



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**“Aplicación de un programa de secado
convencional en base a pérdida de humedad
para madera de Aromo australiano
(*Acacia melanoxylon* R. Brown).”**

Patrocinante: Sr. Roberto Juacida
Co- Patrocinante: Sr. Luis Inzunza

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

CLAUDIO FABIAN SEPULVEDA SEPULVEDA

VALDIVIA 2007

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

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

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

Sr. Roberto Juacida Percaz

AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quiero expresar mis más sinceros cariños y agradecimientos a todas aquellas personas que de alguna u otra forma me ayudaron a realizar este trabajo de titulación, y por sobre todo ayudarme a crecer personal y profesionalmente....a todos ellos MUCHAS GRACIAS.

En primer lugar agradecer a mi familia, en especial a mis queridos Padres por todo el apoyo incondicional que me han dado desde que comencé mis estudios, por creer en mis capacidades y por darme la confianza de poder terminar esta etapa de mi vida.....Viejitos los amo.

No puedo dejar de nombrar a otro de mis pilares básicos que formaron parte de mi formación universitaria....mi amigo y hermano Marcelo (Chelo), gracias por todo el apoyo y la fé que siempre me diste....Te quiero hermanito.

Agradecer también a mi comité de titulación en especial a mi profesor Patrocinante don Roberto Juacida Percaz, quien no tuvo problemas en creer en este trabajo, por ayudarme y darse el tiempo que tenía disponible en resolver mis problemas y consultas. A mi profesor Co-Patrocinante don Luis Inzunza Diez, por guiarme y darme la confianza de poder realizar los ensayos y en especial por toda su paciencia y tiempo disponible para mis consultas y dudas, a mi profesor Informante don Alfredo Aguilera León quien no tuvo ningún problema en estar en este comité, darme las primeras pistas de este trabajo de titulación y por sobre todo, su apoyo.

A mis amigos de la infancia (galera), que gracias a su alegría y compañerismo me ayudaron en momentos difíciles, destacar a mi amigo Américo Borgoño por todo su apoyo, a Diego Tapia que siempre se hizo el tiempo para ayudarme en las materias difíciles, a todas aquellas personas que de alguna u otra forma me ayudaron a salir adelante, a mi polola Marion, por su compañía y apoyo en todo aspecto, y en especial para la realización de este trabajo de titulación.

Para finalizar quiero agradecer a todo el personal del TEIM, en especial a las secretarias Maria Eugenia y Alejandra, al personal del taller, a don Guido, Manuel, Andrés y a don Jorge.

Con todo el amor y cariño para mis queridos padres y hermano por creer en mi.

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de este trabajo es estudiar la aplicación de un programa de secado convencional en base a pérdida de humedad para madera de Aromo australiano. No existe hoy gran información disponible sobre el comportamiento de esta madera sometida al proceso de secado artificialmente en el país.

Se obtuvo la materia prima del fundo San Germán que pertenece a la Universidad Austral de Chile, ubicado a 17 km al norte de la ciudad de Valdivia, se trabajó en los laboratorios del Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la UACH y en el taller de este mismo, utilizando el secador artificial Hildebrand HB y el aserradero portátil Wood-Mizer LT 40 HD G24

Las tablas fueron aserradas a un espesor de una pulgada, con ancho variable sin privilegiar ningún tipo de corte (radial, mixto, tangencial) y de 1.20 m de largo.

Para evaluar la calidad y condiciones del secado, se utilizó la metodología utilizada por Bravo (1977), Peredo y Juacida (2006) el cual se basa en la suma de las medias estadísticas de los defectos considerados, que es una ponderación en base a la adaptación de cuatro índices, estos defectos considerados fueron: acanaladura, torcedura, encorvadura, arqueadura y grietas.

Del análisis de defectos considerados y sus respectivos índices, se puede concluir que las condiciones y calidad de los experimentos realizados no permitieron obtener una madera seca de buena calidad.

Palabras Claves: Secado, Gradiente de Humedad, Alabeos.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes generales de la especie	3
2.2 Estructura de las latifoliadas.	4
2.3 El secado artificial	4
2.3.1 <i>Secado convencional artificial</i>	6
2.4 Humedad en la madera, tipos de agua y su movimiento en la madera	6
2.4.1 <i>Agua libre</i>	6
2.4.2 <i>Agua higroscópica</i>	7
2.4.3 <i>Agua de constitución</i>	7
2.4.4 <i>Movimiento capilar en la madera</i>	7
2.4.5 <i>Movimiento de difusión en la madera</i>	7
2.5 Etapas del secado	8
2.5.1 <i>Pre calentamiento</i>	8
2.5.2 <i>Calentamiento</i>	8
2.5.3 <i>Secado</i>	8
2.5.4 <i>Acondicionamiento</i>	8
2.5.5 <i>Enfriamiento</i>	9
2.6 Defecto mas frecuentes en el secado de Aromo australiano	9
2.6.1 <i>Contracción</i>	9
2.6.2 <i>Colapso</i>	10
2.6.3 <i>Torcedura</i>	11
2.7 Programas de secado	11
2.8 Consideraciones al programar el secado	12
2.8.1 <i>La especie</i>	12
2.8.2 <i>Sus características y propiedades físicas</i>	12
2.8.3 <i>El tipo y dimensiones de la madera</i>	12

2.8.4	<i>El sistema de secado</i>	12
2.8.5	<i>La relación entre equipos y factores</i>	12
2.8.6	<i>La calidad y destino de los productos</i>	12
2.8.7	<i>La modelación del programa de secado</i>	12
3	DISEÑO DE LA INVESTIGACION	13
3.1	Materiales	13
3.1.1	<i>Madera</i>	13
3.1.2	<i>El aserrío</i>	13
3.1.3	<i>Equipos</i>	14
3.2	Método	
3.2.1	<i>Las piezas</i>	14
3.2.2	<i>El programa de secado</i>	14
3.2.3	<i>Control del proceso</i>	15
3.2.4	<i>Defectos del secado</i>	16
4	RESULTADOS Y DISCUSION	21
4.1	Primer Secado	21
4.2	Segundo Secado	25
5	Conclusiones	28
6	Bibliografía	29
	Anexos	31
1	ABSTRACT	
2	TABLAS DE VALORES	

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Programa Propuesto	14
Cuadro 2 Nivel de Clasificación de los Alabeos	18
Cuadro 3 Determinación de la Calidad y Condiciones de Secado	20
Cuadro 4 Proporción de Tipos de Corte a la Madera	21
Cuadro 5 Humedad promedio y humedad de equilibrio con respecto a los días de secado	22
Cuadro 6 Nivel de Clasificación de los Alabeos obtenidos	23
Cuadro 7 Proporción de Tipos de Corte a la Madera	25
Cuadro 8 Programa Propuesto	25
Cuadro 9 Humedad promedio y humedad de equilibrio con respecto a los días de secado	26
Cuadro 10 Nivel de Clasificación de los Alabeos obtenidos	26

INDICE DE LAS FIGURAS

Figura 1	Gráfico de Contracciones	10
Figura 2	Plano de Contracción en las Maderas	10
Figura 3	Trozadas de Aromo australiano (<i>Acacia melanoxylon</i>)	13
Figura 4	Acanaladura	17
Figura 5	Torcedura	17
Figura 6	Encorvadura	17
Figura 7	Arqueadura	18
Figura 8	Medición del Colapso	19
Figura 9	Probeta Estratificada	20
Figura 10	Probeta Tenedor	20
Figura 11	Probetas de tensión	22
Figura 12	Probetas de tensión	22
Figura 13	Curva de Secado	22
Figura 14	Alabeo dominante y su Nivel de Clasificación	23
Figura 15	Curva de Secado	26
Figura 16	Alabeo dominante y su Nivel de Clasificación	27
Figura 18	Probetas de tensión	27
Figura 19	Probetas de tensión	27

1 INTRODUCCION

En los últimos 15 años Chile ha experimentado un fuerte crecimiento del sector forestal que se traduce en la existencia de aproximadamente 2 millones de há en plantaciones con especies exóticas.

Estas plantaciones tienen características muy interesantes para el sector forestal por su rápido crecimiento, producen madera de buena calidad, se adaptan muy bien al clima y suelo de nuestro país. En general no se ven afectadas por plagas y producen madera que puede emplearse para variados usos y presentan una muy buena trabajabilidad.

Dentro de estas especies introducidas se pueden destacar el Pino radiata, Pino oregón, Eucalipto, Álamo y también el Aromo australiano.

Las especies del género *Acacia* en la cual está inserto el Aromo australiano se presentan como alternativas forestales para ocupar sectores marginales no utilizados por las especies tradicionales y ofrecer al mismo tiempo, una mayor diversidad de productos. Actualmente no es posible enfrentar en forma continua la demanda mundial con grandes volúmenes de productos de alta calidad y valor agregado, debido por una parte a la no existencia de superficies importantes plantadas con estas especies y al desconocimiento de los antecedentes de crecimiento y rendimiento.

El Aromo australiano abarca aproximadamente unas cuatro mil hectáreas (Loewe, 2004), debido a su buena adaptación a los climas y suelos del país, incrementan su superficie plantada por su condición de buen crecimiento.

Las especies del género *Acacia* que crecen en nuestro país por desconocerse los parámetros básicos y aprovechamiento industrial no son empleadas masivamente, lo que impide obtener proyecciones de incrementos, rendimientos y abastecimiento (Pinilla, *et al* 2004).

La producción de esta especie en Chile está destinada a un mercado formal restringido a leña y madera pulpable, debido a las características de la fibra y la densidad de su madera semejante al *Eucalyptus globulus* es utilizada como madera pulpable.

En la actualidad, considerando la calidad y las características estéticas de la madera de la especie se podría orientar su producción a madera madura valiosa, por su alto valor comercial (INFOR, 1995).

El secado adecuado de su madera es de especial interés para otorgarle un uso en donde se privilegie el valor agregado del producto. Sin embargo son escasos y muy general los antecedentes del secado artificial realizados en el país.

Es por esto que el presente estudio tiene como objetivo general evaluar la aplicación de un programa de secado convencional en base a pérdida de humedad para madera madura de Aromo australiano.

Como objetivo específico se desea:

- Evaluar la calidad de la madera en función de las variables empleadas en el proceso y la calidad de las maderas secas resultantes, utilizando metodología convencional
- Determinación de las propiedades físicas de la madera y su contracción.

2. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes generales de la especie

El Aromo Australiano (*Acacia melanoxylon* R BROWN), es una latifoliada, que se distribuye naturalmente al Sudeste de Australia y Noreste de Tasmania, entre los 16° y 43° Latitud Sur aproximadamente, perteneciendo al género *Acacia*, constituido por aproximadamente 1000 especies arbóreas y arbustivas.

Esta especie posee un rápido crecimiento y alta competitividad con otras especies, en Chile se extiende en unas 4000 há aproximadamente que abarca desde la Región Metropolitana hasta Chiloé (Siebert 1994) principalmente en los sectores de la depresión intermedia y cordones del valle central, bajo los 500 msnm, destacándose por un buen desarrollo en el Golfo de Arauco, Valdivia, Temuco, y Chiloé, con incrementos medios anuales de 25 -30m³/há/año en volumen a los 40 años. Sus alturas pueden alcanzar entre los 20 a 30 m y diámetros entre los 60 y 70 cm.

La madera del aromo tiene un rápido crecimiento inicial que tiende a producir colores claros y maderas menos densa, sujeta a stress internos (tensiones de crecimiento) comparables a las de los eucaliptos, las cuales pueden causar grietas y resquebrajaduras en la madera cortada recientemente, la mayoría del tipo radial (Stehle, 1996).

Dentro de sus características macroscópicas se destaca su duramen el cual varía considerablemente en su color y tonalidades desde el amarillo (albura), café rojizo, hasta casi llegar al negro (duramen). Estas diferencias son debidas a la distribución incompleta de extraíbles, a lo cual también se le asocian algunas manchas café (Haslett, 1986).

Es una madera considerablemente pesada, siendo resistente al impacto. La textura fina y el grano recto producen un veteado muy característico cuando esta especie es aserrada y cepillada.

Producto de un corte longitudinal, la cara tangencial presenta vetas oscuras, lo cual le da un aspecto jaspeado (Kannegiesser, 1989).

Esta madera de alta calidad, se emplea principalmente como elemento decorativo para revestimiento de interiores, de muebles, ebanistería, tornería, fabricación de mesas de billar, pisos, instrumentos musicales, madera aserrada y elaborada.

El consumo de esta madera está muy focalizado en donde crece la especie debido a su limitado abastecimiento, por esta razón virtualmente no existe un comercio internacional de la especie (Stehle, 1996).

2.2 Estructura de las Latifoliadas

Su estructura es mucho más compleja que las coníferas, presenta tres tipos grandes de tejidos: el conductor, formados por los vasos, el de sostén, formado por las fibras y el de reserva, formado por las células parenquimáticas. La mayor parte de estos elementos se orientan axialmente, no superando los 2 mm de longitud.

Los vasos que a simple vista parecen poros dan un aspecto característico en la sección transversal y su distribución puede ser aislada, en grupos radiales o grupos tangenciales, como regla general todos los que se forman al comienzo del periodo vegetativo tienen paredes más delgadas y lúmenes más anchos que los que se forman al final del periodo.

Los vasos incorporan en sus paredes longitudinales punteaduras de tamaño notablemente inferior que las presentes en las células de las traqueidas. Las punteaduras de paso con las fibras y traqueidas suelen ser areoladas, mientras las que se dan entre vasos y parénquima suelen ser simples o semi-areoladas.

Los líquidos pueden penetrar en los lúmenes de las fibras a través de las punteaduras de paso con los elementos vasculares y células de parénquima adyacentes. No obstante, la permeabilidad y tratabilidad de las fibras es pobre.

En maderas tropicales la disposición de los vasos es bastante uniforme, la proporción de los vasos puede variar de 2 a 65% en la madera, así como su distribución influyen en sus propiedades de resistencia.

El parénquima, que en su mayor parte se presenta agrupado alrededor de los vasos y radios leñosos, tiene poca importancia, sus células redondas o levemente poligonales en sección transversal, están llenas de sustancias de reserva.

2.3 El Secado Artificial

El secado artificial consiste en crear alrededor de la madera unas condiciones ambientales artificiales de presión, temperatura y humedad, muy por debajo de la humedad de la madera, lo que propicia su secado rápido (Vignote y Jiménez, 2000).

Se puede definir también como el balance dinámico entre la transferencia de calor del flujo de aire para la madera, superficie de evaporación de la madera, difusión de la humedad a través de la madera y el flujo de masa de agua libre (HART, 1966).

Por medio de equipos e instalaciones, se establecen en recintos cerrados condiciones climáticas diferentes a las condiciones atmosféricas normales. Mediante ventiladores, se produce un flujo de aire estable que circula a través de las pilas de madera, con temperatura y humedad relativa controladas de acuerdo a los programas preestablecidos según especie y dimensiones de la madera a secar. La velocidad de secado se puede incrementar, elevando la temperatura tanto como sea admisible para cada especie en particular y a la calidad del producto final deseado.

También se puede controlar la humedad relativa del aire de tal forma que los gradientes de humedad no produzcan esfuerzos de tensión no deseados.

La importancia del secado artificial es que con estos métodos se reducen los tiempos de secado además de reducir los costos de transporte, las propiedades de resistencia son mejoradas en general, salvo al impacto o al choque, mejora la capacidad de resistencia a la mayoría de hongos e insectos, mejora el cepillado, lijado y a las aplicaciones de colas y pinturas (Tuset y Duran, 1979).

Hoy en día es uno de los procesos más utilizados en empresas que figuran con gran producción, teniendo en cuenta los tres factores limitantes de este aceleramiento, que son la velocidad del aire circulante, la humedad relativa y la temperatura.

Los secadores de alta temperatura son secadores de compartimento los cuales la temperatura de secado es superior al punto de ebullición del agua.

Las ventajas más interesantes del secado a alta temperatura está en los reducidos tiempos de secado que utilizan entre 1/4 y 1/6 de los ocupados en el secado convencional, la pequeña superficie que necesita para su instalación, la disminución del contenido de humedad de equilibrio y el menor consumo de energía (Peredo *et al*, 1985).

En cambio el secado convencional son cámaras o compartimentos cerrados, dotado de ventiladores que dan lugar a la circulación forzada del aire dentro de la cámara, tienen también un sistema de calentamiento controlado que permite elevar la temperatura del horno y dispositivos regulables para conseguir la variación deseada de la humedad relativa en el ambiente interior del horno, con temperaturas que oscilan entre los 40 y 100°C (Viscarra, 1998).

Dentro de los problemas que generalmente son asociados al secado artificial a cualquier madera son la contracción, alabeos, grietas y colapso, además de los costos elevados de instalación, mantenimiento y costos de secado debido al consumo energético que se produce.

El hecho de que el Aromo se considera una madera dura, es relativamente fácil de secar (Gleason, 1986); tablas menores a 50 mm de espesor pueden ser secados al horno desde su estado verde sin alguna degradación significativa, su densidad aparente es cercana a los 647 kg/m³ (INFOR, 1990).

Por esta razón, se recomienda que aquellas tablas con 50 mm de espesor o superiores a este, se seque al aire en castillos hasta alcanzar un contenido de humedad del 30%, posteriormente en hornos hasta lograr el contenido de humedad de equilibrio (Haslett, 1986).

El secado al aire de tablas de 25 mm a 30% de CH toma de 12 a 20 semanas en Rotorua (dependiendo de la estación), con un posterior secado al horno que toma 4 días más aproximadamente (*Op. cit.*).

El Aromo tiene una baja contracción y una leve tendencia al colapso, especialmente cuando es secado a temperaturas elevadas. Las torceduras son un problema atribuible a la mala forma de los fustes, estos problemas deberían disminuir en árboles manejados silviculturalmente (Nicholas, 1982).

2.3.1 secado convencional artificial

El secado convencional se desarrolla en cámaras cerradas dentro de las cuales se establecen climas artificiales de incremento progresivo de temperatura y disminución de la humedad relativa. Cada etapa del secado se mantiene durante un determinado lapso, de acuerdo con un programa predeterminado experimentalmente según el tipo y dimensiones de la madera. Como los cambios en las condiciones inducen contenidos de humedad de equilibrio cada vez más bajo, en las piezas de madera se genera un gradiente de humedad que determina la velocidad de difusión del agua, del interior a la periferia.

El secado convencional es el sistema de secado mas generalizado a nivel mundial y se distinguen varias formas, según la intensidad de la temperatura aplicada y las características de las instalaciones.

2.4 Humedad en la madera, tipos de agua y su Movimiento en la madera

En un árbol recién cortado, su madera contiene una importante cantidad de agua, variando el contenido según la época del año, la región de procedencia y la especie forestal de que se trate. Las maderas livianas por ser más porosas, contienen una mayor cantidad de agua que las pesadas. De igual manera, la albura, por estar conformada por células cuya función principal es la conducción de agua, presenta un mayor contenido de humedad que el duramen. Esto indica que el porcentaje de agua contenido en los espacios huecos y en las paredes celulares de la madera es muy variable en el árbol vivo.

El agua contenida en la madera se encuentra bajo diferentes formas (agua libre, agua de saturación y agua de constitución).

2.4.1 Agua Libre

Es el agua que se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de los elementos vasculares, resultando una condición de “verde” para la madera. La cantidad de agua libre que contiene una madera esta limitada por su volumen poroso.

Al iniciar el secado, el agua libre va saliendo fácilmente por la evaporación, ya que es mantenida en la madera a través de fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que no se contiene más agua de este tipo. En este punto la madera estará en lo que se denomina “punto de saturación de las fibras” (PSF), correspondiendo entre un 30% y un 28% de contenido de humedad.

Para la retirada del agua libre se deben utilizar bajas temperaturas en las etapas iniciales del secado debido a los riesgos asociados a la remoción rápida de agua a altas temperaturas (Klitzke, 2005).

2.4.2 Agua Higroscópica

Es el agua que se encuentra en las paredes celulares llamada también agua retenida, el agua retenida se mueve por difusión a través de las paredes celulares en consecuencia de las fuerzas originadas por la gradiente de humedad, cuando este tipo de agua es removida de las paredes la madera comienza a sufrir cambios dimensionales.

2.4.3 Agua de constitución

Es el agua que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la destrucción parcial de la madera.

2.4.4 Movimiento capilar en la madera

Este movimiento se produce sobre el PSF debido a las fuerzas capilares cuando la humedad se mueve desde el interior hasta la superficie.

El movimiento capilar es favorecido por el aumento de la temperatura, por la existencia de burbujas de aire en el interior de las células y por el aumento de diámetro de las punteaduras (Stamm, 1964).

2.4.5 Movimiento de difusión en la madera

Abajo del PSF el movimiento de humedad a través de la madera es considerado un fenómeno de difusión, el agua retenida se mueve por medio de las paredes celulares por una gradiente de humedad, evapora y atraviesa las cavidades celulares por una gradiente de presión de vapor, torna a condensar para atravesar las paredes celulares y así sucesivamente hasta alcanzar la superficie de la madera (HART, 1975).

Esta pasada de agua retenida a través de las paredes celulares se debe al “salto molecular casual”, donde las moléculas saltan de un local de adsorción hacia otro, quedando la fuerza atrayente, y el trabajo de abrir la estructura de la madera fueron mayores que las fuerzas atrayentes del local de origen.

Así las moléculas absorbidas en la segunda camada o en camadas moleculares subsecuentes tienen más facilidad de cambiarse que las moléculas de la primera camada.

El movimiento del vapor de agua, a través de las cavidades celulares, cámaras de la punteaduras, aberturas de la membrana de las punteaduras y espacios intercelulares es establecido cuando gran parte de las fuerzas capilares terminan quedando en las cavidades celulares apenas aire y vapor de agua, estableciéndose así una gradiente de presión de vapor resultante de diferencias de humedad relativa del aire.

En resumen, el proceso de difusión es la transferencia de moléculas de agua de una zona de alta presión de vapor a otra de menor presión de vapor generando un movimiento espontáneo que ocurre a través de las gradientes de presión.

2.5 Etapas del Secado

2.5.1 Precaentamiento

En esta etapa, la temperatura en la cámara debe subir lentamente al nivel deseado, este incremento de la temperatura debe ser uniforme y lento, evitando en lo posible la entrega de humedad a la madera, el clima de precaentamiento depende de la especie de la madera, de la humedad inicial y del medio de pulverización.

2.5.2 Calentamiento

Una vez alcanzada la temperatura deseada de aire es el comienzo de esta fase, teniendo como objetivo el calentamiento a fondo y uniforme de la sección de la madera. Para la fase de calentamiento hay que tomar en cuenta como mínimo una hora por cada 10 mm de espesor para coníferas y latifoliadas fáciles, y dos horas y media para latifoliadas difíciles por cada 10 mm de espesor para el calentamiento.

2.5.3 Secado

Se inicia una vez terminada la fase de calentamiento, el objetivo de esta fase es secar lo más rápido posible por medio del aumento de la temperatura y de la reducción de la humedad del aire en forma gradual conforme con lo establecido en el programa (Klitzke, 2005).

Esta etapa de secado se puede subdividir en dos fases:

Secado antes del punto de saturación de las fibras

En esta fase es donde se produce la extracción del agua libre de la madera, teniendo mucho cuidado con la humedad relativa del aire y de no utilizar temperaturas muy elevadas.

Secado después del punto de saturación de las fibras

Una vez alcanzado el PSF, la madera es más rígida a la entrega del agua retenida y produce que la etapa de secado disminuya su velocidad, para que esto no suceda es que se aumenta el cociente de secado y las temperaturas mientras que la humedad relativa del aire se disminuye.

2.5.4 Acondicionamiento

Esta etapa está constituida por dos fases distintas conocidas como ecualización y acondicionamiento.

La primera de ellas tiene como objetivo uniformar la humedad de la carga en torno a la humedad del medio pre-establecido, esto se logra a través de la elevación de la humedad relativa del aire después de la última fase de secado (Klitzke, 2005).

El acondicionamiento tiene como función homogenizar la humedad dentro de la madera y reducir o eliminar las tensiones internas de cada pieza de la carga que se desenvuelven en el secado, para esto se aumenta la humedad relativa del ambiente en la cámara de secado.

2.5.5 Enfriamiento

Es la última etapa del proceso, se debe evitar la abertura de la cámara con altas temperaturas para que así no se produzca un choque térmico en la carga, lo cual podría generar grietas superficiales, se debe mantener la humedad de equilibrio utilizada en la etapa de acondicionamiento y bajar la temperatura gradualmente.

2.6 Defectos más frecuentes en el secado de Aromo australiano

La mayoría de los defectos que normalmente ocurren son debido a grandes diferencias del contenido de humedad entre el interior y la superficie de la madera, lo que se traduce en una desigualdad de contracciones principalmente cuando la humedad de la maderas es inferior a 30% (Inzunza, 2004).

2.6.1 Contracción

Se puede definir como a la alteración dimensional de la madera después que a sido retirada el agua presente en los lúmenes celulares y comienza a retirarse el agua de la pared celular (PSF), al ser retirada el agua ligada las micelas se acercan y por lo tanto comienza la contracción.

Por contracción se entiende a la disminución en las dimensiones radial, tangencial y longitudinal, o del volumen de la pieza, desde el estado húmedo hasta un nivel de humedad por debajo del PSF, expresada como un porcentaje, respecto a la dimensión inicial o del material húmedo (Viscarra, 1998).

La contracción radial y tangencial aumenta de la médula hacia la corteza. En madera de reacción de 6.3% a 8.2% en el sentido tangencial y de 3.2% a 3.8% en dirección radial, en madera normal es de 6.6% a 8.6% en sentido tangencial y de 3.1% a 3.9% en dirección radial.

La contracción tangencial disminuye con al altura en el árbol. En madera de reacción varía de 8.6% a 5.8% y en madera normal se reduce de 8.1% a 7.2%.

La contracción radial de la madera de reacción fluctúa entre 4.2% a 10 metros y de 1.9% a 15 metros de altura (INFOR – CONAF, 1998).

El Aromo posee una contracción baja, desde el estado verde hasta llegar a un 12% de contenido de humedad su contracción es de 3.6% tangencialmente y un 1.8% radialmente (Haslett, 1986).

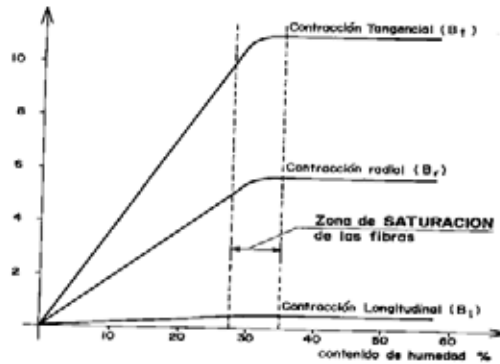


Figura 1: Gráfico de Contracciones.

Lo anterior afirma la teoría sobre la contracción tangencial con respecto a la contracción radial, que hace referencia a que la contracción tangencial es generalmente el doble o hasta tres veces mayor que la contracción radial, y la contracción longitudinal es normalmente despreciable en la madera.

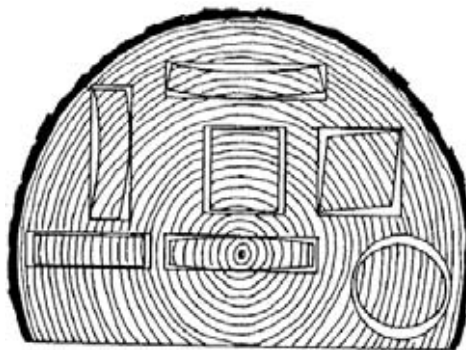


Figura 2: Plano de la Contracción en las Maderas.

2.6.2 Colapso

Se entiende por colapso a una contracción desigual $\%$ excesiva que sufren algunas maderas duras durante las primeras etapas de secado, cuando aún la madera está perdiendo agua libre (Juacida e Inzunza, 1986).

El colapso aparece en algunas maderas cuando son secadas lentamente o en horno a temperaturas o humedades demasiado altas; también aparecen en algunas maderas cuando se expone a un secado rápido a la intemperie. La manifestación del colapso característico aparece con mayor intensidad en caras de corte radial que en las caras de corte tangencial (Tuset y Durán, 1979).

También puede ser originado por la tensión capilar ejercida sobre las paredes celulares al desaparecer el agua libre en las cavidades y se produce si la temperatura del aire es demasiado elevada, provocando así la plastificación de las paredes celulares (Álvarez y Fernández - Golfín, 1992).

2.6.3 *Torcedura*

Es un alabeo helicoidal (revirado) en la dirección longitudinal y transversal de las fibras. Se presenta en maderas que tienen grano espiralado, diagonal, transversal, entrelazado, también debido a un mal encastillado, sobre todo en lo referente a la selección del espesor.

También puede presentarse en piezas de grano recto como consecuencia de un secado disparejo o por tensiones de crecimiento. Este defecto puede evitarse con una colocación adecuada de pesos sobre los castillos de secado (Tuset y Durán, 1979).

2.7 Programas de secado

Un secado artificial se obtiene cuando se hace circular aire caliente y seco uniformemente a través de una pila de madera. En tanto, el ritmo de secado y los riesgos de daños causados durante el secado, son diferentes, dependiendo de las características estructurales de la especie. Por esta razón las maderas requieren variaciones climáticas y de intensidad diferente, los programas de secado varían en función de la especie, espesor y humedad deseada, la humedad relativa del aire y la temperatura son factores fundamentales necesarios para conducir adecuadamente el secado (Klitzke, 2005).

Hoy en día existen tres tipos de programas de secado artificial, uno basándose en la pérdida de contenido de humedad, otro en el cociente de secado y el último en el tiempo de secado.

La elección de uno de ellos dependerá de los resultados que se quieran obtener, refiriéndose al contenido de humedad, porcentaje permisible de defectos y el grado de uniformidad de esta (Matthei, 1994).

Si nos referimos al programa de secado por tiempo de secado, se caracteriza por el establecimiento de tiempos fijos en cada etapa. Se utiliza generalmente, para maderas de fácil secado o bien para aquellas cuyo comportamiento ha sido largamente estudiados (Inzunza, 2004).

Con respecto al programa de contenido de humedad, es de preferencia aplicarla a especies latifoliadas y sobre todo a maderas susceptibles a desarrollar defectos, tensiones y desuniformidad en el porcentaje de humedad, y también se aplica cuando se trata de experimentos exploratorios.

2.8 Consideraciones al programar el secado

Antes de comenzar a realizar algún programa de secado debemos tener en consideración los siguientes aspectos.

2.8.1 La especie

Esta dependerá si son del tipo coníferas o latifoliadas.

2.8.2 Sus características y propiedades físicas

Veremos su estructura, densidad y variación dimensional.

2.8.3 El tipo y dimensiones de la madera

Corresponderá si la madera presenta albura, duramen o ambas, si es juvenil o madura, si pertenece a madera de reacción, sus escuadrías y tipo de corte.

2.8.4 El sistema de secado

En Horno o Cámara, pueden ser del tipo Pre-secador, Deshumidificador, Alta temperatura, y convencional el cual puede ser del tipo Normal o Acelerado.

2.8.5 La relación entre equipos y factores

Se identifican los más importantes como son: Temperatura, Humedad relativa, Velocidad del aire, Gradiente de humedad, Gradiente de secado.

2.8.6 La calidad y destino de los productos

Esta última consideración se refiere si la madera será del tipo Estructural, si se va a clasificar según su apariencia y el destino de su mercado ya sea interno o externo.

2.8.7. La Modelación del programa de Secado

Para la modelación y puesta en marcha del programa de secado en base a pérdida de humedad debemos tener en cuenta las siguientes variables para poder realizar los posteriores cálculos con los datos empíricos de las tablas que se asocian a estas variables:

- Densidad básica de la especie.
- Espesor de la tabla.
- Temperatura inicial del proceso.
- Temperatura final del proceso.
- Velocidad de circulación del aire.
- Humedad inicial de la madera.
- Humedad final de la madera.

3. DISEÑO DE INVESTIGACION

3.1 Materiales

3.1.1 Madera

La materia prima fue extraída del Fundo San Germán Rol 2467-23, de propiedad de la Universidad Austral de Chile, ubicado a 17 km al norte de la ciudad de Valdivia.



Figura 3: Trozas de Aromo australiano (*Acacia melanoxylon*)

3.1.2 El aserrío

El aserrío de la madera se realizó en el aserradero portátil del instituto de Tecnología de Productos Forestales de la UACH, marca Wood-Mizer modelo LT 40 HD G24, El diámetro de sus volantes es de 686 mm, estos alcanzan las 1500 rpm, (velocidad de corte 53.88 m/seg, Este equipo permite el procesamiento de trozas con un tamaño máximo de 91 cm de diámetro y 6.4 m de largo. Tiene un motor bencinero de una potencia de 24 hp, cuyo consumo de combustible es de 3 l/hr.

3.1.3 Equipos

El equipo utilizado fue el secador ubicado en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile.

Es un secador piloto Hildebrand HB, de construcción metálica con una capacidad de 0.3 m³, con calefactores eléctricos de generación automática. Su flujo unidireccional es de 3^m/seg, y sus temperaturas pueden ser reguladas llegando hasta los 160 °C como temperatura máxima.

Posee un sistema computacional o software computacional para el control del secado.

3.2 METODO

Consistió en someter la madera de Aromo australiano a un programa de secado en base a pérdida de humedad y a algunas repeticiones que mejoren sus deficiencias.

3.2.1 Las Piezas

Las piezas que fueron utilizadas para el estudio correspondieron a madera de corte del tipo tangencial, floreado y mixto, se eligió estos tipos de corte para aprovechar el máximo de la materia prima disponible, con dimensiones de 1" de espesor, ancho variable y 1.20 m de largo, con estas dimensiones de las tablas, la carga en la cámara será aproximadamente de 35 piezas.

Las dimensiones de los palillos separadores eran de 2 cm x 3 cm x 60 cm, con el fin de facilitar la circulación del aire.

3.2.2 El programa de secado

Con las características de la especie y las variables con las cuales se trabajó se creó la modelación del programa de secado, en él se consideraron como antecedentes básicos lo siguiente:

Escuadría: 1" x variable x 1.2 m.

Densidad: 0.443 grs/cm^3

Humedad final: 12%

Humedad inicial: 124%

Temperatura inicial: 42 °C

Temperatura final: 66 °C

Velocidad del aire: 3 m/seg

La simulación primaria entregó el siguiente programa de secado.

Cuadro 1: Programa Propuesto.

H° final (%)	T° bulbo seco (°C)	Gradiente secado	H° Equilibrio (%)	Ventilas (%)
60	42	2.0	15.0	100
38	42	2.1	14.4	100
28	50	2.4	11.9	100
21	54	2.2	9.4	100
17	56	2.3	7.3	100
13	62	2.2	5.8	100
12	64	2.2	5.5	100
10	66	2.2	4.5	100

Este programa fue realizado y estudiado y al producirse alteraciones durante su desarrollo se le incluyó modificaciones relacionadas con los defectos producidos en la etapa siguiente

3.2.3 Control del proceso

Los controles se realizaron antes, durante y después del secado.

Antes del secado las piezas fueron medidas en su espesor, ancho y largo con el fin de determinar la contracción posterior al secado utilizando la siguiente fórmula.

Donde:

$$C = \frac{d_i - d_f}{d_i} * 100$$

C = contracción en porcentaje.
d_i = dimensión inicial en mm.
d_f = dimensión final en mm

Para el encastillamiento la verticalidad de los listones separadores es de gran importancia para mejorar la circulación del aire entre las tablas, disminuir defectos y contenidos de humedad uniformes, para ello los listones separadores deben ser rectos además de uniformes en su espesor y largo. En la parte superior del castillo se colocaron los sobre pesos existentes en el instituto de tecnología de productos forestales con un peso aproximado de 350 kg/m², para disminuir la formación de alabeos y asegurar la calidad del secado.

Los separadores extremos fueron puestos de forma sobresaliente del castillo, para evitar que los extremos de las tablas presenten agrietamiento.

Durante el proceso de secado se registró en el software, el contenido de humedad existente en la madera mediante los dispositivos colocados en las tablas testigos, para asegurarnos que el contenido de humedad se asemeja con el programa tentativo realizado.

Para la obtención del contenido de humedad inicial, se utilizaron tablas testigos con el fin de obtener un promedio general de la carga, para esto se despuntan de las tablas testigo 15 cm de ambos extremos y con ello se realizan probetas de 1" de ancho, esta probeta fue pesada en una balanza electrónica, posteriormente se llevó a la estufa con el fin de obtener su peso constante y mediante la fórmula de contenido de humedad se realizó el cálculo de éste.

$$CH = \frac{P_G - P_0}{P_0} \times 100\%$$

Donde:

CH= contenido de humedad que tiene como unidad porcentaje.

P_G = masa inicial de la madera que tiene como unidad gramos.

P_0 = masa de la madera en estado anhidro que tiene como unidad gramos.

Con respecto al cálculo de la densidad de la madera, se determinó su densidad básica, se utilizó el método por inmersión en agua que son aplicables a probetas de forma irregular o de superficie rugosa, para el caso de madera verde no es necesario el sellado con cera de parafina caliente.

Este método de obtención de la densidad, se realiza colocando la probeta en un recipiente de volumen conocido y agregar agua hasta llenar el recipiente, sacar la probeta del agua y determinar el volumen remanente.

El volumen del recipiente lleno menos el volumen del agua remanente corresponde al volumen de la probeta, la determinación de la masa de la probeta se realiza llevando la probeta a la estufa con una temperatura de +/- 103 °C hasta llegar a su estado anhidro y peso constante.

Las operaciones realizadas al final del proceso fueron mediciones y pesos de las tablas para la determinación de contracción y humedad promedio de cada una de ellas, así como también los alabeos, mediciones de grietas, colapso, obtención de las probetas para conocer la humedad final de la carga, la gradiente de humedad y las tensiones originadas en el secado.

3.2.4 Defectos del secado

Alabeos: los alabeos son deformaciones que suelen experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinales, transversales o ambos. Los cuales los más frecuentes son:

- Acanaladura.
- Torcedura.
- Encorvadura
- Arqueadura.

Acanaladura: Es cuando los bordes longitudinales o las aristas no se encuentran en el mismo nivel que la zona central, se reconoce cuando al colocar la pieza de madera sobre una superficie plana apoyara la parte central de la cara quedando levantado los bordes, presentando un aspecto cóncavo. Generalmente se produce en madera floreada, en el reaserrado de madera endurecida superficialmente, y cuando hay piezas de distinto espesor en una misma hilera o cámara

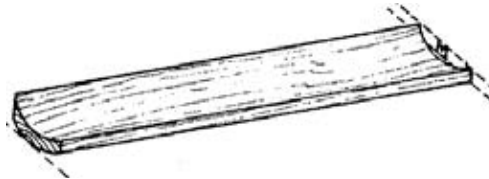


Figura 4: Acanaladura

Torcedura: Es el alabeo simultáneo en las direcciones transversal y longitudinal, se presenta cuando las esquinas de una pieza no se encuentran en el mismo plano. Susceptibles en maderas con fibra espiralada, diagonal o entrelazada, madera con médula, piezas mal aserradas y cuando hay ausencia de sobre pesos en la carga.



Figura 5: Torcedura

Encorvadura: Es la 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 la madera y la superficie de apoyo. La causa de esta deformación se presenta en madera cuarteada, en madera juvenil y de reacción, excesiva contracción longitudinal y diferente contracción entre espesores cercanos a la médula y corteza.

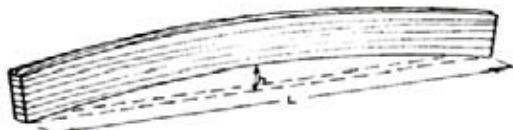


Figura 6: Encorvadura

Arqueadura: Es el alabeo o curvatura de las caras en la dirección longitudinal. Se reconoce al colocar la pieza sobre una superficie plana, se observa una luz o separación entre la cara de la pieza y la superficie de apoyo. Son susceptibles a este defecto aquellas piezas de madera floreada, madera juvenil, contracción longitudinal, y grano desviado.

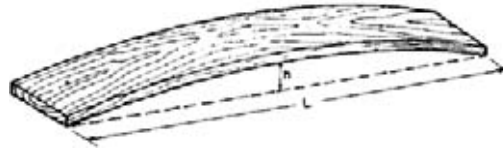


Figura 7: Arqueadura

En el siguiente cuadro se muestra la forma de como se evaluaron los alabeos, teniendo como antecedente los valores máximos admisibles descritos por el INN (1972), siendo ajustado por Guerrero e Inzunza (1980) y ajustado para tablillas de 1,10m de longitud.

Cuadro 2: Nivel de Clasificación de los Alabeos

Deformaciones (mm)	Nivel de Clasificación			
	A	B	C	D
Acanaladura	0	2.6	5.2	7.8
Arqueadura	0	4.0	7.0	12.0
Encorvadura	0	1.0	1.5	2.0
Torcedura	0	3.1	5.8	9.0

Donde: A = sin alabeo (0)
 B = alabeo leve (0.5)
 C = alabeo leve – fuerte (1.0)
 D = alabeo intenso (1.5)

Grietas superficiales e internas: las grietas son la separación de los elementos constitutivos de la madera, las grietas superficiales son fisuras en la superficie de la madera y las internas como su nombre lo indica son fisuras en el interior de la pieza de madera, generalmente a lo largo de los radios leñosos que muchas veces no son visibles en la superficie, ambos tipos de grietas son debidas a los esfuerzos del secado, estos esfuerzos del secado son las tensiones que se establecen en la madera, debido a la diferencia 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, en general, todas producto de un proceso de secado demasiado rápido.

Para la medición de las grietas superficiales se realizó un análisis visual en ambas caras y cantos, en todo el largo de la pieza, y posteriormente se toma como referencia la cara más afectada para la medición de grietas.

Para el índice de grietas utilizamos la fórmula de Índice Lineal de Grietas (ILG)

Índice Lineal de Grietas (ILG): \sum Grietas superficiales / Largo pieza

Rajaduras: Son separaciones longitudinales de las fibras que atraviesa de una cara a la otra en la pieza, ocurren en el extremo de una tabla, debido a una rápida pérdida de agua que origina esfuerzos de tensión, las rajaduras a la vez pueden ser originadas en el bosque al momento de voltear el árbol.

Para determinación del índice de colapso, se aplicó la metodología propuesta por Jankowsky y Calvacante (1992), mediante el uso de la fórmula:

$$Ic = \frac{Mb - Md}{Mv} \times 100$$

Donde:

Ic : Índice de colapso (%).

Mb: Medida del borde o zona de mayor espesor en una pieza colapsada (mm).

Md: Medida de la zona más hundida o de menor espesor en la pieza de madera colapsada (mm).

Mv: Medición en verde de la pieza (mm).

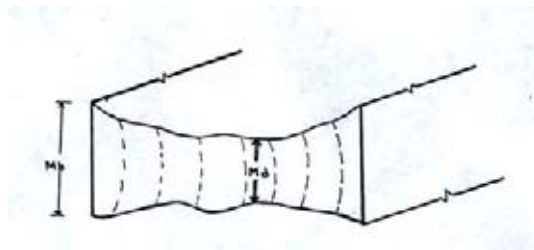


Figura 8: Medición del Colapso

Para ver como es el comportamiento de la humedad y de las tensiones dentro de la madera se realizará las probetas estratificadas para la gradiente de humedad y la probeta tenedor para las tensiones.

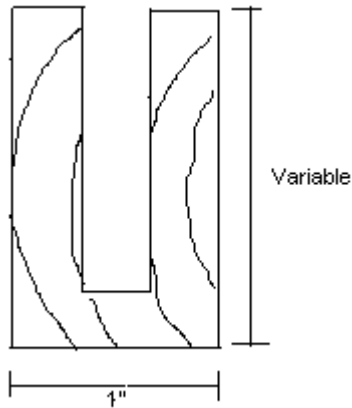


Figura 9: Probeta Estratificada

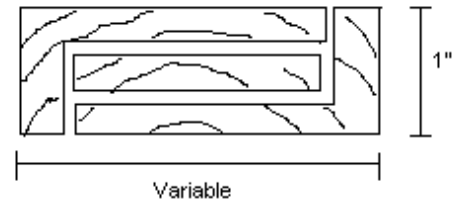


Figura 10: Probeta Tenedor

Para la determinación de la calidad de la madera obtenida y poder evaluar el programa realizado, se realizó la metodología empleada por Bravo (1977), la cual se basa en la suma de las medias estadísticas de los defectos considerados, que es una ponderación en base a la adaptación de cuatro índices.

La siguiente tabla muestra el sistema utilizado para determinar la calidad y condiciones del secado.

Cuadro 3: Determinación de la Calidad y Condiciones de secado

CALIDAD DEL SECADO	INDICE	CONDICIONES DE SECADO
Excelente	0.0	
Muy buena	0.00 a 0.50	Adecuadas
Buena	0.51 a 1.00	
Regular	1.01 a 1.50	Poco adecuadas
Menos que regular	1.51 a 2.00	
Defectuosa	2.01 a 3.0	
Mala	3.01 a 5.0	Inadecuadas
Muy mala	mas de 5.0	

A continuación se presenta las características y los resultados de los dos procesos de secado realizados.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Para el estudio y obtención de los resultados la madera fue sometida a dos programas se secado, ambos con distintas temperaturas iniciales, para finalizar con la misma humedad de equilibrio, gradiente de secado y temperatura final.

4.1 Primer Secado

Para este primer secado se utilizó una temperatura inicial no muy elevada de 42°C con el fin de retirar suavemente la humedad de la madera para evitar posibles problemas de colapso o endurecimiento superficial. La temperatura se fue aumentando de manera cuidadosa a medida que la madera perdía su porcentaje de humedad, ésta pérdida de humedad fue controlada mediante los sensores insertos en las tablas testigos dentro de la cámara.

Una vez alcanzado el punto de saturación de las fibras (PSF) 28 % de contenido de humedad se elevó la temperatura 50°C para acelerar la etapa de secado, a medida en que se fue aumentando la temperatura, la humedad de equilibrio se fue reduciendo hasta llegar a las condiciones climáticas necesarias para obtener un contenido de humedad de 12% en la madera.

Las tablas utilizadas en este primer secado correspondieron a los primeros 120 cm del árbol siguiendo la dirección base-copa. Estas fueron aserradas, dando como resultado los siguientes:

Cuadro 4: Proporciones de tipo de Corte a la Madera

Corte	(%)
Mixto	13,6
Tangencial	36.4
Radial	50.0

Se observa que las probetas de tipo tenedor para las tensiones dirigen sus pinzas hacia su interior siendo las tablas de mayor ancho las que presentan de gran forma este tipo, esto quiere decir que las tablas presentan esfuerzos de compresión en la superficie y de tracción en el interior las tablas de menor ancho presentan las pinzas mas rectas.



Figura 11: Probeta de tensión



Figura 12: Probeta de tensión

Para solucionar el problema de tensiones con las maderas más anchas se procedió a aumentar el tiempo de acondicionado, para disminuir las tensiones de secado y uniformar la humedad dentro de la pieza.

Cuadro 5: Humedad promedio y humedad de equilibrio con respecto a los días de secado

Tiempo (días)	H° EQ promedio del ambiente (%)	Humedad promedio de la madera (%)
1	21,3	123,9
2	18,28	67,42
3	15,98	65,48
4	11,2	56,2
5	11,01	21
6	11,96	11

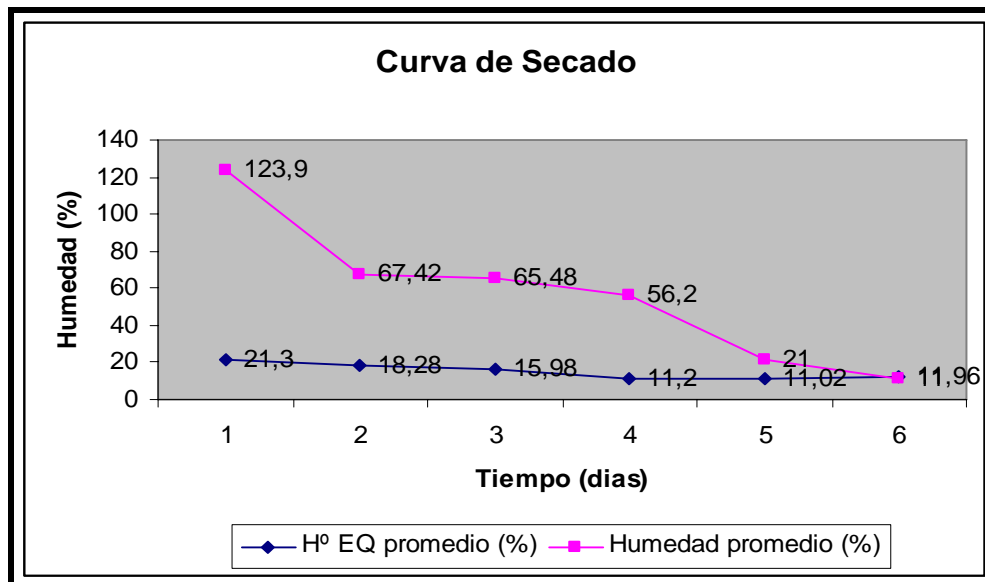


Figura 13: Curva de Secado

La humedad final promedio alcanzada fue de 16.5%.

La contracción de las probetas de ensayo de medidas 25 mm x 25 mm x 100 mm, desde el estado verde hasta su estado anhidro son diferentes en sus distintos planos, presentando así un total de 3.2% en el plano radial y un 7.5% en su plano tangencial.

En cuanto a las tablas secadas en el horno secador presentaron un promedio de contracción en su espesor de 3.45%, con la diferencia que estas fueron llevadas hasta un 12% de contenido de humedad.

La contracción en el ancho de las tablas tuvo un promedio de 3.0%, después de finalizado el secado.

No se realizó la medición de la contracción longitudinal debido a que ésta no presenta valores significativos.

Cuadro 6: Nivel de Clasificación de los Alabeos obtenidos

Nivel de Clasificación	Acanaladura	Torcedura	Encorvadura	Arqueadura	Total *Factor
Sin defecto	17	22	4	15	58 x 0.0
Alabeo leve	11	5	1	12	29 x 0.5
Alabeo leve - fuerte	1	2	5	2	10 x 1.0
Alabeo intenso	0	0	19	0	29 x 1.5
					68

Índice de alabeos: $68/29 = 2.34$

El índice de alabeos este fue de 2.34, siendo el alabeo más dominante la encovadura presentándose en 25 tablas correspondiendo a un 86.2% del total de las tablas, seguido del defecto arqueadura con un 48.3%, de acanaladura un 41.4% y un 24.1% para torcedura.

De las tablas afectadas por encorvadura el 65.5% presento un nivel de clasificación "intensa", el 17.2% correspondió a "leve – intensa", el 3.5% fue "leve" y un 13.8% fueron piezas "sin defecto".

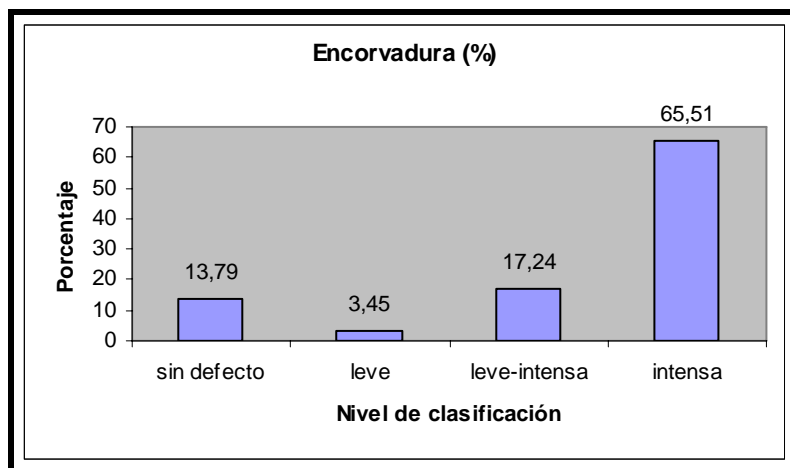


Figura 14: Alabeo dominante y su Nivel de Clasificación

En este primer secado las tablas no presentaron problemas de colapso.

Con respecto a la gradiente de humedad no presenta una gran diferencia entre los porcentajes de humedad del interior de la madera con respecto a su exterior (ver anexo 2), esto se debe a que la madera utilizada constaba con un espesor aproximado de una pulgada.

Según la tabla de grietas superficiales y calculando de la fórmula de Índice lineal de Grietas se obtuvo el índice lineal total de grietas que fue de 0.145.

Con este resultado de 0.145, más lo obtenido en el índice de alabeos, da como resultado un 2.49, de esto se puede inferir que la calidad y condiciones de secado según la tabla expuesta, da que la calidad del secado fue defectuosa y que las condiciones fueron inadecuadas.

Con el fin de mejorar la calidad de las tablas secadas, éstas fueron sometidas a cepillado, con este proceso realizado las tablas presentaron una disminución promedio en su espesor de 2.83 mm.

4.2 Segundo Secado

Debido a los resultados obtenidos en el primer secado se modificaron las variables de temperatura, gradiente de secado y humedad de equilibrio, para así tratar de establecer un programa de secado cuyos resultados sean mejores que el primero. Así para este segundo experimento se modificó la temperatura inicial del proceso, aumentando en 3°C pasando de 42°C a 45°C debido a que con 42°C las tablas no presentaron en sus etapas iniciales problemas de colapso.

Pasado el PSF llegando al 28 % de CH la temperatura es elevada a 51°C, para apurar la etapa de secado.

Las tablas con sus respectivos cortes, se obtuvieron también de los primeros 120 cm de un segundo árbol siguiendo la dirección base-copa, dando como resultado lo siguiente:

Cuadro 7: Proporciones de Tipo de Corte a la Madera

Corte	(%)
Mixto	18.8
Tangencial	43.8
Radial	37.4

El programa propuesto para este segundo experimento de secado fue el siguiente:

Cuadro 8: Programa Propuesto

H° final (%)	T° bulbo seco (°C)	Gradiente secado	H° Equilibrio (%)	Ventilas (%)
60	45	3.0	10.0	100
38	48	2.5	12.0	100
28	51	2.4	11.9	100
21	56	2.2	9.4	100
17	59	2.3	7.3	100
13	62	2.2	5.8	100
12	64	2.2	5.5	100
10	66	2.2	4.5	100

En este segundo experimento, el comportamiento de la contracción en el espesor de las tablas tuvo un promedio de 2.65% y un promedio de 2.8 % en el ancho.

El promedio del contenido de humedad final fue de 11.6%.

Cuadro 9: Humedad promedio y humedad de equilibrio con respecto a los días de secado

Tiempo (días)	H° EQ promedio del ambiente (%)	Humedad promedio de la madera (%)
1	18,87	86
2	12,93	69,49
3	10,3	65,78
4	9,85	57,9
5	9,17	39,07
6	5,98	13,14

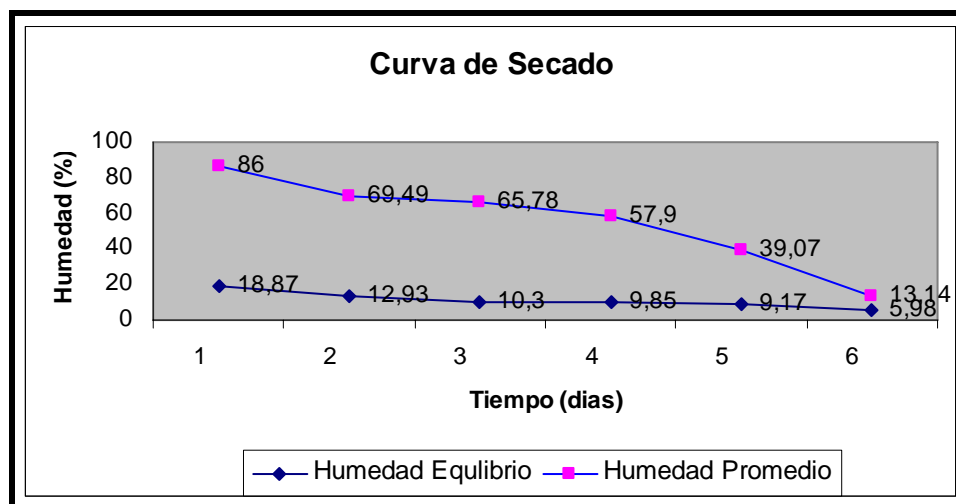


Figura 15: Curva de Secado

El índice de alabeos en este segundo secado alcanzó un resultado de 0.6, siendo el alabeo más dominante la arqueadura con un total de 25 piezas que corresponden al 71,43% del total de las tablas, seguido del defecto encorvadura con un 68.57%, torcedura con un 45.71%, y finalmente la acanaladura con un 42.86%.

Dentro del alabeo el más dominante que fue la arqueadura, el 34.29% correspondió al nivel de clasificación B (alabeo leve), el 28.57% para el nivel de clasificación A (sin defecto) y C (leve-fuerte), y un 8.57% correspondiente al nivel de clasificación D (leve-intenso).

Cuadro 10: Nivel de Clasificación de los Alabeos obtenidos

Nivel de Clasificación	Acanaladura	Torcedura	Encorvadura	Arqueadura	Total *Factor
Sin defecto	20	19	11	10	60 x 0.0
Alabeo leve	3	7	1	12	23 x 0.5
Alabeo leve - fuerte	12	4	1	10	27 x 1.0
Alabeo intenso	0	5	22	3	30 x 1.5
					83.5

Índice de alabeos: $83.5/35 = 2.39$

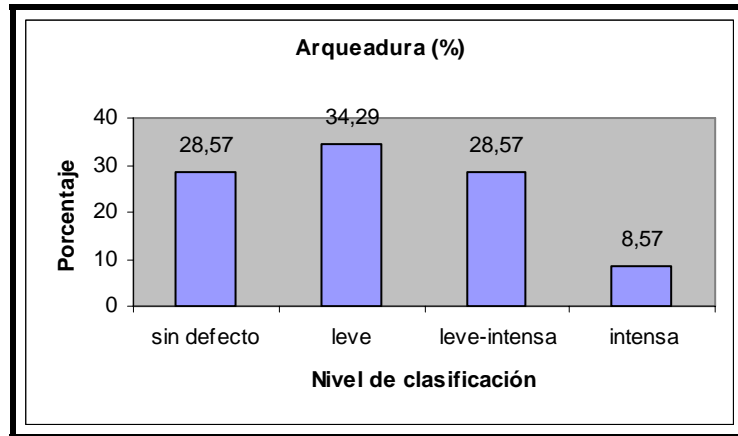


Figura 16: Alabeo dominante y su Nivel de Clasificación

La gradiente de humedad no presentó grandes variaciones entre el centro y el exterior de la madera sólo con una diferencia de un 1% mayor en el centro (ver anexo 3).

Al igual que en el secado realizado anteriormente, la calidad y condiciones de secado dependen de nuestros índices obtenidos en los alabeos y el índice lineal de grietas superficiales, cuyos resultados fueron para los alabeos de un 2.39 y para el índice lineal de grietas un 0.063, obteniendo así un total de 2.45 esto se refleja en la tabla correspondiente a la calidad y condiciones de secado, dando como resultado que la calidad del secado estuvo defectuosa y las condiciones de secado fueron inadecuadas, pero para mejorar aún más la calidad de las tablas secadas también fueron sometidas a un cepillado, con este proceso las tablas tuvieron una disminución promedio en su espesor de 3.67 mm.

A continuación se presentan las probetas de tensiones, allí se observa que éstas presentan sus pinzas dirigidas hacia el interior lo que significa que las tablas presentan esfuerzos de compresión en la superficie y de tracción en el interior.



Figura 17: Probetas de Tensión



Figura 18: Pobretas de Tensión

Estas piezas presentaron mayor problema de tensiones debido a que la fase de acondicionamiento no se realizó efectivamente.

5. CONCLUSIONES

Como la densidad básica tiende a disminuir desde la médula hacia la corteza en algunos casos entre los pares 1-1 con una densidad de 0.455 gr/cm³ y 0.493 gr/cm³ y el par 2-2 con 0.444 gr/cm³ y 0.503 gr/cm³ de densidad básica, existe una diferencia grande de los valores. Esto se debió a que cuando fue determinada la densidad básica el número de anillos de crecimiento era distinto o en un lado y existía mayor % de duramen.

El Aromo australiano a pesar de ser una madera con tendencia al colapso, no presentó problemas de este tipo, esto se debió a que las temperaturas iniciales propuesta en ambos experimentos resultaron apropiadas.

El segundo experimento realizado, presentó una mayor disminución en el espesor de las tablas después del cepillado, esto se debió a que las tablas secadas presentaron un mayor índice de alabeos y grietas, esto provoca que haya un mayor trabajo de la cepilladora y por ende un mayor consumo de madera.

Dado los resultados obtenidos en cuanto a la calidad y condiciones de secado en ambos experimentos se concluye que los programas propuestos no fueron óptimos tomando en cuenta sólo las deformaciones de grietas y alabeos, pero para seguir mejorando este estudio, se recomienda realizar varios experimentos más cambiando las condiciones y variables de secado.

Con respecto a las contracciones que resultaron de ambos secados, éstas fluctuaron en un rango promedio de 3.45% y 2.65% para el espesor y de 3.0% y 2.8% para el ancho de las tablas. La contracción de las probetas que fueron llevadas hasta su estado anhidro resultaron con un promedio de 7.5% tangencialmente y de 3.2% radialmente, éstos resultados están dentro del rango promedio normal que según el INFOR-CONAF (1998) son de 6.6% a 8.6% tangencialmente y de 3.1% a 3.9% en dirección radial.

Los alabeos dominantes que surgieron al finalizar ambos experimentos fueron diferentes, para el primer secado se produjo la encorvadura como alabeo dominante, el cual pudo surgir debido a que la mayoría de tablas (50% de la carga) fueron de tipo cuarteada, mientras tanto que para el segundo secado el alabeo dominante fue la arqueadura, a éste se le puede atribuir su origen debido a que el 43.8% de la carga pertenecía a madera de tipo floreada.

6. BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, H; FERNANDEZ-GOFIN, J. 1992 Fundamentos teóricos del secado de la madera. Madrid. 139 p. (Colección Monográficas INIA, NUM. 82).

BRAVO, A. 1977. Comportamiento de Pino Insigne (*Pinus Radiata* D DON), Bajo dos Condiciones de Secado por Vapor Recalentado. Tesis Profesional. Universidad Austral de Chile, Chile.

GLEASON, C.D 1986. Tasmanian blackwood; its potential as a timber species. NZ. Forestry Service. Anual Report. 7-12.

GUERRERO, G; INZUNZA L. 1980. Comportamiento de *Eucalyptus globulus* (LABILL) Crecido en Colcura, sometidas a un programa de secado australiano. Facultad de Ciencias Forestal. Universidad Austral de Chile. Serie Técnica. Informe de Convenio n° 25.

HART, C.A. 1966. The drying of wood. Raleigh, North Carolina Agric. Extension Service,. 24p.

HART.C.A. 1975. The Drying of Wood .The Nort Carolina Agricultural Extencion Service 1975.36p Revision.

HASLETT. 1986 Properties and utilisation of exotic speciality timbers Grown in New Zealand. New Zealand Forest Service. FRI Bulletin N° 119. Pp: 3-11.

INFOR, 1990. Propiedades y Usos de Especies de Corta Rotación. Informe Técnico n° 122. 57-86p. Santiago, Chile.

INFOR, 1995. Antecedentes del mercado de Aromo Australiano. Manuscrito Programa Nacional de Diversificación forestal. Convenio Instituto Forestal/ Corporación Nacional Forestal. Valdivia, Chile.

INFOR-CONAF. 1998. Monografía de Aromo Australiano *Acacia melanoxylon*. Instituto Forestal-Corporación Nacional Forestal, Santiago. Chile. 83 p.

INN, 1972. Instituto Nacional de Normalización. Nch 993. Eof 72. Madera. Procedimientos y Criterios de Evaluación para Clasificación. Santiago, Chile. 18p

INZUNZA, L. 2004 Curso de secado de la madera, Universidad Austral de Chile

JANKOWSKY I.P; CAVALCANTE, A. 1992 Collapse Prevention in the Drying of Eucalipt. Wood. IN: Vane K M (editors) 3rd IUFRO International Wood Drying Conference. Vienna, Austria 357-361p.

JUACIDA, R; INZUNZA L. 1986 Pautas del Control de Calidad para Madera Secada Artificialmente. (Publicación Docente n° 21). 27 p.

JUNAC. 1988. Manual del Grupo Andino para el secado de maderas, Junta del Acuerdo De Cartagena. Lima 650 p.

KANNEGIESSER, U 1989. Antecedentes generales sobre Acacia Melanoxylon (Aromo australiano). Ciencia e investigación Forestal. 7:90-97.

KLITZKE, R. 2005 Curso de secagem da madeira, Universidade Federal Do Paraná.

LOEWE, V. 2004. Desarrollo sustentable. Chile Forestal nº 301 17-21p.

MATTHEI, P. 1994. Programa de Secado Artificial para Madera de Sequoia Sempervirens D. DON. Tesis Profesional. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Chile.

NICHOLAS , I.D.1982 Australian blackwood (acacia melanoxylon). Wath`s new in forests research. N° 105. Forest Research Institute, New Zealand

PEREDO, M; JUACIDA, R; INZUNZA, L. 1985 Curso de capacitación en secado de maderas. Valdivia, Universidad Austral de Chile. 56 p. (Informe de Convenio nº88, Serie Técnica)

PINILLA, J.C.; Molina M.P.; Gutiérrez B. 2004. Estado actual de la investigación en el género Acacia en Chile. Actas. Seminario Diversificación Forestal; Nuevas Opciones, Nuevos Productos, Nuevos Mercados. 13-15 oct. Villarrica, Chile.

SIEBERT,H; CERDA J. P. 1994 Aspectos Prácticos en la Silvicultura de Aromo australiano. En: Actas del Tercer Taller Silvícola de Fundación Chile. 6-16p.

STAMM.A.J. 1964 Wood an Cellulose Science. New York: Ronald Press, 549p.

STEHLE, T 1996. El Aromo Australiano como Árbol Maderero en Sudáfrica. Ministerio de Agricultura, FIA. Programas de capturas tecnológicas subprograma contratación de consultores calificados. Conferencia: El Aromo como Árbol Maderable. Santiago, Chile. 14 p.

TUSET, R; Durán, F. 1979. Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilización. Ed. Hemisferio Sur. 668 p.

VIGNOTE, S; JIMÉNEZ, F. 2000. Tecnología de la madera. 2da ed. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 337p.

VISCARRA, S 1998. Guía para La Madera Secada en Hornos, Documento Técnico 69/1998. Chemonics International. USAID/BOLIVIA.

ANEXOS

ANEXO 1
Abstract

ABSTRACT

The objective of this work is to go into the application of a conventional drying program on the basis of humidity loss for Aromo australiano's wood. There's no much information available about the behaviour of this wood submitted to the process of drying.

The raw material was obtained from San Germán's field that belongs to the Austral University of Chile, located to 17 km north of Valdivia's city, the work was accomplished at the laboratories of the Institute of Forestry Product's Technology of the UACH and at the workshop, utilizing the Hildebrand HB artificial dryer and the Wood-Mizer LT 40 HD G24 portable sawmill.

Draw was sawn to a thickness of one inch, with variable width without privileging any court type (radial, mixed, tangential) and to 1.20 m in length.

In order to evaluate the quality and conditions of drying, the methodology utilized was the used by Bravo (1977), Peredo and Juacida (2006) which bases in the sum of statistics means of the considered defects, which is a pondering on the basis of four index's adaptation, these considered defects were: Fluting, Twisting, Bending, Arching and Cracks.

From the analysis of the considered defects and their respective indexes, it can be concluded that the experiment's quality and conditions allowed obtaining a good quality dry wood.

Key words: Drying, Humidity Slope, Warping.

ANEXO 2

Tablas de valores

1. Contenido humedad inicial primer y segundo secado.
2. Gradiente de Humedad
3. Fotos

1. CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL PRIMER Y SEGUNDO SECADO

Troza 3-1

Pieza	Peso Humedo(gr)	Peso Seco(gr)	CH inicial
2	92,561	43,2	114,3%
2b	93,06	43,2	115,4%
3	218,273	93,4	133,7%
4	186,181	80,2	132,1%
5	135,866	63,1	115,3%
5b	97,465	41,6	134,3%
6	232,404	105,4	120,5%
7	106,413	36,3	193,1%
8	100,244	42,7	134,8%
8b	105,87	44,2	139,5%
9	198,08	86,1	130,1%
10	163,98	70,5	132,6%
11	174,896	73,2	138,9%
12	150,362	64,8	132,0%
13	91,402	48,8	87,3%
			130,3%

Troza 2-1

Pieza	Peso Humedo(gr)	Peso Seco(gr)	CH inicial
2	125,99	53,6	135,1%
3	140,824	58,9	139,1%
4	158,405	73,2	116,4%
5	177,037	79,8	121,9%
6	182,41	81,3	124,4%
7	72,724	33,8	115,2%
7b	99,6	41,1	142,3%
8	82,28	37,8	117,7%
8b	89,323	38,6	131,4%
12	175,545	77,4	126,8%
13	186,166	86,2	116,0%
14	99,636	54,6	82,5%
15	43,226	27,3	58,3%
			117,5%

PROMEDIO CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL

=

123.9

Max	193,1%
Min	58,3%
Desv Estd	0,231199508

3. GRADIENTE DE HUMEDAD POR PROBETAS PRIMER SECADO

GRADIENTE

TABLA	A	B	C
1	34,95	24,21	28,78
2	28,36	21,98	20,23
3	21,04	15,18	16,47
4	21,77	17,65	18,71
5	10,88	8,66	12,18
6	12,13	8,30	9,61
7	14,06	10,66	10,91
8	12,33	9,36	12,36
9	15,58	14,05	15,42
10	22,85	17,40	18,16
11	5,85	6,45	8,48
12	13,62	11,89	12,07
13	10,39	8,60	11,51
14	23,01	19,08	21,73
15	15,81	12,84	13,26
16	12,99	11,78	13,92
17	24,21	16,03	18,64
18	14,18	10,29	13,24
19	16,89	11,99	12,44
20	14,69	12,67	10,03
21	12,93	10,49	11,47
22	25,48	22,39	28,77
23	16,79	13,85	15,72
24	21,31	17,53	22,28
25	27,15	20,97	18,20
27	23,55	18,44	16,13
28	12,10	10,22	13,06
29	11,03	7,37	7,95
	17,71	14,18	15,42

GRADIENTE DESPUES DEL SECADO

TABLA	A	B	C
1	30,86	21,12	25,36
2	25,32	19,46	18,1
3	18,88	13,64	14,85
4	19,56	15,8	16,82
5	9,63	8,52	10,71
6	10,77	7,21	8,42
7	12,69	9,57	9,84
8	11,13	8,41	11,11
9	14,12	12,65	13,91
10	19,39	15,66	16,71
11	5,29	5,83	7,59
12	12,28	10,72	10,89
13	9,32	7,62	10,24
14	20,82	17,15	19,63
15	14,33	11,59	12,23
16	11,55	10,3	12,31
17	21,74	14,34	16,78
18	12,72	9,13	11,83
19	14,75	10,23	10,88
20	13,28	11,36	9,09
21	11,48	9,17	10,14
22	23,02	20,19	26
23	15,11	12,47	14,2
24	19,13	15,68	20,01
25	24,3	18,69	16,38
27	21,04	16,31	14,44
28	10,86	9,09	11,7
29	9,83	6,45	7,07
	15,83	12,44	13,83

Max	17,71
Min	14,18
Dev Estd	1,79046654

Max	15,83
Min	12,44
Dev Estd	1,70270153

4. GRADIENTE HUMEDAD PROMEDIO PRIMER SECADO

	GRADIENTE (%)		
	A	B	C
1	13%	15%	13%
2	12%	13%	12%
3	11%	11%	11%
4	11%	12%	11%
5	13%	12%	14%
6	13%	15%	14%
7	11%	11%	11%
8	11%	11%	11%
9	10%	11%	11%
10	18%	11%	9%
11	11%	11%	12%
12	11%	11%	11%
13	12%	13%	12%
14	11%	11%	11%
15	10%	11%	8%
16	12%	14%	13%
17	11%	12%	11%
18	11%	13%	12%
19	14%	17%	14%
20	11%	11%	10%
21	13%	14%	13%
22	11%	11%	11%
23	11%	11%	11%
24	11%	12%	11%
25	12%	12%	11%
27	12%	13%	12%
28	11%	12%	12%
29	12%	14%	12%
PROMEDIO	12%	12%	12%

Max	0,12
Min	0,12
Dev Estd	0,00208461



ASERRIO DE LAS TROZAS.



TROZA ASERRADA.



RAJADURA



TROZA DEL PRIMER SECADO.



TROZA DEL SEGUNDO SECADO.



ENVUELTAS PARA EVITAR PERDIDA DE HUMEDAD



TABLAS DESPUES DE SACADO Y ANTES DE CEPILLADO.



TABLAS DESPUES DE CEPILLADO.