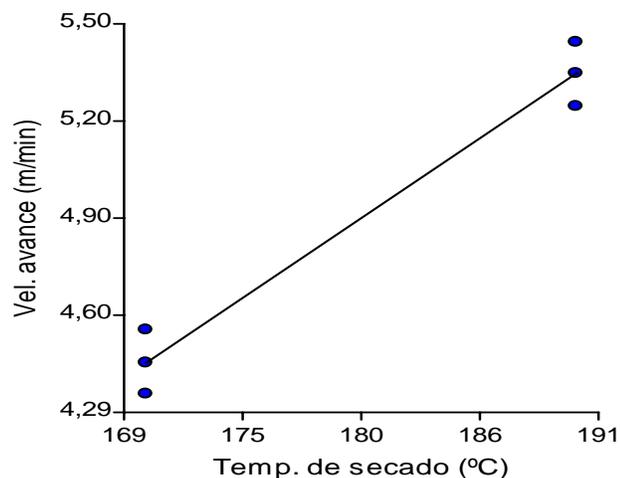


Figura12: Influencia de la temperatura en la velocidad de avance

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 96,81% de la variabilidad en la velocidad.

### Influencia de la humedad relativa sobre la velocidad de avance

Cuadro 10: Tabla ANOVA para relación velocidad de avance v/s humedad relativa

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	Coficiente-F	P-Valor
Modelo	0,0421948	1	0,0421948	0,14	0,728
Residuo	1,21281	4	0,303201		
Total (corr.)	1,255	5			
R-cuadrado	3,36%				

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.10, no existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 90% o superior.

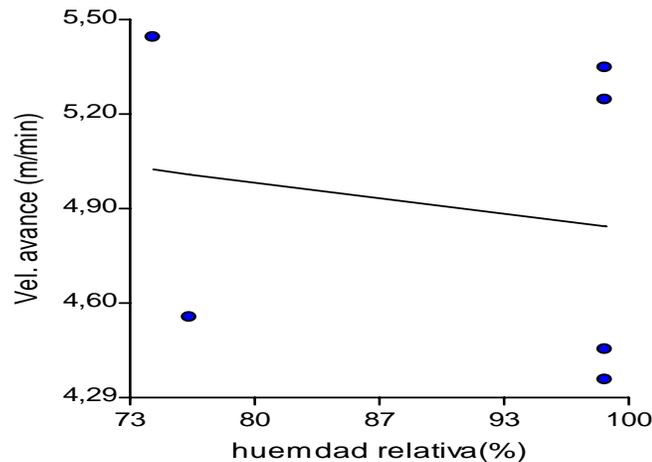


Figura13: Influencia de la disposición de las ventilas en la velocidad de avance

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 3,36% de la variabilidad en la Velocidad.

### Influencia de la temperatura sobre la generación de defectos graves

Cuadro 11: Tabla ANOVA para relación generación de defectos graves v/s temperatura

ANOVA					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	Coficiente-F	P-Valor
Modelo	0,00281667	1	0,00281667	0,34	0,5932
Residuo	0,0335333	4	0,00838333		
Total (corr.)	0,03635	5			
R-cuadrado	7,74%				

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.10, no existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 90% o superior.

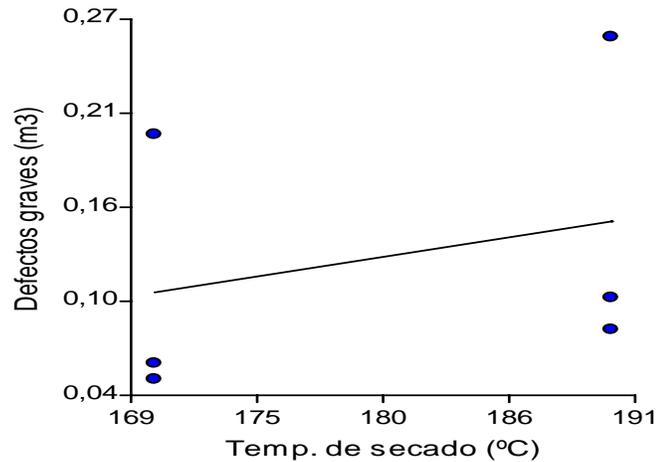


Figura14: Influencia de la temperatura en la generación de defectos

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 7,74874% de la variabilidad en la generación de defectos graves.

### Influencia de la humedad relativa sobre la generación de defectos graves

Cuadro 12: Tabla ANOVA para relación generación de defectos graves v/s humedad relativa

ANOVA					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	Coficiente-F	P-Valor
Modelo	0,0337792	1	0,0337792	52,56	0,0019
Residuo	0,00257078	4	0,000642695		
Total (corr.)	0,036	5			
R-cuadrado	92,92				

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre la humedad relativa y la generación de defectos graves para un nivel de confianza del 99%.

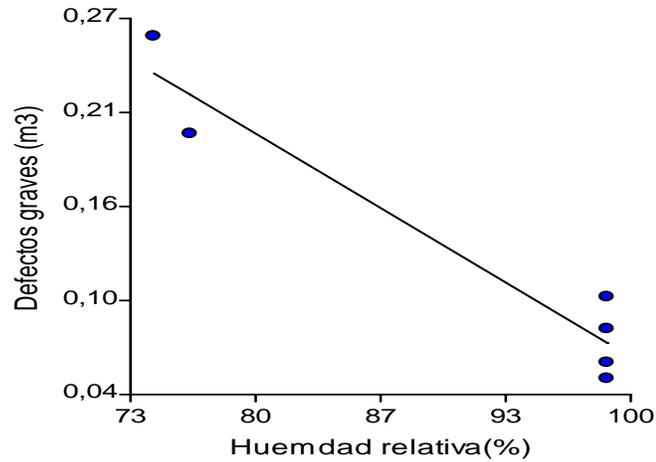


Figura15: Influencia de la disposición de las ventilas en la generación de defectos

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 92,92% de la variabilidad en la generación de defectos graves.

Así como se concluyó que a mayor temperatura aumenta la velocidad de avance y por ende la producción de chapas, también se puede concluir que teniendo las ventilas cerradas o sea el secador saturado (99% HR) se podrán obtener menos cantidad de chapas defectuosas.

## CONCLUSIONES

Podemos afirmar con un 95% de confianza que el contenido de humedad promedio de las chapas al entrar al proceso de secado esta entre 133,2% y 137,7%, para el total de la población de la muestra y que proviene de una distribución normal y que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones típicas de los seis programas para un nivel de confianza del 95,0%.

Podemos afirmar con un 95,0% de confianza que la densidad básica promedio se encuentra entre 0,42 g/cm<sup>3</sup> y 0,43g/cm<sup>3</sup>. para el total de la población de la muestra y que provienen de una distribución normal y que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones típicas para un nivel de confianza del 95,0%.

El programa que genera la mayor cantidad de defectos graves es el uno, cuya disposición de ventilas es la de mayor abertura entregando un 74% de humedad relativa y una temperatura de 190°C. (25,5% del total de chapas) que es el que utiliza la empresa, siendo el programa cinco, cuya disposición de ventilas es cerrada entregando un 99% de humedad relativa y una temperatura de 170°C. (5,2% del total de chapas) el que genera la menor cantidad de defectos graves. Cabe mencionar que el defecto que se presenta con mayor frecuencia es la rasgadura.

El programa que obtuvo una mayor velocidad de avance es el uno (5,45 m/min.) que es el que utiliza la empresa, siendo el programa cinco el de menor velocidad de avance (4,35 m/min.).

Lo importante de la producción es conjugar la calidad de las chapas obtenidas con la cantidad, así se puede observar que un programa que produce mayor cantidad de chapas puede tener gran cantidad de pérdidas producto de las chapas defectuosas que genera, por ende el programa óptimo es el que produce la mayor cantidad de chapas libres de defecto. El programa que genera una mayor producción de chapas libres de defecto es el tres, cuya disposición de ventilas es parcialmente abierta pero de igual manera con un 99% de humedad relativa y una temperatura de 190°C., que generó 148.7 m<sup>3</sup> por turno.

La temperatura influye importantemente sobre la velocidad de avance ya que el P-valor arrojado por la tabla ANOVA es inferior a 0,01, que indica que existe una relación estadística significativa entre ambas variables para un nivel de confianza del 99%, además el estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 96,81% de la variabilidad en la velocidad.

La humedad relativa, producto de la disposición de las ventilas, influye importantemente sobre la generación ya que el P-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, que indica que existe relación estadísticamente significativa entre ambas las variables para un nivel de confianza del 99%, además el estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 92,92% de la variabilidad en la generación de defectos graves.

## Bibliografía

- Alvarez, H.; Fernandez-Golfin, J. 1992. "Fundamentos Teóricos del Secado de la Madera". Instituto Nacional de Investigación y tecnología Agraria y Alimentaría. Madrid. pp. 43
- Baldwin, R. 1974. "Plywood manufacturing practices" Segunda edición Shelton, Washington. pp.170-180
- CONAF, 2004. Características y propiedades físicas de pino insigne en Chile. INTERNET: <http://www.conaf.cl>
- FAO. 1963. "Tableros contrachapados y otros paneles a base de madera". Informe de una Consulta Internacional sobre Tableros Contrachapados y otros Paneles a base de Madera Roma, 8-19 de Julio de 1963. pp. 73
- INFOR, 2004. Bosques Plantados por Especie, Según Región. INTERNET: <http://www.infor.cl>
- Inzunza, L. 2005. "Secado de Chapas". Producción de Laminas y Tableros Contrachapados". Curso capacitación en empresa Masisa. Planta Ranco. pp. 14-20
- Paneles Arauco. 2002. "Línea de Secado y Clasificación" Manual de Fundamentos, Producción. pp. 57-63
- Seller, T. 1985. "Plywood and Adhesive Technology" Forest Products Utilization Laboratory. Mississippi State University. Mississippi. pp. 101-104
- Sernek, M. 2002. "Comparative Analysis of Inactivated Wood Surface". Dissertation submitted to the Faculty of University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Wood Science and Forest Products. Blacksburg, Virginia. pp. 8-16
- Vorreiter, L. 1958. "holztechnologisches handbuch". Band 2: System Holz-Wasser-Wärme. Holztrocknung. Dämpfe und Kochen. Spanlose Holzverformung. pp. 332-333

## **ANEXOS**

## **ANEXOS 1**

Abstract

## **ABSTRACT.**

In this research, it was realized, an evaluation of continuous dry program of Insigne pine veneer 3 mm thick of high initial humidity, that comes from pruned pieces, on the basis of the quality and production considering as variables the damper setting, drying temperature, and production speed.

It was determined, the basic density and the moisture content in the veneer in the entry of the dryer as a validation of the homogeneity these are considered a cross-section example.

Six dry programs were compared according to its quality (defects generation) and its volume of production. As variable of experiments, 2 different temperatures were considered: 190° C, which is the temperature used in enterprise (Paneles Arauco S.A.) and also it is the highest allowed by them; and 170° C, a lower temperature to notice the influence of this variable, and three different damper setting. The first one with the percentage of opening used by the enterprise, the second one with the damper completely closed, and the third one with a slight opening but keeping the room saturated.

The program N° 3, which combined a temperature of 190° C and the damper setting slightly opened, was the program that revealed the best results of productivity, directing 149m<sup>3</sup> free of deep defects by shifts. It was the best result because it had good volume of productivity and a good quality layer.

It was observed, the influence that temperature and the damper setting have in the production speed and the deep defects generation.

The production speed is more sensible to the temperature of drying than the different damper setting.

The deep defects generation is more significant to the damper settings variation than the temperature variation.

It would accomplish a better production if the temperature was above the 200° C and if the dryer was kept saturated. In this way, it may reach major production speeds without damaging the veneer quality.

## **ANEXOS 2**

Figuras y cuadros de resultados por programa de secado

Cuadro 1: variables del programa 1

Prog.1								
CH Inicial	Densidad	Dispo. de ventilas			T. (°C)	V. (m/min)	Re Dry %	Hr (%)
141,20%	0,432	V1 15%	V2 65%	V3 50%	190	5,4 - 5,5	13,6	75

Cuadro 2: intensidad de defectos del programa 1

Defecto	Intensidad del defecto			
	Nº	Leve	Intermedio	Grave
Ondulada	573	60,8%	31,7%	7,5%
Rasgada	547	45,8%	33,2%	21,1%
Grieta	245	70,6%	22,4%	7,1%
Quemada	23	100,0%	0,0%	0,0%

Cuadro 3: variables del programa 2

Prog.2								
CH Inicial	Densidad	Dispo. de ventilas			T. (°C)	V. (m/min)	Re Dry %	Hr (%)
133,50%	0,440	V1 0%	V2 0%	V3 0%	190	5,2 - 5,3	16	99

Cuadro 4: intensidad de defectos del programa 2

Defecto	Intensidad del defecto			
	Nº	Leve	Intermedio	Grave
Ondulada	209	69,7%	25,8%	4,5%
Rasgadura	339	59,8%	29,9%	10,3%
C. Agrietas	120	86,8%	7,9%	5,3%
C. Quemadas	0	0,0%	0,0%	0,0%

Cuadro 5: variables del programa 3

Prog.3								
CH Inicial	Densidad	Dispo. de ventilas			T. (°C)	V. (m/min)	Re Dry %	Hr (%)
134,90%	0,419	V1 0%	V2 40%	V3 10%	190	5,3 - 5,4	15	99

Cuadro 6: intensidad de defectos del programa 3

Defecto	Intensidad del defecto			
	Nº	Leve	Intermedio	Grave
Ondulada	217	68,0%	25,2%	6,8%
Rasgadura	370	61,4%	27,3%	11,4%
C. Agrietas	141	82,1%	13,4%	4,5%
C. Quemadas	0	0,0%	0,0%	0,0%

Cuadro 7: variables del programa 4

Progrm.4								
CH Inicial	Densidad	Dispo. de ventilas			T. (°C)	V. (m/min)	Re Dry %	Hr(%)
144,93%	0,409	V1 15%	V2 65%	V3 50%	170	4,5 - 4,6	14,6	76

Cuadro 8: intensidad de defectos del programa 4

Defecto	N°	Intensidad del defecto		
		Leve	Intermedio	Grave
Onduladas	366	63,4%	32,3%	4,3%
Rasgada	444	41,7%	34,7%	23,6%
Grieta	134	56,7%	35,0%	8,3%
Quemada	0	0,0%	0,0%	0,0%

Cuadro 9: variables del programa 5

Progrm5								
CH Inicial	Densidad	Dispo. de ventilas			T. (°C)	V. (m/min)	Re Dry%	Hr(%)
142,50%	0,44	V1 0%	V2 0%	V3 0%	170	4,3-4,4	14	99

Cuadro 10: intensidad de defectos del programa 5

Defecto	N°	Intensidad del defecto		
		Leve	Intermedio	Grave
Ondulada	259	77,0%	22,0%	1,0%
Rasgadura	322	62,1%	29,0%	8,9%
C. Agrietas	60	78,3%	13,0%	8,7%
C. Quemadas	0	0,0%	0,0%	0,0%

Cuadro 11: variables del programa 6

Progrm.6								
CH Inicial	Densidad	Dispo. de ventilas			T. (°C)	V. (m/min)	Re Dry %	Hr(%)
144,90%	0,428	V1 0%	V2 40%	V3 10%	170	4,4 - 4,5	15,2	99

Cuadro 12: intensidad de defectos del programa 6

Defecto	N°	Intensidad del defecto		
		Leve	Intermedio	Grave
Ondulada	202	90,8%	6,9%	2,3%
Rasgadura	316	62,5%	27,9%	9,6%
C. Agrietas	100	79,1%	16,3%	4,7%
C. Quemadas	0	0,0%	0,0%	0,0%

### **ANEXOS 3**

Sistema de chapa seca Cypress

Y

Consola de operación del secador continuo

Este sistema pueda proporcionar hasta 3 niveles de detección de Humedad. Constituido por un sistema tipo cepillo y un canal de distribución para cepillos. Al pasar la chapa por los cepillos, estos generan una señal de voltaje que puede variar de 255 a 0 en proporción al nivel de humedad de la chapa. Si el registro es 255, indica que la madera esta completamente seca y viceversa. Éste consta de un panel de control que esta dividido en 4 áreas.

- Controles Automáticos del secador. (superior izquierdo)
- Controles de detección de humedad. (superior derecho)
- Tamaño de chapa. (inferior izquierdo)
- Pantalla/totalizador. (inferior derecho)

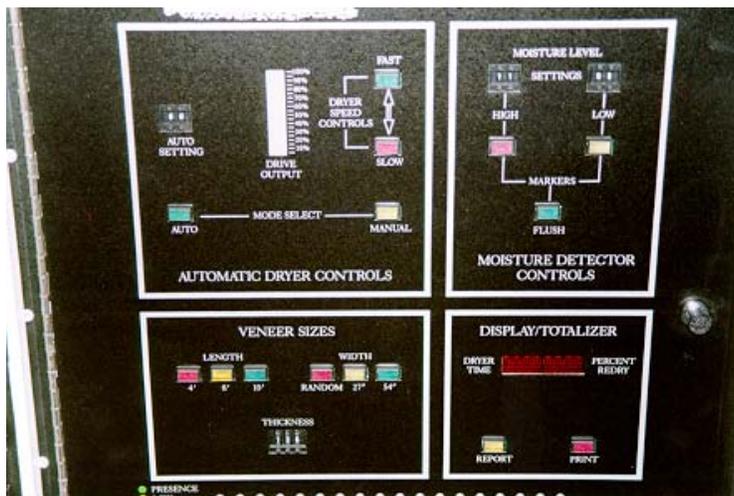


Figura 6: Panel de control Cypress system

Pantalla/totalizador: registra y muestra el tiempo del secador en minutos y el porcentaje dinámico de Re Dry.

Tamaño de la chapa: se indica el largo en pies, el ancho en pulgada y el espesor en milésimas de pulgada. El seteo no tiene efecto en la operación del secador.

Controles automáticos del secador: estos controles están relacionados con el control de velocidad del secador. Éste permite seleccionar el modo de operación automático o manual.

En el modo automático se regula la velocidad de acuerdo con una programación en el auto setting del porcentaje de Re Dry deseado. Si el Re Dry en el totalizador esta más bajo que en el auto setting, la velocidad aumentara y viceversa.

En el modo manual se regula la velocidad con los “controles de velocidad del secador” el cual tiene 2 interruptores “rápido” y “lento”.

Controles de detección de humedad: los seteos de los interruptores “Alto”, “Bajo” y “Aux.” determinan el contenido de humedad al que el sistema indicador esta activado. Estos interruptores han graduado los seteos desde “00” hasta “99”. Entre mas alto el seteo, más mojada debe estar la chapa para activar el sistema indicador. Hasta 10% de contenido de humedad real, los seteos equivalen a dos veces la humedad.

El seteo Bajo generalmente está fijado para marcar chapa que se puede ecualizar por un periodo de tiempo (normalmente de 18 a 48).

El seteo Alto se fija para identificar la chapa que requiere de ser reprocesada (Re Dry). El seteo Aux. a veces se utiliza para indicar una condición de mojado excesivo que no pueda ser resecar fácilmente.

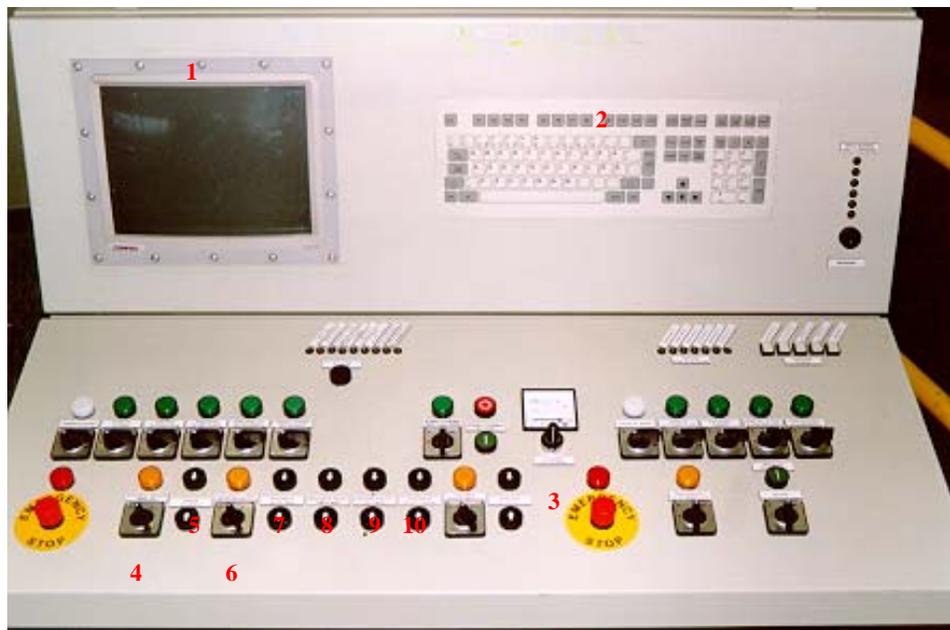


Figura 7: Consola de operación del Secador

- 1 *Pantalla de control:* Se pueden visualizar las variables del proceso.
- 2 *Teclado:* Se utiliza en el ingreso de datos (variables) que controlan el secado.
- 3 *Regulador de velocidad del secador:* Perilla que regula la velocidad de secado.
- 4 *Regulación de temperatura:* Acciona la regulación de temperatura, ya sea en forma manual o automática.
- 5 *Válvula de vapor:* Abre o cierra la válvula para el ingreso de vapor.
- 6 *Regulación de humedad del aire al interior:* Acciona la regulación de humedad del aire, ya sea en forma manual o automática.
- 7 *Regulador de paletas común:* Regulan los dampers para el ingreso del aire.
- 8 *Regulador de paletas 1 primera mitad:* Regulan los dampers para el ingreso del aire.
- 9 *Regulador de paletas 2 en la mitad:* Regulan los dampers para el ingreso del aire.
- 10 *Regulador de paletas en el extremo:* Regulan los dampers para el ingreso del aire.